

10. INDUSTRIJSKI
FORUM **IRT**



VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO

Portorož, 4. in 5. junij 2018

forum-irt.si

VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO

Zbornik foruma

Urednik

Darko ŠVETAK

Portorož, 4. in 5. junij 2018

Naslov: **VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO**

Urednik: Darko ŠVETAK, PROFIDTP, d. o. o., Škofljica

Organizator: PROFIDTP, d. o. o., Škofljica

Glavni pokrovitelj: ABB, d. o. o., Ljubljana

Pokrovitelji: BOHLER International GmbH
BTS Company, d. o. o.
METTLER TOLEDO, d. o. o.
SIJ Ravne Systems, d. o. o.
TOPOMATIKA, d. o. o.
YASKAWA SLOVENIJA, d. o. o.
HOFFMANN KVALITETNA ORODJA, d.o.o.

Medijski partnerji: Revija IRT3000
Revija OBRTNIK-PODJETNIK
Revija VENTIL
Revija Računalniške novice

Oblikovanje, prelom
in priprava za tisk: Darko Švetak, s. p., Škofljica

Založnik in
izdajatelj: PROFIDTP, d. o. o., Škofljica

Tisk: Tiskarna SCHWARZ PRINT, d. o. o., Ljubljana

Naklada: 350 izvodov

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

338.45(497.4)(082)

001.895(082)

621(082)

INDUSTRIJSKI forum IRT (2018 ; Portorož)

Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma / [Indus-
trijski forum IRT 2018], Portorož, 4. in 5. junij 2018 ; [organizator
Profidtp] ; urednik Darko Švetak. - Škofljica : Profidtp, 2018

ISBN 978-961-94025-4-2

1. Gl. stv. nasl. 2. Švetak, Darko 3. Profidtp (Škofljica)

294808064

Programski odbor smatra, da je tematika prispevkov v skladu s cilji foruma, ne odgovarja pa za noben podatek ali drugo informacijo, podano v zborniku.

Deset let je šele začetek

Ljudje imamo radi obletnice, tako v zasebnem kot poslovnem življenju. Industrijski forum IRT je letos dosegel pomenljiv mejnik – organiziramo ga že desetič zapored. Ko nekaj narediš desetič, to po navadi znaš, tako narekuje logika krivulje učenja. Tudi organizatorji Industrijskega foruma IRT smo se v preteklih letih marsikaj naučili, zato verjamem, da je dogodek iz leta v leto boljši. Predvsem na račun kakovostnih vsebin, ki jih tudi letos ne manjka. Slednjim je namenjen zbornik, ki ga držite v rokah. Vsebine v njem so dodaten dokaz, da je Industrijski forum IRT v svojem prvem desetletju uspel uresničiti enega izmed svojih temeljnih ciljev – povezati industrijo z raziskovalno in izobraževalno sfero. Rek »Več glav več ve« namreč drži kot pribit. Danes živimo v svetu, polnem znanja. Nihče ne ve vsega, niti približno. Cilj doseči in ustvariti nekaj več pa lahko podjetja in podjetniki, podobno kot akademiki, uresničimo le s sodelovanjem.

Kako uspešno so nosilci znanj v industriji in širše letos sodelovali in kaj je nastalo, lahko vidite na naslednjih straneh – dovolj zgovoren je že pogled v kazalo, ki razkriva vrsto zanimivih dosežkov. Posameznih dosežkov ne bom izpostavljaj, to je naloga strokovne komisije, ki podeljuje priznanje TARAS. To bo, tako kot v preteklih letih romalo v roke nosilcev projekta, ki dokaže najuspešnejše sodelovanje gospodarstva in znanstvenoraziskovalnega okolja na področju inoviranja, razvoja in tehnologij.

Namen zbornika ni le na papirju zbrati strokovne in znanstvene prispevke, temveč lahko koristi kot posebne vrste ogledalo domači industriji ter razvojno-raziskovalnemu in izobraževalnemu okolju. Je nekakšen poslovni življenjepis. Že prelet preteklih zbornikov nam da hitro vedeti, v katere smeri je šel razvoj domačega gospodarstva, predvsem njegovega industrijsko-proizvodnega dela.

In čeprav se svet okoli nas digitalizira, zbornik vsaj za zdaj še ostaja v papirnati obliki. Bolj kot od samega nosilca informacij (papir ali elektronska datoteka) je namreč pomembna vsebina. Vsebina je tista, ki šteje. Nekateri ljudje pišejo dnevnik, spet drugi skrbijo, da njihova časovnica na družbenih omrežjih ni nikoli prazna, naš strokovni dogodek izdela zbornik, vse to so znaki aktivnosti – umske in fizične. Kadrovski strokovnjaki to označujejo za izjemno pozitiven znak – v njihovih

očeh namreč posameznik, ki v letu dni v svoj življenjepis (CV) ne doda nobenega vnosa, npr. osvojenega novega znanja, nazaduje. Logično, svet stalno napreduje, tudi postanek in počitek seveda prideta v poštev, a ne lenarjenje. Lenobnost je recept za težave.

No, da ne zaidem, vrnimo se k številki 10. Jubilejni Industrijski forum IRT je naš dokaz, da zmoremo in znamo – se učimo in razvijamo. Smisel in bistvo foruma ostajata enaka: spodbuditi inovativnost, razvojno usmerjenost in tehnološko odličnost kot pomembne dejavnike uspešnosti in boljše kakovosti življenja. Za vse nas.

Ko razmišljam o prihodnosti Industrijskega foruma IRT, se mi vedno znova utrne misel iz naslova: **deset let je res šele začetek.**

Portorož, junij 2018

Darko ŠVETAK



PROFIDTP, d. o. o.
Škofljica

Na povezavi ali preko črtne kode, lahko dostopate do mape, kjer se nahaja zbornik letošnjega Industrijskega foruma IRT 2018

<http://bit.do/zborniki-ifirt>

QR Code:



<http://bit.do/zborniki-ifirt>

VSEBINA

Strokovni prispevki foruma

ZAKAJ JE VODENJE TAKO POMEMBEN POKLIC IN KAJ IMA OPRAVITI S KONKURENČNOSTJO SLOVENIJE?

Saša MRAK, MBA
Združenja Manager

..... 3

ZADNJI TRIJE PREJEMNIKI PRIZNANJA MLADI MANAGER SO INŽENIRJI. NAKLJUČJE?

Mitja KOLBE
Slovenska industrija jekla d.d.

..... 9

ORODJARSTVO - Trendi v l. 2018 Digitalizacija ali Tooling 4.0

Janez POJE
KERN d.o.o.

..... 13

ANALIZA TEHNOLOŠKIH VPLIVOV NA TOČNOST IZDELAVE KOMPONENT ROTORJA KOLESNEGA ELEKTROMOTORJA

Luka STERLE¹, Franci PUŠAVEC¹, Matej BIČEK², Matjaž TIČAR²,
Uroš ŠERNEK², Nejc MIHELIC², Aleš VLAJ²

¹Laboratorij za odrezavanje (LABOD), Fakulteta za strojništvo, UL

²ELAPHE pogonske tehnologije d.o.o.

..... 21

AVTOMATIZIRANA LINIJA ZA IZDELAVO ALUMINIJASTIH ULITKOV

Vinko DREV, Andrej SMOLIČ
LTH Castings, d. o. o.

..... 27

HIDRAVLIČNI CILINDRI ZA STRANSKE POGONE PRI ORODJIH ZA TLAČNI LIV ALUMINIJA IN BRIZGANJE PLASTIKE

Marco ZANON¹, Janez POJE²

¹VEGA S.r.l, Italija, ²KERN d.o.o.

..... 31

IMPLEMENTACIJA VIJAČENJA S POMOČJO KOLABORATIVNEGA ROBOTA

Tadej VOVK, Noka KUNEJ
Hella Saturnus Slovenija d.o.o.

..... 35

ROBOTIZACIJA KOVAŠKE LINIJE

Luka PETKOVŠEK, Peter KEREC, Robert LOGAR
ABB d.o.o.

..... 43

ROBOTSKA CELICA ZA SKLADANJE MINERALNE VOLNE NAMENJENE IZOLACIJI

Hubert KOSLER¹, Aljoša ZUPANC¹, Damian ŠIRAJ², Erih ARKO²,
Igor PUGELJ², Tadej KOPRIVEC², Tomaž JEROVŠEK², Aleksander KOŠMRLJ²,
Matej MERKAČ¹

¹Yaskawa Slovenija d. o. o., ²Yaskawa Ristro d. o. o.

..... 47

ROBOTSKI SISTEM ZA VARJENJE _ LETINA Andrej KREFT DAIHEN VARSTROJ d.d.	.....	51
REŠEVANJE KOMPLEKSNIH PROBLEMOV V MALIH IN SREDNJIH PODJETJIH Anže CVENKEL, Andrej APOLLONIO Lotrič Certificiranje d.o.o.	.....	57
TOPLLOTNE IN MIKROSTRUKTURNE LASTNOSTI EMAJLOV IN EMAJLIRANE JEKLENE PLOČEVINE Blaž KARPE ¹ , Žan FERČAK ¹ , Boštjan BAVEC ² , Milan BIZJAK ¹ , Aleš NAGODE ¹ , Borut KOSEC ¹ ¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta ² Gorenje d.d.	.....	63
MERILNA NAPRAVA ZA MERJENJE KARAKTERISTIK MAGNETNEGA TRAKU Marko MIRNIK ¹ , Jože VOVK ² , Peter KOLAR ² , Goran CVETKOVIĆ ¹ , Aleš PLEŠNIK ¹ , Brane PUNGARTNIK ¹ ¹ TURNA d.o.o. ² Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru	.....	69
KONTROLNA PRIPRAVA Boštjan KIRN ¹ , Igor MUBI ² ¹ PS d.o.o. Logatec ² PRECISIUM d.o.o.	.....	75
IOT VISION SENZOR SKLADEN Z OPC UA VISION CS, KOMUNIKACIJSKIM STANDARDOM TOVARN PRIHODNOSTI Jure SKVARČ Kolektor Orodjarna d.o.o.	.....	81
UPORABA FPGA PROGRAMABILNEGA LOGIČNEGA VEZJA V INDUSTRIJSKIH APLIKACIJAH STROJNEGA VIDA Tadej PERŠAK ¹ , Branka VILTUŽNIK ¹ , Robert AGNIČ ¹ , Simon KLANČNIK ² ¹ Plastika Skaza, d. o. o. ² Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru	.....	85
PREVERJANJE KVALITETE REBRIČENIH GREDI Z UPORABO STROJNEGA VIDA Jakob MAROLT ¹ , Simon KLANČNIK ² ¹ Fakulteta za logistiko, Univerza v Mariboru ² Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru	.....	91
SISTEM ZA VIZUALNI NADZOR REZALNIH ORODIJ NA OBDELOVALNIH STROJIH Uroš ŽUPERL, Franc ČUŠ Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo	.....	99

OPTIMIZACIJA PROCESNIH PARAMETROV ZA STABILIZACIJO IN IZBOLJŠANJE SPOSOBNOSTI STRUŽENJA Luka ČERČE ¹ , Andrej MLINAR ² , Davorin KRAMAR ¹ ¹ Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, ² LTH Castings d.o.o.	.....	103
INTEGRIRANE REŠITVE ZA KONTROLO V PROIZVODNIH PROCESIH V SKLADU S STRATEGIJO INDUSTRIJE 4.0 Simon SMOLNIKAR RLS, d. o. o.	.....	109
INOVATIVNE TEHNOLOGIJE BRUŠENJA V PROIZVODNJI MOTORNH GREDI V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI Radovan DRAŽUMERIČ ¹ , Jeffrey BADGER ² , Roope ROININEN ³ , Franci PUŠAVEC ¹ , Peter KRAJNIK ^{1,4} ¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija ² The International Grinding Institute, San Antonio, TX, USA ³ Scania CV AB, Södertälje, Sweden ⁴ Chalmers University of Technology, Department of Industrial and Materials Science, Gothenburg, Sweden	.....	113
ZAGOTAVLJANJE GLADKEGA ROBU NA UTORIH ŠTANCANIH STATORSKIH PAKETOV Špela BOLKA ¹ , Vitoslav BRATUŠ ² ¹ NELA razvojni center, d.o.o. ² Hidria Rotomatika, d.o.o.	.....	117
VPLIV UVAJANJA POSTOPKA OPTIČNEGA SKENIRANJA NA USPEŠNOST VZORČENJA NOVIH ORODIJ IN IZDELKOV Andrej GUSEL MLM, d.d.	.....	123
IMPLEMENTACIJA 3D TEHNOLOGIJ Klemen PETRIČ ¹ , Dejan MRAK ¹ , Josip KOS ² ¹ KOLEKTOR Group ² TOPOMATIKA d.o.o.	.....	129
S POMOČJO 3D SKENIRANJA IN VZVRATNEGA INŽENIRSTVA DO PROTOTIPNIH ORODIJ ZA OKLEPE MOTORJEV Luka BOTOLIN ¹ , Peter KUDUZ ² ¹ TECOS ² Karbonin d.o.o.	.....	137
PREIZKUS NATANČNOSTI DENTALNEGA TRIRAZSEŽNEGA OPTIČNEGA SKENERJA Tomaž BRAJLIH, Špela EKSELENSKI, Urška KOSTEVŠEK, Igor DRSTVENŠEK Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo	.....	141
TEHNIČNE ZAHTEVE ZA ORODJA – KLJUČ DO KVALITETNEGA ORODJA IN IZDELKA Aleš ADAMLJE Hella Saturnus Slovenija d.o.o.	.....	145

UPORABA SISTEMA ZA OKROGLO FINO CENTRIRANJE

Andrej MAČEK¹, Marjan DOBOVŠEK²

¹SIBO GROUP d.o.o.

²VPENJALNI SISTEMI d.o.o.

..... 151

PRIMERJALNA ANALIZA KONVENCIONALNEGA IN KONFORMNEGA HLADILNEGA SISTEMA V ORODJIH ZA BRIZGANJE PLASTIKE

Andrej GLOJEK, Bojan PODPEČAN, Anton KOČAR, Vesna ŽEPIČ BOGATAJ

TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije

..... 157

FLEXMOULD: SAMOREGULIRAJOČA FLEKSIBILNA ORODJA ZA BRIZGANJE POLIMERNIH MATERIALOV

Robert BIZJAN¹, Dominik KOBOLD², Boštjan ŠMUC¹, Dragan KUSIĆ²,

Andrej GLOJEK²

¹Bizjan orodjarstvo, proizvodnja in storitve d.o.o.

²TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije

..... 161

NOVOST NA TRŽIŠČU LJUBITELJEV PSOVLISHINU _ POVODEC ZA SPREHAJANJE PSOVL

Barbara Wilkesmann Hočevar, Rok Žvagen

CHEMETS d.o.o.

..... 167

UPORABA 3D - DMLS TEHNOLOGIJE V INDUSTRIJI VELIKI PRIHRANKI V PROIZVODNJI Z UPORABO »Additive Manufacturing«.

Čas je denar !!

O izboljšavah ne sanjamo, temveč jih skupaj z vami ustvarjamo.

Mario ŠINKO

MARSI, Mario Šinko s.p.

..... 171

AMPO – ADDITIVE MANUFACTURING POWDER

Manfred REITER

voestalpine Böhler Edelstahl GmbH & Co KG

..... 173

ADITIVNA IZRADA POLIMERNIH KALUPA ZA MALOSERIJSKU PROIZVODNJO

Damir GODEC, Robert SURMA, Ana PILIPOVIĆ, Miodrag KATALENIĆ

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

..... 177

PROBLEMATIKA BRIZGANJA POLIZDELKOV VEČJIH DIMENZIJ

Aleš MEDVED, Aleš ADAMLJE, Matija OBOLNAR

Hella Saturnus Slovenija d.o.o.

..... 181

SPEKTROFOTOMETRIJA – VSESTRANSKO ORODJE ZA ANALIZO DEGRADACIJE POLIMEROV?

Thomas WILHELM, Teja PEŠL, Silvester BOLKA

Fakulteta za tehnologijo polimerov

..... 185

VPLIV DODAJANJA PA RECIKLATA SVEŽEMU PA NA MEHANSKE IN TOPLOTNE LASTNOSTI BRIZGANIH KOSOV

Teja PEŠL¹, Branka VILTUŽNIK², Silvester BOLKA¹, Thomas WILHELM¹

¹Fakulteta za tehnologijo polimerov, ²Plastika Skaza, d.o.o.

..... 189

OPTIMIZACIJA IN NADZOR PROCESA BRIZGANJA DEKORATIVNIH POLIZDELKOV Z OPTIČNIMI ZAHTEVAMI Aleš ADAMLJE, Anet ROŽIČ Hella Saturnus Slovenija d.o.o.	.....	193
BIOKOMPOZIT „MADE IN SLOVENIA“ IZ VLAKEN MISKANTUSA IN PE-HD MATRICO UPORABEN ZA BRIZGANJE TEHNIČNIH IZDELKOV Silvester BOLKA ¹ , Ana DRMOTA PETRIČ ² , Aleš ŠPILER ³ , Thomas WILHELM ¹ , Teja PEŠL ¹ , Janez SLAPNIK ¹ , Rajko BOBOVNIK ¹ ¹ Fakulteta za tehnologijo polimerov, ² Kolektor Group d.o.o. ³ Krilotim, obnovljivi viri energije d.o.o.	.....	197
IZBOLJŠAVA NATANČNOSTI POSTOPKA DOLOČITVE DELEŽA STEKLENIH VLAKEN V KOMPOZITNEM LAMINATU Ted PRODAN MARE d.o.o. Center za eksperimentalno mehaniko, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani	.....	203
POLIURETAN KOT MATRICA ZA KOMPOZITE Silvester BOLKA, Thomas WILHELM, Teja PEŠL Fakulteta za tehnologijo polimerov	.....	209
REZKARJI KROŽNEGA IZSEKA - INOVATIVNA REŠITEV OBDELAVE Rok VOLK ¹ , Markus RÖSEL ² ¹ EMUGE-FRANKEN tehnika d.o.o. ² EMUGE-FRANKEN, Nemčija	.....	213
APPLICATIONS OF PLASMA TECHNOLOGY Jörg EISENLOHR plasma technology GmbH	.....	217
TEORIJA IN PRAKSA UPORABE VEČKOMPONENTNIH ARGONSKIH MEŠANIC ZA VARJENJE V INDUSTRIJSKE NAMENE Edvard BJELAJAC, IWE Messer Slovenija d.o.o.	.....	221
RAZVOJ IN PROIZVODNJA NAJVEČJIH ROBOTSKIH KLEŠČ NA SVETU Jožef KOČEVAR ml. KOČEVAR IN SINOVI d.o.o.	.....	225
PROFESSIONAL AIR AND DUST CLEANING IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS Guido ROCCHINOTTI ¹ , Tomaž VONČINA ² ¹ ZEHNDER Group Deutschland GmbH, Clean Air Solutions ² SIES napredne restive d.o.o.	.....	229
TRENDI IN NADZOR STANJA HIDRAVLIČNIH TEKOČIN Milan KAMBIČ Olma d.o.o.	.....	233

IZAZOVI I RJEŠAVANJE PROBLEMA U PROIZVODNJI ODLJEVAKA OPTIČKIM 3D MJERENJEM Tomislav HERCIGONJA, Josip KOS, Nenad DRVAR TOPOMATIKA d. o. o.	.....	239
VIZUALNA ERGONOMIJA Z UPORABO KOREKCIJSKIH ZAŠČITNIH OČAL Zvone BALANTIČ ¹ , Dejan ALJANČIČ ² ¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede ² Alcom d.o.o.	.....	245
VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE NA LASTNOSTI ADITIVNO IZDELANIH NAVAROV IZ MARAGING JEKLA Damjan KLOBČAR ¹ , Maja LINDIČ ¹ , Boštjan PODLIPEC ² , Andrej GLOJEK ³ , Peter KASTELIC ⁴ ¹ Fakultata za strojništvo, Univerza v Ljubljani ² RAZVOJNI CENTER JESENICE, družba za razvoj novih materialov in tehnologij d.o.o. ³ TECOS, razvojni center orodjarstva Slovenije ⁴ Daihen VARSTROJ, d.d.	.....	251
VPLIV IZHODIŠČNE MIKROSTRUKTURE NA SFEROIDIZACIJSKO ŽARJENJE JEKLA C60 Simon REČNIK, Blaž KARPE, Sergej NOVAK, Matija ZORC, Borut KOSEC, Aleš NAGODE Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo	.....	257
VZDRŽEVANJE V SKLOPU INDUSTRIJE 4.0 Dušan BOŽIČ ¹ , Jochen KINAUER ² , Klemen LISEC ¹ ¹ Inden d.o.o. ² camLine GmbH	.....	263
NAPREDNE METODE VEČKRITERIJSKE OPTIMIZACIJE V INDUSTRIJI 4.0 Robert OJSTERŠEK, Iztok PALČIČ, Borut BUCHMEISTER Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo	.....	267
VPLIV PARAMETROV MEHANSKE OBDELAVE NA POVRŠINSKO POROZNOST ZAPRTO-CELIČNE PENE FOAMTECH® Boštjan RAZBORŠEK, Ivo PAHOLE, Mirko FICKO Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo	.....	271
KOMERCIALNI OGLASI PODJETIJ	.....	285

Strokovni prispevki

ZAKAJ JE VODENJE TAKO POMEMBEN POKLIC IN KAJ IMA OPRAVITI S KONKURENČNOSTJO SLOVENIJE?

Saša MRAK, MBA
Združenja Manager

IZVLEČEK

Voditeljstvo oziroma vodenje, njegovo vrednost, pomembnost in učinke lahko, čeprav se ga povezuje z mehкими veččinami, utemeljimo s čisto merljivimi podatki. Kako dobro vodimo v Sloveniji in v kakšnih organizacijskih sistemih delujemo? Zakaj je upravljanje človeškega kapitala (še le zdaj) postalo enako pomembno kot upravljanje finančnega? Kje so naši največji izzivi in kaj lahko naredi management, da Slovenijo na svetovni lestvici konkurenčnosti dvigne višje?



Konkurenčnost in človeški kapital

WORLD
ECONOMIC
FORUM

Only **62%**
of global human capital
is currently developed



Source: Global Human Capital Report 2017, World Economic Forum

Konkurenčnost in človeški kapital

Slovenija globalno:

- Global Talent Competitiveness
Index (GTCI):

2016: 26. mesto
Danes: 28. mesto

Table 6

Country ranks and 90% confidence intervals for the GTCI2017 and its Input/Output sub-indices

COUNTRY	GTCI 2017		INPUT SUB-INDEX		OUTPUT SUB-INDEX	
	RANK	INTERVAL	RANK	INTERVAL	RANK	INTERVAL
Switzerland	1	[1, 1]	1	[1, 1]	3	[3, 3]
Singapore	2	[2, 2]	2	[2, 2]	2	[2, 2]
United States of America	3	[3, 8]	11	[6, 18]	1	[1, 1]
Norway	4	[4, 6]	3	[2, 5]	7	[5, 12]
Sweden	5	[4, 10]	4	[2, 10]	6	[5, 7]
Finland	6	[6, 7]	8	[7, 10]	4	[4, 5]
Denmark	7	[6, 7]	5	[4, 5]	8	[7, 9]
United Kingdom	8	[6, 9]	6	[5, 7]	12	[8, 13]
Netherlands	9	[8, 11]	9	[5, 11]	11	[8, 14]
Luxembourg	10	[9, 14]	7	[5, 13]	20	[18, 20]
Australia	11	[10, 13]	10	[8, 12]	14	[11, 15]
New Zealand	12	[8, 18]	12	[8, 18]	13	[12, 14]
Ireland	13	[10, 13]	13	[11, 18]	10	[10, 11]
Iceland	14	[13, 13]	17	[17, 18]	5	[4, 7]
Canada	15	[14, 16]	15	[14, 16]	16	[13, 17]
Belgium	16	[15, 16]	14	[14, 16]	18	[14, 18]
United Arab Emirates	17	[14, 21]	18	[15, 19]	15	[12, 20]
Austria	18	[17, 18]	16	[14, 17]	22	[19, 23]
Germany	19	[14, 18]	19	[18, 20]	17	[14, 20]
Japan	20	[20, 23]	21	[20, 24]	23	[21, 23]
France	21	[20, 23]	22	[21, 23]	21	[19, 21]
Estonia	22	[20, 23]	24	[22, 24]	19	[16, 21]
Qatar	23	[20, 23]	20	[19, 21]	33	[32, 40]
Israel	24	[19, 24]	27	[25, 28]	9	[7, 11]
Czech Republic	25	[24, 25]	23	[22, 24]	27	[25, 27]
Malta	26	[25, 27]	26	[25, 27]	26	[25, 27]
Malaysia	27	[24, 27]	25	[24, 27]	29	[28, 30]
Slovenia	28	[28, 29]	33	[30, 34]	25	[24, 30]
Portugal	29	[28, 30]	28	[27, 28]	34	[32, 35]
Korea, Rep.	30	[28, 31]	35	[32, 37]	24	[21, 24]
Spain	31	[30, 31]	29	[28, 30]	18	[16, 18]
Lithuania	32	[32, 33]	31	[30, 34]	39	[36, 40]

Zakaj je to
sploh
pomembno?

PWC, 2015 – 73% MANAGERJEV:
»KJE NAJTI TALENTE?«

(20 YEARS INSIDE THE MIND OF THE CEO... WHAT'S NEXT?)

Kaj je
povzročilo tako
obsežno
spremembo?



Kako uspešni smo pri upravljanju človeškega kapitala?

»Finančnega kapitala je ogromno, a se ga še vedno upravlja izredno previdno; človeškega kapitala je premalo, a se z njim ne upravlja previdno. Zakaj? Deloma zato, ker cenimo in nagradujemo dobro upravljanje finančnega kapitala. In to merimo. Uspešni managerji so visoko čislani za njihovo pametno upravljanje. A današnji vodje morajo biti enako uspešni tudi pri upravljanju človeškega kapitala.«

Eric Garton

(iz revije HR&M, uvodnik, Saša Mrak)

Tudi z dobrim vodenjem do večje produktivnosti



20 %

"... So si od leta 2009 dalje zastavili cilj povečati produktivnost za deset odstotkov letno. **Okoli sedem desetih povečane produktivnosti so sicer dosegli z mehкими metodami, kot sta boljša organizacija dela in izobraževanje zaposlenih**, tri desetine pa z investicijami v avtomatizacijo proizvodnje."

(Aleksander Zalaznik, generalni direktor Danfoss Trata in Predsednik Združenja Manager, STA, Finančna konferenca, maj 2018)

V kateri fazi je
vaše podjetje?



Dobri rezultati,
na pravi način.

Strateški
cilji

Sodobno voditeljstvo

Mentorstvo 4.0

Povezovanje in
združevanje

Profil člana

Po spolu



Po ravni managementa

65%

višji
management

24%

srednji
management

11%

ostalo



Po velikosti podjetja

42%

velika
podjetja

14%

srednja
podjetja

44%

mala
podjetja

Struktura članstva

Uspehi članov Združenja Manager*

- ▶ **30 %** višja dodana vrednost
- ▶ **46 %** višji prihodki na zaposlenega
- ▶ **181 %** višji dobiček na zaposlenega
- ▶ **20 %** višja povprečna plača

*glede na povprečje slovenskega gospodarstva

Vir: Bisnode, 2016

ZADNJI TRIJE PREJEMNIKI PRIZNANJA MLADI MANAGER SO INŽENIRJI. NAKLJUČJE?

Mitja KOLBE
Slovenska industrija jekla d.d.

IZVLEČEK

Sekcija mladih v okviru Združenja Manager vsako leto med svojimi stanovskimi kolegi poišče tiste, ki so že na samih začetkih svoje managerske poti prepoznani po odličnosti vodenja in izjemnih rezultatih. Današnje poslovno okolje ne dopušča več možnosti uspeha brez inovacij, zato moramo managerji imeti izjemen posluh za inovacije - tako tehnološke, kot inovacije poslovnih modelov. Zato ni naključje, da je med nominiranci in prejemniki tega priznanja vse več managerjev z inženirsko izobrazbo.

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Zadnji trije prejemniki priznanja Mladi manager so
inženirji. Naključje?



IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Zakaj podeljujemo priznanje?

- Na **zemljevid slovenskega managementa** želimo postaviti mlade, uspešne managerke in managerje.
- Izpostavljammo stanovske kolege, ki so že na samih začetkih svoje managerske poti prepoznani po **odličnosti vodenja**.
- Nagradujemo izjemne posameznike, ki s prvimi koraki že uspešno **gradijo zaupanje in spoštovanje** tako v širšem prostoru kot znotraj svojega kolektiva.
- Prepoznavamo mlade vzornike, ki svoje poslovne rezultate in uspehe gradijo na **najvišjih standardih profesionalnega in etičnega managementa**.

IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Kdo so prejemniki priznanj?

- V preteklosti:
Mlade managerke in managerji, ki **vodijo velika podjetja**: Toni Balažič, Gregor Pilgram, Tomaž Berločnik, Tanja Skaza, Boštjan Gorjup, Janko Medja, Iztok Seljak,...
- Zadnja leta:
Mlade managerke in managerji, ki so **ustanovili podjetje** in ga razvili v globalno prepoznanega igralca na svojem področju: Gregor Rebolj, Kliko, Gorazd Lampič, Elaphe, Enej Kuščer, Acies Bio.



IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Kje so nekateri med njimi danes?

- **Boštjan Gorjup** -> predsednik Gospodarske zbornice Slovenije
- **Iztok Seljak** -> predsednik uprave Hidrie, inoviranje na področju mobilnosti
- **Lovro Peterlin** -> predsednik Sekcije mladih managerjev, član prestižne globalne žirije za izbor mednarodne nagrade s področja direktnega marketinga in prodaje ECHO Awards
- **Tomaž Berločnik** -> predsednik uprave Petrola, predsednik Košarkarskega kluba Olimpija in prejemnik nagrade Primus za odličnost v poslovnem komuniciranju
- **Gorazd Lampič** -> pionir na področju razvoja tehnologije za direktni pogon električnih vozil, podpis pogodbe s kitajskimi partnerji, številne nagrade za inovacije
- **Enej Kuščer** -> zdravilo za redke otroške bolezni, iz odpadne sirotke, vitamin B12 (nagrada Evropske agencije za zdravila), Slovenski Start-Up 2008



IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Njihova vloga v družbi

- Vzor in spodbuda drugim
- Pozicioniranje Slovenije in dvig konkurenčnosti države
- Višji cilji – tudi izven lastnega podjetja:
 - družbena odgovornost,
 - boljša prihodnost,
 - zelene tehnologije,
 - večja konkurenčnost,...

IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Kako na uspeh vpliva število inženirjev – vodij?

Dve tretjini našega gospodarstva vodijo družboslovci in le tretjina inženirjev. V Nemčiji je 92 % managerjev inženirjev. Podobno je v ZDA.

Vir: [Dr. Marko Kos, Svet kapitala](#)

IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

Združenje Manager

Sekcija mladih managerjev

Kako postati boljši?

Z dobrim pastirjem tudi ovce postanejo zvezde.

Vir: <https://metinajta.si/z-dobrim-pastirjem-tudi-ovce-postanejo-zvezde/>

IRT Forum 2018

Mitja Kolbe

ORODJARSTVO - Trendi v l. 2018 Digitalizacija ali Tooling 4.0

Janez POJE
KERN d.o.o.

IZVLEČEK

Dejstvo je, da razvoj tehnologij še nikoli v zgodovini ni bil tako intenziven in učinkovit, kot smo mu priča v zadnjem obdobju. Lahko bi rekli, da tehnologija nima več meja. Orodjarstvo je pomemben del te razvojne dinamike, ki ustvarja tehnološko inovacijo in implementira tehnološki napredek v lastne procese razvoja in izdelave orodij za množinsko proizvodnjo. ISTMA je organizacija, ki globalno povezuje orodjarski sektor ter poskuša interpretirati ključne kazalnike sektorja ter zastopati člane v drugih strukturah in inštitucijah. Orodjarstvo je globalna panoga z globalnim interesom. Razvoj panoge je strateška smer vsake napredne ekonomije in večina nacionalnih združenj posebej spremlja razvoj panoge in razvija sistemske spodbude za trajnostni razvoj panoge. Orodjarstvo je globalno ne le na področju prodaje, ampak tudi na področju ključnih sistemskih problemov, ki se rešujejo na zelo podoben način. Slovenija je orodjarska dežela in ekonomija, ki je izrazito izvozno usmerjena. Pomeni, da je konkurenčna, s primernim razvojno – tehnološkim znanjem ter učinkovito tehnološko realizacijo. Orodjarstvo je v programu t.i. pametne specializacije in je pomemben vzvod v novi konjunkturi slovenskega gospodarstva. Poskrbimo, da ta svetla luč ne izgubi sijaja.

1. ORODJARSTVO – tržni kazalniki
2. ISTMA
3. Aktualne informacije

	Economy	Score ¹	Prev. ²	Trend ³
1	Switzerland	5.86	1	-----
2	United States	5.85	3	-----
3	Singapore	5.71	2	-----
4	Netherlands	5.66	4	-----
5	Germany	5.65	5	-----
6	Hong Kong SAR	5.53	9	-----
7	Sweden	5.52	6	-----
8	United Kingdom	5.51	7	-----
9	Japan	5.49	8	-----
10	Finland	5.49	10	-----
11	Norway	5.40	11	-----
12	Denmark	5.39	12	-----
13	New Zealand	5.37	13	-----
14	Canada	5.35	15	-----
15	Taiwan, China	5.33	14	-----
16	Israel	5.31	24	-----
17	United Arab Emirates	5.30	16	-----
18	Austria	5.25	19	-----
19	Luxembourg	5.23	20	-----
20	Belgium	5.23	17	-----

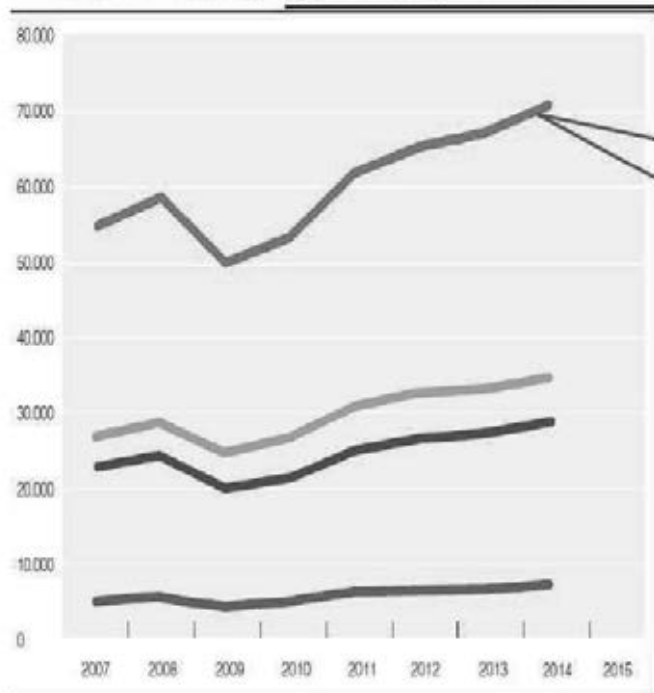
Global Competitiveness Report
 2017-2018, WEF

V TOP 20 najproduktivnejših ekonomij, jih je 11 iz Evrope, oziroma iz ZAHODNE Evrope.

INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**

Proizvodnja, izvoz, uvoz



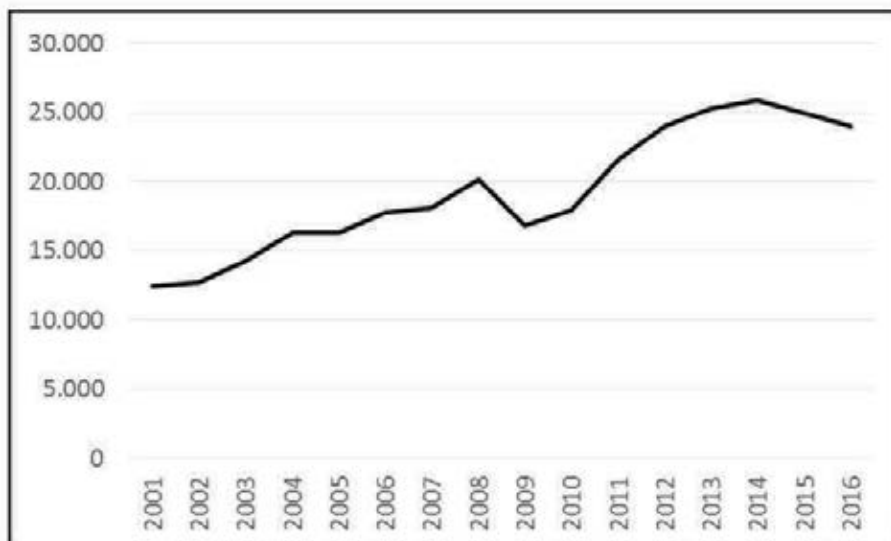
Vrednost proizvodnje orodij in opreme je presegla 70 mia USD, v regijah, kjer ISTMA spremlja prodajne tokove.

Industrijski forum 2018, Portorož

Trg se umirja

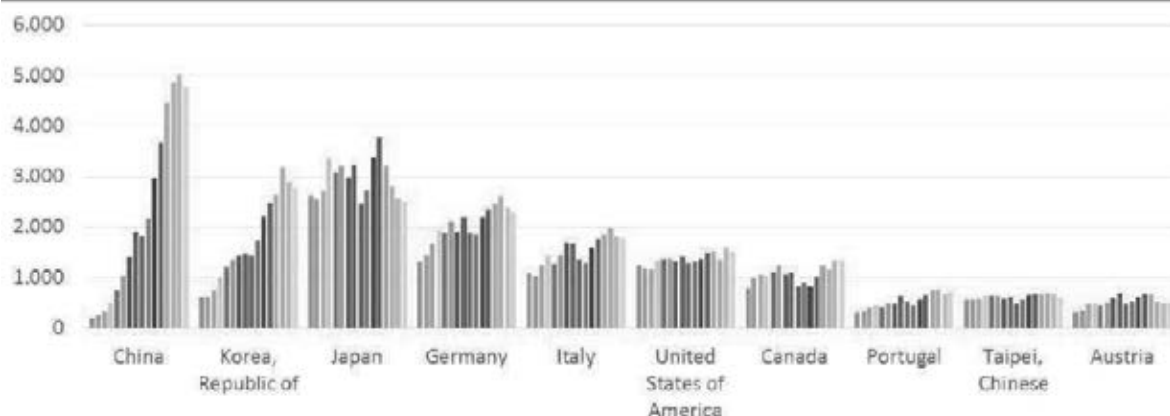


Svetovno združenje ISTMA predstavlja zadnje zbrane podatke o obsegu proizvodnje in prodaje orodij in opreme, skladno z metodologijo in dostopnimi podatki.

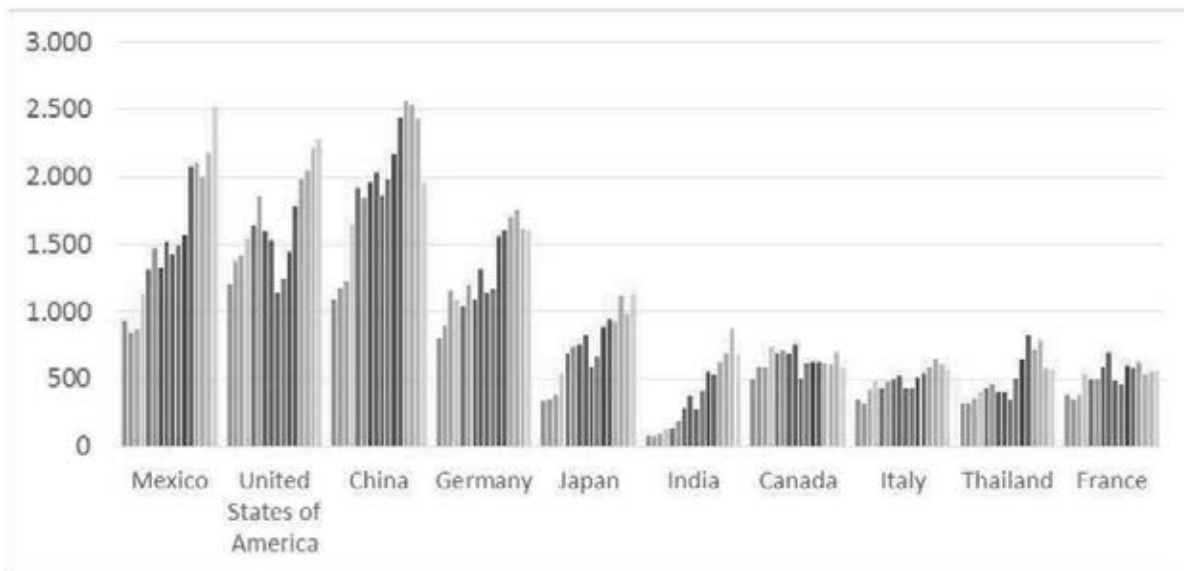


Slika 1:
vrednost
svetovnega
izvoza orodij

TOP 10 svetovnih izvoznikov

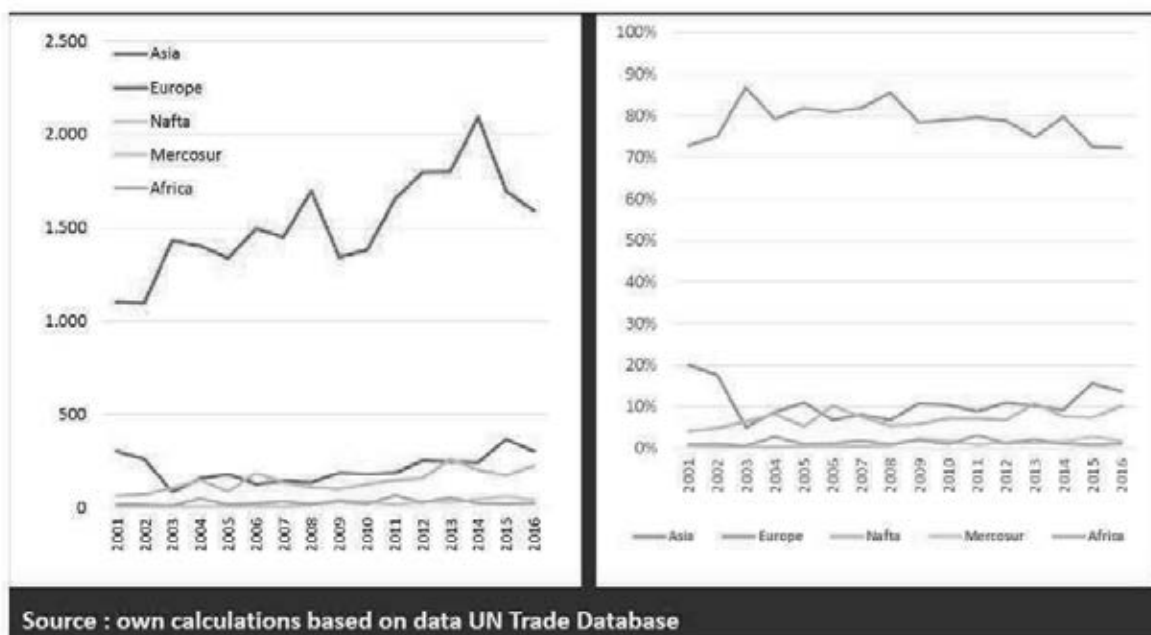


Graf 1: prikaz vrednosti izvoza glavnih izvoznikov [v mio] za obdobje 2001 – 2016; vir: ISTMA statistics

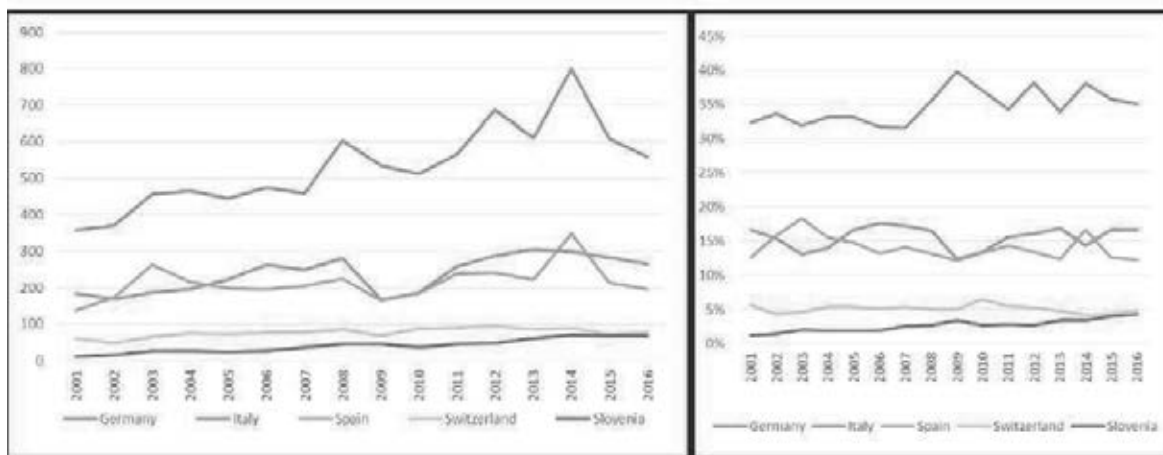


Graf 3: prikaz vrednosti uvoza glavnih uvoznic [v mio \$] za obdobje 2001 – 2016;
 vir: ISTMA statistics

Industrijski forum 2018, Portorož



SLO je pomemben igralec na segmentu orodij za preobl. pločevine



Industrijski forum 2018, Portorož

Tooling 4.0



Ključno: (1) storilnost virov in povečevanje izhodne realizacije, (2) novi ECO poslovni modeli, nova partnerstva, ki temeljijo na podobnih razvojnih konceptih, (3) dolgoročno zagotavljanje zaposlenih, ki razumejo novo paradigmo dela.



- Združevanje kibernetkega in realnega sveta, je pozitivni imperativ mladih,
- Čisto delovno okolje
- Izjemna organizacija v kateri se prepozna karierna pot,
- Družbena prepoznavnost rezultatov podjetja,
- Notranje (socialno) mreženje,
- Programsko zaključena agenda usposabljanja,
- Vključevanje staršev v promocijo branže in poklicev, ki so aktualni v orodjarstvu,
- HR funkcija vzpostavljena že v šolah in univerzah,
- Poudarjanje internacionalizacije.

Industrijski forum 2018, Portorož

Digital ECONOMY & INDUSTRY

FROM MASS PRODUCTION TO MASS
CUSTOMIZATION

Fleksibilna proizvodnja, kratki dobavni
časi, „vse za kupca“

FROM VOLUME SCALE EFFECT TO
LOCALIZED & FLEXIBLE UNITS

Iz velikih – specializiranih tovarn v LCC v
nove t.i. SMART produkcijske sisteme, ki
so konkurenčni „povsod“.

FROM PLANNED MAKE TO STOCK TO
DYNAMIC MAKE TO ORDER

Prehod iz koncepta planiranja in
napovedovanja potreb v dinamični
produkcijski sistem.

FROM PRODUCT TO USAGE

Servis postaja osnovna – prva funkcija
poslovnih modelov.

FROM COST DRIVEN TO ROCE DRIVEN

Še višja pričakovanja po donosnosti
vezanega kapitala.

FROM TAYLORISM TO FLEXIBLE WORK
ORGANIZATION

Prožnost, paralelnost aktivnosti,
informacijske povezave na vseh nivojih
organizacije

FROM HARD WORKING CONDITIONS TO
ATTRACTIVE WORKING SPACE

Razvoj novega proizvodnega okolja, ki
ne odbija, ampak privlači ...

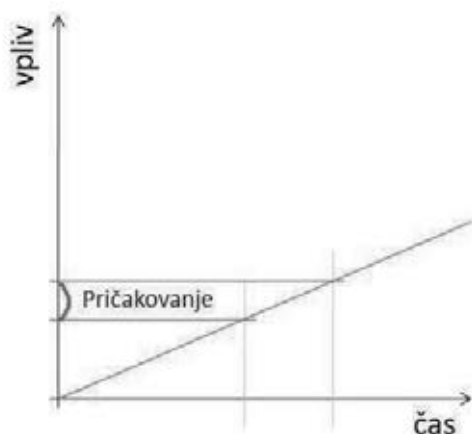
Industrijski forum 2018, Portorož

NE!

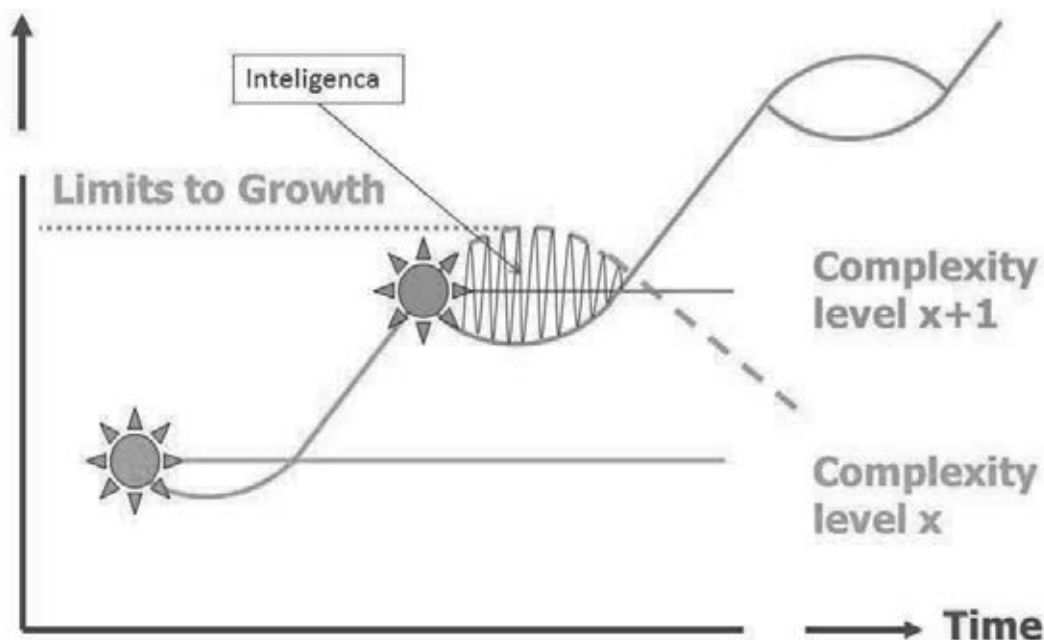
Nove tehnologije bodo ali že spreminjajo naravo dela na vseh področjih in vseh poklicih. Bistvo negotovosti je povezano z obsegom v katerem bo avtomatizacija nadomestila delavca.

Vodje bomo morali pripraviti delavce in razvijati sistema usposabljanja za delo, da bodo le ti lahko sodelovali v t.i. inteligentnih sistemih, skupaj z inteligentnimi stroji.

Industrijski forum 2018, Portorož



Industrijski forum 2018, Portorož



Industrijski forum 2018, Portorož

Vir: ailab.ijs.si

- Organizacija in realizacija prodaje, s poudarkom na natančnosti kalkulacije
- Po-prodajne aktivnosti in storitve,
- Osredotočanje na aktivnosti z visoko dodano vrednostjo,
- Zaposleni iz orodjarskega sektorja imajo visok rating...
- Digitalizacija je tudi v orodjarstvu MEGA TREND
- BE EFFECTIVE – slogan, ki ga slišimo na vsakem koraku. (OEE: overall equipment efficiency indicator)
- Razvite ekonomije že dosegajo ca. 200.000€ prodaje / zap
- Skrb za zaposlene in njihovo zadovoljstvo
- Sprememba izobraževalnega sistema – migracija s sistemom usposabljanja.

Industrijski forum 2018, Portorož

ANALIZA TEHNOLOŠKIH VPLIVOV NA TOČNOST IZDELAVE KOMPONENT ROTORJA KOLESNEGA ELEKTROMOTORJA

Luka STERLE¹, Franci PUŠAVEC¹, Matej BIČEK², Matjaž TIČAR², Uroš ŠERNEK², Nejc MIHELIC², Aleš VLAJ²

¹Laboratorij za odrezavanje (LABOD), Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

²ELAPHE pogonske tehnologije d.o.o.

IZVLEČEK

Elektromotorji podjetja Elaphe se vgrajujejo znotraj koles električnih vozil, kar zahteva visok navor zaradi neposrednega prenosa, individualno krmiljenje koles ter visok izkoristek (>93%). Za doseg le-tega morajo biti komponente izdelane v zahtevnih tolerančnih območjih, kar je problematično pri izdelavi komponent rotorja, kjer se srečujemo s tankostenskimi obdelovanci velikih premerov. Sile pri vpenjanju in obdelavi lahko znatno vplivajo na dimenzijsko in geometrijsko točnost, zato je bil za potrebe študije razvit merilni sistem, s katerim so bile merjene rezalne sile ter deformacije tankostenskih obdelovancev med samim procesom struženja, po obdelavi pa je bila točnost izdelave določena še s koordinatnim merilnim strojem. Ugotovili smo, da so deformacije zaradi obdelave še znotraj dopustnih meja, se pa posledično v materialu pojavljajo zaostale napetosti, katerih napetostno stanje vpliva na točnost izdelka. Na podlagi tega je bil v zaključku študije predlagan vmesni postopek žarjenja za odpravo notranjih napetosti pred končno fino obdelavo in izvedena primerjava doseganja geometrijske in dimenzijske točnosti v odvisnosti od tehnoloških parametrov.

1 UVOD

Podjetje Elaphe pogonske tehnologije d.o.o. izdeluje kolesne elektromotorje, ki morajo zadostiti številnim zahtevam, netipičnim za druge tipe elektromotorjev. Zaradi direktno gnanega kolesa je prva zahteva po visokem navoru, ki ob relativno nizkih obratih omogoča doseganje zahtevane visoke moči pogona. Za primerjavo s centralno pozicioniranimi elektromotorji ali vse bolj uporabljenimi elektromotorji na prednji in zadnji osi vozila (Slika 1), imajo ti motorji najvišje obrate enake kot so obrati kolesa, torej v območju do 1200 ali 1500 obratov na minuto za večino osebnih vozil.



Slika 1: Pogonski sklop Tesle S z motorjem na prednji in zadnji premi [1].

Centralno ali na osi nameščeni elektromotorji imajo navadno obrate v območju do 12000 obratov na minuto, za prenos navora do koles pa mehanski prenos, ki poleg polosi vključuje tudi menjalnik ali fiksni reduktor (Slika 2).



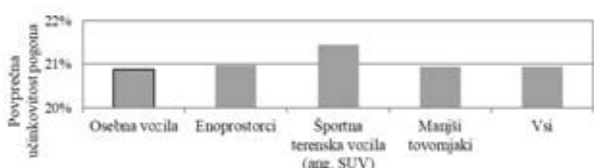
Slika 2: Rimac Concept One s štirimi motorji, po dva na prednji in zadnji osi [2].

Starejše arhitekture, ki se uporabljajo pri motorjih s centralno nameščenim motorjem z notranjim izgorevanjem uporabljajo poleg tega še diferencial(a) in kardan kot prikazano na sliki 3.



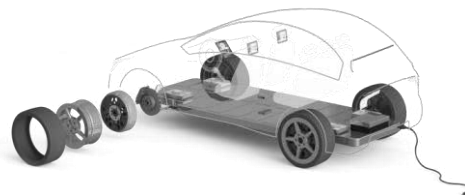
Slika 3: Štirikolesni pogonski sklop vozila z motorjem na notranje izgorevanje [3].

Vsi ti elementi majo mehanske izgube, ki zmanjšujejo energijsko učinkovitost celotnih pogonov konvencionalnih vozil in želja pri direktnih pogonih je uporaba elektromotorjev s čim boljšim izkoristkom za čim prepričljivejše prednosti v obdobju ko avtomobilska industrija tehnologije kolesnih elektromotorjev še ni sprejela za konvencionalno. Slika 4 prikazuje povprečne energijske izkoristke pogonov vezane na vozila s centralno nameščenimi motorji z notranjim izgorevanjem.



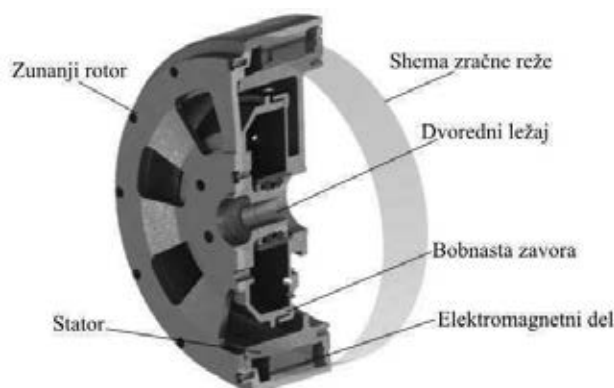
Slika 4: Energijski izkoristki celotnih pogonov z motorjem na notranje izgorevanje za različne tipe vozil v letu 2013 [4].

Elektromagnetna konstrukcija je pri kolesnih elektromotorjih definirana za doseganje maksimalnega energijskega izkoristka, ki v posameznih delovnih točkah dosega vrednosti >93% v voznem ciklu WLTP pa 87%. Ti izračuni so narejeni za pogonsko arhitekturo z dvema gnanima kolesoma na zadnji osi in za manjše mestno vozilo dovoljene bruto teže 1,65t. Na doseganje elektromagnetnih lastnosti kolesnega elektromotorja pa vpliva poleg elektromagnetno aktivne tudi elektromagnetno pasivna oz nosilna konstrukcija. Togostna matrika sestava in konstrukcijske zahteve po dimenzijskih in geometrijskih točnostih komponent in podsestavov ter tehnologija izdelave, ki bo zagotavljala kakovost, sestavo in zanesljivo funkcionalnost sestava (Slika 7) so deli, ki so neposredno povezani z nosilnimi elementi motorja.



Slika 5: Arhitektura štirikolesnega pogona s kolesnimi elektromotorji in sprednjim levim motorjem (modra barva), platiščem in pnevmatiko v eksplozijskem pogledu.

Zaradi relativno ozke radialne širine zračne reže med magneti na rotorju in navitjem na statorju je potrebno mehanske elemente motorja primerno konstruirati. Ovojnica oz. zračna reža (Slika 6) med delovanjem elektromotorja kompenzira elastične, termomehanske in strukturne deformacije ter končne proizvodne tolerance sestavnih elementov.



Slika 6: Elektromotor Smart2,5G z integrirano bobnasto zavoro v prerezu in shematsko prikazano zračno režo.

Slednji morajo biti narejeni v okviru zahtevnih tolerančnih območij kar velja tudi za rotor elektromotorja, ki je skupaj s proizvodnimi parametri in kakovostjo izdelave predmet raziskave predstavljene v pričujočem prispevku.

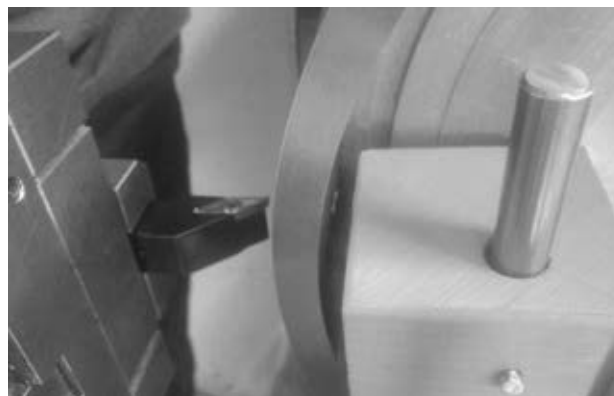
V rotorsko ohišje je nakrčen jekleni obroč, znotraj katerega so v procesu izdelave prilepljeni magneti. Za doseg želenih karakteristik motorja je kritična pravilna in konstantna razdalja med magneti in statorjem, ki je odvisna od točnosti izdelave aluminijastega ohišja in jeklenega obroča. Izdelava predstavlja obdelavo tankostenskih obdelovancev velikih premerov (>300mm). Deformacija le-teh se pojavlja zaradi vpenjalnih ter

stružnih sil, zato je kritično pravilno vpenjanje ter izbira ustreznih rezalnih parametrov [5]. V sodelavi podjetja Elaphe ter laboratorija za odrezavanje LABOD, Fakultete za Strojništvo UL, je bil razvit merilni sistem za meritve deformacije obdelovancev ter stružnih sil med samo obdelavo.

Objektiva pri analizi proizvodnih postopkov in parametrov je doseganje ozke geometrijske tolerance cilindričnosti (0,05 mm) na mestu krčnega naseda in na mestu pritrditve magnetov. Torej notranja in zunanja površina za jekleni obroč in notranja površina za al obroč, kjer so dimenzije cca 330 mm. Približno 10% sestavljenih rotorjev je bilo pred izvedbo študije izven predpisane tolerance cilindričnosti in v namen izboljšanja procesa je bil postavljen eksperimentalni sistem za merjenje sil ter deformacij, končni izdelki pa so bili pomerjeni tudi na koordinatnem merilnem stroju. Cilj študije je bil določiti tehnološke parametre oz. postopke obdelave, da bodo vsi izdelki ustrezali zahtevam kakovosti izdelave.

2 MERILNI PROTOKOL

Merilni sistem sestavljata laserski merilnik Keyence LJ-G5001 ter Kistler dinamometer, signale obeh pa smo preko NI9754 merilne kartice zajemali v programu LabView. Laserska glava je preko konzole pritrjena na sani in potuje v z smeri skupaj s stružnim nožem vpetim v dinamometer, ki meri tri stružne sile: rezalno F_c , podajalno F_f ter odzivno silo F_p [6]. Pri deformaciji tankostenskega obdelovanca zaradi stružnih sil se le-ta odkloni za razdaljo, ki je izmerjena s pomočjo laserja, ki v odvisnosti od rezalne hitrosti in premera obdelovanca izmeri od 20 do 40 povprečnih razdalj na obrat obdelovanca. Za zmanjšanje deformacij zaradi sil vpenjalnih čeljusti je bila izdelana vpenjalna priprava v katero se v aksialni smeri privije obdelovanec. Vpetje laserske glave je omogočalo merjenje radialnih deformacij na zunanji in notranji strani obdelovancev pri različnih parametrih obdelave (rezalna hitrost, podajanje, globina). Poleg spremljanja rezalnih sil smo spremljali tudi obliko odrezkov. Meritve so se izvajale med struženjem aluminijastih rotorskih ohišij (končna debelina cca. 4mm) in jeklenih rotorskih obročev (končna debelina cca. 7 mm) elektromotorja Elaphe M700. Postavitev sistema je prikazana na sliki 7.



Slika 7: Merilni sistem na CNC stružnici

Merilni protokol sestavljajo že omenjene meritve deformacije in sil med obdelavo, po obdelavi pa smo za primerjavo z eksperimenti opravili še meritve cilindričnosti na koordinatnem merilnem stroju. Cilindričnost je bila določena na podlagi odstopanja krožnosti na različnih, med seboj 10 mm oddaljenih nivojev. Na vsakem nivoju pa je bilo izvedenih 12 meritev (metoda krogov), meritve cilindričnosti so bile ponovljene dvakrat, takoj po obdelavi še v vpenjalni pripravi ter po izpenjanju iz vpenjalne priprave. Na ta način lahko določimo posamezna vpliva obdelave in zaostalih napetosti, saj vpenjalna priprava bistveno poveča togost ohišij in obročev. Slika 8 prikazuje meritve cilindričnosti na koordinatnem merilnem stroju mesta krčnega naseda rotorskega ohišja, ko je to še vpeto v pripravo.



Slika 8: Meritev cilindričnosti ohišja rotorja v pripravi

Parametri obdelave so se spreminjali po v naprej predpisanih območjih z željo po minimiziranju odrivne sile F_p , saj le-ta povzroča deformacije. Pričakuje se, da je del teh deformacij elastičnih, del pa plastičnih v obliki zaostalih napetosti. Z eksperimenti želimo preveriti ali deformacije med obdelavo bistveno vplivajo na točnost izdelave.

3 REZULTATI

3.1 Jekleni obroč rotorja elektromotorja M700

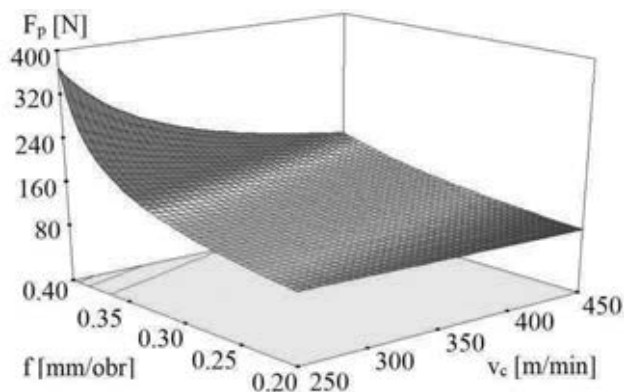
Pri struženju jeklenega obroča smo se osredotočili na stružne sile in deformacije med končno fino obdelavo. Rezalni parametri so bili pri fini obdelavi izbrani glede na najmanjšo odrivno silo pri ugodnih odrezkih:

$v_c=200$ m/min, $f=0,1$ mm/obr ter $a_p=0,5$ mm, kjer je odrivna sila cca. 60 N, maksimalna deformacija na prostem koncu pa 0,015 mm pri končnem finem prehodu. Opletanje na mestu krčnega naseda po obdelavi ni preseglo 0,02 mm, tako da smo prišli do zaključkov, da pričakujemo končno cilindričnost znotraj tolerance 0,05 mm. Jekleni obroči so bili nato pomerjeni še na merilnem stroju, kjer je cilindričnost na mestu krčnega naseda pri preizkušanih 10 izdelanih obročih bila znotraj tolerance 0,05 mm.

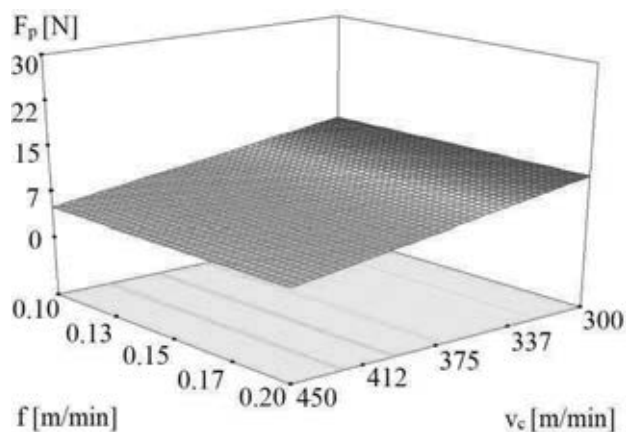
3.2 Alu. ohišje rotorja elektromotorja M700

Pri obdelavi ohišja rotorja smo najprej izvedli študijo vpliva rezalnih parametrov na odrivno silo pri grobi ter fini obdelavi z metodo načrtovanja eksperimentov (ang. *Design Of Experiments* – DOE) [7]. Pri tej metodi empirično ugotovimo relacije med posameznimi vhodnimi ter izhodnimi parametri. V našem primeru smo iskali povezave med rezalnimi parametri ter rezalnimi silami, podatki pa so bili analizirani v programu Design Expert s pomočjo analize variance.

Slika 9 prikazuje spreminjanje odrivne sile v odvisnosti od podajanja ter rezalne hitrosti pri globini reza 2.5 mm (grobo). Analogno je bila izvedena tudi analiza odvisnosti rezalnih parametrov na odrivno silo pri fini obdelavi ($a_p=0,5$ mm), kar prikazuje slika 10.



Slika 9: Odzivna sila F_p v odvisnosti od podajanja in rezalne hitrosti, $a_p = 2,5$ mm



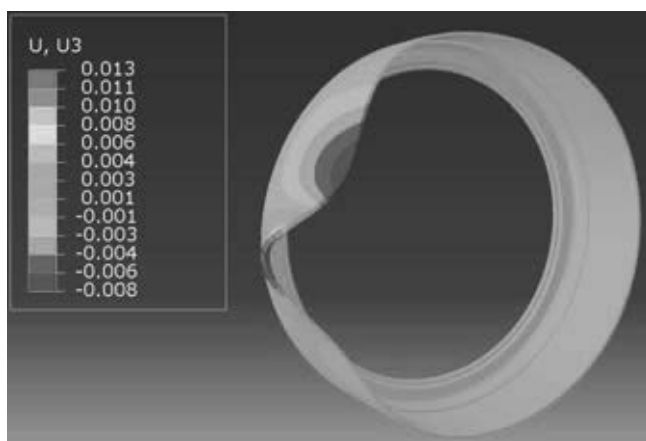
Slika 10: Odzivna sila F_p v odvisnosti od podajanja in rezalne hitrosti, $a_p = 0,5$ mm

Za grobo in fino obdelavo so bili, glede na čim manjšo odrivno silo, izbrani ustrezni parametri (višja rezalna hitrost, višje podajanje). Deformacije so pri grobi obdelavi še posebej pomembne pri zadnjih prehodih pred fino obdelavo.

Pred izvajanjem meritev smo izvedli še numerično analizo uklona ohišja rotorja zaradi stružnih sil. V modelu smo uporabili končno geometrijo ohišja ter materialne lastnosti za aluminijevo zlitino Al6082 s toplotno obdelavo T6, kjer znašajo Poissonov količnik 0,34, modul elastičnosti 70000 MPa ter gostota 2710 kg/m³. Robni pogoji so vključevali togo vpetje ohišja na mestu vpenjalne priprave, ter postavitev statičnih sil na zunanji rob mesta krčnega naseda, kjer so deformacije med obdelavo največje.

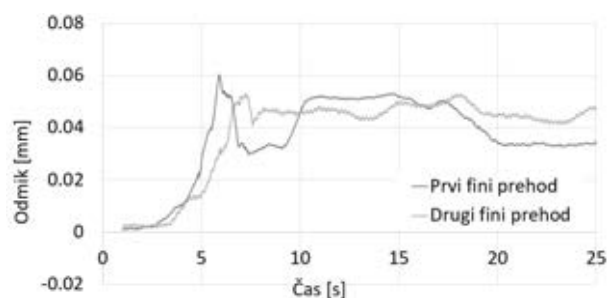
Izbrane so bile povprečne vrednosti rezalnih sil pri vseh parametrih fine obdelave, kjer je znašala rezalna sila $F_c = 75$ N, podajalna sila $F_f = 19$ N ter **odrivna sila $F_p = 12$ N**. Model je bil zmrežen z uporabo 530,000 tetraedričnih elementov s kvadratično formulacijo C3D10 ter uniformno gostoto mreže.

Deformacija ohišja v radialni smeri kot posledica stružnih sil je prikazana na sliki 11.

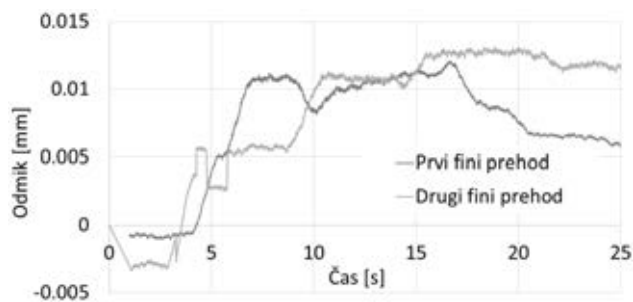


Slika 11: Simulacija deformacije ohišja v radialni smeri kot posledica rezalnih sil pri fini obdelavi. Enote v mm.

Vidimo, da znašajo maksimalne deformacije med 0,012 ter 0,013 mm, vendar pa omenjeni model predstavlja le idealizirano stanje, kjer ne upoštevamo spremembe temperature, dinamičnega stanja, vpliva emulzije, neidealno togega vpetja, razlik v materialih, itd. Z modelom napovedujemo dejansko stanje nato pa sledi verifikacija modela z eksperimenti. Na podlagi teh analiz smo merili deformacije pri fini obdelavi. Slika 12 predstavlja deformacijo ohišja rotorja pri izbiri neugodnih parametrov fine obdelave, slika 13 pa deformacijo ohišja rotorja po izbiri bolj ugodnih rezalnih parametrov.



Slika 12: Deformacija med obdelavo, $v_c=300$ m/min, $f=0,15$ mm/obr, $a_p=0,5$ mm



Slika 13: Deformacija med obdelavo, $v_c=450$ m/min, $f=0,2$ mm/obr, $a_p=0,5$ mm

Pri optimizaciji parametrov na odzivno silo se je deformacija ohišja med obdelavo zmanjšala iz cca. 0,05 mm na cca. 0,02 mm, kar je tudi precej blizu numerično pridobljenim vrednostim. Glede na deformacije je moč pričakovati cilindričnosti znotraj območja 0,05 mm vendar s precej malo prostora za napake. Z izbiro ugodnih parametrov je bilo nato izdelanih 5 rotorskih ohišij. Cilindričnosti na mestu krčnega naseda so bile izmerjene za vsako ohišje dvakrat: v vpenjalni pripravi (Slika 8), ter po izpenjanju za določitev vpliva zaostalih napetosti. V Tabeli 1 so prikazane meritve cilindričnosti ohišja na mestu krčnega naseda po metodi krogov na merilnem stroju. Pri še vpetih ohišjih določimo cilindričnost kot posledico obdelave, po izpenjanju pa opazimo, da se cilindričnost bistveno poveča, kar predvidevamo, da je posledica vpliva zaostalih napetosti. Za doseg ustrezne dimenzijske točnosti je potrebno zaostale napetosti odpraviti, oz. zmanjšati.

Tabela 1: Cilindričnosti alu. ohišja rotorja

Ohišje	\varnothing [mm] v pripravi	\varnothing [mm] po izpetju
1	0,031	0,136
2	0,036	0,188
3	0,041	0,261
4	0,028	0,083
5	0,045	0,237

Za odpravo notranjih napetosti v materialu Al6082 se uporablja žarjenje pri temperaturi cca. 410°C. Ta postopek se zgodi med grobo in fino obdelavo. Odstopki cilindričnosti so se zaradi deformacij med samim žarjenjem močno povečali, kar tudi nakazuje na prisotnost zaostalih napetosti. V nadaljevanju so bila tri ohišja rotorja

grobno obdelana (1 mm dodatka), poslana na žarjenje ter nato še končno fino obdelana. Po istem postopku so bile na koordinatnem merilnem stroju izmerjene cilindričnosti v pripravi ter po izpetju. Rezultati so prikazani v Tabeli 2.

Tabela 2: Cilindričnosti alu. ohišja rotorja z vmesnim žarjenjem pred fino obdelavo

Ohišje	\varnothing [mm] v pripravi	\varnothing [mm] po izpetju
1	0,039	0,080
2	0,033	0,118
3	0,046	0,090

3.3 Diskusija

Vrednosti cilindričnosti so se z vmesnim postopkom žarjenja približale vrednosti želene in vnaprej specificirane tolerance 0,05 mm. V nadaljnjem delu se bomo osredotočili na povečanje vzorca z uporabo tega postopka, ter določitev vplivnih faktorjev na zaostale napetosti pri obdelavi. Glede na največje deformacije na robu obdelovanca bi bilo možno izvesti tudi kompenzacijo med samo obdelavo [8]. Preveriti je smiselno tudi časovno in temperaturno stabilnost rotorskih ohišij oz. sestavov – ali kljub žarjenju prihaja do dodatnih sprememb v materialu (relaksacija) in ali to vpliva na kvaliteto končnega izdelka. Cilindričnosti ohišja rotorja ter jeklenih obročev na mestu krčnega naseda vpliva na kvaliteto le-tega, ki se jo validira s testom prenosa navora na mestu krčnega naseda (ang. *Torque Transfer Test*). To je predvideno v nadaljnjih testih.

4 SKLEP

Izmerjene so bile deformacije med obdelavo jeklenih obročev ter aluminijastih rotorskih ohišij elektromotorja Elaphe M700. Pri obdelavi jeklenih obročev smo ugotovili, da deformacije med obdelavo ne vplivajo bistveno na dimenzijsko točnost. Izbira parametrov obdelave je pomembna pri obdelavi aluminijastih rotorskih ohišij, saj se ob povečani odzivni sili deformacije hitro povečajo. Zaostale napetosti so po obdelavi prisotne v rotorskih ohišjih ter povzročajo njihovo deformacijo, zato smo predlagali

postopek žarjenja za odpravo notranjih napetosti pred končno obdelavo, kar izboljša vrednosti cilindričnosti na mestu krčnega naseda. Zaradi struženja jeklenih obročev ter rotorskih ohišij iz debelostenskih surovcev so zaostale napetosti lahko tudi posledica priprave surovcev. V nadaljnjem sodelovanju so predvideni testi časovno-temperaturne stabilnosti rotorskih komponent, analizo vpliva cilindričnosti ohišja rotorja ter jeklenih obročev na kvaliteto krčnega naseda ter vpliv parametrov obdelave na zaostale napetosti.

Viri:

- [1] D. McTeague: *Tesla Model S: The Future of Electric Cars is Here*. FINE Magazine, 2015, USA (<http://www.finehomesandliving.com/Tesla-Model-S-The-Future-of-Electric-Cars-is-Here/>)
- [2] AllCarIndex: *GENEVA 2016 - Rimac from Croatia unveils production version of the Concept_One electric supercar*, 2016. (<https://www.allcarindex.com/blog/GENEVA-2016-Rimac-from-Croatia-unveils-production-version-of-the-ConceptOne-electric-supercar-wVIDEO/>.)
- [3] E. Ltd: *Elaphe newsletters*, 2018. (www.in-weheel.com)
- [4] J. Thomas: *Drive Cycle Powertrain Efficiencies and Trends Derived from EPA Vehicle Dynamometer Results*, SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 7:4(2014), str. 2014-01-2562
- [5] D. Chen, B. Lin, Z. Han, Y. Zhang: *Study on the optimization of cutting parameters in turning thin-walled circular cylindrical shell based upon cutting stability*, Int. J. Adv. Manuf. Tech. 69(2013), str. 891-899.
- [6] J. Kopač: *Odrezavanje*. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1991.
- [7] G.G. Lakić, D. Kramar, J. Kopač: *Metal cutting: theory and applications*, Fakulteta za strojništvo Ljubljana, Fakulteta za strojništvo Banjaluka, 2014.
- [8] U. Heisel, C. Kang: *Model-based form error compensation in the turning of thin-walled cylindrical parts*, Prod. Eng. Res. Devel. 5(2011), str. 151-158.

AVTOMATIZIRANA LINIJA ZA IZDELAVO ALUMINIJASTIH ULITKOV

Vinko DREV, Andrej SMOLIČ
LTH Castings, d. o. o.

IZVLEČEK

V podjetju LTH Castings d.o.o., obrat Ljubljana smo v zadnjih letih veliko delali na področju avtomatizirane obdelave aluminijastih ulitkov. Do sedaj je bil pri avtomatizaciji poudarek predvsem na stregi livarskih in obdelovalnih strojev, ter linijska distribucija izdelkov do ročnih delovnih mest. Ker želimo še dodatno dvigniti že tako visoko stopnjo avtomatizacije smo v preteklem letu postavili avtomatizirano linijo, ki že zajema tudi strego namenskih strojev za kontrolo kvalitete aluminijastih izdelkov. V prispevku pa bo predstavljen zadnji projekt pri katerem smo naredili še korak dlje in skoraj popolnoma avtomatizirali izdelavo aluminijastega izdelka od nastanka do odpreme kupcu. Podrobneje bo predstavljena avtomatizirana linija ki zajema procese strojne obdelave, pranja, dimenzijske kontrole, preizkusa tesnosti in končnega embaliranja aluminijastega izdelka. V linijo je vključenih 5 robotiziranih celic s skupno 7 industrijskimi roboti, distribucija izdelkov skozi vse procese pa se izvaja s paletno linijo. Ker smo si skozi leta pridobili veliko znanja in izkušenj na področju avtomatizacije bomo avtomatizirano linijo v celoti izdelali znotraj podjetja na oddelku za avtomatizacijo procesov.

1 UVOD

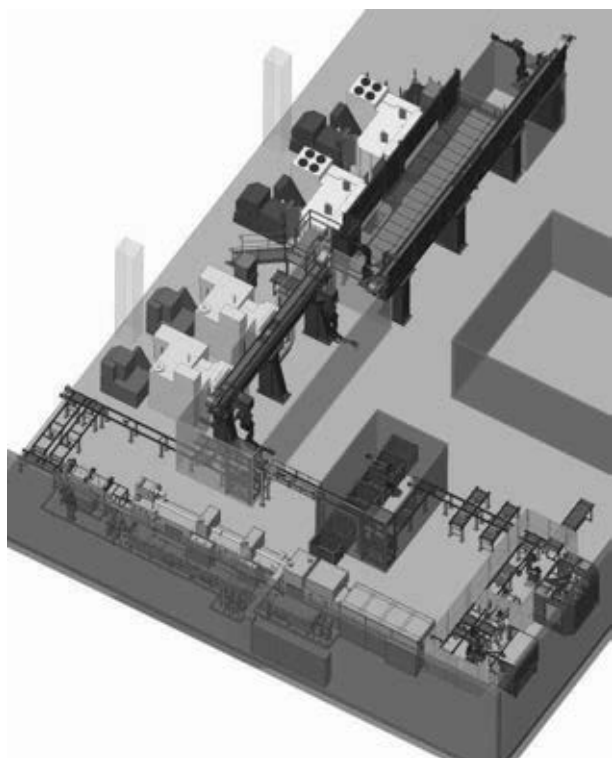
Ker v podjetju stremimo k zviševanju kakovosti in produktivnosti pri vseh novih projektih integriramo avtomatizirane sisteme v proizvodne procese. S tem smo raven avtomatizacije v podjetju dvignili že na zelo visok nivo, saj le ta zagotavlja najoptimalnejše proizvodne procese. V prispevku bo podrobneje predstavljena avtomatizirana linija za strojno obdelavo aluminijastih ulitkov. Predstavljena avtomatizirana linija zajema procese strojne obdelave izdelkov, pranje izdelkov, kontrolo izdelkov in končno embaliranje v kupčevo embalažo.

V celotno linijo so vključeni 4 obdelovalni stroji in sicer dva stroja Heller H2000 in dva stroja SW BA04, stroj za grobo pranje, pralni stroj BVL, merilni stroj Lehnert in preizkus tesnosti KNT. Za strego vseh vključenih strojev se bo izdelalo 5 robotiziranih celic za pretok izdelkov skozi vse procese pa bomo izdelali paletno linijo. Celice za strego obdelovalnih strojev vsebujeta vsaka po dva industrijska robota portalne izvedbe. V celice za strego merilnega stroja, stroja za preizkus tesnosti in končnega embaliranja pa so integrirani še trije industrijski roboti. Pred pralnim strojem BVL pa je integriran še stroj lastne izdelave za grobo pranje izdelkov.

2 ZASNOVA AVTOMATIZIRANE LINIJE

Pri zasnovi in načrtovanju avtomatizirane linije smo kot vedno morali upoštevati število vključenih strojev v celoten proces, takt izdelave izdelka, ter prostorsko umestitev. Ko so bili znani in definirani vsi potrebni stroji za izdelavo izdelka smo lahko pričeli s končnim načrtovanjem celotne linije. Eden izmed prvih izzivov je bila prostorska umestitev vseh strojev, ki bo primerna za avtomatizacijo, hkrati pa tudi prostorsko najmanj potratna. Po umestitvi strojev so na vrsto prišli izračuni kateri so nam dali podatek kakšno velikost robotov moramo izbrati (zaradi dosega v različne stroje) in pa temu primerno časovno doseganje takta vseh strojev. Pri umeščanju robotov smo veliko pozornosti namenili tudi razvoju prijemal s katerimi prijemamo in odlagamo ulitke, saj prehajajo neposredno tudi med robotskimi celicami.

Paletna linija je zasnovana tako, da prehaja med vsemi robotskimi celicami, ker s tem omogoča krajši takt robotov saj se palete z ulitki dostavijo direktno do robotov. Zaradi zahtev po pranju še drugih tipov ulitkov je linija zasnovana tako, da omogoča tudi ročno nakladanje in razkladanje ulitkov. Na sliki 1 je prikazan končni model celotne avtomatizirane linije.



Slika 1: Končni model avtomatizirane linije

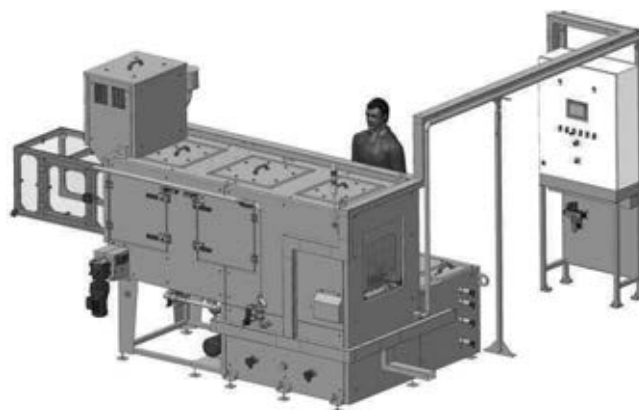
3. KONSTRUKCIJA IN INTEGRACIJA AVTOMATIZIRANE LINIJE

Zaradi obsežnosti projekta smo avtomatizirano linijo razdelili na tri faze. Prva faza zajema pralni stroj za predpranje izdelkov in linijo za transport palet. Druga faza zajema dve robotizirani celici za strego namenskih strojev, ter celico za končno embalaranje izdelkov. Tretja faza pa zajema dve robotizirani celici za strego obdelovalnih strojev. V nadaljevanju bodo podrobneje opisane posamezne faze.

3.1 Pralni stroj in linija za transport palet

Zaradi boljšega izkoristka pralnega stroja BVL smo se odločili, da pred njega integriramo še manjši pralni stroj, kateri bo opravljal funkcijo grobega pranja izdelkov. Grobo pranje odstrani iz izdelkov vse ostanke emulzije, ki se je prenesla iz obdelovalnih strojev in tako razbremenimo glavni pralni stroj in posledično zmanjšamo porabo pralnega sredstva. Grobo pranje izdelkov se izvaja z navadno vodo, tako da smo lahko rezervoar pralnega stroja povezali s sistemi za mazanje orodij na obdelovalnih strojih. Tako smo

prihranili porabo emulzije, saj se skoraj vsa emulzija vrne nazaj v obdelovalne stroje, hkrati pa smo naredili sistem za avtomatsko dovajanje emulzije v obdelovalne stroje. Pralni stroj za grobo pranje je pretočne izvedbe. To pomeni, da se paleta z izdelki ne ustavlja v stroju ampak se pranje izdelkov izvaja med gibanjem palete. Na sliki 2 je prikazan model pralnega stroja, ki je bil razvit na našem oddelku.

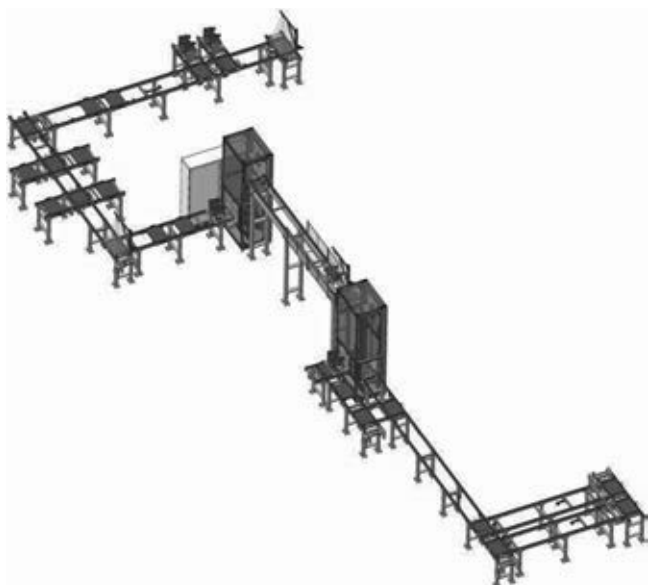


Slika 2: Model pralnega stroja za grobo pranje

Pri načrtovanju in izdelavi linije za transport palet smo se odločili da bomo uporabili verižno izvedbo linije, saj se je v preteklih projektih že izkazala za ustrezno. Pri načrtovanju linije smo morali upoštevati tudi dostop do pralnega stroja za potrebe tekočega in rednega vzdrževanja. Za omogočen dostop smo del linije dvignili na višino 2,5m. Za dvig in spust palet na in z višine 2,5m smo razvili dva dvigala na katerih smo uporabili servo pogone z navojnim vretenom. Za rešitev s servo pogoni smo se odločili na podlagi izkušenj saj dosedanje izvedbe z elektromotorji in verižnim prenosom niso zagotavljale ponovljive pozicije dvigala.

Za izpolnitev zahtev po pranju tudi drugih tipov izdelkov je bilo potrebno konstrukcijo linije prilagoditi tako, da se lahko na določenih mestih palete tudi prehitevajo in razvrščajo. Tako smo na prvi celici naredili dva odvzemna mesta, ki sta izven linije in tako omogočili 'prehitevanje' palet, ter hkrati pridobili tudi manjši zalogovnik za palete. V obdelovalni celici smo na mestu za dodajanje izdelkov prav tako naredili obvoz tako, da ima dvigalo dva izhoda za palete in sicer enega za nakladanje izdelkov v celico in enega za palete drugega tipa. Na vhodu v pralni del je linija tudi

razdeljena na dva dela in sicer prvi prečni del linije služi za transport polnih palet, drugi del linije pa služi kot postaja za ročno nakladanje izdelkov. Da je sortiranje palet možno, smo linijo opremili s tremi 2D vision sistemi s katerimi prepoznavamo tipe in stanje palet, kajti za avtomatsko odzemanje in dodajanje je potrebno vedeti tudi stanje palete. V samo linijo smo tudi umestili štiri delovna mesta za potrebe vizualne kontrole izdelkov. Na sliki 3 je prikazan model linije za transport palet skozi vse operacije.



Slika 3: Model linije za transport palet

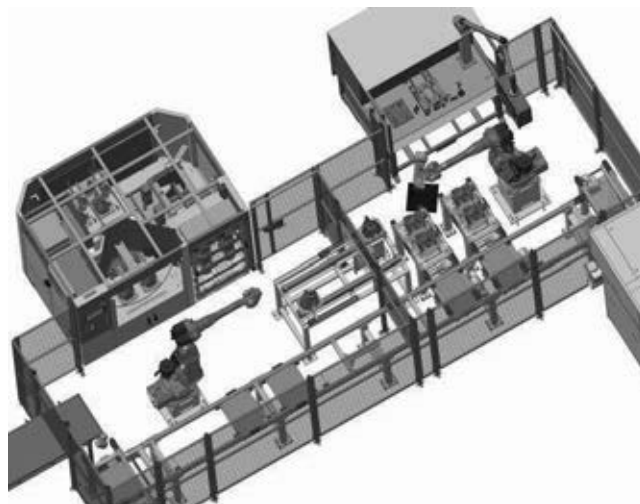
3.2 Robotske celice za strego namenskih strojev in embalaranje

Takoj po izhodu palet iz pralnega stroja smo integrirali robotizirano celico za strego merilnega stroja. Pri zasnovi celice je največji izziv predstavljalo robotsko prijemalo, kajti stroj ima samo eno merilno mesto torej je čas menjave izdelka zajet v takt merilnega stroja. Da smo zagotovili najkrajši možen čas menjave izdelka smo izdelali dvojno robotsko prijemalo. Prijemalo je bilo potrebno prilagoditi tudi odvzemu izdelkov iz pralnih palet in odlaganju izdelka na naslednjo operacijo. V celico bo vključen tudi predal za ročni vnos izdelkov v celico za potrebe vzorčenja.

Naslednja celica v liniji je celica za strego stroja za preizkus tesnosti. Stroj je opremljen z vrtljivo mizo, tako da čas menjave izdelka ni

predstavljaj večjih izzivov. V celico so integrirani tudi izhodni trakovi za morebitne slabe izdelke, izdelke za popravilo, ter vzorčne izdelke. Robot dobre izdelke odloži na prazno paleto, ki je pozicionirana na enem izmed dveh mest na paletni liniji.

Za prenos izdelkov med celicami smo izdelali linearno enoto za ločen prenos dveh izdelkov. obe enoti sta opremljeni tudi z vrtljivim modulom, da izdelke med celicama zavrtimo za 180° in s tem omogočimo lažji dostop robotov do izdelkov. Na sliki 4 sta prikazani celici za strego namenskih strojev.



Slika 4: Model celic za strego namenskih strojev

Razvoj celice za končno embalaranje izdelkov še ni dokončan so pa že bolj ali manj znane že vse rešitve. Največ težav je bilo pri nameščanju vmesnih pregrad v zaboje, kajti v zaboje je potrebno pred polnjenjem namestiti PVC vrečo za zaščito izdelkov pred nečistočami. Za lažjo manipulacijo vmesnih pregrad smo sodelovali pri razvoju le teh z kupčevim dobaviteljem embalaže. Za transport zabojnikov pa bomo uporabili enak transporter, ki smo ga razvili za vhod izdelkov v prvo obdelovalno celico. Na sliki 5 je prikazan simbolični model celice za embalaranje.

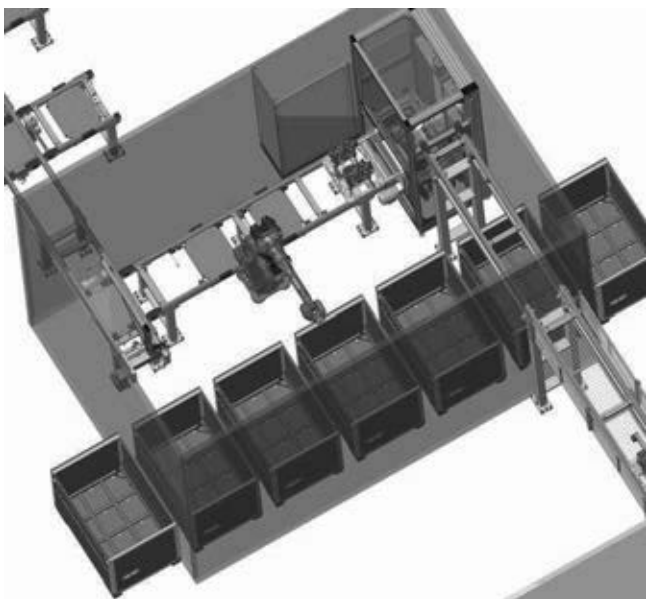
3.3 Robotski celici za strego obdelovalnih strojev

Pri celicah za strego obdelovalnih strojev smo se odločili za izvedbo s portalnimi roboti (Slika 6). Takšno izvedbo smo izbrali na podlagi

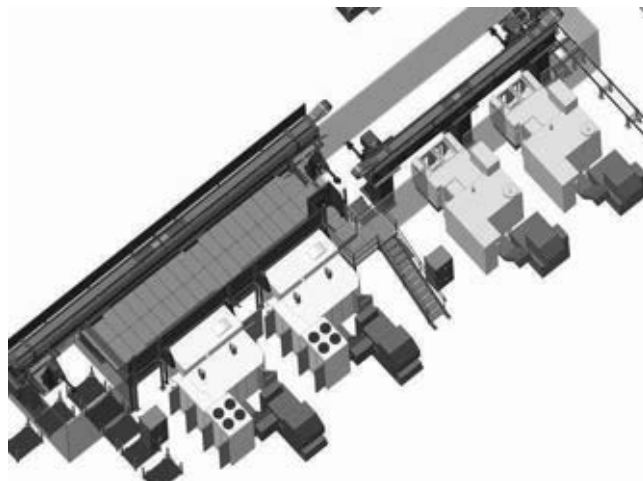
dosedanjih izkušenj, saj imamo v podjetju že kar nekaj takšnih robotiziranih celic. Pri prvi celici za strego obdelovalnih strojev SW BA04 se bo strega stroja izvajala iz zgornje strani, kar omogoča nemoten dostop do stroja med delovanjem v avtomatskem režimu. Za strego obdelovalnih strojev Heller H2000 pa bomo uporabili izvedbo portalov, ki omogočajo dostop do stroja iz sprednje strani, ker sam stroj ne omogoča strege iz zgornje strani. Na obeh portalih bosta nameščena po dva industrijska robota, katera bosta med sabo sinhronizirana. Dva robota na portal sta potrebna za doseganje zahtevanega takta, ki znaša 20s/kos.

Za vhod surovih ulitkov v prvo celico bomo uporabili interno namensko embalažo iz katere bo robot neposredno odvzemal ulitke. S takšno izvedbo smo eliminirali ročno manipulacijo izdelkov. Za transport namenske embalaže na mesto odzemanja ulitkov smo razvili valjčni transporter. Ulitki so na vhodni embalaži grobo pozicionirani natančno pozicijo pa bomo določili s pomočjo 2D vision sistema, ki bo nameščen na servo manipulatorju za prenos vmesnih slojev embalaže.

Za prenos izdelkov med obema celicama se je izdelal vertikalni linearni modul, ki bo služil za transfer med prvo in drugo celico. Končno obdelani izdelki iz druge celice pa se odlagajo neposredno na paleto, ki je pozicionirana na transportni liniji.



Slika 5: Model linije za transport palet



Slika 6: Model celic za strego obdelovalnih strojev

3 SKLEP

Glede na to da je projekt še v fazi integracije v proizvodnjo še ne moremo podati končne kalkulacije stroškov, ter dejanske učinkovitosti celotne avtomatizirane linije. Po izračunih se bo celotna linija amortizirala v nekaj manj kot dveh letih saj smo na celotni liniji samo na delovni sili prihranili 10 delavcev na izmeno.

Ker je to prvi projekt, ki je dejansko izdelan popolnoma znotraj našega podjetja lahko že sedaj trdim da je bil dobro zastavljen in tudi izpeljan seveda pa še pričakujemo tudi manjše težave, ki se bodo pojavile ob samem zagonu in delovanju linije.

Po uspešnem zagonu linije imamo željo še avtomatizirati kontrolo površinskih napak, katera se bo v začetku izvajala ročno, tako da bi linija resnično bila popolnoma avtomatizirana.

HIDRAVLIČNI CILINDRI ZA STRANSKE POGONE PRI ORODJIH ZA TLAČNI LIV ALUMINIJA IN BRIZGANJE PLASTIKE

Marco ZANON¹, Janez POJE²

¹VEGA S.r.l, Italija

²KERN d.o.o.

IZVLEČEK

Najnaprednejši razvojni procesi sledijo glavnim globalnim razvojnim konceptom, ki zahtevajo: (1) realizacijo koncepta krožnega gospodarstva, zniževanje potrebne energije za proizvodnjo enote proizvoda, okoljsko razbremenitev – zniževanje emisij ter drugih oblik vplivov na okolje, zniževanje porabe materialnih virov, drugo. Orodjar, kot zadnji člen razvojne verige, pomembno vpliva na učinkovitost realizacije tehnološkega razvoja in posledično principov trajnostnega razvoja. Predstavitev tehnološke inovacije hidravličnih pogonov pomembno vpliva na učinkovitost razvojnih rešitev, predvsem pa odpira popolnoma nove možnosti realizacije kinematike glavnih gradnikov sistema delilne ravnine orodja.

1 UVOD

Avtomobilska industrija v novi razvojni dekadi intenzivno povečuje razvojne zahteve s področja trajnostnega razvoja. Posebej se ukvarja z zniževanjem mase končnega izdelka – vozila, zniževanjem emisij, ki obremenjujejo okolje, zniževanjem porabljenega materiala in energije ter zniževanjem sekundarnih – procesnih odpadkov. Deli avtomobila, ki so bili tradicionalno strukturirani, doživljajo celovito preobrazbo, ki jo omogoča tehnološki razvoj na področju orodjarstva.

2 PRIMER CELOVITE TEHNOLOŠKE PRENOVE IZDELKA

Vrata avtomobilskega prtljažnika so kompleksen strukturni izdelek, ki ga sestavljajo pločevinasti deli, ki so v večini spojeni s tehnologijo točkovnega varjenja. Končni produkt ima veliko število proizvodnih operacij, tako primarnih (izdelovalnih), kot sekundarnih (spajanje, galvanika, končna dekoracija). Izdelek je imel več razvojnih iteracij, a najbolj drzno predstavlja rešitev švicarskega podjetja, ki celotno strukturo primarne operacije izvede v enem koraku, oziroma na eni tehnološki operaciji – stroju. Enostavno sistem vrat odlije po tehnologiji tlačnega liva aluminija. Na ta način proizvajalec realizira sledeče:

- Uporabi osnovni material s pomembno nižjo specifično težo – zniža maso,
- Odpravi korozijska tveganja
- Pomembno zniža stroške proizvodnje
- Poveča končno natančnost, kot rezultat boljšega obvladovanja napetostnih situacij ter
- Poveča stopnjo prilagodljivosti (izvedb) izdelka v samem orodju.

Primer izdelka:

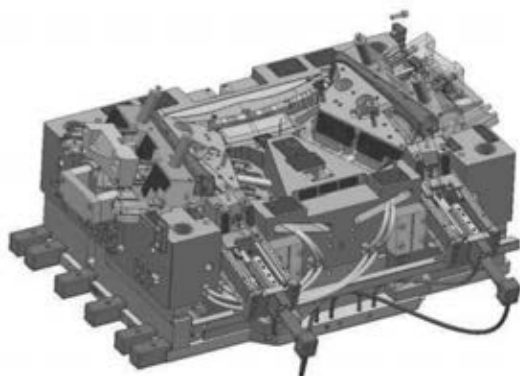


Slika 1: razstavni eksponat podjetja GF AG, vir: lastni.

2.1 Realizacija kinematike orodnih elementov, ključni vzvod razvojnih možnosti

Struktura orodja za tlačni liv ali brizganje plastike ima različne gradnike, ki so deloma standardizirani in vgrajeni v sestav, ostali deli pa so rezultat dela konstruktorja in tehnologa.

Sistem delilne ravnine orodja predstavlja zahtevno geometrijsko linijo, ki jo strukturirajo gravurne plošče ter sistem stranskih drsnikov, oziroma jeder.



Slika 2: Primer orodja s stranskim pogonom; vir: lastni

V primeru, ko potrebujemo sorazmerno dolge hode za izvlek jeder, z izvlečno silo, ki presega 500kN, je hidraulika praktično edina razvojna opcija.

Razvoj opreme za stranske izvleke je skladen s pričakovanji in smernicami nove industrijske paradigme, poimenovane Industry 4.0. Napreden inovativen koncept opreme ponuja konstruktorju širok nabor možnosti konstrukcijskih rešitev ter kontrol delovanja, ki jih je mogoče hraniti kot pomemben procesni parameter kakovosti ali kot element krmilnega algoritma.

Posebno razvojno inovacijo predstavljajo hidravlični cilindri s hladilnim sistemom, ki omogočajo integracijo z osnovno strukturo orodja za litje in odpravljajo procesna tveganja zastoja zaradi temperaturne preobremenjenosti cilindra. Cilinder ima t.i. notranji hladilni sistem, ki vzdržuje procesno temperaturo elementov cilindra in olja.



Slika 3: ohišje cilindra s hladilnim sistemom; vir: VEGA

2.2 ZAKAJ uporabiti standardni sistem stranskega izvleka?

Kljub dejstvu, da ima hidraulika kar nekaj omejevalnih dejavnikov na področju hitrosti gibanja batnice, sodobni produkti dosegajo kinematske performance, ki so skladne s cikli orodja, katere v večini primerov določajo parametri ohlajanja.

Tabela 1: dosežene hitrosti gibanja batnice cilindra



	Max Speed	
	without Cushioning	with Cushioning
V210CR	0,1 m/s	0,7 m/s
V250CE	0,05 m/s	N/A
V220CC	0,1 m/s	N/A
V450CM	0,1 m/s	N/A
V260CF	0,1 m/s	N/A

2.3 Drugi pogoni

Posebno družino inovativnih rešitev predstavljajo t.i. odvijalne enote, ki imajo različne pogone in služijo za realizacijo vijačnega gibanja drsnika, ko je to potrebno. Tudi ti eksterni pogonski sistemi sledijo logiki kontrole delovanja, gibanja, pozicioniranja ter cikla orodja.



FRESH WATER FOR YOUR CYLINDERS

In our highly advanced world, we are all used to standards. This can be a downside at times, and solutions become more complicated just because we're afraid of taking an unexplored path.

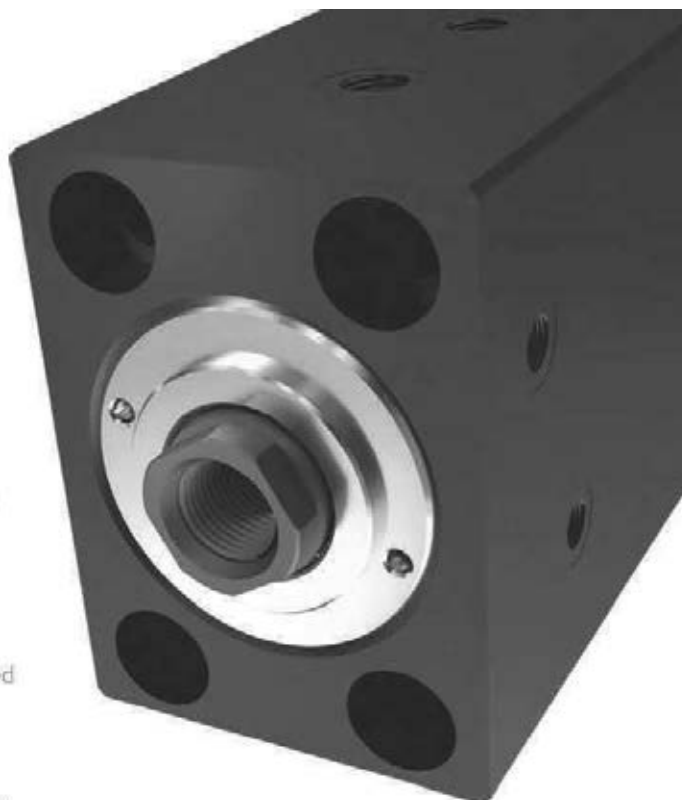
Vega is not like that.

It all started when one of our customers presented us with a problem that required to think outside the box: its die-casting mold was reaching high temperatures, and he needed a solution to cool down the cylinders he was using for the "squeeze" movement. This is usually solved with insulating plates, but they increase the overall size of the cylinder, and aren't that effective in cooling internal components, such as the rod.

The solution? A technology that has been applied successfully in countless different applications: water cooling. And it worked so well for this case that we decided to make it a standard option in our lineup.

How does water cooling work in a cylinder?

The starting point is our most durable product, the V450 CM, which is just the right match due to its strength, and is already used extensively in die-casting applications. We then developed a special water cooling circuit inside of the body, especially around the rod, which heats up the most. Such circuit is fed by two threaded ports on one side of the cylinder. Keeping the external dimensioning the same, this solution takes away only 20mm from the overall cylinder stroke.



The result? Stunning.

With an insulating plate, the temperature drop is relative to how effective the insulation is; it basically works as a "shield", preventing the heat to propagate from the mold to the cylinder. It is, in simpler words, static; the average reduction never exceeds 30 °C, and is often much less.

Water cooling, on the other hand, is dynamic. It takes advantage of the high conductivity of the liquid, "washing away" the heat from all hot surfaces it comes in contact with. Its efficiency is, therefore, entirely based on water temperature and delivery: cold water (usually 10-15 °C) and a good flow guarantee performances that were unthought of with insulating plates. Early tests have shown a reduction of around 45 °C!

Contact our sales department to be informed of the options involving this revolutionary solution.



3 SKLEP

Orodjarstvo je branža, ki je v velikokrat neprepoznana glede na svojo pomembnost v razvojni verigi. Konstrukcija izdelkov predpostavlja inovativno kapaciteto tima orodjarjev, da se razvojna ideja in kasneje razvojni plan pretvorita v mehansko strukturo izdelka. Vse bolj je evidentno, da orodjar potrebuje integracijo, kajti orodja postajajo napredni mehatronski sistemi, ki dodajajo funkcije in zmožnosti, ki jih mehanika orodja ne ponuja. Vse to je povezano z veliko dodatnega znanja, ki ga je mogoče pridobivati skozi različne oblike partnerstva in sodelovanja med podjetji in razvojnimi timi. S tem se krajša razvojni čas, predvsem pa se obvladujejo razvojna tveganja. Predstavljeni razvojni primeri dokazujejo te možnosti in veseli nas, da razvojni partnerji potrjujejo predstavljeni koncept kot model, ki pozitivno vpliva na dodano vrednost razvojnih projektov in na razvojno konkurenčnost podjetja.

Viri:

- [1] International Sheet Metal Review, Oktober 2016
- [2] Vega Srl; Company web
- [3] Lastni arhiv

IMPLEMENTACIJA VIJAČENJA S POMOČJO KOLABORATIVNEGA ROBOTA

Tadej VOVK, Noka KUNEJ
Hella Saturnus Slovenija d.o.o.

IZVLEČEK

V podjetju Hella Saturnus Slovenija želimo slediti trendu razvoja robotizacije. S tem namenom smo klasično ročno vijačenje, ki ga opravlja operater na delovnem mestu, zamenjali s kolaborativnim robotom. Aplikacijo smo implementirali na sestavu reflektorja in operaterja razbremenili vijačenja. Pri razvoju aplikacije smo se srečali z mnogimi izzivi, ki jih prinašajo nove tehnologije, med njimi pa je bil zagotovo največji poudarek na zagotavljanju varnosti.

1 UVOD

Podjetje Hella Saturnus Slovenija je eno izmed vodilnih podjetjih na področju svetlobne opreme za avtomobilsko industrijo. Področja proizvodnje, ki jih podjetje pokriva segajo od brizganja plastike pa do montažnih sistemov za izdelavo končnih izdelkov.

V zadnjem času se trend giblje k razvoju aplikacij in montažnih sistemov, ki namesto klasičnega robota v kletki uporabljajo ti. kolaborativne robote. Osnovna ideja pri vpeljavi teh je ustvariti delovno okolje, v katerem združimo sposobnosti industrijskih robotov s sposobnostmi operaterja in skupaj učinkovito opravljata delovne naloge [1]. Kolaborativnost robotov definira opremljenost z različnimi senzorji, ki lahko zaznajo 'nepredvideno' obremenitev. Če je predpisana vrednost prekoračena, se robot samodejno ustavi, ker je tako odstopanje navadno posledica trčenja (verjetno, da s človeških sodelavcem) [2].

Na trgu je dostopnih vedno več robotov s karakteristikami, ki ne zahtevajo fizičnih pregrad, ravno zaradi tega pa je potrebno še posebno velik poudarek dati na varno delovno okolje [1]. Tako je poleg izdelave same aplikacije pomemben del tudi izdelava analize tveganja in uvajanje varnostnih ukrepov definiranih v standardih ISO/TS 15066:2016, ki popisuje varnostne zahteve za kolaborativne robote in dopolnjuje standarda ISO 10218-1 ter ISO 10218-2, ki obravnavata robote v splošnem in robotske sisteme v smislu varnosti.

2 RAZVOJ APLIKACIJE VIJAČENJA

Za aplikacijo v proizvodnji so bile uporabljene nekatere že obstoječe enote, vijačna enota z doziranjem vijakov in gnezda, naprave, krmilniki. Dodan je bil robot, ki je bil izbran na podlagi tehničnih specifikacij, zanesljivosti delovanja in testiranj, upoštevajoč tudi finančni aspekt. Iz vidika optimizacije procesa so bila naknadno izdelana nova gnezda, ki omogočajo hitrejši proces in večji prihranek, saj so določene operacije združene. Potek implementacije prikazuje Slika 1.



Slika 1: Diagram poteka implementacije

2.1 Testiranja robotov

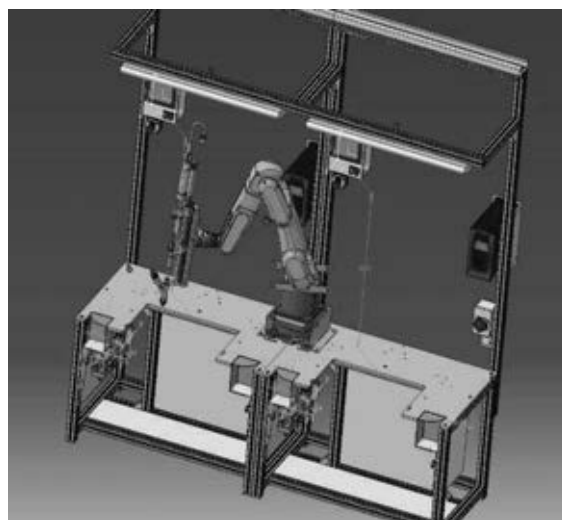
Pri razvoju aplikacije je bil uporabljen obstoječ vijalni sistem, katerega glavna slabost, v primerjavi s sistemi namenjenimi prav za kolaborativne robote, je teža. Teža 6 kg in pritrditev na robota zahtevata v prvi fazi robota, ki lahko prenaša omenjene obremenitve ter nadaljnja testiranja, kot so simulacija vijčenja in ponovljivost robota. V test sta bila vključena dva robota različnih proizvajalcev, ki sta bila izbrana na podlagi specifikacij, finančnega vidika in trenutne dostopnosti na trgu.

Pri testiranjih se je izkazalo, da se pri pritisku kline vijalnika na površino prvemu robotu spremeni pozicija osi, kar bi v praksi pomenilo, da med procesom ne moramo zagotavljati natančnosti pozicije vijčenja. Pri drugem robotu so osi obdržale pozicijo. Na podlagi testa je bil za aplikacijo izbran drugi robot.

2.2 Zasnova

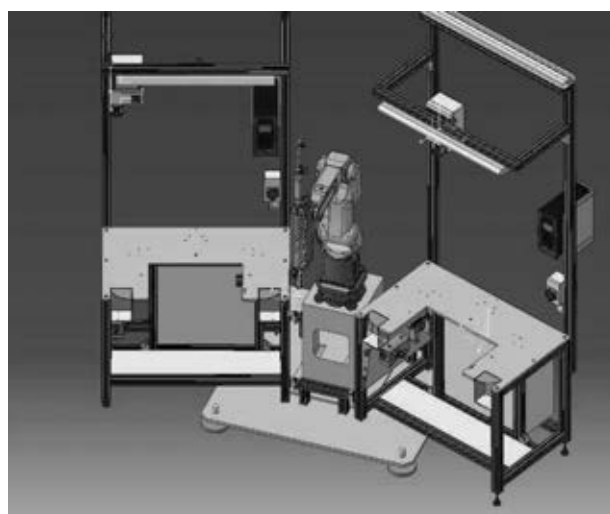
Glavni cilj pri razvoju aplikacije je bila razbremenitev operaterja oziroma delitev dela med operaterjem in robotom. V podjetju se na montažnih linijah večinsko pojavljajo operacije vijčenja, navadno ročno, le izjemoma pa tudi avtomatsko, ki je izvedeno tako, da je omogočen pomik vijalnika po z-osi ter z avtomatskim podajanjem vijakov. V splošnem je proces vijčenja časovno potraten in bi lahko operater v tem času opravljal kakšno drugo delo. Izhajajoč iz slednjega, je bilo za razvoj aplikacije izbrano vijčenje reflektorja in pripadajočih sestavnih delov, za katere je v preteklosti že bilo zasnovano avtomatsko vijčenje (brez robota), ki pa v proizvodnjo ni bilo vpeljano.

Zasnova je tekla v smeri združitve ločenih delov - robota, vijalne enote, naprav in senzorjev, ki bi tvorili nov sistem kot celota. V prvi fazi je bila določena postavitev, ki je bila izrisana v CAD programu. Rezultat prve postavitve je prikazan na sliki 2, vendar je bilo ugotovljeno, da ta ni najbolj primerna zaradi vibracij, ki bi se iz naprav prenašale na robota oziroma merilnik sile, ki ga ima robot in prekratkih razdalj med robotom in kosom.



Slika 2: Postavitev v prvi fazi

Optimizacija v virtualnem okolju je nato dala nov rezultat, ki je prikazan na sliki 3. Robot se nahaja na sredini med napravama in je pritrjen v tla, kjer je manj vibracij, naprav ni potrebno predelati, prav tako pa so omogočene rotacije robota in doseg do mesta vijčenja.

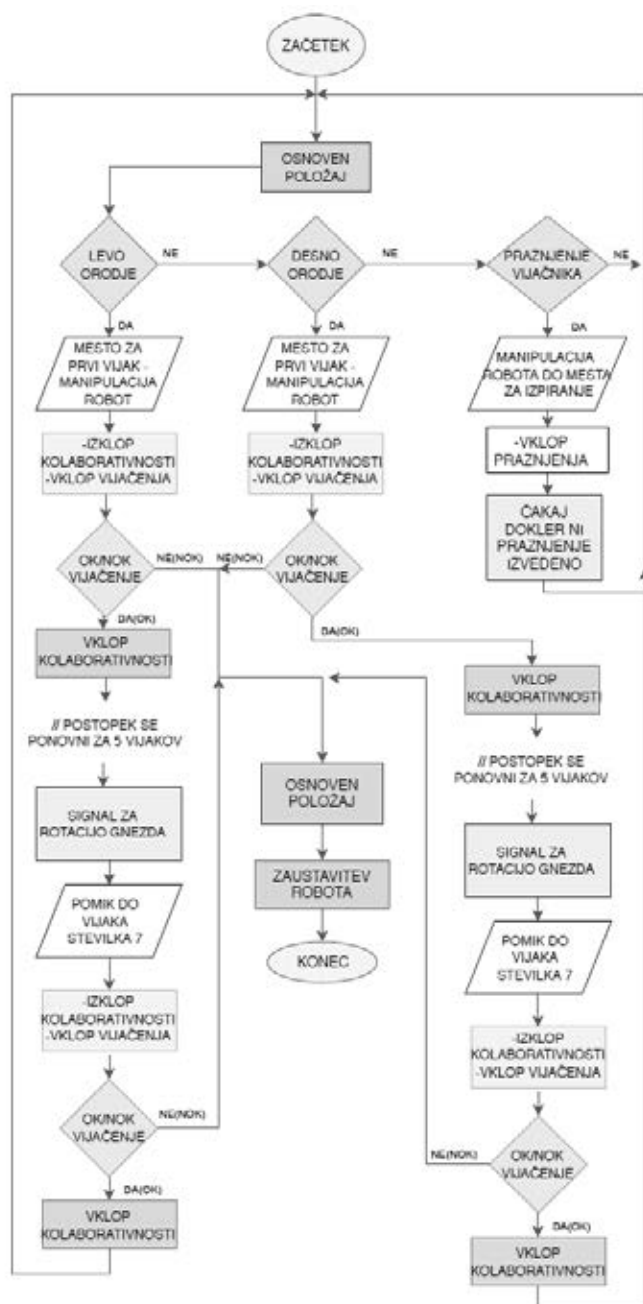


Slika 3: Optimizacija postavitve

2.4 Programski del

Diagram poteka programa prikazuje slika 4. Ob zagonu programa se robot postavi v svoj osnovni položaj in čaka na digitalni signal, ki je pogojen in napravo, na kateri operater dela. Operater v napravo vstavi kos ter potreben material in z dvoročnim pritiskom na tipki sproži delovanje sekvence na mikrokrmilniku naprave. Naprava kos zaklene in pošlje signal robotu.

Glede na vhodni signal se robot obrne v smeri leve ali desne naprave.



Slika 4: Diagram poteka programa

Nato gre v položaj vijačenja, kjer izključi kolaborativnost in dalje deluje enako kot navaden robot. Ko je robot na položaju za vijačenje, pošlje krmilniku signal za začetek vijačenja. Krmilnik izvede vijačenje in nato, glede na končen rezultat vijačenja OK/NOK, robot znova vklopi kolaborativnost za čas premika in nato vijači naslednji vijak. Ko robot zavijači vse vijake, naprava odklene kos in robot se postavi v svoj

osnovni položaj ter ponovno čaka na digitalni signal. Zaradi varnosti se vzporedno med delovanjem programa preverja stanje ultrazvočnih senzorjev, ki pokrivajo območje vijačnika. Če je stanje ultrazvočnega signala postavljeno na logično ena, se bo izvedla takojšnja ustavitev in odzračitev celotnega sistema. Do tega stanja lahko pride v primeru, ko delavka po pomoti potisne roko pod vijačnik tik pred začetkom vijačenja. Na robotu je nastavljena sila zaustavitve na 50N, kar pomeni, da če bo sila 50N presežena se, bo ta ustavil za trenutek, nato pa nadaljeval program. Če bo robot zaznal silo več kot 150N, se bo ustavil in potrebno ga bo ročno ponastaviti ter ponovno izvesti zagon cikla. Robot nato nadaljuje, kjer je ostal. Celoten sistem je vezan na varnostni modul tako, da se v primeru pritiska na tipko 'izklop v sili' celoten sistem ustavi ter odzrača. Za ponoven zagon linije je potrebno na napravi pritisniti dvoročen vklop ter ponastaviti napake.

2.5 Izzivi pri implementaciji

Postavitev robota je predstavljala prvi izziv, vendar je bila že v virtualnem okolju težava rešena tako, kot je opisano v poglavju Zasnova.

Pri implementaciji aplikacije so se pojavile določene težave z vijačnikom in njegovim delovanjem pri menjavi vijaka za enakega vendar z drugo površinsko obdelavo. V kolikor ni bila pozicija vijačenja pod pravim kotom in zelo natančno nastavljena je vijak spodletel izpod vijačnika, saj ga tuba vijačnika ni držala na dovolj veliki površini.

Za potrebe varnosti so bili v aplikacijo dodani ultrazvočni senzorji, katerih delovanje in namen je opisano v poglavju Varnostni ukrepi. Pri integraciji senzorjev je nastopila težava pri nastavitvi, dodatno pa je bilo ugotovljeno, da dva senzorja nista pokrivala celotnega območja okrog vijačnika (360°). Senzorji so bili nadomeščeni z novimi, namenskimi za kolaborativne robote. Ker so višine na mestih kjer vijačimo različne, so senzorji nastavljeni tako, da zaznajo prisotnost operaterja v vseh območjih okoli vijačnika in robot se ustavi.

Delovanje senzorjev je vedno vključeno, ne samo kadar je izključena kolaborativnost, kar

predstavlja težavo v nepotrebnem zaustavljanju procesa, če operater postavi roko v območje vijačnika, ko je robot na primer v nevtralni poziciji. Problem je bil rešen tako, da ko robot pride v območje nad orodjem, na podlagi pozicije javi krmilniku, da je vklopljeno delovanje senzorjev in obratno izklopi, ko se vijačenje zaključi.

V splošnem je velik izziv predstavljalo zagotavljanje varnosti, saj naše podjetje pred razvojem te aplikacije ni imelo izkušenj s tega področja. Za pomoč je bilo k sodelovanju povabljen zunanje podjetje, ki se ukvarja z zagotavljanjem varnosti.

Tabela 1 popisuje prednosti in slabosti kolaborativnih robotov.

Tabela 1: Prednosti in slabosti kolaborativnih robotov

Prednosti	Slabosti
Lahko dela s človekom oziroma delno zamenja človeka	Manjše hitrosti
Ne potrebuje fizičnih pregrad (varnostnih ograj)	20% dražji od navadnih robotov
Omogoča dokaj enostavno integracijo v že obstoječe montažne sisteme	Začetki in z njimi povezane izkušnje na področju varnosti
Omogoča implementacijo za širok spekter dejavnosti	Večja občutljivost

3 UVAJANJE VARNOSTNIH UKREPOV

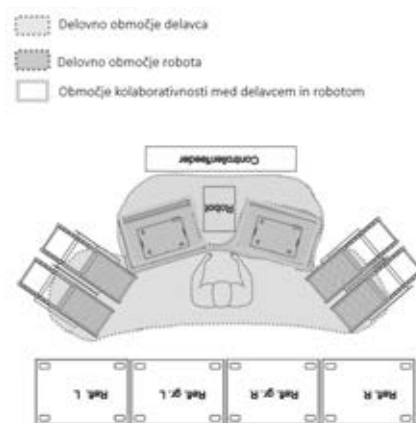
Pri načrtovanju aplikacije je na voljo več standardov, ISO 10218-1 in ISO 10218-2, ki opisujeta robote in varnost, ter ISO/TS 15066 iz leta 2016, kot dopolnitev za področje kolaborativnih robotov. Analiza tveganja se kot osnova za nadaljnje delo in izboljšave na področju zagotavljanja varnosti izvede po standardu SIST EN ISO 12100:2011.

3.1 Analiza tveganja

Analiza tveganja se izvede glede na standard SIST EN ISO 12100:2011, v katerem je opisana

varnost strojev, splošna načela načrtovanja in ocena tveganja in zmanjšanje tveganja. Podatke potrebne za vrednotenje tveganja, ki nadaljnje omogoča odločitev o tem ali je ali ni potrebno zmanjševanje tveganja. [5]

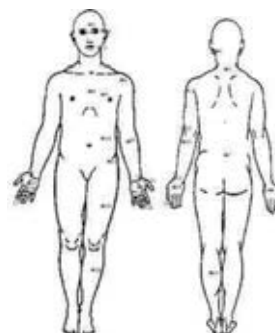
Analiza tveganja se izvede za območja za različne uporabnike, najbolj izpostavljen del pa je območje delovanja robota in delavca, ter območje kolaborativnosti, ki sta prikazana na Sliki 5.



Slika 5: Postavitev z označenimi delovnimi območji

3.2 Meritve sil po ISO/TS 15066:2016

ISO/TS 15066 opisuje maksimalno energijo, silo oziroma tlak, ki ga človeško telo lahko absorbira, glede na mesto trčenja. V standardu so točke trčenja prikazane kot prikazuje slika 6, za vsako pa so v tabelah podane maksimalne vrednosti.



Slika 6: Točke trčenja po ISO/TS 15066 [3]

Na podlagi analize tveganja so bile prepoznane tri možnosti kolizije, za katere je analiza pokazala, da ne zadoščajo zahtevam standarda. Za te so bile izvedene meritve sile in

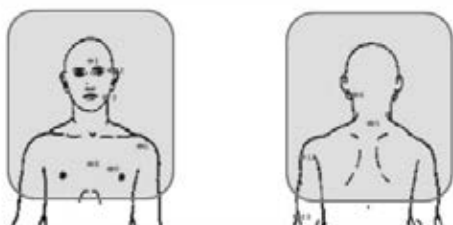
tlaka, za katere je bil uporabljen merilnik GTE KMG-500.



Slika 7: Merilnik GTE KMG-500 [4]

3.2.1 Možnost kolizije 1

Robot se giblje med delovnima mestoma in pri tem lahko pride do kolizije med ohišjem vijačnika in človekom. Vijačnik v višino meri preko 50 cm in je zaradi višine gnezd nameščen v višini glave operaterja ter tako ne izpolnjuje zahteve iz standarda ISO/TS 15066/2016: »Kljub temu, da Tabela A.2 zajema podatke za kontakt z obrazom, lobanjo in čelom, kontakt v teh območjih ni dovoljen. Glej 5.5.5.3.« [3]



Slika 8: Območje trka pri situaciji 1 [3]

Sila pri kateri se robot varnostno ustavi je nastavljena na 50N (5 kg). S tem smo na varni strani. Vprašanje je ali smo tudi s tlakom zadostili zahtevam, ki nam jih predpisuje standard. Meritev tlaka nam ni vrnila nobenih vrednosti. Razlog za to je površina namreč deli vijačnika s katerimi lahko pride do kolizije so oblikovani tako, da je naležna površina pri udarcu tako velika, da so nastali tlaki premajhni, da jih merilnik, ki smo ga uporabili izmeri.

3.2.2 Možnost kolizije 2

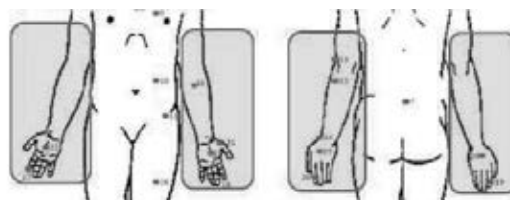
Pred vijačenjem mora robot spustiti vijačnik po z-osi na višino iz katere se lahko začne proces vijačenja. Tveganje se pojavi, če med tem vertikalnim gibom operater pomotoma postavi

roko pod vijačnik. Opazujemo površino prikazano na sliki 8.



Slika 8: Površina, ki pride v stik pri koliziji

Meritev št. 2 je bila opravljena med gibanjem kolaborativnega robota nad mestom vijačenja, ko se robot giblje vertikalno po Z-osi. Če pride med gibanjem do kolizije obstaja možnost, da del telesa ostane ukleščen med robotom in orodjem, le-ta se bo zgodila na območju roke in prstov. Pri modelu telesa v standardu ISO/TS 15066 je ta del telesa označen s št. 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (slika 9). Za mejno vrednost je vzeta številka 25.



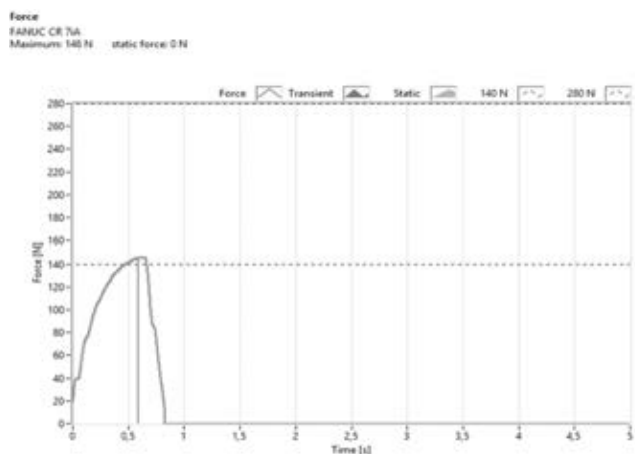
Slika 9: Območje trka pri situaciji 2 [3]

Tabela 2: Rezultati meritev za situacijo številka 2

		Meritev	Dovoljena vrednost
Prehodni kontakt (prostor za umik)	Sila [N]	146,0	280,0
	Tlak [N/cm ²]	301,6	380,0
Statični kontakt (možnost ukleščenja)	Sila [N]	0,0	140,0
	Tlak [N/cm ²]	301,6	190,0

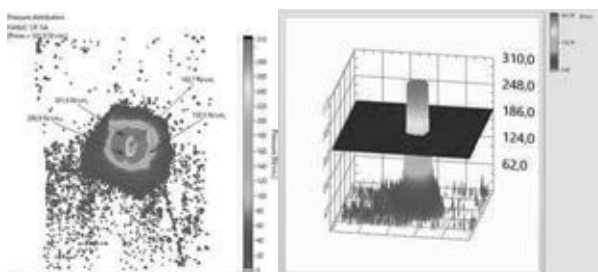
Graf na sliki 10 prikazuje naraščanje sile po času pri pomiku robota. Po 0,6 sekunde se robot zaustavi in začne umikati zato sila začne padati.

Tadej VOVK, Noka KUNEJ
Hella Saturnus Slovenija d.o.o.



Slika 10: Graf naraščanje sile po času

Slika 11.a in 11.b prikazujta razporeditev tlakov ob koliziji. Graf je izdelan na podlagi intenzivnosti odtisa na foliji, ki se pojavi ob koliziji in nato obdelan v programskem okolju. Največji tlaki se pojavijo na obodu tube na sliki 8. Slika 11.b prikazuje presežek tlakov – ravna ploskev ponazarja še dovoljen pritisk glede na standard, od rumene proti rdeči barvi pa so vrednosti, ki to mejo presegajo.



Slika 11.a in 11.b: Razporeditev tlakov

3.2.3 Možnost kolizije 3

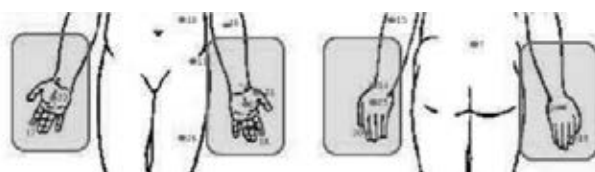
Na mestu vijačenja se sproži gib cilindra pri čemer se vijačna klina z vijakom sunkovito spusti do vijačne izvrtine in vijak zavijači. Vijak ima zelo majhno površino (premer = 3,22 mm), prikazano na sliki 12 in zato se pričakuje, da bo tlak večji od dovoljenega.



Slika 12: Vijak

Meritev št. 3 je bila opravljena med gibanjem robota po Z-osi. V tem primeru obstaja možnost, da del telesa ostane ukleščen med robotom in orodjem. Če pride do kolizije z operaterjem, se bo le-ta zgodila na območju roke in prstov.

Pri modelu telesa v standardu ISO/TS 15066 je ta del telesa označen s št. 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (slika 13). Za mejno vrednost je vzeta številka 25.

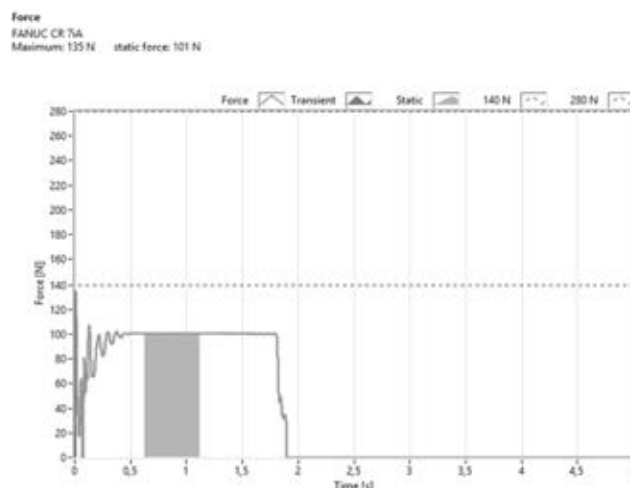


Slika 13: Območje trka pri situaciji 3

Tabela 3: Rezultati meritev za situacijo številka 3

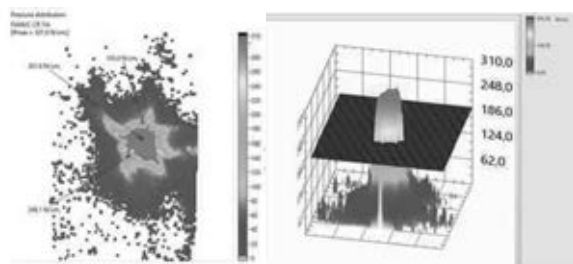
		Meritev	Dovoljena vrednost
Prehodni kontakt (prostor za umik)	Sila [N]	135,0	280,0
	Tlak [N/cm ²]	301,6	380,0
Statični kontakt (možnost ukleščenja)	Sila [N]	101,0	140,0
	Tlak [N/cm ²]	301,6	190,0

Graf na sliki 14 prikazuje naraščanje sile po času pri pomiku robota. Po 0,5 sekunde se robot zaustavi, vendar se ne odmakne samodejno. Ta prikazuje vodoravna linija pri vrednosti sile 100N, s katero pritiskamo nadaljne 1,5s.



Slika 14: Graf naraščanje sile po času

Sliki 15.a in 15.b prikazujeta razporeditev tlakov ob koliziji spodnje ploskve vijaka. Največji tlaki se pojavijo na površini vijaka, ki na sliki 12. Slika 15.b prikazuje presežek tlakov – ravna ploskev ponazarja še dovoljen pritisk glede na standard, od rumene proti rdeči barvi pa so vrednosti, ki to mejo presegajo.



Slika 15.a in 15.b: Razporeditev tlakov

Rezultati meritev potrjujejo, kar je bilo predvideno že v teoretičnem delu analize tveganja. Med obratovanjem robota nad orodjem, so sile in tlaki, ki nastanejo večji od dovoljenih vrednosti.

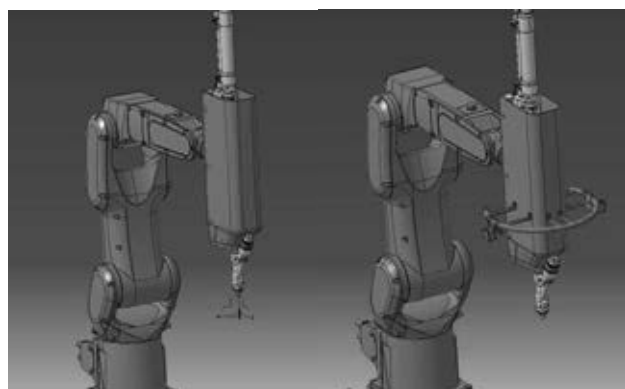
Iz tega sledi, da je za zgoraj opisane gibe oz. dele procesa kolaborativnega vijachenja potrebno določiti in implementirati varnostne ukrepe, s katerimi bomo nastale sile in tlake zmanjšali na dovoljeno raven.

3.3 Varnostni ukrepi

3.3.1 Zaščita vijachnika

Iz analize tveganja je razvidno, da prvo tveganje predstavlja vijachna enota, ki vsebuje premikajoče se dele, ki bi lahko ogrožali varnost operaterja. Enoto smo zaščitili s plastičnim okvirjem, kot je prikazano na sliki 16.

Neskladje z vidika varnosti predstavlja tudi višina vijachne enote. Da bi omejili kontakt med operaterjem in zaščito na vijachni enoti, je bil dodatno izdelan varovalni obroč. Obroč je obdan s peno, tako, da se v primeru kontakta operater dotakne le mehke površine obroča v višini vratu ali ramen, ki hkrati zagotavlja tudi distanco do plastičnega ohišja in preprečuje udarec v glavo.



Slika 16: Zaščita vijachnika in zaščitni obroč

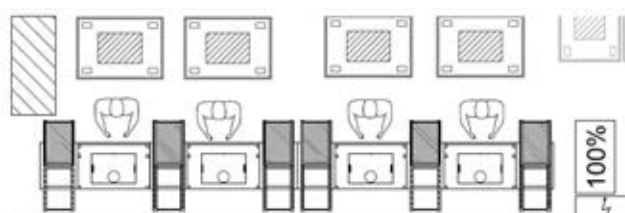
3.3.2 Zagotavljanje dodatne varnosti s senzorjem

Na podlagi analize tveganja in izvedenih meritev za primer, ko pride operater v stik z vijachnikom oziroma z vijakom je bilo ugotovljeno visoko tveganje in nujnost za implementacijo dodatne varnostne opreme. Na ohišje vijachnika so bili dodani ultrazvočni senzorji, ki ves čas preverjajo ali je prostor okrog vijachnika prazen.

Senzorji imajo dve možnosti nastavitve, ali izberemo nastavitve za eno območje ali pa dva. Upoštevati je potrebno temperaturo okolja, ki vpliva na hitrost laserja in dolžino do objekta. Na primer, če imamo objekt na dolžini 2 m to predstavlja čas 11.69 ms pri 18 stopinjah. V primeru, da je objekt bližje, na primer 25 cm, se odzivni čas zmanjša na 1.46 ms. Odzivnost senzorja se z nižanjem temperature daljša.

4 SPREMEMBE Z VIDIKA PROIZVODNJE

Implementacija kolaborativnega robota prinaša spremembe delovnega postopka in razporeditve dela. Pred spremembo se je izbrani izdelek izdelovalo na štirih delovnih mestih kot prikazuje slika 17, dve za levi kos in dve za desni kos, ki so jih upravljali štirje operaterji.

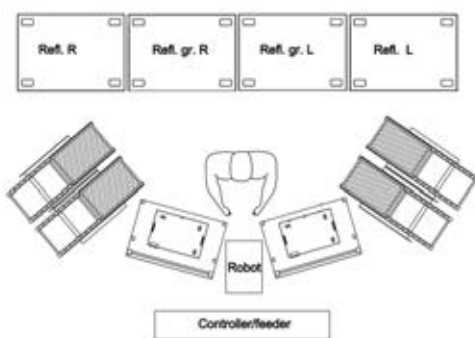


Slika 17: Prvotna postavitev delovnih mest

Operacije so si sledile tako, da je bila polovica izdelka sestavljenega na eni postaji, preostanek pa

je dokončal operater na drugi postaji. Vsak operater je imel nalogo vstavljanja materiala v gnezdo in ročno vijachenje sklopov. V povprečju se je na tak način proizvajalo 2 izmeni dnevno.

Z implementacijo kolaborativnega robota se je zmanjšalo število delovnih mest za polovico, kot prikazuje slika 18, saj sta bili po dve operaciji združeni v eno. Z avtomatizacijo vijachenja smo operaterja razbremenili tako, da lahko posluhuje hkrati dve postaji, kar pomeni, da je bilo število operaterjev iz štirih zmanjšano na enega. Tako v času vijachenja, ki ga opravlja kolaborativni robot, operater posluhuje drugo delovno mesto – odvzame končan izdelek in pripravi vse sestavne dele. Ko proži dvoročni vklop, da robotu signal za pričetek vijachenja, sam pa se pomakne do prvega delovnega mesta, kjer opravi delo.



Slika 18: Postavitev delovnih mest po implementaciji kolaborativnega robota

Tabela 4: Spremembe iz vidika proizvodnje

	Pred implementacijo	Po implementaciji
Število operaterjev na izmeno	4	1
Število izmen	2	3
Število delovnih mest	4	2
Površina	40 m ²	20 m ²

Zaradi časa, ki ga robot potrebuje za vijachenje določenega števila vijakov, se cikel za izdelavo enega izdelka podaljša, s tem pa se pojavi potreba pa več izmenah. Tako preidemo z dveh izmen dnevno v tri.

5 SKLEP

Implementacija kolaborativnega robota prinaša številne izzive in prednosti z vidika proizvodnje. Predvsem je zanimivo delovanje, saj prvič postavi robota iz kletke in tako odpre mnogo vprašanj na temo zagotavljanja varnosti, hkrati pa tudi z vidika smiselnosti za proizvodnjo, saj zaradi zmanjšanje hitrosti v kolaborativnem načinu nekoliko upočasni proces.

Skozi celoten proces implementacije kolaborativnega robota v proizvodnjo, smo se srečevali z različnimi izzivi, za katere verjamemo, da smo jih uspešno rešili. Čas pa bo pokazal kako se izdelana aplikacija obnaša v realnem svetu in kakšne izzive še prinaša tekom delovanja. Želja je v proizvodnjo postaviti še dodatne robote, ki jih vidimo tudi kot posluževalce materiala, vendar bi bila potrebna optimizacija embalaže v proizvodnji.

V prihodnosti si predstavljamo sistem z dvema 'Vision' sistemoma, ki robotu definirata mesto vijachenja in dvema rokama, ki se obračata za 360° in poslužujeta material. Poleg bi lahko dodali modul, ki na ravni skupne programske kode shranjuje podatke z napakami, tako da se v primeru ponavljajočih ali podobnih napak, zna samostojno popraviti. To bi predstavljalo povezljivost z umetno inteligenco, kar bi pomenilo, da bo v prihodnosti robot zaznaval samega sebe in okolje v katerem je postavljen, ter se bil sposoben sam prilagajati trenutnim in novim situacijam.

Viri:

- [1] Gopinath V., Ore F., Johansen K.: Safe Assembly cell layout through risk assesment – An application with Hand Guided Industrial Robot, CIRP Journal of manufacturing Science and technology (2017), str. 430-435
- [2] Sütő S., Forgó Z., Tolvaly-Rosca F.: Simulation Based Human-Robot Co-working, Procedia Engineering 181 (2017), str. 503-508
- [3] Robots and robotic devices – collaborative robots (ISO/TS 15066:2016)
- [4] KMG-500 KOLROBOT (<https://www.gte.de/product/force-measuring-systems-for-collaborating-robots/kmg-500-kolrobot/?lang=en>)
- [5] Varnost strojev – splošna načela načrtovanja – ocena tveganja in zmanjšanje tveganja (SIST EN ISO 12100:2011)

ROBOTIZACIJA KOVAŠKE LINIJE

Luka PETKOVŠEK, Peter KEREC, Robert LOGAR
ABB d.o.o.

IZVLEČEK

V podjetju UNIOR d.d. smo izvedli robotizacijo že druge kovaške linije za kovanje ojníc avtomobilskih motorjev. Do izdelanega odkovka je v procesu več operacij, v katere se z roboti vključujemo od kovaškega stroja dalje. S kovaškim strojem še vedno operira delavec, od tu naprej pa roboti manipulirajo z odkovki najprej v obrezilno, nato v kalibrirno stiskalnico, na koncu pa sledi še odlaganje na ohlajevalni trak. V prispevku bomo predstavili bistvene komponente in zasnovano takšne robotizirane linije, kjer je nekaj specifične zaradi visokih temperatur odkovkov in kratkih ciklov.

Skupina ABB

Robotika

Kdo smo „ABB Robotics“ v svetovnem merilu?

- Vodilni dobavitelj prisoten na več kot 100 lokacijah v 53 državah
- 5,000+ profesionalcev, vključujoč najširšo servisno mrežo in ponudbo
- Vodilni v tehnološkem razvoju in rešitvah za digitalizacijo
- „One-stop-shop“ za rešitve v robotski avtomatizaciji z edinstveno, integrirano ponudbo
- Kupcem pomagamo kar najbolje izkoristiti vse priložnosti, ki jih prinaša rast robotizacije

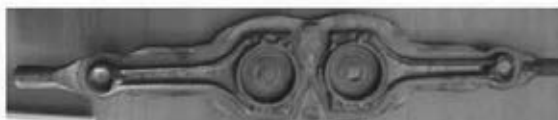


Robotizirana kovaška linija

Naloga – proces - izdelek

Kovanje ojníc za avtomobilске motorje

- Robotizacija v podjetju UNIOR d.d.
- Kovanje pri več kot 1000 °C
- Kovanje opravi kovač na kovaškem stroju
- Robotska manipulacija v stiskalnici za topli obrez
- Robotska manipulacija v stiskalnici za toplo kalibracijo
- Robotsko odlaganje na trak za ohlajevanje
- Zahtevan čas cikla: 7,5s

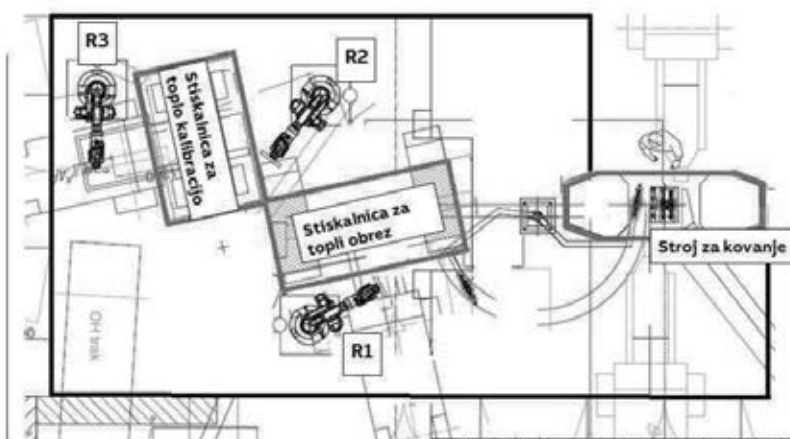


Robotizirana kovaška linija

Tloris robotske celice

Opis delovnega procesa linije

- Kovač odkuje par ojníc in ga odloži na transportno roko
- Transportna roka premakne odkovek k robotu R1, ki ga vloži v prvo gnezdo obrezilne stiskalnice
- Robot R2 odvzame obrezane odkovke iz drugega gnezda in premakne naslednji par iz prvega v drugo gnezdo.
- Robot R2 vloži par odkovkov v prvo gnezdo kalibrirne stiskalnice,
- Robot R3 odvzame kalibriran par odkovkov in premakne naslednji par v drugo gnezdo.
- Robot R3 odloži gotov par odkovkov na trak za ohlajevanje



Robotizirana kovaška linija

Izbira robotov

ABB IRB4600 45/2.05 s krmilnikom IRC5

- Trije roboti enakega tipa
- Doseg 2.05m
- Nosilnost 45kg
- Foundry plus zaščita manipulatorja
- Povišana temperatura okolja za krmilnik do 52°C.
- Dodatni filtri za hladilni zrak na krmilniku



©ABB
May 16, 2018 | Slide 4

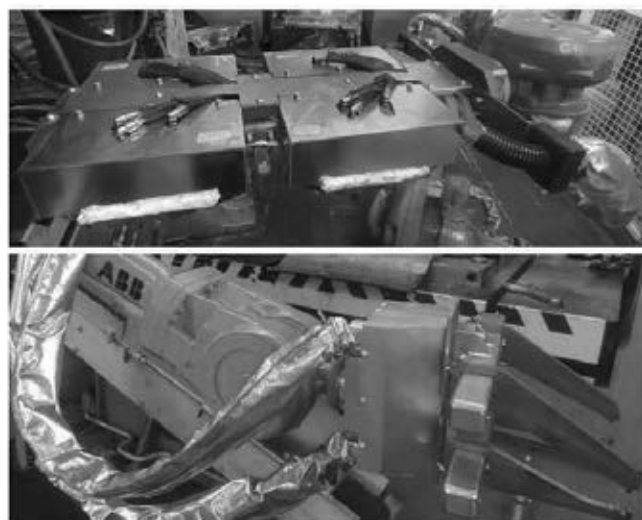
ABB

Robotizirana kovaška linija

Prijemala – R1, R2 in R3

Visoka temperatura odkovkov

- Enojen prijem robot R1
- Prijem 2 parov hkrati – robota R₂, R₃
- SCHUNK prijemala tipa DPG - dvoprstna
- Posebej toplotno obdelani sestavni deli, sloj temperaturno odpornega zaščitnega materiala do 1.200 stopinj
- Dodano izpihovanje – obrezilna gnezda na stiskalnicah
- Hlajenje prijemal z zrakom



©ABB
May 16, 2018 | Slide 5

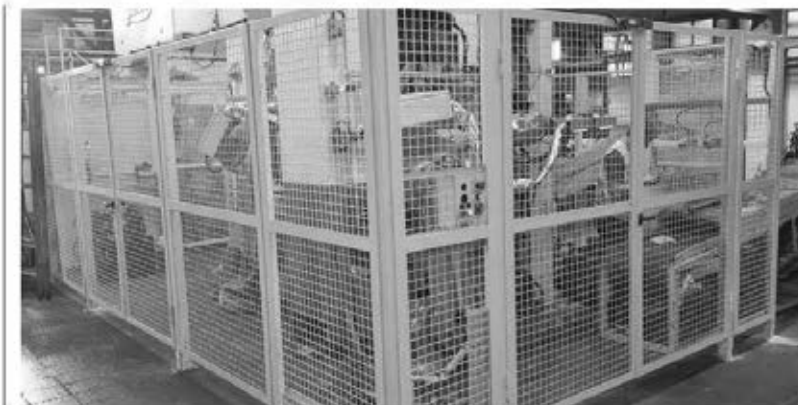
ABB

Robotizirana kovaška linija

Izvedena robotizacija - zaključek

Doseženi zahtevani obratovalni parametri in kakovost odkovkov

- Dosežen zahtevani cikel 7,5s
- Izveden nadzor nad robotsko celico preko centralnega PLK in zaslona na dotik.
- Video sistem s tremi kamerami in zaslonom, ki omogoča kovaču pregled nad delom robotov. Obenem se tudi arhivira zadnjih 48ur delovanja robotske celice.



ROBOTSKA CELICA ZA SKLADANJE MINERALNE VOLNE NAMENJENE IZOLACIJI

Hubert KOSLER¹, Aljoša ZUPANC¹, Damian ŠIRAJ², Erih ARKO², Igor PUGELJ²,
Tadej KOPRIVEC², Tomaž JEROVŠEK², Aleksander KOŠMRLJ², Matej MERKAČ¹

¹Yaskawa Slovenija d. o. o.

²Yaskawa Ristro d. o. o.

IZVLEČEK

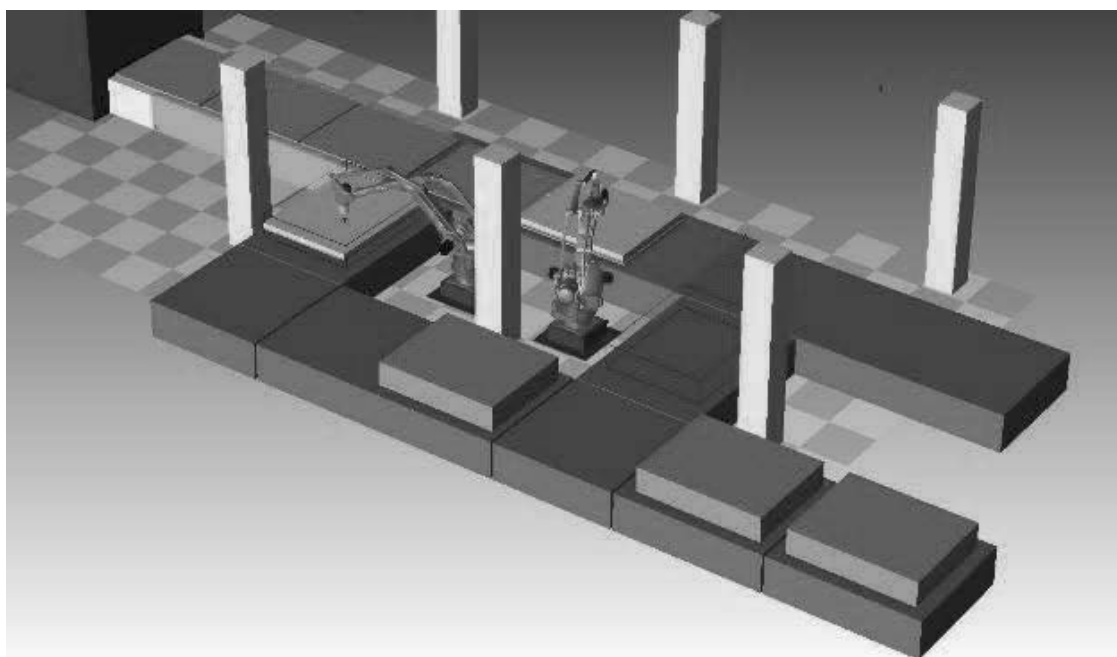
Robotska celica za skladanje mineralne volne je montirana na konec proizvodnje linije, na kateri se izdelujejo elementi za izolacijo. Način izdelave mineralne volne je poseben in je zahteval razvoj namenskega robotskega prijemala, poseben tip transportnih trakov, ter vision sistem, ki v povezavi z roboti Yaskawa ponuja enostavno uporabo robotske celice in posluževanje z velikim številom različnih tipov izdelkov.

Proizvodnja linija omogoča izdelavo velike količine mineralne volne ter hiter prehod na nov tip izdelka. Kupec robotske celice proizvaja izdelke različnih dimenzij in gostote volne, ki se proizvajajo v velikih ali malih serijah. Robotizacija skladanja izdelkov je prvi in hkrati najpomembnejši korak do popolnoma avtomatiziranega procesa pakiranja in paletiranja.

1 UVOD

Na proizvodnji liniji se izdelujejo izolacijski paneli. Dimenzijsko oblikovanje – razrez izdelkov se izvede na koncu proizvodnje linije. Na izhodu iz stroja za razrez se posamezne izdelke odlaga v kupe in pakira v izhodno embalažo.

Izolativni paneli se lahko hitro poškodujejo med ročnim pakiranjem. Proizvodnja linija je zasnovana za hitrosti proizvodnje do 25m volne na minuto. Pri največjih proizvodnjih kapacitetah ročno pakiranje ni več mogoče.



Slika 1: Zasnova robotske celice – Faza 1

2 ZASNOVA ROBOTSKE CELICE

2.1 Tehnično tehnološke zahteve in robni pogoji za robotizacijo

Na proizvodnji liniji se izdeluje mineralna volna različnih dimenzij in debelin:

- dimenzije največjega posameznega izdelka 2500x2000mm,
- dimenzije najmanjšega posameznega izdelka cca 600x600mm.
- višina posameznega izdelka: med 10 in 50mm (toleranca $\pm 10\%$).
- Različne gostote volne posameznega izdelka

Robotska celica omogoča sledenju proizvodnje linije s kapaciteto 25m volne na minuto. Upošteva prostorske omejitve (strop, stebri, transportne poti), omogoča možnost prehoda na ročno delo za pakiranje izdelkov s prepogibanjem. Stroj za razrez uporablja več kot 100 različnih rezalnih programov, prehod na izdelavo novega tipa se izvede v manj kot 10 minutah. Izdelujejo se lahko majhne serije in redno se uvajajo novi tipi izdelkov za stroj za razrez. Vsak posamezen kupec ima tudi specifične zahteve glede načina odlaganja izdelkov v kupe in glede pakiranja in priprave za transport.

Proces avtomatizacije pakiranja izdelkov iz mineralne volne je kupec zasnoval v posamezne faze. Robotizacija skladanja izdelkov na izhodu iz stroja za razrez je prvi in hkrati najpomembnejši korak do popolnoma avtomatiziranega procesa pakiranja in paletiranja.

2.2 Zasnova robotske celice

Robotska celica je zasnovana za skladanje mineralne volne v posamezne kupe do višine 500mm. Pakiranje temelji na prijemanju izdelkov iz zgornje strani z zasnovanim univerzalnim robotskim prijemalom z iglami – med prehodom na drugi tip niso potrebne nobene nastavitve prijemala. Robotsko prijemalo omogoča prijemanje izdelkov največje dimenzije 2500mm x 2000mm, oziroma večje število manjših izdelkov znotraj dimenzij prijemala.

Projekt robotizacije pakiranja mineralne je razdeljen v tri faze:

Faza 1: Zajema prigradnjo robotske celice z dvema paletirnimi roboti z univerzalnim prijemalom dimenzije 2500x2000mm z zasučnimi elementi z iglami za odzemet enega celotnega izseka stiskalnice (en pah). Robotska celica vključuje štiri transportne trakove, Vision sistem, varnostno opremo robotske celice, PLC nadzorni sistem, montažo, programiranje, šolanje.

Robotizacija Faza 1 je opisana v tem članku, Faza 2 in Faza 3 pa sledita po končanem zagonu Faze 1.

Faza 2: Prigradno izhodnega sistema transportnih trakov, ki zagotavlja čase ciklov proizvodnje linije do največ 25m/min (v primeru izdelka dolžine 2,5m).

Faza 3: Prigradnja sistema za obračanje izdelkov na izhodnem traku (pakiranje volne s folijo navzgor) in ločevanje posameznih kupov ter transport do enote za ovijanje.

Faza 1: je zasnovana tako, da se testira in preveri kako se izdelek mineralna volna obnaša med robotsko manipulacijo. Po zagonu robotske celice v podjetju končnega uporabnika se je potrdilo kateri tipi izdelka in kakšne dimenzije so primerni za robotsko manipulacijo. Zasnovana robotska celica z dvema roboti omogoča proizvodnjo 25m na minuto. Zasnova transportnih trakov za Fazo 1 pa je omejena in omogoča hitrosti do 20m na minuto.

Pred integracijo transportnega sistema za Fazo 2, se bo preverilo ali so takšne hitrosti primerne za manipulacijo z izdelki. Paletirna robota uporabljata gibe kjer izdelki dosežejo hitrosti do 1600mm/s. Pomembna je tudi hitrost s katero se lahko transportirajo posamezni kupi izdelkov iz mineralne volne. Naslednji korak je Faza 3, ki se lahko izvede tudi brez Faze 2.

2.3 Vision kontrola vhodnih izdelkov

Prepoznavna novega izdelka na robotskem odvzemnem mestu je zasnovana z Vision

sistemom z dvema 3D triangulacijskimi kamerami, ki poleg prepoznavne novega izdelka (detekcija robov) opravljata tudi osnovno kontrolo kvalitete izdelka (kontrola izrezov).

Pozicija izdelka na vhodnem transportnem traku, se spremlja s Conveyor funkcijo robotskega krmilnika, pozicija izdelka se avtomatsko prenese v robotski krmilnik za odvzem izdelkov z roboti "nižje" na transportnem traku. Montaža kamer nad trak zagotavlja:

- skupno vidno polje kamer: 2200mm (celotna širina vhodnega traku)
- resolucija: 1,2mm
- natančnost Vision sistema: 3,6mm
- teoretična natančnost / meja za določitev kontrole višine: 5mm

Sistem omogoča detekcijo lege celotnega izreza izdelkov na transportnem traku. Uporabi se zgolj ena kamera, ki določi rob izdelka. Lega izdelkov skupine izrezanih elementov – središčna točka oziroma mesto pobiranja se določi z detekcijo zunanjih robov izdelkov - položaj presečišč dveh stranic. Teoretična natančnost Vision

sistema za detekcijo položaja v prečni smeri je ocenjena z natančnostjo 2.5 ~ 3 mm.

Kontrola izrezov je zasnovana tako, da zazna odstopanje (v obe smeri) zgornje površine panela. Mejne vrednosti (treshold) se določijo za posamezno debelino. Odstopanje mora biti dovolj veliko, da ga Vision sistem prepozna kot anomalijo – odstopanja večja od 10%. V primeru da sta obe mejni vrednosti prekoračeni, se vsi izdelki posameznega izreza določijo kot neustrezni (izrez je ustrezen oz. prazen). Robot teh izdelkov ne odvzame in se po vhodnem traku odpeljejo naprej izven robotske celice.

2.4 Posluževanje z robotsko celico

Robotsko celico smo zasnovali z dvema 4-osnimi paletirnimi industrijskimi roboti Motoman tip MPL300 (nosilnosti 300kg in polmer dosega R=3159mm) v Master + Slave kombinaciji. Zasnova z dvema roboti omogoča isto odvzemno mesto in isto odlagalno mesto za oba robota. Taktni čas robotov je zasnovana s prepletanjem,



Slika 2: Robotska celica za skladanje volne



Slika 3: Univerzalna robotska prijemala

tako da se robota med seboj ne ovirata in lahko delujeta z največjimi hitrostmi (te smo upoštevali tudi v časovni analizi). Ko prvi robot odvzema mineralne volne iz vhodnega transporterja, jo drugi odlaga na kup na izhodni transporter, ter obratno.

Oba robota sta opremljena z mehanskim prijemalom, za vpenjanje mineralne volne iz zgornje strani in sicer zasnovano s pnevmatskimi zasučnimi elementi, na katerih so igle ukrivljene v obod kroga. Prijemalo je na robota pritrjeno preko jeklene nosilne konstrukcije in je zasnovano za izdelek največje dimenzije 2500x2000mm, kot tudi za prijemanje tudi manjših dimenzij. Med prehodom iz enega na drugi tip, ni potrebno nastavljanje robotskih prijemal (so zasnovani univerzalno). Robota sta opremljena s poveznim paketom in ventilskim otokom za dovod medijev do zadnje-četrte robotske osi.

Robotska celica je zasnovana tako, da robota pobirata izdelke iz vhodnega traku robotske celice in jih odlagata v kup na vzporedni transportni trak. V primeru ročnega pakiranja potujejo izdelki naprej skozi robotsko celico na mesto ročnega pakiranja.

Na izhodu je na nad transportnim trakom varovalni tunel, ki preprečuje prehod v delovno območje robota. Med prehodom na drugi tip izdelka se proizvodnja mineralne volne ne ustavi. Ko potekajo ročne nastavitve, se transportira višek volne po transportnih trakovih skozi robotsko celico do mesta ročnega pakiranja.

3 SKLEP

Proizvodnji proces namenjen robotizaciji je potrebno analizirati in prepoznati posamezne korake, ki vodijo do željenih ciljev. Potrebno je upoštevati proizvodnjo okolje in proces, da se lahko izberejo in uporabijo robustne rešitve. Končni uporabnik oziroma kupec s svojim znanjem in ljudmi z izkušnjami lahko ključno vpliva na proces integracije robotov v proizvodnjo. Delujoči roboti odpirajo nove priložnosti za robotizacijo v proizvodnih procesih in pri snovanju novih optimizacij proizvodnje.

Viri:

[1] <http://yaskawa.eu.com/>

ROBOTSKI SISTEM ZA VARJENJE _ LETINA

Andrej KREFT
DAIHEN VARSTROJ d.d.

IZVLEČEK

Naš poslovni partner se ukvarja z razvojem in izdelavo kompletnih procesnih linij v prehrambeni, kemijski in farmacevtski industriji. Predstavljen robotski varilno manipulacijski sistem je bil razvit in koncipiran z željo po visoki produktivnosti in ponovljivosti. Prej se je posluževalo z ročnimi tehnologijami varjenja, kar pa povzroča težave pri doseganju višje produktivnosti, še posebej pri ponovljivosti in zagotavljanju najvišje kvalitete izdelkov k kateri se strmi. V tem primeru robotski varilno manipulacijski sistem sestavljata dva sistema in vsakega izmed njiju sestavljata po dva robota. Pri prvem sistemu gre za enega varilnega robota opremljenega z našo najnovejšo varilno tehnologijo imenovano "synchrofeed" za "hladno in hitro" varjenje brez obrizgov, enega manipulacijskega robota za posluževanje ter dva vrtljiva pozicionerja nosilnosti 1500kg z vpenjalnima ploščama za namestitev izdelkov do premera 2500mm . Drugi sistem pa sestavljata dva varilna robota opremljena s TIG varilno opremo in enim vrtljivim pozicionerjem, ki se lahko prilagodi varjenju izdelkov kupca do višine 3.000 mm in premera 1.750 mm

1 DAIHEN VARSTROJ



Slika 1: DAIHEN VARSTROJ - OTC DAIHEN

Daihen Varstroj, del Japonske Daihen korporacije, se od samega začetka razvoja programa robotiziranega varjenja (daljnega leta 1980) uvršča v sam svetovni vrh na tem področju. Daihen je največji proizvajalec naprav za elektroobločno varjenje na Japonskem, eden

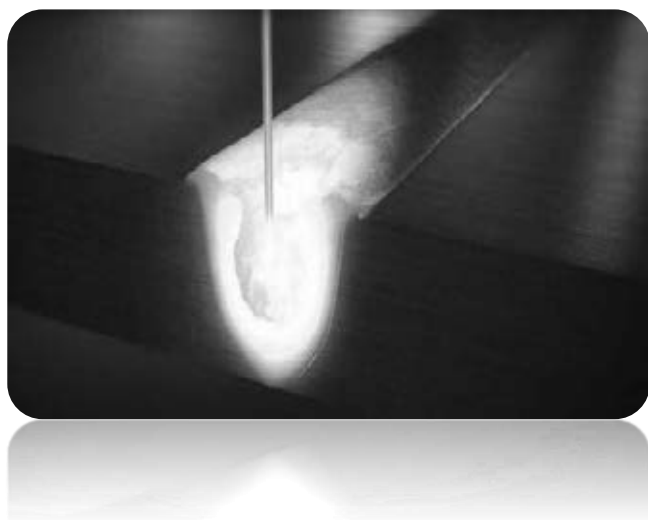
največjih proizvajalcev za elektroobločno in točkovno (spot) varilno opremo [1], največji proizvajalec robotov za elektroobločno varjenje na svetu [2] in podjetje z največ globalnimi patenti na področju elektroobločnega varjenja [3].

Daihen Varstroj, na trgu robotizacije poznan po svojih rešitvah s področja varjenja, kjer se ponášamo s preko 180 instaliranimi robotskimi sistemi širom Evrope. Smo proizvajalec vseh komponent, ki sestavljajo robotsko varilno celico od robotov, krmilnikov, perifernih enot, varilskih izvorov, varilnih gorilnikov, potrošnega materiala, senzorike in programske opreme.

Smu eden redkih proizvajalcev na tem delu Evrope, ki se lahko pohvali z referencami tako v avtomobilski in moto industriji kot tudi v industriji z velikimi in težkimi obdelovanci (reference z izdelki od nekaj kilogramov in vse do 12.000kg ali več).

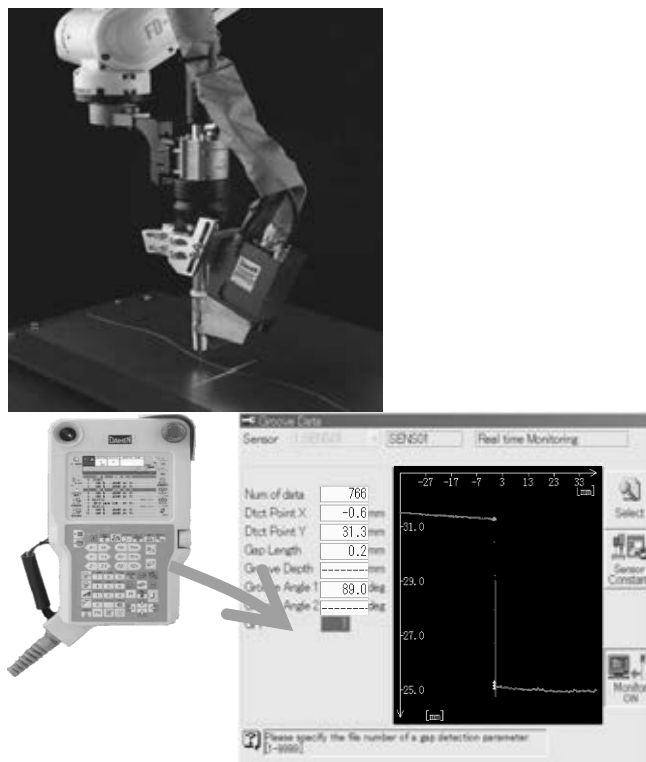
Tudi v letu 2018 smo predstavili kar nekaj novih in v svetu patentiranih tehnologij varjenja, s posebnim poudarkom na t.i. tehnologiji D-ARC. Visoko učinkoviti tehnologiji za varjenje debelejših pločevin, govora je o pločevinah debeline od 5mm do 20mm, varjenje v enem prehodu in z polovično pripravo zvarnega spoja od običajnega. Tehnologija predstavlja pravo

revolucijo na področju MAG varjenja, saj gre za kombinacijo velikih varilnih tokov (do 1000A), izjemne kontrole napetosti varilnega obloka (za kontrolo skrbita dva posebno za podobne aplikacije razvita mikroprocesorska krmilnika), visokih hitrosti podajanja varilne žice (do 100m/min) in karakteristike varilnih izvorov. Z uporabo te tehnologije lahko podjetja privarčujejo do 85% stroškov na 1m zvara.



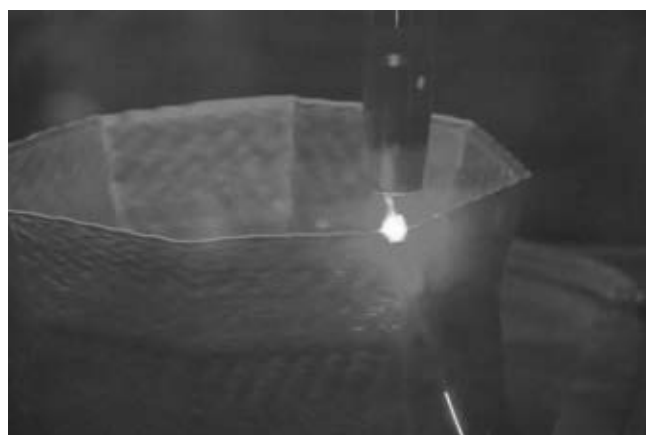
Slika 2: D-ARC tehnologija varjenja debelih pločevin (primer varjenja debeline 20mm v enem prehodu)

Še ena od novosti je na novo razvit laserski sledilni senzor z funkcijo adaptivnega varjenja FD – QT, ki je plod dolgoletnih izkušenj in razvoja laserskih senzorjev. Posebnost senzorja je da se ga programira in nadzoruje na standardnem učnem panelu robota. Tako ima programer na učnem panelu vsa potrebna »orodja« da lahko hitro in učinkovito upravlja z vso opremo ki sestavlja varilno robotsko celico.



Slika 3: Laserski sledilni senzor z funkcijo adaptivnega varjenja

Svetovna novost »3D print« aluminija pa st eže tudi lahko zasledili na več sejnih širom Evrope in sveta.

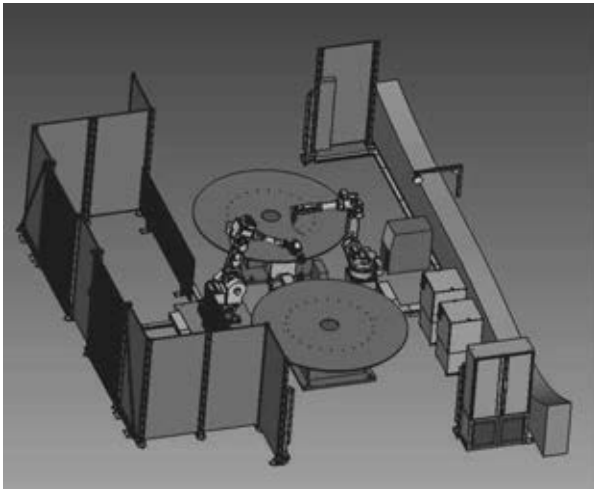


Slika 4: »3D print« aluminija

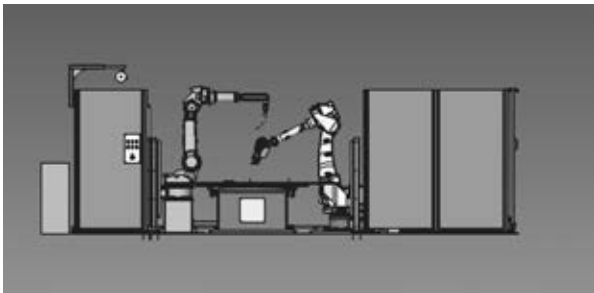
Tudi ostale novosti, kot so nova linija varilnih robotov tipa B6, B6L, V8, V8L, A20 in V25 ter robotov za manipulacijo tipa V80, V100 in V133 je že na voljo.

Koncept opisane robotske varilne opreme je najsodobnejše tehnične izvedbe z uporabo najnovejše varilne tehnologije.

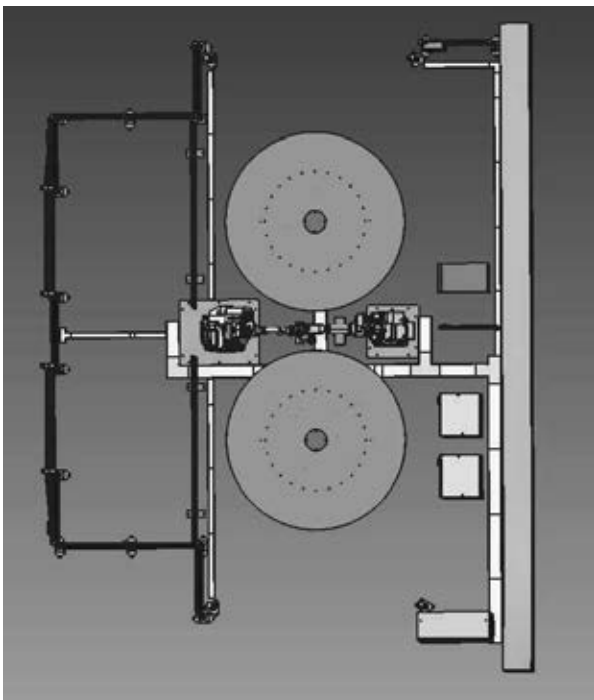
2 ROBOTSKA VARILNA SISTEMA



Slika 5



Slika 6



Slike 5,6 in 7 Robotski varilni sistem – 3D modeli

2.1 Robotski varilni sistem št.1

Sistem št.1 je bil razvit in izdelan na željo našega partnerja po visoki produktivnosti, natančnosti in kvaliteti varjenja izdelkov iz nerjavne pločevine.

Sistem je namenjen varjenju različnih dimenzij »nogic« (prikazane na sliki spodaj) na dno rezervoarja iz nerjavne pločevine debeline 0,8 – 2mm.



Slika 6: Rezervoar iz nerjavne pločevine – prikaz nogic za varjenje

Do sedaj so se za varjenje uporabljale ročne tehnologije varjenja, kar pa je povzročalo težave pri doseganju višje produktivnosti, še posebej pri varjenju - zagotavljanju kvalitete in ponovljivosti.

Osnova našega sistema je robot manipulator tipa FD – V50 opremljen s posebnim prijemalem za »nogice«.

Sistem sestavljata dva robota – en robot manipulator in en varilni robot, ter dva vrtljiva pozicionerja nosilnosti 1500kg in nameščena vpenjalnima ploščama za namestitev dna rezervoarja premera do 2500mm. Ob robotu manipulatorju se nahaja »šaržer« kjer se nahajajo nogice. Celoten sistem je varovan z zaščitno ograjo in dvema paroma t.i. optičnih zaves za maksimalno zaščito operaterjev/posluževalcev sistema.

2.2 Robota manipulatorja za sistem št.1

Uporabljen robot tipa FD – V50 razvit ravno za namene zagotavljanja natančnosti in ponovljivosti ob hitrih premikov za procese posluževanja varilnih robotov v našem primeru.

Model	FD-V50	
Kinematic	Vertical artic. type	
No. of Axes	6	
P-Point (Working Range)	R 2,050 mm	
Maximum Payload Capacity	50 kg	
Positional Repeatability*(1)	± 0.07 mm	
Driving Method	AC Servo Motor	
Working Range	J1 (Rotation)	± 165°
	J2 (Vertical)	- 135° ~ +80°
	J7	
	J3* (Rotation)	- 146° ~ +260°
	J4 (Rotation)	± 360°
	J5 (Bending)	± 125°
Wrist	J6 (Rotation)	± 450°
	J1 (Rotation)	180°/s
	J2 (Vertical)	180°/s
Maximum Speed	J7	
	J3* (Rotation)	180°/s
	J4 (Rotation)	255°/s
	J5 (Bending)	255°/s
	J6 (Rotation)	370°/s
	J1 (Rotation)	210 Nm
Maximum Torque	J2 (Vertical)	210 Nm
	J3* (Rotation)	130 Nm
	J4 (Rotation)	30.00 kg/m ²
	J5 (Bending)	30.00 kg/m ²
	J6 (Rotation)	12.00 kg/m ²
	J6 (Rotation)	12.00 kg/m ²
Ambient Temp./Humidity	0 ~ 45°, 20 ~ 80%	
Mass (weight)	640 kg	
Upper arm max. Carrying capacity(2)	15 kg	
Origin Return	None 3	
Installation Position	F, W, C	

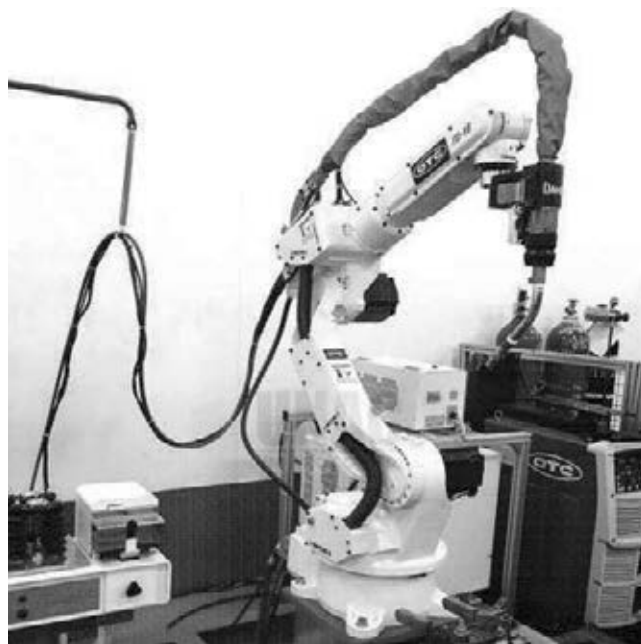


J3* (Rotation) A combined rotation of the axes J2 and J3
 Note 1: Measured value obtained after sufficient repetition of automatic operation for stabilizing conditions.
 Note 2: When the output range of the wrist unit is loaded with maximum payload capacity.
 Note 3: Positional data protected by battery-backed storage inside the manipulator.
 F = Floor W = Wall C = Ceiling

Slika 7: tehnični podatki 6 osnega robota FD – V50

Varilni robot tipa FD – V6L je opremljen z najmodernejšo tehnologijo kratkostičnega varjenja z minimalnimi obrizgi ob varjenju z visokimi hitrostmi varjenja (do 5m/min) imenovano »SYNCHRO FEED«.

Tehnologija omogoča varjenje z varilnimi tokovi do 300A ob 100% obremenitvi (%ED) in izredno konstantnim in sinhronim podajanjem varilne žice ob možnosti manipuliranja z varilno žico (kontroliran in sinhroniziran premik varilne žice »push-pull system« in ostalih ključnih varilnih parametrov).

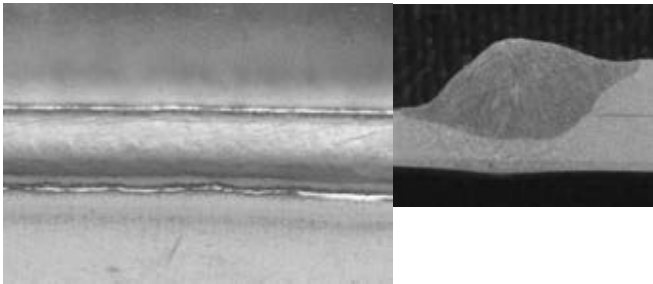


Slika 8: varilni robot tipa FD – V6 z nameščeno varilno opremo »Synchrofeed«

Uporablja se predvsem za varjenje tanjših do srednje debelih pločevin (od 0,5mm do 5mm) kot se na primer uporabljajo v avto in moto industriji, prehrabeni industriji (različne posode za shranjevanje tekočin), proizvodnji posod pod pritiski in proizvodnji jeklenih konstrukcij.



Slika 9: Varjenje brez obrizgov



Slika 10: Varjenje brez obrizgov in zvar v prerezu

Prvotno planirano TIG – tehnologijo varjenja z dodajanjem varilne žice je tako zamenjala tehnologija »Synchrofeed« ki se je med varilnimi preizkusi pokazala za vrhunsko izbiro, saj je ob varjenju brez obrizgov bila dosežena varilna hitrost od 3 – 4m/min, kar pomeni da je bila varilna hitrost uporabe TIG tehnologije varjenja (0,3-0,7m/min) bila presežena za 7 – 8 krat!

2.3 Proizvodni proces

Proces v proizvodnji je izveden z enim posluževalcem robotskega sistema, ki skrbi da ima robot za manipulacijo na voljo dno rezervoarjev nameščeno na pozicionerju in pripravljeno za nameščanje in varjenje nogic. Prav tako mora tudi skrbeti da ima ta robot vedno na voljo dovolj nogic v šaržirniku.

Sam proces poteka tako, da robot manipulator vzame nogico iz šaržirnika in jo namesti na točno določeno pozicijo na podnico. Nato se približa varilni robot in jo s kratkimi zvarnimi spoji privari.

Postopek nameščanja se ponovi še 2 do 3 krat, kar je odvisno od tipa dna rezervoarja. Ko so nameščene in privarjene vse nogice se robot manipulator odmakne in varilni robot zavari vse varilne spoje.

Kompleten proces se ponovi nato spet na drugem delovnem mestu, medtem ko lahko posluževalec odstrani zavarjen izdelek in namesti novo podnico.

2.4 Robotski varilni sistem št.2

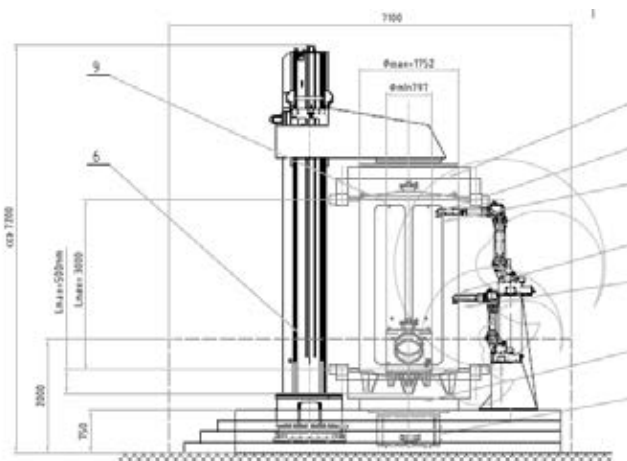
Sistem št.2 je namenjen varjenju različnih dimenzij podnic (dno rezervoarja z že privarjenimi nogicami), pokrovov rezervoarja s plaščem rezervoarja (prikazano na sliki spodaj).



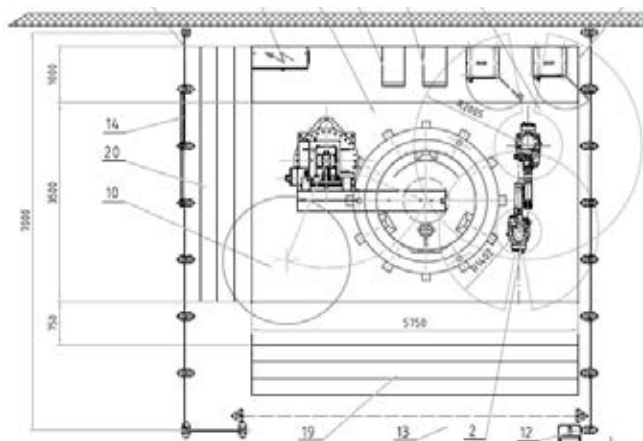
Slika 11: Rezervoar iz nerjavne pločevine – prikaz mesta za varjenje – pokrov in dno z nogicami na plašč rezervoarja

Do zagona varilne robotske celice so se za varjenje uporabljale ročne tehnologije varjenja za večje premere izdelkov in avtomatizirani procesi varjenja za manjše premere izdelkov. Vseeno pa oba procesa varjenja ne dosegata željene produktivnosti, še posebej pa ne zagotavljata kvalitete in ponovljivosti.

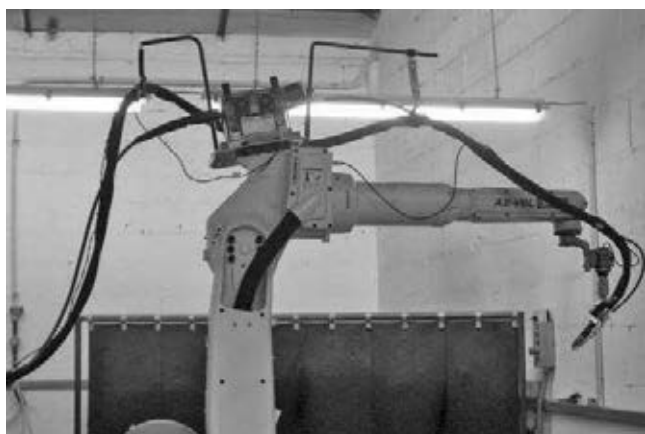
Sistem sestavljata dva varilna robota tipa FD – V6 in FD – V6L, oba opremljena z TIG varilno opremo z dodajanjem varilne žice in elektroobločnim senzorjem za zagotavljanje pravilne višine gorilnika od pločevine, en vrtljivi pozicioner nosilnosti 1500kg z nameščeno konzolo višine čez 7200mm, ki je na dnu vrtljiva (odmakne in primakne se v primeru nameščanja in snemanja zavarjenih izdelkov) in elektromotorno premična po višini za različne višine zvarjencev. Na pozicionerju in na konzoli sta pnevmatski vpenjalni plošči za namestitve pokrova in dna rezervoarja do maksimalnega premera 1750mm. Tudi ta sistem je obdan z zaščitno ograjo in t.i, optično zaveso za zaščito posluževalcev in operaterjev.



Slika 12: Robotski varilni sistem št.2, stranski pogled



Slika 13: Robotski varilni sistem št.2, tloris



Slika 14: varilni robot tipa FD – V6L z nameščeno TIG varilno opremo

2.5 Proizvodni proces

Proces v proizvodnji je izveden z dvema enim posluževalcema ki skrbita da se pravilno

namestijo dno rezervoarja, plašč in pokrov. Vse polizdelke privarijo s kratkimi zvarnimi spoji in namestijo obroče za podpihovanje zaščitnega plina.

Nato se izdelki približata oba varilna robota in pričneta z varjenjem ob hkratni rotaciji izdelka.

Kompleten proces se ponovi ko posluževalca odstranita zavarjen izdelek in namestita novega.

3 ZAKLJUČEK

Oba robotska varilna sistema opravljata svoje naloge tako kot sta tudi bila koncipirana. Naš poslovni partner pa je z dobljeno opremo občutno povečal obseg proizvodnje in zelo dvignil kvaliteto izdelkov ob zagotavljanju stalne ponovljivosti. Zaradi tega smo tudi že začeli načrtovati nove zelo zanimive projekte.

Viri:

- [1] Market share of arc welding machine in Japan, Welding MARKET 2012 (web podatki)
- [2] Market share of arc welding machine in the world, (web podatki)
- [3] Market share of arc welding robot in the world (2012), Current situation and future perspective in world-wide robotics market 2013
- [4] Daihen Varstroj; interna dokumentacija o sistemu
- [5] OTC Daihen; interna dokumentacija o robotih

REŠEVANJE KOMPLEKSNIH PROBLEMOV V MALIH IN SREDNJIH PODJETJIH

Anže CVENKEL, Andrej APOLLONIO
Lotrič Certificiranje d.o.o.

IZVLEČEK

Produkti, ki jih ponujajo mala in srednja podjetja so vse bolj dovršeni, optimizirani ter kompleksni, zaradi česar morajo izpolnjevati vse več zahtev. V želji stalnega napredka in optimizacije procesov v podjetjih, se podjetja osredotočajo na razvoj ključnih lastnosti in funkcij njihovega produkta. Taka podjetja postajajo vse bolj specializirana in ozko usmerjena. Veliko komponent produkta ali pa samo del tehnoloških operacij in z njimi povezanih specifik pa prepuščajo v izdelavo drugim partnerjem.

Občasno se pojavijo problemi, ki pa so kompleksne večplastne narave in niso enostavno rešljivi. V takšnih problemih se običajno izkaže, da podjetja nimajo dovolj resursov, izkušen, znanja in analiznih metod, ki bi omogočale celovito obravnavanje problema in njegovo rešitev.

V tem prispevku bi radi predstavili dva primera, kjer bomo pokazali, kako se je naše podjetje vključilo v reševanje konkretnega problema in pod do končne rešitve.

1 UVOD

Podjetje Lotrič Certificiranje d.o.o. je na trgu prepoznano, kot eden izmed vodilnih akreditiranih preskusnih laboratorijev. Razpolagamo s številnimi akreditiranimi postopki iz področja kemije, polimerov, metalografije, mehanike, površinske zaščite in klimatskih izpostav. Poleg tega pa trgu ponujamo številne druge analizne postopke, ki jih pri reševanju kompleksnih primerov uporabljamo, kot orodja za rešitev problema. V tem prispevku bomo predstavili dva primera, kjer smo z metodiko, znanjem in z različnimi analiznimi postopki prišli do končne rešitve problema s katerimi sta se soočila naša partnerja.

2 POKANJE VIJAKOV

Pokanje sestavnih delov, posebej spojnih sestavnih delov, kot so vijaki, lahko vodi do hujših lomov in s tem nepopravljivih poškodb strojev, v številnih primerih pa predstavlja nevarnost tudi za ljudi. Dostikrat se zgodi, da vzrok pokanja ni enostavna preobremenitev, pač

pa se razlogi skrivajo drugje, kjer jih je težje dokazati. Analiza takšnih problemov je zahtevna, vendar je smiselno vedeti, zakaj pride do pokanja, saj lahko le tako proces oziroma izdelek izboljšamo, kar nam ponovno vrne zaupanje v naš produkt.

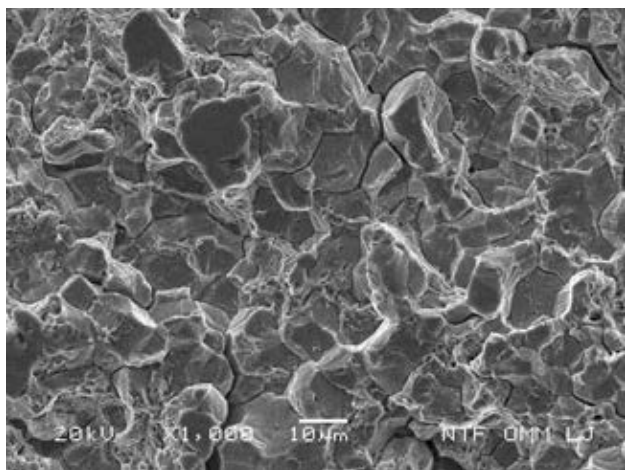
Analizirali smo vijake, ki so obremenjeni v natezni smeri, in sicer zgolj na delu z navojem med dvema maticama, glava pa ni obremenjena. Pri montaži je prihajalo do pokanja teh vijakov pri relativno zelo nizkih momentih zavijanja vijaka.

2.1 Priprava hipotez in nabora preskusov

Glede na to, da predpisani navor pritegovanja ni niti blizu mejnega maksimalnega navora, ki bi ga takšen vijak moral zdržati, pa vseeno prihaja do pokanja, smo se osredotočili na neustrezne obdelave, ki bi lahko povzročile spremembe v materialu in s tem poslabšanje njegovih mehanskih lastnosti. V prvi vrsti smo se želeli prepričati, da je material enak predpisanemu, da ima zahtevano trdoto in da je površinsko zaščiten skladno z navodili. Še pred tem pa smo z analizo s penetranti dokazali, da v vijakih ni prisotnih

razpok, ki bi nastale že pred vgradnjo vijaka in tako zmanjševale presek vijaka.

Analiza kemijske sestave je pokazala, da vijak ustreza specifikacijam želenega jekla, tudi meritve trdote so pokazale, da je trdota vijakov v tolerančnih mejah. Tudi površinska zaščita je bila izvedena po načrtu. Glede na to, smo lahko pričeli z iskanjem literaturnih virov o tovrstnem jeklu. Kot najverjetnejša vzroka sta se kazali popuščna krhkost, ki je posledica neustrezne toplotne obdelave popuščanja ter vodikova krhkost, ki je posledica predolgega namakanja v kopelih za aktivacijo površine (HCl, HF,...) med postopkom površinske zaščite. Da bi potrdili pravilnost hipotez smo si ogledali lomne površine z elektronskim mikroskopom (SEM).



Slika 1: SEM posnetek krhkega loma

Pregled lomnih površin s SEM je potrdil naše hipoteze glede popuščne ali vodikove krhkosti, saj je šlo pretežno za interkristalni krhki lom (slika 1).

2.2 Potrjevanje hipotez

Da bi lahko dokazali, kje je vzrok krhkosti vijakov, smo se odločili napraviti natezni preskus vijakov v povezavi z različnimi toplotnimi obdelavami. V prvi vrsti smo nekaj vijakov dali za 5 ur na 200 °C, kar povzroči difuzijo vodika iz kovine, kjer se je bil zadrževal v vodikovih pasteh. Tako izpostavljene vijake smo primerjali z vijaki, ki niso bili izpostavljeni. Pokazalo se je, da se mehanske lastnosti sicer rahlo dvignejo, vseeno pa ostanejo bistveno slabše od

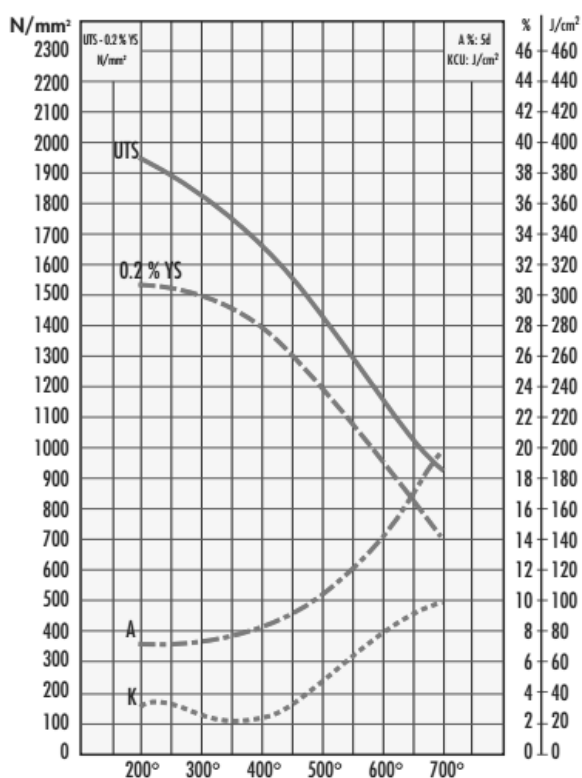
pričakovanih za ta material. Predvsem je bodlo v oči dejstvo, da niso vijaki pri nateznem preskusu dosegli praktično nikakršnega raztezka po pretrgu, kar je seveda izjemno nevarno.

Tabela 1: Mehanske lastnosti poboljšane jekla glede na literaturo

meja tečenja Rp 0,2 [MPa]	natezna trdnost Rm [MPa]	razteznost A [%]
min. 900	1100 - 1300	min. 10

Glede na to, da ni prišlo do bistvenega dviga mehanskih lastnosti smo večjo pozornost posvetili hipotezi o popuščni krhkosti. Raziskali smo, kako so bili vijaki toplotno obdelani ter kakšna so priporočila v literaturi za ta material. Preiskovani vijaki so se namreč kalili v zaščitni atmosferi s temperature avstenitizacije 850 °C. Kalilni medij je bilo olje. Glede na literaturo je priporočena temperatura avstenitizacije za kaljenje tega jekla 830 – 860 °C, če je kalilno sredstvo olje (vir: SIJ Metal Ravne). Torej temperatura avstenitizacije in kaljenja ter metoda kaljenja glede na literaturo ustreza. Vendar pa so se po podatkih naročnika zatem vijaki popuščali na temperaturi 350 °C. Glede na različno literaturo je priporočena temperatura popuščanja min. 540 °C, kar je skoraj 200 °C več kot je bila dejanska temperatura. V literaturi smo našli popuščni diagram, ki je prikazan na sliki 2.

V tem popuščnem diagramu imamo prikazano tudi krivuljo žilavosti – to je spodnja krivulja, označena s črko K. Opazimo lahko, da ima krivulja prav pri temperaturi popuščanja nekje 350 °C (X-os) minimum, kar je značilno za popuščno krhkost. Krivulja sicer doseže prvi maksimum pri okoli 220 °C – tedaj je žilavost rahlo nad 30 J. Zatem žilavost pri omenjenih 350 °C pade na 20 J in se nato prične znova zlagoma dvigovati. Pri 480 °C ima jeklo ponovno žilavost 40 J, pri 540 °C pa tik pod 60 J. Tudi zatem se žilavost precej enakomerno dviguje.

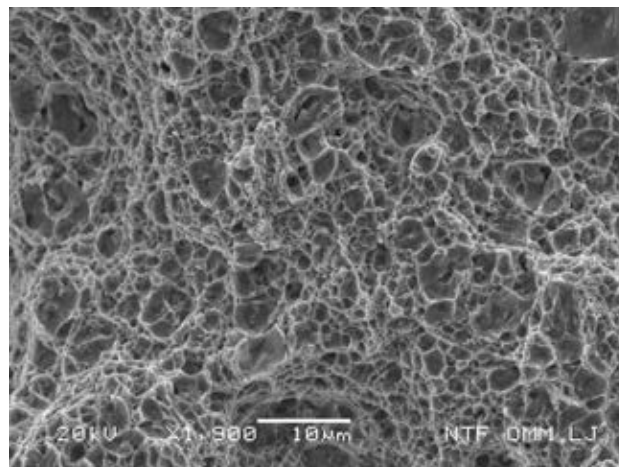


Slika 2: popuščni diagram za analizirano jeklo

Da bi to hipotezo potrdili, smo si priskrbeli nekaj vijakov iz enakega materiala, ki pa še niso bili toplotno obdelani. Takšne vijake smo kalili s priporočene temperature ter jih zatem popustili pri dveh različnih temperaturah – izvedli smo nizkotemperaturno popuščanje pri temperaturah pod območjem pojava popuščne krhkosti ter visokotemperaturno popuščanje za tem območjem. Zatem smo na tako obdelanih vijakih napravili enak natezni preskus kot prej na vijakih, ki so pokali. Preskus je pokazal močan dvig mehanskih lastnosti, predvsem trdnosti in raztezka po pretrgu, ki je dosegel pri kosih, ki so bili popuščeni na višji temperaturi vrednosti tudi prek 30 %. Jasno je, da so takšni vijaki tudi precej bolj žilavi in varni za uporabo zaradi področja plastičnega preoblikovanja pred lomom.

Da bi dokončno potrdili hipotezo o popuščni krhkosti smo s SEM pregledali še lome, ki so nastali pri nateznih preskusih. Izkazalo se je da je morfologija loma pri drugih temperaturah popuščanja povsem drugačna, in sicer precej bolj duktilna, nevarnega interkristalnega krhkega loma nismo zaznali, vijaki, popuščeni pri nižji temperaturi so se lomili pretežno z zelo drobnim transkristalnim krhkim lomom, tisti, ki so bili

popuščeni pri višji temperaturi pa z duktilnim lomom z jamicami (slika 3). Obe morfologiji sta precej ugodnejši od interkristalne.



Slika 3: SEM posnetek duktilnega loma

2.3 Oblikovanje zaključkov in priporočil

Z analizami smo dokazali, da je vzrok pokanja vijakov napačna toplotna obdelava popuščanja, ki se pokaže v popuščni krhkosti, manjši delež pa lahko prispeva tudi vodikova krhkost. Tako smo predlagali spremembo temperatur popuščanja navzgor, da se ognemo pojavu popuščne krhkosti. Če bi bil problem v trdoti, bi lahko uporabili tudi nižje temperature popuščanja, vendar je to bolj delikatno. V vsakem primeru pa bi lahko izbrali tudi ustrežnejši material, ki bi predpisano trdoto dosegel v območju, kjer ne bi bil občutljiv na popuščno krhkost.

3 SPREMEMBE LASTNOSTI ABS MATERIALOV PRI IZPOSTAVI RAZLIČNIH VPLIVOV STARANJA

Proizvajalec hladilne tehnike v svoje produkte vgrajuje 4 različne ABS plastične materiale. Večina plastičnih elementov hladilnih produktov je izdelanih prav iz teh plastičnih materialov (slika 4). Proizvajalec je iz trga pridobil informacijo, da po časovnem obdobju nekaj let pri nekaterih hladilnikih prihaja do pokanja plastičnih delov, ki so narejeni iz ABS materiala. Naloga v tem primeru je bila ugotoviti zakaj prihaja do pokanja.



Slika 4: Hladilne omare

3.1 Priprava hipotez in nabora preskusov

Z zbranimi informacijami iz terena je partner pripravil nabor hipotez, ki bi lahko bile vzrok krhkosti uporabljenih ABS materialov. Sprva smo predvidevali, da gre za normalno staranje ABS materiala, vendar smo to hipotezo zavrnili tudi v sodelovanju s proizvajalcem granulata. Večina plastičnih delov, ki so pokali je bilo montiranih na vidnih delih hladilnikov v trgovskih centrih. Tako se man je porodila hipoteza, da prihaja do krhkosti ABS materiala zaradi rednega čiščenja hladilnih.

Odločili smo se, da bomo to hipotezo preverili. Skupaj s partnerjem smo natančno sestavili način testiranja. Odločili smo se, da bomo iz vseh štirih vzorcev ABS materiala izdelali standardne preskušance ISO 527-2 / 1A za natezni preskus. Pred izvedbo nateznega preskusa smo preskušance izpostavili naslednjim pogojem:

1. Brez dodatne izpostave pred preskusom
2. 24 h izpostava preskušancev v 6 najbolj pogostih sredstvih, ki se uporabljajo za čiščenje hladilne tehnike
3. 24 h izpostava preskušancev v 6 najbolj pogostih sredstvih, ki se uporabljajo za čiščenje hladilne tehnike + prednapeto stanje.

Za izpostavo na čistilna sredstva in prednapeto upogibno stanje smo se odločili, ker so nekateri plastični elementi v izdelku montirani v prednapetem stanju.

3.2 Potrjevanje hipotez

Vsi štirje testirani plastični materiali so imeli podoben odziv na testirane pogoje. V tabeli 2 so predstavljeni rezultati za en material.

Tabela 2: Rezultati testiranja materiala ABS 1

Izpostava	Natezna trdnost σ_m [MPa]	Raztezek pri σ_m ϵ_m [%]	Raztezek pri pretrgu ϵ_{tb} [%]
Osnovno stanje	39,1	2,0	14,3
24h CIF	39,7	2,1	15,7
24h FROSH	39,8	2,1	15,2
24h AJAX	39,7	2,0	14,9
24h HOLLU LM	39,5	2,1	12,8
24h W5	38,8	2,0	13,0
24h HOLLU F9	39,7	2,1	13,2
24h CIF + prednapeto stanje	38,5	2,1	3,3
24h FROSH + prednapeto stanje	39,4	2,0	17,2
24h AJAX + prednapeto stanje	38,7	2,0	6,2
24h HOLLU LM + prednapeto stanje	8,3	0,5	2,0
24h W5 + prednapeto stanje	37,5	2,0	22,6
24h HOLLU F9 + prednapeto stanje	37,9	2,0	2,0

3.3 Oblikovanje zaključkov

Rezultati v tabeli 2 prikazujejo, kako različen je vpliv čistilnih sredstev na ABS material. Pri izpostavi preskušancev na CIF, FROSH in

AJAX za 24 ur se mehanske lastnosti materiala ne spremenijo oziroma se spremenijo minimalno. Pri izpostavi za 24 ur na HOLLU LM, W5, HOLLU F9 pride do spremembe v raztežku pri pretrgu.

Predvidevali bi, da bodo rezultati pri 24 urni izpostavi na medij v prednapetem stanju podobni le razlike bodo bolj očitne a temu ni tako. Mehanske lastnosti se močno poslabšajo pri preskušancih, ki so bili izpostavljeni na HOLLU LM in HOLLU F9. Pri izpostavi na CIF in AJAX je prišlo do občutnega zmanjšanja raztežka pri pretrgu. To pomeni, da je material ohranil natezno trdnost vendar je postal veliko bolj krhek. Izpostava na W5 v prednapetem stanju povzroči izboljšanje elastičnih lastnosti. Material je ohranil natezno trdnost raztežek pri pretrgu pa se je močno izboljšal. Enak učinek je viden tudi pri izpostavi na FROSCH le intenziteta je manjša.

Iz raziskave je razvidno, da je sistematičen pristop k reševanju problema ključnega pomena. Vsako hipotezo, ki jo postavimo med načrtovanjem raziskave je potrebno oceniti. Na podlagi ocene se nato odločimo ali bomo hipotezo preverjali ali ne. Velikokrat se izkaže, da ne moremo samo na podlagi analogije pravilno oceniti rezultate testiranja.

4 SKLEP

Vsak korak do končne rešitve je pomemben. Iz obeh opisanih primerov je lepo razvidno, kako lahko z ustrezno strukturirano analizo problema pridemo do njegovega izvora, kar nam bistveno olajša tudi iskanje primerne rešitve.

Rešitve takšnih problemov podjetjem prinaša odgovore, ki omogočajo nadaljnje izboljšave in navsezadnje napredek podjetja.

TOPLOTNE IN MIKROSTRUKTURNE LASTNOSTI EMAJLOV IN EMAJLIRANE JEKLENE PLOČEVINE

Blaž KARPE¹, Žan FERČAK¹, Boštjan BAVEC², Milan BIZJAK¹, Aleš NAGODE¹, Borut KOSEC¹

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

²Gorenje d.d.

IZVLEČEK

Z metodo tranzientnega planarnega toplotnega vira Hot Disk TPS 2200 smo v skladu s standardom ISO 22007-2 izvedli meritve toplotnih lastnosti dveh vrst emajlov, ki se uporabljata v industriji bele tehnike. Ker direktnih meritev toplotnih lastnosti emajlirane jeklene pločevine nismo mogli izvesti smo vzorce emajlov pripravili v obliki debelih plasti. Rezultati, ki smo jih pridobili z meritvami toplotnih lastnosti debelih plasti, so v okviru pričakovanih vrednosti za toplotne lastnosti emajlov, ugotavljamo pa, da ima velik vpliv na toplotne lastnosti dosežena gostota emajlirane plasti. Vzorce emajlirane pločevine smo metalografsko pripravili in analizirali z vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM) in optično mikroskopijo (OM). Izvedli smo tudi oceno vpliva toplotne prevodnosti emajlirane plasti na toplotno prehodnost emajlirane jeklene pločevine.

1. UVOD

1.1 Emajl

Emajl je steklasta prevleka preko kovinske podlage, katere namen je zaščita pred kemijskimi vplivi, izboljšanje njene funkcionalnosti (odpornost proti obrabi, bakterijam...) ali estetskega videza. Emajliranje pa je tehnološki postopek, pri katerem nanesemo na kovinsko podlago emajl v obliki finega prahu ter segrejemo na temperaturo tališča emajla (od 750-850°C), pri čemer se talina adhezijsko veže s podlago, tako da nastane na površini kovinskega izdelka čvrsta nepretrgana steklena prevleka.

Emajle lahko delimo na več načinov: glede na podlago, na katero nanašamo emajl, glede na funkcijo, ki jo opravlja ali glede na metode nanašanja emajla.

Delitev glede na podlago:

- emajli za jekleno pločevino,
- emajli za lito železo,
- emajli za aluminij,
- emajli za legirana jekla,

- emajli za plemenite kovine.

Delitev glede na funkcijo, ki jo opravlja emajl:

- temeljni emajli, ki izboljšajo adhezijo med emajlom in podlago,
- krovni emajli, ki se naprej delijo na emajle določenih površin in barv ter emajle določenih fizikalnih in kemijskih lastnosti (odpornost na kisline, odpornost na vlago, visokotemperaturna odpornost...),
- direktni emajli, ki imajo hkrati funkcijo temeljnih in krovnih emajlov.

Delitev glede na metode nanašanja emajla:

- emajli, za katere je značilno suho nanašanje,
- emajli, za katere je značilno mokro nanašanje.

V zadnjem času se masovno uporabljajo direktni, z enim nanosom in enim žganjem, pri določenih aplikacijah pa tudi temeljni in krovni, ki zahtevajo ločen nanos in le enkratno žganje. Postopki emajliranja z dvojnimi nanosom in dvakratnim žganjem se v

industrijski praksi večinoma opuščajo zaradi višjih proizvodnih stroškov.

Emajli tako kot ostala stekla ali keramika prenašajo znatno višje tlačne napetosti kot natezne (od 15 do 20 krat višje), zato se emajliranje vedno načrtuje tako, da so izdelki če je le mogoče tlačno obremenjeni. Tlačna trdnost različnih vrst emajlov je zelo različna in znaša od 800-1500 Nmm⁻²[1]. Napetosti v materialu pa se lahko formirajo že v času njegovega procesiranja. Pri emajliranih izdelkih je najbolj kritični del ohlajevanje s temperature žganja, ko se steklasta talina sprime s podlago in na njej strdi. Najpomembnejša fizikalna lastnost emajlov je zato njihov temperaturni raztezek. Za doseg močne vezi med emajlom in kovino je nujno potrebno, da sta temperaturni raztezek emajla in kovine na katero ga nanašamo podobna. Če je temperaturni raztezek emajla večji, se bo emajl pri ohlajanju bolj krčil. Ker pa sta kovinska podlaga in emajl med seboj povezana, bo le ta preprečevala naravni skrčec emajla. Posledica tega bodo natezne napetosti v emajlu, ki bo napokal. Če pa je temperaturni raztezek emajla bistveno manjši od temperaturnega raztezka kovine, se bodo v emajlu formirale visoke tlačne napetosti in emajliran nanos bo odstopil od podlage in razpadel. Ker emajli veliko bolje prenašajo tlačne napetosti od nateznih se njihov temperaturni raztezek vedno načrtuje tako, da je nekoliko manjši od temperaturnega raztezka podlage.

1.2 Jeklena pločevina za emajliranje

Pri izbiri jekla za emajliranje je pomembno upoštevati naslednje faktorje: Osnovna sposobnost jekla za emajliranje, odsotnost površinskih napak, odpornost proti povešanju pri temperaturah emajliranja, preoblikovalnost, trdnost in varivost. Vpliv posameznega faktorja je odvisen od tehnologije preoblikovanja pločevine kot tudi od tehnologije emajliranja in končne uporabe emajliranega izdelka [1].

1.3 Osnovna sposobnost jekla za emajliranje

Kot osnovno sposobnost jekla za emajliranje razumemo odsotnost nastanka plinskih mehurčkov, ki povzročajo mehurjavost emajliranega sloja. To mehurjavost povzroča

reakcija ogljika, ki se nahaja v jeklu, z nekaterimi oksidi v emajlu (NiO, CoO), nastaja pa ogljikov monoksid (CO) [2]. Le ta izhaja iz površine in povzroča t.i. vrenje emajla. Pri dvoslojnem nanašanju emajla se določeno količino ogljikovega monoksida pri žganju temeljnega sloja tolerira, ker ima le ta dobro tekočnost in sposobnost omakanja, morebitne preostale manjše napake pa prekrije površinski sloj, medtem ko je pri enoslojnem nanašanju emajla dopustna tvorba ogljikovega monoksida zelo majhna. Jekla za emajliranje imajo zato zelo nizko vsebnost ogljika (<0,08 ut.%) dodatno pa so lahko mikrolegirana s titanom in/ali niobom, ki stabilizirata ogljik v obliki karbida, obstojnega pri temperaturah emajliranja. V kolikor se uporabi jekla z višjim odstotkom ogljika ne moremo izogniti, je pomembno, da na površini jekla ni železovih karbidov (Fe₃C), ker pri temperaturah emajliranja razpadejo [1].

2. REZULATATI MERITEV

Za merjenje toplotnih lastnosti emajla in emajlirane pločevine smo uporabili nestacionarno metodo imenovano metoda tranzientnega toplotnega vira (TPS) [3]. Hot Disk TPS 2200 je inštrument za merjenje toplotnih lastnosti materialov švedskega proizvajalca Hot disk AB. Z napravo je mogoče z natančnostjo ± 2% meriti toplotno prevodnost ter z natančnostjo ± 5 % specifično volumsko toplotno kapaciteto in temperaturno prevodnost v skladu s standardom ISO 22007-2 [4].

Meritve toplotnih lastnosti emajlirane pločevine smo izvajali na vzorcu v obliki zloga dvajsetih lasersko izrezanih ploščic. Rezultati so imeli zelo velik raztros tako da meritve niso bile verodostojne. Vzrok za to je nepopoln stik med posameznimi ploščicami ter posledično pojav kontaktne upornosti. Zaradi tega se toplotni val, ki ga odda grelec/senzor, od meje med ploščicama delno odbije nazaj proti sensorju, s tem pa ni več zagotovljen pogoj za izračun toplotnih lastnosti, ki temelji na enačbah prenosa toplote v neskončnem mediju. Ker v laboratoriju nismo opremljeni z modulom za meritve toplotnih lastnosti tankih

izolacijskih filmov smo se lotili meritve tako, da smo izdelali približno 1 cm debele plasti preiskovanih emajlov. Za izdelavo takih vzorcev smo pripravili kokile dimenzije (9x6x1,5cm) iz nizko ogljičnega jekla, v katere smo nasuli emajl v obliki prahu in jih nato v elektroporovni peči postopoma segrevali na 850°C in 900°C ter zadržali 10 minut, da se je emajl do konca stalil. Vzorce smo nato počasi ohladili v peči.



Slika 2: Primer kokile z emajlom (levo), postavitev senzorja (desno)

Talina emajla zelo dobro omaka jekleno površino zato je problematično izdelati vzorce debelih plasti emajla pri katerih prosta površina ni vsaj nekoliko konkavna (kokile bi morale biti zelo velike). Zaradi tega je zelo težko izdelati dva identična vzorca z ravno površino, ki bi omogočala vgraditev senzorja brez prisotnosti zračne reže. Meritve toplotnih lastnosti debelih plasti emajlov smo zato opravljali po enostranski metodi pri kateri se senzor vgradi med preiskovani vzorec ter izolacijski material z znano toplotno prevodnostjo. Ta metoda se lahko uporablja pri meritvah materialov z vsaj 10 x večjo toplotno prevodnostjo od izolacijskega materiala. Na vsakem vzorcu debele plasti emajla smo opravili več meritev na različnih mestih.

Tabela 1: Toplotne lastnosti emajla 1

λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	a [mm^2s^{-1}]	C_p [$\text{MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$]
0,6821	0,4286	1,591
0,6845	0,4335	1,579
0,6852	0,4339	1,579
0,6667	0,4239	1,573
0,6678	0,4273	1,563
0,6683	0,4251	1,572

Tabela 2: Toplotne lastnosti emajla 2

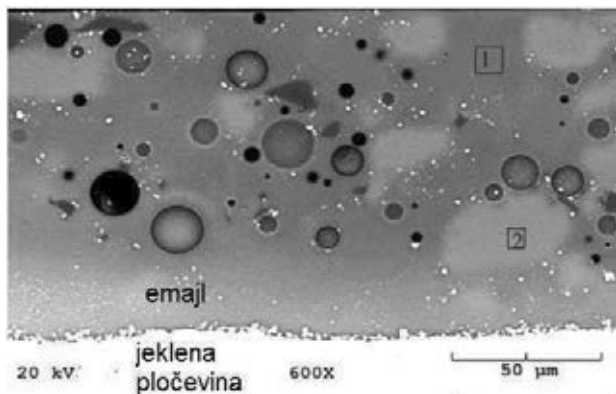
λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	a [mm^2s^{-1}]	C_p [$\text{MJm}^{-3}\text{K}^{-1}$]
0,8786	0,4410	1,992
0,8879	0,4626	1,919
0,8867	0,4588	1,932
0,8641	0,4267	2,025
0,8621	0,4311	2,000
0,8626	0,4309	2,002

Toplotna prevodnost oziroma temperaturna prevodnost emajliranega sloja vpliva na odpornost emajlov na temperaturne šoke. Pri premajhni toplotni prevodnosti se bo v primeru hitrega ohlajanja površine emajliranega sloja, npr. s hladno vodo, toplota prepočasi odvajala iz notranjih plasti in v nanosu bo nastal znaten temperaturni gradient, ki bo zaradi neenakomernih temperaturnih skrčkov privedel do visokih lokalnih nateznih napetosti. V literaturi so navedene vrednosti toplotne prevodnosti emajlov od $0,46 \div 1,26 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ [1].

Preiskovana emajlirana pločevina je vrste DC04EK. Kemijska sestava po standardu EN 10209/13 predpisuje maksimalno koncentracijo ogljika 0,08 ut.%, 0,5 ut.% mangana, 0,03 ut.% fosforja in 0,065 ut.% žvepla. Slika 3 prikazuje plast emajla pri 600x povečavi in mesta na katerih smo izvedli mikrokemično analizo z metodo EDS (SEM). V tabeli 3 so predstavljeni rezultati meritev mikrokemične analize določenih mest označenih na sliki 3.

Iz slike 3 je razvidno, da plast emajla ni homogena ampak sestavljena iz številnih faz kot so pore, kristalne faze ter amorfná področja z različnimi kemijskimi sestavami. V strukturi emajla opazimo nekoliko svetlejša amorfná področja z bistveno višjim deležem Zr (dodan kot ZrO_2) in temnejša področja z višjim deležem Ti in Mn (dodana kot TiO_2 in MnO). Ostrorobe temnejše faze so kristali SiO_2 in pravilne sferične oblike plinska poroznost. Poleg tega je opaziti tudi majhne svetleče delce, ki se nahajajo tik ob fazni meji jeklo-emajl ter v področjih bogatejših s titanom in

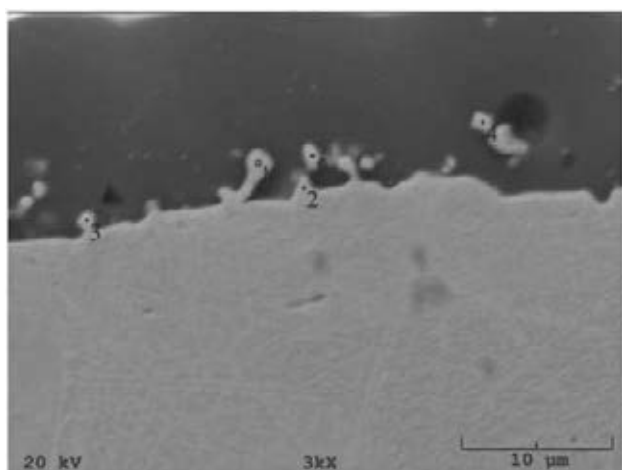
manganom tik ob mejah s področji bogatimi s cirkonom (slika 4). Svetleči delci pa so vidni tudi na površini emajlirane pločevine (slika 5).



Slika 3: Mikrostruktura emajlirane plasti (SEM)

Tabela 3: Mikrokemična analiza (EDS) področji označenih na sliki 3

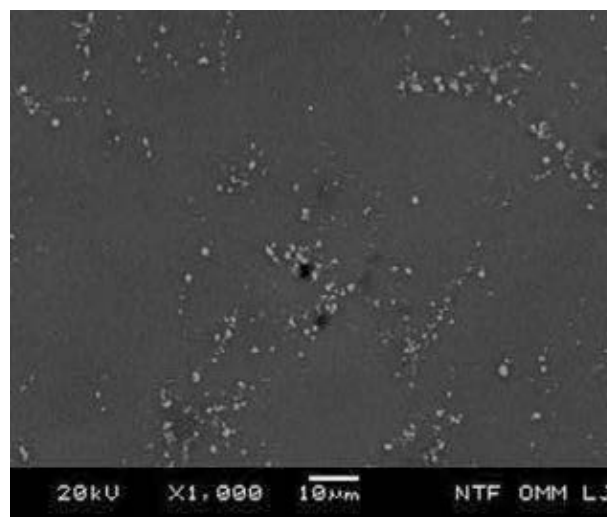
El.	M. 1 ut. [%]	M. 2 ut. [%]	M. 3 ut. [%]
O	15.237	13.091	15.020
Na	5.298	4.471	-
Al	0.716	0.880	-
Si	47.904	45.043	84.980
K	5.923	6.181	-
Ca	4.852	2.717	-
Ti	6.638	2.961	-
Mn	3.749	1.328	-
Fe	6.038	8.537	-
Co	1.588	0.923	-
Cu	0.744	0.353	-
Zr	1.313	13.515	-



Slika 4: Posnetek fazne meje jeklo-emajl (SEM)

Tabela 4: Mikrokemična analiza (EDS) področji označenih na sliki 4

El.	M. 1 ut. [%]	M. 2 ut. [%]	M. 3 ut. [%]	M. 4 ut. [%]	M. 5 ut. [%]
O	4.230	4.921	7.821	12.682	8.779
Na	3.159	2.642	5.300	4.532	4.919
Al	0.534	0.436	0.971	1.095	0.803
Si	15.438	11.630	25.410	35.872	27.692
K	1.079	0.805	1.943	3.215	2.191
Ca	1.278	0.869	2.202	3.409	2.701
Ti	1.346	1.624	2.472	3.847	2.817
Cr	-	4.615	-	-	-
Mn	0.636	0.867	1.328	2.358	1.677
Fe	63.106	65.821	48.264	28.678	43.851
Co	6.716	3.494	2.827	1.620	3.510
Cu	2.048	1.848	0.794	-	-
Zr	0.430	0.427	0.666	2.693	1.060

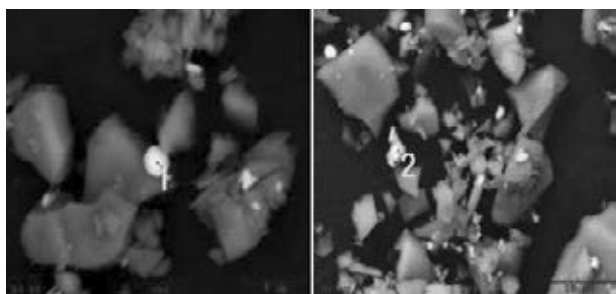


Slika 5: Svetleči delci na površini emajlirane pločevine po žganju

Čeprav kvantitativno ovrednotenje kemijske sestave z mikrokemično analizo (EDS) pri tako majhnih analiznih volumnih ni natančno, pa vseeno kaže na prisotnost/odsotnost nekaterih elementov. Tako z veliko gotovostjo lahko trdimo, da delci, ki se nahajajo ob fazni meji niso istega izvora kot delci, ki so posejani po celotni emajlirani plasti. Pri slednjih je bistveno večja vsebnost kroma, ki ga v delcih ob fazni meji ni bilo zaznati, z izjemo mesta 2 (slika 4), ki pa kaže drugačno, bolj ostrorobo morfologijo, tako da ne moremo izključiti možnost interakcije med delcem, ki se je že nahajal v emajlu in jekleno podlago. Poleg tega

delci posejani po plasti emajla ne vsebujejo kobalta, ki je prisoten v vseh delcih ob fazni meji. Ker prisotnost kroma v emajlih ni običajna, smo analizirali tudi prahove emajla pred postopkom emajliranja.

Na sliki 6 je prikazan emajl po končnem mletju, pripravljen za nanašanje na kovinsko podlago. Opaznih je večje število svetlečih delcev podobne velikosti (v večini pod 1 μ m), kot jih je po žganju emajla zaznati s površine. Z mikrokemično analizo ugotavljamo (tabela 5), da ti delci ravno tako vsebujejo večje koncentracije kroma in železa. Iz tega je moč sklepati, da delci, ki se nahajajo v plasti emajla po žganju emajla izvirajo že iz predhodne priprave prahu emajla in niso posledica kemijskih reakcij med žganjem emajla. Ravno tako ni opaziti, da bi ti delci med žganjem kemično reagirali z oksidi v emajlu. Pri morebitnih napakah na izdelkih narejenih na industrijskih proizvodnih linijah je z metodami mikroskopske analize možno močno zmanjšati število možnih izvorov za določeno napako.



Slika 6: Svetleči delci v emajlu pred žganjem

Tabela 5: Mikrokemična analiza svetlečih delcev v emajlu po žganju (slika 5) in pred žganjem (slika 6)

El.	M. 1 Slika 5 ut. [%]	M. 2 Slika 5 ut. [%]	M. 1 Slika 6 ut. [%]	M. 2 Slika 6 ut. [%]
O	6.025	5.319	0,484	11,61
Na	2.232	1.307	0,455	1,49
Al	1.163	0.253	0,45	0,997
Si	17.889	8.226	3,81	7,603
K	1.509	0.659	0,71	0,314
Ca	0.805	0.571	1,247	0,259
Ti	1.104	2.416	0,614	0,228
Cr	27.364	19.629	26,18	14,521
Cu	0.469	1.507	1,285	0,702
Fe	39.536	59.735	64,604	61,823
Zr	1.904	0.376	0,145	0,45

Iz meritev toplotnih lastnosti in gostote (tabela 6 in 7) je razvidno, da na toplotne lastnosti znatno vpliva dosežena gostota emajlirane plasti. Večja ko bo dosežena gostota, večji bosta tudi toplotna prevodnosti in specifična toplotna kapaciteta, kar je v skladu s pričakovanji. Toplotna prevodnost plinov (CO, CO₂, N₂, O₂, H₂), ki se lahko potencialno nahajajo v porah, je namreč za najmanj red velikosti nižja od toplotne prevodnosti stekel (emajlov), njihova volumska specifična toplotna kapaciteta pa je nižja za tri velikostne razrede.

Tabela 6: Odvisnost toplotnih lastnosti od gostote emajlirane plasti (emajl 2)

ρ [g/cm ³]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	a [mm ² s ⁻¹]	C_p [MJm ⁻³ K ⁻¹]
2,2-2,22	0,937-0,95	0,495-0,509	1,862-1,893
2,06-2,13	0,83 – 0,84	0,481-0,483	1,734-1,739

Tabela 7: Odvisnost toplotnih lastnosti od gostote emajlirane plasti (emajl 1)

ρ [g/cm ³]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	a [mm ² s ⁻¹]	C_p [MJm ⁻³ K ⁻¹]
1,85-1,89	0,66-0,685	0,44-0,45	1,5-1,591
1,73-1,77	0,6-0,602	0,439-,442	1,35-1,365

2.1 Izračun toplotne prehodnosti jeklene pločevine

Toplotno prehodnost večplastne stene lahko izračunamo z enačbo:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{zun}} + \frac{\delta_{jek}}{\lambda_{jek}} + \frac{\delta_{em}}{\lambda_{em}} + \frac{1}{\alpha_{not}}} \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (1)$$

kjer predstavljajo δ_{jek} in δ_{em} debelini jeklene pločevine in plasti emajla, λ_{jek} in λ_{em} toplotne prevodnosti jekla in emajla ter α_{zun} in α_{not} skupne toplotne prestopnosti (sevanje + konvekcija) na obeh straneh emajlirane pločevine. V primeru enostransko emajlirane pločevine, kakršna se uporablja npr. pri kuhinjskih pečicah, lahko privzamemo naslednje povprečne podatke: debelina jeklene pločevine 1 mm in debelina emajla do 200 μ m. Za koeficient toplotne prestopnosti na emajlirani strani pločevine (notranjost

kuhinjske pečice) navaja literatura vrednosti med $15 - 40 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ [5].

Če analiziramo posamezne toplotne upore:

$$\frac{\delta_{jek}}{\lambda_{jek}} = \frac{0,001}{54} = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2\text{K/W} \quad (2)$$

$$\frac{\delta_{em}}{\lambda_{em}} = \frac{200 \cdot 10^{-6}}{0,3 \div 1,3} = 6,6 \cdot 10^{-4} \div 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

$$\frac{1}{\alpha_{not}} = \frac{1}{15 \div 40} = 6,6 \cdot 10^{-2} \div 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2\text{K/W} \quad (4)$$

ugotovimo, da tanka emajlirana plast ne predstavlja omembe vrednega toplotnega upora v primerjavi s toplotno upornostjo zaradi prestopa toplote, kot jo navaja literatura [5].

Toplotna prevodnost tanke emajlirane plasti predstavlja zanemarljiv faktor v skupni toplotni prehodnosti emajlirane pločevine, v kolikor je vrednost samo enega od koeficientov toplotne prestopnosti manjša od $100 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Tudi če izberemo mejni vrednosti toplotne prevodnosti emajlov ($0,3$ in $1,3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) [1] bo tudi pri visokih vrednostih koeficientov prestopa toplote ($500 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) na obeh straneh pločevine, sprememba toplotne prehodnosti le 12,3%. Takih vrednosti koeficientov prestopa toplote pa v primeru bele tehnike ne bomo nikoli dosegli.

3. SKLEPI

Na toplotne lastnosti emajla v največji meri vpliva gostota emajla; večja ko bo dosežena gostota, večja bo tudi toplotna prevodnost in specifična volumska toplotna kapaciteta. Gostota emajlirane plasti je odvisna od poroznosti, le ta pa od kemijske sestave emajla ter procesnih parametrov emajliranja. Ker pa že majhna sprememba v gostoti ($\pm 2\%$) znatno vpliva na toplotne lastnosti, se le teh ne da izmeriti natančneje kot $\pm 10\%$.

Toplotna prevodnost emajlirane plasti nima velikega vpliva na toplotno prehodnost emajlirane pločevine v primeru uporabe v beli tehniki.

Toplotna prevodnost emajla ima vpliv zgolj na temperaturni gradient v emajlirani plasti pri nenadni spremembi temperature in s tem na velikost termičnih napetosti v emajlirani plasti.

Plast emajla na emajlirani pločevini ima večfazno strukturo sestavljeno iz amorfnih področji z različno kemijsko sestavo, kristalnih faz (SiO_2 , kovinski vključki) ter por.

Določene kristalne faze (kovinski vključki), ki se nahajajo v emajlirani plasti po žganju emajla izvirajo že iz postopka priprave prahu, bodisi kot dodatek emajlu ali pa so posledica tehnološkega procesa (mletje, sejanje). V vseh analiziranih prahovih emajla smo namreč zaznali tudi prisotnost kovinskih vključkov, dimenzij reda velikosti 1 mikron, ki imajo podobno kemično sestavo in velikost kot kovinski vključki, ki se nahajajo v emajlu po žganju.

Z mikroskopskimi in mikrokemičnimi metodami lahko natančno spremljamo dogajanje v materialu po katerikoli tehnološki fazi ter omogočajo ob nastanku morebitnih napak hitrejšo ugotavljanje njihovega izvora.

Viri:

[1] Andrews I A., Pagliuca S., Faust D W., Porcelain (vitreous) enamels and industrial enamelling processes. The preparation, application and properties of enamels, Mantova: Tipografia commerciale, 2011. str. 900.

[2] Bodaghi M., Davarpanah A.: The influence of cobalt on the microstructure and adherence characteristics of enamel on steel sheet, Processing and Application of Ceramics, 2011, vol. 5, str. 215-222.

[3] Kosec., B., Karpe, B. (2017). Instrument za analizo toplotnih lastnosti Hot Disk TPS 2200, IRT3000, Februar, 1/2017.

[4] Slovenski standard SIST EN ISO 22007-2:2012. (2012). Polimerni materiali – Ugotavljanje toplotne prevodnosti in toplotne razprševalnosti – 2.del: Metoda s tranzientnim ploskovnim toplotnim virom (vroči disk) (ISO 22007-2:2008), Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.

[5] Carson J.K., Willix J., North M.F.: Measurements of heat transfer coefficients within convection ovens. *Journal of Food Engineering*, 2006, vol. 72, str. 293-301.

MERILNA NAPRAVA ZA MERJENJE KARAKTERISTIK MAGNETNEGA TRAKU

Marko MIRNIK¹, Jože VOVK², Peter KOLAR², Goran CVETKOVIČ¹, Aleš PLEŠNIK¹,
Brane PUNGARTNIK¹

¹TURNA d.o.o.

²Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru

IZVLEČEK

Pri proizvodnji tesnil se uporablja magnetni trak, ki se vstavlja v tesnilo za zagotavljanje tesnjenja vrat. Kot proizvajalci smo do sedaj jakost magnetnega traku preverjali le na vzorcih z metodo merjenja na osnovi primerjalne teže, ki se izdelana na izrezanem vzorcu iz magnetnega traku. Pri tem gre za porušitveno metodo merjenja, zato le-ta omogoča statistično kontrolo sile magnetnega traku, ne omogoča pa meritev v celotni dolžini magneta. V prispevku je opisan razvoj merilne naprave, ki omogoča merjenje jakosti magnetne sile brez porušitvene metode in se lahko uporablja v samem procesu izdelave ali vstavljanja magnetnega traku. To omogoča 100% kontrolo in sledljivost vgrajenega traku v posamezno tesnilo.

1 UVOD

Podjetje Turna d.o.o. je proizvajalec komponent za industrijo bele tehnike. Ena izmed komponent, ki jih proizvajamo je tudi magnetno tesnilo, ki se uporablja za tesnjenje vrat hladilnikov in zamrzovalnikov.

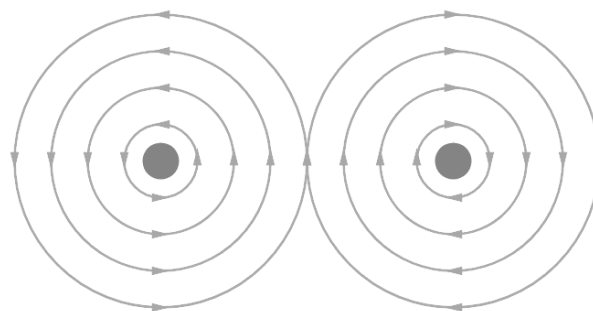
Sestavni del magnetnega tesnila je tudi magnetni trak, ki mora imeti določene karakteristike (polariteta, jakost sile, enakomernost magnetnega polja,...). Za preverjanje teh karakteristik se uporabljajo različni merilni sistemi, za določanje jakosti magneta je bila skupaj z proizvajalci hladilno zamrzovalnih aparatov definirana kot jakost sile na enoto dolžine (N/cm).

Za izvedbo vseh meritev za preverjanje karakteristik magnetnega traku je potrebno precej časa, poleg tega pa je meritev sile magneta na enoto dolžine po dosedanjih metodah zahtevala pripravo vzorcev iz dela traku. To pa pomeni, da gre za porušitveno metodo meritve.

2 MAGNETNI TRAK IN MERITVE KARAKTERISTIK

Sama proizvodnja magnetnega traku se izvaja s procesom ekstrudiranja, kjer se magnetni komponent s procesom ekstruzije skozi matrico

pretvori v neskončni magnetni trak. Compound je mešanica gume, različnih polimerov in feritnega prahu. Po končani ekstruziji se trak namagnetni z visokonapetostnim magnetizatorjem. Postopek se izvaja sočasno z ekstruzijo. Na osnovi določitev tokovnih smeri v magnetizatorju dobimo tudi polariteto magneta. Tok v žici zaradi vrtilnih tokov namagnetni feritni prah v magnetnem traku. (Slika 1)



Slika 1: Vrtilni tokovi v magnetizatorju

V osnovi se z dvojnimi navitjem v odvisnosti od smeri toka izdelata 3 polni magnet (v preseku širine magnetnega traku), ki ima polariteto SNS (Slika 2) ali NSN.



Slika 2: SNS Polariteta magnetnega traku

Glede na razporeditev tokokrogov v magnetizatorju, je možno izdelati različne variante polatitet v preseku magnetnega traku. Za uporabo magnetnega traku za tesnila se v večini uporablja tripolni magnet tipa SNS.

2.1 Preverjanje karakteristik magnetnega traku

Poleg vizualnih napak na površini magnetnega traku se preverjajo naslednje karakteristike^[1]:

- Dimenzija traku (širina, debelina)
- Fleksibilnost traku (ovijalni test)
- Polariteta
- Enakomernost magnetnega polja
- Jakost magnetnega traku

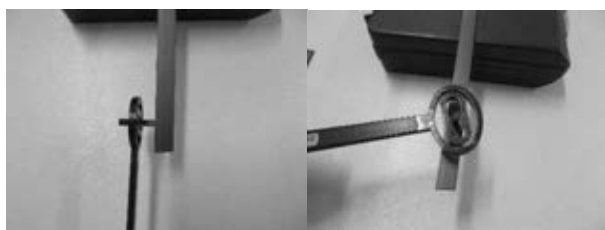
Dimenzije (širina in debelina) magnetnega traku se preverjajo klasično z merjenjem s pomičnim merilom.

Fleksibilnost merilnega traku se preverja s preprostim ovijalnim testom na etalon premera 20mm (Slika 3).



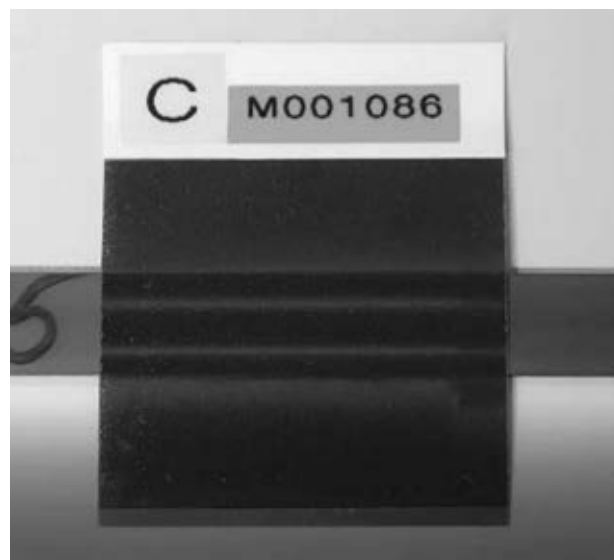
Slika 3: Ovijalni test

Polariteta magnetnega traku se preverja z ročnim indikatorjem polaritete (Slika 4).



Slika 4: Preverjanje polaritete

Enakomernost namagnetenja se preverja z indikatorjem magnetnega polja (silnic). Pri tem je pomembno, da so silnice po dolžini traku vzporedne s čim manj anomalijami (Slika 5). Lete kažejo na neenakomerno namagnetenje in to se kasneje odraža na magnetni sili.



Slika 5: Preverjanje magnetnega polja

Meritev sile magnetnega traku je najbolj kompleksna meritev, ki se izvaja. V osnovi je bilo skupaj z dobavitelji magnetnega traku in kupci tesnil dogovoriti enoto in način preverjanja. Sila magnetnega traku je definirana kot sila, ki je potrebna da magnetni trak popusti. Ker je bilo potrebno definirati tudi na kateri dolžini se to meri, je kot sila magnetnega traku definirana v N/cm. Pri tem je potrebno poudariti da gre za relativno nizke vrednosti, ki se gibljejo od 0,2 do 0,3 N/cm.

V preteklosti so vse merilne metode temeljile na principu tehtanja, torej se je na eno stran tehtnice postavil magnetni trak na feromagnetni material, na drugi strani pa se je s pomočjo uteži določilo, kolikšna teza je potrebna, da se magnet loči od podlage. Na osnovi izmerjene teže, se nato preračuna sila, ki se deli z dolžino magnetnega traku, da dobimo dogovorjeno enoto N/cm.

Tak način merjenja je zaradi nizkih vrednosti relativno kompleksen in zamuden. Predvsem pa ga je možno izvesti le tako, da se določen del traku odreže kot merilni vzorec.

Že pred leti je bila razvita merilna priprava, ki sicer še vedno deluje na principu tehtanja, je pa tehtalni sistem elektronski, sistem za ločevanje magneta od feromagnetnega materiala pa mehanski, vendar izpeljan preko mehanizma rotacije, ki se spremeni v linearno gibanje. Ta merilni sistem je bil usklajen s posameznimi kupci tesnil in se do sedaj uporablja za testiranje jakosti magnetnega traku (*Slika 6*). Sistem je veliko bolj ponovljiv kot klasično merjenje z utežmi, še vedno pa je potrebno vzorce za meritve izrezati iz magnetnega traku.



Slika 6: Merilni sistem za merjenje sile magneta na enoto dolžine

To seveda pomeni, da je kontrola sile magnetnega traku na enoto dolžine izvedena le na osnovi izrezanih vzorcev in spremljana statistično v obliki sposobnosti procesa.

Poleg tega izvedene analize merilnega sistema (MSA) kažejo na določena odstopanja tudi pri tem merilnem sistemu. Le-te so posledice naslednjih dejavnikov:

- Popačenje magnetnega polja na robu odrezanega vzorca
- Vstavljanje magnetnega traku v šablono merilne naprave
- Hitrosti pomikanja magneta od kotve iz feromagnetnega materiala (hitrosti vrtenja koleščka)

Posamezne od teh faktorjev bi se seveda dalo minimizirati (npr. motorni pogon vrtenja), vendar smo se zaradi vseh prej naštetih dejstev odločili, da pristopimo k reševanju problema z novim merilnim sistemom, ki naj bi omogočal celovito

izvedbo merjenja vseh karakteristik, predvsem pa meritev, pri kateri vzorcev ne bi bilo potrebno izrezati iz posameznega magnetnega traku.

2.2 Razvoj koncepta nove merilne naprave

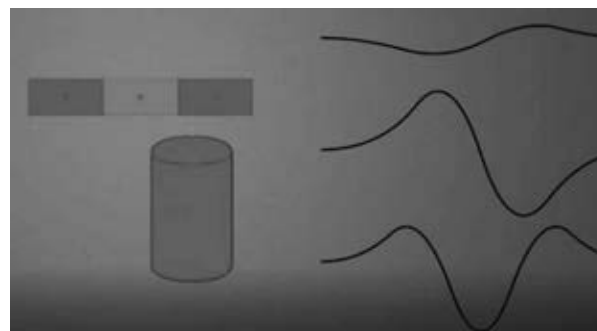
Osnovna izhodišča za nov merilni sistem so bila:

- Merjenje različnih karakteristik naj se izvede istočasno
- Meritve naj se izvedejo na traku brez izrezovanja vzorcev

Na osnovi preverjanj tako pri proizvajalcih magnetnih trakov kot pri ponudnikih različnih merilnih sistemov smo ugotovili, da sistema, ki bi izpolnjeval osnovna izhodišča ni, vsaj ne v takšni fazi, da bi bil dobavljiv in z manjšimi prilagoditvami vzpostavljen v našo proizvodnjo.

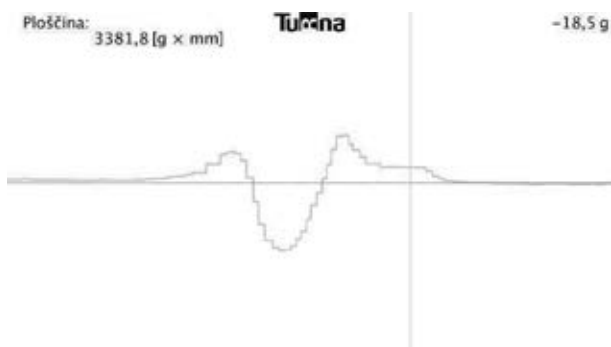
Zato je bila sprejeta odločitev, da merilni sistem razvijemo sami. Kaj kmalu smo na osnovi diskusij sprejeli odločitev, da se lotimo sistema, ki bo brezkontaktno na osnovi meritev magnetnega polja določil zahtevane karakteristike.

Odločili smo se za uporabo Hallovih sond. Te omogočajo, da na podlagi jakosti Hallove napetosti lahko izračunamo gostoto magnetnega polja in kasneje magnetno silo. Meritev se izvaja z senzorjem, v katerega so zalite Hallove sonde. En od ključnih izzivov za uspešnost zahtevanih meritev je bil, koliko Hallovih sond uporabiti in kako naj bodo v senzorju orientirane, da bomo na osnovi meritev dobili tako podatke za razporeditev magnetnega polja, kot tudi izničili stranske vplive magnetnih polj, ki se z gibanjem magnetnega traku pojavljajo v sami napravi. Princip meritve je, da se senzor pomika prečno na širino magnetnega traku. (*Slika 7*)



Slika 7: Princip meritve

Na osnovi meritev pomika senzorja pod magnetnim trakom smo dobili prve vzorce meritvenih podatkov. Za določitev leg in števila Hallovih sond smo izvajali ročne pomike senzorja (Slika 8).

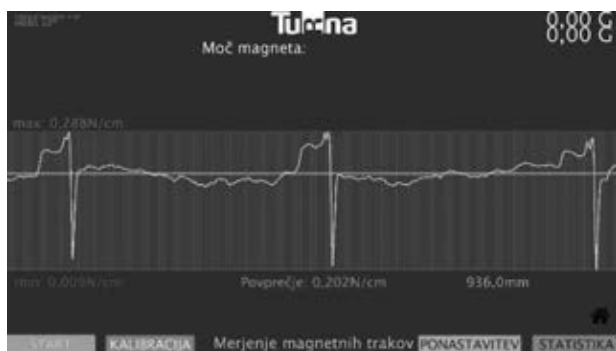


Slika 8: Prvi preizkusi

Na osnovi teh preizkusov smo se odločili, da najprej izdelamo prototip naprave, ki bo uporaben v merilnem laboratoriju in na katerem bomo testirali različne oblike senzorjev kot tudi realne hitrosti pomika magnetnega traku skozi napravo ter odzive na spreminjajoče se parametre na samo meritev oz. merilne rezultate.

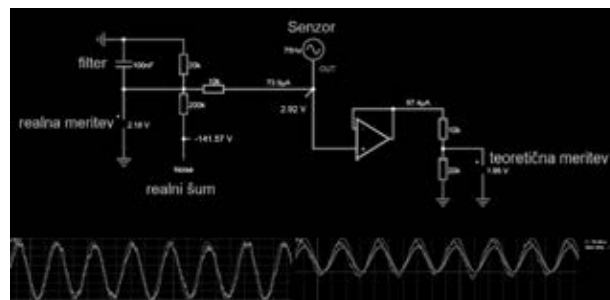
Še pred izdelavo prvega prototipa pa smo izvajali številne preizkuse tako razporeditve sond v senzorju kot tudi vpliva hitrosti premikanja magnetnega traku in senzorja.

Prav tako smo ob izvajanju preizkusov ugotovili, da bomo z ustrezno postavitvijo Hallovih sond v senzorju lahko zaznavali anomalije v magnetnem polju, ki nastajajo na mejah območja magnetizatorja (Slika 9) v fazi izdelave magnetnega traku.



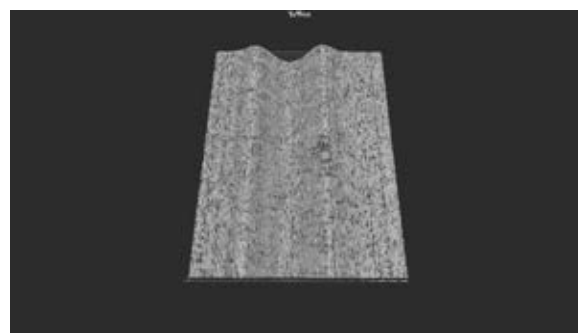
Slika 9: Konice na mejah območja magnetizatorja

Ob tem pa smo seveda morali določiti tudi ustrezne filtre v elektronskem vezju (Slika 10) za dušenje stranskih pojavov magnetnega polja.

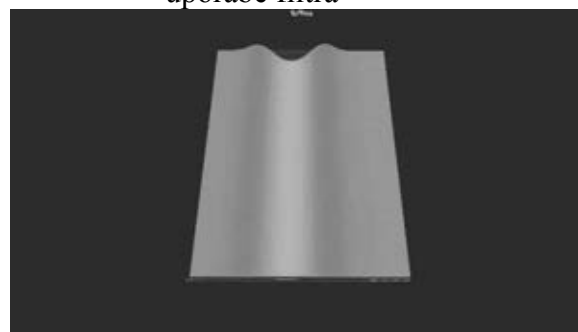


Slika 10: Shema elektronskega filtra

Na osnovi ustreznega filtriranja smo dobili rezultate meritev, na katerih ni bilo anomalij zaradi posameznih šumov. Tako je grafični prikaz precej bolj čist (Slika 11) in (Slika 12).



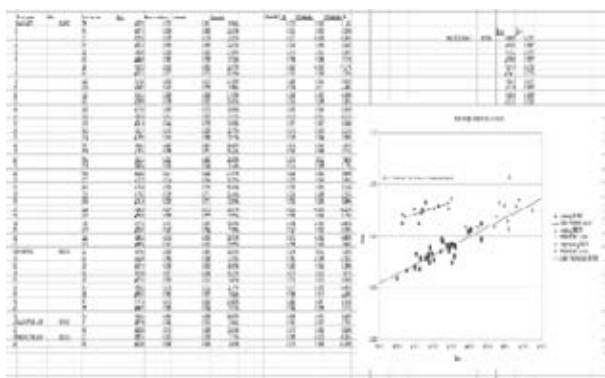
Slika 11: Grafični prikaz meritve brez uporabe filtra



Slika 12: Grafični prikaz meritve z filtrom

Po izvedenih testiranjih se je zasnova prvi prototip, na katerem so potekala testiranja. Izvajali smo precejšnje število meritev ob različnih parametrih, vse meritve na prototipu pa smo verificirali z obstoječimi merilnimi metodami.

Tako smo na osnovi verifikacij smo nato določili matematični empirični izračun in na osnovi številnih iteracij (Slika 13) določili matematično funkcijo za izračune sile magnetnega traku na enoto dolžine.



Slika 13: Kalibracija in iteracija

2.3 Izdelava laboratorijske naprave

Na osnovi vseh testiranj na prototipu smo se lotili izdelave naprave za merjenje v laboratoriju. Le ta je bila zamišljena tako, da se postavi v merilni laboratorij in lahko izvajamo ali vhodne kontrole ob dobavah ali pa procesne kontrole v samem procesu izdelave magnetnega traku. Ob izdelavi smo morali rešiti kar nekaj izzivov. Prvi večji izziv je bil, kako znižati vplive na magnetno polje, ki so posledica uporabe različnih materialov za mehanske sklope naprave. Kjer je bilo le mogoče smo uporabili nemagnetne materiale (kot na primer bron, medenina, aluminij) seveda pa se uporabi jekla ni bilo moč v celoti izogniti. Ob uporabi jekla smo uporabili jekla, ki imajo nižje feromagnetne potenciale (nerjaveče jeklo).

Drugi večji izziv pa je bil, kako zaščititi merilni senzor pred delci oziroma kovinskim prahom, ki je prisoten na samem magnetnem traku. Dejstvo je namreč, da magnetni trak privlači mikro-prašne delce feromagnetnih materialov. Ob tem pa je za samo meritve zelo pomembno, da je razdalja med senzorjem in magnetnim trakom čim manjša (z razdaljo se spreminja jakost magnetnega polja).

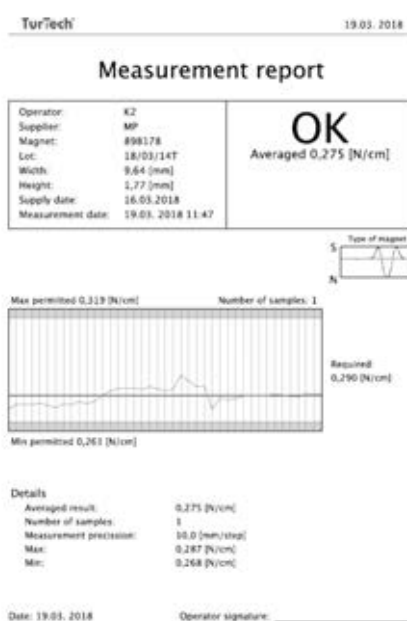
Glede na poznana dejstva, da je pri magnetnih tesnilih med magnetom in dejanskim obodom hladilnika tudi stena profila iz PVC (debelina stene je od 0,3 do 0,4 mm), smo se odločili, da bo razdalja med senzorjem in magnetno površino traku maksimalno 0,4mm. Da se zagotavlja čim bolj konstantna razdalja, je potrebno magnetni trak nad senzorjem pritiskati ob površino. Sam magnetni trak je zaradi feritnih delcev izredno abraziven. Površina, ob katero se pritiska magnetni trak in po njej drsi mora biti zato izredno odporna na praske in

hkrati nemagnetna, da ne pride do popačenj magnetnega polja. Po številnih preizkusih se je kot najboljša rešitev pokazala uporaba kaljenega stekla. Le to pa je moralo biti v debelini maksimalno 0,4mm. Na koncu je uporabljeno kaljeno steklo, ki se uporablja tudi za zaslone mobilnih aparatov. Merilna naprava je izdelana tako, da jo je mogoče vgraditi v kovček in je prenosljiva (Slika 14).

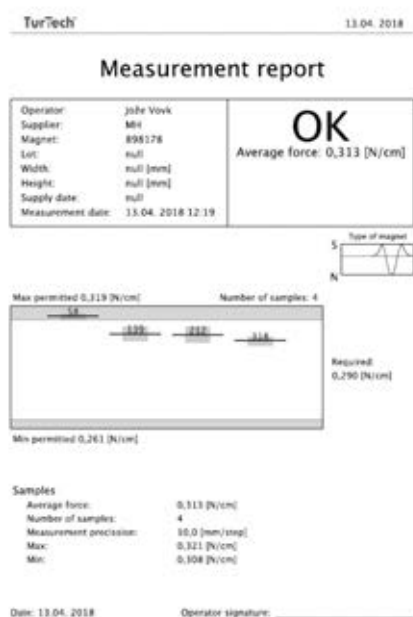


Slika 14: Prenosna merilna naprava

Sam sistem omogoča shranjevanje podatkov tako v tabelarni kot grafični obliki prikaza. Izdelati je mogoče tudi poročilo. Le to se razlikuje in sicer za primer posamezne meritve, ali pa za primer meritve več vzorcev v dobavljenem (proizvedenem) lotu (Slika 15) in (Slika 16).



Slika 15: Merilno poročilo v primeru posameznega vzorca

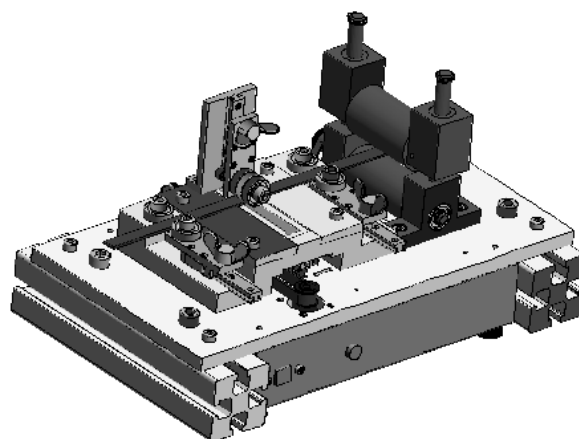


Slika 16: Merilno poročilo v primeru vzorčenja serije ali dobave (lot)

2.4 Merilna naprava za uporabo v proizvodnem procesu

Na osnovi uspešnega delovanja merilne naprave v merilnem laboratoriju smo pričeli z izdelavo merilne naprave za uporabo v serijski proizvodnji. Le ta je koncipirana tako, da se kot modulni element lahko vgradi v linijo za izdelavo magnetnega traku ali pa v linijo za vstavljanje magnetnega traku v PVC profil tesnila.

Merilna naprava za uporabo v proizvodnji ima seveda bolj robustno izvedbo, prilagojeno uporabi v proizvodnji (Slika 17). Tudi sam mehanizem za pomikanje magnetnega traku skozi napravo oz. senzor je prilagojen sami proizvodnji liniji, zato je koncept izveden tako da se lahko uporabi tudi pogon same linije. Premiki samega traku in merilni intervali so prilagojeni intervalom procesnega cikla in so krmiljeni preko krmilnikov proizvodne linije.



Slika 17: Konstruksijska zasnova merilnega sistema za vgradnjo v proizvodni proces

3 SKLEP

Z razvojem lasne merilne naprave za merjenje karakteristik magnetnega traku smo občutno skrajšali čase potrebne za izvedbo vseh meritev. Dejansko se meritev polaritete, širine magnetnega traku, oblike magnetnega polja (oz. anomalij v polju) in same sile magnetnega traku na enoto dolžine opravi istočasno z meritvijo v merilni napravi. Določi se korak merjenja in lahko dobi zvezno meritev celotne dolžine magnetnega traku. Edina karakteristika, ki se dodatno preveri je ovojni test in izmeri se debelina traku.

Bistvena prednost nove merilne naprave pa je, da za izvedbo meritve ni potrebno več rezati magnetnega traku za pripravo merilnih vzorcev. Merilni sistem, ki se vgradi v proces izdelave magnetnega traku ali pa v proces vstavljanja magnetnega traku pa izvaja meritev konstantno v procesu, to pa prinaša še eno pomembno prednost, to pa je 100% sledljivost za vsak vstavljen magnet v profil tesnila.

Viri:

- [1] Tehnično tehnološke zahteve Turna d.o.o.

KONTROLNA PRIPRAVA

Boštjan KIRN¹, Igor MUBI²

¹PS d.o.o. Logatec

²PRECISIUM d.o.o.

IZVLEČEK

V prispevku je predstavljen razvoj kontrolne priprave za 100% kontrolo funkcionalnih dimenzij. Zahteva za izdelavo takih priprav je prišla od proizvajalca avtomobilskih delov. Avtomobili so sestavljeni iz velikega števila delov, ki pa morajo vsi ustrezati natančno predpisanim tolerancam, da na koncu lahko iz njih sestavimo končni izdelek. Še večji izziv pri tem pa je, da se za en avtomobil lahko proizvajajo deli na več koncih sveta. To je tudi glavni razlog, zakaj je potrebna 100% kontrola večine sestavnih delov avtomobila.

Skozi prispevek bo opisan postopek načrtovanja takšne kontrolne priprave. Najprej bo predstavljen postopek, kako pridemo iz risbe merjenca, na katerem so definirane vse merjene dimenzije s tolerancami, do koncepta kontrolne priprave. Nato bo predstavljen razvoj mehanske konstrukcije priprave in postavitve merilnih senzorjev. Kot zadnje pa še izbira ustreznih merilnih senzorjev in razvoj krmilja ter programa za krmiljenje in obdelavo izmerjenih podatkov. Opisan bo tudi postopek, kako se zagotovi sledljivost vseh izdelanih kosov.

1 UVOD

Proizvajalci avtomobilskih delov se dnevno soočajo z vse večjim nadzorom proizvodnje. Posledično se pojavi potreba po kratkih dobavnih rokih ter vse večji kontroli procesa. Zaradi kratkih časov izdelave izdelka je potrebno neprestano stremeti za novimi tehnologijami, ki nam le to tudi omogočajo, saj si s kratkimi časi izdelave zmanjšamo stroške izdelave in s tem posledično pridobimo večji zaslužek.

Pri izdelavi merilne opreme je potrebno poskrbeti, da bo čas kontrole izvedenega procesa ali končne kontrole izdelka kratek. Običajno morajo biti časi kontrole procesa krajši kot je delavni takt proizvodnega procesa.

2 KONTROLNE PRIPRAVE, KONTROLNI PRIPOMOČKI

Kontrolne priprave oziroma kontrolni pripomočki so pripomočki, ki nam omogočajo nadzor proizvodnega procesa. Običajno jih uporabljamo za nadzor procesa ter zagotavljamo njegovo stabilnost. Kontrolne priprave oziroma kontrolni pripomočki se običajno uporabljajo ob obdelovalnih strojih v proizvodnji, kjer delavec oziroma operater obdelovalnega stroja lahko sam izvaja kontrolo ter zagotavlja stabilen proces.

Kontrolne priprave v grobem ločimo v dve skupini atributivne ter variabilne.

Z atributivnimi kontrolnimi pripravami izvajamo kontrolo po principu GRE / NE GRE.



Slika 1: kontrolni pripomočki GRE / NE GRE

Z atributivnimi kontrolnimi pripravami izvajamo kontrolo proizvodnega procesa le nekajkrat na izmeno. Z omenjenimi kontrolnimi pripravami običajno kontroliramo pozicije lukenj ter oblike določenih površin.



Kontrolna priprava

Slika 2: Atributivna kontrolna priprava GRE / NE GRE

Variabilne kontrolne priprave se praviloma uporabljajo v proizvodnih procesih, kjer je zahteva po 100% kontroli. Pri omenjenih merilnih pripravah uporabljamo merilne sonde, merilno optiko, laserski način merjenja, ... Izbira načina merjenja je odvisna od zahtev kupca in posledično tudi od zahtevane točnosti meritve. Pri variabilnih kontrolnih pripravah so časi meritev proizvodnega procesa bistveno krajši. Pri uporabi omenjenih merilnih postopkov je možno shranjevanje rezultatov v sistem (bazo podatkov), lahko pa z njimi opravljamo korekcijo obdelovalnega stroja.

3 RAZVOJ KONTROLNE PRIPRAVE

Razvoj kontrolne priprave je nastal zaradi potreb stranke po 100% kontroli izdelka in s tem nadzora proizvodnega procesa.

Stranka nam je predstavila zvezek zahtev za dva zelo podobna kosa (eden krajši, drugi daljši). Želja stranke je bila, da bi oba izdelka, v kolikor je to le mogoče, merili na isti kontrolni pripravi. Iz zvezka zahtev je bilo jasno razvidno, kakšen tip kontrolne priprave potrebujejo, kolikšna je letna količina kosov, ki jih bo potrebno premeriti, ter koliko delovnih dni mesečno bo kontrolna priprava obratovala. V zvezku zahtev so prav tako poleg omenjenih podatkov predstavljene še točke, ki jih bo potrebno meriti.

V omenjenem procesu bodo na kvadratno cev (daljši kos) oziroma okroglo cev (krajši kos) iz leve in desne strani privarili ploščici z definirano obliko. Ti dve ploščici imata tudi luknje v katere

bodo nato vstavili tulke. Na sredini kosa bo dodatno privarjena še ena ploščica z navojem.

Poleg zvezka zahtev nam je stranka poslala tudi risbi izdelkov, ki je osnova za izdelavo kontrolne priprave saj je iz nje razvidno, kje se nahajajo baze za izvedbo meritev in obenem, kje se nahajajo merilne točke.

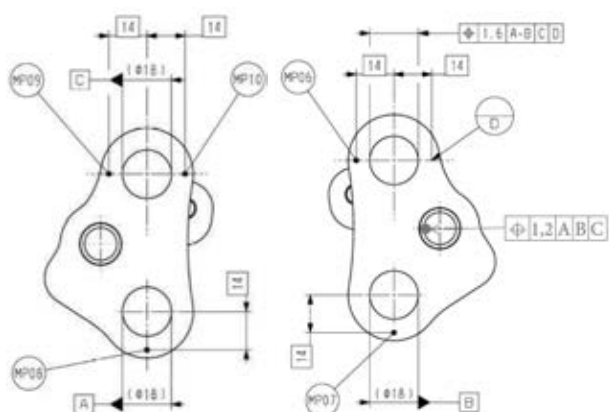


Slika 3: Krajši kos

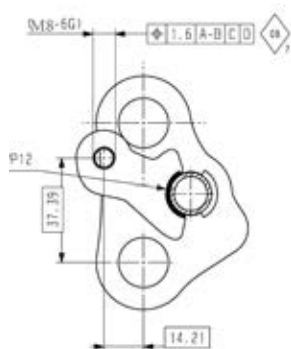


Slika 4: Daljši kos

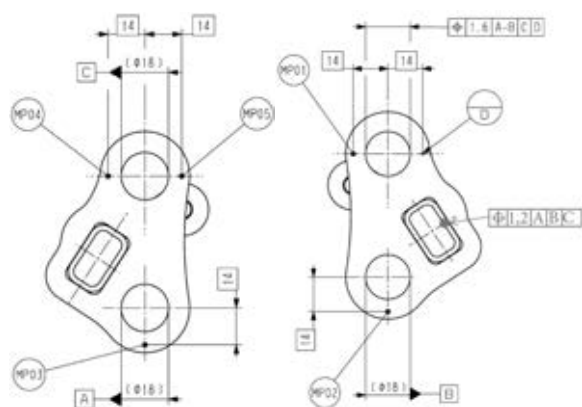
V našem primeru sta kosa pozicionirana na tri velike luknje $\varnothing 18$, ki se nahajajo na stranskih ploščicah. Iz postavljenega baznega sistema bo potrebno izmeriti pravokotnost privarjenih ploščic (vseh treh), pozicijo sredinske ploščice, pozicijo še četrte luknje $\varnothing 18$, pozicije navoja M8 na sredinski ploščici ter prisotnost vstavljenih tulok na luknjah $\varnothing 18$.



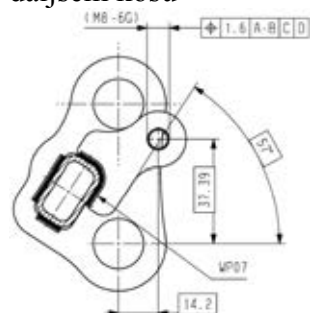
Slika 5: Bazni sistem z merskimi točkami na krajšem kosu



Slika 6: Merska točka na sredinski ploščici krajšega kosa



Slika 7: Bazni sistem z merskimi točkami na daljšem kosu



Slika 8: Merska točka na sredinski ploščici daljšega kosa

Pri razvijanju kontrolne priprave smo se soočili z željo stranke združiti meritev obeh kosov na eni kontrolni pripravi. Žal to ni bilo možno, saj sama geometrija enega in drugega merjenca tega nista dopuščali. Potrebno je bilo izdelati dve kontrolni pripravi. Obe sta se nahajali na isti merilni mizi., Na prednjo stran smo pod mizo postavili zaboj za slabe kose, na zadnji strani pa smo postavili elektro omaro.



Slika 9: Variabilna kontrolna priprava namenjena meritvi omenjenih kosov

Kot je bilo v članku že omenjeno, obstajajo dotični in brez-dotični načini merjenja. V našem primeru smo se odločili za dotični način meritve. Razlog je bil predvsem robustnost meritve in hitrost zajema meritve. Vse meritve se opravlja z LVDT (*ang. Linear variable diferential transformer*) senzorji. LVDT senzor je senzor pozicije. Sestavljen je iz treh ali več tuljav, znotraj katerih je magnetno permeabilno jedro. Jedro deluje kot drsnik, ki se giblje skozi navitje.

Deluje na principu elektromagnetne indukcije. Ko pride do premikanja drsnika skozi elektromagnetni fluks, ki obdaja elektromagnetna jedra, privede do tega, da se inducira napetost. S tem se spremeni napetost v sekundarni tuljavi. Rezolucija senzorja je skoraj neskončna (v našem primeru 0,1 μ m). Poznamo DC in AC tipe LVDT senzorjev, DC potrebujejo še dodatno vezje. [1]



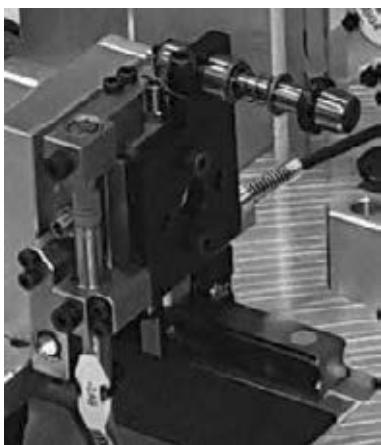
Slika 9: Primer izvedbe DC LVDT senzorja, na skrajni desni strani se vidi signalno vezje

Vse merilne točke na merjencih so bile izmerjene s pnevmatskimi LVDT senzorji, proizvajalca Metro. Senzor ima pnevmatski priključek, na katerega priključimo tlak 0,5bar. Pri prisotnosti tlaka se tipalo senzorja iztegne (do 20 mm), pri izključenem tlaku pa ga vzmet povleče nazaj v izhodiščno lego.



Slika 10: Primer izvedbe LVDT senzorja v realnosti

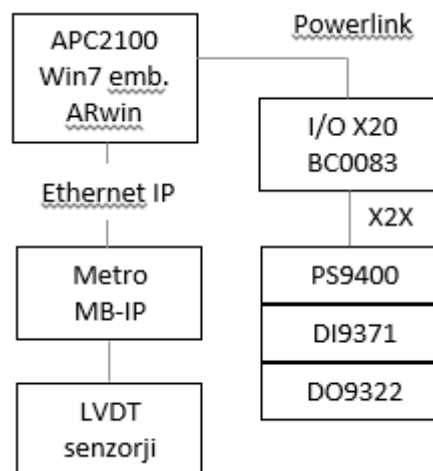
Merjenje pozicije centra lukenj je bilo opravljeno s pomočjo XY-mizic. Omenjena mizica je zasnovana tako, da se preko koničnega nastavka postavi v sam center luknje in nato preko dveh LVDT merilnih senzorjev odčita vrednost obeh koordinat.



Slika 11: XY merilna mizica

Krmilni sistem naprave je prikazan na sliki 12. Osrednji element krmiljenja je kompakten industrijski računalnik B&R APC2100. Procesor je dvojedrni Intel Atom E3827, sistem ima 4 GB RAM-a in 24V napajanje. Namesto diska uporablja 64 GB CFast kartico, ki je podobna CompactFlash karticam, le da namesto PATA vmesnika uporablja hitrejši SATA vmesnik. Vse to omogoča, da lahko PC obratuje brez hladilnih ventilatorjev. Na enoti sta dva Ethernet vmesnika ter dodatni vmesnik za PowerLink, CAN in RS232 komunikacije. Operacijski sistem PC-ja je Windows Embedded 7, paralelno z njim pa teče še sistem ARwin za delo v realnem času, ki zagotavlja deterministične odzive krmilnega sistema. Win7 in ARwin si podatke izmenjujeta preko virtualne-ga TCP/IP vmesnika preko RAM-a z dvojnimi dostopom. Oba sistema sta med seboj neodvisna. Program za upravljanje naprave teče znotraj ARwin sistema in lahko obratuje, tudi če bi se operacijski sistem Win7 zaradi napake ustavil.

Večino enot krmilnega sistema povezuje hitra Ethernet povezava s protokolom PowerLink. PowerLink je standardiziran protokol z lastnostmi trdega realnega časa. Zagotavlja deterministične prenose podatkov v časovnih intervalih od 400 us navzgor. PowerLink povezuje APC2100 in I/O enote (X20 BC0083), medtem ko poteka komunikacija z LVDT merilni sondami preko Ethernet IP protokola.



Slika 12: Blokovni diagram krmilnega sistema naprave

Enota X20 BC0083 je vmesnik do X2X vodila, na katerem so I/O moduli sistema, digitalni vhodi in izhodi. Digitalne izhode in vhode smo potrebovali za krmiljenje pnevmatskih cilindrov (primik XY merilnih mizic, vpenjanje merjenca), proženje LVDT senzorjev ter za priklop senzoričke (foto celice, reed stikala).

Razvoj aplikacije za napravo poteka v programskem okolju B&R Automation Studio z možnostjo uporabe vseh PLCopen jezikov, ter jeziki, C, C++, BASIC. Programske jezike je mogoče kombinirati, izberemo lahko najprimernejšega za določeno funkcijo. V konkretnem primeru je aplikacija napisana v PLCopen jeziku ST (Structure Text). Sestavljena je iz dveh delov: iz programske in sekvenčne logike in grafičnega vmesnika HMI.

Osrednji del sekvenčne logike je zadolžen za izvajanje kontrolne sekvence naprave. Ker se na napravi lahko izvaja meritev dveh kosov hkrati (dolgi in kratek), mora naprava kontrolirati, da je pravi kos v pravem gnezdu, da se meritve ne zamenjajo med obema merjencema in še posebej, da se postopek kontrole pravilno zaključi. Postopek kontrole se zaključi z graviranjem dobrega kosa, oziroma izmetom (v zaboj s slabimi kosi) slabega kosa. Pri izmetu slabega kosa se kontrolira ali je operater vrgel v izmet pravi kos (dolgi ali kratki).

Na kontrolno napravo je priključena tudi gravirna postaja z gravirnikom, ki na dober kos vgravira točno določeno gravuro. Gravura se sestoji iz naslednjih znakov: zaporednega dneva v letu, leta, zaporednega števila kosa, izmene (A,B,C).

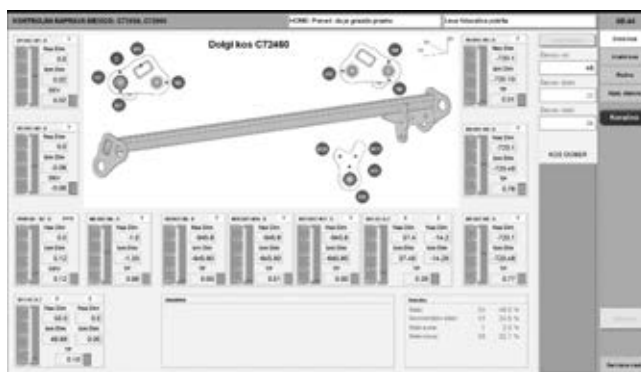
Na gravirni postaji se lahko vrši tudi kontrola tesnosti cevi. Kontrola tesnosti cevi je namenjena kontroli ali je bila mogoče cev pri varjenju prežgana. Kontrola tesnosti se izvede na sledeči način: V cevi se vzpostavi tlak 5 barov. Če tlak v cevi ne pade pod določeno mejo v določenem času, potem cev tesni. To pomeni, da pri varjenju ni bila poškodovana.

Vsi podatki o meritvah se zapišejo v lokalno bazo, ki vsebuje .txt datoteke. V bazi se za vsak kos beležijo: enoznačna koda kosa (gravura), ali je bil kos dober ali slab, vse meritve, ki so bile opravljene na kosu. Ob vsaki menjavi izmene se avtomatsko generira nova datoteka z meritvami, ki ima točno določeno obliko imena.

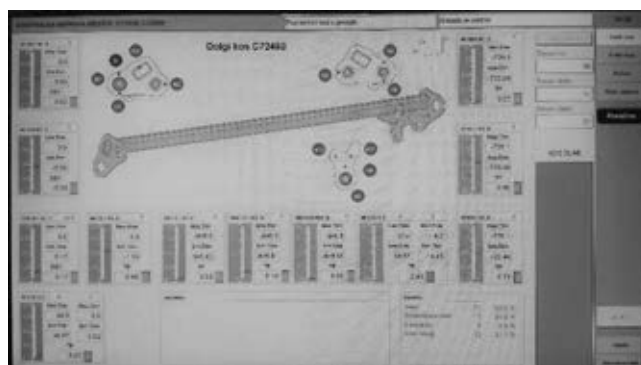
DELO S KONTROLNO NAPRAVO

Operater ima z manipulacijo kosov veliko dela, takt proizvodnje kosov pa je kratek. Zaradi tega mora biti prikaz meritev zelo nazoren, še posebej nazorno mora biti prikazano, ali je kos opravil kontrolo ali ne. Na podlagi uspešnosti opravljene kontrole mora operater odložiti kos na graviranje ali v izmet.

Na zaslonu ima operater v numerični in grafični obliki prikazane vse meritve in skupni indikator, ki mu prikaže, kaj naj s kosom napravi (Slika 13, 14).



Slika 13: Zaslon, ki prikazuje, da so bile vse meritve znotraj tolerančnega območja

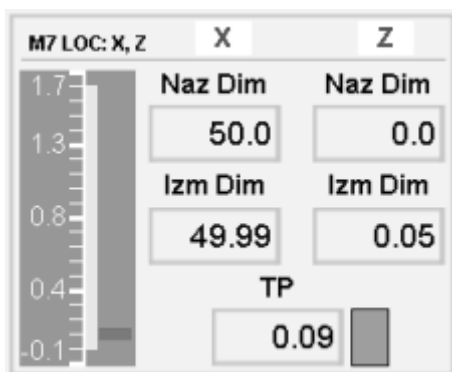


Slika 14: Zaslon, ki prikazuje, da meritve niso bile znotraj tolerančnega območja

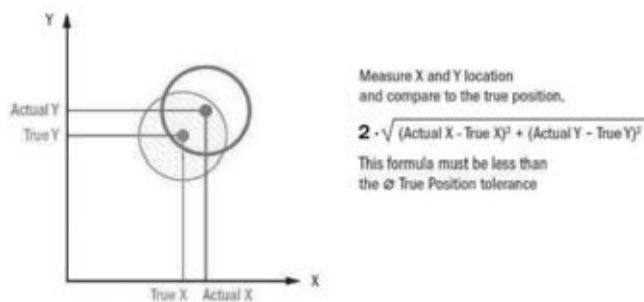
Vsaka merilna točka ima na zaslonu naslednje informacije: Nominalna in izmerjena vrednost merilne točke, izračunana TP (True Position), grafični prikaz TP točke in indikator, ki kaže ali je meritev znotraj tolerance (Slika 15). Vrednost TP prikazuje kako daleč je izmerjena pozicija od nazivne pozicije merilne točke (Slika 16).

Kontrolno napravo je potrebno redno kalibrirati. Postopek kalibriranja zagotavlja, da v meritvah niso vključeni razni pogreški zaradi obrabe nastavkov merilnih sond, obrabe baznih nastavkov, itd.. Pri postopku kalibriranja se postavi v kontrolno napravo etalon, ki je bil v merilnici natančno premerjen v vseh merilnih točkah, ki se merijo tudi na kontrolni napravi. Te meritve se potem vnese v tabelo merilnih točk. V tej tabeli so tudi nazivne meritve in maksimalne dovoljene tolerance (Slika 17).

Dimenzija	Koordinata	Naziv. vrednost	Zgo. toleranca	Dimen. etalona	Izm. offset
M1 DIST: M1 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M2 DIST: M2 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M1 Z PERP: M1 - M2 - D	PERP	900.900	900.90		
M4 DIST: M4 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M5 DIST: M5 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M6 DIST: M6 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M4 DIST: M4 - M8	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M5 DIST: M5 - M8	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M6 DIST: M6 - M8	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M7 LOC (X, Z): X	X	900.900	900.90	900.900	900.900
M7 LOC (X, Z): Z	Z	900.900		900.900	900.900
M8 DIST: M8 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M10 DIST: M10 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900
M11 DIST: M11 - D	Y	900.900	900.90	900.900	900.900



Slika 15: Numerični in grafični prikaz meritve centra luknje



Slika 16: Definicija TP True Position

Med kalibriranjem se dejanske meritve kontrolne naprave izenačijo z merami etalona. Od tega trenutka naprej so merilne sonde kontrolne naprave umerjene, naprava pozna, kakšne so nazivne vrednosti merilnih točk ter maksimalne dovoljene tolerance.

Slika 15: Tabela za vnos mer etalona, nazivnih mer in toleranc

4 SKLEP

V proizvodnji že delujejo tri kontrolne priprave za kontrolo šestih različnih kosov. Kontrolne priprave izpolnjujejo vse strankine zahteve:

- Kontrola vseh merilnih točk, z resolucijo 0,01mm.
- Zapis meritev v .txt datoteko. Upoštevanje pravil pri generiranju imena datotek in zapisa v datoteke. Avtomatsko generiranje datotek ob menjavi izmene.
- Zagotavljanje pravilnega rokovanja s kosi. Ne sme se zgoditi, da se slab kos gravira ali da gre dober kos v izmet. Ne sme se zgoditi zamenjava med dolgim in kratkim kosom pri postopku kontrole in graviranja.

Z omenjenimi kontrolnimi napravami je stranka zagotovila 100% kontrolo kosov v proizvodnji. Vsak dober izdelan kos ima gravuro, ki skrbi za sledljivost kosa. Vsaka gravura je enoznačna in ima v bazi zapis z vsemi izmerjenimi točkami.

Viri:

- [1] *Pozicija – lega, seminarska naloga, Andrej Pižmoht, FE Ljubljana*

IOT VISION SENZOR SKLADEN Z OPC UA VISION CS, KOMUNIKACIJSKIM STANDARDOM TOVARN PRIHODNOSTI

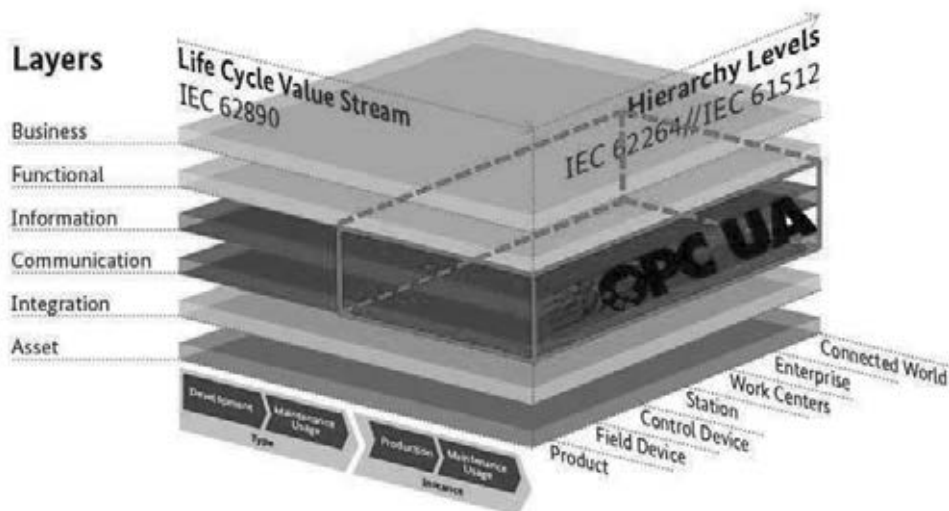
Jure SKVARČ
Kolektor Orodjarna d.o.o.

IZVLEČEK

Sodobne tehnologije hitro vstopajo v industrijska okolja. V Evropi je smernice in cilje zastavila Nemčija, 2012, s programom Industry 4.0. Izdelan je bil tudi 3D model, RAMI 4.0, ki na strukturiran način prikazuje pristop k I 4.0. Model v več nivojih povezuje vse elemente in IT komponente v celotnem življenjskem ciklu izdelka. Ključni povezovalni člen modela so komunikacije. OPC UA je najbolj razširjen standard, ki ustreza vsem zahtevam modela RAMI, omogoča interoperabilnost ter povezovanje med vsemi nivoji modela. OPC UA je zgrajen nivojsko. Osnovni nivo, ki sistemsko podpira ključne servise, se z veliko dinamiko dopolnjuje z domenskimi, svetovnimi standardi, tako imenovanimi Companion Specifications. Domenski standardi definirajo enoten komunikacijski vmesnik, ki ga morajo podpirati vse naprave, ki so skladne s standardom. To omogoča uporabnikom hitro zamenjavo naprav ali strojev, tudi od različnih proizvajalcev, sistemskim integratorjem pa omogoča hitro vzpostavitev sistema in preprosto vzdrževanje. Ena od takih domen je Vision (strojni vid). Nosilec priprave tega standarda je Nemška zbornica VDMA. Kolektor je član ožje delovne skupine, ki pripravlja standard. Prva verzija specifikacije bo predstavljena na sejmu Automatica 2018, hkrati s tem pa bomo v Kolektorju predstavili prvi inteligentni vision senzor, ki bo skladen s to specifikacijo. Naprava bo temeljila na uporabi globokih nevronskih mrež in bo imela sposobnost učenja. Lahko bo opravljala različne naloge, npr. detekcijo anomalij v industrijskem okolju, in komunicirala v okolju tovarn prihodnosti prek standarda OPC UA Vision CS.

RAMI 4.0

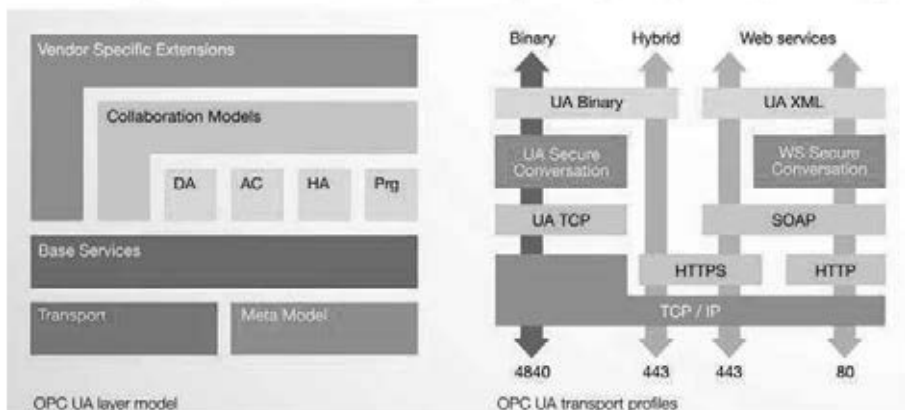
Model RAMI 4.0, prikazuje, kako na strukturiran način pristopiti k Industriji 4.0. Trodimenzionalni model vsebuje vse gradnike Industry 4.0, ki podpirajo izdelek prek celotne življenjske dobe in zagotavlja, da se vsi deležniki Industry 4.0 razumejo med seboj.



Kaj je OPC UA?

OPC UA je najbolj razširjen komunikacijski standard, ki ustreza vsem zahtevam modela RAMI 4.0, omogoča interoperabilnost in komuniciranje naprav med vsemi nivoji modela RAMI.

Osnovne storitve OPC UA se nadgrajujejo s kolaborativnimi modeli za posamezne domene kot so: strojni vid, robotika, brizgalni stroji, stroji za pakiranje in drugi.



KOLEKTOR

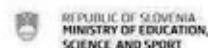
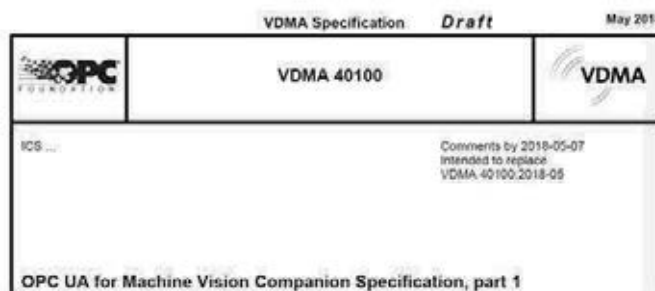
Jure Skvarč

2018 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

3

OPC UA Vision Companion Specification

- Podatkovni model, ki standardizira informacijski vmesnik naprav strojnega vida
- Omogoča preprostejšo vgradnjo naprav, menjavo in vzdrževanje
- Kolektor je član ožje delovne skupine, ki pripravlja standard
- Predstavitve bo na sejmu Automatica 2018, Munchen



KOLEKTOR

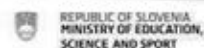
Jure Skvarč

2018 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

4

Umetna inteligenca, globoko učenje

- Umetna inteligenca spreminja svet v katerem živimo
- Spreminjajo se paradigme reševanja problemov
- Podatkovno usmerjeni pristop namesto ekspertnega znanja
- Praktična implementacija v obliki globokih nevronske mreže
- Računsko zelo zahteven proces učenja
- Izvajanje v realnem času zahteva vzporedno procesiranje



KOLEKTOR

Jure Skvarč

2018 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

3

Realno-časovno izvajanje modelov globokih nevronske mreže v vgrajenih sistemih

Razpoložljiva strojna oprema

- Namenski procesorji ASIC
- Prilagojena vezja FPGA
- Grafični procesorji (GPU)

NVIDIA Jetson TX2 modul

- Računalnik na eni plošči (SBC)
- GPU: NVIDIA Pascal, 256 CUDA jeder
- CPU: HMP Dual Denver + Quad ARM



KOLEKTOR

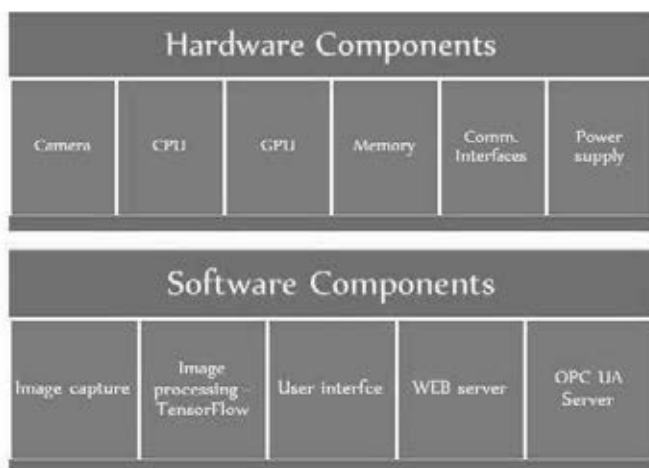
Jure Skvarč

2018 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

4

Kolektorjev IoT Vision Sensor

Prva IoT naprava na svetu skladna z OPC UA Vision CS
Integralni del Kolektorjeve digitalne platforme
Uporablja tehnologije umetne inteligence



KOLEKTOR

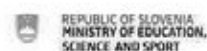
Jure Skvarč

2018 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

7

Primeri uporabe IoT Vision senzorja

- Kontrola kakovosti izdelkov in nadzor procesov
- Detekcija dogodkov, obveščanje in alarmiranje
- Detekcija anomalij
- Sledenje objektov
- Prepoznavanje objektov
- Navigacija



KOLEKTOR

Jure Skvarč

2018 • All rights reserved by KOLEKTOR® • www.kolektor.com

8

UPORABA FPGA PROGRAMABILNEGA LOGIČNEGA VEZJA V INDUSTRIJSKIH APLIKACIJAH STROJNEGA VIDA

Tadej PERŠAK¹, Branka VILTUŽNIK¹, Robert AGNIČ¹, Simon KLANČNIK²

¹Plastika Skaza, d. o. o.

²Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru

IZVLEČEK

V članku je predstavljena uporaba programabilnega logičnega vezja (angl. Field Programmable Gate Array - FPGA) v industrijskih aplikacijah strojnega vida. Predstavljeno je delovanje programabilnega logičnega vezja ter primerjava strukture FPGA-ja in klasičnega procesorja. FPGA ne more izvajati visokonivojskih opravil, lahko pa izvaja nizkonivojske in je pa pri tem bistveno hitrejši. Osredotočili smo se na uporabo FPGA-ja za izvajanje algoritmov strojnega vida. Ker so za učinkovito delovanje sistemov strojnega vida pogosto potrebne kompleksne rešitve obdelave zajetih slik, ki jih v celoti ni mogoče implementirati na FPGA, se pogosto uporablja porazdeljeno procesiranje med FPGA-jem ter klasičnim procesorjem. Predstavljeni so načini, kako lahko programabilna logična vezja vključimo v delovanje sistemov strojnega vida. Razvita je bila rešitev detekcije granul transparentne plastike implementirana na klasičnem procesorju ter na FPGA-ju. Časovno zahtevnost delovanja razvite rešitve smo testirali na obeh sistemih ter naredili primerjavo rezultatov.

1 UVOD

Globalna konkurenca postaja vse ostrejša, kar predstavlja dodaten izziv proizvajalcem. Na trgu so uspešni le tisti, ki so med vodilnimi v smislu produktivnosti in obvladovanja stroškov. Strojni vid ima pri tem ključno vlogo, ker je to tehnologija, ki ponuja rešitve za številne izzive v prihodnosti. Tehnologija strojnega vida prinaša številne pozitivne učinke v industrijsko proizvodnjo. Izboljšana kakovost, večja zanesljivost, večja varnost in stroškovna učinkovitost so dodane vrednosti, ki so ključnega pomena.

V članku bomo predstavili programabilna logična vrata (angl. Field Programmable Gate Array – FPGA) ter njihovo uporabo v sistemih strojnega vida. Uporaba FPGA-ja je smiselna pri razvoju rešitev, kjer so potrebe po zelo visokih hitrostih obdelave podatkov. Predstavili bomo možnosti integracije FPGA-ja v delovanje sistemov strojnega vida. Namen opravljene raziskave je prikazati časovno učinkovitost uporabe programabilnih logičnih vrat v sistemih strojnega vida. Razvili smo sistem za optično detekcijo delcev transparentne plastike na industrijskem tekočem traku. V članku je predstavljena primerjava časovne učinkovitosti

izvajanja razvitega algoritma na klasičnem procesorju (angl. Central Processing Unit – CPU) in FPGA-ju.

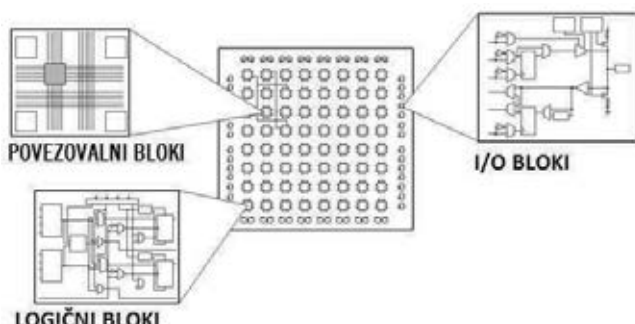
2 FPGA LOGIČNA VEZJA

FPGA polje programirljivih logičnih vrat je tehnologija reprogramirljivih silicijevih vezij [1]. To pomeni, da program oziroma logika ne teče na operacijskem sistemu, ampak je realizirana na vezju (Slika 1).



Slika 1: Princip delovanja FPGA-ja [2]

Glavna prednost programirljivih logičnih vezij v primerjavi s klasičnimi procesorji (angl. Central Processing Unit – CPU) je zmožnost paralelnega izvajanja programa. Vsako opravilo ima svojo skupino logičnih blokov, ki med seboj delujejo neodvisno.



Slika 2: Sestavni deli FPGA [2]

Kot je prikazano na Sliki 2 je FPGA sestavljen iz naslednjih delov:

- logični bloki,
- vhodno-izhodni (I/O) bloki in
- povezovalni kanali.

Osnova za delovanje so logični bloki, ki so sestavljeni iz flip-flopov in iskalnih tabel. S pomočjo povezovalnih kanalov združimo logične bloke v celoto. Ta proces imenujemo »routing« in je kompleksen, ker obstaja več možnih poti. Za programiranje FPGA-ja se uporablja strojno opisni jezik (angl. Hardware description language - HDL), kot sta VHDL in Verilog. Večina FPGA krmilnikov ima vhodno-izhodne enote priključene direktno na FPGA, medtem ko so pri navadnem procesorju povezane preko PCI ali kakšnega drugega vodila. Direktna priključitev vhodno-izhodnih enot na FPGA omogoča dostop do I/O enot v zelo kratkem času, kar omogoča zelo hitro izvajanje regulacij.

3 FPGA PROGRAMABILNA LOGIČNA VRATA V INDUSTRIJSKIH SISTEMIH STROJNEGA VIDA

Veliko algoritmov strojnega vida je po naravi paralelnih, zato so zelo primerni za implementacijo na FPGA logičnih vezjih. To so algoritmi kateri vključujejo operacije na slikovnih točkah (pikslih), linijah in regijah. Te funkcije

lahko izvajamo na majhnih regijah slike in tudi v več regijah slike istočasno. Sliko lahko pošiljamo na FPGA paralelno in hkrati obdelujemo podatke pod pogojem, da CPU-ju ni treba obdelovati slike. V Tabeli 1 so navedene nekatere funkcije obdelave slik, ki jih lahko uporabljamo na FPGA logičnih vezjih.

Tabela 1: Funkcije obdelave slik na FPGA logičnem vezju

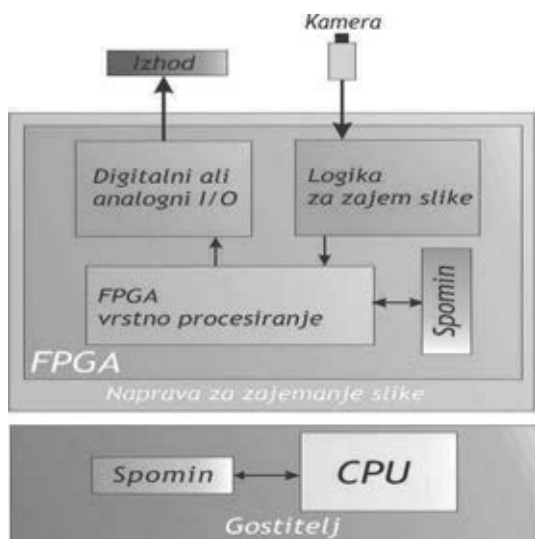
Kategorija	Funkcija
Pred-procesiranje	Transformacije slike
	Operatorji
	Korekcija senčenja
	Bayer filter
	Sprememba barvnega prostora
	Fourierjeva transformacija
	Filtriranje (glajenje/ostrenje)
Določanje lastnosti	Binarna morfologija
	Detekcija robov, linij, oglišč
	Binarni objekti
Meritve	Barve
	Meritve površin
	Centroid

3.1 Vključevanje FPGA-ja v sisteme strojnega vida

FPGA lahko v sisteme strojnega vida vključimo na tri načine [3], in sicer:

- celotna obdelava poteka na FPGA-ju,
- FPGA se uporabi za pred-procesiranje in
- FPGA se uporabi za ko-procesiranje.

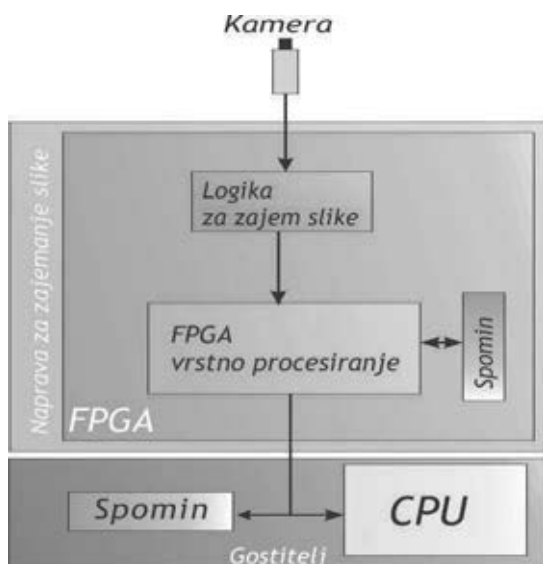
V sistemih strojnega vida, kjer uporabljamo samo FPGA in CPU-ja ne potrebujemo, se čas obdelave slik precej zmanjša. Tako je čas med zajemom slike in rezultati analize precej krajši. Na Sliki 3 je prikazan princip uporabe FPGA-ja v sistemu strojnega vida pri katerem ne potrebujemo CPU-ja. V tem primeru FPGA prevzame vso obdelavo slike in hkrati generira izhodni signal ter zajema vhodne signale. Rezultat je minimalna zakasnitev in zelo hitro delovanje sistema.



Slika 3: Sistem strojnega vida na FPGA logičnem vezju [4]

Takšen način uporabe je primeren za zelo hitre aplikacije, kot so sortiranje, hitre regulacije ipd.. Slabost takšnega pristopa je omejenost z implementacijo algoritmov, saj se na FPGA-ju lahko izvajajo samo algoritmi na nizkem nivoju.

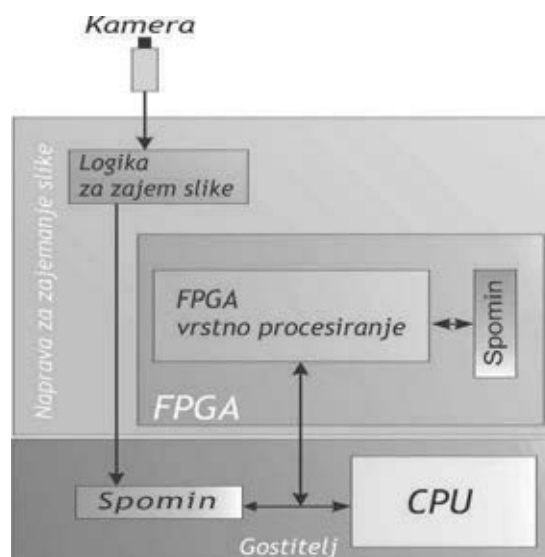
Na Sliki 4 je shematsko prikazan sistem strojnega vida pri katerem FPGA izvaja pred-obdelavo, medtem ko se na CPU-ju izvajajo naprednejši algoritmi obdelave slike.



Slika 4: Sistem strojnega vida, kjer se zajem slike in pred-procesiranje izvaja na FPGA logičnem vezju [4]

V takšnem sistemu se na FPGA-ju izvaja nizko nivojska obdelava zajetih slik, kot so filtriranje, detekcija robov ipd.. Pred-procesirana slika se nato pošlje na CPU, kjer se izvedejo višje nivojski algoritmi, kot so iskanje vzorcev, razvrščanje ipd. Delovanje takšnega sistema je še vedno zelo hitro, ker se večina obdelave izvede na FPGA-ju, CPU pa prevzame le izvajanje višje nivojskih algoritmov.

Pri razvoju nekaterih rešitev imamo obdelavo slike sestavljeno iz več korakov. Nekateri koraki, kot so filtriranje, segmentacija ipd., so lahko implementirani na FPGA-ju, drugi koraki, kot so primerjanje vzorcev, razvrščanje ipd., pa so bolj primerni za CPU. Kot je prikazano na Sliki 5, v takšnih primerih zajamemo sliko s CPU-jem in jo pošljemo bit za bitom na FPGA, kjer jo obdelamo. Nato jo pošljemo nazaj na CPU na dodatno obdelavo. Če se lahko algoritem v celoti izvede na FPGA-ju, ni potrebe po pošiljanju slike nazaj na CPU. V tem primeru uporabimo FPGA za generiranje izhodnega signala. Lahko pa pošljemo rezultat procesiranja na CPU, kjer izvedemo še dodatne operacije. Ko-procesiranje z uporabo FPGA-ja zmanjšuje čas obdelave tako, da zmanjšuje število funkcij, ki se izvajajo na CPU-ju.



Slika 5: Sodelovanje FPGA-ja in CPU-ja pri obdelavi slike [4]

3.2 Prednosti uporabe FPGA-ja v sistemih strojnega vida [5]

Zmogljivost

Če izkoristimo zmožnost paralelnega procesiranja, presežemo računsko moč digitalnih signalnih procesorjev (angl. Digital Signal Procesor - DSP). Nadzorovanje vhodov in izhodov na ravni strojne opreme zagotavlja hitrejšo odzivne čase vhodno-izhodnih enot.

Čas razvoja

FPGA tehnologija ponuja fleksibilnost in hitro izdelavo prototipov. Razvoj in testiranje lahko izvedemo na nivoju strojne opreme brez, da bi šli skozi dolg postopek izdelave po meri narejenih čipov. Kasneje lahko izvedemo spremembe in ponovimo načrtovanje programa. Na voljo imamo vhode in izhode, ki so priključeni na FPGA in jih lahko uporabnik po želji programira. Za programiranje FPGA-ja so na voljo visokonivojska razvojna orodja.

Stroški

Stroški izdelave čipov po meri daleč presegajo stroške strojne opreme na osnovi FPGA-ja. Veliko začetno naložbo razvoja čipov lahko upravičimo, če izdelamo več tisoč čipov letno.

Zanesljivost

FPGA ima programsko kodo zapečeno v spomin in zato ne potrebuje operacijskega sistema. V klasičnih sistemih je izvajanje programske kode časovno odvisno od delovanja operacijskega sistema. FPGA je primeren za časovno kritične operacije, ki pa so še podkrepljene s paralelnostjo.

Preprosto vzdrževanje

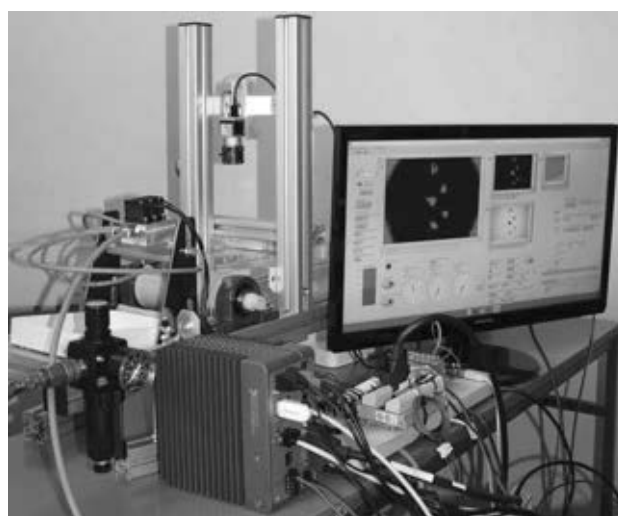
FPGA-ji so programirljivi in ne zahtevajo časa in stroškov v primeru nadgradnje.

4 RAZVOJ SISTEMA ZA OPTIČNO DETEKCIJO PLASTIČNIH GRANUL

4.1 Strojna oprema

Pri razvoju sistema strojnega vida smo uporabili krmilnik National Instruments IC-3173, kamero Basler acA2500 – 14uc ter osvetlitev

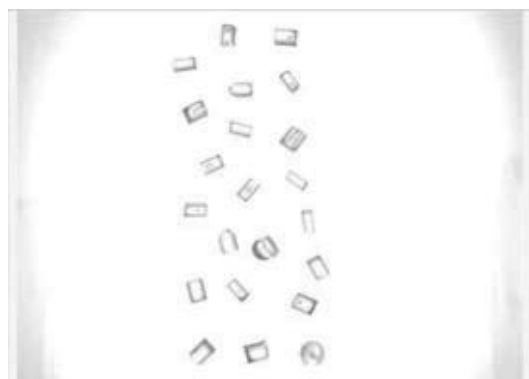
zadaj (angl. backlight) z uporabo visoko svetilnih LED diod in difuzorja svetlobe. Uporabljen krmilnik IC-3173 proizvajalca National Instruments ima za procesiranje na voljo klasičen procesor Intel Core i7 in FPGA Kintex-7 160T. Za delovanje krmilnika skrbi operacijski sistem NI Linux Real Time. Za zajem slike je bila uporabljena kamera Basler s primerno optiko in osvetlitvijo. Kamera ima ločljivost 5 MP in lahko pri tej ločljivosti zajame do 14 slik na sekundo. Na Sliki 6 je prikazana strojna oprema uporabljena za testiranje.



Slika 6: Laboratorijski prototip sistema strojnega vida

4.2 Obdelava slike

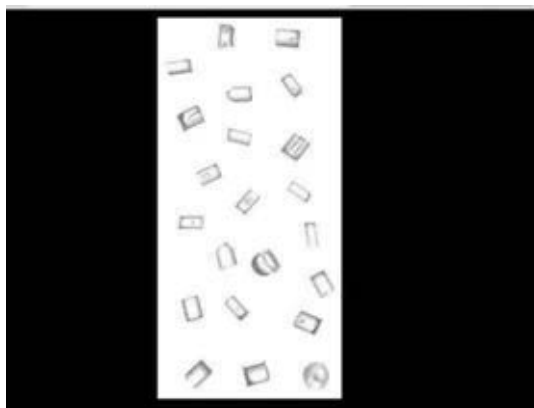
Cilj delovanja sistema je detektirati posamezno granulato na zajeti sliki in določiti njen položaj [6]. Na Sliki 7 je prikazan primer zajete slike na kateri so vidne plastične granule.



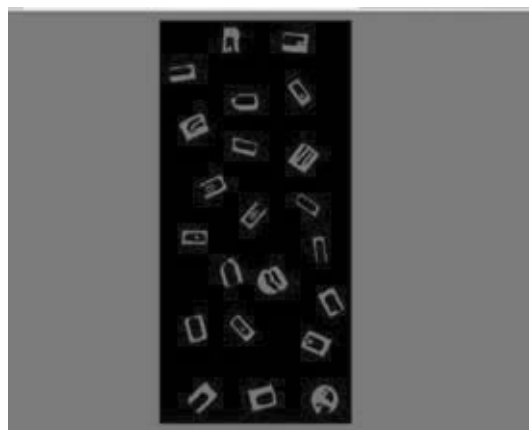
Slika 7: Primer zajete slike plastičnih granul.

Razviti sistem je sestavljen iz štirih korakov obdelave zajete slike [7], in sicer:

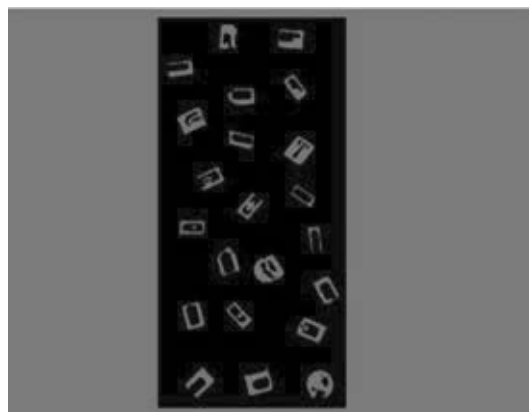
- Z uporabo maske določimo ROI (angl. Region Of Interest), kar pomeni, da na zajeti sliki določimo polje, na katerem bomo iskali delčke (Slika 8).
- V naslednjem koraku sliko obdelamo s pragovno metodo in kot rezultat dobimo binarno sliko (Slika 9).
- Sledi obdelava slike z morfološkima operatorjema. S prvo morfološko operacijo zapolnimo majhne luknjice (Slika 10), z drugo morfološko operacijo pa razširimo posamezne točke (Slika 11).
- V zadnjem koraku se izvede analiza delčkov pri kateri dobimo polje podatkov o posameznem delčku na sliki. V tem koraku iščemo vrednost težišča za vsak zaznani delček na sliki. Podatek, ki ga dobimo, je v slikovnih točkah (pikslih), slika pa ima koordinatno izhodišče v zgornjem levem kotu. Koordinate x in y nam povedo položaj posamezne plastične granule.



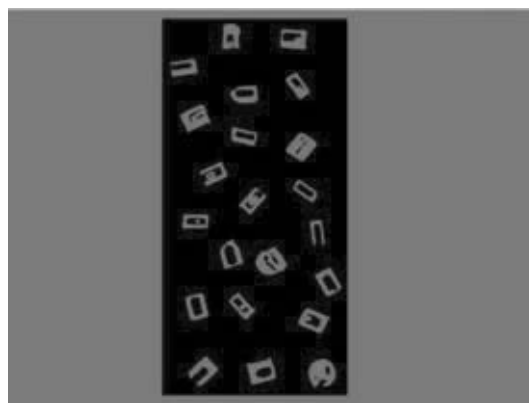
Slika 8: Rezultat določitve ROI na zajeti sliki



Slika 9: Rezultat obdelave s pragovno metodo.



Slika 10: Rezultat morfologije - zapiranje majhnih luknjic



Slika 11: Rezultat morfologije - razširjanje točk

4.3 Rezultati

Delovanje sistema za detekcijo plastičnih granul smo testirali na klasičnem procesorju Intel Core i7 ter na FPGA-ju Kintex-7 160T.

V Tabeli 2 so prikazani časi, ki so potrebni za izvajanje posameznega dela algoritma. Na levi strani v tabeli vidimo čase procesiranja s klasičnim procesorjem, na desni pa čase pri uporabi FPGA logičnih vrat. Pri pregledu časov obdelave vidimo, da navaden CPU za celotno procesiranje slike potrebuje 65 ms, FPGA pa za enako obdelavo le dobrih 10 ms.

Tabela 2: Primerjava časov obdelave pri uporabi klasičnega procesorja ter FPGA-ja

Korak algoritma	CPE [ms]	FPGA [ms]
Obdelava z masko	14,16	0,005926
Pragovna metoda	7,42	0,002015
Morfologija 1	15,59	5,157979
Morfologija 2	6,06	1,939946
Analiza delčkov	21,40	3,374134
Skupaj	65	10,48

5 SKLEP

V sistemih strojnega vida je potrebno procesirati velike količine podatkov, ki predstavljajo s kamero zajete slike, hkrati pa je v industrijskem okolju skoraj vedno prisotna potreba po čim hitrejšem delovanju takšnih sistemov. Implementacije razvitega sistema strojnega vida na klasični procesor in na programabilna logična vrata ter testiranje delovanja sistema je pokazalo, da je hitrost procesiranja algoritmov strojnega vida na FPGA-ju precej višja kot na zmogljivem klasičnem procesorju. Torej je uporaba FPGA programabilnih logičnih vrat učinkovita rešitev v industrijskih aplikacijah strojnega vida, kjer so potrebne zelo visoke hitrosti procesiranja, ki jih s klasičnimi procesorji ne dosežemo.

»Naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. www.eu-skladi.si «

Viri:

- [1] Woods, R, McAllister, J, Lightbody, G, Yi, Y.: *FPGA-based Implementation of Signal Processing Systems*, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, 2008.
- [2] *FPGA Fundamentals* [svetovni splet]. National Instruments Dostopno na WWW: <http://www.ni.com/white-paper/6983/en/> [16.4.2018].

- [3] Prieto, A, Miguel, A.: A hybrid system for embedded machine vision using FPGAs and neural networks, *Machine Vision & Applications*. 2009, Vol. 20 izdaja 6, str. 379–394.
- [4] *Introduction to FPGA Vision Using the NI Vision Development Module* [svetovni splet]. National Instruments Dostopno na WWW: <http://www.ni.com/white-paper/11417/en/#toc2> [18.4.2018].
- [5] *Introduction to FPGA Technology* [svetovni splet]. National Instruments Dostopno na WWW: <http://www.ni.com/white-paper/6984/en/> [19.4.2018].
- [6] Hornberg, A.: *Handbook of Machine Vision*, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
- [7] Davies, E. R.: *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities, Fourth Edition*, Elsevier, Kidlington, 2012.

PREVERJANJE KVALITETE REBRIČENIH GREDI Z UPORABO STROJNEGA VIDA

Jakob MAROLT¹, Simon KLANČNIK²

¹Fakulteta za logistiko, Univerza v Mariboru

²Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru

IZVLEČEK

V članku je opisan sistem za preverjanje kvalitete rebričenih gredi s pomočjo strojnega vida. Predstavljeno je področje strojnega vida s poudarkom na algoritmih za iskanje in opis značilk, in sicer algoritmi SIFT (angl. Scale-Invariant Feature Transform), SURF (angl. Speeded-Up Robust Features) in ORB (angl. Oriented FAST and BRIEF). Razvili smo sistem za brezkontaktno optično kontrolo kvalitete rebričenja z uporabo nizkocenovne strojne opreme ter odprtokodne programske opreme. Za zajemanje slike je uporabljena nizkocenovna CMOS Raspberry Pi kamera s 5 MP ločljivosti. Obdelava zajete slike se izvaja na računalniku Raspberry Pi model 1 B+ z operacijskim sistemom Raspbian. Sistem za svetlitev obdelovancev smo razvili z uporabo visoko svetilnih LED diod bele barve. Rešitev smo implementirali v programskem jeziku Python z uporabo standardnih modulov in knjižnice OpenCV. Sistem smo testirali z uporabo različnih testnih gredi z rebričeno površino. Primerjali smo uspešnost in čas procesiranja pri uporabi algoritmov SIFT, SURF in ORB. Vsi trije razviti algoritmi so 100 % uspešno ločili ustrezne obdelovance od neustreznih za vse uporabljene testne primere. Najkrajši čas procesiranja smo dosegli z uporabo algoritma ORB, algoritem SIFT pa se je izkazal za računsko najzahtevnejšega.

1 UVOD

Industrija 4.0 kliče po spremembi v obliki povečane avtomatizacije in medsebojne komunikaciji stroj-stroj in stroj-človek. Zaradi subjektivnosti človeka se v kontroli kakovosti pojavljajo napake, ki se prej ali slej vrnejo v obliki stroškov za podjetje. Rešitev vidimo v avtomatizaciji kontrolnega procesa. Predmet raziskovanja je razvoj prototipnega sistema za preverjanje kvalitete rebričenja obdelovancev s pomočjo strojnega vida. Sistem temelji na nizkocenovni strojni opremi in odprtokodni programski opremi.

Rebričenje je tehnološki proces, kjer se na vrtečo gred vtisne vzorec. Nemški standard DIN 82 opredeljuje sedem tipov rebričenja [8]. Vsak tip se označi s tremi velikimi tiskanimi črkami, in sicer RAA, RBL, RBR, RGE, RGV, RKE in RKV. Štiri rebričene gredi (Slika 1) so diamantno rebričene, moškega tipa z ozanko: RGE 08 DIN 82. Dolžina rebričenega dela znaša 9,5 mm. Prva gred (skrajno levo na Sliki 1) je pravilno

rebričena, ostale tri gredi imajo napake (iz leve proti desni): manjka rebričen del, rebričenje s pre nizko globino ter poševno rebričenje.



Slika 1: Obravnavane rebričene gredi

2 ALGORITMI ZA ISKANJE IN OPIS ZNAČILK

Algoritmi za iskanje in opis značilK (angl. feature matching algorithms) se uporabljajo za prepoznavanje objektov [1]. Največji preboj na področju je leta 2004 dosegel prof. David Lowe s SIFT algoritmom [2]. Prednost algoritma je v tem, da je neodvisen od rotacije in skaliranja slike. Do danes se je iz njegovega koncepta razvilo več novih algoritmov. Ti se med sabo razlikujejo po uporabljenih funkcijah in posledično v numerični kompleksnosti. V splošnem pa vsi delujejo na enak princip, in sicer s pomočjo detektorja in deskriptorja. Detektor zazna ključne točke, ki so dobre za primerjanje. Deskriptor zapiše ključne točke v vektor ali matriko. Izvede se primerjava deskriptorjev obeh slik in povežejo se korelacije [3].

Pri razvoju sistema smo uporabili in testirali tri primerjalnike oblik: SIFT, SURF in ORB. Vsi trije algoritmi so dostopni v odprtokodni knjižnici za računalniški vid OpenCV.

3 SISTEM ZA OPTIČNO PREVERJANJE KVALITETE REBRIČENJA GREDI

3.1 Programska oprema

Eden od ciljev je bil razviti sistem, ki deluje na odprtokodni programski opremi. Raspberry Pi deluje na operacijskem sistemom Raspbian, gre za Debianov Linux sistem, ki je optimiziran za procesorje z ARM arhitekturo [11]. Rešitev smo implementirali v programskem jeziku Python različice 3.6. Python je razširjen programski jezik s preprosto sintakso in visoko učinkovitostjo za prototipno izdelavo sistemov. Slabost Pythona nekateri vidijo v slabi optimizaciji funkcij in posledično počasnem izvajanju programov. Razvijalci ta problem rešujejo tako, da module (programske knjižnice) pišejo v programskih jezikih, kot so C++, C#, Fortran itd. in jih nato »ovijejo« s Pythonovo sintakso [9].

Pri implementaciji sistema smo uporabili naslednje module: NumPy, SciPy, Imutils, Time, Matplotlib in OpenCV. Izpostavili bi modul OpenCV, ki vsebuje več kot 2500 optimiziranih algoritmov za računalniški vid. Ta knjižnica je

kompatibilna tudi z naslednjimi programskimi jeziki: C++, C, Java in Matlab [6].

3.2 Strojna oprema

Za procesiranje podatkov smo uporabili Raspberry Pi model 1 B+. Gre za računalnik velikosti bančne kartice. Ima 32-bitni CPU zasnovan na ARM arhitekturi z enim jedrom frekvence 700 MHz, 256 MB RAM, 17 GPIO in 200 mA napajanje s povprečno porabo energije 1W [10].

Sliko je zajemala Raspberry Pi kamera 5 MP, ki je zasnovana na podlagi CMOS tehnologije. Resolucija kamere znaša 2592 x 1944. Kamera se priklopi na računalnik s CSI konektorjem [7].

Opazovane gredi smo osvetlili z visoko svetlečimi belimi difuznimi LED diodami, ki imajo relativno dobro svetilnost z majhno porabo energije.

3.3 Delovanje sistema strojnega vida

Delovanje sistema je zgrajeno iz treh faz. V prvi fazi se vklopijo komponente, zajame se slika in zajeta slika se grobo obdelava. V drugi fazi se pripravi slika na obdelavo z algoritmi SIFT, SURF ali ORB ter prikaže se slika z ujemi značilK. V tretji fazi se ovrednotijo rezultati druge faze in izvede se odločitev, če je gred pravilno rebričena.

V prvi fazi delovanja sistema si sledi pet logičnih korakov (Slika 2). Kamera najprej zajame sliko (rezultat je prikazan na Sliki 3). Da zmanjšamo numerično kompleksnost algoritma, sliko obrežemo. Ker sta na vsaki gredi dva rebričena dela, je potrebno sliko razdeliti na dva dela (Slika 4 in 5).



Slika 2: Prva faza delovanja sistema



Slika 3: Zajeta slika

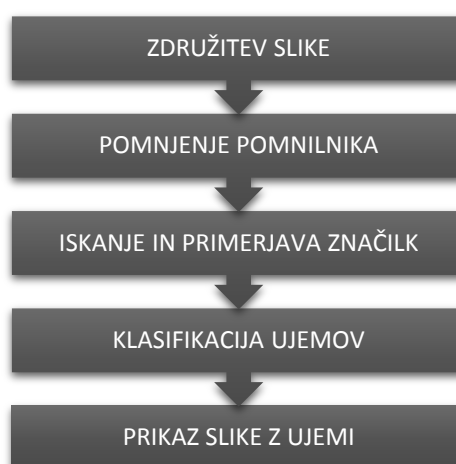


Slika 4: Levi del slike po razdelitvi in obrezu

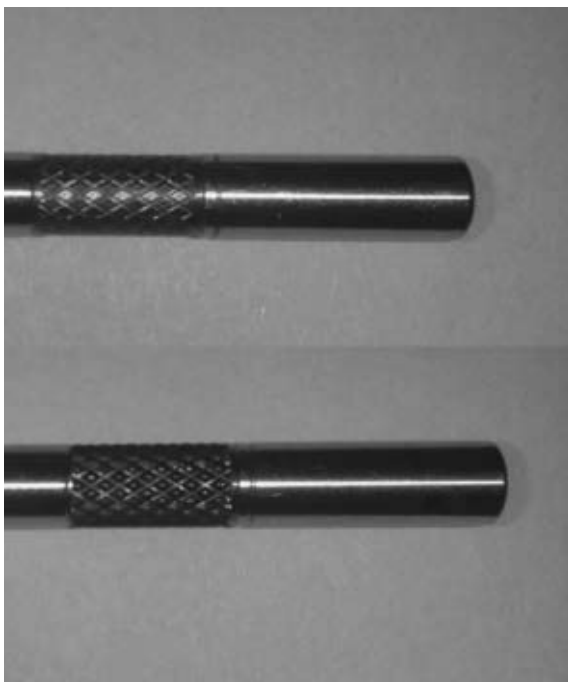


Slika 5: Desni del slike po razdelitvi in obrezu

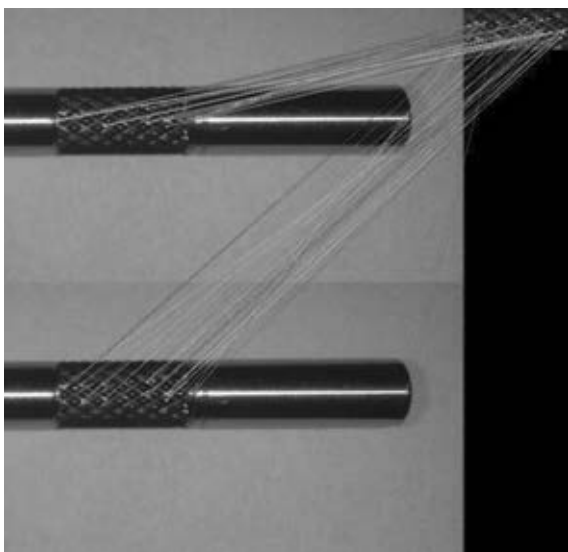
V drugi fazi delovanja sistema si sledi naslednjih pet logičnih korakov (Slika 6). Izvede se predprocesiranje slike z združitvijo dveh slik (Slika 7). Na zgornjem delu slike se nahaja opazovan obdelovanec. Torej tisti, ki ga želimo preveriti, če je ustrezno rebričen. Na spodnjem delu slike se nahaja obdelovanec za katerega vemo, da je ustrezno rebričen. Nato poženemo enega izmed algoritmov iskanja in primerjanja značilk ter preštujemo število ujemov zgornjega in spodnjega dela. Če zgornja slika preseže število ujemov nad neko empirično določeno mejo, je rebričen del ustrezen (Slika 8). Če zgornja slika ne preseže števila ujemov nad neko empirično določeno mejo, je rebričen del neustrezen (Slika 9).



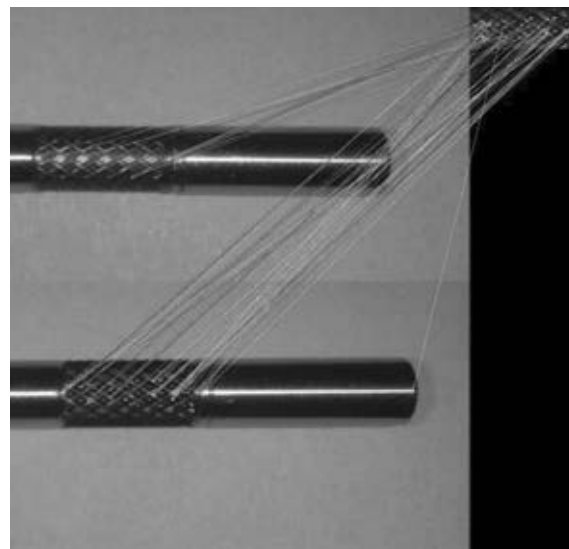
Slika 6: Druga faza delovanja algoritma



Slika 7: Združitev slike



Slika 8: Prikaz slike z ujemi pravilno rebričene gredi



Slika 9: Prikaz slike z ujemi nepravilno rebričene gredi

V tretji fazi delovana sistema si sledi zadnjih pet logičnih korakov (Slika 10). Rezultate druge faze delovanja sistema klasificiramo na podlagi pozicije v navpični smeri. Na podlagi določene pragovne vrednosti se program odloči, če je obdelovanec ustrezno rebričen ali ne.



Slika 10: Tretja faza delovanja algoritma

4 REZULTATI

4.1. Analiza števila ujemov

Primerjali smo uporabo treh različnih algoritmov za iskanje in primerjanje značilk. Na voljo smo imeli štiri obdelovance, ki so prikazani na Sliki 1. Z njimi smo simulirali 16 obdelovancev tako, da smo pri vsaki novi sliki obdelovanec obrnili za 90° okoli najdaljše osi.

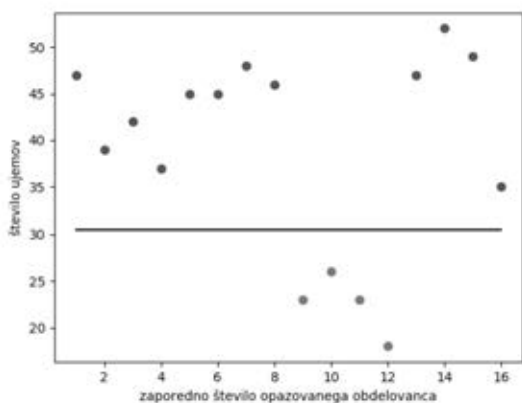
Z uporabo vseh treh algoritmi smo 100 % uspešno ločili ustrezne obdelovance od neustreznih.

V nadaljevanju so grafično prikazani rezultati analize števila ujemov vseh treh algoritmov. Na abscisi je označenih 16 zaporednih naravnih števil, kar predstavlja 16 opazovanih obdelovancev. Na ordinati je za vsak obdelovanec prikazano število ujemov. Modre točke označujejo ustrezne obdelovance, rdeče točke označujejo neustrezne obdelovance. Med ustreznimi in neustreznimi obdelovanci je s črno neprekinjeno črto prikazana mejna vrednost, ki smo jo izračunali kot polovična vrednost med najmanjšim številom ujemov ustreznega obdelovanca in največjim številom ujemov neustreznega obdelovanca.

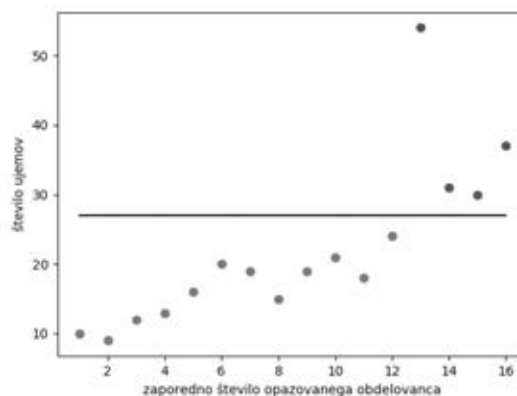
1.) ORB

Za levo stran gredi je bilo najmanjše število ujemov za pravilno rebričen del 35 in največje število ujemov za nepravilno rebričen del 26 (Slika 11). Mejno vrednost smo postavili na 30,5.

Za desno stran gredi je bilo najmanjše število ujemov za pravilno rebričen del 30 in največje število ujemov za nepravilno rebričen del 24 (Slika 12). Mejno vrednost smo postavili na 27.



Slika 11: Rezultati algoritma ORB za levo stran gredi

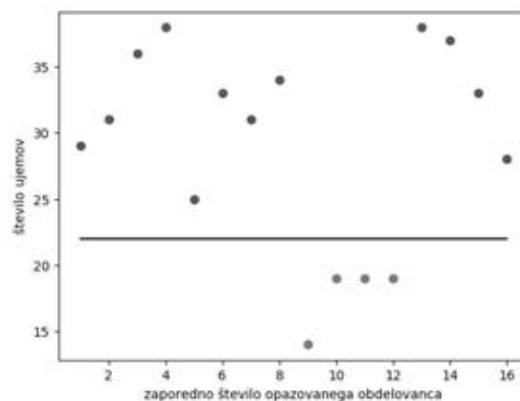


Slika 12: Rezultati algoritma ORB za desno stran gredi

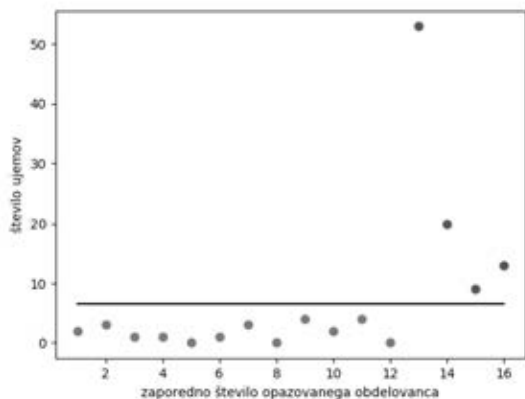
2.) SIFT

Za levo stran gredi je bilo najmanjše število ujemov za pravilno rebričen del 25 in največje število ujemov za nepravilno rebričen del 19 (Slika 13). Mejno vrednost smo postavili na 22 ujemov.

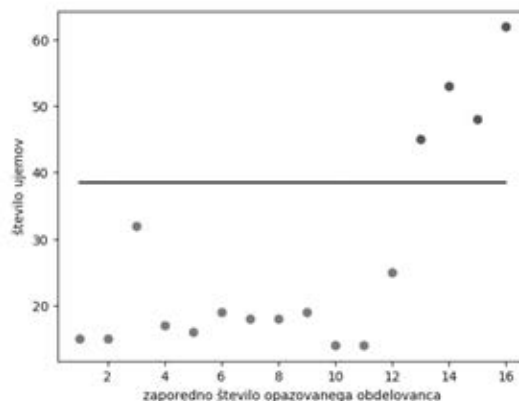
Za desno stran gredi je bilo najmanjše število ujemov za pravilno rebričen del 4 in največje število ujemov za nepravilno rebričen del 9 (Slika 14). Mejno vrednost smo postavili na 6,5.



Slika 13: Rezultati algoritma SIFT za levo stran gredi



Slika 14: Rezultati algoritma SIFT za desno stran gredi

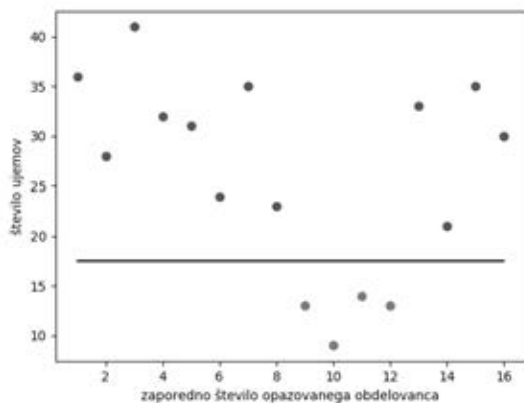


Slika 16: Rezultati algoritma SURF za desno stran gredi

3.) SURF

Za levo stran gredi je bilo najmanjše število ujemov za pravilno rebričen del 21 in največje število ujemov za nepravilno rebričen del 14 (Slika 15). Mejno vrednost smo postavili na 22.

Za desno stran gredi je bilo najmanjše število ujemov za pravilno rebričen del 45 in največje število ujemov za nepravilno rebričen del 32 (Slika 16). Mejno vrednost smo postavili na 38,5.



Slika 15: Rezultati algoritma SURF za levo stran gredi

4.2. Časovna analiza

Na razvitem sistemu za nadzor kvalitete rebričenja s pomočjo strojnega vida smo izvedli tudi časovno analizo uporabe SIFT, SURF in ORB algoritma. Kot že omenjeno, ima uporabljeni računalnik šibek procesor (eno jedro s 700 MHz in 256 MB pomnilnika). Ker gre za relativno počasen sistem, so časi potrebni za numerično računanje še toliko bolj izraziti.

Časovna meritev vključuje vse tri faze delovanja sistema. Rezultate časovne analize smo grafično prikazali za vsak algoritem (Slika 17, 18 in 19). Na abscisi je označenih 16 opazovanih obdelovancev, na ordinatni osi pa so zabeleženi pretečeni časi v sekundah.

Izračunali smo povprečne vrednosti za posamezen algoritem. Povprečen čas cikla z algoritmom ORB je znašal 11,23 s; z algoritmom SURF 46,56 s in z algoritmom SIFT 218,28 s. Dobljeni rezultati so bili pričakovani, saj si numerična zahtevnost algoritmov prav tako sledi v tem zaporedju [4, 5].

5 SKLEP

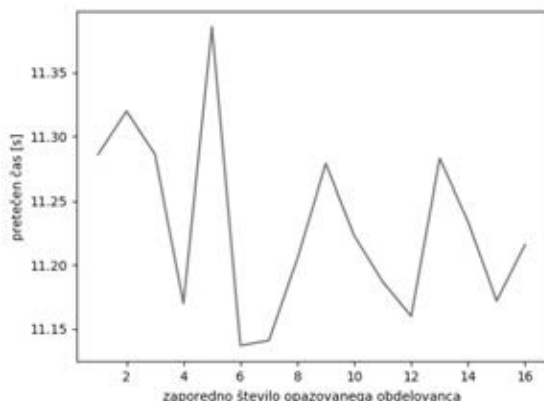
V članku smo predstavili sistem za nadzor kvalitete rebričenja s pomočjo strojnega vida. Rešitev smo razvili z minimalnimi stroški, saj smo uporabili odprto kodno programsko opremo, enostaven in množično proizveden računalnik ter nekaj cenenih elektronskih komponent. Preverili smo delovanje treh popularnih algoritmov iskanja in primerjanja značilk ter prikazali rezultate. Vsi uporabljeni algoritmi so v prototipni fazi uspešno kljubovali nalogi, kot računsko najmanj zahteven pa se je izkazal algoritem ORB.

Pri nadaljnjih raziskavah in integraciji v industrijo bi potrebovali večje število testnih obdelovancev in zanesljivejšo strojno opremo.

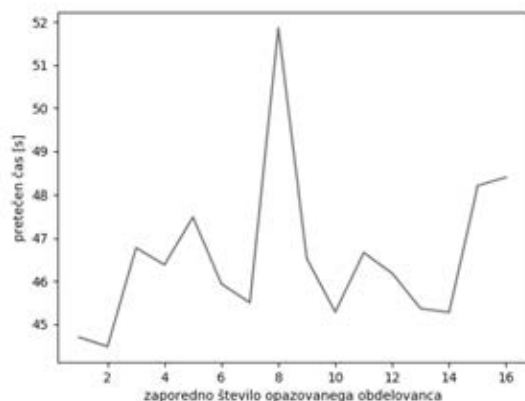
Potrdili smo, da je možno z odprtokodno programsko opremo ter nizkocenovno strojno opremo zgraditi učinkoviti sistem za brezkontaktni nadzor kvalitete rebričenja gredi.

Viri:

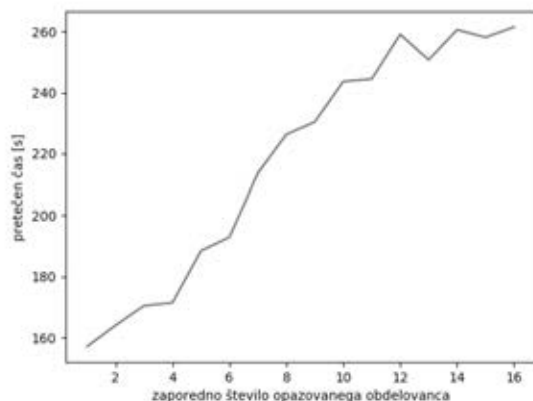
- [1.] B. G. Batchleor, J. T. Erichsen, S.D. Luster, A. K. Forrest, D. L. Giblom, J. W. V. Miller, D. Zhao, E. R. Davies, F. M. Waltz, P. F. Whelan, S. Malayappan, D. Bailey, J. P. Sacha, G. Ovidiu: *Machine Vision Handbook*, Springer cop. England, London: Springer cop, 2002.
- [2.] D. G. Lowe, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision* (2004), 60, num. 2, 91-110.
- [3.] E. R. Davies: *Computer and Machine Vision 4th edition theory, algorithms, Practicalities*. England, Oxford, Elsevier, 2012.
- [4.] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski, ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, *Computer Vision (ICCV), IEEE International Conference*, 2011.
- [5.] H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool, SURF: Speeded up Robust Features, *Computer Vision ECCV: Lecture Notes in Computer Science*, vol 3951, 2006.
- [6.] OpenCV (Dosegljivo: <http://opencv.org/>)



Slika 17: Rezultati časovne analize algoritma ORB



Slika 18: Rezultati časovne analize algoritma SURF



Slika 19: Rezultati časovne analize algoritma SIFT

- [7.] Raspberry Pi camera,
(<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>)
- [8.] Standard DIN 82 (1984), Knurled profiles on workpiece, Köln, Beuth Verlag.
- [9.] Python programmin language
(https://en.wikipedia.org/wiki/Python_programmin_g_language)
- [10.] Raspberry Pi
(https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [11.] Raspbian
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Raspbian>)

SISTEM ZA VIZUALNI NADZOR REZALNIH ORODIJ NA OBDELOVALNIH STROJIH

Uroš ŽUPERL, Franc ČUŠ

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

V prispevku je predstavljen optični sistem za nadzor rezalnega orodja, ki v obdelovalni stroj vnese merilne funkcije kamere. Ekonomičen optični vizualni sistem je trajno nameščen na obdelovalnem stroju in neposredno komunicira s CNC krmiljem stroja. Merilni sistem je robustno zasnovan tako, da lahko deluje med obdelovalnim procesom in zagotavlja zanesljive meritve orodja za CNC krmilno enoto. Prototip vizualnega nadzornega sistema je sestavljen iz visoko-hitrostne pametne kamere, ki je nameščena na nastavljivem aluminijastem okvirju, vpenjalnega sistema rezalnega orodja in krmilja. Krmilje sistema je izdelano v Labview. Realno orodje je mogoče izmeriti med vrtenjem orodja pri polni vrtilni frekvenci. Prototipni vizualni sistem lahko izmeri višino, polmer in geometrijo vseh rotacijsko simetričnih rezalnih orodij. Posebej je optimiziran za merjenje krogelnih in ploskovnih frezal, svedrov, gravirnih orodij in orodij za posnemanje. Primeren je tudi za merjenje obrabe orodja in odkrivanje poškodb orodja. Rezalno orodje nadzoruje CNC krmilnik stroja s preprostimi cikli merjenja in računalniško podprtim krmilnim sistemom, razvitim v programski opremi LabVIEW. Premišljena struktura vizualnega nadzornega sistema omogoča zanesljivo merjenje rezalnega orodja, na način, da ostanki mazalno-hladilnih sredstev in odrezkov ne vplivajo na merilne rezultate.

1 UVOD

Tehnologija nastavljanja rezalnega orodja je proces določanja geometrijskih informacij rezalnega orodja. Glavne geometrijske informacije so dolžina in premer orodja ter radij konice. Merjenje in nastavljanje orodja se izvaja z uporabo naprav za nastavljanje orodij in namenske programske opreme. Nekatere naprave za nastavljanje orodij lahko preverijo tudi radialni/linearni profil in stanje rezalnega robu. Omogočajo popolnoma avtomatizirano delovanje na obdelovalnih strojih.

Sistemi za nastavljanje orodjih se delijo na kontaktne in brez-kontaktne sisteme.

Pri kontaktnih merilnih sistemih pride do fizičnega kontakta med merilno napravo in merjenim orodjem. Takšni sistemi imajo naslednje prednosti: so robustni v težkih obdelovalnih razmerah, stroškovno učinkoviti, izvajajo meritve v različnih orientacijah vretena, merijo premer rotirajočega orodja in dolžino orodja. Slabosti: lahko povsajajo zelo tanka frezala, pritrjeni so na delovno mizo stroja, ne dovoljuje kompleksnega nadzora rezalnega robu.

Brez-kontaktne sistemi za nastavljanje orodja uporabljajo optični (laserski) žarek za

identificiranje prisotnosti orodja. Identificirajo lahko tudi poškodbe in navarjene odrezke na rezalnem robu orodja [1]. Imajo naslednje prednosti: ne upogibajo zelo tankih frezal, meritve potekajo pri zelo velikih vrtilnih frekvencah vretena, imajo trajno zaščiten optiko, omogočajo meritve z več merilnimi točkami, identificirajo poškodovane zobe orodja oz. rezalne ploščice.

Na splošno so takšni merilni sistemi dražji od kontaktnih sistemov, njihova namestitvev je zapletena, slabe obdelovalne razmere in delci lahko povzročajo težave v aplikaciji in merilne napake.

Merilne tehnike na osnovi obdelave slik so danes zelo razširjene, predvsem zaradi razvoja algoritmov za procesiranje slik, konstantne izboljšave kvalitete slik, zniževanja cen digitalnih kamer in povečevanja računske moči računalnikov [1]. Izhod iz kamere je direktno uporaben na osebnih računalnikih. Digitalne kamere v kombinaciji s softverom omogočajo razvoj novih aplikacij za zaznavajo in merjenje na osnovi zajetih slik [2]. Aplikacije vključujejo poleg prepoznavanja slik tudi merilne naprave [3]. Resolucija in kvaliteta slik pri celo enostavnih USB kamerah omogoča širok spekter merilnih aplikacij. Kvaliteta slik je odvisna od

uporabljenega senzorja-tipala, njegove resolucije, velikosti matrice in kvalitete optike. Sekundarno je odvisna tudi od vgrajenih algoritmov za obdelavo slik. Izbira primerne povečave omogoča povečati senzibilnost naprave na detajle s povečanjem resolucije dela na vrednost, skoraj enako resoluciji velikosti matrice.

Na zajetih slikah temelječe meritve so izvedene pri številnih obdelovalnih procesih kot npr. merjenje obrabe [4,5,6], merjenje kvalitete obdelane površine [7], merjenje geometrije.

V tem prispevku je opisan vizualni sistem za nadzor frezalnih orodij.

2 VIZUALNI MERILNI SISTEM

V nadaljevanju opisani optični sistem za nadzor rezalnih orodij (slika 1) je bil razvit posebej za kontrolo frezal premera od 5 mm do 90 mm, ki so najpogosteje uporabljena pri izdelavi najzahtevnejših komponent. Sistem izvaja meritve med vrtenjem orodja s polno delovno vrtilno frekvenco. Z njim lahko nadziramo geometrijo orodja, poškodbe orodja in določamo kompenzacije zaradi obrabe orodja.

Meritev in kontrola rezalnega orodja poteka v naslednjih korakih. V prvem koraku se vrteče se orodje približa merilnemu sistemu. Nato se odpre zaščitna loputa kamere. Kamera identificira konturo orodja. Položaj orodja se med meritvijo ne spreminja.

Zaradi manjšega števila premikov orodja je meritev hitrejša, kar je velika prednost pred

komercialnimi laserskimi sistemi nastavljanja orodja.

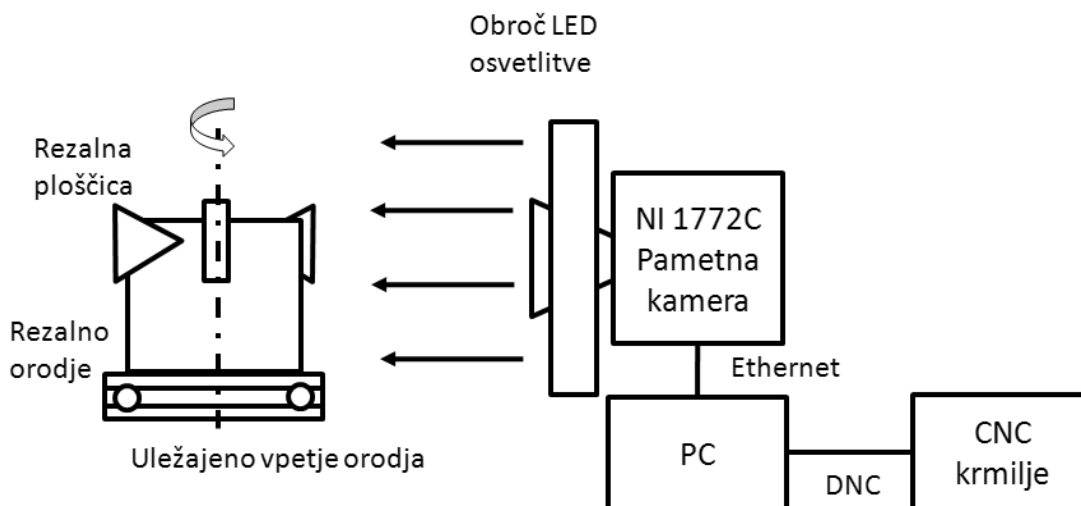
Laser zagotavlja merjenje le z eno slikovno piko, medtem ko kamera zagotavlja merjenje z milijoni slikovnih pik.

Za meritev geometrije in dimenzij frezala je potrebno identificirati robove orodja na zajeti sliki. Pri izvedbi meritve je orodje vpeto pravokotno na os kamere.

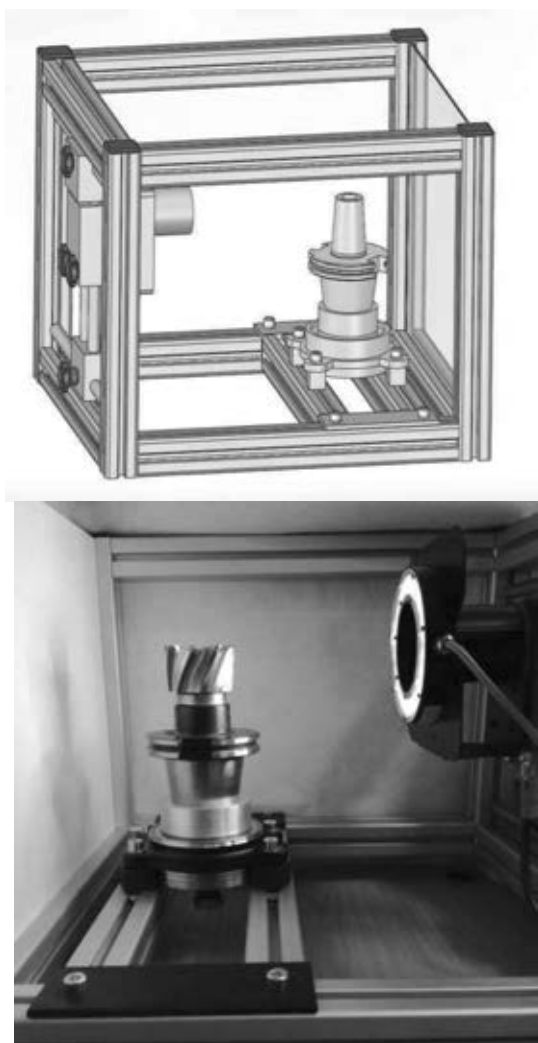
Za zajemanje slik je uporabljena visoko zmogljiva, pametna 640x480 VGA kamera NI 1772C. V prototipnem sistemu je kamera vpeta preko pozicionirnega sistema na aluminijasto konstrukcije merilne celice.

Kamera ima svoj real time operacijski sistem, na katerega je instalirana merilno-kontrolna aplikacija. Zajemanje slik in analiza slik poteka na sami kameri. Zajame do 65 slik na sekundo. Kamera je povezana s PC-jem preko ethernet povezave. Na PC-ju je naložen Labview, ki komunicira s krmiljem obdelovalnega stroja preko DNC protokola. Kalibrirana kamera omogoča merjenje video-optičnih meritev linearnih dimenzij na ravni ploskvi. Kalibracijski faktor je nastavljen glede na razdaljo med merjenim orodjem in kamero.

Natančnost merjenja je odvisna od resolucije kamere in optičnega faktorja povečave. Slika merjenega orodja na zaslonu se povečuje z resolucijo kamere in optično povečavo. Natančnost meritve na zaslonu je odvisna od velikosti slikovne točke. Končno, natančnost meritve dobimo, če natančnost slike na zaslonu delimo z optično povečavo.



Slika 1: Shematsko prikazana zgradba optičnega sistema za nadzor rezalnega orodja.



Slika 2: Prototipni sistem za vizualni nadzor rezalnih orodij.

Slika 2 prikazuje testni optični merilni sistem. Nastavljiva radialna LED luč omogoča primerno osvetlitev objekta. Orodje je vpeto na vležajen SK konus, ta pa na ogradje merilne celice.

V Labviewu, Visual Builderju in Visual Assistantu je izdelana aplikacija za merjenje in kontrolo orodja (slika 3).

Aplikacija izvaja proces kalibracije, proces zajemanja slik, on-line pregled slik, analizo slik, identificiranje rezalnih robov in arhiviranje slik.

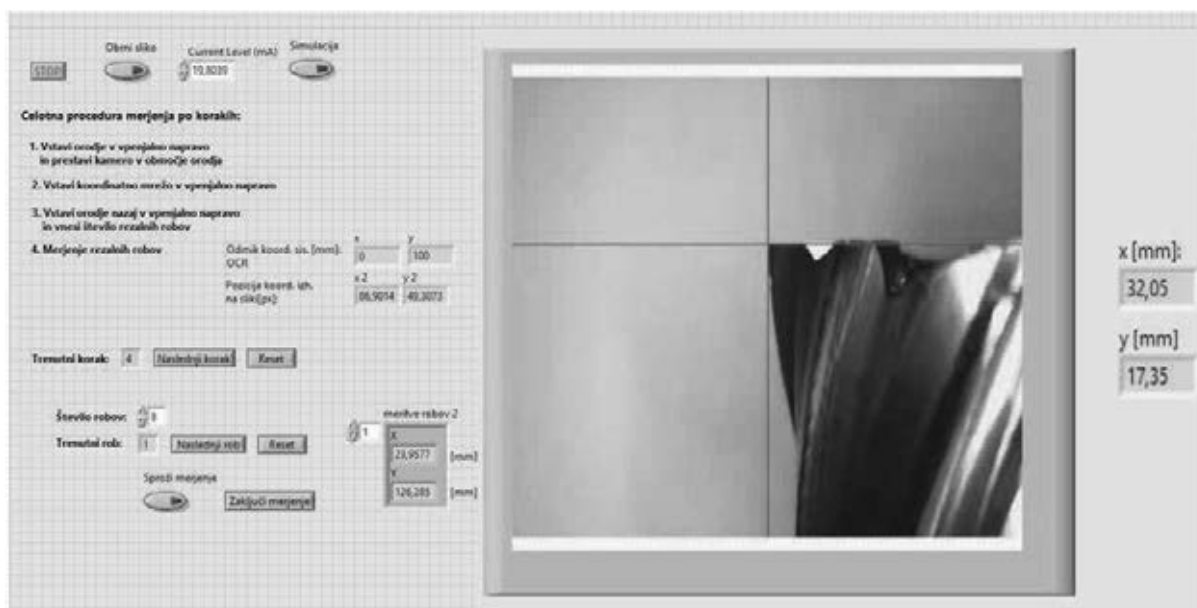
Barve slikovnih točk se analizirajo med fazo segmentacije, sledi proces prepoznavanje oblik z namenom identificirati robove rezalnega orodja. Pred izvedbo meritve se sistem kalibrira, s čimer se določi faktor pretvorbe iz slikovne točke v milimetre. Objekt z znanimi merami se uporabi za določitev faktorja pretvorbe. Uporabniški vmesnik v Labviewu je zasnovan tako, da omogoča avtomatsko integracijo s CNC obdelovalnimi stroji, ki se izvede s DNC protokolom.

Proces merjena poteka v treh korakih:

V 1. koraku se orodje pozicionira v merilni pripravi.

V 2. kalibracijskem koraku se določi koordinatni sistem in pretvorba iz slikovnih točk v mm.

Sledi zadnji korak, korak filtriranja, merjenja in izpisa dimenzij rezalnih robov (slika 3). Dinamično digitalno filtriranje-brisanje močno poveča zanesljivost merilnega sistema.



Slika 3: Glavno okno rezultatov aplikacije za nadzor rezalnih orodij.

Digitalno brisanje poteka v dveh fazah.

V prvi fazi kamera identificira in analizira celotno konturo rezalnega orodja, nato v drugi fazi identificira motnje-dodatke na konturi (oljne kapljice, odrezke) in jih s posebnimi digitalnimi filtri odstrani.

Tako očiščena kontura se uporabi kot profil orodja za meritve.

Povzetek rezultatov meritev je prikazana v oknu aplikacije rezultati (slika 3).

3 UGOTOVITVE, SKLEP

Moderni obdelovalni sistemi, ki se uporabljajo za popolnoma avtomatizirano obdelavo brez prisotnosti človeka, morajo biti opremljeni s senzorji za zanesljivi nadzor procesa.

V ta namen, smo razvili vizualni sistem za precizno spremljanje rezalnih orodij.

Prototip vizualnega nadzornega sistema je sestavljen iz visoko-hitrostne VGA pametne kamere, ki je nameščena na nastavljivem aluminijastem okvirju, vpenjalnega sistema rezalnega orodja, sistema nastavljive radialne LED osvetlitve in krmilja, ki je izdelan v programu Labviewu.

Z izdelanim prototipnim sistemom lahko izmerimo in nadziramo prek 90 % vseh konvencionalnih orodij. Merjenje orodij s kamero je najboljša tehnologija merjenja za procese mikro-obdelav.

S takšnim sistemom dosežemo boljšo resolucijo kor pri merjenju z laserjem, kjer znaša 0.2 mikrometra.

V prispevku je predstavljen moderen, brez-kontakten, na kameri temelječ sistem za merjenje in kontrolo rezalnih orodij.

S testi je potrjena učinkovitost VGA kamere za merjenje geometrije rezalnega orodja brez napak.

Z izvedenimi testi na prototipnem merilnem sistemu smo prišli do naslednjih ugotovitev:

- digitalne kamere z VGA resolucijo so primerene za geometrijske meritve z linearno dimenzijsko natančnostjo ± 0.1 mm.
- zgradba sistema zagotavlja ponovljivost meritev.
- na kameri temelječe meritve so odlična alternativa za ročno izvedene meritve rezalnega orodja v proizvodnem okolju.

V raziskavi smo raziskati potencial procesiranja slik za zagotavljanje merilnih zmogljivosti v obsegu resolucije 0.1 mm.

Sistem določi premer orodja direktno s ponovljivostjo 0.2 mm. Sistem določi radialno deviacijo profila orodja z ozirom na njegovo vertikalno os.

Merilni sistem integriran na obdelovalni stroj Heller bea 01 predstavlja manj kot 3% celotne kapitalske investicije.

Laserski sistem za nastavljanje rezalnih orodij znaša 25 % cene merilnega sistema, ki vključuje kamero. Slabost merilnih sistemov s kamero je v samo 500-mikronskem oknu za merjenje celotnega orodja, zato se je potrebno omejiti le na sliko rezalnega roba orodja. Za razliko od laserskih sistemov so sistemi s kamero primerni za merjenje orodij z zelo majhnim premerom (do 0.05 mm).

Laserski merilni sistemi so se izkazali za problematične pri malih orodjih.

Cilj nadaljnjih raziskav je nadgraditi obstoječ merilni sistem z novo kamero z večjo resolucijo in avtomatizirati meritve.

Viri:

- [1] Mikolajczyk, T.: Manufacturing using robot, *In Advanced Materials Research*, 463(2012), str. 1643-1646. Trans Tech Publications.
- [2] Yao, M., Zhao, Z., Xu, B.: Geometric calibration of line-scan camera using a planar pattern, *Journal of Electronic Imaging*, 23(1) (2014): 013028.
- [3] Ayas, S., Cupallari, A., Ekiz, O.O., Kaya, Y., Dana, A.: Counting molecules with a mobile phone camera using plasmonic enhancement, *Acs Photonics*, 1(1) (2013), str. 17-26.
- [4] Castejon, M., Alegre, E., Barreiro, J., Hernández, L. K.: On-line tool wear monitoring using geometric descriptors from digital images, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(12-13) (2007), str. 1847-1853.
- [5] Ghani, J.A., Rizal, M., Nuawi, M.Z., Ghazali, M.J., Haron, C.H.C.: Monitoring online cutting tool wear using low-cost technique and user-friendly GUI, *Wear*, 271(9-10) (2011), str. 2619-2624.
- [6] Barreiro, J., Castejón, M., Alegre, E., Hernández, L. K.: Use of descriptors based on moments from digital images for tool wear monitoring, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(9)(2008), str. 1005-1013.
- [7] Mikolajczyk, T.: Videooptical surface shape and integrity estimation in robots machining, *In Applied Mechanics and Materials*, 332(2013), str. 270-275. Trans Tech Publications.

OPTIMIZACIJA PROCESNIH PARAMETROV ZA STABILIZACIJO IN IZBOLJŠANJE SPOSOBNOSTI STRUŽENJA

Luka ČERČE¹, Andrej MLINAR², Davorin KRAMAR¹

¹Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani,

²LTH Castings d.o.o.

IZVLEČEK

Delo obravnava proizvodni proces izdelka z ozkim tolerančnim območjem. Z uporabo statistične kontrole procesa (SPC) je bil analizirano trenutno stanje obdelovalnega procesa in ugotovljeno, da se je pojavil problem nestabilnosti obdelovalnega procesa. Pred analizo obdelovalnega procesa smo z metodo analize merilnega sistema (MSA) preverili merilni proces. Za stabilizacijo obdelovalnega procesa je bila izvedena kalibracija linearnih osi CNC stružnice. Z tem posegom, se je stabilnost in sposobnost obdelovalnega procesa izboljšala, še vedno pa je bil prisoten problem ovalnosti izdelka. Procesne parametre, ki bi lahko vplivali na ovalnost izdelka, smo analizirali z metodo načrtovanja eksperimentov (DOE). Z metodo smo ugotovili, da ima glavni vpliv vpenjalna sila. Dosežena minimalna vpenjalna sila še ni v celoti izključila problema ovalnosti, zato smo za izključitev le-tega predlagali nov način vpetja.

1 UVOD

Dandanes so industrijske organizacije pod velikim pritiskom zaradi velike konkurence in vse zahtevnejših tržišč. Preživijo lahko le, če proizvajajo visoko kakovostne izdelke. Proizvajalci lahko dosegle višjo raven kakovosti z izboljšanjem njihovega proizvodnega procesa in/ali kontrolo izdelka, kjer je na voljo več različnih strategij [1]. Vsaka možnost ima kot posledico nastale stroške, ki jih je potrebno upoštevati v stroške proizvodnje. Juran [2] je bil eden prvih, ki je povezal nadzor in zagotavljanje kakovosti z nastalimi stroški in vključuje vse stroške, ki bi se pojavili, če so proizvedeni slabi izdelki.

V realni proizvodnji tej stroški običajno niso jasno definirani. Stroški kakovosti so pogosto prikriti v stroških testiranja, stroških razvoja ali v obratovalnih stroških, kar je zavajajoče. V številnih študijah so predstavljeni in ovrednoteni vplivi upravljanja kakovosti z uporabo stroškov kakovosti v metričnih oblikah [3, 4] ali z modeliranjem [5, 6].

V predstavljeni študiji je prikazan primer, kjer želimo stroške kakovosti, povezani z kontrolo izdelka zmanjšati z izboljšanjem proizvodnega procesa. Obravnavani izdelek je ulitek ohišja menjalnika. Obdelane površine, kjer nalegajo

ležaji, so v ozkem tolerančnem območju velikosti 20 μm . Proizvodna serija je večja od 500.000 kosov. Na merilni postaji se opravlja 100% dimenzijska kontrola izdelka, ki zahteva visoko stopnjo nadzora nad procesom obdelave in posledično izguba časa.

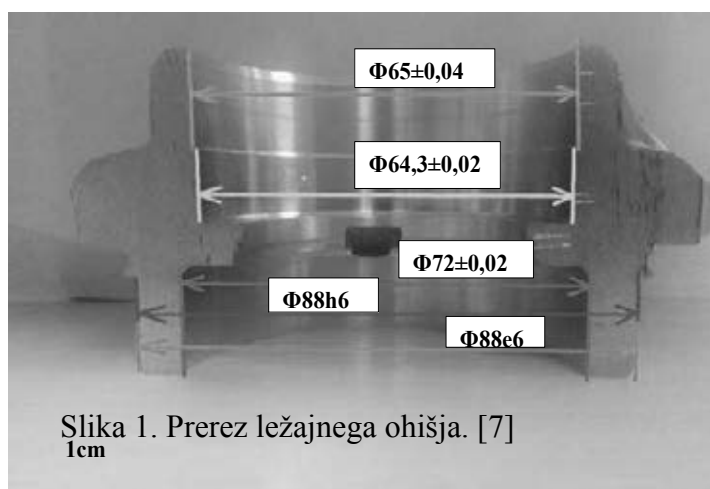
1.1 Problem - nestabilnost obdelovalnega procesa

Na obdelovalnem stroju se pojavi problem med proizvodnim procesom, ker stroj ne zagotavlja zadostne stabilnosti v smislu držanja mer obdelovancev znotraj tolerančnega območja. Ko je stružnica v polnem teku, so dimenzije obdelovancev bodisi znotraj tolerančnega območja bodisi se premikajo proti tolerančnim mejam. Posledica tega je 100% dimenzijska kontrola na merilni postaji in sprotno korigiranje koordinatni izhodišč rezalnih orodij, kar delavcu predstavlja zamudno dodatno delo. Problem nastane tudi pri zastoju stroja (nenaden zastoj, čiščenje, malica ...) in posledično njegovi ohladitvi, saj takoj po zastoju in ponovnem zagonu dimenzije znatno odstopajo, s čimer se ustvarja izmet in posledično izguba.

Cilj eksperimentalnega dela naloge je uporaba različnih orodij kakovosti za stabilizacijo in izboljšanje sposobnosti obdelovalnega procesa.

2. IZDELAVA IN KONTROLA IZDELKA

Obravnavan izdelek je Al ležajno ohišje in je, zaradi ozkega tolerančnega območja zahteven za obdelavo. Ležajno ohišje ima 5 ključnih premerov za končno uležajenje in montažo (slika 1). Izdelani so v tolerančnem območju od 20 to 40 μm . Vseh pet premerov, ki so na izdelku funkcijsko najpomembnejši, je 100% kontroliranih na posebni merilni postaji. Ostale dimenzije imajo širše tolerančno območje, zato ni potrebe po 100% kontroli, pač pa se jih preverja dvakrat na izmeno.



Slika 1. Prerez ležajnega ohišja. [7]

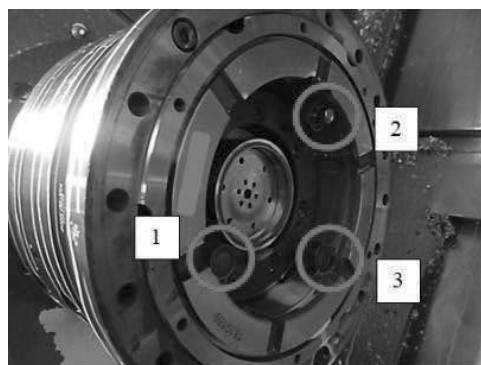
2.1 Tehnologija izdelave

Izdelek se izdeluje z vzdolžnim notranjim in zunanjim struženjem ter s prečnim struženjem. Za obdelavo se uporablja PKD ploščice, katerih obraba je pri obdelavi aluminija zanemarljiva. Uporabljena orodja in rezalni parametri so predstavljeni na spodnji tabeli.

Tabela 1. Tehnologija izdelave

Premer [mm]	Rezalna ploščica	f_n [mm/vrt]	a_p [mm]
64.3	DCMW 11T304	0.08	0.37
65	DCMW 11T304	0.08	0.37
72	DCMW 11T304	0.08	0.37
88e6	CCGW11T308	0.12	0.37
88h6	CCGW11T308	0.12	0.37

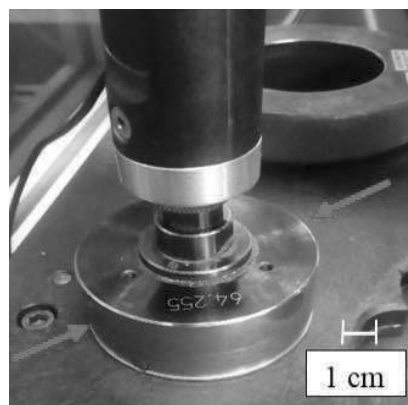
Vpenjanje obdelovanca se opravlja samodejno z robotom. Obdelovanec je v vpenjalni napravi vpet s treh podpornih točk (slika 2), ki tvorijo ravnino, pravokotno na vzdolžno (Z) os stružnice.



Slika 2. Tritočkovna vpenjalna čeljust. [7]

2.2 Kontrola izdelka

V proizvodnji je pomembno, da proces obdelave teče nemoteno, torej da vsak obdelan ulitek, ki pride na odlagalni trak ustreza kakovostnim kriterijem. To pomeni, da so dimenzije po obdelavi znotraj tolerance, da je hrapavost površin znotraj meja dovoljenih in da zadostuje vizualnim zahtevam (brez poškodb itd.). Stabilnost obdelovalnega procesa se spremlja preko merjenja dimenzij obdelovancev na merilni postaji (slika 3). Merilna postaja je postavljena poleg obdelovalnega centra in služi za 100 % kontrolo obdelovancev.



Slika 3. Merilni sistem za $\phi 64.3$ mm. [7]

3. PREGLED OBSTOJEČEGA STANJA PROIZVODNEGA PROCESA

Pregled obstoječega stanja je pomemben proces, ki nam da povratno informacijo o kakovosti proizvodnega procesa. V proizvodnem procesu imamo obdelovalni proces in merilni proces. Če pridemo do spoznanja, da kakovost naših izdelkov ni primerna, imamo lahko tri stanja:

1. izdelek je v resnici dober, ampak merilni sistem v njem ne kaže točnih rezultatov, s čimer ustvarjamo izmet, ki to v resnici ni
2. obdelovalni proces je neustrezen, kar nosi za posledico neprimeren izdelek
3. tako merilni proces kot obdelovalni proces sta slaba.

Zato je potrebno merilni in obdelovalni proces analizirati in ugotoviti trenutno stanje proizvodnega procesa. Merilni proces je bil preverjen z uporabo metode MSA (ang. Measurement System Analysis), medtem ko sta bili metodi SPC (ang. Statistical Process Control) in DOE (ang. Design of experiment) uporabljene za analizo obdelovalnega procesa.

3.1. Analiza merilnega sistema (MSA)

MSA je nabor tehnik, ki nam omogoča oceniti, kakšne so napake, ki jih doprinese merilni sistem. Namen metode MSA je statistično preveriti, da uporabljen merilni sistem zagotavlja:

- Reprezentativne vrednosti karakteristik, ki se merijo,
- Nepristranskih rezultatov,
- Minimalno variabilnost.

Študija Gage R&R je bila opravljen na vseh 5. obdelanih premerih, kjer se vrši 100 % kontrola. Merilni postopek sestavljajo naslednji koraki:

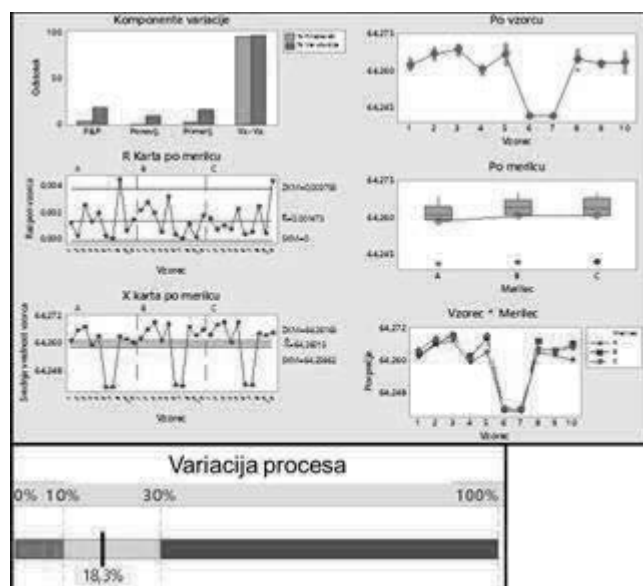
- Kalibracija merilne naprave.
- Prvi izvajalec izmeri deset vzorcev, ki so označene s številkami od ena do deset.
- Drugi izvajalec izmeri deset vzorcev.
- Tretji izvajalec izmeri deset vzorcev.

Tej koraki so bili ponovljeni dvakrat. Tako vsak izvajalec izmeri deset vzorcev trikrat. Preden začne vsak od izvajalcev z merjenjem, je bila merilna naprava kalibrirana.

Na podlagi izmerjenih rezultatov se izračuna odstotek variacije procesa (% GRR) za vsak obdelan premer. Slika 4 prikazuje rezultate Gage R&R študije za premer $\phi 64.3$ mm.

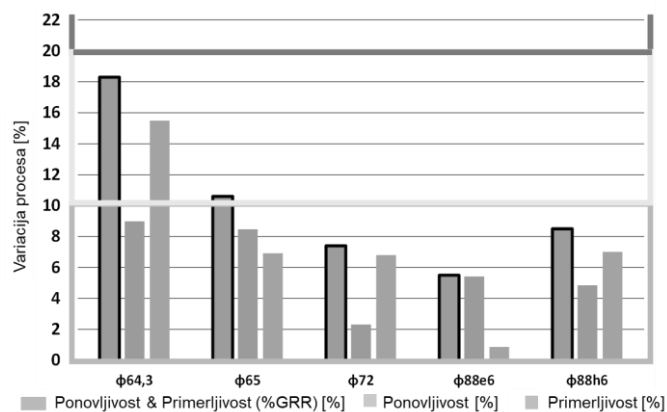
Izračunana variacija procesa %GRR za premer $\phi 64.3$ mm je 18,3 %. Merilni sistem je pogojno sprejemljiv.

Isti postopek je bil uporabljen za izračun variacije procesa %GRR ostalih premerov. Slika 5 prikazuje rezultate študije Gage R&R za vse premere.



Slika 4. Rezultati študije Gage R&R za premer $\phi 64.3$ mm. [7]

Gage R&R študija je pokazala, da je postopek merjenja sprejemljiv in sposoben zagotavljanja natančnih meritev (slika 5, vsi rezultati %GRR pod 30 %).



Slika 5. Rezultati študije Gage R&R vseh premerov. [7]

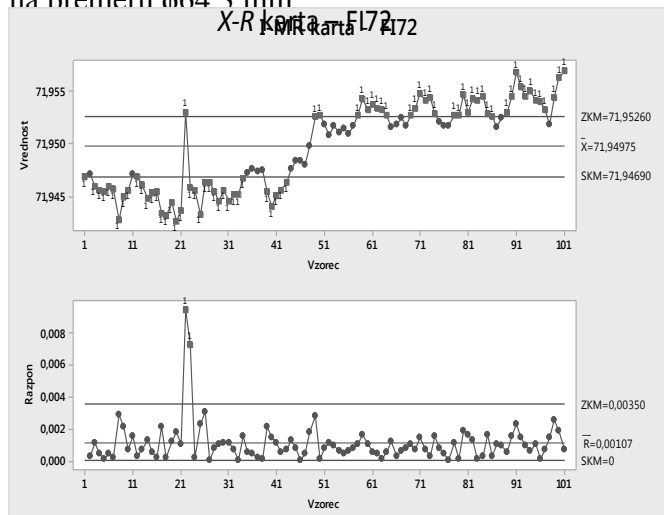
Iz rezultatov se lahko zaključi, da je potrebno vzroke za nestabilnosti proizvodnega procesa najti v procesu obdelave. Zato je potrebno analizirati trenutno stanje procesa obdelave.

3.2. Analiza sposobnosti obdelovalnega procesa (SPC)

Po tem, ko smo analizirali merilni sistem, ki je v uporabi za kontrolo kosov, in smo ugotovili, da je ustrezen, smo analizirali sposobnost procesa.

Analiza je bila izvedena na tistih premerih obdelovanca, ki se v rednem proizvodnem procesu 100 % kontrolirajo.

Slika 6 prikazuje $X - R$ karte opravljenih meritev na premeru $\phi 64,3$ mm.



Slika 6. $X - R$ karte meritev premera $\phi 64,3$ mm.

Zgornji graf (slika 6) prikazuje X karta (Vrednost), ki predstavi potek dimenzijske meritve. Zgornje in spodnje kontrolne meje so označene na grafu. Če so izmerjene vrednosti nad ali pod kontrolno mejno, je meritev označena z rdečo barvo. Iz podatkov na X karti lahko ugotovimo, ali izdelek v tolerančnih mejah ali napovemo, kdaj bo narejen izdelek izven tolerančnih mej.

Spodnji graf (slika 6) prikazuje R karto (Razpon). R karta pove, ali se je variacija lastnosti izdelka obdržala znotraj sprejemljivih meja.

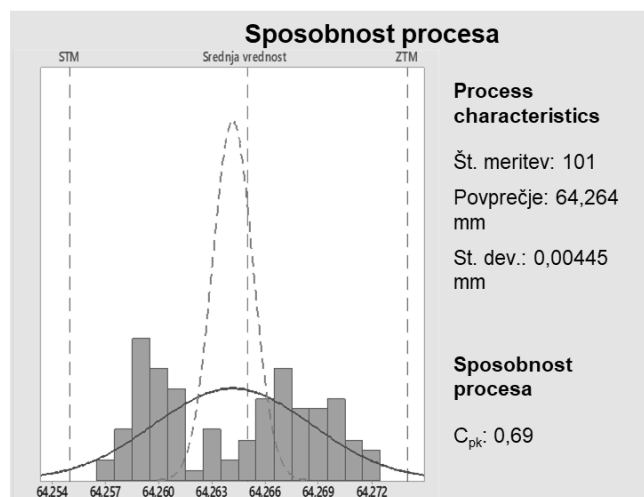
Proces je bil do 40. kosa dokaj stabilen. Izdelki se niso nahajali znotraj kontrolnih meja, vendar pa so bili znotraj tolerančnih. Če proces kaže stabilnost in ni znotraj kontrolnih meja, pomeni, da je že ob samem zagonu bila prisotna napaka. Možne napake so:

- Obdelovalni stroj ni bil ogret na delovno temperaturo oz.
- začetnih obdelovancev po zagonu se ni preverilo, zato ni bila izvedena korekcija dolžine orodij.

Iz X karte (slika 6 zgoraj) je vidno, da bi že majhna korekcija orodja, ki se uporablja pri struženju premera $\phi 64,3$ (par mikrometrov) dosegla, da bi bile meritve tudi znotraj kontrolnih meja. Po 40. kosu pa je vidno, da je prišlo do drsenja meritev k zgornji kontrolni meji in čez.

Iz R karte (slika 6 spodaj) je vidno, da meritve niso bistveno nihale.

Histogram analize sposobnosti procesa (slika 7) prikazuje normalno porazdelitev vrednosti. Velika razpršenost meritev pri povprečni vrednosti, je očitna.



Slika 7. Analiza sposobnosti procesa za premer $\phi 64,3$ mm.

Povprečje meritev se ne razlikuje bistveno od zelene srednje vrednosti, a je njihova porazdelitev okrog povprečne vrednosti slaba, kar prikazuje standardna deviacija, ki znaša $4\mu\text{m}$.

Indeks dejanske sposobnosti procesa C_{pk} je 0,69, kar za nas ni sprejemljivo. (mora biti vsaj 1,3). Isti postopek je bil uporabljen za izračun C_{pk} vseh ostalih premerov. Iz rezultatov, prikazanih v tabeli 2 je razvidno, da je obstoječe stanje nesprejemljivo.

Tabla 2. Rezultati SPC analize vseh premerov.

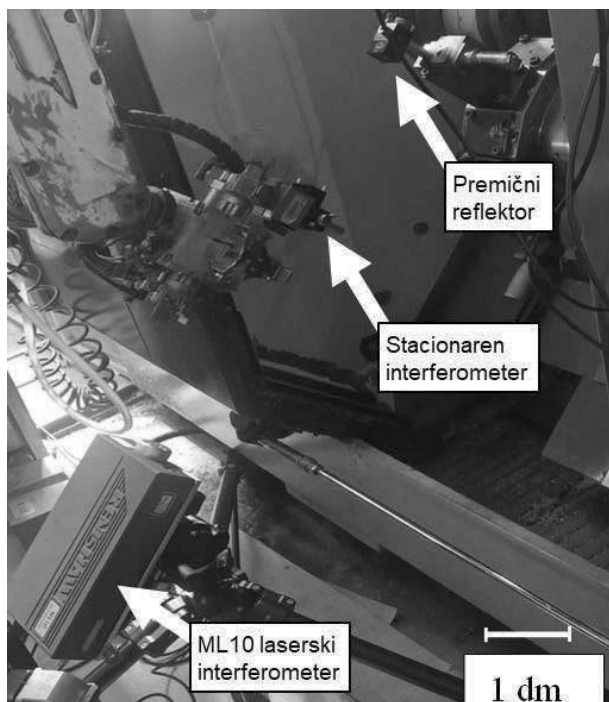
Premer [mm]	Povprečje [mm]	σ [mm]	C_{pk}
$\phi 64,3$	64.264	0.0044	0.69
$\phi 65$	65.018	0.0046	1.33
$\phi 72$	71.95	0.0040	0.73
$\phi 88e6$	87.914	0.0043	0.64
$\phi 88h6$	87.986	0.0049	0.55

Koeficienti sposobnosti procesa C_{pk} , so v vseh primerih manjši do 0,73 (razen pri premeru $\phi 65$ mm ($C_{pk} = 1.33$), ki pa za opazovanje sposobnosti procesa zaradi širine tolerančnega polja ni relevantno. To pomeni, da bi proizvedli več kot 35.000 slabih kosov v milijonski seriji. Iz tega

sledi, da je potrebno obdelovalni proces izboljšati.

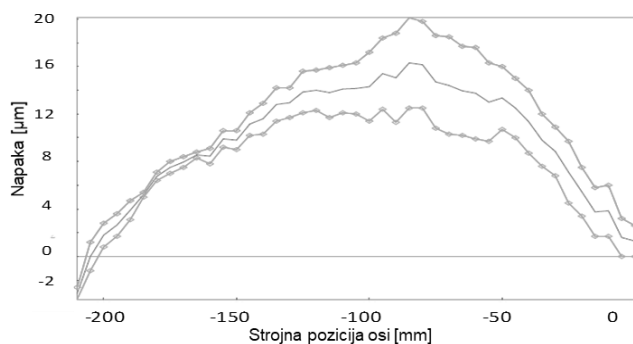
3.3. Merjenje pozicijske točnosti in kalibracija obdelovalnega stroja

Če želite povečati točnost obdelanih izdelkov, je potrebno analizirati pozicijska točnost in ponovljivost uporabljenega CNC stroja. Meritev linearne X osi je bila izvedena z laserskim interferometrom Renishaw ML10 Gold (Slika 8).



Slika 8: Meritev pozicijske točnosti.

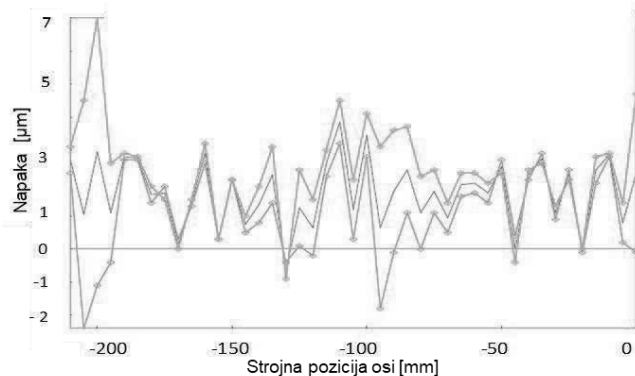
Rezultati trenutnega stanja pozicijska točnosti stroja so predstavljeni na sliki 9.



Slika 9. Trenutno stanje pozicijske točnosti in ponovljivost X osi.

Iz rezultatov je razvidno odstopanje od idealne lege v velikosti cca 20 μm v območju od -80 mm

do -180 mm (X strojne pozicija), kar sovpada z največjim pogreškom obdelanih izdelkov. Na osnovi rezultatov meritev so bile izračunane kompenzacije, ki so bile vpisane v krmilnik stroja. Po kalibraciji X osi se je pozicijska točnost in ponovljivost znatno poveča (slika 10).



Slika 10. Pozicijske točnosti in ponovljivost X osi po izvedeni kalibraciji.

Iz predstavljenih rezultatov na sliki 9 in 10 je razvidno, da se je točnost stroja v X osi izboljšala iz začetnih 25 μm na 9 μm . Ponovljivost znaša približno 3 μm .

3.4. Analiza sposobnosti procesa obdelave po kalibraciji stroja

Po preverjanju točnosti stroja in kasnejšemu umerjanju smo ponovno izvedli SPC analizo (tabela 3).

Tabla 3. Rezultati SPC analize vseh premerov.

Premer [mm]	Povp.[mm]	σ [mm]	C_{pk}
$\phi 64.3$	64.260	0.0024	0.74
$\phi 65$	65.012	0.0024	1.63
$\phi 72$	71.952	0.0014	2.18
$\phi 88e6$	87.919	0.0038	0.81
$\phi 88h6$	87.982	0.0037	0.34

Iz rezultatov je razvidno, da se je stabilnost procesa po kalibraciji stroja izboljšala, zmanjšal se je tudi standardni odklon (tabela 2 in 3). V procesu se še vedno pojavlja problem ovalnosti izdelka, zato so bili procesni parametri obdelave analizirani z metodo načrtovanja eksperimentov (DOE).

3.5 Optimizacija obdelovalnih parametrov

Glede na vpliv procesnih parametrov je bila optimizacija izvedena za doseg minimalne ovalnosti izdelkov. Analiziran je bil vpliv naslednjih parametrov:

- podajanje [f_n],
- globina reza [a_p],
- vpenjalna sila [F_{vp}].

Na podlagi priporočil proizvajalca orodij in preliminarnih testov je bilo določeno tehnološko okno ter minimalne in maksimalne vrednosti vhodnih parametrov (Table 3).

Table 3. Vrednosti vhodnih parametrov

Nivo	f_n [mm/vrt]	a_p [mm]	F_{vp} [kN]
-1	0,05	0,06	3
0	0,12	0,371	7,5
1	0,19	0,681	12

Pri načrtovanju eksperimentov je bil uporabljen središčni sestavljeni načrt (ang. central composite design). Na podlagi rezultatov, pridobljenih v eksperimentu je bil izračunan regresijski model (ANOVA). Na podlagi izračunanega modela je bilo ugotovljeno, da je glavni vplivni parameter, ki vpliva na ovalnost izdelka vpenjanja sila F_{vp} .

V koraku optimizacije so bili izbrani optimalni vhodni parametri za doseg minimalne ovalnosti izdelka. Izbrani optimalni parametri so:

- $F_{vp} = 3$ kN,
- $a_p = 0,06$ mm,
- $f_n = 0,12$ mm/vrt.

Predvidena ovalnost izdelka je 6,6 μ m.

Za izvedbo potrditvenega testa je bila izmerjena ovalnost desetih izdelkov (tabela 5).

Table 4. Rezultati potrditvenega testa.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Povp.
Ovalnost [μ m]	6	5	7	6	6	5	8	6	7	8	6.4

Potrditveni test je pokazal, da je regresijski model primeren, saj so izmerjene vrednosti v intervalu zaupanja [6 - 6.7 μ m].

4. SKLEP

V prispevku je predstavljena industrijska študija primera izboljšanja kakovosti

proizvodnega procesa. Problem dimenzijskega odstopanja izdelka je analizirana. Z uporabo različnih orodij za upravljanje kakovosti je bilo preverjeno trenutno stanje procesa. Z umerjanjem CNC stroja je bila doseženo izboljšanje sposobnosti procesa struženja. Z uporabo DOE metod je bil določen vpliv procesnih parametrov na ovalnost izdelkov. Ugotovljeno je bilo, da ima največji vpliv vpenjalna sila F_{vp} , zato je predlagan razvoj novega vpenjalnega sistema.

Z izboljšanjem sposobnosti procesa struženja so se zmanjšali tudi stroški kontrole izdelkov, saj po narejenih izboljšavah ni več potrebne 100% kontrole izdelkov.

Viri:

- [1] Pop, Liviu Dorin, Nagy Elod. 2015. Improving Product Quality by Implementing ISO / TS 16949. Procedia Technology. 19: 1004-1011.
- [2] Juran, Joseph M., A. Blanton Godfrey. Juran's Quality Handbook (5th Edition). New York, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 1998.
- [3] Khan, P. M., Sufyan Beg M.M., Measuring Cost of Quality Measuring Cost of Quality Measuring Cost of Quality (CoQ) on SDLC Projects is Indispensable for Effective Software Quality Assurance. International Journal of Soft Computing And Software Engineering, Vol.2, No.9, p. 1-15, 2012.
- [4] Eniko, P., Soković, M., Kramar, D.. Using quality tools for process development and improvement : case study on cylinder manufacturing. Advanced quality, ISSN 2217-8155., 2016, vol. 44, 1, p. 27-32.
- [5] Satanova, A., Sedliacikova, M., Model for Controlling the Total Costs of Quality. Procedia Economics and Finance, 26, p. 2-4, 2015
- [6] Schiffauerova, A. and V. Thomson, A Review of Research on Cost of Quality Models and Best Practices. International Journal of Quality & Reliability Management, 2006. 23(4).
- [6] DaimlerChrysler, Ford Motor Company, and General Motors Corporation. Measurement Systems Analysis: Reference Manual, 2010.
- [7] Mlinar, A., Optimization of the process parameters for stabilization and improvement of the turning capability, diploma work, 2017.
- [8] Kopač, J., Pušavec, F., Kramar, D.. How to improve the positional accuracy of hsc machine tools. V: 7. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 20-24 de maio de 2013, Penedo, Itatiaia-RJ, Brasil : COBEF, (Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, ISSN 2236-0395), 2013, p. 1-10.

INTEGRIRANE REŠITVE ZA KONTROLO V PROIZVODNIH PROCESIH V SKLADU S STRATEGIJO INDUSTRIJE 4.0

Simon SMOLNIKAR

RLS, d. o. o.

IZVLEČEK

Optimizacija proizvodnih procesov s ciljem povečanja konkurenčnosti in pridobivanja novih kakovostnejših kupcev vodi k vlaganju v razvoj in tehnološko nadgradnjo procesov ter tehnologij. Partnerske povezave med proizvodnimi in tehnološkimi podjetji prinašajo izjemne razvojne rezultate. Nove tehnologije odpirajo povsem nova spoznanja in ideje, kako dodatno nadgraditi procese in slediti uresničevanju scenarija industrije 4.0.

1 UVOD

V industrijsko razvitih državah je vse več poudarka na optimizaciji proizvodnih procesov z enim samim ciljem: doseganje optimalne, kontrolirane in finančno konkurenčne proizvodnje. Dolgoletno sodelovanje s partnerji iz različnih proizvodnih podjetij in sektorjev je tehnološkim podjetjem omogočilo prenesti te zahteve, želje in usmeritve v razvoj tehnologij in platform, ki sodobnim proizvodnim podjetjem omogočajo doseganje zastavljenega cilja, tj. proizvodne odličnosti. V skladu s tem je bila oblikovana piramida proizvodnih procesov, kjer se na vsaki ravni s tehnologijami dopolnjujejo proizvodni procesi. To podjetjem omogoča, da svojo proizvodno ustreznost in odličnost nadzirajo od priprave proizvodnega procesa do končne kontrole, ko proizvodi zapustijo proizvodnjo.

Vsi trendi kažejo, da je treba vse razpoložljive napredne tehnologije povezati v celovit sistem in s tem podjetjem omogočiti, da z njimi enostavno nadzirajo in upravljajo svoje procese.

Prav to je eden izmed ključnih stebrov industrije 4.0, ki se v sklopu podjetij imenuje tudi strategija pametne tovarne.

V pričujočem prispevku so izpostavljene tehnologije in njihova umestitev v proizvodne procese za doseganje celovite avtomatizacije,

optimizacije in zagotavljanja kakovosti proizvodnih procesov v industriji.

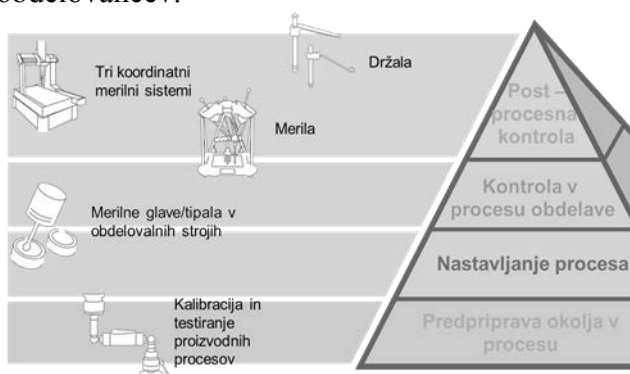
2 RAZVOJ CELOVITEGA SCENARIJA KONTROLE PROCESOV

2.1 Namen razvoja

Z namenom celovitega nadzora ključnih procesov v proizvodnji že leta stremimo k iskanju tehnoloških rešitev, ki bodo podjetjem olajšale izpeljavo kontrole in jim omogočale spremljanje procesov v realnem času. Vsa naprednejša proizvodna podjetja se zavedajo, da morajo velik del svojih naporov usmeriti v zagotavljanje uresničevanja in doseganja kvalitativnih in kvantitativnih kazalnikov v podjetju. Le tako bodo lahko uspešno konkurirala na svetovnem trgu in si ustvarila dodano vrednost, ki jim bo omogočila razvoj in napredek. V zadnjih 20 letih je podjetje Renishaw natančno spremljalo razvoj in potrebe proizvodnih podjetij, tako da mu je uspelo svoj razvoj usmeriti v tehnologije, ki so dosegle svoj namen optimizacije in avtomatizacije obvladovanja kakovosti skozi celoten proizvodno-obdelovalni proces.

Za prikaz umestitve tehnologij v različnih fazah proizvodnega procesa je bila izdelana piramida procesov (*Slika 1*), ki jasno obravnava tehnologije, uporabljene na posameznih ravneh proizvodnega procesa.

Vse aktivnosti se začnejo pri predpripravi okolja v procesu, s čimer pred samo proizvodnjo preverimo ustreznost obdelovalnih strojev, da bomo z njimi lahko dosegli zahtevane tolerance na proizvodih. Na tej ravni si zato lahko pomagamo s tehnologijami za diagnostiko strojev (ballbar) in za izvedbo kalibracije strojev (laserski interferometer). Ko zagotovimo ustreznost proizvodne opreme, preidemo v območje nastavljanja procesa in kontrole znotraj samega procesa obdelave. Pri tem so na voljo tehnologije za sprotno kontrolo kakovosti izdelave proizvodov v obdelovalnem procesu. Glede na specifiko proizvodnje se lahko izvaja kontrola znotraj samega obdelovalnega stroja (MTP) ali izven obdelovalnega stroja (Equator), ko se proces obdelave zaključi. Na najvišji ravni kontrole so merilnice, kjer se s trikoordinatnimi merilnimi stroji izvaja končna kontrola obdelovancev.



Slika 1: Piramida procesov

2.2 Cilji razvoja

Razvoj novih tehnologij in procesov je bil zasnovan na pričakovanjih in zahtevah uporabnikov v industriji.

Glavni cilji, ki so se izoblikovali skozi sodelovanje in spremljanje proizvodnih podjetij, so:

- popolna kontrola nad kakovostjo proizvodnega procesa,
- ničelna toleranca do izmeta,
- hiter pretok informacij za ustrezno izvedbo ukrepov,
- avtomatizacija in povezljivost sistemov.

2.2.1 Popolna kontrola nad kakovostjo proizvodnega procesa

Vse se začne pri obvladovanju proizvodnih orodij. Če orodja za proizvodnjo obvladujemo, potem se lahko usmerimo k cilju zagotavljanja ustreznih količin in kakovosti proizvodov, kot je bilo dogovorjeno s kupcem. Vendar se je treba zavedati, da se v procesu proizvodnje pojavi veliko dejavnikov, ki jih je treba nadzorovati, sicer so možna odstopanja od zahtevanih kakovostnih ciljev, ki so si jih podjetja postavila pred začetkom proizvodnje. S tehnologijami Renishaw lahko spremljamo kakovost izdelave proizvoda skozi celoten proces in s tem izključimo vplive, ki pomenijo oddaljitev od zastavljenih kakovostnih ciljev.

2.2.2 Ničelna toleranca do izmeta

Ob pravilnem načrtovanju in vpeljavi tehnologij Renishaw v proizvodne procese se podjetja lahko izognejo dodatnim stroškom, ki se pojavijo zaradi izmeta. Z ustreznim pristopom so lahko vsi procesi znotraj proizvodnje pod ustrezno kontrolo, kar omogoča spremljanje gibanja odstopanj in ustrezno korekcijo v realnem času. S tem se podjetja izognejo nepotrebnim zastojem in dodatnim stroškom zaradi potrebne izvedbe korektivnih ukrepov in posledično zastoja proizvodnje.

2.2.3 Hiter pretok informacij za ustrezno izvedbo ukrepov

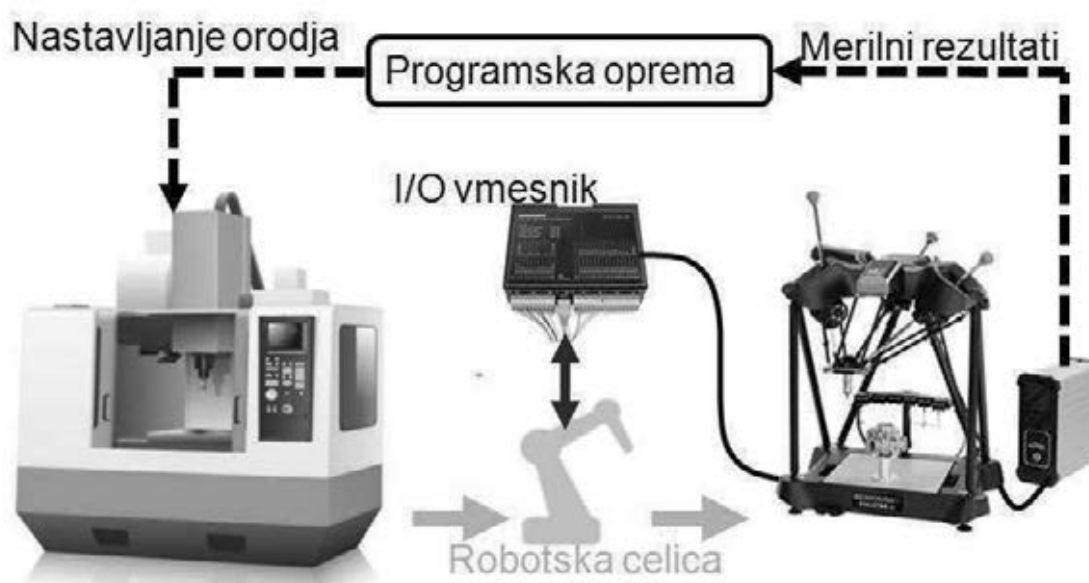
V okviru strategije pametne tovarne je eno izmed ključnih področij obvladovanje podatkov in njihova ustrezna uporaba. S tem ciljem tudi oprema Renishaw ustrezno komunicira s stroji in omogoča prenos vseh potrebnih podatkov v mrežo ter s tem možnost, da se ustrezno obdelajo in omogočijo uporabnikom, da se odzovejo in sprejmejo odločitve, potrebne za zagotavljanje ustreznosti proizvodnih procesov. Prednost rešitev je, da ob ustrezni namestitvi na stroje oziroma poleg njih dosežemo komunikacijo že med merilno opremo in strojem ter s tem zagotovimo korigiranje parametrov na stroju v realnem času. Vse to podjetjem omogoča, da ne izgubljajo dragocenega časa in virov, ki so potrebni za izvajanje korektivnih ukrepov.

2.2.4 Avtomatizacija in povezljivost sistemov

Vsa sodobna podjetja se zadnja leta aktivno ukvarjajo z optimizacijo proizvodnih procesov. To dosežemo tudi z avtomatizacijo procesov in njihovo povezljivostjo.

Izjemnega pomena je, da je avtomatiziran proces podprt s kontrolo kakovosti proizvodov, ki se proizvajajo na obdelovalnih centrih ali namenskih linijah.

surovimi obdelovanci. Dvojni portalni manipulatorji stružnice zalagajo vretena in odlagajo končane izdelke na drčo. Sledi tekoči trak, od koder jih pobira robot. Robot nato postavi izdelek na merilno mesto Equatorja. Če je izdelek sprejemljiv, ga prestavi do gravirnega stroja, nato pa končane izdelke zlaga v škatle oz. na palete.

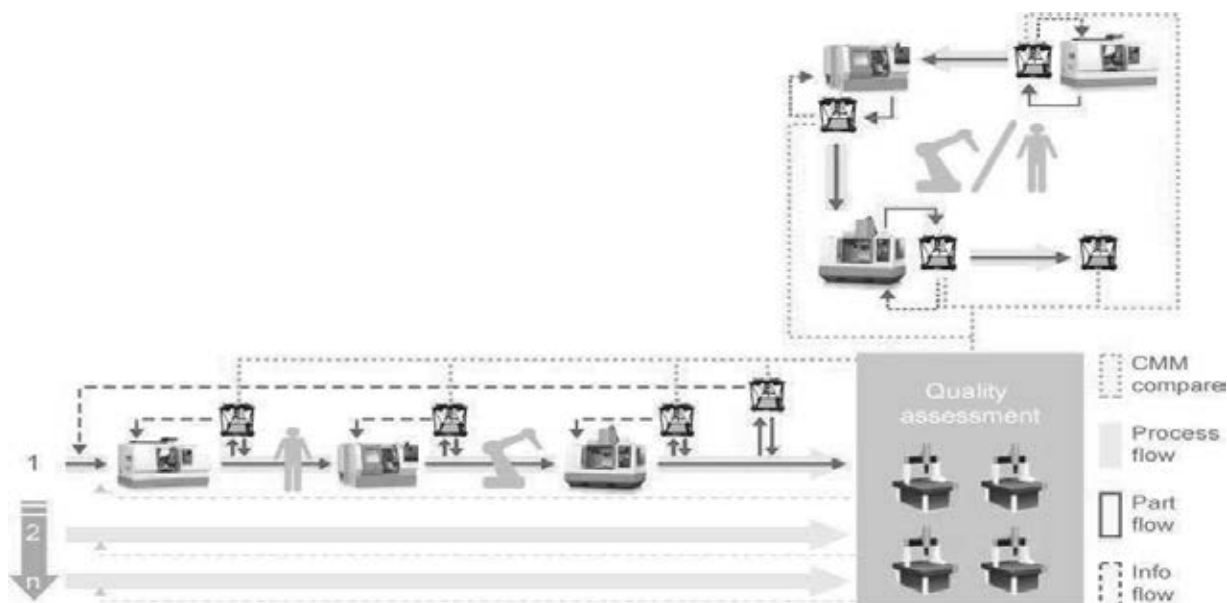


Slika 2: Prikaz zaprtozančne, popolnoma avtomatizirane proizvodne celice

S tem namenom se je Renishaw povezal z vsemi večjimi proizvajalci krmilnikov in razvil programske vmesnike, ki merilnim sistemom omogočajo neposredno povezavo s stroji in s tem popolnoma avtomatizirano komunikacijo med sistemi. Na *Sliki 2* je primer avtonomne proizvodne celice, kjer je celoten proces v podjetju avtomatiziran, kar omogoča nemoteno delovanje avtomatske obdelovalne celice, brez prisotnosti človeškega operaterja, 24 ur na dan. V celico je integriran robot z merilnim sistemom Equator, ki je opremljen s programsko opremo Renishaw EZ-IO za enostavno komunikacijo. Kontrola izdelkov je 100-odstotna, kompenzacija orodij stružnice pa samodejna. Dvojni revolver stružnice v praksi napolnijo s približno 300

3 SLEDENJE STRATEGIJI PAMETNE TOVARNE

Cilj koncepta avtomatizacije v celotni proizvodnji temelji na povezovanju različnih proizvodnih celic v internem omrežju Ethernet na eno lokacijo, kjer je možen celovit nadzor in planiranje aktivnosti. Glede na zbrane informacije, ki se v realnem času stekajo v sistem, se potem lahko izvaja statistična obdelava podatkov. To podjetjem omogoča ustrezno planiranje vseh aktivnosti v zvezi z zagotavljanjem kakovosti procesov in posledično proizvodov dolgoročno. Na *Sliki 3* je prikaz celovitega povezovanja proizvodnih celic, ki so lokalno avtomatizirane in po lokalni mreži



Slika 3: Prikaz integracije proizvodnih celic v celovit sistem nadzora in upravljanja v podjetju

povezane v celovit sistem. Vsa komunikacija med posameznimi proizvodnimi celicami in med stroji poteka v realnem času. Vodjema proizvodnje in tehnologije je tako omogočeno, da imata pod nadzorom proizvodne procese in hkrati ustrezno sledita dinamiki doseganja proizvodnih planov, tako kvalitativnih kot kvantitativnih.

Viri:

- [1] Spletna stran: <http://www.renishaw.com>
- [2] Interni dokumenti podjetja Renishaw
- [3] Bledowski, K.: The Internet of Things: Industrie 4.0 vs. the Industrial Internet, 2015.
- [4] Spletna stran: <http://www.plattform-i40.de>

4 SKLEP

Povezovanje tehnoloških in proizvodnih podjetij v zadnjih 10 letih se je izkazalo kot izjemno dobro premišljena strategija, saj je veliko pripomogla k razvoju tehnologij, ki so podjetjem danes v pomoč pri uresničevanju strategije pametnih tovarn. Strategijo industrija 4.0 je utemeljilo nemško gospodarstvo, zelo jo je podprla tudi nemška politika. Glede na to, da je slovensko gospodarstvo zelo vpeto v dobavne verige nemškega, daje to še dodatno priložnost, da od nemških podjetij prevzame dobre prakse in jih implementira v slovenska podjetja. Postavitev pravih ciljev v smeri uresničevanja te strategije bo dolgoročno naredilo slovenska podjetja še konkurenčnejša na globalnem trgu.

INOVATIVNE TEHNOLOGIJE BRUŠENJA V PROIZVODNJI MOTORNH GREDI V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI

Radovan DRAŽUMERIČ¹, Jeffrey BADGER², Roope ROININEN³,
Franci PUŠAVEC¹, Peter KRAJNIK^{1,4}

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija

²The International Grinding Institute, San Antonio, TX, USA

³Scania CV AB, Södertälje, Sweden

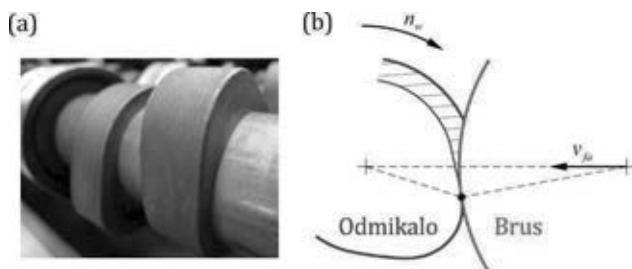
⁴Chalmers University of Technology, Department of Industrial and Materials Science, Gothenburg, Sweden

IZVLEČEK

V prispevku je predstavljen razvoj inovativnih tehnologij brušenja v proizvodnji motornih delov v avtomobilski industriji. Skupna značilnost novih tehnologij je, da temeljijo na robustnem temperaturnem modelu, ki vključuje popis geometrije in kinematike brušenja. Na ta način je mogoča optimizacija procesa z namenom skrajšanja časa obdelave ob hkratnem nadzoru toplotnih poškodb obdelovanca. Prednosti novih tehnologij so predstavljene z analizo strategij procesa brušenja za dva primera iz proizvodnje motorjev v podjetju Scania: (1) brušenje odmikal pri odmičnih gredih in (2) brušenje čepov ojničnih ležajev pri ročičnih gredih. Obe tehnologiji sta patentirani in vključeni v redno proizvodnjo.

1 UVOD

Prvi primer razvoja nove tehnologije se nanaša na brušenje odmikal pri sestavljenih odmičnih gredih. Sestavljena odmična gred (Slika 1a) je relativno nova konstrukcijska rešitev v dizelskih motorjih. V primerjavi s kovano odmično gredjo iz enega kosa jo odlikuje nižja teža, kar pomeni manjšo porabo goriva in cenejšo izdelavo [1].

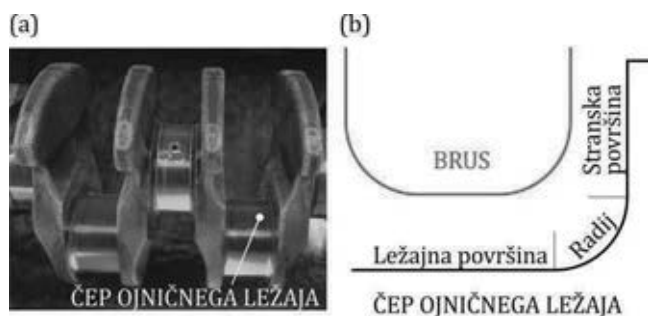


Slika 1: Sestavljena odmična gred (a) in prikaz brušenja odmikala (b)

V avtomobilski industriji se za brušenje odmikal večinoma uporablja CNC brusilne stroje, kjer se brus pomika horizontalno s podajalno hitrostjo v_{fa} , ki je usklajena z vrtilno frekvenco obdelovanca n_w , da je zagotovljena ustrezna oblika odmikala (Slika 1b). V primeru konstantne vrtilne hitrosti obdelovanca se

znotraj posameznega vrtljaja pojavijo drastične spremembe v stopnji odvzema materiala [2], kar ima lahko za posledico lokalne toplotne poškodbe. Zato se vrtilna hitrost obdelovanca tipično spreminja v skladu z določenim optimizacijskim algoritmom, ki ga večinoma priskrbi proizvajalec stroja, in naj bi npr. dosegal konstantno specifično stopnjo odvzema materiala Q'_w [3], včasih tudi konstantno moč brušenja P [4]. V praksi doseganje konstantnih veličin zaradi kinematičnih omejitev stroja ni nikoli v celoti izpolnjeno. Nobena uveljavljena metoda pa ne upošteva temperature brušenja. Tako edino naša novo razvita metoda, ki vključuje maksimalno temperaturo obdelovanca θ_m , zagotavlja brušenje pod mejo toplotnih poškodb in hkrati omogoča doseganje najkrajših časov obdelave.

Drugi primer uporabe napredne tehnologije je brušenje čepa ojničnega ležaja pri ročični gredi (Slika 2a). Brušenje čepa je zelo dovzetno za toplotne poškodbe, posebej na stranski površini [5] (Slika 2b). Običajno je brušenje čepa v proizvodnji kombinacija: (1) radialnega brušenja pri grobi obdelavi, kjer poteka podajanje brusa samo v radialni smeri, in (2) »vektorskega« brušenja pod kotom pri končni obdelavi, kjer podajanje poteka v radialni in aksialni smeri hkrati.



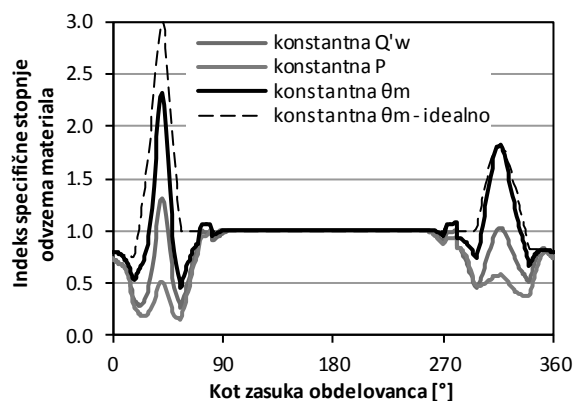
Slika 2: Ročična gred (a) in prikaz brušenja čepa ojničnega ležaja (b)

Parametri brušenja so pogosto določeni na osnovi poizkušanja. Zato je bila razvita nova metoda, ki temelji na razumevanju geometrije in kinematike procesa, ter pripadajočega toplotnega stanja. Pri tej metodi sta radialno in aksialno podajanje določena tako, da maksimalna temperatura obdelovanca nikjer ne preseže kritične vrednosti, s čimer je preprečen pojav toplotnih poškodb.

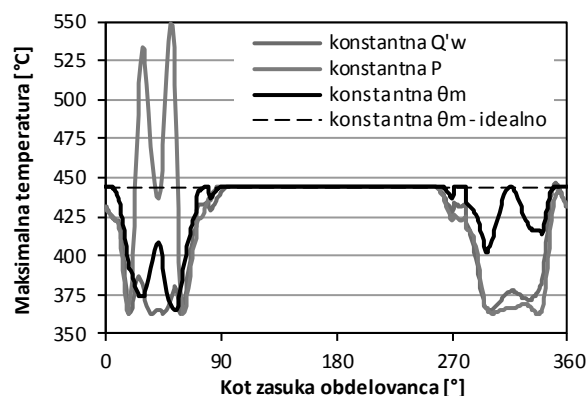
2 METODA BRUŠENJA ODMIČNIH GREDI NA OSNOVI TEMPERATURE

Pri tej novo razviti metodi je vrtilna hitrost obdelovanca s pripadajočo optimalno globino brušenja določena tako, da je v idealnem primeru maksimalna temperatura obdelovanca konstantna, pri čemer je dosežen najkrajši možni čas obdelave [6]. Za uporabo na stroju za brušenje je idealni potek vrtilne hitrosti obdelovanca korigiran v skladu s kinematičnimi omejitvami stroja. Jedro metode predstavlja toplotni model [7,8], ki vključuje eksperimentalno določeno karakteristiko specifične energije v obdelovanec.

Rezultati nove strategije brušenja pri konstantni temperaturi so podani kot primerjava z že obstoječima strategijama konstantne specifične stopnje odvzema materiala in konstantne moči brušenja – razvitima v podjetjih JUNKER Group in Fives Landis. Nova metoda dosega najvišje vrednosti specifične stopnje odvzema materiala (Slika 3) ob maksimalnih temperaturah, ki ne presežejo mejne vrednosti (Slika 4).

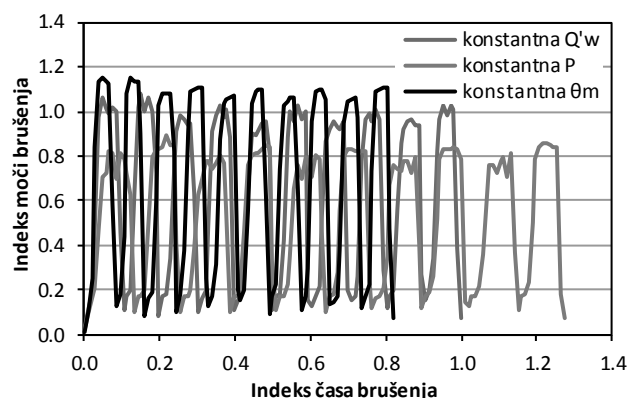


Slika 3: Primerjava specifične stopnje odvzema materiala za različne strategije brušenja



Slika 4: Primerjava maksimalne temperature za različne strategije brušenja

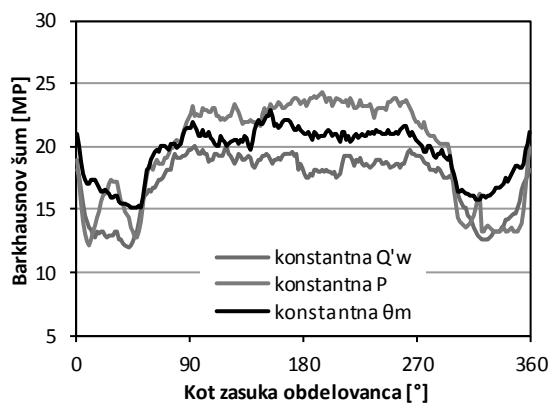
Ocena učinkovitosti nove metode je bila opravljena z merjenjem moči pri brušenju sestavljene odmične gredi z desetimi odmikali (Slika 5). Uporabljen je bil keramično vezan CBN brus na visoko zmogljivem CNC brusilnem stroju v podjetju Scania.



Slika 5: Moč pri različnih strategijah brušenja

Ekspirimenti so potrdili najkrajši čas brušenja pri novi strategiji s konstantno temperaturo. Dosežen je bil 18% prihranek časa obdelave glede na strategijo s konstantno specifično stopnjo odzema materiala ter 36% glede na strategijo s konstantno močjo brušenja.

Za oceno kakovosti celovitosti brušene površine odmikal pri novi metodi so bile opravljene meritve Barkhausovega šuma, ki je občutljiv na pojav zaostalih napetosti ter strukturnih sprememb v materialu. Izmerjene vrednosti (Slika 6) ne kažejo na možnost toplotnih poškodb pri nobeni od uporabljenih treh strategij. Poleg tega, trend izmerjenega Barkhausovega šuma sovпада s trendom predvidenih maksimalnih temperatur (Slika 4).

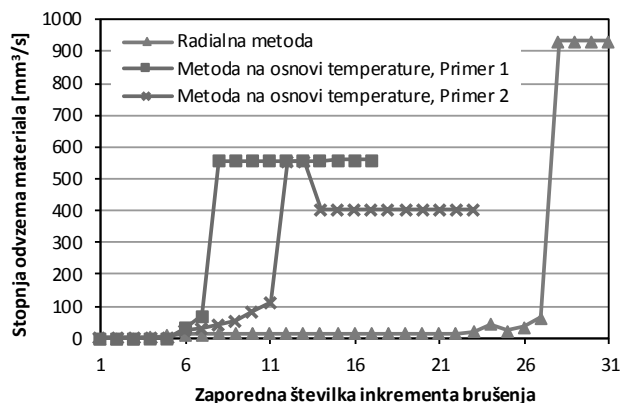


Slika 6: Primeri izmerjenega Barkhausovega šuma za različne strategije brušenja

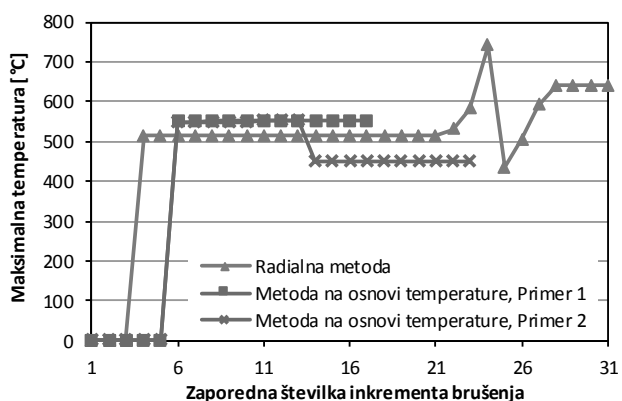
3 METODA BRUŠENJA ROČIČNIH GREDI NA OSNOVI TEMPERATURE

Pri novi metodi brušenja ročičnih gredi ima prav tako osrednjo vlogo ocena maksimalne temperature na osnovi toplotnega modela in eksperimentalno določene karakteristike specifične energije v obdelovanec. Glavno razliko v primerjavi z brušenjem odmikal predstavlja geometrija kontakta, ki je v primeru brušenja čepa ojničnega ležaja zelo raznolika – dolžina kontakta na stranski površini je bistveno večja od dolžine na ležajni površini. Poleg tega je pri brušenju ročičnih gredi vrtilna frekvenca obdelovanca konstantna in rezultat metode predstavljajo vrednosti podajanj v radialni ter aksialni smeri v posameznem vrtljaju obdelovanca – t.j.

inkrementu brušenja. V vsakem inkrementu sta velikosti podajanj določeni tako, da maksimalna temperatura v območju kontakta nikjer ne preseže mejne vrednosti.



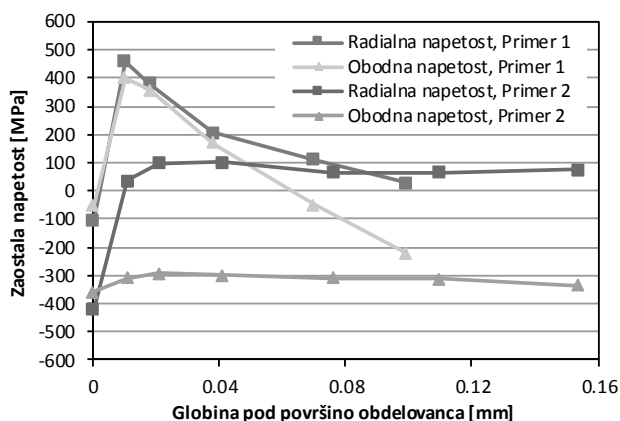
Slika 7: Analiza različnih strategij brušenja - prikaz stopnje odzema materiala



Slika 8: Analiza različnih strategij brušenja - prikaz maksimalne temperature

Rezultati nove strategije brušenja čepov ojničnih ležajev na osnovi temperature so podani za dva primera. V primeru 1 je maksimalna temperatura ves čas enaka mejni vrednosti, v primeru 2 pa je proti koncu brušenja predpisana nižja vrednost. Primerjava z uveljavljeno radialno metodo pokaže v primerih nove metode bistveno bolj enakomerno porazdelitev stopnje odzema materiala po posameznih inkrementih (Slika 7) in s tem bistveno manjše potrebno število inkrementov - krajše čase obdelave. Poleg tega je v primerih nove metode tudi maksimalna temperatura ves čas znotraj predpisanih vrednosti (Slika 8), kar zagotavlja želeno kakovost obdelave.

Za eksperimentalno potrditev rezultatov je bilo za oba primera nove metode brušenja čepov ojničnih ležajev opravljeno brušenje s keramično vezanim CBN brusom na CNC stroju za orbitalno brušenje ročičnih gredi. Za oceno kakovosti površine so bile opravljene meritve Barkhausovega šuma ter profilov zaostalih napetosti (Slika 9) na stranskih površinah čepov, ki so kritične za toplotne poškodbe. Izmerjene vrednosti (Tabela 1) potrjujejo doseganje mejnega stanja glede toplotnih poškodb v primeru 1 in bistveno nižjih vrednosti v primeru 2. V primeru 2 torej dosežemo nižje vrednosti Barkhausovega šuma kot pri mejnem stanju (~25%) ter hkrati skrajšamo čas obdelave v primerjavi z radialno metodo (~25%).



Slika 9: Izmerjeni profili zaostalih napetosti

Tabela 1: Rezultati eksperimentalne potrditve nove metode

	Primer 1	Primer 2
Barkhausov šum [MP]	85	64
Maksimalna zaostala napetost [MPa]	461.4	102.8

4 SKLEP

Na osnovi primerjave novih metod brušenja s predhodno uveljavljenimi v proizvodnji motornih gredi v avtomobilski industriji je dosežen napredek tako pri časih brušenja kot tudi pri kakovosti obdelane površine v smislu zmanjšanja možnosti pojava toplotnih poškodb materiala. Obe metodi sta vključeni v redno proizvodnjo motornih gredi v Scania tovarnah motorjev na Švedskem in v Braziliji. Za obe metodi sta oddani mednarodni vloži za triadne patente. Do danes sta podeljena

švedski in japonski patent za novo metodo brušenja odmičnih gredi [9,10] ter evropski patent za novo metodo brušenja ročičnih gredi [11]. Patentne prijave v ZDA in na Kitajskem so v čakalni vrsti za podelitev patentov. Omenjeni rezultati raziskav so izjemnega pomena za Fakulteto za strojništvo v Ljubljani, kot razvijalca naprednih tehnologij za proizvajalce originalne avtomobilske opreme.

S to raziskavo smo nadalje posredno dokazali da proizvajalci strojev pogosto ne razumejo podrobnosti kompleksnih procesov brušenja, ker so ti velikokrat dobavljeni kot neoptimalni. To je priložnost za končne uporabnike tehnologij da optimizacijo procesov vzamejo v svoje roke. Za to so potrebne raziskave in sodelave v celotni tehnološki vrednostni verigi – od univerz in inštitutov, proizvajalcev strojev, proizvajalcev brusov do končnih uporabnikov v industriji.

Viri:

- [1] Oliveira, J.F.G., Silva, E.J., Guo, C., Hashimoto, F.: Industrial challenges in grinding, CIRP Ann. 58/1 (2009), str. 663-680.
- [2] Gal-Tzur, Z., Shpitalni, M., Malkin, S.: Integrated CAD/CAM system for cams, CIRP Ann. 35/1 (1986), str. 99-102.
- [3] Mavro-Michaelis, D.A.: Workpiece grinding method which achieves a constant stock removal rate, U.S. Patent 7153194 B2, 2006.
- [4] Mavro-Michaelis, D.A.: Constant spindle power grinding method, U.S. Patent 6808438 B1, 2004.
- [5] Comley, P., Walton, I., Jin, T., Stephenson, D.J.: A high material removal rate grinding process for the production of automotive crankshafts, CIRP Ann. 55/1 (2006), str. 347-350.
- [6] Krajnik, P., Drazumeric, R., Badger, J., Hashimoto, F.: Cycle optimization in cam-lobe grinding for high productivity, CIRP Ann. 63/1 (2014), str. 333-336.
- [7] Jaeger, J.C.: Moving sources of heat and the temperature at sliding contacts, J. Proc. R. Soc. N. S. W. 76 (1942), str. 203-224.
- [8] Malkin, S., Guo, C.: Thermal analysis of grinding, CIRP Ann. 56/2 (2007), str. 760-782.
- [9] Krajnik, P., Drazumeric, R.: Method of grinding a workpiece and method for determining processing parameters, Swedish Patent SE538599 C2, 2016.
- [10] Krajnik, P., Drazumeric, R.: Method of grinding a workpiece and method for determining processing parameters, Japanese Patent JP6301012 B2, 2018.
- [11] Krajnik, P., Drazumeric, R., Roininen, R.: Method of grinding a workpiece having a cylindrical bearing surface and method for determining processing parameters, European Patent EP3115149 B1, 2017.

ZAGOTAVLJANJE GLADKEGA ROBU NA UTORIH ŠTANCANIH STATORSKIH PAKETOV

Špela BOLKA¹, Vitoslav BRATUŠ²

¹NELA razvojni center, d.o.o.

²Hidria Rotomatika, d.o.o.

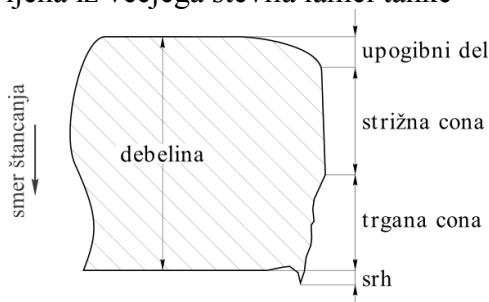
IZVLEČEK

Pri navijanju jeder elektromotorjev se pojavljajo težave s trganjem izolacije zaradi reznega robu štancanih lamel, iz katerih so jedra sestavljena. Trganje tipično povzroča igla, brez katere je lamele nemogoče izdelati. Pogosto se zato sestavljanje lamel v pakete izvede z laserskim varjenjem in obračanjem zadnje lamele. Žal takšen postopek zmanjša geometrijsko natančnost paketa, hkrati pa varjenje poslabša tudi njegove elektromagnetne lastnosti. Sestavljanje paketov neposredno v orodju s sponkami praviloma izboljša geometrijske in elektromagnetne lastnosti, vendar ne omogoča obračanja zadnje lamele. V Hidri Rotomatiki smo tako razvili proces naknadne obdelave paketov, kjer na želenih mestih na lameli odstranimo iglo. S tem zmanjšamo verjetnost za trganje izolacije, hkrati pa lahko tudi podaljšamo obdobje med brušenji štancnega orodja.

1 UVOD

Jedra elektromotorjev (statorski in rotorski paketi) so izdelana iz lamel elektro pločevine. Lamele so štancane, kar predstavlja cenovno ugoden in hiter postopek, a hkrati na lameli izoblikuje tipičen rezni rob (Slika 1) [1]. Igla (srh), ki ob pretrgu pločevine nastane na spodnjem delu reznega robu, je odvisna od več dejavnikov, predvsem od zračne reže v orodju, nabrušenosti orodja ter same pločevine in je pri štancanih izdelkih vedno prisotna [1], [2].

Igla na lamelah v paketu, še posebno pa na zadnji lameli, lahko povzroči trganje izolacije, ki jo pred navijanjem vstavijo v utore paketa. Praviloma je zato predpisana največja dovoljena velikost igle, idealno pa bi bilo, da igle na zadnji lameli sploh ne bi bilo. Postopki odpravljanja igle so do neke mere poznani [3], vendar so uporabni predvsem za kose iz debelejšje pločevine, za jedra, sestavljena iz večjega števila lamel tanke



Slika 1: Shema prečnega prereza reznega robu lamele

pločevine (za aplikacije električnih in hibridnih vozil tipično debeline 0.35mm), pa niso primerni.

Kadar se lamele v jedra spaja z varjenjem, postopek dovoljuje obračanje zadnje lamele. Ker pa varjenje lahko nezanemarljivo vpliva na elektromagnetne karakteristike končnega motorja, hkrati pa se, zaradi ločenega sestavljanja, zmanjša še geometrijska točnost paketov, varjenje v motorjih za hibridna in električna vozila ni najbolj pogosto. Bolj zaželeno je spajanje s sponkami (angl. *interlocking*), saj paketi, zaradi spajanja neposredno v štancnem orodju, dosegajo večje geometrijske točnosti, hkrati pa imajo sponke manjši vpliv na elektromagnetne karakteristike paketov [4], [5]. Zaradi spajanja v orodju obračanje zadnje lamele ni možno, zato je za odstranjevanje igle nujno poiskati drugačno rešitev.

Ena od možnosti je v nadaljevanju predstavljeni postopek preoblikovanja igle. Postopek je bil optimiran, da omogoča ponovljivo in konstantno preoblikovanje igle na želenem območju robu lamele.

2 EKSPERIMENT

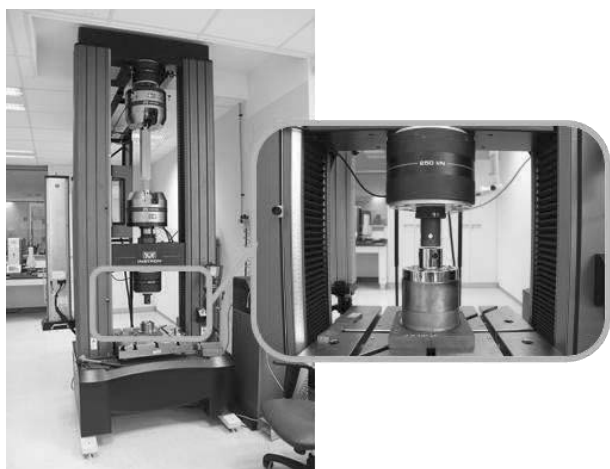
Postopek preoblikovanja igle je v štancanju poznan, čeprav redek. Tipično se preoblikovanje izvede neposredno v orodju, kot ena izmed faz progresivnega štancanja. Takšen postopek ne

dovoljuje večjega nadzora nad procesom preoblikovanja, zato se je za potrebe te raziskave preoblikovanje izvedlo ločeno – kot dodatna operacija na celotnem paketu.

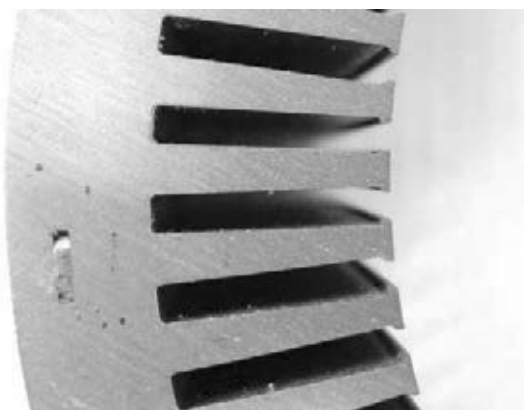
Vsi poskusi, opisani v tem prispevku, so bili izvedeni v laboratorijskem okolju, na trgalnem stroju Instron (Slika 2). Cilj raziskave je bil določiti parametre procesa preoblikovanja igle v utorih statorskega paketa, hkrati pa tudi ugotoviti morebitne vplive procesa na paket.

2.1 Lamelirana jedra

Izbrani so bili statorski paketi za aplikacijo v hibridnem/električnem vozilu. Zunanji premer paketa je približno 140mm, notranji pa 96mm. Paketi so visoki 40mm in jih sestavlja 116 lamel debeline 0.35mm. Paketi so speti z 8 sponkami (Slika 3 prikazuje eno izmed njih). Na paketu je 72 utorov za navitje. Slika 3 prikazuje del utorov ter zeleni rob brez igle in/ali ostrega robu.



Slika 2: Trgalni stroj Instron in vpetje priprave (detajl)



Slika 3: Utorji na lameli. Z zeleno barvo je označen zeleni rob brez igle.

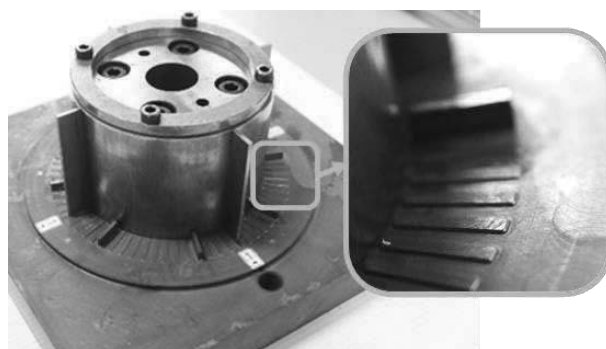
2.2 Preoblikovanje igle

Pri preoblikovanju igle se paket stisne z določeno silo ob pripravo za preoblikovanje (Slika 4) v trgalnem stroju; vpetje v trgalni stroj prikazuje Slika 3. Za stiskanje se priprava centrira v trgalni stroj, na pripravo se položi statorski paket. Na paket se centrira zgornji del priprave, ki omogoča enakomerno stiskanje po celotnem paketu. Paket se nato stisne s trgalnim strojem do zelene stiskalne sile.

Priprava ima rebra s točno določenim profilom (posnetje ali zaokrožitev; detajl Slika 4), kamor nasede rob zadnje lamele v paketu. Dodatno ima priprava vodilna rebra, po katerih se izvede tako pozicioniranje paketa na pripravo kot tudi vodenje zgornjega dela priprave med stiskanjem (detajl Slika 3).

Za potrebe analize in optimizacije procesa preoblikovanja igle je bilo v prvem koraku analiziran več različnih profilov preoblikovalnih reber – posnetja pod različnimi nakloni (45° in 60°) ter različne zaokrožitve (R0.35mm, R0.5mm). Pri vseh tipih posnetij je bilo preoblikovanje igle izvedeno pri različnih silah stiskanja – 50, 100, 150, 200 ter 250kN.

Analiza uspešnosti preoblikovanja igle pri različni kombinaciji profila rebra ter sile stiskanja je bila ocenjena s porušnimi (metalografski obrusi lamel) in neporušnimi preiskavami (laserski mikroskop VK-X100). Analize so bile izvedene na 5 paketih za posamezno kombinacijo parametrov, poleg tega pa je bilo, za določitev pozicije igle po štancanju, s pomočjo metalografskih brusov analiziranih 5 zaporednih lamel na 5 različnih utorih.



Slika 4: Priprava za preoblikovanje igle, v detajlu rebro za preoblikovanje

2.3 Vpliv preoblikovanja na statorske pakete

Po izbiri optimalnega profila reber za preoblikovanje in zadostne sile za zagotavljanje ponovljivega in enakomernega preoblikovanja na celotnem območju utorov je bila izvedena še analiza vpliva procesa na sam paket.

2.3.1 Vpliv na geometrijske karakteristike

Motorji za hibridna in električna vozila imajo izjemno stroge geometrijske zahteve. Preoblikovanje igle izven orodja je relativno nepoznan proces, zato je bilo preverjeno tudi spreminjanje geometrije paketa pred in po stiskanju. Meritve so bile izvedene na 3D merilnem stroju, izmerjena pa je bila višina, notranji in zunanji premer, centričnost ter pravokotnost zgornje in spodnje površine na srednjico. Meritve so bile izvedene v več točkah in nato povprečene. Pred in po preoblikovanju je bilo preverjenih 10 paketov, za potrditev stabilnosti procesa po preoblikovanju pa je bilo tekom analiz pomerjenih še približno 300 od okoli 1000 paketov s preoblikovano iglo.

2.3.2 Vpliv na elektromagnetne karakteristike

Izkušnje kažejo, da lahko prevelike sile stiskanja spremenijo elektromagnetne karakteristike jeder. Za potrditev, da jih proces preoblikovanja igle ne spremeni, je bila izvedena analiza elektromagnetnih lastnosti Brockhaus Ring Core. Izvedenih je bilo 5 meritev pred in po preoblikovanju igle pri 50, 300 in 400Hz ter 1.4T.

2.3.3 Vpliv na pridržno silo sponk

Prevelika sila stiskanja poleg elektromagnetnih lastnosti lahko poslabša tudi stiskalno silo sponk, saj se te preveč deformirajo. Za potrditev ustreznosti procesa preoblikovanja igle je bila izvedena tudi analiza sponk. Izmerjena je bila pridržalna sila sponk, deformacija sponk pa je bila preverjena z metalurškimi obrusi sponk stisnjene in nestisnjene paketa.

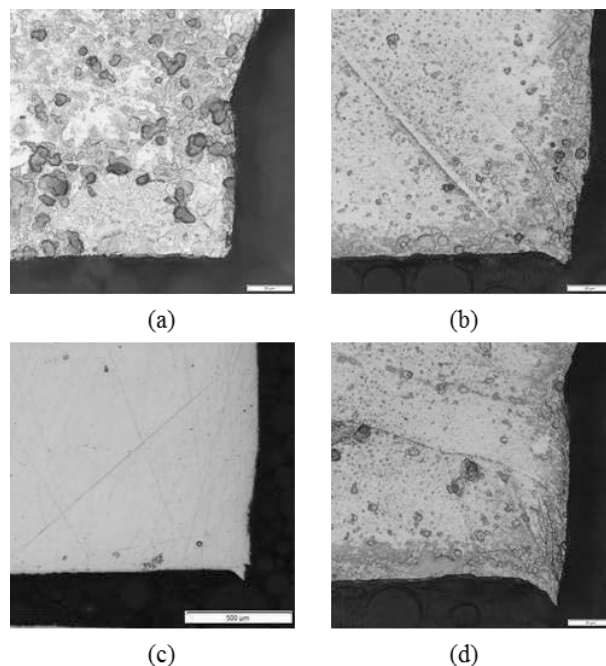
Pridržalna sila sponk se je izmerila na trgalnem stroju Instron. Paket je bil s pomočjo cianoakrilatnega lepila prilepljen med dve ravni plošči, nato pa se je plošči s konstantnim pomikom odmikalo. Program je zabeležil maksimalno silo pred pretrgom paketa. Zopet je

bilo izmerjenih 5 paketov pred in 5 paketov po preoblikovanju igle.

3 REZULTATI

3.1 Velikost in smer igle po štancanju

Na podlagi izkušenj se za pločevino debeline 0.35mm pričakuje do največ 0.04mm igle. Pred analizo vpliva različnih profilov reber preoblikovanja in sil stiskanja med preoblikovanjem so bile preverjene različne možnosti igle neposredno po štancanju. Metalurški obrusi, ki jih prikazuje Slika 5, so bili pripravljene iz zaporednih lamel, na približno istem mestu. Sledi, da igla na zaporednih lamelah na približno istem mestu ni ponovljiva – mogoč je tako oster rob (Slika 5 (a)), kot tudi različne velikosti in smeri igle (Slika 5 (b)-(d)).



Slika 5: Različne oblike in velikosti igle takoj po štancanju

3.2 Optimalni parametri procesa preoblikovanja igle

Ker je igla pred preoblikovanjem lahko obrnjena v poljubno smer, se lahko po preoblikovanju obrne tudi v utor za navitje. To bi bilo lahko s stališča vstavljanja izolacije še slabše, zato je bila smer igle po preoblikovanju

eden ključnih parametrov ocenjevanja kvalitete postopka.

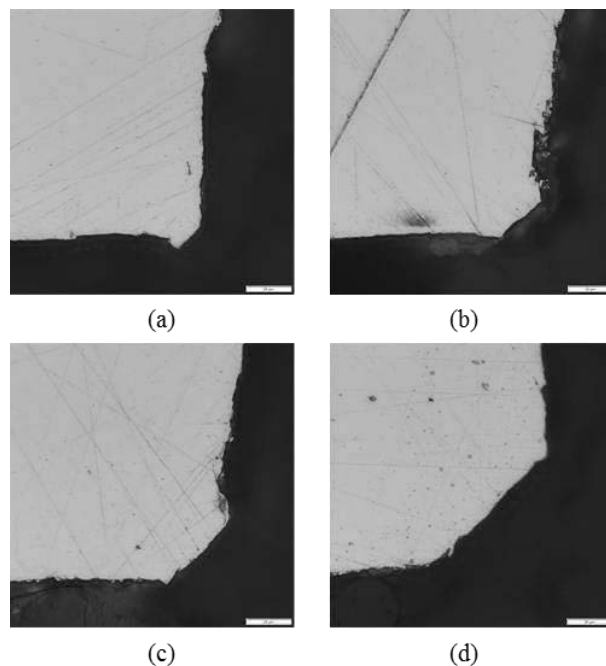
Ugotovljeno je bilo, da sila stiskanja pod 200kN ne zadošča za enakomerno preoblikovanje igle po več utorih (Slika 6). To je potrdila tudi analiza na večjem območju, izvedena z laserskim mikroskopom. Uspešnost preoblikovanja je dodatno odvisna tudi od nasedanja robu lamele na pripravo za preoblikovanje. Ugotovljeno je bilo, da, za dano geometrijo, najboljše naleganje robu lamele v utorih zagotavlja posnetje 45°. Pri tem je bilo s pomočjo laserskega mikroskopa ugotovljeno (Slika 7), da sila 150kN že preoblikuje celoten rob utorov, vendar je ponovljivost bistveno manjša kot pri sili 200kN, hkrati pa na nekaterih mestih ostanejo le delno preoblikovani deli (Slika 7(b) – višina nepravilnosti do 13 μ m). Šele sila 250kN zagotavlja ponovljivost med različnimi paketi in utori (Slika 7(c) in (d), maksimalna nepravilnost pod 1 μ m), zato se v nadaljevanju privzame takšna sila.

3.3 Vpliv procesa na karakteristike paketa

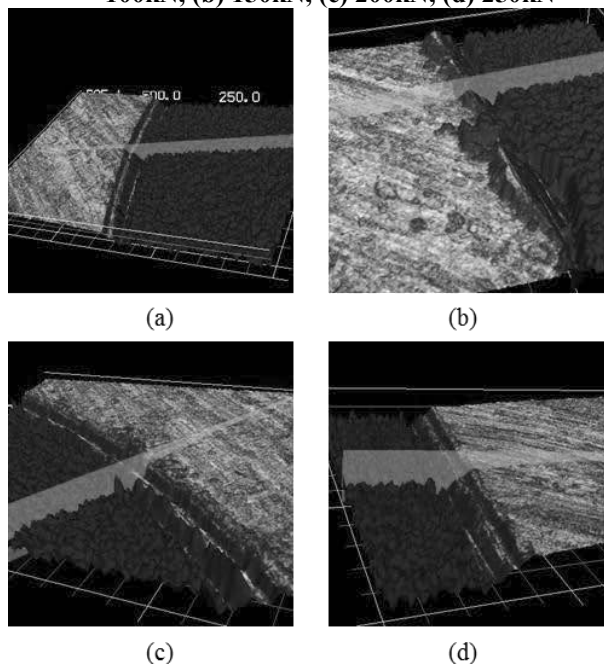
3.3.1 Vpliv na geometrijske karakteristike

Geometrijska točnost statorskega paketa je ključna za sestavljanje motorja, zato je nujno, da proces preoblikovanja igle geometrije ne pokvari oziroma spremeni.

Notranji in zunanji premer paketov se s procesom preoblikovanja igle ne spremenita bistveno; razlika je v območju natančnosti merilne naprave. Po pričakovanju se višina paketa po



Slika 6: Igle pri različnih silah preoblikovanja; (a) 100kN, (b) 150kN, (c) 200kN, (d) 250kN



Slika 7: Rob lamele pri različnih silah preoblikovanja; (a) 150kN, tipičen rob, (b) 150kN, nepreoblikovan del, (c) 250kN, tipičen rob, (d) 250kN

preoblikovanju zniža, saj se paket stisne z veliko silo. V povprečju se paket zniža za 0.57mm. Stiskanje paketa z veliko silo ob dobrem vodenju bistveno izboljša pravokotnost paketa. Centričnost zunanjega premera glede na notranji premer je močno odvisna od kvalitete vodenja orodja za preoblikovanje; glede na meritve je moč

zaključiti, da vodenje priprave zadošča, saj je centričnost ne spreminja bistveno.

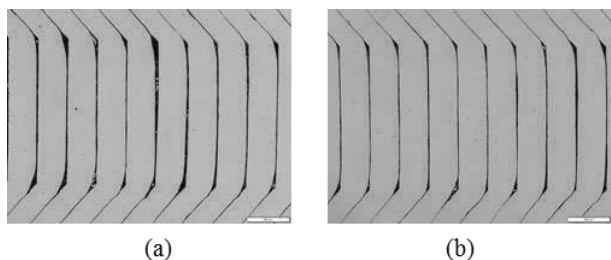
Tudi po okoli 1000 paketih, od tega jih je bila približno tretjina pomejena na 3-dimenzionalnem koordinatnem stroju, se geometrija paketov, razen prej omenjene višine in pravokotnosti, bistveno ne spreminja. Proces preoblikovanja igle torej ne poslabša geometrije paketov.

3.3.2 Vpliv na elektromagnetne karakteristike

Vpliva na elektromagnetne lastnosti ni zaznati.

3.3.3 Vpliv na pridržno silo sponk

Povprečna pridržalna sila pred stiskanjem paketov z 250kN je bila 105N. Po preoblikovanju igle z 250kN je bila povprečna pridržalna sila sponk 122N. Sila sponk se celo nekoliko poveša, zato deformacij sponk ni pričakovati. To potrjuje tudi metalurška analiza paketa pred in po stiskanju z 250kN (Slika 8).



Slika 8: Deformacija sponk: (a) pred stiskanjem, (b) po stiskanju z 250kN.

4 ZAKLJUČEK

Proces omogoča preoblikovanje igle na kritičnih mestih robu štancanih lamel. S tem je omogočeno vstavljanje izolacije z manjšim tveganjem za trganje izolacije in posledično nedelovanje elektromotorja.

V okviru testiranj je bilo v laboratorijskem okolju z določenimi optimalnimi parametri procesa preoblikovanih 1000 paketov. Proces se izkazuje kot stabilen in ponovljiv, tako na naši strani kot tudi na strani kupca. Postopek je bil že prenesen v proizvodno okolje in normalno poteka tudi tam z enakimi robnimi pogoji.

5 LITERATURA

[1] Slavič, J., in drugi. *A novel laboratory blanking apparatus for the experimental identification of blanking parameters*, Journal of

Materials Processing Technology 214(2014)2, str. 507-513.

[2] Tekiner, Z., Nalbant, M. in Gürün, H. *An experimental study for the effect of different clearances on burr, smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal*, Materials & Design, 27(2006)10, str. 1134-1138

[3] Vacca, T. *Ask the Stamping Expert: What is the best method for selectively removing burrs from stamped holes*, (elektronski vir, dostop 5.5.2016)

<http://www.thefabricator.com/article/stamping/what-is-the-best-method-for-selectively-removing-burrs-from-stamped-holes->

[4] Vegelj, D. in drugi, *Adaptive pulsed-laser welding of electrical laminations*, Journal of Mechanical Engineering 60(2014)2, str.106-114

[5] Schoppa, A., Schneider, J. in Wuppermann, C.-D., *Influence of the manufacturing process on the magnetic properties of non-oriented electrical steels*, Journal of magnetism and magnetic materials, 215-216(2000)2, str. 74-78.

ZAGOTAVLJANJE GLADKEGA ROBU NA UTORIH ŠTANCANIH STATORSKIH PAKETOV

Špela BOLKA¹, Vitoslav BRATUŠ²

¹NELA razvojni center, d.o.o.

²Hidria Rotomatika, d.o.o.

VPLIV UVAJANJA POSTOPKA OPTIČNEGA SKENIRANJA NA USPEŠNOST VZORČENJA NOVIH ORODIJ IN IZDELKOV

Andrej GUSEL

MLM, d.d.

IZVLEČEK

Proces izdelave livnega orodja in validacije izdelka pri kupcu velja za enega najpomembnejših v procesu projektiranja in realizacije projekta, izdelave orodja in opreme ter proizvodnega procesa skozi celoten PLC (Product Life Cycle). S pomočjo modernih metod nadzora in kontrole lahko bistveno izboljšamo rezultate, zmanjšamo korekcije orodij, število potrebnih testnih predserij, skozi vse to pa neposredno pozitivno vplivamo tudi na s tem povezane stroške. Dvigne se tudi zadovoljstvo pri kupcu, saj se zmanjša število vzorčenj, to pa neposredno vpliva tudi na oceno dobavitelja, posledično pa tudi na nove projekte..

1 UVOD

Mariborska livarna Maribor je podjetje z več kot 90-letno tradicijo. Zgodovina MLM se začne leta 1924 s podjetjem J & H Bühl, kjer so vlivali zvonove. Ime Mariborska livarna se je prvič pojavilo leta 1929. Po 2. svetovni vojni je z združitvijo več podjetij tudi uradno nastala Mariborska livarna Maribor oz. MLM. Prvi izdelki, odkovki iz medenine, so nastali v letu 1947, kasneje pa so proizvodnjo razširili tudi na aluminijeve zlitine. Rodili sta se blagovni znamki Armal (sanitarne armature, 1967) in Aklimat (aluminijasti radiatorji, 1973). Prve težave so se začele z izgubo zaščitenege jugoslovanskega trga v letih po osamosvojitvi Slovenije. Kljub manjšim ali večjim težavam je MLM nekako preživela do prve večje avtomobilske krize, do katere je prišlo konec leta 2008. Padec naročil se je najprej odrazil na padcu proizvodnje in prodaje na avtomobilskem področju, kasneje, ko se je kriza prevesila tudi na področje nepremičnin, pa je udaril tudi na obseg prodaje sanitarne opreme ter radiatorjev. MLM si od tega udarca ni nikoli povsem opomogla.

2 MLM danes

Prav zaradi prej omenjenih težav v preteklosti se je v procesu reorganizacije MLM v zadnjih letih osredotočila le na dve področji proizvodnje, na tlačno litje aluminijastih izdelkov za avtomobilsko industrijo ter izdelavo odkovkov iz medenine.

V MLM poleg tlačnega litja aluminija izvajajo še obrezovanje odlitkov, grobo obdelavo izdelkov (odstranjevanje srha – peskanje, vibriranje), fino mehansko obdelavo ter v zadnjem času tudi montažo sklopov.

2.1 Razvoj in izdelava orodij za lastne potrebe in zunanje naročnike

Ena od najpomembnejših enot, ki s svojimi izdelki neposredno vpliva na kakovost izdelkov, je orodjarna. Vsa orodja, ki jih MLM potrebuje v svojih proizvodnih procesih, so rezultat internega razvoja in v celoti izdelana v orodjarni MLM.

Orodjarna tako izdeluje vsa kovaška, livna in obrezilna orodja za svoje izdelke in procese, prav tako tudi vpenjala za obdelavo, kontrolne priprave ipd. Poleg izdelave orodij za lastne

potrebe MLM izdeluje večinoma livna orodja za tlačno litje za druge naročnike.

Poleg izdelave orodij orodjarna skrbi tudi za celovito vzdrževanje orodij.

2.2 Strojni park

Pri izdelavi prej omenjenih orodij se uporablja naslednja oprema:

- 8 različnih obdelovalnih strojev (med drugim več 5-osnih obdelovalnih strojev Hermle C40V)
- 2 horizontalni stružnici TOS
- 4 potopni erozijski stroji (npr. Ingersoll Gantry 800)
- 1 žična erozija (Fanuc α 1-IB)
- 2 CNC stružnici
- več brusilnih, vrtalnih strojev in stružnic.



Slika 1: primer obdelovalnega stroja Hermle

Livno orodje je sestavljeno iz več posameznih delov, ki skupaj predstavljajo celoto. Osnovni sestavni deli orodja za tlačno litje so:

- fiksni del orodja
- polnilna komora
- razdelilec
- dolivni kanali
- odzračevalni kanali

- pomični del orodja
- izmetalni trni
- izmetalni sistem
- hladilni kanali
- grelni kanali
- različna jedra (fiksna, pomična)
- stranski drsniki
- priključki za hlajenje in gretje
- ...

Osnovni cilj uporabe vse te opreme in izdelave orodij je jasen in enostaven – zagotavljanje kakovostnih izdelkov ob neprekinjenem procesu tlačnega litja.

3 Preverjanje kakovosti

3.1 Meritve nekoč – klasična merilna tehnika

Preverjanje kakovosti je še pred kratkim potekalo popolnoma klasično. Večino preverjanj se je opravilo z ročnimi merilnimi pripomočki (pomično merilo, mikrometer...), bolj zapletene oblike in pozicije pa s 3D koordinatnim merilnim strojem, profilnim projektorjem ipd.

3D merilni stroji so sicer izjemno natančni, da se jih tudi sprogramirati, vendar pa imajo tudi kar precej slabosti.

Če merimo merjence različnih dimenzij, oblik in različne globine, potrebujemo različna tipala, ki so prilagojena posameznemu merjencu oz. njegovi specifični geometriji.

V primeru uporabe merilnih programov potrebujemo šaržer, kar bistveno olajša uporabo različnih tipal. Šaržer je neke vrste garaža za tipalo oz. tipalni sistem, ki omogoča, da so najbolj uporabljani tipalni seti vedno dosegljivi. Merilni stroj ve, kje se posamezni tipalni set nahaja.

Glede na zahteve in potrebe merilnega postopka (npr. globina izvrtin, premer lukenj, dosegljivost površin, predvsem notranjih...) potrebujemo za merjenje posameznih pozicij na

merjencu različna tipala, adapterje in podaljške. Le-ta so lahko različnih dimenzij, iz različnih materialov (v zadnjem času so vse bolj popularna ogljikova vlakna), z različnimi premeri tipalnih kroglic, ki so lahko iz različnih materialov.

Seveda je različnih opcij, ki so na voljo, še mnogo več, vsem pa je skupna ugotovitev, da uporaba teh možnosti podraži merilni proces.

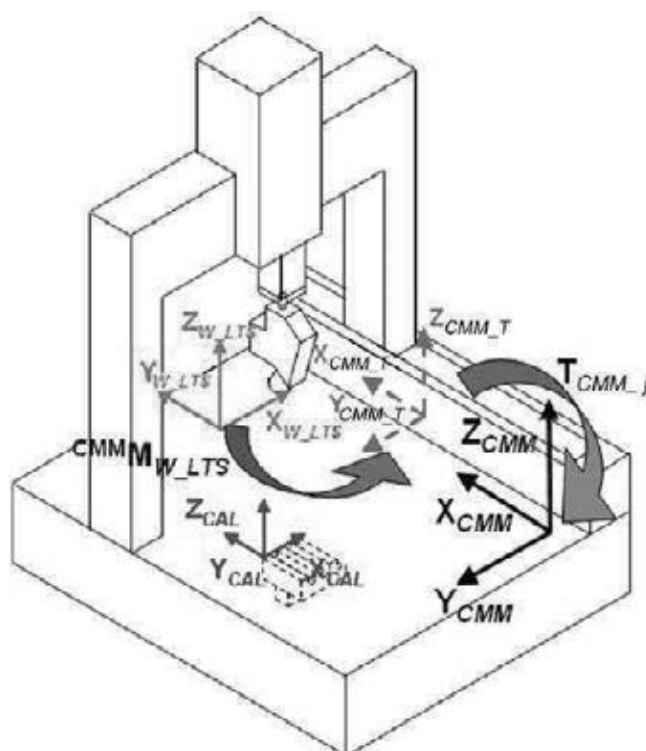
Prav tako vse omenjeno neposredno vpliva tudi na negotovost merilnega procesa. Z večanjem števila podaljškov, z daljšanjem tipal, z uporabo kompleksnejših tipalnih sistemov se večja njihova masa in povečuje zračnost med posameznimi komponentami, kar negativno vpliva na negotovost meritve. In večja je negotovost meritve, slabši oz. manj zanesljiv je merilni rezultat.

V veliki meri na zanesljivost meritve vpliva tudi priprava merjenca pred meritvijo. Merjenec mora biti temeljito očiščen, ustrezne temperature, brez ostankov olja, maščob... Vse to neposredno vpliva na morebitne bolj komplicirane povezave med posameznimi pozicijami na merjencu, kjer lahko posamezne pozicije izhajajo iz npr. pozicije izvrtine. In ena površna meritev takšne pozicije vpliva negativno na vse sledeče, ki tako padejo kakor domine.

Poleg že naštetega imajo 3D merilni stroji še dodatne slabosti:

- slaba vizualizacija merilnih rezultatov,
- relativno počasen postopek merjenja,
- s procesom merjenja ne pokrijemo celotne površine,
- uporaba več različnih tipalnih sistemov – podraži meritev,
- težave z razumevanjem različnih koordinatnih sistemov na bolj kompleksnih merjencih (uporaba globalnega in več lokalnih koordinatnih sistemov, različna usmerjenost koordinatnih osi, izhodišče meritev je lahko na merjencu ali pa kje izven...),

- ob nepazljivosti lahko v primeru trka hitro pride do poškodbe merilnega stroja in do stroškov,
- med seboj nekompatibilni merilni programi (PC-DMIS, Calypso, Quindos...) – različen izpis rezultatov,
- različen izgled merilnih protokolov,
- ...



Slika 2: uporaba različnih koordinatnih sistemov na 3D merilnem stroju.

3.2 Uporaba optičnih merilnih metod

Velik korak naprej na področju meritev je bil narejen prav z uvajanjem modernih merilnih metod, ki so na veljavi pridobile z bliskovitim razvojem v zadnjih letih – z uporabo optičnih merilnih metod. Če so bili optični merilni sistemi še pred dvema desetletjema v povojih, meritve z njimi pa dolgotrajne, se je industrija zelo hitra zavedela, kakšen je njihov potencial. Posledično je bil razvoj izjemen, primerljiv z razvojem računalništva. Pravzaprav je to popolnoma

ustrezna primerjava, saj se je z razvojem optike in večanjem ločljivosti senzorjev za zajemanje slike večalo tudi število podatkov, ki so jih tovrstni sistemi morali preračunati. Že pri samih senzorjih je skok ogromen – če smo še pred desetletjem uporabljali senzorje z ločljivostjo 1 mio pixlov, danes uporabljamo sisteme s po 8 ali celo 12 milijoni pixlov. Z večanjem računalniške moči sodobnih procesorjev se je večala natančnost, zanesljivost in hitrost tovrstnih sistemov, s tem pa tudi njihov domet.

Prav zaradi vsesplošne uporabnosti tovrstnih sistemov se je povečalo število ponudnikov tovrstnih sistemov, posledično pa jim je padla cena. Poleg podjetij, ki so bili začetniki v tem poslu (GOM Braunschweig) jih danes ponuja skoraj že vsak ponudnik merilne opreme (npr. Zeiss, Hexagon...).



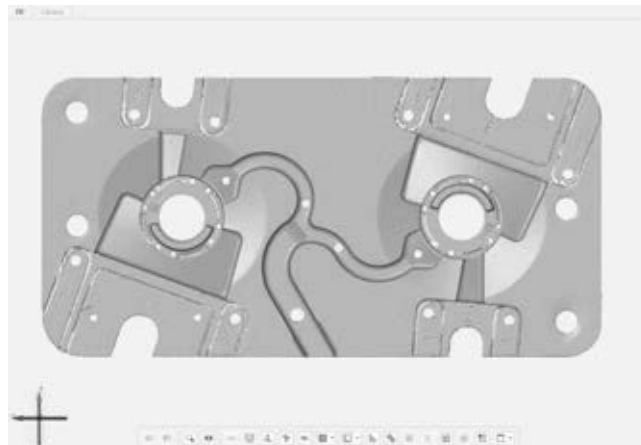
Slika 3: optični merilni sistem GOM Atos III.

3.3 Primer uporabe optičnega merilnega sistema

V MLM je optični merilni sistem v uporabi od začetka leta 2014. V tem času je sistem interno pridobil na veljavi in je vedno bolj v uporabi. Uporabljamo ga za merjenje gravur, posameznih orodnih delov in izdelkov.

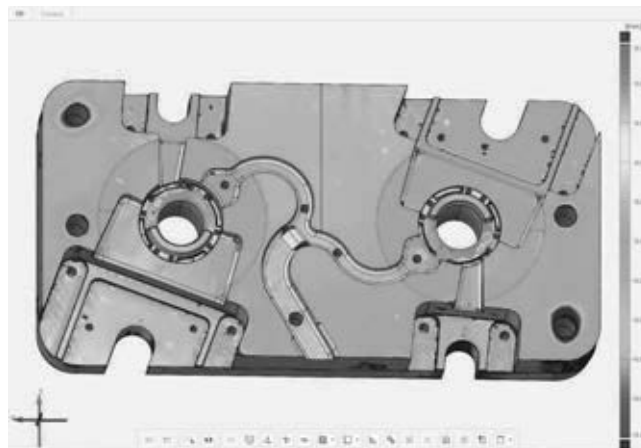
Vsekakor je prednost optičnega merilnega sistema ta, da tak sistem zajame oblak merilnih točk po celotni površini merjenca. Program te

pridobljene podatke združi, poravna in predstavi v obliki enostavno razumljivega rezultata.



Slika 4: rezultat merjenja gravure livnega orodja.

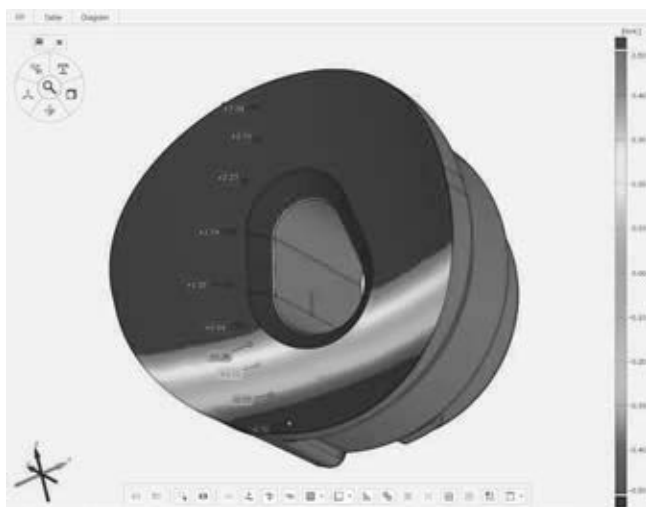
Še sploh, če je rezultat poravnan na model CAD in dopolnjen z zahtevanimi tolerancami, kar omogoči barvni prikaz odstopanj.



Slika 5: prikaz ustreznosti gravure livnega orodja.

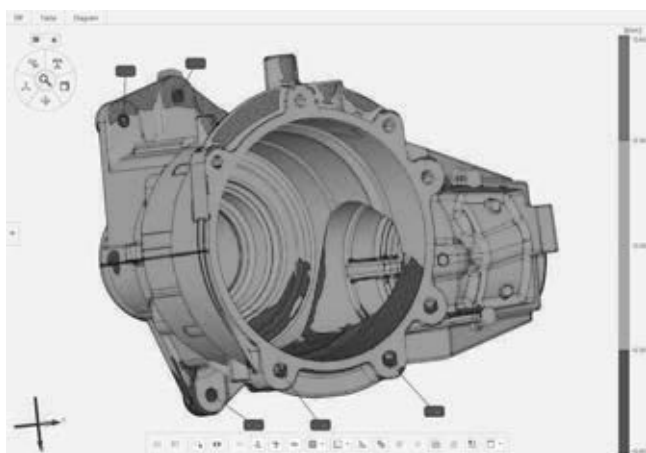
Tako lahko na izmerjeni gravuri vidimo vsa odstopanja – ugotavljanje odstopanj gravure je tako enostavnejša, njihova korekcija pa hitrejša.

Naslednji primer (slika 6) meritev v praksi je meritev vložka, ki ga vstavljamo ob litju. Ob pregledu rezultatov skeniranja smo ugotovili, da je do napake najverjetneje prišlo na žični eroziji, saj je velik del površine vložka izven toleranc. Še zanimivost – za definicijo tega smo morali uporabiti metodo 'Local Best Fit' namesto bolj običajne metode 'Best Fit'.



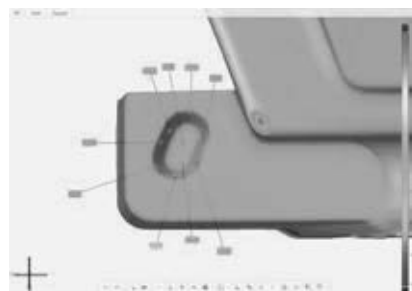
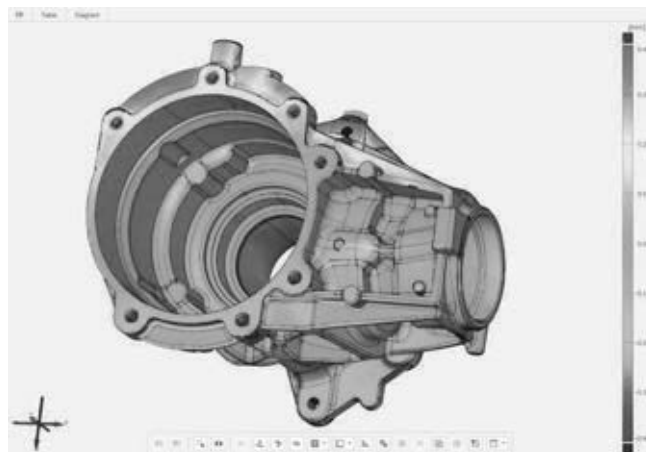
Slika 6: meritev vložka po metodi Local Best Fit.

Prav tako je zelo zanimiva možnost uporabe optičnega sistema za preverjanje dodatkov za obdelavo na izdelku, posledično pa seveda tudi na orodju. To je zelo pomembno, saj imajo nekateri izdelki na načrtu stroge zahteve glede dovoljenega dodatka za obdelavo, ta pa se s časom in z obrabo gravure med litjem spreminja. Večji dodatek omogoča več rezerve pri obdelavi, vendar pa prevelik dodatek podaljša cikel obdelave, skrajša življenjsko dobo obdelovalnega orodja in poveča nevarnost za pojav lokalne poroznosti tik pod odrezano površino.



Slika 7: ugotavljanje dodatka za obdelavo na izdelku.

Sistem omogoča tudi zelo enostavno poravnavanje po referenčnih izhodiščnih točkah (RPS).



Slika 8: poravnava po sistemu ugotavljanje dodatka za obdelavo na izdelku.

4 SKLEP

Dosedanji klasični sistemi merjenja s 3D koordinatnimi merilnimi stroji imajo kar nekaj pomanjkljivosti. Še najbolj izrazita je njihova počasnost zajemanja točk na prostih površinah. Zaradi te in vseh prej naštetih pomanjkljivosti se je dejanska kontrola ustreznosti orodja dejansko vršila čisto na koncu verige – preko meritev in ugotavljanja ustreznosti končnega izdelka, ki je bil produkt procesa litja z omenjenim orodjem. Torej ne neposredno, temveč posredno preko izdelka in šele takrat, ko je bilo orodje že izdelano, popravki pa dragi in zamudni.

V primerjavi s to metodo merjenja omogoča optični merilni sistem precej več svobode, nismo omejeni z različnimi tipalnimi sistemi, saj je praktično vsa potrebna oprema že vključena v paket. Tudi prikaz rezultatov je na bistveno drugačnem nivoju kakor pri 3D KMN, vsa odstopanja so podana vizualno, preko barvnih odtenkov. Meritev poteka hitro, izurjen merilec pa jo lahko izvede brez neposrednega vpliva na zanesljivost rezultata. Zunanjih vplivnih faktorjev je precej manj.

Zmanjša se torej število potrebnih korektur orodja, manjše je potrebno število predserij, kar neposredno vpliva na terminsko točnost projekta. Pozitiven vpliv se kaže tudi na potrebnem številu vzorčenj pri kupcu, še sploh, če je poudarek tudi na prostih, neobdelanih površinah.

In če pogledamo to skozi številke – z uporabo optičnih meritev je v MLM v zadnjih nekaj letih uspelo bistveno zmanjšati število potrebnih testnih litij za doseganje ustreznega izdelka: če je bila ta številka še pred uvedbo skenerja preko 3, je sedaj okoli 1,4. To pa predstavlja bistven prihranek časa in denarja v prav najbolj časovno zahtevni fazi izvajanja projekta.

IMPLEMENTACIJA 3D TEHNOLOGIJ

Klemen PETRIČ¹, Dejan MRAK¹, Josip KOS²

¹KOLEKTOR Group

²TOPOMATIKA d.o.o.

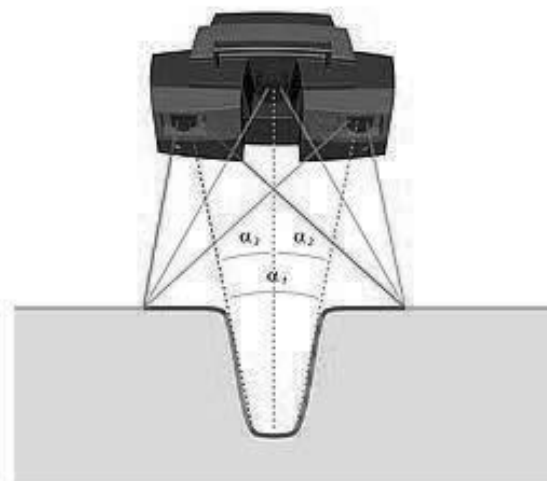
IZVLEČEK

Kot svetovni največji proizvajalec komutatorjev in drugih komponent (magnetne in hibridne komponente ter elektropogoni) za avtomobilsko industrijo, Kolektor veliko pozornost namenja v opremo za kontrolo kakovosti oz. predvsem v 3D merjenje.

1. UVOD

Z razvojem novih, zahtevnejših izdelkov se je pokazala tudi potreba po naprednejši merilni opremi. Leta 2011 smo se odločili z nakup ATOS TRIPLE SCAN 3D skenerja, ki smo ga namestili v merilnico laboratorija. Merilnik prednostno uporabljamo za pomoč in podporo razvojnim projektom, rezultati meritev pa so uporabljeni tudi za izdelavo PPAP poročil.

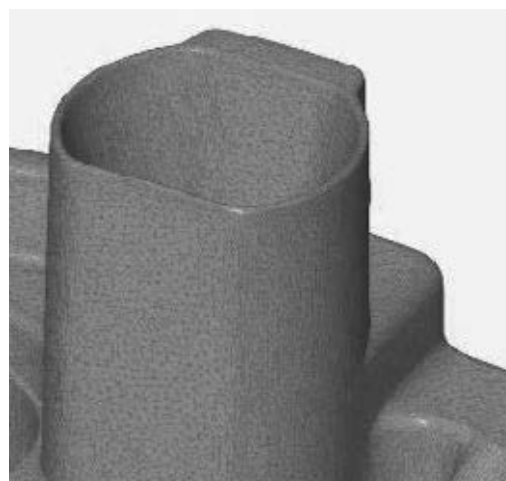
ATOS je optični merilnik, ki na površino merjenca projicira vzorec modre barve (Slika 1), odboj svetlobe pa detektira s pomočjo dveh kamer (Slika 2). Na tak način dobimo sliko površine merjenca. Izdelek posnamemo iz več zornih kotov, slike med seboj združimo in s pomočjo poligonizacije (Slika 3) pretvorimo v digitalno obliko, primerno za izvajanje meritev.



Slika 2



Slika 1

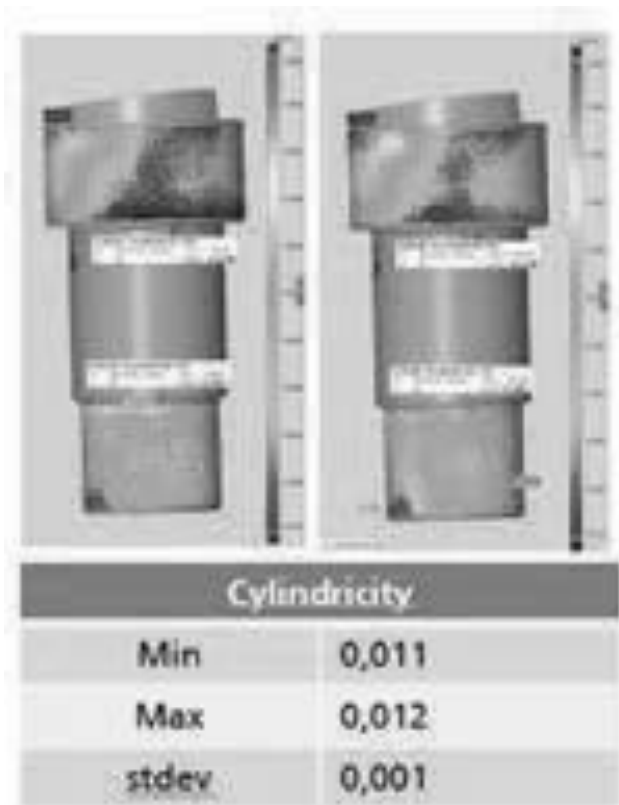


Slika 3

Ker je princip optičnih meritev popolnoma drugačen od »klasičnih« taktilnih meritev, smo na začetku uporabe 3D skenerja naleteli na nezaupanje sodelavcev v ta način merjenja. Veliko časa smo zato porabili za analize in primerjave rezultatov z drugimi merilniki. Prvi testi so se nanašali na ponovljivost rezultatov skeniranja ter na vpliv priprave merjencev. Slabost optične metode je ta, da pride v primeru črnih ali svetlečih predmetov do refleksije od površine in posledično neustreznega rezultata skeniranja. Na merjence zato pred skeniranjem naneseemo tanek sloj barve, ki posledično vpliva na merilni rezultat. Sledile so primerjave z drugimi merilniki in analiza implementacije v proizvodnji proces z namenom SPC meritev (Statistic process controll).

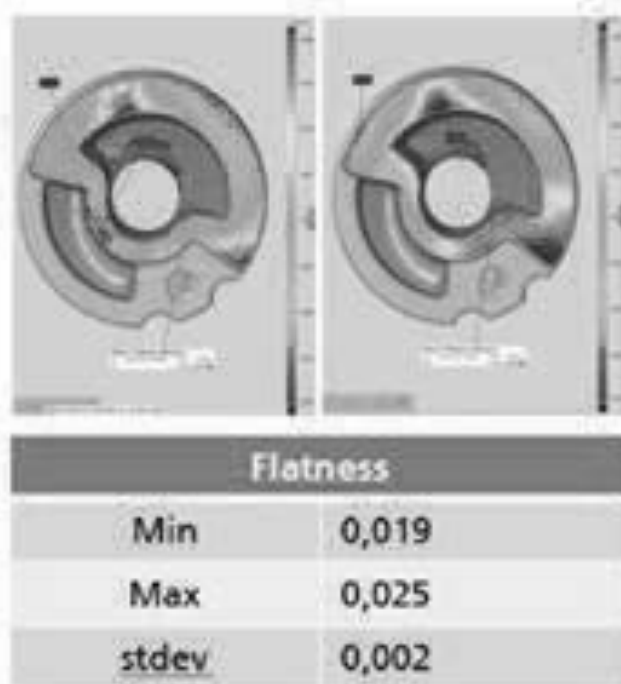
2. PONOVLJIVOST SKENIRANJA:

Da bi preverili ponovljivost skenerja smo merjenec 10x poskenirali, poligonizirali in pomerili cilindričnost dveh cilindrov. Rezultati meritev so pokazali odstopanje 0,001mm (Slika 4).



Slika 4

Kot že omenjeno, na merilni rezultat vpliva tudi priprava merjenca, torej nanos barve. Vsak od treh operaterjev je isti merjenec štirikrat pobarval, poskeniral in očistil. Rezultati meritve ravnosti ravnine so pokazali odstopanje 0,006mm med minimalno in maksimalno izmerjeno vrednostjo (Slika 5).



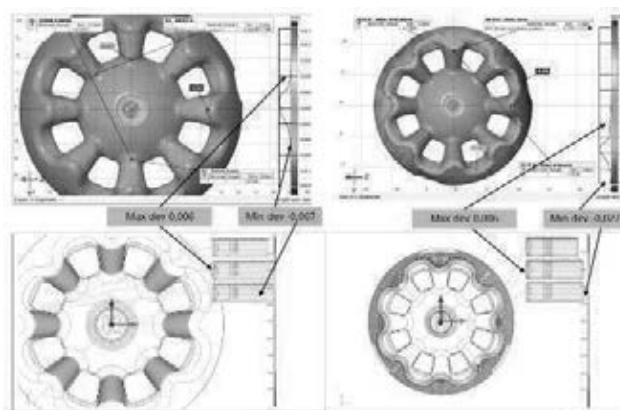
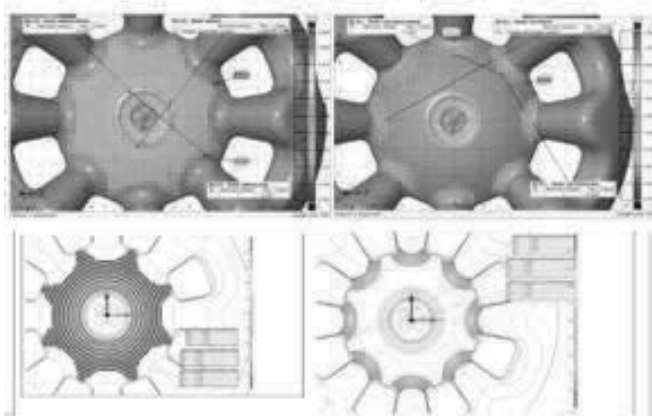
Slika 5

3. Primerjava s CMM:

Primerjava taktilne in optične metode je bila izvedena s pomočjo meritve profila oblike zahtevnejše geometrije. Po ISO standardu je končni rezultat meritve dvakratnik največjega odstopka, zato je direktna primerjava med rezultati nemogoča saj je pri metodah velika razlika v številu pomerjenih točk na merjencu. Vizualna primerjava med rezultati je pokazala, da sta metodi primerljivi (Slika 6). Glavni razliki med metodama sta dodatna priprava vzorcev pri 3D skeniranju ter bistveno daljši čas meritve na CMM merilniku, saj je optična meritev trajala 20min, taktilna pa 90min (meritev celotnega izdelka).

ATOS Triple Scan vs. CMM

Pros & Cons	CMM Carl Zeiss Primo Navigator	ATOS Triple Scan
Sample preparation	NO	YES (coating with TiO ₂)
Scanning time	55min – Fast scan	20 min (including coating)
	90 min – Full scan	
Sample measurement	Calypso	GOM Inspect



Slika 6 – Zgoraj ATOS, Spodaj CMM

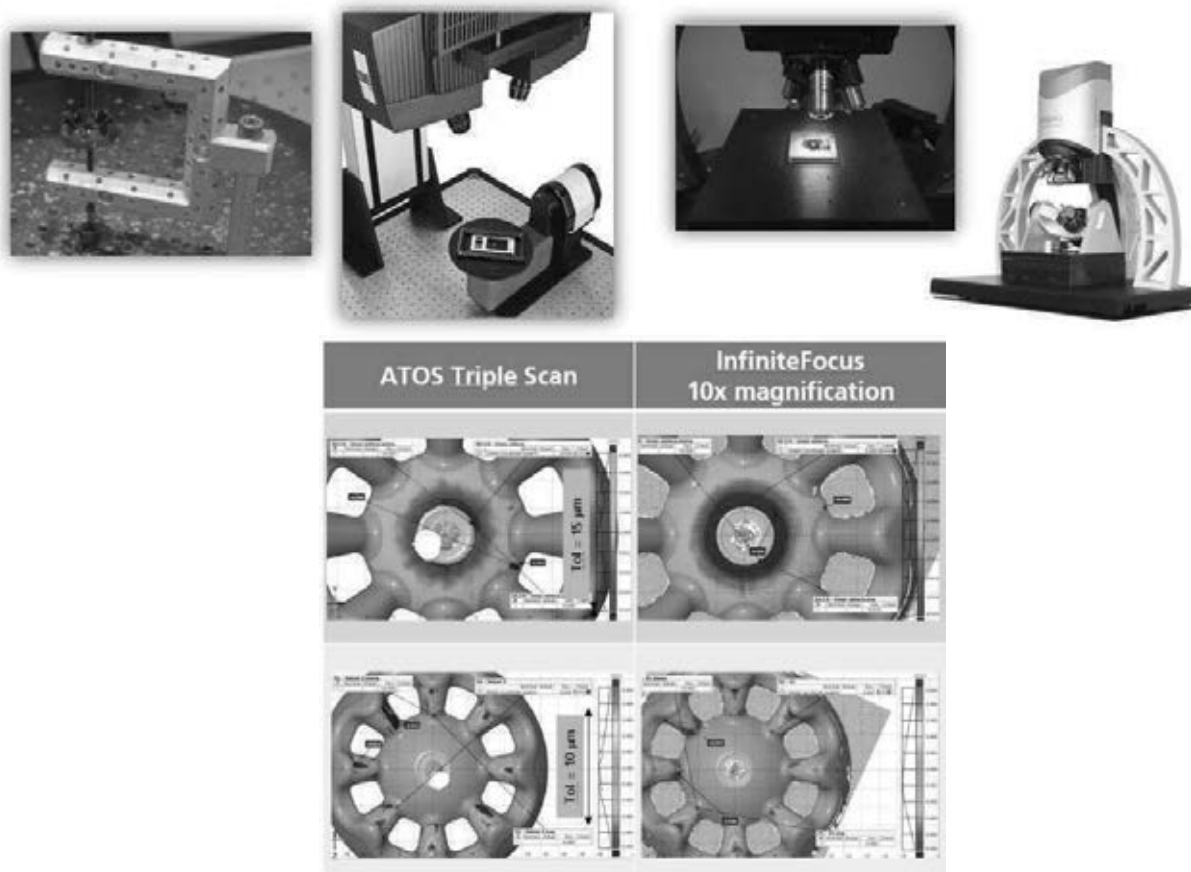
4. PRIMERJAVA Z INFINITE FOCUS SYSTEM:

Poligonizacija oz. transformacija slik v digitalno obliko primerno za meritve privede do manjših napak/poenostavitev na ostrih robovih merjenca. To dejstvo, ter potrebna predpriprava vzorca sta bila razlog za iskanje merilnika, ki teh pomanjkljivosti ne bi imel. Merilnik Infinite Focus System podjetja

Alicona omogoča take meritve. Pozitivna stvar je ta, da merilnik uporablja isti program (GOM INSPECT) za izvajanje meritev, zato je bil primerjava zelo enostavna. Spet smo primerjali rezultat meritve profila oblike in spet ugotovili, da so rezultati primerljivi (Slika 7). Večje število poskeniranih točk z merilnikom IFS pa ima za posledico tudi daljši čas meritve. Za meritev celotnega izdelka smo porabili 7h.

ATOS Triple Scan vs. Infinite focus system

	Pros & Cons	Infinite Focus	ATOS Triple Scan
Sample 1	Sample preparation	NO	YES (coating with TiO2)
	Scanning time	5x objective: 55min	20 min (including coating)
		10x objective: 7h	
Sample measurement	GOM Inspect	GOM Inspect	
Sample 2	Sample preparation	NO	YES (coating with TiO2)
	Scanning time	5x objective: 2h45min	20 min (including coating)
	Sample measurement	GOM Inspect	GOM Inspect



Slika 7 – Levo ATOS, Desno IFS

5. ATOS SCANBOX:

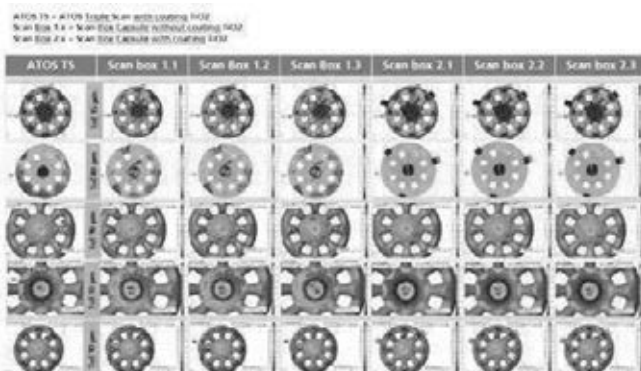
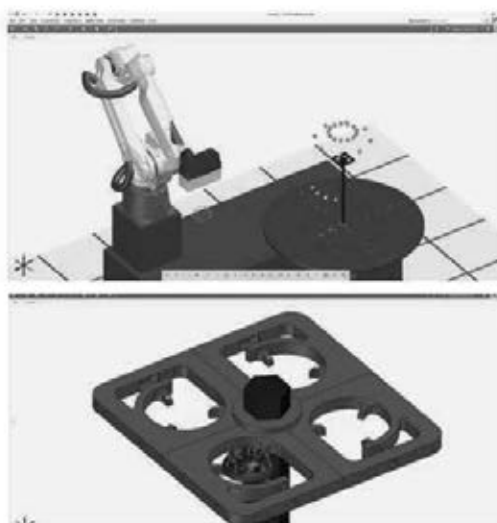
Scanbox je merilnik, ki ima 3D skener nameščen na robotsko roko, zaprt je v posebni komori in omogoča avtomatizirano merjenje. Prednost sistema je v tem, da lahko nastavimo točno določene pozicije kamere in uporabimo posebno funkcijo maskiranja površine. Maskiranje nam omogoča, da merjenec poskeniramo brez predhodnega barvanja, saj neželenih odbojev ne upoštevamo pri meritvi.

Merilne programe naredi merilec, uporabniki v proizvodnji pa te programe le uporabljajo.

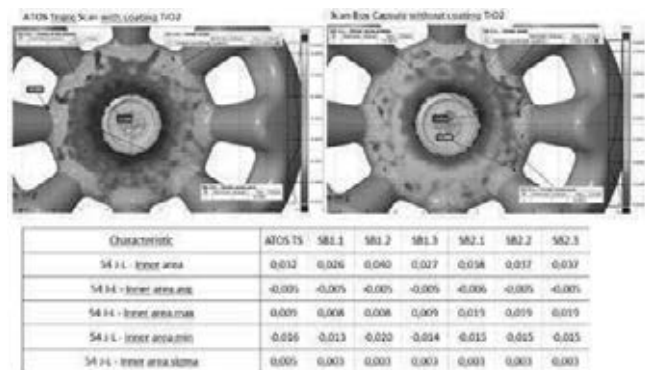
Pri analizi merilnika smo preverili ponovljivost meritev na barvanih in nebarvanih merjencih, rezultate pa smo primerjali tudi z dobljenimi z ATOS TRIPLE SCAN-om. Dobljeni rezultati kažejo na primerljivi in ponovljivi metodi (Slika 8, Slika 9).

ATOS Triple Scan vs. Scan-Box (Capsule)

Parameters	ATOS Scan Box 5120 Capsule 12M MV 120	ATOS Triple Scan
Sample preparation	NO	YES (coating with TiO ₂)
Scanning time	15 min – Full scan 60 min – 4 pcs automated	20 min (including coating)
Sample measurement	GOM Inspect	GOM Inspect



Slika 8



Slika 9

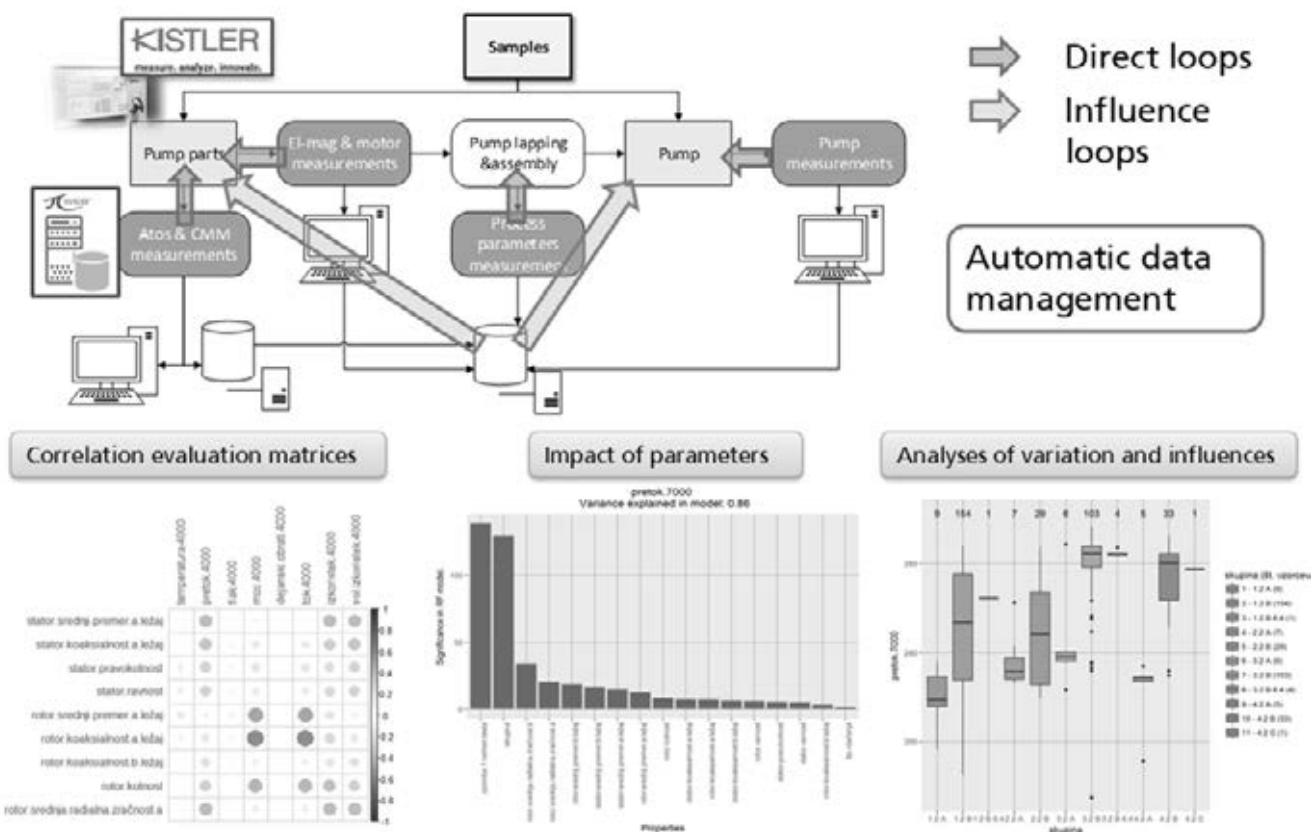
6. ZAKLJUČEK

3D skeniranje se je pokazalo za zelo uporabno metodo pri izdelkih s tolerancami ranga 0,01mm ali več. Rezultati so v veliko pomoč tudi v fazi razvoja izdelkov, saj slika oz. odstopanje od CAD modela nudi veliko več informacij, kot samo številski rezultat. V kolikor so zahtevana preciznejša merjenja ali meritve majhnih detajlov je potrebna izbira katere od drugih metod. Izdelki postajajo vse zahtevnejši tudi iz vidika meritev, zato bo statistično merjenje izdelkov, ki se proizvajajo v velikih količinah postajalo vse večji izziv. Test ATOS ScanBoxa je pokazal, da bi bil tak način merjenja lahko primeren v takih primerih, so pa potrebna še dodatna testiranja in analize, da bomo to tezo lahko dokončno potrdili. Vse ugotovitve te analize so bile predstavljene tudi med sodelavci, kar je pripomoglo k večji razgledanosti ter tudi sprejemu 3D merilne metode kot take. Velik plus je tudi brezplačen program za analizo rezultatov GOM INSPECT, ki ga dnevno uporablja vse več zaposlenih.

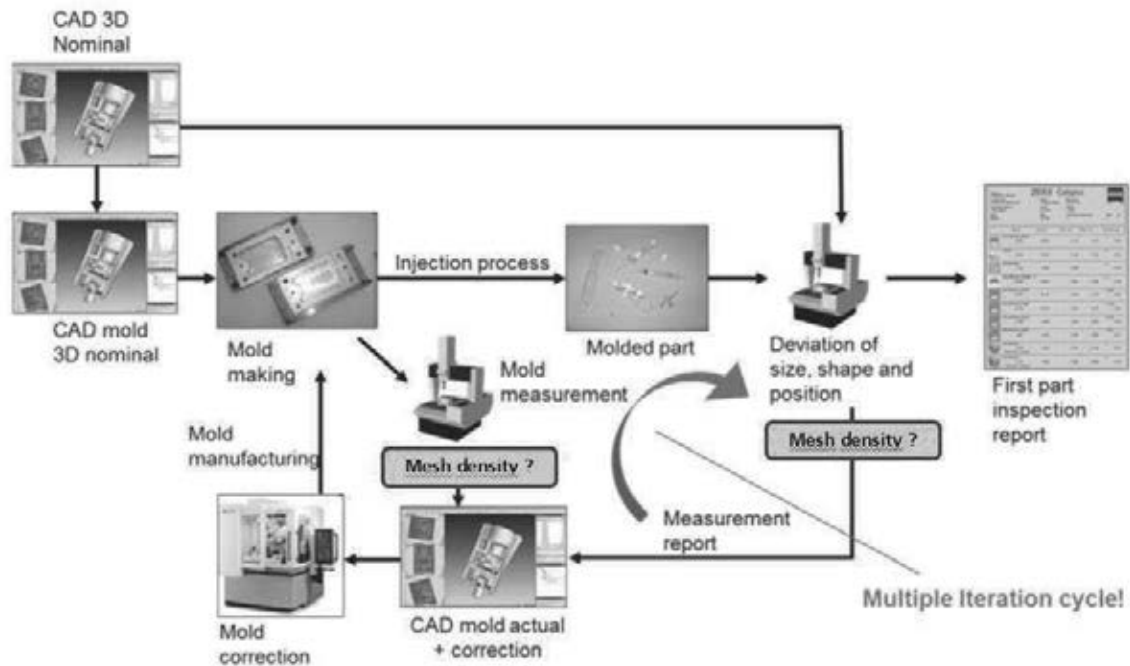
7. PROTOTIPIRANJE IN DIGITALNA TRANSFORMACIJA

V današnjih časih je potreba po hitrem prototipiranju vse pogostejša saj je razvojni cikel izdelka vse krajši, zahtevnosti produktov pa vse večja. Izdelava funkcionalnih prototipov v kratkem času pomeni obenem tudi potrebo po beleženju čim večje količine informaciji o razvojnem procesu. Pri razvoju zahtevnejših produktov je zelo pomembno da imamo tekom razvojne faze na voljo čim več podatkov iz procesnih korakov (beleženje nastavljenih in dejanskih parametrov) in obenem tudi beleženje informaciji oz. podatkov iz kontrolnih korakov. Zabeležene informacije oz. podatke (ti. Big data) je nato potrebno z ustreznimi korelacijskimi faktorji in algoritmi povezati v povratne zanke in tako omogočiti proizvodnemu procesu ustrezno samo korekcijo oz. adaptivno delovanje.

Smart Prototyping & Digital transformation



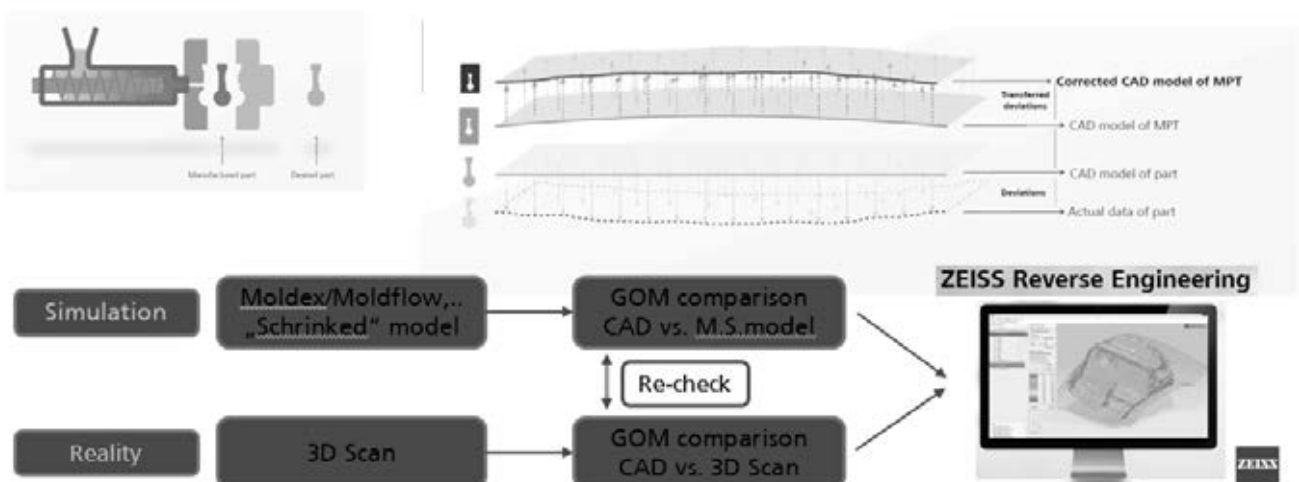
Existing - Classical approach without using reverse engineering techniques



Reverse Engineering – molding process

Chances & challenges

- use dense point information that is available from optical 3D scan, CT-scan and/or CMM
- close „understanding gap“ between measurement and design department
- distinguish clearly between process parameters and geometrical parameters
- focus on high accuracy during entire workflow
- provide intelligent reverse engineering techniques for the tool correction process



S POMOČJO 3D SKENIRANJA IN VZVRATNEGA INŽENIRSTVA DO PROTOTIPNIH ORODIJ ZA OKLEPE MOTORJEV

Luka BOTOLIN¹, Peter KUDUZ²

¹TECOS

²Karbonin d.o.o.

IZVLEČEK

Članek opisuje, kako smo s pomočjo 3D skeniranja, vzratnega inženirstva in 3D frezanja izdelali kalupe za oklepe motorjev. Ker se ti oklepi trenutno izdelujejo izključno ročno, podjetje Karbonin pa želi slediti najmodernejšim trendom mehanske proizvodnje orodij, so se v podjetju odločili, da v sodelovanju s TECOS-om izvedejo pilotni projekt izdelave prototipnih orodij s frezanjem.

1 UVOD

Karbonin je slovensko podjetje, ki proizvaja vrhunske oklepe za motorje. Njihove proizvode uporabljajo ekipe na svetovnih prvenstvih Superbike, Supersport, Endurance, v nemškem prvenstvu IDM, britanskem SBK in ostalih nacionalnih prvenstvih, prav tako pa jih ljudje nameščajo tudi na svoje privatne motorje, zato morajo biti oklepi izdelani tako, da se na njih lahko namestijo tudi luči, nosilec števca, ogledala...

Karboninovi oklepi so narejeni iz steklenih in ogljikovih vlaken. Vlakna nastopajo kot veziva in se polagajo v obliki tkanine v kalupe, kot polnilo se uporabljajo epoksi smole. Njihove izdelke odlikujejo natančna izdelava, odličen videz in predvsem nizka teža. Ker se ti oklepi trenutno izdelujejo izključno ročno, podjetje Karbonin pa želi slediti najmodernejšim trendom mehanske proizvodnje orodij, so se v podjetju odločili, da v sodelovanju s TECOS-om izvedejo pilotni projekt izdelave prototipnih orodij s frezanjem. Za pilotni projekt nam je služil motor YAMAHA YZF-R6.

Najprej smo z optičnim skenerjem na strukturirano svetlobo poskenirali vse serijske oklepe na motorju, nato pa še cel motor brez oklepov. Tako smo dobili vse zunanje gabarite



Slika 1: 3D optično skeniranje motorja [1]

motorja ter vsa priključna mesta za montažo novih oklepov. Na podlagi dobljenih skeniranih podatkov smo izvedli vzvratno inženirstvo oklepov. To je bila osnova za izdelavo prototipnih orodij.

V članku bo podrobneje predstavljen nov koncept izdelave oklepov s vsemi prednostmi in slabostmi.

2 ROČNA IZDELAVA OKLEPOV

Trenutno se oklepi motorjev izdelujejo tako, da se na motorju najprej vzame odtis oklepov, tako da dobimo negativ plastičnih originalov. S pomočjo teh negativov izdelamo nove oklepe in jih ponovno namestimo na motor. Na motorju jih potem preoblikujemo v športne oklepe.

Športne oklepe je potrebno izdelati tako, da se ohrani osnovni dizajn motorja ob upoštevanju vseh predpisov, ki jih narekujejo standardi za dirkanje. Prav tako je potrebno slediti vsem zahtevam za izdelavo orodij za izdelke iz steklenih in ogljikovih vlaken (delitve orodij, zaprtje lukenj, poenostavitve na ostrih prehodih in globokih detajlih zaradi polaganja tkanine...).

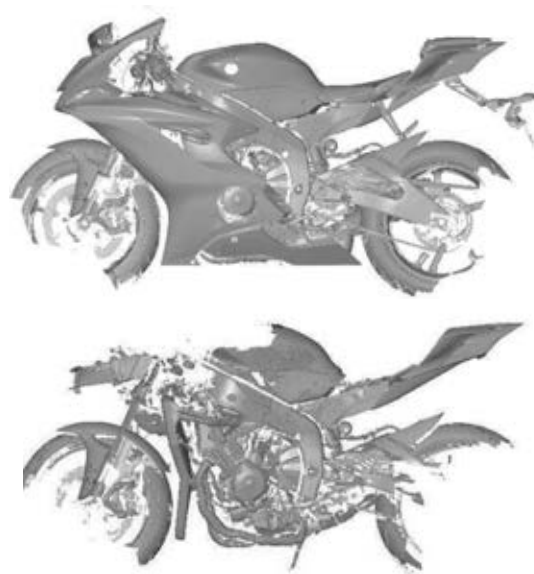
Ko so takšni športni oklepi na motorju izdelani, jih uporabimo za izdelavo orodij. Takšna orodja nam potem služijo za izdelavo izdelkov iz steklenih in karbonskih vlaken.

3 MEHANSKA PROIZVODNJA ORODIJ ZA OKLEPE MOTORJA

3.1 3D skeniranje motorja

3D skeniranje smo izvedli z GOM-ovim skenerjem na strukturirano modro svetlobo ATOS CS 5M z merilnim volumnom 600*450*450mm (*Slika 1*). Izhodni podatek skenerja je oblak točk oz. STL format (*Slika 2*).

Najprej smo poskenirali celoten motocikel YAMAHA YZF-R6 z originalnimi oklepi. Nato smo oklepe sneli in se posvetili skeniranju motorja še brez oklepov.



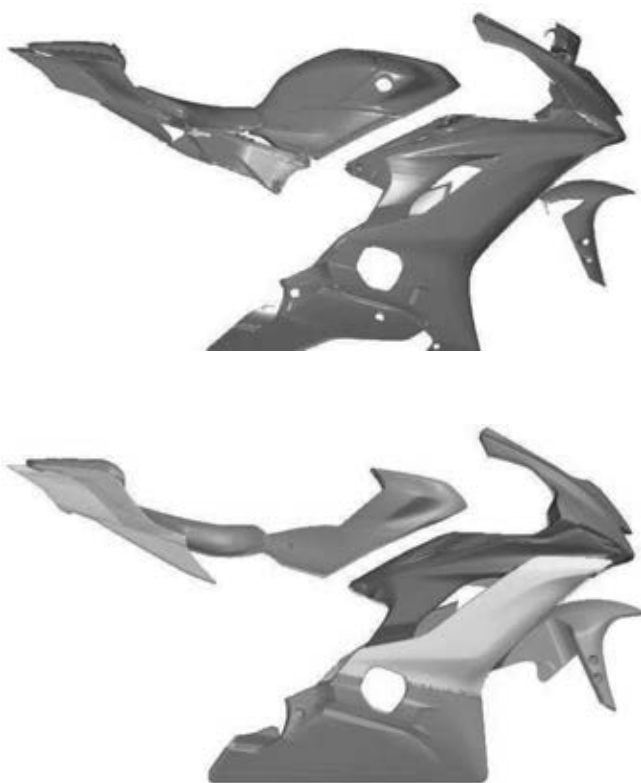
Slika 2: Oblak točk oz STL [1]

To nam je služilo zato, da smo lahko dobili vsa priključna (montažna) mesta za oklepe. Sledila je demontaža standardnega izpuha in standardnega hladilnika ter montaža športnega hladilnika in športnega izpušnega sistema Akrapovič. Ko smo ju namestili, smo motor skenirali še brez oklepov v dirkaški verziji. Vse te skene smo potrebovali zato, da smo lahko 3D modele novih oklepov priredili tako, da je možna montaža novih oklepov tako s serijskim kot športnim hladilnikom in izpušnim sistemom (cev in lonec).

3.2 Vzvratno inženirstvo (izdelava 3D modelov oklepov motorja)

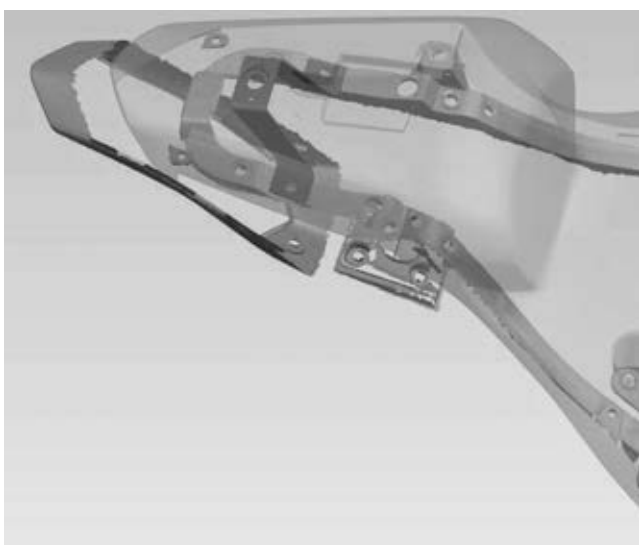
Podatki skeniranja (oblak točk oz. STL) so nam nato služili kot osnova za izdelavo površinskih 3D modelov novih oklepov motorja (stp, igs). Na negativnih površinah teh 3D modelov smo s frezanjem izdelali prototipne kalupe za prototipne oklepe motorja (*Slika 3*).

Da je možna čim hitrejša montaža in demontaža oklepov, je bilo potrebno določene posamezne oklepe smiselno združiti, prav tako določene oklepe predelati tako, da zadostijo dirkaškemu standardom (npr. spodnja bana mora biti s spodnje strani zaprta, da ob morebitni eksploziji motorja ostane olje ujeta v njej itd.).



Slika 3: Zgoraj oblak točk standardnih oklepov, spodaj 3D modeli predelanih oklepov [1]

Zaradi združevanja določenih delov oklepov smo morali ponekod izdelati tudi nove nosilce za pritrjevanje oklepov, saj jih na standardna mesta motorja ni bilo mogoče vpeti (Slika 4).



Slika 4: Rdeč nosilec za pritrnitev oklepa sedeža na ohišje motorja [1]

2.3 Izdelava prototipnih orodij s frezanjem

Novo izdelani 3D modeli oklepov so osnova za frezanje orodij. Najprej je bilo potrebno smiselno razdeliti orodja na več delov tako, da je možno dobili izdelke iz orodja (Slika 5).

Prav tako je bilo potrebno zapreti vse luknje na oklepih (škrge za zrak na straneh oklepov, pritrdilne luknje...), da se lahko v orodja nemoteno polagala tkanina. Luknje se izrežejo naknadno.



Slika 5: Trodelni kalup orodja za oklep okoli tanka [2]

2.4 Izdelava prvih testnih oklepov

Ko so bila orodja sfrezana, so se izdelali prvi testni oklepi motorja. Slednje smo nato namestili na motor, da smo lahko preverili njihovo točnost izdelave ter pritrdilna mesta (Slika 6 in 7).



Slika 6: Prvi testni oklepi motorja

Ko so bili oklepi >>vpasani<< na motor, smo jih zbrusili, skitali in pobarvali. To je osnova za prava orodja, ki smo jih dobili z odtisom teh testnih oklepov.



Slika 7: Zgoraj še grobi prototipi, spodaj pobarvani, zbrušeni in lakirani oklepi

Orodja, ki smo jih dobili sedaj, nam služijo za serijsko proizvodnjo oklepov iz steklenih in ogljikovih vlaken.



DARE, SLIKO DOBIM V SREDO!!!

Slika 6: Novi, že polepljeni oklepi čakajo na prvega naročnika [2]

3 SKLEP

Pilotni projekt je pokazal kar nekaj prednosti in slabosti nove tehnologije izdelave kalupov na podlagi skeniranih podatkov in vzratnega inženirstva.

Slabost je definitivno precej daljši potreben čas do izdelave prvih testnih oklepov.

Prednosti se pokažejo šele kasneje, ker je na samih oklepih dosti manj dodelav in predelav. Ko po stari tehnologiji izdelamo prve prototipne oklepe, jih šele naknadno predelujemo tako, da ustrezajo tudi športni verziji izpušnega sistema in hladilnika. Težave pri stari ročni izvedbi so še večje, če je odstopanje med standardno in športno izvedbo precejšnje, saj morajo biti oklepi izdelani tako, da ustrezajo obema verzijama.

Pri novi tehnologiji se je kot zelo zamudno pokazalo predvsem vzratno inženirstvo, saj so oklepi narejeni iz velikega števila prostih površin, ki niso najlažje za izvedbo 3D premodeliranja.

Prostora za izboljšave je še ogromno. Želja je, da bi lahko prišli direktno do proizvodnih kalupov brez vmesne faze prototipnih kalupov. Ampak to je možno le ob predpostavki, da bodo 3D modeli oklepov 100% dodelani in preiščeni. Da pa lahko zmodeliramo take 3D modele, moramo imeti na voljo vse verzije športnih izpušnih sistemov in vse verzije športnih hladilnikov. Seveda ob dejstvu, da dodobra poskeniramo vsa montažna mesta motorja kot tudi standardne oklepe.

Viri:

[1] Arhiv slik TECOS/Botolin

[2] Arhiv slik Karbonin/Kuduz

PREIZKUS NATANČNOSTI DENTALNEGA TRIRAZSEŽNEGA OPTIČNEGA SKENERJA

Tomaž BRAJLIH, Špela EKSELENSKI, Urška KOSTEVŠEK, Igor DRSTVENŠEK
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Prispevek predstavlja rezultate preizkusa natančnosti trirazsežnega optičnega skenerja, ki se uporablja v procesu računalniško integrirane izdelave fiksnih protetičnih konstrukcij v dentalni medicini. Namen 3D skeniranja je zajeti geometrijo realnega objekta in zbrane podatke prenesti v digitalno obliko. Tako je omogočeno nadaljne spreminjanje modela v računalniških programih, s čimer je proces modeliranja konstrukcije bistveno skrajšan. Glede na področje uporabe, je od skenerja zaželeno enostavno upravljanje. Hkrati se pretirana natančnost ne pričakuje, saj je vsaka izmed protetičnih konstrukcij izdelana individualno za stranko in po potrebi ročno prilagojena s strani dentalnih protetikov. Cilj preizkusa je bil postaviti okvir natančnosti 3D-skenerja, saj nas je zanimalo s kolikšno natančnostjo bi ga lahko uporabljali za meritve v strojništvu. V prispevku je opisan preizkus in podani rezultati, hkrati z obrazložitvijo, čemu je prišlo do odstopanj. Prikazani so problemi in morebitne rešitve, ki bi utegnile vplivati na natančnost meritev.

1 UVOD

Trirazsežni optični skener je naprava, ki analizira realne objekte ali okolje z namenom zbrati podatke o njegovi obliki in dimenzijah. Skeniranje poteka po principu projiciranja črtastega vzorca svetlobe na objekt in snemanje deformacije tega vzorca s sistemom digitalnih kamer. Zbrani podatki so nato v programski opremi skenerja uporabijo za izdelavo trirazsežnega računalniškega modela skeniranega objekta [1].

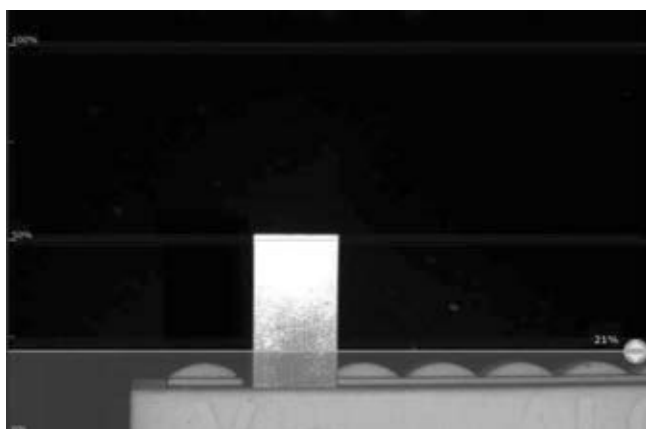
Skener, uporabljen pri meritvah v tej nalogi, je zobotehnični skener znamke OrtoSCAN, specializiran za enostavno skeniranje v namene digitalnega modeliranja zobno-protetičnih nadomestkov. Skeniranje poteka po principu triangulacije posnetkov deformacije vzorca iz dveh kamer pod točno znanim kotom glede na smer projiciranja, kar omogoča skeniranje zahtevnejših oblik površin žepov in utorov, samokalibracijo in posledično natančnejše rezultate. Za projekcijo črtastega vzorca svetlobe se pri skenerju OrtoSCAN uporablja LED projektor z belo svetlobo, kar omogoča večjo natančnost in zanesljivost kot skeniranje z laserskim snopom. Izostrene črte vzorca so zagotovljene na podlagi optimiranja nastavitve projektorja in usklajenih nastavitvev obračanja objekta in kamer z visoko ločljivostjo [2].

2 PREIZKUS

Cilj preizkusa je bil postaviti okvir natančnosti 3D-skenerja, saj nas je zanimalo s kolikšno natančnostjo bi ga lahko uporabljali za meritve v strojništvu. Odločili smo se, da bomo za preizkus uporabili merilne kladice od 10 do 60mm. Te smo vpeli na podlago skenerja s pomočjo vmesne vpenjalne priprave. Ta je prilagojena dimenzijam komore skenerja in prilagodljiva za različne dimenzije merjencev.

Pred začetkom skeniranja se v pojavnem oknu programskega okolja Dental Scanner prikaže možnost določitve obsega meritve. Na zaslonu se izriše posnetek stanja znotraj skenerja ter vodoravna črta, ki jo je mogoče premikati vertikalno ter s tem določiti spodnjo linijo obsega meritev. Če smo pri meritvah pustili vodoravno črto v spodnji legi (0%), je območje skeniranja obsegalo ne le merilno kladico, pač pa tudi velik del vpenjalne plošče. V tem primeru je algoritem programske opreme skenerja sestavljal posamezna skeniranja na podlagi prekrivajoče geometrije merilne kladice in vpenjalne plošče. Tiste meritve, kjer smo horizontalno črto premaknila preko vpenjalne plošče in s tem zmanjšala območje skeniranja na le merilno kladico pa je algoritem programske opreme pri poravnavi posameznih skeniranj v en računalniški

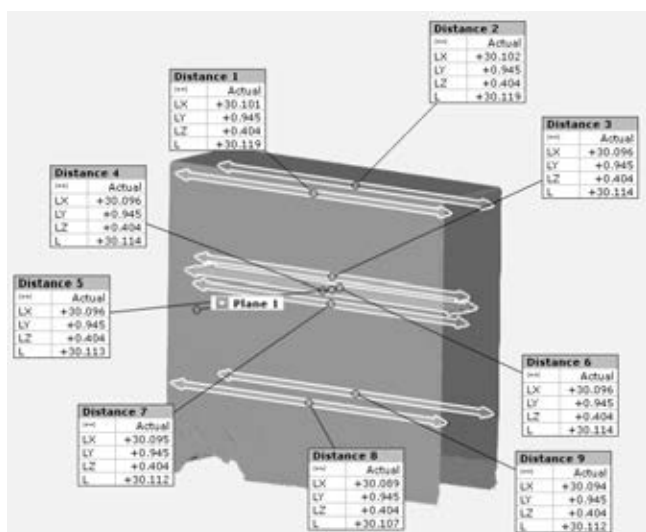
model upošteval samo geometrijo merilne kladice (Slika 1).



Slika 1: Izbira merilnega področja

2.1 Obdelava podatkov

Dobljenim skeniranim 3D modelom merilnih kladic je bilo v namene ugotovitve odstopanj potrebno določiti dimenzije, za ker smo uporabili program GOM Inspect. Za vsako izmed kladic je bilo potrebno opraviti določitev izmerjenih dimenzij posebej (Slika 2).



Slika 2: Obdelava merilnih rezultatov

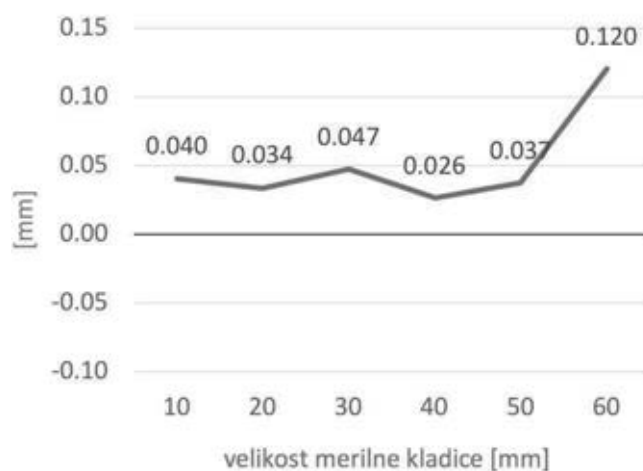
Prvi korak pri določitvi dimenzij je prenos STL datoteke v programsko okolje GOM Inspect. Razdaljo merimo med dvema ravninama, ki določata imensko mero merilne kladice. Ena izmed teh ravnin je določena kot ploskev, druga služi za določitev točk. Ravnina, katera bo služila kot ploskev, nastane na podlagi povprečnih vrednosti celotne izmerjene površine. Na drugi

ravnini se izberejo točke, za vsako izmed meritev kladic v istem številu (9) in istem vrstnem redu. Med točkami in ravnino se nato v normalni smeri izračunajo razdalje. Slika 2 prikazuje kladico velikosti 30 mm, s pripadajočimi točkami in razdaljami od prilagojene ravnine. Številka razdalje predstavlja razdaljo med obema ploskvama, ki določata nominalno vrednost kladice. Za razdaljo se gleda vrednost, označena s simbolom L, torej zadnja v vsaki razpredelnici rezultatov, ki predstavlja normalno razdaljo posameznih točk od ravnine.

2.2 Rezultati

Rezultati meritev so razdeljeni v dva sklopa. Prvi sklop predstavljajo rezultati meritev, ki so nastali pri skeniranju merilne kladice skupaj z vpenjalno ploščo, drugi sklop pa predstavlja rezultate, nastala pri skeniranju le merilnih kladic, brez vključenega skeniranja vpenjalne plošče.

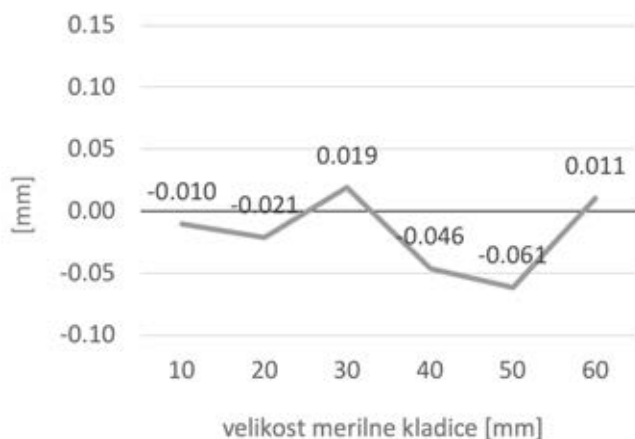
Povprečni odstopok predstavlja aritmetično sredino vseh rezultatov posameznih meritev. [9] Za vsako izmed merilnih kladic je bilo izvedenih 10 zaporednih meritev, vsaka izmed njih pa je zajemala za analizo razdalje 9 točk. Tako je bilo samo za eno kladico na voljo 90 rezultatov razdalj oz. odstopanj od nominalne razdalje merilne kladice. Za vsako kladico in vsako meritev posebej je bilo tako potrebno določiti povprečno vrednost odstopanja in rezultate spremeniti v grafično obliko. Zaradi različnih velikosti merilnih kladic so za boljšo predstavbo rezultati podani v obliki odstopanj od nominalnih vrednosti merilnih kladic.



Slika 3: Povprečna odstopanja pri meritvah z vključeno vpenjalno ploščo

Slika 3 predstavlja rezultate povprečnih odstopanj meritev, ki so nastala z vključenim skeniranjem vpenjalne plošče. Za najbolj natančno izmerjeno se izkaže merilna kladica velikosti 40 mm, kjer znaša povprečno odstopanje 0,026 mm. Najmanj natančni rezultati se pojavijo pri rezultatih meritev merilne kladice velikosti 60 mm, kjer znaša povprečno odstopanje od nominalne vrednosti merilne kladice 0,120 mm.

Slika 4 predstavlja rezultate povprečnih odstopanj meritev, kjer v obseg skeniranja vpenjalna plošča ni bila vključena. Najmanjša povprečna odstopanja od nominalnih vrednosti merilne kladice je ugotovljena pri analizi rezultatov merilne kladice velikosti 10 mm, kjer znaša povprečno odstopanje -0,010 mm. Največje povprečno odstopanje se pojavi pri merilni kladic velikosti 50 mm in znaša -0,061 mm. Predvidena natančnost rezultatov meritev 0,1 mm v primeru povprečnih odstopanje drugih meritev, kjer v obseg skeniranja vpenjalna plošča ni vključena, ni presežena.

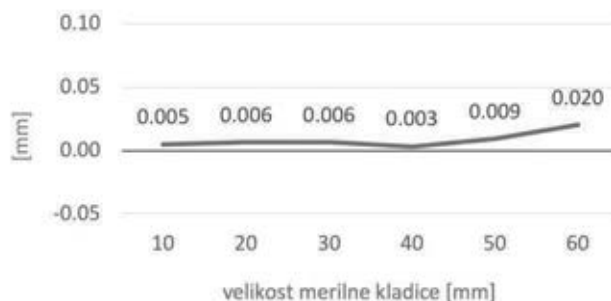


Slika 4: Povprečna odstopanja pri meritvah brez vključene vpenjalno plošče

Standardni odklon je statistični kazalec, s katerim je mogoče izmeriti razpršenost vrednosti, vsebovane znotraj populacije oz. nabora podatkov [3].

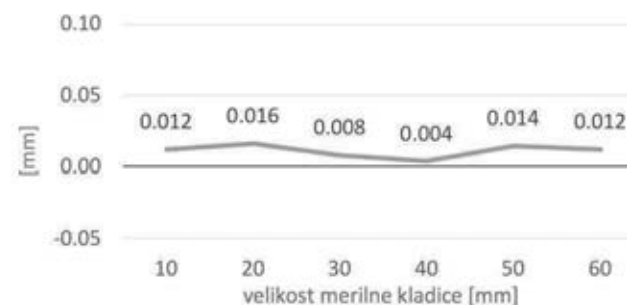
Standardni odklon meritev, kjer je vpenjalna plošča vključena v obseg skeniranja, predstavlja slika 5. Najbolj razpršeni podatki se pojavljajo v primeru rezultatov merilne kladice velikosti 60 mm, saj znaša standardni odklon 0,020 mm in v primerjavi z ostalimi rezultati nekoliko izstopa. Merilna kladica velikosti 40 mm pa predstavlja

najbolj zgoščene rezultate meritev, saj znaša standardni odklon 0,003 mm.



Slika 5: Standardni odklon pri meritvah z vključeno vpenjalno ploščo

Standardni odklon, kjer vpenjalna plošča ni bila vključena v obseg skeniranja, je predstavljen na sliki 6. Največji standardni odklon predstavljajo rezultati merilne kladice velikosti 20 mm in znaša 0,016 mm. Najmanjši raztros podatkov dajejo rezultati merilne kladice velikosti 40 mm in sicer znaša standardni odklon 0,004 mm. Skupni razpon standardnega odklona v primeru drugih meritev, kjer vpenjalna plošča v obseg skeniranja ni vključena znaša 0,012 mm.

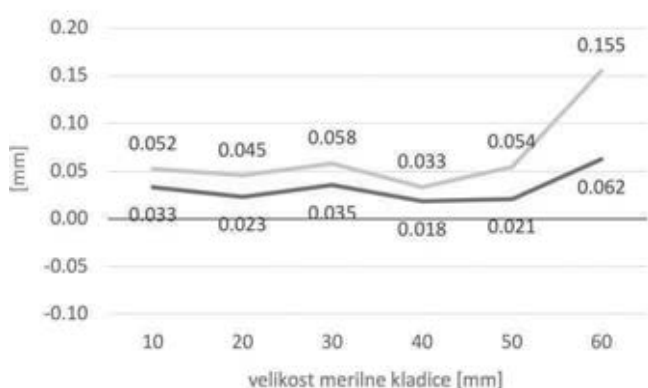


Slika 6: Povprečna odstopanja pri meritvah brez vključene vpenjalno plošče

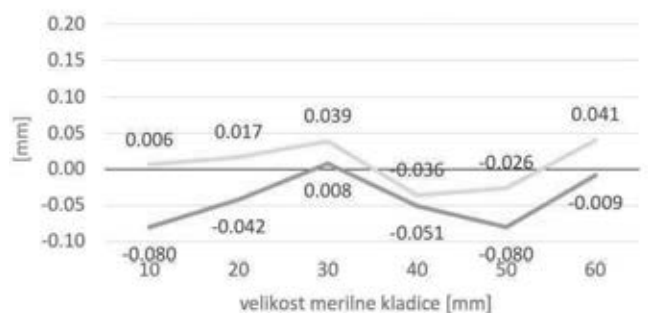
Sliki 7 in 8 predstavljata največje in najmanjše vrednosti merjenj posameznih točk glede na postopek merjenja opisanega v prejšnjem poglavju. Kot v primeru prvih meritev, so tudi tukaj zaradi različnih velikosti merilnih kladice za boljše predstavbo rezultati podani v obliki odstopanj od nominalnih vrednosti merilnih kladic.

Obseg natančnosti meritev, kjer je v proces skeniranja bila vpenjalna plošča vključena, podaja slika 7. Največja izmerjena vrednost

odstopka znaša 0,115 mm v primeru merilne kladice velikosti 60 mm in izrazito izstopa v primerjavi z ostalimi vrednostmi. Najmanjša vrednost odstopanja se pojavi pri merilni kladici velikosti 40 mm in znaša 0,018 mm. Razpon natančnosti meritev se tako nahaja med 0,155 mm in 0,018 mm, kar skupno znaša 0,137 mm. Rezultati merilne kladice velikosti 60 mm imajo najširši razpon vrednosti, ki znaša 0,093 mm, najmanjši razpon se pojavi pri rezultatih merilne kladice velikosti 40 mm in znaša 0,015 mm.



Slika 7: Območje natančnosti pri meritvah z vključeno vpenjalno ploščo



Slika 8: Povprečna odstopanja pri meritvah brez vključene vpenjalne plošče

Obseg natančnosti drugih meritev, kjer v obseg skeniranja vpenjalna plošča ni vključena, predstavlja slika 8. Največja vrednost odstopanja se pojavi pri merilni kladici velikosti 60 mm in znaša 0,041 mm, najmanjša vrednost je izmerjena pri merilni kladici velikosti 10 mm oz. 50 mm, saj oba rezultata odstopanj zavzemata vrednost -0,080 mm. Razpon meritev tako skupno znaša 0,121 mm. Največji razpon meritev posamezne kladice se pojavi pri rezultatih merilne kladice velikosti 10 mm in znaša 0,086 mm, najmanjši pa

pri rezultatih meritev merilne kladice velikosti 40 mm in znaša 0,015 mm.

3 SKLEP

Rezultati opisanega preizkusa optičnega skenerja OrtoScan z merjenjem merilnih kladic podajajo okvirne vrednosti natančnosti, ki jo lahko pričakujemo.

Večina rezultatov meritev je znotraj pričakovane natančnosti 0,1 mm odstopanja od nominalnih vrednosti merilnih kladic. Večja odstopanja so se pri meritvah pojavila pri merilni kladici velikosti 60 mm. Vzrok za takšna odstopanja je verjetno v tem, da je velikost te kladice že na mejah merilnega volumna skenerja. Zanimive so predvsem razlike med rezultati skeniranja glede na to ali je bila vpenjalna plošča vključena v obseg skeniranja in obdelave podatkov ali ne. Opazimo lahko, da v primerih brez vpenjalne plošče dobimo manjše vrednosti meritev merilnih kladic, ki so tudi bližje nominalni vrednosti njihovih velikosti. Po drugi strani pa je v primerih meritev, kjer je vključena vpenjalna plošča manjši raztros rezultatov in tudi ožji obseg največjih in najmanjši izmerjenih vrednosti. Zaradi tega lahko sklepamo, da na natančnost meritve pri optičnem skeniranju ne vpliva samo način skeniranja, ampak tudi način po-obdelave podatkov pri sestavljanju posameznih skeniranj v celoten objekt. Predvidevamo lahko, da je boljša ponovljivost meritev posledica tega, da je pri sestavljanju skeniranj algoritem imel na voljo več podatkov o skenirani geometriji v primeru vključene vpenjalne plošče. Večja pozitivna odstopanja od nominalne vrednosti pa so verjetno posledica uporabe nanosa prekrivnega sloja zaradi bleščeče površine kovinskih kladic.

Viri:

- [1] Brajliah, T, Tasič, T, Drstvenšek, I, Valentan, B, Hadžistević, M, Pogačar, V, Balič, J, Ačko, B: Possibilities of using three-dimensional optical scanning in complex geometrical inspection, *Strojniški vestnik* 57(2011) 11, str. 826-833.
- [2] 3Dmed skener OrtoSCAN (<http://www.3dmed.si>).
- [3] Ačko, B.: *Meroslovje in kakovost*, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2011.

TEHNIČNE ZAHTEVE ZA ORODJA – KLJUČ DO KVALITETNEGA ORODJA IN IZDELKA

Aleš ADAMLJE

Hella Saturnus Slovenija d.o.o.

IZVLEČEK

Kompleksnost izdelkov iz termoplastov narašča, posledično narašča tudi kompleksnost orodij. Pravilen koncept in konstrukcija orodja imata signifikanten vpliv na produktivnost v proizvodnji in vzdrževanju orodja. Za pripravo pravilnega koncepta orodja so ključne tehnične zahteve za orodje, ki jih pripravi naročnik orodja. V tehničnih zahtevah za orodje naročnik specificira vse zahteve izdelka in orodja, ki so osnova orodjarjem za pripravo ponudbe in konstrukterjem orodja za izdelavo koncepta orodja. S tem si naročnik zagotovi primerljive tehnične ponudbe vseh orodjarjev.

V prispevku bodo predstavljene osnove za izdelavo tehničnih zahtev, vpliv izbranih rešitev na ceno in primeri rešitev za posamezne sisteme orodij ter njihove prednosti in slabosti.

1 UVOD

Orodje za brizganje je ključni element procesa brizganja, ki nam omogoča proizvodnjo izdelkov v planiranem času cikla in ustrezni kvaliteti brez neplaniranih zastojev in izmeta. Cene orodij za brizganje so visoke in v določenih primerih lahko dosežejo stroške investicije v stroj za brizganje in periferno opremo, zato si napake v zasnovi ali izdelavi orodja ne moremo privoščiti. Orodje za brizganje je, za razliko od strojev in periferne opreme v procesu brizganja, unikatno in izdelano za vsak izdelek posebej. Kompleksnost izdelkov iz leta v leto narašča, posledično narašča tudi kompleksnost orodij. Na sliki 1 je prikazana primerjava kompleksnosti žarometov VW golf za posamezne generacije avtomobila. Iz slike se vidi, da kompleksnost žarometov tako z vidika števila polizdelkov iz polimernih materialov vgrajenih v žaromet, kot tudi kompleksnost le teh z vsakim novim modelom narašča. Z naraščajočo kompleksnostjo izdelkov se je povečala tudi potreba po pripravi detajlnejših tehničnih zahtev za orodje, saj orodjar ne pozna vseh zahtev končnega kupca, ki jih mora izdelek izpolnjevati.

Za konstrukcijo in izdelavo orodij so na voljo osnovna priporočila, ki so zelo ohlapna in z upoštevanjem le – teh ni zagotovila, da z delovanjem orodja v celotni življenjski dobi izdelka ne bomo imeli težav. Poznavanje zahtev

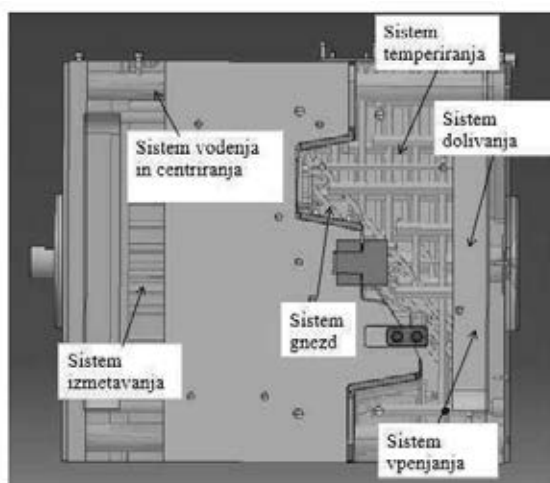
izdelka in pričakovanj kupca je ključno pri zasnovi in izdelavi orodja. Orodjar nima stika s kupcem in s tem običajno ne pozna vseh zahtev izdelka, zato je priprava tehničnih zahtev za orodje s strani naročnika nujna že v fazi priprave ponudbe. S tehničnimi zahtevami za orodje definiramo vse sisteme orodja (Slika 2) in posamezne detajle, ki ključno vplivajo na ponudbeno ceno orodja in kasneje na zasnovo in izdelavo orodja.



Slika 1: Izvedbe žarometov VW Golf

S pravilno pripravljenimi tehničnimi zahtevami orodja je koncept orodja definiran in s tem so ponudbe, ki jih pripravijo orodjarji, primerljive. S tem se že v fazi pregleda koncepta orodja izognemo različnim pričakovanjem naročnika orodja in orodjarja glede izvedbe posameznih sistemov orodja in posameznih

detajlnih rešitev, ki ključno vplivajo na funkcionalnost orodja v celotni življenjski dobi.



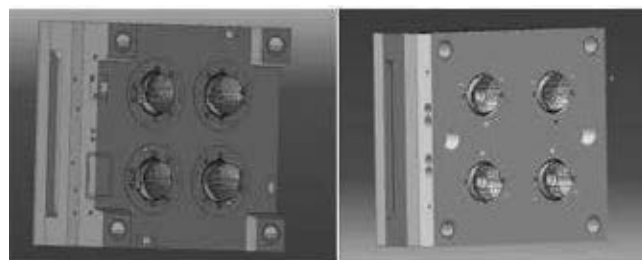
Slika 2: Glavni sistemi orodja

Za nas kot naročnika orodja je ključno funkcionalno orodje, ki bo omogočalo proizvodnjo izdelkov v planiranem času in kvaliteti brez zastojev in neplaniranih popravil, za orodjarja pa so ključni stroški izdelave orodja, izvedljiv koncept z vidika razpoložljive strojne opreme in robustnost orodja, da se izogne morebitnim dodatnim stroškom popravil orodja v času garancijske dobe. Naročniki orodja običajno ne poznamo vseh detajlov izdelave orodja in omejitev, ki pri tem nastajajo, orodjarji pa ne poznajo vseh zahtev izdelka ter omejitev v procesu brizganja, zato je priprava podrobnih tehničnih zahtev nujna. Na ta način orodjar pripravi ponudbo v skladu z našimi pričakovanji, hkrati lahko pripravi tudi pripombe na predlagan koncept, ki smo ga definirali v zahtevah. Z zahtevami orodjarju omogočimo, da preveri ali ima na razpolago ustrezno strojno opremo in znanje za izdelavo orodja. Zahteve kupcev glede estetske kvalitete izdelkov, geometrijska zahtevnost izdelkov, zahtevane tolerance izdelkov, velikost izdelkov in pričakovanja naročnikov orodij so različna in posledično se spreminja tudi zahtevnost izdelave orodja. Ključno je, da orodjar v fazi ponudbe kritično oceni ali je sposoben izdelati orodje v predvidenem času in kvaliteti glede na znanje ter razpoložljivo strojno opremo. Zelo pomembno je, da tudi naročniki orodij na podlagi preteklih izkušenj z orodjarjem ocenimo ali je le – ta

sposoben izdelati orodje v skladu z našimi zahtevami. S tem se izognemo različni interpretacijam glede koncepta in kvalitete orodja. Tehnične zahteve za orodje nam omogočijo tudi standardizacijo orodij, predvsem standardnih delov in uvedbo standardnih rešitev, kar nam zniža stroške zagona in vzdrževanje orodij. Pomembno je, da naročniki v tehničnih zahtevah navedemo vse interne standarde za orodja, s katerimi razpolagamo, in že v fazi priprave ponudbe za orodje orodjarjem posredujemo končne 3D modele izdelka. Geometrijske spremembe izdelka, ki jih izdelamo po oddaji ponudb orodjarjem, običajno zahtevajo izdelavo novih tehničnih zahtev in ponovno kalkulacijo orodij.

2 PRIPRAVA TEHNIČNIH ZAHTEV ZA ORODJE

Za pripravo tehničnih zahtev za orodje smo odgovorni naročniki orodja. Glede na planirane količine izdelkov v življenjski dobi orodja in planirana sredstva za izdelavo orodja, pripravimo tehnične zahteve, s katerimi določimo optimalen koncept orodja. Za enak izdelek se lahko odločimo za različne koncepte orodja, ki imajo vpliv na ceno orodja. Na sliki 3 sta predstavljena dva različna koncepta orodij podobnih izdelkov, pri katerih se zaradi različne zasnove orodij cena orodij signifikantno razlikujeta. Tekom večletne proizvodnje se je pokazalo, da je koncept 2 z vidika vzdrževanja orodij in izpadov proizvodnje zaradi zastojev boljši. Razlika v ceni orodja se na račun nižjega izmeta, nižjih stroškov vzdrževanja in popravil povrne večkratno.



Slika 3: Različna koncepta orodij podobnih izdelkov

Ključni podatki, ki jih moramo naročniki preveriti interno in so osnova za določitev kompleksnosti izdelka in izdelavo tehničnih

zahtev za orodje, so podatki o tipu izdelka, gabaritih izdelka, kompleksnosti geometrije in predvidenih končnih obdelavah površin izdelka. Posledično definirajo velikost obdelovalnih strojev in tehnologij, ki jih bo potrebno uporabiti pri izdelavi orodja. Orodjarji razpolagajo z različno strojno opremo in posledično tehnologije izdelave orodij niso pri vseh orodjarjih enake. Za izdelavo tehničnih zahtev uporabimo interne tipizirane obrazce, ki omogočajo detajlno pripravo zahtev.

Tehnične zahteve morajo vsebovati podatke o:

- stanju 3D modela izdelka,
- vrsti izdelka,
- končnih obdelavah površin izdelka,
- terminih izdelave prvih izdelkov iz orodij in terminu dokončanja orodja,
- planiranem materialu polizdelka,
- rezultatih reoloških analiz polizdelka,
- podatkih o planiranem stroju za brizganje in napravi za odvzem izdelka iz orodja,
- predvidenem tipu orodja, izvedbi orodja in številu gnezd v orodju
- predvidenem tipu materialov uporabljenih za posamezne dele ogrodja orodja, oblikovnih delov orodja, gibljivih delov orodja, vložkov in ostalih funkcionalnih delov orodja ter zahtevani trdoti posameznih delov orodij,
- predvideni izvedbi hladno kanalnega sistema in tipu ter izvedbi toplo kanalnega dolivnega sistema,
- implementaciji senzorjev za merjenje temperature in tlaka v orodju,
- številu in izvedbi stranskih pogonov,
- predvidenih obdelavah vseh površin izdelka,
- izvedbi odzračevanja orodja,
- uporabi tlačnih ploščic na zaklepnih in delilnih površinah,
- uporabi izolirnih plošč,
- številu in tipu izmetačev ter načina vodenja in varovanja sistema izmetavanja,
- izvedbi sistema temperiranja za vsa področja izdelka,
- načinu vpetja orodja na stroj,
- potrebni periferni opremi orodja za manipulacijo z orodjem ter tipu priključnih elementov za temperirne sisteme, hidravliko in elektriko,

- podatke o zahtevani kvaliteti in odobrenih dobaviteljnih standardnih elementov, ki jih je potrebno vgraditi v orodje,
- dovoljenih masteh za mazanje gibljivih delov orodij,
- zaščiti orodja pred korozijo v primeru transporta orodja,
- potrebnem številu in izvedbi vložkov za posamezno gnezdo v orodju,
- postopku toplotnih obdelav na oblikovnih delih orodja,
- zahtevani dokumentaciji za orodje,
- dodatni opremi na orodju,
- ostalih specifičnih zahtevah za orodje.

Podatek o stanju 3D modela izdelka na dan ponudbe je ključnega pomena, tako za naročnika kot tudi orodjarja, ki pripravlja ponudbo. Za natančno ponudbo mora biti 3D model izdelka v zadnji fazi detajliranja. Spremembe delilne ravnine izdelka, dodatne geometrije na izdelku, sprememba smeri odpiranja orodja, spremembe predvidene strukture ali kvalitete površin na izdelku in spremembe gabaritov vplivajo na izvedljivost orodja in ceno orodja. Ker se nabor izdelkov tako po velikosti kot zahtevah, ki jih morajo izpolnjevati, širi, so se tudi orodjarji specializirali za izdelavo orodij določenih velikostnih razredov in določenih tipov izdelkov. Na ta način orodjarji strojno opremo s katero razpolagajo optimalno izkoristijo in s tem znižajo stroške proizvodnje orodij. V industriji svetlobne opreme je v zadnjih letih prisoten trend povečevanja gabaritov izdelkov – še posebej globine izdelkov, s čimer se pojavlja potreba po strojih, ki omogočajo obdelavo oblikovnih plošč večjih gabaritov, še posebej globine. Orodjar mora v fazi ponudbe preveriti ali bo glede na gabarit izdelka lahko izdelal oblikovne dele orodja na svojih obdelovalnih strojih. Ključnega pomena za orodjarja in nas naročnikov pri oceni sposobnosti izdelave orodja je dosegljiva natančnost obdelave na strojih, s katerimi razpolaga orodjar. V primeru zahtev izdelka po visokem sijaju in hkrati optičnih zahtevah za izdelek mora biti dosežena dimenzijska natančnost površine in hrapavost površine po strojni obdelavi na nivoju, ki ne zahteva dodatnega ročnega poliranja ali pa je potreba po ročnem poliranju minimalna. S tem se izognemo dodatnim odstopkom na geometriji izdelka, ki so

posledica dodatne ročne obdelave s poliranjem. Naročniki moramo v tehničnih zahtevah definirati dovoljena odstopanja na funkcionalnih površinah izdelka, orodjar pa predvidene tolerance v ponudbi upoštevati. V avtomobilski industriji se vedno pogosteje pojavljajo zahteve po strukturiranih površinah, ki jih v orodju izdelajo specializirana podjetja. V primeru zahtev po strukturiranih površinah moramo v tehničnih zahtevah navesti tip strukture in dobavitelja, ki bo strukturo izdelal, saj mora biti struktura in dobavitelj le te pri končnem kupcu odobrena. Strošek izdelave strukture je odvisen od velikosti in tipa strukture zato mora orodjar že v fazi priprave ponudbe pridobiti tudi ceno izdelave le – te in izvedljivost strukture v orodju direktno pri dobavitelju.

Termini dobav prvih polizdelkov iz orodja in predviden termin zagona orodja v proizvodnji, ki jih definiramo v tehničnih zahtevah, so ključnega pomena, tako za naročnika orodja kot končnega kupca. Termini orodjarju omogočajo izdelavo terminskega plana izdelave in optimizacije orodja, ki je osnova za kontrolo stanja izdelave orodja s strani naročnika.

Natančna specifikacija materiala izdelka, ki jo definiramo v tehničnih zahtevah je pomembna, tako z vidika simulacij brizganja, analize posameznih sistemov v orodju kot tudi definiranja skrčka v orodju in tehnoloških parametrov predelave materiala, ki jih bo orodjar uporabil na prvem preskusu orodja. Navedba skupine termoplastov, v katero spada predviden material, ne zadostuje za izdelavo orodja. Reološke lastnosti materialov in skrčki posameznih materialov se znotraj posamezne skupine termoplastov spreminjajo. Reološke lastnosti materiala signifikantno vplivajo na tečenje materiala v kalupu, izbira skrčka materiala pa ima signifikanten vpliv na dimenzije izdelka in dimenzijska odstopanja na izdelku v primeru izbire napačnega skrčka materiala v fazi konstrukcije orodja. Skrček določimo naročniki orodja v tehničnih zahtevah glede na priporočila proizvajalca materiala za izbran tip materiala, dimenzije izdelka ter izkušnje na podobnih izdelkih. V primeru izdelave izdelkov iz materialov polnjenih s steklenimi vlakni je vrednost skrčka v vzdolžni in prečni smeri različna zato je v teh primerih še posebej

pomembno, da skrček določimo glede na obliko izdelka in pozicijo dolivnega mesta. Simulacije brizganja polizdelka z naraščajočo kompleksnostjo izdelkov postajajo nepogrešljiv člen v razvoju izdelka. V tehnične zahteve moramo za kompleksnejše izdelke vključiti zahtevo za izdelavo simulacije brizganja, pri kateri moramo uporabiti tehnološke parametre na podlagi izkušenj iz preteklih projektov. Če simulacijo brizganja polizdelka izvedemo sami, rezultate simulacije vključimo v tehnične zahteve za orodje. S tem zagotovimo, da bodo rezultati simulacije brizganja primerljivi z dejanskimi rezultati v proizvodnji.

Podatki o stroju, na katerem bomo izdelek brizgali, je za konstrukcijo orodja ključen, saj definira minimalno in maksimalno velikost orodja ter maksimalno razdaljo med vpenjalnimi ploščami na stroju, podatke o načinu vpetja orodja na stroj, naslonu šobe stroja na orodje, načinu povezave izmetalnega sistema na stroj, poziciji vodil stroja in posledično omejitve glede pozicije električnih, hidravličnih in pnevmatskih priključkov na orodju, premeru centrirnih obrocev na stroju ter podatke o tipu manipulatorja oziroma robota vgrajenega na stroj. V primeru večkomponentnih izdelkov moramo v zahtevah dodatno navesti podatke o poziciji posameznih brizgalnih enot in opremljenosti stroja z vrtljivo mizo.

Zahteva po izvedbi gravure direktno v oblikovni plošči ali z gravurnimi vložki, ki jo podamo v tehničnih zahtevah, določa velikost obdelovalnih strojev, na katerih se lahko posamezne oblikovne dele orodja izdela. Če podamo eksplicitno zahtevo po izdelavi oblikovnih delov orodij direktno v oblikovno ploščo, so gabariti oblikovnih delov orodij večji, posledično bo za končno obdelavo gravur potrebno uporabiti večje natančne obdelovalne stroje z višjo urno postavko. Specifične zahteve po dodatnem zaklepanju orodja, intenzivnejšem temperiranju orodja, dodatnih oblikovnih vložkih in poziciji izdelkov v večgnezdnem orodju, ki jih definiramo v tehničnih zahtevah, imajo dodaten vpliv na gabarite in ceno orodja ter potrebno velikost stroja za brizganje.

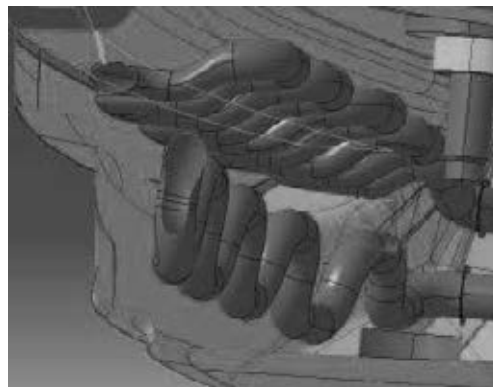
Izbira materiala za oblikovne in ostale dele orodja je odvisna od predvidene življenjske dobe orodja, izbranega materiala izdelka in velikosti

orodja. Odločitev o uporabi kaljenega ali pobožšanega jekla za oblikovne dele orodij ima velik vpliv na tehnologijo izdelave orodja in posledično tudi stroške izdelave. Zaradi zniževanja življenjske dobe izdelkov in s tem števila brizgov orodja v življenjski dobi orodja, se kaljena jekla za oblikovne dele orodij nadomešča s pobožšanimi jekli, ki so cenejša a zahtevajo, tako v fazi izdelave orodja zaradi višje trdote ob dobavi kot v sami proizvodnji in vzdrževanju in zaradi nižje končne trdote v primerjavi s kaljenimi jekli, spremenjen pristop. Zaradi nižje končne trdote pobožšanih jekel v primerjavi s kaljenimi jekli, pri katerih se kaljenje izvrši po grobi obdelavi in vrtnanju hladilnih kanalov, v proizvodnji hitreje prihaja do poškodb na funkcionalnih površinah orodij, zato je skrbno rokovanje z orodji in vzdrževanje orodij še toliko pomembnejše. Da se izognemo negativnim učinkom uporabe pobožšanih jekel se v določenih primerih uporabi dodatne postopke utrjevanja funkcionalnih površin orodja, s katerimi povečamo trdoto na kritičnih delih orodja. Dodatne postopke moramo v zahtevah specificirati. Poleg materiala oblikovnih plošč moramo specificirati tudi materiale gibljivih delov orodja in ostalih predvidenih oblikovnih vložkov. Pri določitvi materiala za gibljive dele orodij in dodatne oblikovne vložke v oblikovnih ploščah upoštevamo specifične zahteve izdelka in orodja, običajno za materiale specificiramo jekla enake ali višje kvalitete in trdote kot so oblikovne plošče.

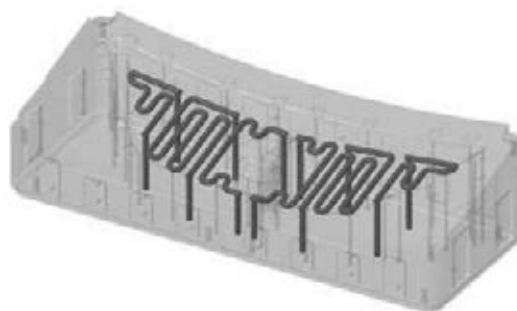
Naraščajoča kompleksnost polizdelkov in višje dekorativne zahteve polizdelkov zahtevajo inovativne pristope pri izdelavi hladilnega sistema v orodju. Za doseg ustreznih časov cikla in dimenzijsko ustreznost izdelka je enakomernost hlajenja posameznih delov orodja ključnega pomena. V izogib različnemu razumevanju koncepta hlajenja v orodja moramo v tehničnih zahtevah natančno definirati željen hladilni sistem orodja tako z vidika števila, razporeditve in premera posameznih hladilnih tokokrogov, kot tudi uporabo posebnih elementov ali konceptov hladilnih kanalov v vložkih izdelanimi s tehnologijo laserskega sintranja (Slika 4) ali z uporabo nove tehnologije konformnega hlajenja vložkov s hladilnimi kanali, ki sledijo obliki izdelka in so v primerjavi

s klasično tehnologijo izdelave hladilnih kanalov z vrtnanjem razporejeni bližje površini gravure (Slika 5).

Z izbiro števila in pozicije dolivnih točk na izdelku ter tipa dolivnega sistema v orodju signifikantno vplivamo na ceno orodja. V tehničnih zahtevah moramo določiti detajlno določiti tip dolivnega sistema in mesta dolivanja, da omogočimo orodjarju natančno oceno stroškov toplokanalnega sistema in stroškov izdelave hladnega dolivnega sistema, če je sistem dolivanja kombiniran. Na ceno toplokanalnih sistemov vpliva predvideno število in tip toplokanalnih šob ter izvedba razdelilnega bloka, zato je potrebno v zahtevah podrobno specificirati vse elemente toplokanalnega sistema. Na sliki 5 je prikazan primer tipičnega toplokanalnega sistema v orodju, ki se uproablja v industriji svetlobne opreme.



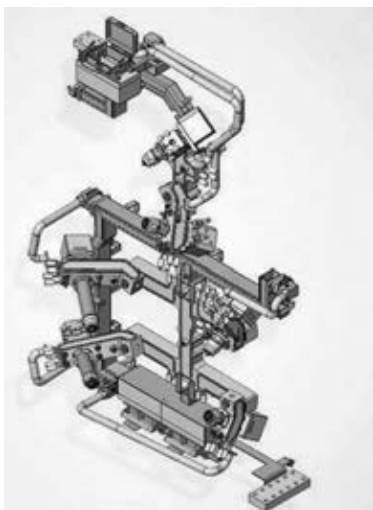
Slika 3: Izvedba hlajenja v orodju z lasersko sintranim vložkom



Slika 4: Primer predloga izvedbe konformnega hlajenja vložka s tehnologijo iTherm (HTS-IC)

Natančna specifikacija omogoča orodjarju pridobitev ponudbe od dobaviteljev sistema. Da zagotovimo primerljive ponudbe posameznih

orodjarjev in se izognemo uporabi različnih sistemov šob v posameznih orodjih in in s tem velikemu številu različnih izvedb toplokanalnih sistemov v proizvodnji, moramo v tehničnih zahtevah natančno definirati tip toplokanalnih šob in dobavitelje. S tem zagotovimo tudi lažje vzdrževanje toplokanalnih sistemov v proizvodnji. Pri hladnokanalni dolivni točki moramo definirati tip dolivka, saj se glede na izvedbo razlikujejo v zahtevnosti izdelave za nekatere izvedbe pa je potrebno uporabiti standardne vložke z že izdelanimi geometrijami dolivnih točk, ki dodatno zvišajo ceno orodja.



Slika 5: Primer toplokanalnega sistema [1].

V primeru vgradnje temperaturnih in tlačnih senzorjev v orodje moramo v tehničnih zahtevah določiti mesta vgradnje in tip senzorjev v skladu z internimi standardi.

Lasersko in kemično jedkane strukture na površinah izdelkov in površine izdelkov z visokim sijajem moramo v zahtevah natančno definirati, saj imajo pomemben vpliv na ceno in koncept orodja. Orodjar mora v fazi priprave ponudbe pridobiti ponudbo in mnenje o izvedljivosti strukture v orodju s strani specializiranih podjetij, ki se ukvarjajo z izdelavo jedkanih struktur. Način izdelave, tip in globina strukture mora biti zaradi različnih cen izdelave le teh natančno definirana. V primeru visokosijajnih površin moramo glede na zahteve izdelka specificirati maksimalno hrapavost, ki bo glede in uporabljen temoplastičen material zagotavljala ustrezno kvaliteto površine polizdelka po brizganju.

Pomemben element v orodju je izdelava odzračevanja v orodju v skladu s postavljenimi zahtevami, ki bo omogočilo brizganje brez zaplinjevanja kalupnih votlin in posledično zastojev zaradi čiščenja.

Glede na interne standarde, priporočila in izkušnje moramo v tehničnih zahtevah definirati tudi način zaklepanja in vodenja orodja, priporočila glede uporabe standardnih delov na orodjih

3 SKLEP

S tehničnimi zahtevami za orodje definiramo koncept orodja in posamezne sisteme orodij, v fazi povpraševanja pridobimo primerljive ponudbe posameznih orodjarjev in zmanjšamo razlike v pričakovanih naročnika in orodjarja glede izvedbe orodja. S kvalitetnimi zahtevami lahko glede na kompleksnost izdelka in predvidenim številom brizgov v življenjski dobi znižamo stroške izdelave in vzdrževanja orodja. Kvalitetne tehnične zahteve so osnova za partnersko sodelovanje naročnika in orodjarja in njun skupen cilj - kvalitetno orodje.

Viri:

- [1] Injection moulding: Hot runners for Auto lighting (2018, 26. April), Pridobljeno na: <https://www.ptonline.com/products/injection-molding-hot-runners-for-auto-lighting>
- [2] M.J.Gordon: Total Quality Process Control for Injection Molding, Carl Hanser Verlag, Munich,1993
- [3] Menges, G.,Mohren P.: How to make injection moulds 2nd ed., Carl Hanser Verlag, Munich,1993
- [4] Kongsberg automotive group:General Injection Mould Specifications : (2018, 26. April), Pridobljeno na: http://www.kongsbergautomotive.com/globalassets/global/downloads/for-suppliers/purchasing-conditions-and-manuals/general_injection_mould_specifications_june_2013.pdf
- [5] Fischer automotive systems: Mold standards (2018, 26. April), Pridobljeno na: http://www.fischer-automotive-systems.de/cz/PortalData/24/Resources/supplier/MoldStandards_201106284.pdf
- [6] Hasco: Specifications for injection moulds (2018, 26. April), Pridobljeno na: <https://www.hasco.com/medias/Spezififikations-moulds-EN.pdf?context=bWFzdGVyHjJvb3R8MTU2MDU0MzR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGg2MC9oMTYvOTIwNTUwODgwMDU0Mi5wZGZ8NTY2OTBiYmRiZDRiOWY0ZWE1NzIxYzlkNzc2NDJlMmE1OWUwMDVknzY0OGQxZDZiN2UwZjUxNjI3MDFiOGZlZg>

UPORABA SISTEMA ZA OKROGLO FINO CENTRIRANJE PRI IZDELAVI ORODIJ

Andrej MAČEK¹, Marjan DOBOVŠEK²

¹ SIBO GROUP d.o.o.

² VPENJALNI SISTEMI d.o.o.

IZVLEČEK

Pri orodjih za proizvodnjo izdelkov iz polimerov mora biti medsebojno centriranje orodnih plošč zelo natančno. Pri uporabi sistemov za fino centriranje smo v preteklosti uporabljali izvedbe z drsnimi vodili. Imeli smo težave z natančnostjo centriranja, obrabo vodil in velikimi stroški za vzdrževanje orodij. Z uporabo okroglega finega centriranja s prednapetimi kotalnimi elementi – valjčki, smo vse te probleme rešili.

1 UVOD

V podjetju SIBO GROUP d.o.o. proizvajamo izdelke iz polimerov, ki morajo biti izdelani v ozkih tolerancah. Temu primerna mora biti tudi točnost izdelanih oblik v orodnih ploščah in centriranje orodnih plošč pri zapiranju orodja. Zaradi velike količine izdelkov uporabljamo orodja z več gnezdi – do 192 gnezd. Pri večini naših orodij je zunanja oblika izdelka v eni, jedra z notranjo obliko izdelka pa v drugi plošči. Pri netočnem medsebojnem centriranju orodnih plošč je debelina sten na izdelku različna in izdelki niso sprejemljivi za kupca.

Predno smo pričeli z uporabo finega okroglega centriranja, smo za centriranje uporabljali enote za centriranje z drsnimi vodili. Pri uporabi teh mora biti med elementi enote za centriranje določena zračnost, ki je pri okroglem finem centriranju ni, saj je vodenje izvedeno s prednapetimi valjčnimi vodili. Poleg tega je pri drsnih vodilih prihajalo do obrabe in se je s časom medsebojna točnost centriranja orodnih plošč zmanjševala. Potrebna je bila menjava elementov za centriranje, ki pri uporabi okroglega finega centriranja ni potrebna. To zmanjša stroške pri uporabi in vzdrževanju orodja.

2 OPIS DELOVANJA OKROGLEGA FINEGA CENTRIRANJA

Posamezno enoto za okroglo fino centriranje sestavljajo trije osnovni elementi. Centrirni čep, ki je vgrajen v prvo orodno ploščo, centrirna puša in kletka z valjčki z enoto za zadrževanje valčkov. Kletka z valjčki je povezana z centrirnim čepom tako, da je pri odprtem orodju potisnjena na začetek čepa (slika 1.).



Slika 1.: Enota za okroglo fino centriranje

Kletka je iz aluminija (standard 7990/7992), pri novejših izvedbah za zahtevnejšo uporabo pa iz medenine (standard 7993).

Pri zapiranju orodja valjčki pričnejo nalegati na čep in pušo in se med njima kotalijo do končnega zapiranja orodja. Pri tem se kletka z valjčki premakne za polovico poti giba od pričetka naleganja prve vrste valjčkov med čep in pušo do končnega zapiranja orodja. Povezava med kletko in čepom to gibanje omogoča.

2.1 Konstrukcija vgradnje okroglega finega centriranja

Konstruktivske zahteve za vgradnjo enote za okroglo fino centriranje je prikazana na sliki 2. Elementi enote za okroglo fino centriranje so izdelani v ozkih tolerancah, kot je običajno pri preciznih kotalnih valjčnih vodilih. Tolerančno območje na čepu, kjer se kotali valjček je h3. Hrapavosti obdelanih površin so prikazane na sliki 2.

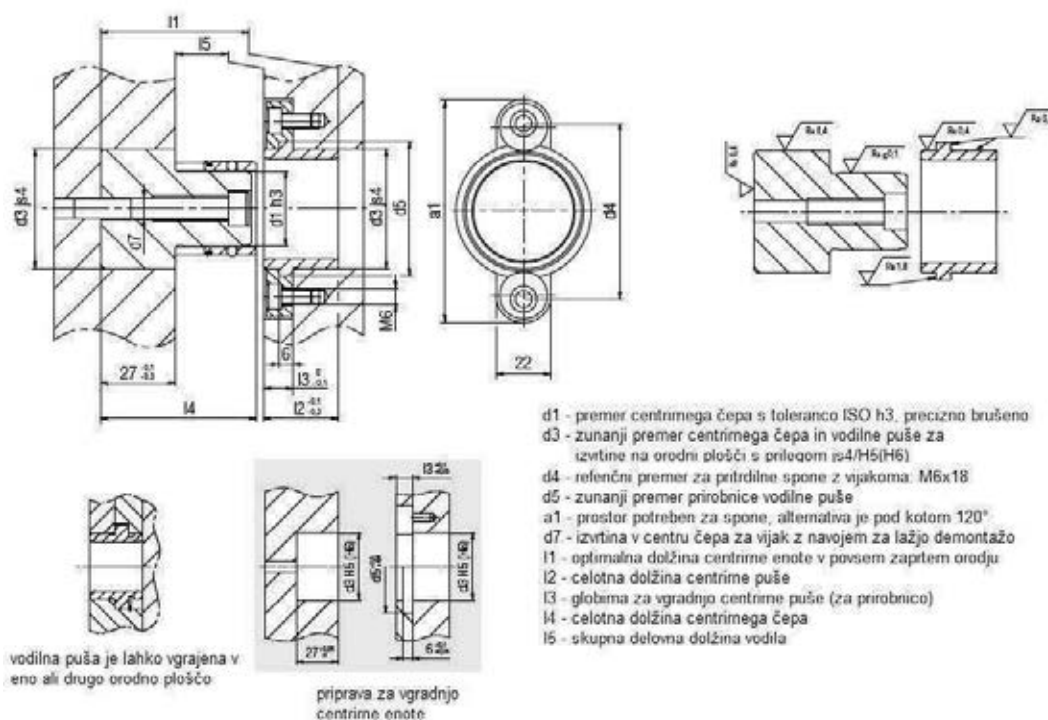
2.2 Zahteve in omejitve pri vgradnji in uporabi okroglega finega centriranja

Vgradnja enot za okroglo fino centriranja je enostavna, zahteva pa natančnost pri pripravi izvrtin za vgradnjo na orodnih ploščah. Pri

pripravi za vgradnjo morajo biti izvrtine na orodnih ploščah izdelane v tolerančnem območju H5 ali najmanj H6 (slika 2.). Odstopanje v razdalji med izvrtinami v orodnih ploščah pri zaprtem orodju ne sme presegati 0,005 mm, da ne pride do dodatnih radialnih sil pri zapiranju orodja. Odstopanje od pozicije z glavnimi vodili v posameznih orodnih ploščah ne sme presegati 0,05 mm. Posamezna enota za okroglo fino centriranje (standard 7990/7992) pa lahko popravi odmik med orodnimi ploščami do 0,15 mm.

Vgradnja centrirnega čepa in puše je izvedena z vmesnim prilegom js4/H5(H6). Tako ne pride do deformacije centrine puše in s tem spremembe v prednapetosti kotalnega elementa – valjčka. Je pa zato potrebo tako čep kot tudi pušo dodatno pritrditi z vijaki in sponami (slika 2.). Življenjsko dobo enote za okroglo fino centriranje lahko podaljšamo tako, da čep in pušo po določenem času uporabe zasučemo za 120° ali 180°.

Naslednja omejitev je v dovoljeni razliki v temperaturi med orodnima ploščama. Ta ne sme presegati 10°C. Idealno je, če je manjša od 5°C. Prevelika temperaturna razlika med ploščama ima



Slika 2.: Vgradnja enote za okroglo fino centriranje [1]

za posledico različno raztezanje orodnih plošč in s tem dodatno radialno obremenitev elementov enote za okroglo fino centriranje. Pri hlajenih orodnih ploščah lahko brez težav dosežemo zahtevano razliko v temperaturi. Elementi enote za okroglo fino centriranje prenesejo temperaturo do okrog 150°C.

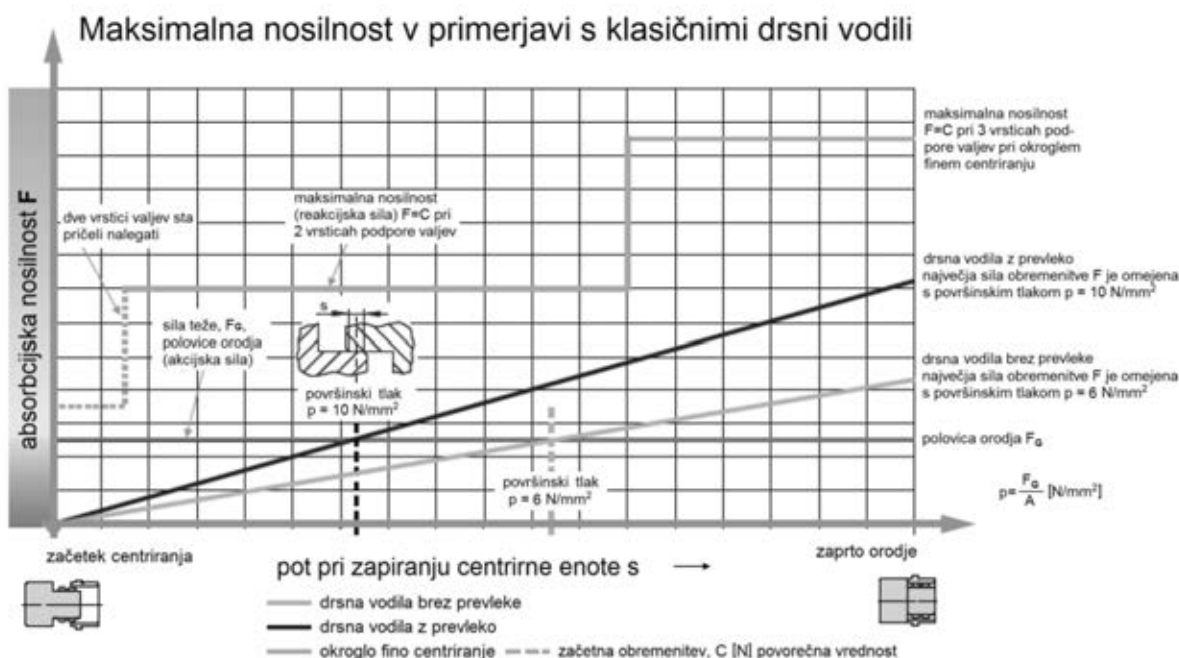
2.3 Nosilnost in fleksibilnost okroglega finega Centriranja

Velika prednost uporabe okroglega finega centriranja je pri obremenitvah, ki jo ta sistem

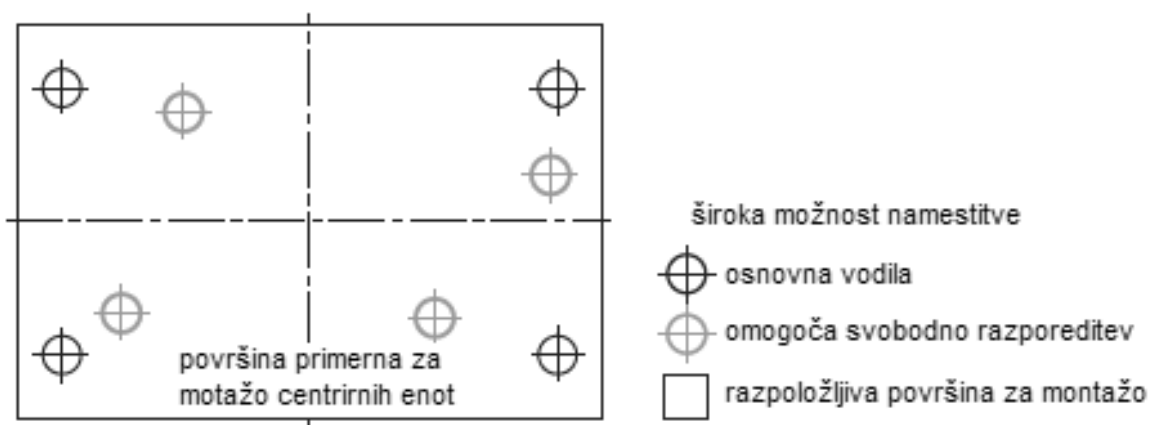
prenaša. Primerjava s sistemi z drsnimi vodili je prikazana v diagramu na sliki 3..

V diagramu je jasno vidna prednost okroglega finega centriranja s kotalnimi vodili pred izvedbami z drsnimi vodili.

Razporeditev enot za okroglo fino centriranje je odvisna od razpoložljivega prostora na orodnih ploščah. Izvedba konstrukcije enot za okroglo fino centriranje omogoča zelo veliko možnih razporeditev enot za okroglo fino centriranje na orodju (slika 4.).



Slika 3.: Diagrami nosilnosti za fino centriranje s kotalnimi in drsnimi vodili [1]



Slika 4.: Možnosti razporeditve enot za okroglo fino centriranje na orodnih ploščah [1]

3 PRIMER UPORABE OKROGLEGA FINEGA CENTRIRANJA

V podjetju SIBO GROUP d.o.o. v večini orodij za fino centriranje uporabljamo sistem za okroglo fino centriranje s kotalnimi vodili.

Pri načrtovanju konstrukcije orodja, kateri izdelek narekuje, da je izmetalna površina celotna površina po robu izdelka, uporabljamo različne rešitve, ki zagotavljajo ustrezno centriranje dolivnega in izmetalnega oblikovnega vložka.

3.1 Primer koničnega centriranja integriranega v geometrijo oblikovnih vložkov



Slika 6 in 7.: Izdelek: Pokrovček za kavo na poti

V primeru, da imamo visokognezdna orodja (32 gnezd ali več) pa ta rešitev ni več ustrezna, saj smo prostorsko omejeni. V tem primeru centriramo oblike posredno preko izmetalne plošče, na ploščo v kateri so vpeta oblikovna jedra.

3.2 Primer centriranja oblikovnih vložkov z okroglim finim centriranjem med oblikovno ploščo z jedrom in izmetalno ploščo

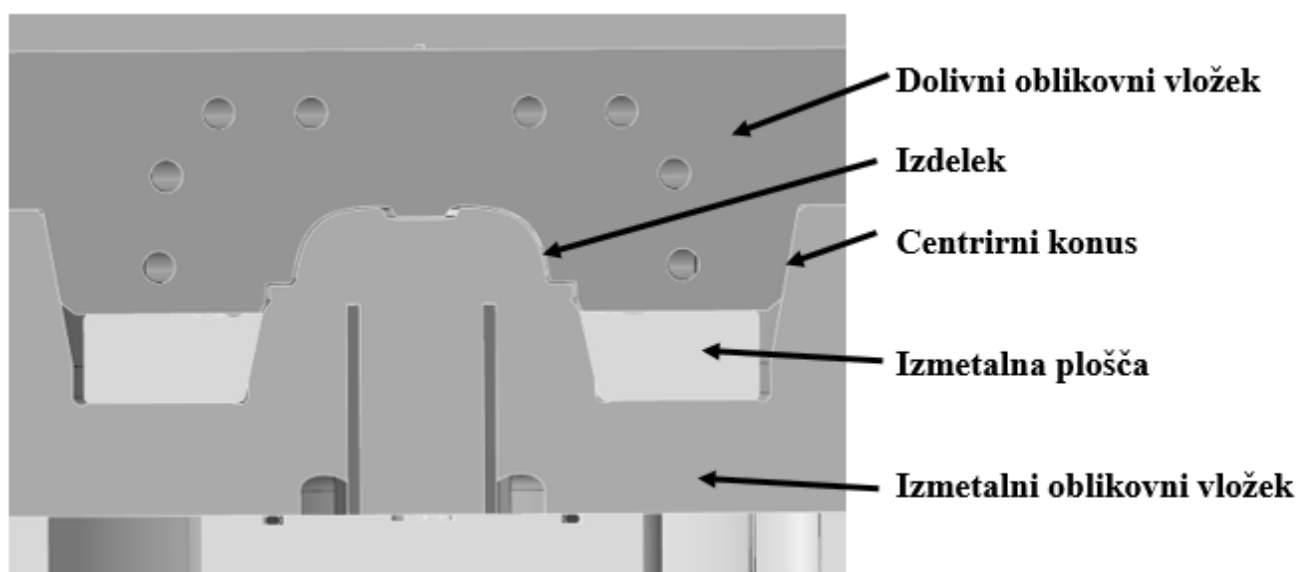
Pri tem orodju je prikazana vgradnja enote za okroglo fino centriranje med oblikovno ploščo z jedrom in izmetalno ploščo.

Konstrukcijo in vgradnjo enote za okroglo fino centriranje smo naredili po navodilih dobavitelja.

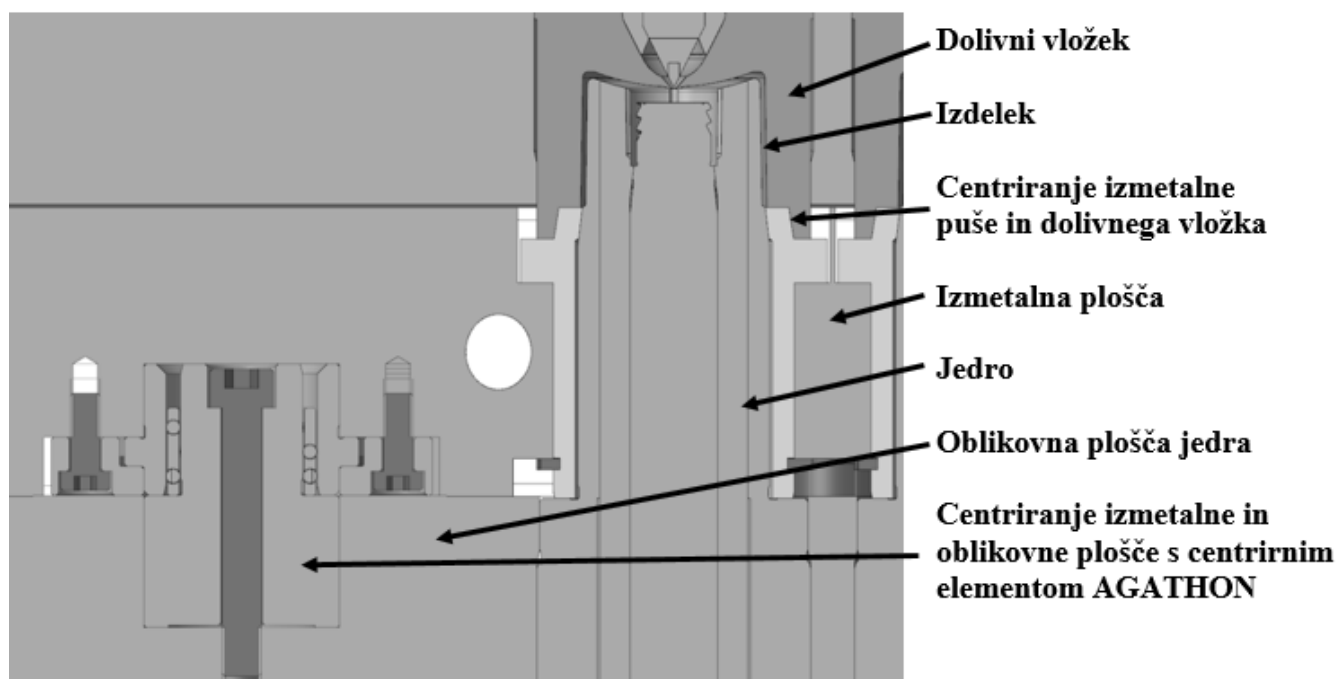
Pri tej konstrukciji so bile uporabljene štiri enote za okroglo fino centriranje s premerom čepa d1 15 mm.



Slika 9 in 10.: Izdelek: Pokrovček za zobno pasto

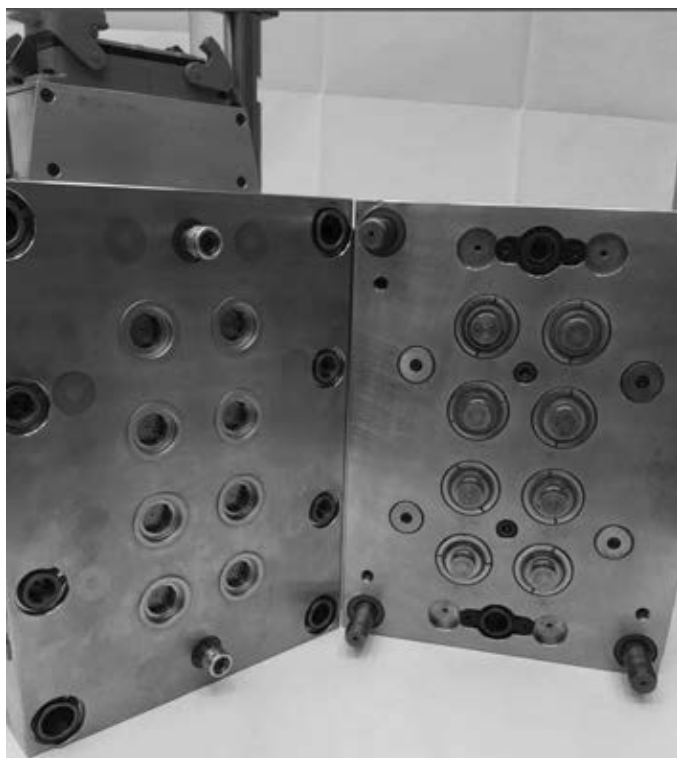


Slika 8.: Prerez oblikovnih vložkov s koničnim



Slika 11.: Prerez oblikovnih vložkov z enoto za okroglo fino centriranje v dveh ploščah

3.3 Primer dejanske vgradnje enot za okroglo fino centriranje na glavni delilni ravnini orodja



Slika 12.: Odprto orodje s z dvema enotama za okroglo fino centriranje



Slika 13.: Moški del z gibljivimi elementi enote za okroglo fino centriranje

Pri tej konstrukciji sta bili vgrajeni dve enoti za okroglo fino centriranje s premerom čepa d1 10 mm, kar pri tem orodju zadostuje.

Pri večini naših orodij, ki imajo pogosto veliko večje število gnezd, vgrajujemo po več enot za okroglo fino centriranje s premerom čepov d1 15 mm in 25 mm.

4 SKLEP

Uporaba okroglega finega centriranja proizvajalca AGATHON AG iz Švice v naših orodjih se je pokazala kot dobra in cenovno ugodna rešitev. Pri uporabi tega sistema so se pokazale naslednje prednosti:

- enostavna vgradnja z okroglimi izvrtinami, ki pa morajo biti izdelane v ozkih tolerancah,
- velika fleksibilnost pri izbiri razporeda in števila uporabljenih enot,
- zaradi uporabe prednapetih vodil med elementi za centriranje ni zračnosti,
- majhna obraba in dolga življenjska doba tudi brez mazanja,
- majhni stroški vzdrževanja,

- velika nosilnost enot okroglega finega centriranja.

Pri uporabi okroglega finega centriranja pa morajo biti izpolnjene nekatere zahteve in omejitve:

- zahtevana je majhna razlika v temperaturi med orodnimi ploščami, ki so centrirane z okrodlim finim centriranjem,
- omejitev zgornje temperature je 150°C.

Prednosti okroglega finega centriranja so tako velike, da ga uporabljamo, kot obvezen standardni element za centriranje in vodenje izmetalne plošče, pri orodjih z velikim številom gnezd. Zato priporočamo uporabo okroglega finega centriranja tudi ostalim proizvajalcem orodij, ki imajo pri izdelavi in uporabi orodij take zahteve.

Viri:

- [1] AGATHON AG, Round Fine Centering for the mold construction, F0109612, Bellach 2013, str. 1-8

PRIMERJALNA ANALIZA KONVENCIONALNEGA IN KONFORMNEGA HLADILNEGA SISTEMA V ORODJIH ZA BRIZGANJE PLASTIKE

Andrej GLOJEK, Bojan PODPEČAN, Anton KOČAR, Vesna ŽEPIČ BOGATAJ
TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije

IZVLEČEK

Vse večja geometrijska kompleksnost brizganih plastičnih izdelkov, doseganje ozkih toleranc ter zmanjševanje stroškov proizvodnje in časa izdelave so tehnološki izzivi in problemi, s katerimi se srečujejo orodjarji in brizgalci umetnih mas. Na področju orodjarstva se zato uvajajo novi tehnološki prijemi za doseganje visoko-kvalitetnih izdelkov v čim krajšem času, ob čim manjših proizvodnih stroških. Ena izmed takšnih tehnoloških rešitev predstavlja tudi nova ali izboljšana tehnologije hlajenja, tj. konformno hlajenje oziroma hlajenje po geometrijski obliki brizganih izdelkov.

Uporaba konformnega hlajenja, oziroma hlajenja, ki se prilagaja neposredno konturi izdelka v orodju, omogoča enakomernjšo porazdelitev temperature v orodju, hitrejše odvajanje toplote v kritičnih področjih, manjši vnos zaostalih napetosti v izdelku ter posledično večjo geometrijsko in dimenzijsko stabilnost izdelkov, s krajšimi tehnološkimi cikli predelave pa tudi večjo produktivnost in manjše stroške proizvodnje. Z uporabo sodobnega načina hlajenja tako pridobimo kvalitetnejše končne izdelke, hkrati pa lahko znižamo stroške proizvodnje od 30 do 40 odstotkov.

V strokovnem članku je predstavljena primerjalna analiza hlajenja orodja z konvencionalnim hladilnim sistemom in hladilnim sistemom po obliki izdelka. S pomočjo simulacij brizganja plastike se je optimirala zasnovna oblika in postavitev hladilnih kanalov v orodnem vložku, kasneje izdelanega s hitro prototipno tehnologijo 3D laserskega tiska kovinskega prahu (DMLS). Predstavljene so omejitve in prednosti hlajenja po obliki ter dejanska primerjava temperatura orodja med ciklom in skrajšanje časa cikla zaradi optimalnejšega odvoda toplote.

1 UVOD

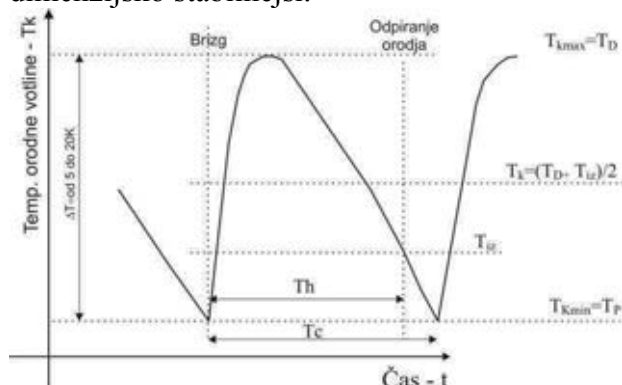
V današnjem času je potreba po nizki stroških proizvodnje ter kratkih proizvodnih časih vse večja, zato so orodjarji in brizgalci plastike primorani v uporabo sodobnejših orodij za brizganje plastike, ki to omogočajo. Zaradi kompleksnih geometrij plastičnih izdelkov je potrebno že pri načrtovanju in konstrukciji orodij posegati po sodobnejših metodah izdelave orodnih vložkov in hladilnih kanalov. V orodjarstvu so se tako pričeli uporabljati orodni vložki, ki so izdelani s pomočjo dodajalne tehnologije 3D laserskega tiska kovinskega prahu (DMLS). Z uvedbo te tehnologije se je spremenil tudi način hlajenja orodij, saj takšna tehnologija omogoča način konformnega hlajenja oziroma hlajenje po geometrijski obliki brizganih izdelkov. Prednosti konformnega hlajenja v primerjavi s konvencionalnim hlajenjem se kažejo predvsem v enakomernjši porazdelitvi temperature v orodju, hitrejšemu odvajanju toplote, večji dimenzijski stabilnosti kosov ter

večji produktivnosti in manjših stroških proizvodnje, zaradi krajših časov tehnoloških ciklov.

2 TEMPERIRANJE ORODIJ

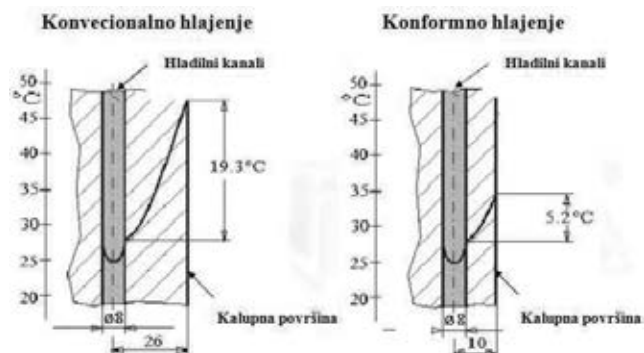
Orodja za brizganje termoplastičnih mas morajo imeti vgrajen sistem temperiranja orodja, da lahko odvedejo tisto količino toplote, ki pride vanj z raztaljeno plastično maso. Sistem temperiranja mora v orodjudrževati takšno temperaturo, ki najbolj ustreza plastični masi, ki jo brizgamo. Pri tem je še posebej pomembno, da sistem vzdržuje čim bolj enakomerno temperaturo po celi kalupni površini, saj je od tega odvisna kvaliteta izdelkov in čas cikla. Na površini orodne votline se temperatura med posameznimi cikli lahko močno spreminja, od 5 do 20 °C (*Slika 1*), pri čemer je zelo pomembno, da se vsa mesta na izdelku ohladijo enakomerno in v istem času. S pravilnim temperiranjem orodja se odpravljajo notranje napetosti in druge napake na izdelku,

prav tako pa so izdelki geometrijsko in dimenzijsko stabilnejši.



Slika 1: Spreminjanje temperature na površini kalupne votline med posameznimi cikli

V praksi se tako vedno bolj poleg konvecionalnega načina hlajenja uveljavlja tudi konformno hlajenje, ki se prilagaja neposredno obliki izdelka. Pri konformnem hlajenju so hladilni kanali razporejeni blizu kalupne površine, prav tako pa jih lahko oblikujemo v poljubne oblike, saj nismo več omejeni s postopki izdelave. Sprememba temperature na kalupni površini je pri konformnem hlajenju dosti manjša v primerjavi s konvecionalnim hlajenjem (Slika 2).



Slika 2: Razlika temperature na kalupni površini pri konvecionalnem in konformnem hlajenju

Prednosti konformnega hlajenja se kažejo predvsem v skrajšanju ciklov (povprečno za okoli 30%), boljši stabilnosti procesa, ter prihranku zaradi manjših stroškov proizvodnje ter manjšega izmeta.

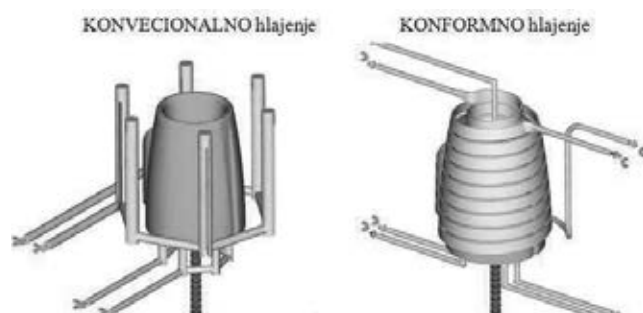
3 PRIMERJALNA ANALIZA HLAJENJA

Primerjalna analiza je bila izvedena za obstoječe orodje, kjer smo ugotovili, da je na

kosu, tj. kozarček z dvignjenim dnom, zelo težko zagotavljati optimalno hlajenje s konvecionalnim hlajenjem, saj so v jedru orodja zelo ozka področja, ki jih na takšen način zelo težko hladimo. Posledica tega so daljši ciklusni časi, slabša kvaliteta površine ter zaostale napetosti v kosu. S tem namenom smo se odločili, da v orodju predvidimo konformno hlajenje, orodni vložki s takšnim hlajenjem pa bi bili izdelani s postopkom DMLS.

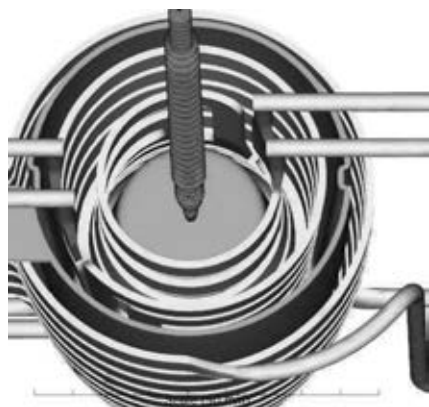
3.1 Konstruiranje konformnega hlajenja

Na podlagi obstoječega stanja orodja s konvecionalnim hlajenjem, smo najprej skonstruirali obliko in geometrijo hladilnih kanalov, ki se neposredno prilagajajo obliki. Pri konstruiranju konformnih kanalov prav tako veljajo določena priporočila, ki se jih je smiselno držati, hladilni kanali so bili od kalupne površine oddaljeni za razdaljo 4 mm. Hladilni kanali so bili oblikovani v obliki dvojne vijačnice, presek kanalov je bil pravokoten. Kanali so bili speljani tudi v ozka področja jedra orodja, kjer to s konvecionalnim hlajenjem ni bilo mogoče. Namreč pri konvecionalnem hlajenju je bilo hlajenje jeder izvedeno s ti. fontanami ter ravnimi povezavami med njimi, saj takšno obliko omogočajo klasični postopki CNC odrezavanja in vrtanja. Konformno hlajenje je bilo tako izvedeno na brizgalni in izmetalni polovici orodja (Slika 3).



Slika 3: Oblika hladilnih kanalov pri konvecionalnem in konformnem hlajenju

Zaradi možnosti pregrevanja orodja na brizgalni strani v okolici tople šobe, preko katere brizgamo maso v orodje, so bili pri konformnem hlajenju še dodatno predvideni hladilni kanali za boljše odvajanje toplote (Slika 4).



Slika 4: Hladilni kanali okoli tople šobe

3.1 Simulacije brizganja in hlajenja

Učinkovitost hladilnega sistema orodja je mogoče preveriti s pomočjo računalniških simulacij za brizganje plastike. V programskem paketu *Autodesk Moldflow* smo izvedli primerjalne simulacije brizganja in hlajenja za oba tipa hlajenja. Pri tem so bili predpisani enaki parametri brizganja, prav tako so bile podane enake temperature hladilne tekočine, na vstopu v hladilne kanale.

Za brizganje je bil uporabljen material polipropilen Borealis PP RE420MO, nastavljeni procesni parametri za izbran material so podani v tabeli 1.

Tabela 1: Procesni parametri za PP RE420MO

Parameter	
Temp. taline:	240 °C
Čas odp. orodja:	5 sekund
Čas polnjenja:	Avtomatsko
Čas polnj. + nak. tlak + hlajenje:	30 sekund
Naknadni tlak:	8 s – 400 bar 7 s – 300 bar

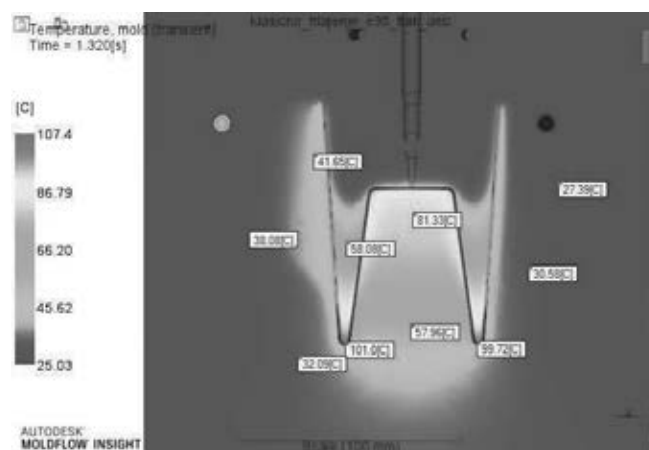
Za izbran material je priporočena temperatura orodja 20 – 60 °C, pri simulacijah smo v ta namen pri obeh tipih hlajenja predpisali enako temperaturo hladilne tekočine tj. vode, na vstopu v hladilni sistem. Na vstopih je bila predpisana temperatura vode 25 °C, tlak vode je bil na vstopu 3 bare. Izvedena je bila tranzientna primerjalna analiza, tako smo lahko primerjali

temperaturo orodja skozi celotni časovni cikel brizganja.

4 REZULTATI

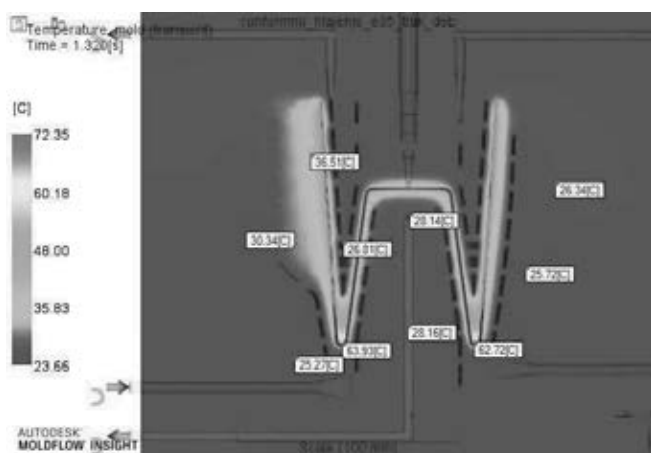
Na podlagi rezultatov računalniških simulacij smo primerjali temperaturo orodja v izbranem prerezu. Pri tem je posebej pomembno, da so temperaturne razlike med posameznimi področji čim manjše oziroma da je razporeditev temperaturnega polja čim bolj enakomerna.

Temperaturo orodja smo spremljali skozi različne faze: faza brizganja, faza naknadnega tlaka ter skozi fazo dodatnega hlajenja. Pri konvencionalnem hlajenju se je izkazalo, da prihaja na posameznih področjih orodja do pregrevanja, kar podaljšuje čas hlajenja, hkrati pa se znižuje kvaliteta izdelka (*Slika 5*).



Slika 5: Neenakomerna porazdelitev temperature pri konvencionalnem hlajenju v fazi brizganja

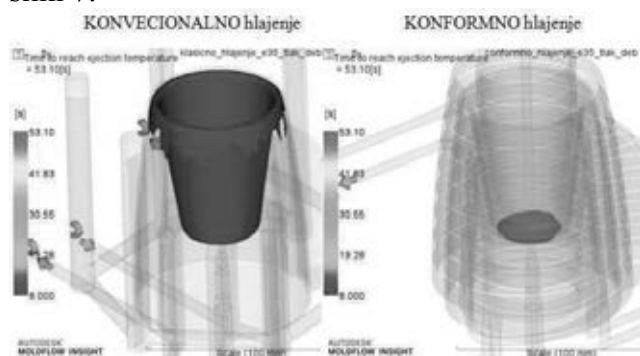
Pri konformnem hlajenju so bili rezultati dosti bolj zadovoljivi, temperatura orodja je bila dosti bolj enakomerno porazdeljena. Iz rezultatov je bilo razvidno, da so temperature še vedno nekoliko višje v ozkih predelih, kjer pa zaradi zelo ozkih sten ni mogoče predvideti hladilnih kanalov. Kljub temu so bile temperature orodja v primerjavi z orodjem s konvencionalnim hlajenjem precej nižje (*Slika 6*).



Slika 6: Enakomernejša porazdelitev temperature pri konformnem hlajenju v fazi brizganja

Na podlagi rezultatov primerjalne tranzientne analize smo ugotovili, da je najvišja temperatura orodja pri konvencionalnem hlajenju 107,4 °C, medtem ko je pri konformnem hlajenju najvišja temperatura 72,3 °C. Iz tega lahko izhajamo, da znaša maksimalna temperaturna razlika orodja pri konvencionalnem hlajenju $\Delta T = 82,4$ °C, medtem ko je največja temperaturna razlika pri konformnem hlajenju manjša in znaša $\Delta T = 48,7$ °C.

Poleg rezultatov porazdelitve temperature nas je predvsem zanimal tudi prihranek v času cikla pri konformnem hlajenju oziroma po kolikšnem času se lahko izdelek izmeče iz orodja. Zaradi enakomernejše porazdelitve temperaturnega polja pri konformnem hlajenju in nižjih temperatur, se kos, brizgan v orodju s konformnimi kanali hitreje ohlaja, kar pomeni prihranek v času in denarju. Razlika v ohlajenih področjih je vidna na sliki 7.



Slika 7: Primerjava neohlajenih področij pri različnih hladilnih sistemih po času 8 sekund

Pri konvencionalnem hlajenju se lahko kos izmeče iz orodja po času 12 sekund, medtem ko je kos pri konformnem hlajenju ohlajen na temperaturo izmetavanja že pri 8 sekundah. S takšnim hladilnim sistemom lahko skrajšamo ciklusni čas za 33%, kar pa pomeni pri večjih serijah zavidljiv prihranek z vidika stroškov proizvodnje.

5 SKLEP

S klasični postopki izdelave orodij smo precej omejeni pri izdelavi poljubnih geometrij hladilnih sistemov v orodjih za brizganje plastike. S sodobnimi dodajalnimi tehnologijami izdelave teh omejitev več ni, zato lahko že v fazi konstruiranja orodij predvidimo konformne hladilne kanale.

S primerjalno analizo smo dokazali, da lahko na račun konformnega hlajenja prihranimo preko 30% časa, kar pa pomeni tudi manjše stroške proizvodnje. S konformnim hlajenjem so izdelki tudi estetsko boljši, hkrati pa dimenzijsko stabilnejši, zaradi stabilnosti samega procesa, kar pa je v sodobni proizvodnji še posebej pomembno, saj so potrebe po ozkih tolerancah in zagotavljanju le teh vedno večje.

Viri:

- [1] Why conformal cooling makes sense. (<https://www.ptonline.com/articles/why-conformal-cooling-makes-ense>) [Dostop: 3. 5. 2018]
- [2] Conformal cooling: Why use it now? (<https://www.plasticstoday.com/injection-molding/conformal-cooling-why-use-it-now/44493914113440>) [Dostop: 3. 5. 2018]

FLEXMOULD: SAMOREGULIRAJOČA FLEKSIBILNA ORODJA ZA BRIZGANJE POLIMERNIH MATERIALOV

Robert BIZJAN¹, Dominik KOBOLD², Boštjan ŠMUC¹, Dragan KUSIĆ², Andrej GLOJEK²

¹Bizjan orodjarstvo, proizvodnja in storitve d.o.o.

²TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije

IZVLEČEK

Pri izdelavi plastičnih izdelkov predstavlja bistveni strošek izdelava orodja. Kar se tiče velikih serij se orodje in ostala periferija posluževanja hitro kompenzira, pri majhnih serijah pa orodje predstavlja velik stroškovni izziv, ki ga je nemalokrat težko premostiti. Trend razvoja izdelkov vodi v enormni porast variantnosti izdelkov in v izdelavo manjših serij, kjer pa je konvencionalni pristop izdelave novega orodja za vsako večjo spremembo izdelka cenovno izredno neugoden.

Tecos skupaj z orodjarno Bizjan orodjarstvo v okviru projekta sofinanciranega preko MGRT razpisa RRI v verigah in mrežah vrednosti: Sklop 2 Spodbude za RR projekte (TRL 6-9) razvija nov koncept orodja, ki bo omogočilo brizganje različnih izdelkov v enem orodju. Orodju bomo opremili s posebnim aktuatorskim sistemom in krmiljem, ki bo omogočalo avtonomno regulacijo izbire kalupne votline in prilagajanje brizganja 4 oblikovno povsem različnih izdelkov.

V članku bomo prikazali omejitve in tehnološke izzive, ki smo jih morali premostiti pri razvoju prototip samoregulirajočega fleksibilnega orodja. Prikazali bomo razvojno fazo izdelave koncepta orodja in podali oblikovne omejitve izdelkov povezane z zasnovo orodja in procesa brizganja. S ciljno zasnovo orodja smo želeli doseči stroškovno učinkovito brizganje oblikovno povsem različnih izdelkov v manjših serijah na stroškovno ugoden način, kar bomo tudi predstavili v članku.

1 UVOD

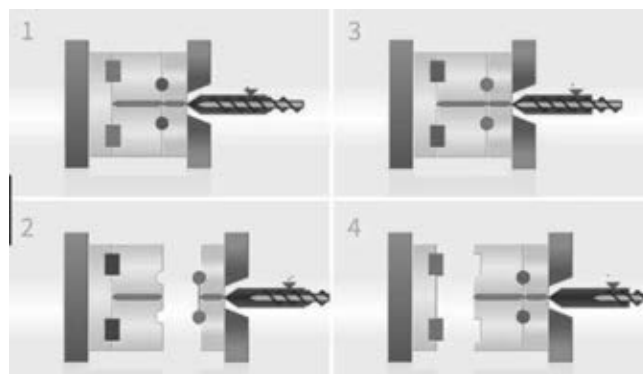
Izziv izvedbe FLEXMould sistema je omogočitev brizganja povsem različnih oblik izdelkov med zaporednimi cikli. Rešitev smo zasnovali na osnovi cenovno ugodne zasnove orodja, ki prekaša precej dražje in kompleksnejše sisteme, ki prav tako omogočajo podobne značilnosti, kot naš inovativni FLEXMould koncept.

2 TANDEM TEHNOLOGIJA BRIZGANJA

Ta tehnologija je bila razvita, da se izkorišča dolge čase hlajenja. Med hlajenjem izdelkov na prvi delilni ravnini, se izvaja brizganje in naknadni tlak na drugi delilni ravnini. Za odpiranje prve oziroma druge delilne ravnine služi posebni bajonetni sistem, ki je servomotorno gnan. Vsaki delilni ravnini pripada posebni hidravlično gnani izmetalni sistem.

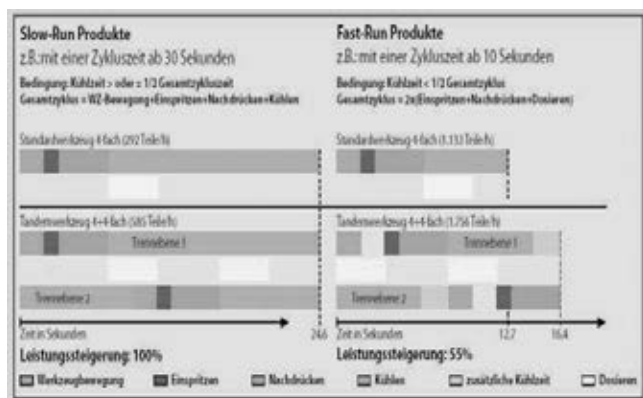
Slika 2 prikazane prednosti te tehnologije. Pri ciklusnih časih nad 30 sek se lahko kapaciteta

brizganja poveča tudi do 100 %. Pripomniti je potrebno, da naj bi bili izdelki podobne velikosti.



Slika 1: Tandem orodja

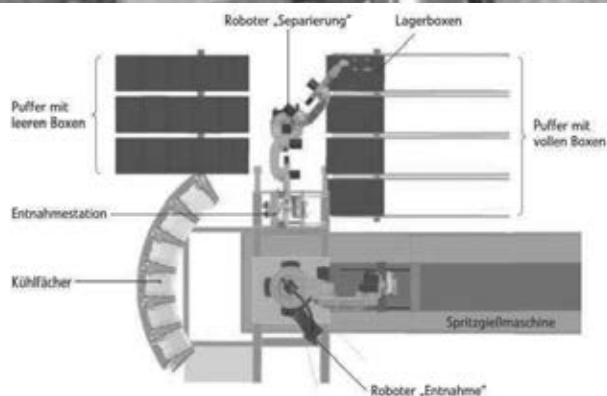
Procesni parametri za brizganje na prvi in drugi delilni ravnini se razlikujejo med seboj. Krajši ciklusni časi pri tej tehnologiji nimajo takega učinka na povečanje kapacitet, ker med časom hlajenja ne uspemo izvesti brizganja in naknadnega tlaka. Dodati je potrebno še določen čas za dodatno hlajenje.



Slika 2: Shematski prikaz Tandem tehnologije

3 SHUTTLE MOULDING

Posebna izvedenka tehnologije brizganja je "Shuttle moulding" tehnologija. Njena posebnost je v tem, da se je ločilo izvedbo posameznih funkcij, ki se izvajajo v orodju, v različne stroje, ki so povezani med seboj. Faza brizganja in naknadnega tlaka se izvaja na klasičnem stroju za brizganje. Po končanih teh fazah se zaprto orodje prestavi v hladilno postajo.



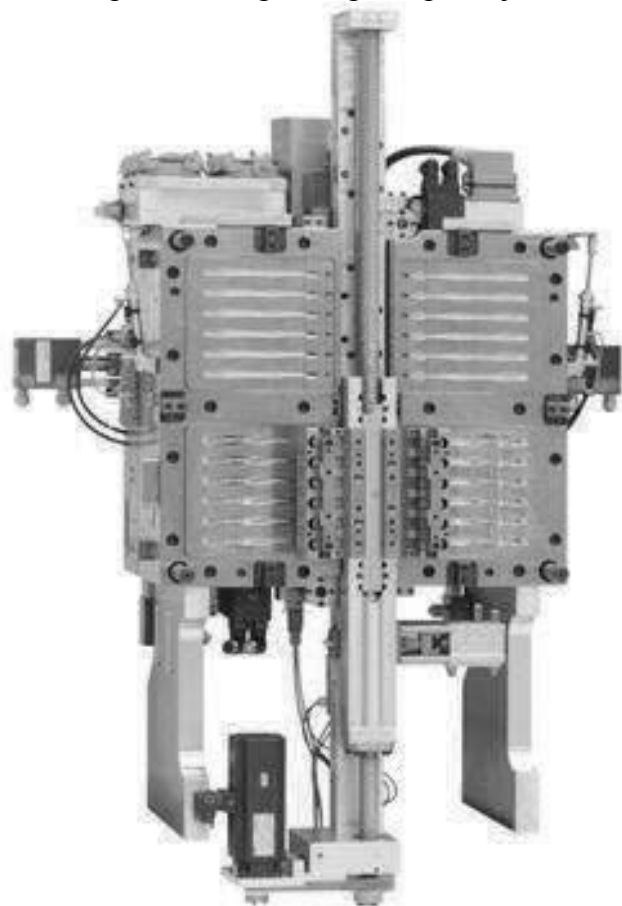
Slika 3: "Shuttle moulding" tehnologija

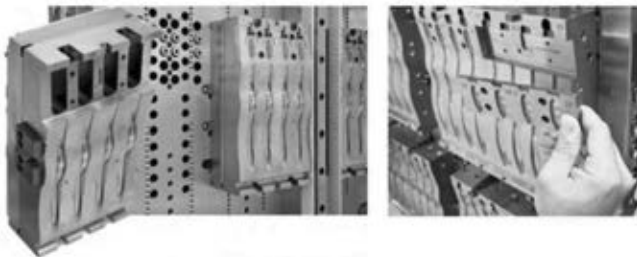
Tu se izdelki v orodnih vložkih ohladijo na temperaturo izmetavanja. Po končanem hlajenju robot prestavi vložke z izdelki v postajo za snemanje oziroma izmetavanje izdelkov iz orodja. Drugi robot odvzema izdelke iz orodja in jih zloga v paletni sistem.

Posebne prednosti tega sistema se izkazujejo pri debelostenskih izdelkih, kjer so dolgi časi hlajena in je vmesno hladilna postaja opravlja funkcijo dodatnem skladišča za vložke oziroma izdelke.

4 PATERNOSTER MOULDING

Ob poplavi različnih tehnologij se je pojavila tudi tehnologija "Paternoster moulding", kjer se gibajo vložki s pomočjo verižnih pogonov oziroma se premikajo orodni vložki s pomočjo robota iz prve na drugo brizgalno pozicijo





Slika 4: "Paternoster moulding" tehnologija

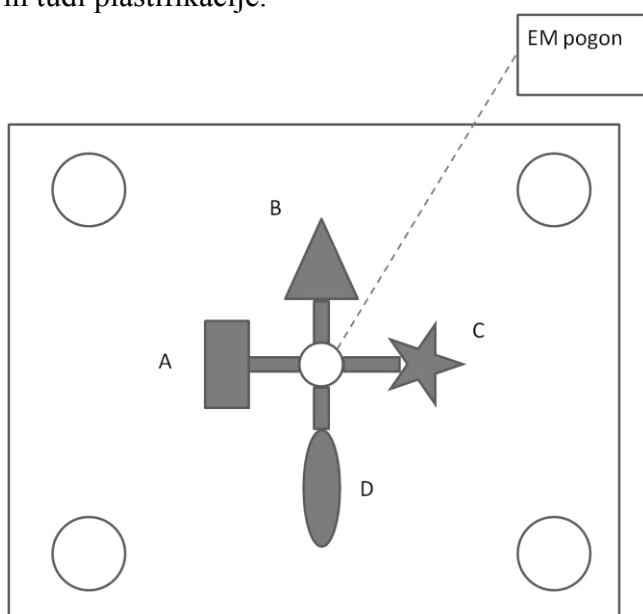
Tako je omogočeno nabrizgavanje druge komponente preko prve brez prelaganja izdelkov in je tako omogočen zelo kvaliteten spoj na 2k izdelku.

4 FLEXMOULD TEHNOLOGIJA

4.1. Koncept izdelkov s 4 različnimi volumni

Prvotni koncept, ki smo ga želeli vpeljati, je bil koncept 4 različnih izdelkov, ki bi se brizgali v istem orodju. Proces brizganja bi si sledili en za drugim. Na ta način smo želeli prikazati, nastanek 4 različnih izdelkov na enem mestu. Ti izdelki bi bili različnih debelin in različnih volumnov. Reološke zahteve zahtevajo, da bi bili procesni parametri za vsak posamezni različni.

Vsak posamezni izdelek zahteva točno določene pogoje zapolnjevanja, naknadnega tlaka in tudi plastifikacije.



Slika 5: Koncept orodja s 4 različnimi izdelki

S proizvajalci strojev KRAUSSMAFFEI in ARBURG, ki jih imamo v TECOS, smo skupaj preverili možnost, da se nadgradi programska oprema, ki jo imamo sedaj na stroju.

Usklajevanje s proizvajalci strojev je bilo dolgotrajno in naporno. Tehnične omejitve, ki so nam jih predstavili, in časovni okviri potrebni za razvoj tako obsežnega programske spremembe so nam narekovali, da smo preverili druge možnosti. Tako smo preverili, če bi namesto 4 različnih procesov na enem stroju tekla le 2 procesa. Ta opcija se uporablja pri Tandem tehnologijah.

4.2 Koncept izdelkov z dvema različnima volumnoma

Tandem tehnologija, ki je opisana v poglavju 2 bi potencialno lahko bila uporabna. Naš stroj Arburg bi lahko nadgradili za Tandem tehnologijo brizganja. Omejitve so se začele pojavljati, ko smo začeli koncipirati orodje za stroj Arburg. Velikost zapiralne enote oziroma razdalje med vodili, je bila prehuda omejitev, ker bi morali vse elemente večgnezdnega orodja enormno zmanjšati, tako da bi lahko ogrozili celo trdnost kalupnih vložkov oziroma elementov, ki bi jih zamenjevali med brizganjem posameznih delov.

Po temeljiti presoji smo se odločili, da bomo orodje namesto z 2 kalupnimi votlinami zastavili s 4 kalupnimi votlinami.

Reološke omejitve so nam narekovale, da smo izvedli MOLDFLOW analize, kjer smo ugotavljali podobnost dogajanj v posameznih kalupnih votlinah in meje, koliko lahko odstopajo volumnu oziroma debeline sten med posameznimi artikli.

4.3 FLEXMould tehnologija brizganja

V okviru projekta smo razvili svoj koncept, ki bazira na posebnem rotirajočem vložku, ki dodaja talino, različnim kalupnim gnezdom. Tehnologijo smo imenovali FLEXMould po akronimu projekta. Posebnost te tehnologije je, da na stroju za brizganje nastajajo 4 različni izdelki, ki imajo podobne volumne in podobne debeline sten. Izdelki, ki bodo nastajali v orodju, se bodo lahko zlagali med seboj oziroma bo omogočeno, da se

bo vršila vmesna montaža dodatnih elementov. S tem bo omogočeno, da se izognemo vmesnim skladiščem, ter sprotno kontroliramo izdelavo vseh izdelkov ter procesov montaže dodatnih elementov.

Mnogo je bilo idej, kaj bi lahko razvili in kakšno namembnost bi lahko dali izdelkom, ki bodo nastali iz orodja. Po tehtnem premisleku in analizah smo naredili koncept pisarniških pripomočkov.

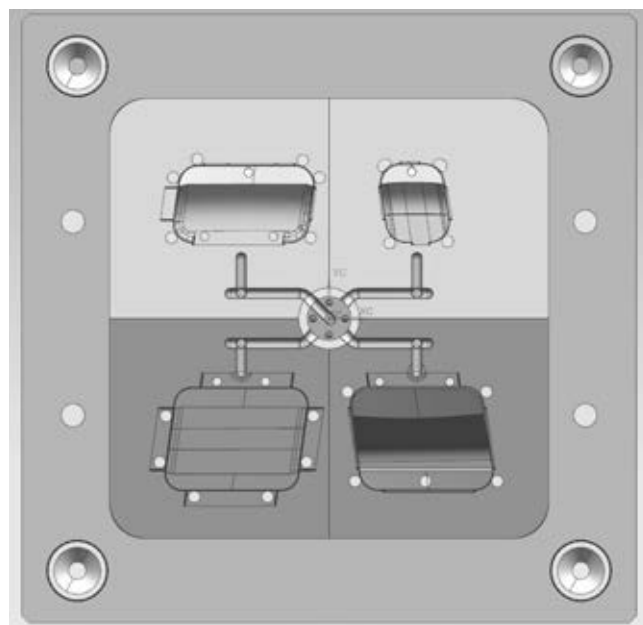
Posebnost FLEXMould izdelkov je v njihovi konfiguraciji. Vsi so zelo razgibani in ko so zloženi na mizi, tvorijo celoto pisarniških pripomočkov, ki jih potrebujemo pri svojem delu v pisarni. Ti izdelki so: nosilec za vizitke, lonček za sponke, nosilec za telefon in lonček visok za pisala. Izdelki so prikazani na sliki 6.



Slika 6: CAD-modeli demo izdelkov za FLEXMould izdelavo

Vsi izdelki razen nosilca za vizitke so zelo globoki. Ta globina pomeni povečanje sil trenja pri odpiranju orodja in pri snemanju izdelkov iz orodja.

Zaradi tega smo posebno pozornost namenili izbiri ustreznega izmetalnega sistema in obliki izmetačev. Stremeli smo za tem, da je površinski tlak na plastičnih izdelkih čim manjši in čim bolj enakomerno porazdeljen po celotnem obodu vseh izdelkov.



Slika 7: Izmetalna stran FLEXMould orodja

Pri preizkusih so se je bojzani zaradi snemanja dejansko udeležili. Velika tendenca lepljenja in erozijski efekt so povzročili, da so izdelki med fazo odpiranja orodja ostali na brizgalni strani. Potrebno je bilo izvesti dodatne elemente za zadrževanje izdelka na izmetalni strani.

Najnižji izdelek - nosilec za vizitke je bil zaradi svoje konfiguracije najbolj problematičen, ker je celotna oblika izdelka potopljena na brizgalno stran orodja. Ob dodatnih zadrževalcih smo morali povečati tudi snemalne kote na brizgalni strani izdelka. Ko so bile vse te aktivnosti izvedene, smo morali rešiti še vtiskovanje izmetačev, ker je bil površinski tlak previsok. S dodajanjem izmetačev v kritična področja smo rešili tudi te težave.

Slika 8 prikazuje sestavljen set pisarniških komponent, ki smo jih dejansko izdelali s pomočjo razvitega prototipnega orodja v okviru projekta.



Slika 8: FLEXMould izdelki

4.4 Simulacije reoloških dogajanj v orodju FLEXMould

Koncept izdelkov, ki smo jih zasnovali v okviru projekta, je na prvi pogled zelo preprost, a se stvari ustrezno zapletejo, ko združimo skupaj tehnologijo izdelave orodja, reologijo ter proizvodne zmožnosti.

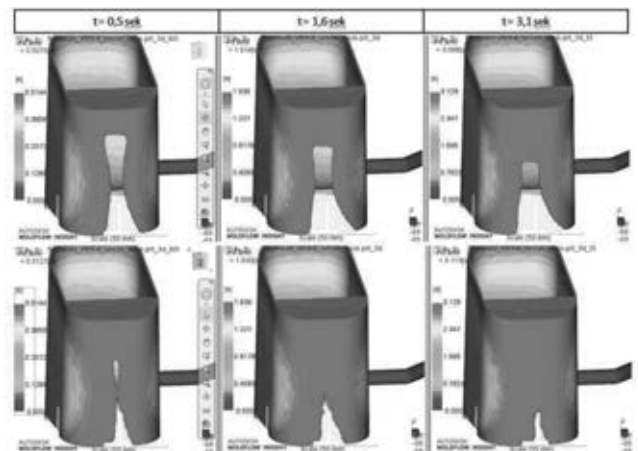
Vsi izdelki morajo nastati v enem orodju. Tlorisne površine so si različne, hkrati so različne tudi debeline sten in poti tečenja. Vse te značilnice vplivajo na določitev pogojev zapolnitve, kakor tudi naknadnega tlaka, ki določa kvaliteto površin.

S pomočjo variacij debelin smo poizkušali volumne posameznih izdelkov čim bolj izenačiti. Ob teh korekcijah smo morali rešeti tudi težave s različnimi skrčki na prehodnih področjih. Ta prehodna področja so potencialne težave za nastopanje lis zaradi različnih hitrostnih dogajanj in tudi različnih volumetričnih skrčkov na teh mestih.

Različne debeline sten imajo za posledico, da lahko talina po bočnih stenah prehiteva. To povzroči nastanek zračnega žepa, kjer se lokalno zelo poveča temperatura in pride do zažganosti. Ta efekt imenujemo Diesel efekt, ki ga s pridom izkoriščamo v motorjih z notranjim izgorevanjem.

Naslednja slika prikazuje, kako smo ob korekcijah debelin izdelkov morali tudi prilagoditi hitrosti zapolnjevanja. Leva slika prikazuje čas zapolnitve 0,5 sek in veliko

nevarnost za nastanek zračnega žepa. Srednja in desna slika kažeta, da naj bi se te težave izognili.

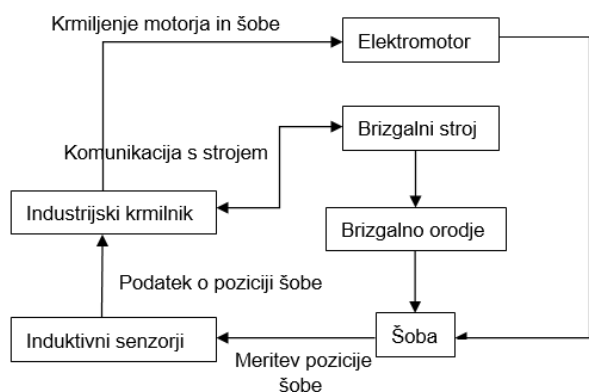


Slika 9: slika zapolnitve pri časih polnjenja

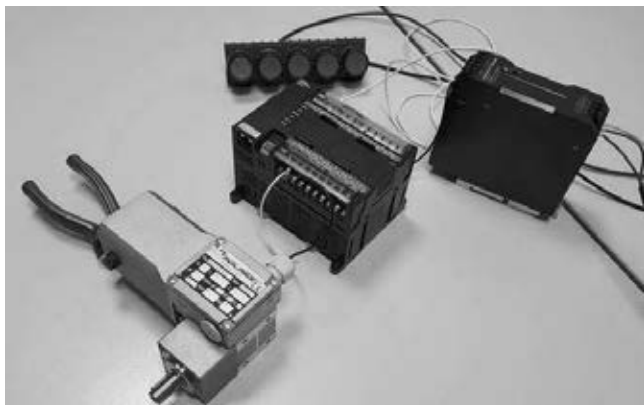
Pri preizkusih smo izvedli variacije različnih pogojev zapolnitve. Ujemanje z reološkimi rezultati je zelo dobro, ker je tudi popis materiala na ustreznem tehničnem nivoju.

4.5 FLEXMould krmiljenje vrtenja šobe in proizvodnega cikla

Krmiljenje vrtenja šobe in proizvodnega cikla izvajamo s pomočjo industrijskega krmilnika, elektromotorja in 4 brezkontaktnih stikal, ki so električno povezani z brizgalnim strojem. Po opravljeni zasnovi in izvedenih konstrukcijskih rešitvah na brizgalnem orodju ter ob kasnejši vgradnji brezkontaktnih stikal, povezave elektromotorja in vodenju vrtenja šobe z industrijskim krmilnikom ob upoštevanju proizvodnih faz smo pričeli z razvojem primarnega krmiljenja ter testnih algoritmov za vodenje vrtenja šobe skupaj z vključitvijo posameznih varnostnih funkcij na brizgalnem stroju. Splošna blok shema krmiljenja šobe v brizgalnem orodju je predstavljena na sliki 10, medtem ko so na sliki 11 prikazane posamezne komponente za izvedbo preliminarnih testiranj delovanja testnih algoritmov in testiranja krmiljenja elektromotorja.



Slika 10: Blok shema krmiljenja šobe v brizgalnem orodju



Slika 11: Preliminarno testiranje delovanja testnih programov in testiranje krmiljenja elektromotorja

Ena izmed prvih realiziranih varnostnih funkcij so bile mehanske blokade šobe v posameznih pozicijah, ko jo slednja doseže. Na osnovi tega smo lahko izvedli pravilno zapiranje orodja (v primeru da se pozicijo ne doseže se ne izvede noben nadaljnji korak) in dejanski start proizvodnega cikla. Iz tega razloga je bila ključna ustrezna konstrukcijska rešitev, ki igra eno glavnih vlog za delovanje celotnega FLEXMould sistema, saj je vrtenje šobe na ustrezno lokacijo predpogoj za izvedbo proizvodnega cikla bodisi v ročnem bodisi v avtomatskem režimu delovanja (odvisno od uporabnikovih zahtev). V nadaljevanju smo izvedli številne funkcionalne teste zabrizgavanja posameznih FLEXMould izdelkov.

3 SKLEP

V članku smo prikazali tehnološke izzive in omejitve, ki smo jih morali premagati pri razvoju prototipa samoregulirajočega fleksibilnega orodja za brizganje FLEXMould izdelkov. Prikazali smo ključne razvojne faze pri izdelavi koncepta samoregulirajočega fleksibilnega orodja ter podali oblikovne omejitve izdelkov povezane z zasnovo orodja in procesa brizganja. S ciljno zasnovano orodja smo želeli doseči stroškovno učinkovito brizganje oblikovno povsem različnih izdelkov v manjših serijah na čim bolj ekonomičen način.

4 ZAHVALA

Sredstva za izvedbo projekta so bila pridobljena preko javnega razpisa Ministrstva za gospodarski razvoj in tehnologijo - RRI v verigah in mrežah vrednosti: Sklop 2 Spodbude za RR projekte (TRL 6-9). Naložba pa je sofinancirana s pomočjo Evropske unije preko Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Viri:

[1] <https://industrieanzeiger.industrie.de/allgemein/produktivitaet-auf-gut-das-zweifache-gesteigert/>

[2] <https://www.yumpu.com/en/document/view/12692956/shuttle-molding-managers-nowadays-are-zahoransky>

NOVOST NA TRŽIŠČU LJUBITELJEV PSOV LISHINU _ POVODEC ZA SPREHAJANJE PSOV

Barbara WILKESMANN HOČEVAR, Rok ŽVAGEN
CHEMETS d.o.o.

IZVLEČEK

Imam idejo. Kako naj se lotim izdelave prvega prototipnega kosa. Kakšen je postopek in koliko stane izdelava?

To so pogosta vprašanja, ki si jih zastavljajo ljudje, ki imajo svojo idejo že digitalizirano – računalniški izris produkta. V prispevku so prikazani koraki izdelave na izdelku »Lishinu-povodca za psa« in cenovna ter časovna izdelava dveh tehnologij, 3d in klasične.

ZAKAJ »Lishinu« POVODEC ZA PSA?

Za bolj svobodno sprehajanje psov so poskrbeli avtorji izdelka Lishinu.

Z novim inovativnim povodcem so po 41 letih zatresli tržišče. Povodca namreč ni potrebno držati v rokah, saj se pripne na zapestje kot ura. Vgrajen ima patentiran "auto-lock" sistem, ki poskrbi za intuitivno gibanje človeka in psa. Auto-lock sistem omogoča, da so uporabnikove dlani vedno proste. Ob odločnem potegu z roko se sistem samodejno aktivira, ob tem pa spusti rahel zvok, ki opozori psa na neželjeno vedenje.

Rok, eden izmed izumiteljev je povedal:
"Ko smo oblikovali Lishinu, nam je bil cilj ponuditi uporabniku edinstveno izkušnjo sprehajanja psa na povodcu pri čemer ohranja popolnoma proste dlani rok, hkrati pa obdrži popoln nadzor nad psom. Lishinu je zložljiv povodec, ki se raztegne do treh metrov dolžine."



IZVEDBA PROJEKTA IN REALIZACIJA

Za testiranje merske ustreznosti in funkcionalnosti smo v Chemetsu prvo natisnili 3D print s tehnologijo SLS in polyjet. Ko so bili zadovoljeni vsi parametri, je sledila izdelava male serije z vakuumskim ulivanjem. Izdelali so se različni barvni pokrovčki in napočil je čas, da se izdelek predstavi na crowdfunding platformi Indiegogo, kjer je ekipa Lishinu zbirala denar za prvo veliko serijo izdelkov.



KAKO SMO IZVEDLI PROJEKT?

Takrat mlada ekipa Lishinu se je leta 2012 oglasila v našem podjetju in predstavila zanimivo idejo o inovativnem pasjem povodcu. Predstavili so svojo idejo in računalniški izris.

Ker so verjeli v moč svoje ideje so se odločili, da z lastnimi sredstvi investirajo v prve prototipne kose, s katerimi bi preverili oblikovno in mersko ustreznost ter v realnosti, na sprehodu psa, preverili funkcionalnost zelenega izdelka.

Kos je bi sestavljen iz več sestavnih delov. V prvi fazi so želeli čim hitreje in s čim manj finančnega vložka testirati svoj izdelek. V naslednji fazi razvoja, po potrditvi ustreznosti glede oblike, materiala, barve in funkcije, so se odločili za povodce, s katerimi bi se predstavili na trgu, poiskali morebitne vlagatelje oz. kupce prodajalen za male živali.

Vemo, da v naprej ne mremo predvideti prodaje. Potrebno je testiranje.

Do takšnega izdelka lahko pridemo z brizganimi kosi iz orodja-velike serije ali do ulitkov s pomočjo 3D tehnologij-male serije.

Ker ekipa ni imela sredstev za izdelavo orodja za brizgane kose, hkrati pa ni imela informacij s trga ali je izdelek zanj

zanimiv, se je odločila za najboljšo možno pot.

Z vakuumskimi ulitki, ki so bili odličen približek končnim brizganim kosom, so naredili promocijske materiale, video predstavitev in pridobili informacije in zagonski kapital na crowdfunding platformi, na Indiegogo in Kickstarterju. Delo je bilo v parih mesecih deloma poplačano.

Tako se je leta 2015 pričela zadnja razvojna faza, faza produkcije in končno prodaje in vstopa na trg. Velik konkurent na področju povodcev za kosmatince je Flexi z dologletno tradicijo. Lishinu je na trgu že dobra 3 leta. V zadnjem letu so ponovno začeli delati spremembe na produktu. K temu jih silijo končni uporabniki, ki Lishinu povodce primerjajo s konkurenco.

STROŠKOVNI VIDIK PROJEKTA

Ob vsaki ideji, ki se jo želi opredeliti se običajno pojavijo dvomi glede realizacije.

»Kaj če mi kdo ukrade idejo še preden bo izdelek na trgu?«

»Koliko stanejo printi?«

»Koliko bom moral investirati v celoten projekt?«

»Kaj če izdelek ne bo zanimiv za trg?«

»Kako bom izdelek prodal?«

»Koliko denarja bom izgubil?« in nešteto vprašanj, ki nas ne podpirajo oz. ovirajo pri naših odločitvah.

V podjetju poznamo odgovor.

»Če ostane ideja na papirju ni nič vredna, poleg tega nikoli ne boste izvedeli koliko je vredna, če se ne odločite za testne kose.«

Trg je potrebno testirati. Kako?

Če se držite osnovnih faz razvoja, pod predpostavko, da verjamete v svoj produkt, potem priporočamo, da se na začetku naredi terminski načrt in okviren znesek koliko sredstev in časa ste pripravljeni investirati.

Na projektu Lishinu, ki je klasičen primer strank s katerimi se srečujemo, lahko pogledamo stroškovni in časovni vidik faz razvoja s 3D tehnologijami v primerjavi z izdelavo orodja (pod predpostavko, da gre za izdelke, ki še niso zagledali luč sveta ali pa za večje oblikovne in funkcionalne spremembe na že obstoječem izdelku).

1. Faza prototipiranja:

3d print sestavnih delov in sestavljanje izdelka (preverjanje oblikovnih in merskih ustreznosti ter funkcije).

V tej fazi poiščemo za zelen izdelek najbolj primerno izdelavo. Glede na velikost izdelka, sestavne dele in tehnične lastnosti materiala in zelen čas izdelave poiščemo najbolj primerno 3d tehnologijo, običajno 3D print.

Po preverjanju vseh parametrov se ponavlja faza (celotnega izdelka ali samo določene dele sestava) toliko časa, da cel sestav ne ustreza vsem zahtevanim parametrom.

Če je prvoten računalniški izris in oblika zrisana s strani profesionalnega ind.oblikovalca in konstrukterja se 1. faza hitro konča (morda sta potrebni 1-2 ponovitvi).

Po naših izkušnjah običajno traja 1.faza razvoja 1-2 leti. Največkrat so vzrok temeljiti popravki na izdelku. Sama izdelava 3d printov traja od 3-7 dni.

V prvi fazi je strošek podobnega izdelka z več sestavnimi deli (ca 4 manjši in 2 večja kosa) ca. 1.500,00€ za 3D printane kose.

2. Faza prototipiranja:

3d printi sestavnih delov (pramodeli) in izdelava ulitkov po barvi in materialu brblbližkom brizganim kosom.

Priporočamo izdelavo minimalno 3 ulitkov oz. kompletov (1x za naročnika, 1x za prodajnika, 1x potencialno stranko). Običajno se dela do 25 ulitkov oz. kpl.

V drugi fazi je strošek podobnega izdelka z več sestavnimi deli ca. 4.000-6.500,00€

V tem obdobju se testira izdelek in pridobiva informacij s trga, zato so običajno potrebni še manjši popravki na posameznih delih ali pa na vseh delih izdelka.

Po naših izkušnjah običajno traja 2.faza razvoja ca. 7-14 dni, odvisno od števila naročenih ulitkov.

Okvirna cena za izdelavo orodja za brizganje identičnega izdelka znaša cca. 50.000€ z minimalnim rokom 90 dni do prvih potrditvenih brizganih kosov. Če upoštevamo popravke v enakem obsegu kot smo opisali predhodno, se čas za vsak popravek podaljša za približno 7-14 dni, skupen strošek vseh popravkov v enakem obsegu bi znašal od 15.000-25.000€.

V primerjavi s tiskanimi prototipi si najlažje zadevo predstavljamo po spodnji tabeli:

Faza	Strošek protoipi	Čas dni	Strošek Brizg.	Čas dni
1.	1.500	3-7 popra-vek	50.000 orodje	90-120
2.	4.000 - 6.500	7-14/ ulitke	15,000- 25.000	7-14/ popra-vek
	8.000 manjša serija 50 kosov		75.000 + cena/ kos	

*cene so v € brez vključenega dddv-ja.

Iz podatkov lahko razberemo, da je v začetku razvoja izdelka in kadar govorimo o manjših količinah vsekakor boljša izdelava s 3D tehnologijami, medtem ko je za večje količine smiselno izdelati orodje za brizganje.

Glede na zahtevnost izdelka in dodane vrednosti pa je odvisno ali takšen način

izdelave omogoča zaslužek že v fazi prototipiranja. Včasih lahko že z malimi serijami pokrivamo lastno ceno izdelka. Pogosto pa je taka izdelava le način vstopa na trg z minimalnimi storški.

<http://www.chemets.si/projekti/prototip-lishinu/>

<https://lishinu.com/>

UPORABA 3D - DMLS TEHNOLOGIJE V INDUSTRIJI VELIKI PRIHRANKI V PROIZVODNJI Z UPORABO »Additive Manufacturing«.

Čas je denar !!

O izboljšavah ne sanjamo, temveč jih skupaj z vami ustvarjamo.

Mario ŠINKO

MARSI, Mario Šinko s.p.

IZVLEČEK

»e-Manufacturing« pomeni hitro, prožno in stroškovno učinkovito proizvodnjo neposredno iz elektronskih podatkov. Lasersko sintranje je generativna tehnologija, je ključna tehnologija za e-proizvodnjo prihodnosti in je nova dimenzija predstavnosti v prostoru. Premika meje in gradi novo prihodnost. Doprinese vam konkurenčno prednost in večjo produktivnost.

1 UVOD

Slovenija je privlačna lokacija za proizvodnjo zahtevnih in kakovostnih orodij, orodnih delov (komponent) in brizganje - proizvodnjo zahtevnejših plastičnih izdelkov.

Konstruktorji orodij in proizvajalci sestavnih delov se tudi pri nas vedno bolj opirajo na inovativne tehnologije in postopke, ki prihranijo čas in zmanjšujejo stroške.

Vse bolj se poslužujemo in izkoriščamo inovativne in gospodarske procese, da lahko učinkovito izpolnjujemo stroškovni pritisk.

3D proizvodni proces ponuja večjo svobodo oblikovanja glede na običajne postopke v industriji.

Pri izdelavi konkretnega orodnega vložka in brizgane komponente se je zahvaljujoč izdelavi konformnega hlajenja čas cikla zmanjšal, kakovost proizvoda pa bistveno izboljšala.

2 IZZIV

Projekt je bil namenjen izdelavi jeder za 16-gnezdno orodje za brizganje, namenjeno za serijsko proizvodnjo brizganih plastičnih komponent (slika 1). Življenjski cikli izdelkov postajajo vedno krajši, zaradi česar je potrebna večja prilagodljivost pri izdelavi orodja. Zelo

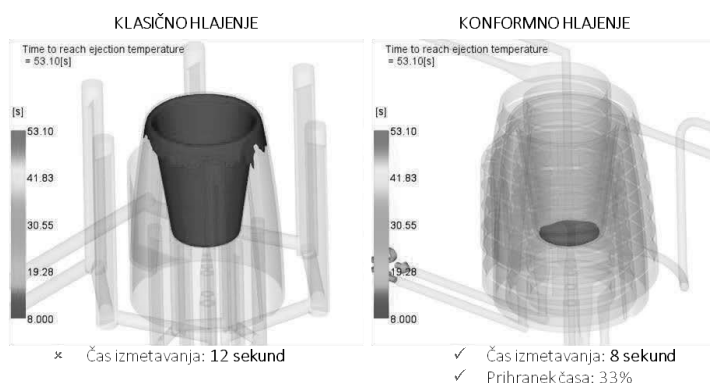
pomembno je, da se uporablja hiter in poceni način razvijanja, ki je primeren za uporabo v visoko avtomatiziranih, neodvisno obratovalnih celicah. Z drugimi besedami, ne le, da je treba orodja zagotoviti hitro in stroškovno učinkovito, ampak morajo le ta delati z visoko natančnostjo v daljšem časovnem obdobju.

3 REŠITEV

Izdelava delov z 3D DMLS tehnologijo, ki ni samo hitrejša temveč tudi cenejša povečuje produktivnost in ponuja zanimive nove perspektive za orodja.



Slika 1: Jedro orodja s konformnim hlajenjem za brizganje plastičnih komponent.



Slika 2: Primer klasičnega hlajenja in konformnega hlajenja (Izdelal: TECOS, Celje)

4 REZULTAT

Vložki, izdelani s tehnologijo laserskega sintranja, imajo izrazite prednosti pred vložki izdelanih po običajni – klasični metodi.

Pri izdelavi specialnih orodij ni drugega postopka, ki bi omogočal tako prilagodljivo namestitvev hladilnih kanalov v vložke orodja, tako blizu konture komponente. Prednost tega je bolj natančen in enoten vzorec hlajenja, oz. enakomerno ohlajanje celotnega jedra in izdelka. S 3D DMLS tehnologijo se znatno zmanjša naknadna mehanska obdelava z odrezovanjem. Glede na izbor materiala je potrebno izvesti še toplotno obdelavo orodja. Na orodja lahko dodatno nanese različne prevleke, ki omogočajo boljšo odpornost proti obrabi.

Čas cikla je zaradi konformnega hlajenja krajši, kakovost izdelka pa bistveno višja kot pri uporabi orodja s konvencionalnim hlajenjem.

5 SKLEP

S vključitvijo stroja EOSINT M280 v našo proizvodnjo smo bili sposobni strankam ponuditi nekaj več; časovno in stroškovno učinkovito alternativo proizvodnjo komponent. Z neposrednim prenosom podatkov laserskega sintranja, lahko naši kupci koristijo dragocene časovne in stroškovne prednosti orodij.

Vsi materiali, iz katerih izdelujemo 3D izdelke so kompatibilni karakteristikam klasičnih materialov.

Izdelke izdelujemo iz orodnega jekla »EOS MS1_Maraging Steel« (namenjen predvsem izdelavi orodij in prototipov), nerjavečega jekla »EOS StainlessSteel 316L« in Inconela - EOS NickelAlloy IN625 ali IN718.

3D natisnjeni izdelki imajo visoko kakovost in so pripravljene za takojšno vgradnjo oz. uporabo.

Zahvaljujoč novi strojni tehnologiji lahko našim strankam iz različnih panog ponudimo strokovno tehnično svetovanje, podporo in pomoč za izdelke, ki jih lahko uporabljajo v raznih aplikacijah.

Izdelki izdelani s tehnologijo 3D DMLS so funkcijsko enakovredni klasičnim izdelkom, z dodatnimi inženirskimi metodami, kot je konformno hlajenje ali optimiranje oblike pa nudijo številne prednosti.

Nudimo fleksibilnost, prihranek oz. dobiček v smislu prihranka časa, zmanjšanja proizvodnih stroškov in višjo kakovost.

Na ta način zagotavljamo, da se naše stranke dobro počutijo, izkoristijo naše strokovno znanje in da v prihodnjih letih ohranijo svojo vero v nas.

*Drznite si biti inovativni in drugačni.
Tu smo za vas !*



Slika 3: Primeri izdelkov izdelanih v podjetju MARSI, Mario Šinko s.p. s 3D DMLS Tehnologijo.

AMPO – ADDITIVE MANUFACTURING POWDER

Manfred REITER

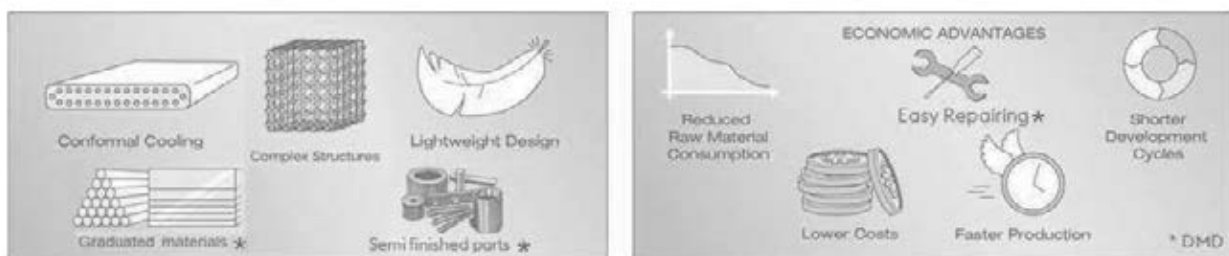
voestalpine Böhler Edelstahl GmbH & Co KG

Abstract

Additive Manufacturing offers complete new possibilities for the manufacturing of complex shaped products. For the tooling industry additive manufacturing especially gives the opportunity for conformal cooling close to the surface of the part.

There are already a lot of standard materials for Additive Manufacturing available. However, for complex tooling applications the properties of these standard materials are not sufficient in regards of corrosion resistance, hardness, or wear resistance. Therefore voestalpine Böhler Edelstahl GmbH & Co KG will launch newly developed products to close this gap.

ADVANTAGES OF ADDITIVE MANUFACTURING



voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
1 | 5/5/2018 | AMPO

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

ADDITIVE MANUFACTURING MATERIAL APPROACH at voestalpine Böhler Edelstahl

Metallurgical and material know-how in production of Special Steels and Ni-Base alloys in highest quality (vacuum induction melting since 2000)



voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
2 | 5/5/2018 | AMPO



Know how in powder production due to existing powder plant since 1999



voestalpine
ONE STEP AHEAD.



AMPO PRODUCT PORTFOLIO

- » 4 standard products
- » new developments to come soon
- » Particle size range:
 - » 15-45µm
 - » 45-150µm
- » Minimum order quantity: 10kg or multiple

BÖHLER W722
AMPO

BÖHLER L718
AMPO

BÖHLER L625
AMPO

BÖHLER N700
AMPO

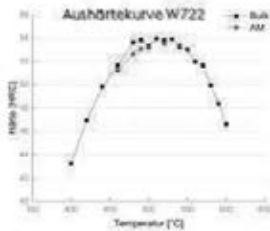
voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
3 | 05. Mai 2018 | AMPO

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

Mechanical Properties: printed part vs bar material

**BÖHLER W722
AMPO**

- » Heat Treatment:
 - » Solution annealing: 820°C / 1h / Air, Gas or Oil
 - » Precipitation hardening: 490°C / 3h / Air
- » Printed Samples out of Böhler W722 AMPO can reach similar mechanical properties as samples out of W722 bar material.
- » Prerequisite are the right printing parameters, as the properties of a printed part depend strongly on the printing process.
- » For maximum hardness we recommend **490°C / 6h / air**, for the precipitation treatment.



WBH: 490°C / 3h / Luft								
Werkstoff	Beurteilung	Relative Dichte	Härte	Rm	Rp0.2	A5	Z	Av
	(-)	(%)	(HRC)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	(%)
W722 AMPO*	x-y	> 99,93	55	2000	1950	5,2	19	16
W722 AMPO*	x-z	> 99,95	54	2000	1960	4,3	16	10
W722 BULK		100	54-55	2000	1960	6	20	16

* achievable values, strongly depending on the printing parameters

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
4 | 05. Mai 2018 | AMPO

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

voestalpine AM MACHINE & MATERIAL CAPABILITIES

Laser Beam Melting



EOS M290 x 3



EOS M400



TruPrint 1000



SLM 280HL



Renishaw AM400

Materials

- » Inconel L718 & L625
- » 17-4 PH / N700
- » 1.2709 / W722

Direct Metal Deposition



TruLaser 7040

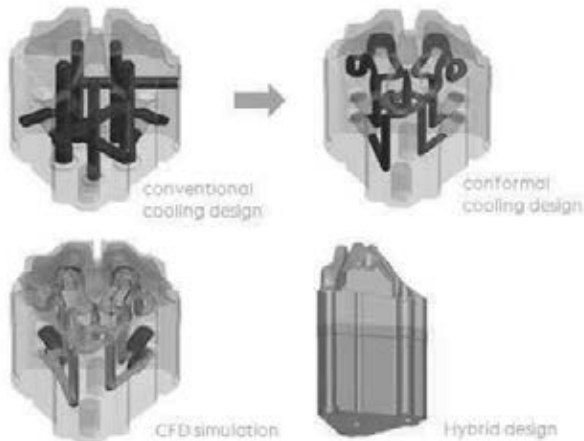


Lasertec 65 3D

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
5 | May 18 | AMPO

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

AM TOOL OPTIMIZATION AM GROUP PROJECT



Development of design and simulation skills for tool optimization

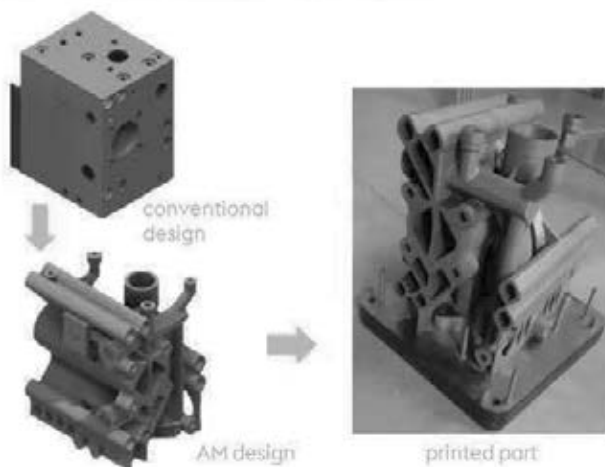
- » Design and cooling optimization of an aluminum die casting tool
- » CFD & thermal transfer simulation
- » Hybrid design

- » Conformal cooling realized in hybrid AM part

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
6 | May-18 | AMPO

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

VALVE BLOCK AM GROUP PROJECT



Valve block for rotary forging machine. High costs and long shipping times because of manufacturer monopolist.

- » Reverse engineering of part
- » Design optimization to be AM suitable economical feasible

voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
7 | May-18 | AM GROUP PROJECT

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

ADITIVNA IZRADA POLIMERNIH KALUPA ZA MALOSERIJSKU PROIZVODNJU

Damir GODEC, Robert SURMA, Ana PILIPOVIĆ, Miodrag KATALENIĆ
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

SAŽETAK

Jedan od trendova 4. industrijske revolucije je personalizirana proizvodnja, koja se izvodi u serijama od jednog do nekoliko proizvoda. Primjena klasičnih postupaka proizvodnje, primjerice injekcijskim prešanjem, podrazumijeva izradu kalupa što predstavlja vremensko, a posebice, u slučaju maloserijske proizvodnje, financijsko opterećenje projekta razvoja i proizvodnje. Izravna primjena aditivnih tehnologija može donekle umanjiti nedostatke klasičnog pristupa, no ograničenje aditivnih tehnologija može se očitovati u suženom broju raspoloživih materijala i u samoj fizici procesa npr. slojevit izrade proizvoda, koja se bitno razlikuje od injekcijskog prešanja. Potencijalno rješenje predstavlja primjena aditivnih tehnologija u izradi prijelaznih kalupa za izradu manje serije otpresaka od originalno zahtijevanog materijala. Takav pristup omogućuje velike vremenske uštede u usporedbi s klasičnom izradom kalupa, pojednostavljene samog kalupa te smanjenje troškova izrade kalupa, odnosno troškova izrade otpreska. U radu je opisan PolyJet postupak aditivne tehnologije, te njegova primjena za izradu prijelaznih polimernih kalupa za injekcijsko prešanje manjih serija otpresaka.

1 UVOD

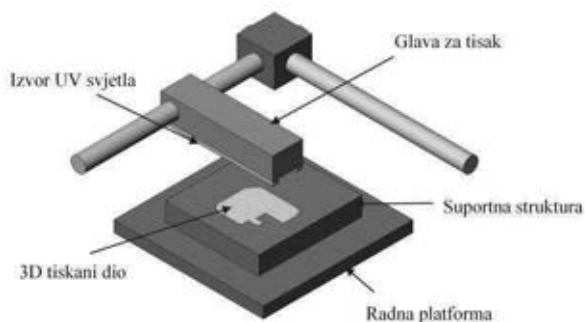
Suvremeni zahtjevi na tržištu stavljaju sve veće zahtjeve pred procese razvoja i proizvodnje proizvoda. Osim zahtjeva za povećanjem kvalitete proizvoda, razine fleksibilnosti u procesu razvoja i proizvodnje, istodobno se ističu zahtjevi za sniženjem troškova, a posebice skraćivanje vremena razvoja i proizvodnje. Dodani trend, kao dio megatrendova povezanih s globalnim razvojem populacije čovječanstva, a koji je istaknut u određenim segmentima globalnih tržišta, napuštanje je masovne proizvodnje te prelazak na maloserijski pa čak i pojedinačnu (personaliziranu) proizvodnju, što dovodi do promjene u proizvodnoj paradigmi [1]. Kako bi se udovoljilo takvih zahtjevima na tržištu, od 1980-tih godina trajno se razvijaju postupci aditivne proizvodnje. Glavna karakteristika tih postupaka je dodavanje materijala uglavnom sloj-po-sloj, do konačne izrade proizvoda, temeljeno samo na 3D CAD modelu proizvoda, bez potrebe za dodatnim alatima. Takva načela omogućuju izradu proizvoda vrlo kompleksnih oblika koje bi bilo vrlo teško ili čak nemoguće izraditi klasičnim tehnologijama. Međutim, unatoč navedenim prednostima, aditivna proizvodnja ima i određene nedostatke. Prvi od njih je ograničena paleta raspoloživih materijala koje je moguće prerađivati aditivnom proizvodnjom u

usporedbi s klasičnim tehnologijama prerade, primjerice injekcijskog prešanja polimera. Uz to fizika izrade proizvoda u slojevima, bitno se razlikuje od fizike izrade klasičnim postupcima (npr. injekcijskim prešanjem), što rezultira i odstupanjima od mehaničkih i drugih svojstava proizvoda načinjenih aditivnom proizvodnjom i klasičnim postupcima prerade. U slučajevima, kada je potrebno načiniti malu seriju proizvoda koji služe ispitivanjima budućih proizvoda ili certificiranju, takva odstupanja nisu dopustiva. Kako bi se ipak iskoristile prednosti aditivne proizvodnje, moguće rješenje opisanog problema nalazi se u primjeni aditivnih tehnologija za izradu prijelaznih kalupa (alata) s pomoću kojih je moguće klasičnom tehnologijom prerade načiniti manju seriju proizvoda od izvornog materijala i izvornim postupkom (npr. injekcijskim prešanjem). Rad opisuje PolyJet postupak izrade prijelaznih kalupa, specifičnosti njihove izrade i prednosti koje donose, na primjerima iz prakse.

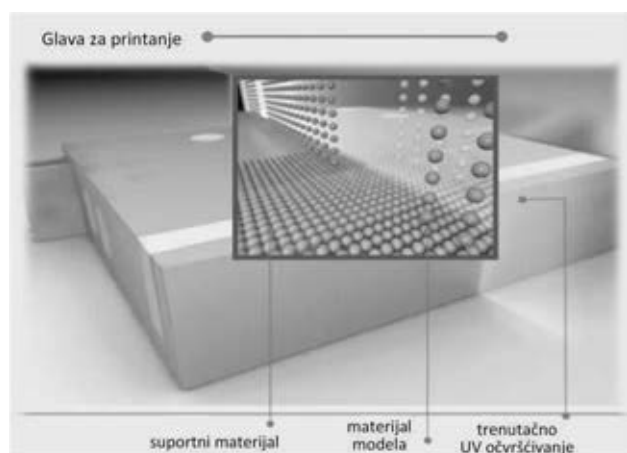
2 POLYJET TEHNOLOGIJA

Općenito, PolyJet tehnologija sastoji se od nanošenja tankog sloja fotoosjetljivog(ih) polimernog(ih) materijala (akrilne smole) s u obliku finih kapljica kroz glavu za tiskanje u

kojoj se nalazi mreža mlaznica, nakon čega slijedi umreživanje polimernog materijala s pomoću izvora UV svjetla (UV lampe) (Slika 1). Pri izradi jednog sloja, u slučaju kompleksne geometrije izrađivanog proizvoda, 3D pisac primjenjuje i gradivni i suportni materijal (Slika 2). Debljine slojeva mogu se podesiti na 16 μm ili 32 μm . [2]



Slika 1: Načela rada PolyJet postupka [2]



Slika 2: Tiskanje gradivnog i suportnog materijala u PolyJet postupku [3]

2.1 PolyJet u izradi prijelaznih kalupa

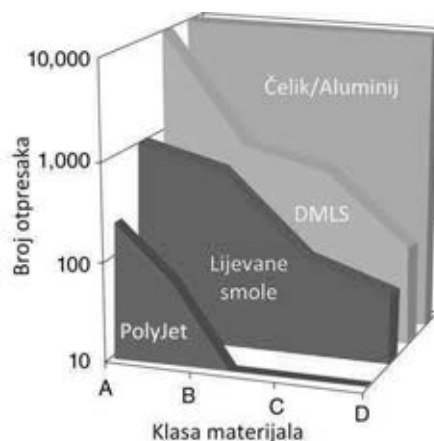
Kalupi načinjeni PolyJet postupkom nemaju ulogu zamjene mekih ili trajnih kalupa pri srednje- ili visokoserijskoj proizvodnji. Umjesto toga, oni služe za popunjavanje praznine između privremenih (soft) i trajnih (hard) kalupa te nadomjestak 3D ispisanim modelima. [1]

Inicijalni troškovi izrade kalupa PolyJet postupkom relativno su mali, a vrijeme izrade se kreće unutar nekoliko sati. Međutim, valja biti svjestan činjenice, kako su takvi kalupi namijenjeni izradi do 100 komada otpresaka u slučaju injekcijskog prešanja, ovisno o geometriji i materijalu otpreska.

U slučaju da je potrebno provesti promjene u konstrukciji, nova iteracija u izradi kalupa izvediva je unutar nekoliko sati uz male troškove. Time je omogućena velika sloboda u radu dizajnera i inženjera.

Kompleksnost geometrije otpreska i kalupa ne predstavlja nikakvo ograničenje pri PolyJet izradi kalupa. Uz navedeno, za izradu kalupa PolyJet postupkom nije potrebno nikakvo NC programiranje, već isključivo računalni CAD model kalupa.

Slika 3 prikazuje odnos kalupa načinjenih PolyJet postupkom i kalupa načinjenih od uobičajenih kalupnih materijala. Pri tome valja istaknuti kako su klase A i B prerađivanih materijala manje agresivne (npr. neojačani poliolefini), dok u skupinu C i D spadaju agresivniji materijali (npr. PA ojačan staklenim vlaknima ili PC) u smislu abrazijskog trošenja kalupa.



Slika 3: Planirani broj otpresaka obzirom na klasu prerađivanih materijala [4]

2.2 Materijali za izradu prijelaznih kalupa

PolyJet i PolyJet Matrix postupci omogućuju primjenu stotinjak različitih materijala temeljenih na akrilnim smolama, čija svojstva oponašaju raspon materijala od gumastih do krutih. Za potrebe izrade prijelaznih kalupa, od materijala se zahtijeva zadovoljavajuća čvrstoća (rastezna, savojna), žilavost te postojanost na povišene temperature radi očuvanja dimenzija kalupne šupljine. Pri tome je moguće izdvojiti dva materijala koja su najprimjerenija za izradu prijelaznih kalupa: RGD 525 (visokotemperaturni materijal bijele boje) i RGD 5160-DM (ABS-like

materijal zelene boje). *Tablica 1* prikazuje osnovna svojstva oba materijala.

Tablica 1: Svojstva materijala RGD 525 i RGD 5160-DM [5]

Svojstvo/jedinica	RGD 525	RGD 5160-DM
Rastezna čvrstoća/MPa	70 - 80	55 - 60
Modul rastezljivosti/MPa	3200 - 3500	2600 - 3000
Savojna čvrstoća/MPa	110 - 130	65 - 75
Modul savitljivosti/MPa	3100 - 3500	1700 - 2200
Izod – žilavost/J/m	14 - 16	65 - 80
Temperatura postojanosti oblika/°C	63 - 67	58 - 68
Temperatura postojanosti oblika nakon očvršćivanja/°C	75 - 80	82 - 90

Analizom svojstava čvrstoće i modula, moguće je zaključiti kako je materijal RGD 525 čvršći materijal, međutim žilavost mu je 5 puta niža u usporedbi s materijalom RGD 5160-DM. Postupkom očvršćivanja u peći, prema propisanom postupku (*Slika 4*), temperatura postojanosti oblika se za oba materijala može povisiti za do 30 %.



Slika 4: Vođenje procesa očvršćivanja [6]

Nakon postupka očvršćivanja, materijal RGD 5160-DM postiže oko 10% višu temperaturu postojanosti oblika što dolazi do izražaja pri preradi npr. injekcijskim prešanjem pri čemu se materijal kalupa zagrijava.

2.3 Pravila konstruiranja prijelaznih kalupa

Pri konstruiranju prijelaznih PolyJet kalupa moguće je primijeniti temeljne smjernice za konstruiranje klasičnih kalupa za injekcijsko prešanje. Međutim radi specifičnih svojstava PolyJet materijala za izradu prijelaznih kalupa,

potrebno je načiniti određene modifikacije u konceptu konstrukcije kako bi se kompenzirale mehaničke, toplinske i dimenzijske karakteristike takvih plastičnih kalupa.

Neka od temeljnih pravila konstruiranja prijelaznih kalupa su [4]:

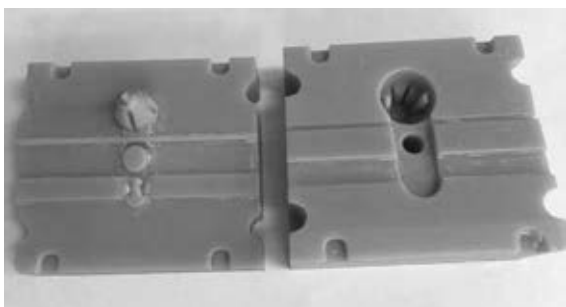
- povećati kutove skošenja radi lakšeg vađenja otpresaka,
- na svim oštrim bridovima dodati minimalne radijuse,
- ukoliko se kalup ugrađuje u klasično kućište, dodati na bazni dio barem 0,2 mm u visinu radi boljeg zatvaranja kalupa i izbjegavanja srha,
- kod ispisa izdanaka, voditi računa da se ne premaši omjer duljine i promjera 3:1 (ukoliko je omjer veći, preporučuje se primjena metalnih, izmjenjivih umetaka),
- kod izrade provrta, minimalni promjer iznosi 0,8 mm,
- kod konstruiranja ušća, primjenjivati klasična bočna ušća, filmska i lepezasta ušća te prstenasta ušća (izbjegavati tunelna i točkasta ušća),
- dimenzije ušća trebale bi biti 2-3 puta veće od dimenzija ušća u klasičnim metalnim kalupima,
- debljina ušća treba biti jednaka ili veća debljini stijenke otpreska,
- u kalup u pravilu treba ugraditi uljevni tuljak (eng. sprue) kako bi se izbjegao izravni kontakt kalupa s vrućom mlaznicom ubrizgavalice,
- u kalup ugraditi klasična izbacivala koja nisu pozicionirana na udaljenosti manjoj od 3 mm od rubova kalupne šupljine (u suprotnom moguće oštećivanje kalupa),
- iako radi loše toplinske vodljivosti materijala PolyJet kalupa klasično temperiranje kanalima i medijem kroz kalupne umetke nije učinkovito, ono može doprinijeti produljenju trajnosti kalupa (očekivano do 20 %),
- učinkovitije hlađenje je puhanjem stlačenog zraka na sljubnicu kalupa.

2.4 Mogućnosti primjene prijelaznih kalupa

Kod primjene prijelaznih PolyJet kalupa, moguće je nekoliko pristupa u ugradnji u

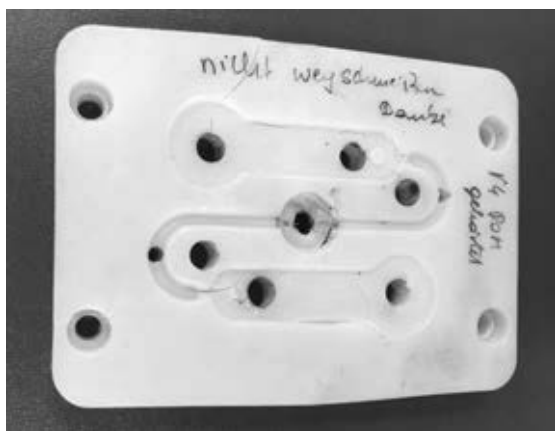
standardna kućišta ili njihova samostalna primjena.

U slučaju kada je riječ o otprescima manjih dimenzija, moguća je samostalna primjena PolyJet prijelaznih kalupa. Ovisno o tome, promjenjuje li se ručni tip ubrizgavalice ili strojna ubrizgavalica, potrebno je prilagoditi dimenzije PolyJet kalupa. U slučaju primjene ručne ubrizgavalice, konstruktor ima veću slobodu u modeliranju kalupa i optimiranju njegovih dimenzija (Slika 5).



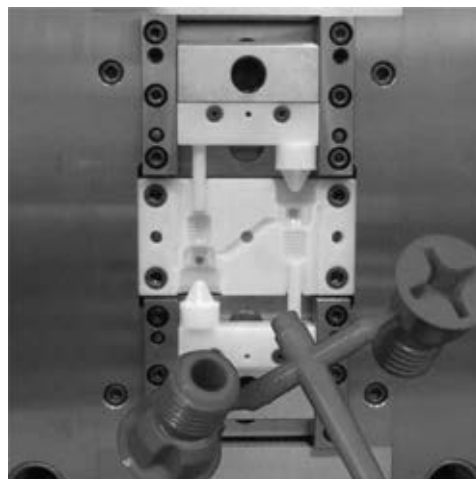
Slika 5: PolyJet kalup za primjenu na ručnoj ubrizgavalici

Kada se PolyJet kalupi primjenjuju na strojnim ubrizgavalicama, potrebno je dimenzije kalupa prilagoditi steznim pločama i vodilicama ubrizgavalice te ostatku klasičnog kućišta kalupa. Uz to, potrebno je predvidjeti deblje kalupne ploče u usporedbi s kalupima namijenjenim preradi na ručnim ubrizgavalicama, jer se u suprotnom može očekivati nastajanje napuklina na kalupu (Slika 6).



Slika 6: PolyJet kalup s napuklinama

Pri izradi veće količine otpresaka na većim ubrizgavalicama, kalupne umetke potrebno je ugraditi u čelično kućište kalupa (Slika 7).



Slika 7: PolyJet kalupni umetci ugrađeni u čelično kućište [4]

3 ZAKLJUČAK

PolyJet postupak 3D ispisa prijelaznih kalupa omogućuje izradu jednostavnih kalupa i kalupnih umetaka u relativno kratkom vremenu. Prednost pred većinom drugih postupaka 3D ispisa je što se ispis kalupa provodi pri sobnoj temperaturi, što ne uzrokuje deformacije kalupa (kalupnih umetaka), koje bi u suprotnom bilo nužno uzeti u obzir pri modeliranju kalupa. Stijenke elemenata kalupne šupljine također su glatke (radi primjene materijala u kapljevitom obliku), što omogućuje lakše vađenje otpreska iz kalupa.

Zahvala

Rad je dio istraživanja u okviru projekta Povišenje učinkovitosti razvoja i preradbe polimernih proizvoda koje financira Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske. Autori zahvaljuju Ministarstvu na financiranju projekta.

Literatura:

- [1] Godec, D., Šercer, M.: *Aditivna proizvodnja*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [2] Gebhardt, A.: *Understanding Additive Manufacturing*, Carl Hanser Verlag, München, 2012.
- [3] The PolyJet Matrix 3D Printing Services (<http://proto3000.com/polyjet-matrix-3d-printing-services-process.php>)
- [4] PolyJet For Injection Molding (http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Technical%20Application%20Guides_TAG/TAG_PJ_InjectionMolding.pdf)
- [5] www.stratasys.com/customer-support/customer-resource-center/material-patches
- [6] Thermal Treatment for RGD5160-DM (http://www.smg3d.co.uk/files/doc-08269_d_rgd5160-dm_thermal-treatment.pdf)

PROBLEMATIKA BRIZGANJA POLIZDELKOV VEČJIH DIMENZIJ

Aleš MEDVED, Aleš ADAMLJE, Matija OBOLNAR

Hella Saturnus Slovenija d.o.o

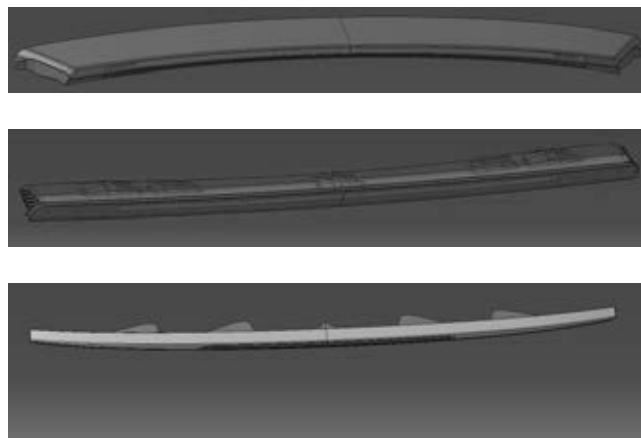
IZVLEČEK

Design avtomobila je eden ključnih elementov prodaje avtomobilov. Da bi zadostili zahtevam kupcev, oblikovalci na področju oblikovanja športnih in električnih avtomobilov uporabljajo rešitve, ki so s stališča izdelave izdelka problematične in zahtevajo spremembo tradicionalnega razmišljanja glede konstrukcije izdelka in orodja. Dodatno težavo predstavljajo tudi vedno višje zahteve kupcev glede estetske ustreznosti izdelkov in čedalje ožje tolerance ob večjih gabaritih izdelkov. Izdelki z velikim razmerjem med dolžino in ostalima dvema dimenzijama so s tehnološkega stališča problematični za izdelavo in zahtevajo že v fazi razvoja tehten razmislek glede same konstrukcije izdelka in koncepta orodja. V prispevku bo prikazana problematika razvoja in optimizacije procesa brizganja zunanje leče svetila z velikim razmerjem dimenzij.

1 UVOD

Z razvojem avtomobilske industrije se na trgu pojavljajo vedno višje zahteve glede funkcionalnosti in estetskega izgleda izdelkov, ki formirajo zunanjo karoserijo avtomobila. Na področju izdelave zunanje svetlobne opreme avtomobilov, ki je eden ključnih oblikovnih elementov karoserije avtomobila, se srečujemo z vedno večjimi gabariti izdelkov, prosto površinskimi oblikami, LED tehnologijo svetlobnih virov, ki je energijsko varčnejša v primerjavi s halogenskimi izvori ter vedno višjimi zahtevami glede izgleda izdelkov. Vedno večje dimenzije svetil predstavljajo velik izziv pri konstruiranju polizdelkov, izdelavi orodij, zagonu ter optimizaciji procesa brizganja ter stabilnosti procesa brizganja polizdelkov v proizvodnji. Eden od najbolj kritičnih izdelkov svetlobne opreme avtomobilov višjega cenovnega razreda s stališča tehnologije izdelave postaja dodatna zavorna svetilka. Zaradi novih oblikovnih trendov dodatne zavorne svetilke postajajo vedno daljše in v nekaterih avtomobilih dolžina svetilk presega 1000 mm (Slika 1). S tem je razmerje med dolžino ter širino in višino svetilke v primerjavi z dodatnimi zavornimi svetilkami, ki smo jih proizvajali do sedaj, bistveno večje. Da se izognemo težavam v proizvodnji, je potrebno že v fazi konstrukcije izdelka in priprav tehničnih zahtev za orodje te specifike izdelka upoštevati.

Zaradi položaja vgradnje svetilke, ki je običajno vgrajena v višini oči (Slika 2), je tretja zavorna svetilka s stališča zahtev po izgledu eden od najzahtevnejših elementov v avtomobilu.



Slika 1: Primeri dodatnih zavornih svetilk večjih dolžin

Za pregled dekorativne ustreznosti končnega izdelka kupci uporabljajo posebno opremo, s katero je mogoče zaznati najmanjša odstopanja od postavljenih zahtev v zvezku zahtev izdelka. Svetilka formira karoserijo avtomobila, zato je eden ključnih omejitvenih dejavnikov pri konstrukciji zunanjih leč tudi razpoložljiv prostor za vgradnjo svetilke, ki ga je kupec predvidel v karoseriji. Element z najvišjimi estetskimi zahtevami pri dodatni zavorni svetilki je zunanja leča, saj je po vgradnji v celoti vidna.



Slika 2: Primer vgradnje dodatne zavorne svetilke večje dolžine 1200mm v avtomobilu [1]

Dodatne omejitve, ki jih kupec postavi z zahtevami glede funkcionalnosti izdelka in dimenzijske ustreznosti svetilke po vgradnji v karoserijo, postavljajo dodatne omejitve v razvoju izdelka in s tem prinašajo dodatne izzive. Zaradi zniževanja stroškov in vedno manjšega razpoložljivega prostora za vgradnjo, je pri dolgih svetilkah prisoten trend po izdelavi dvobarvnih leč, s čimer zmanjšamo vgradne gabarite svetilke. Te so za izdelavo s stališča procesa in dosegljivih toleranc v primerjavi z enokomponentnimi lečami zahtevnejše. Dekorativne zahteve kupca, ki jih postavi kupec za svetilko, vgrajeno v vozilo, in na drugi strani zahteve kupca po funkcionalnosti in dimenzijski ustreznosti dolgih dodatnih zavornih svetilk so s stališča procesa brizganja pogosto diametralno nasprotni. S spremembo parametrov brizganja izboljšamo dekorativno ustreznost leče in poslabšamo funkcionalne lastnosti leče ali obratno.

2 OD KONCEPTA DODATNE ZAVORNE SVETILKE DO VGRADNJE V VOZILO

Pri izdelavi koncepta svetilke moramo upoštevati vse dejavnike, ki nas bodo kasneje lahko omejevali pri proizvodnji posameznih polizdelkov in končni montaži svetilke. Koncept izdelka mora biti izdelan v skladu s tehnološkimi omejitvami materialov in procesa, vsi brizgani polizdelki pa tehnološko izvedljivi v orodju. V fazi razvoja vseh sestavnih delov in celotne svetilke je nujna uporaba sodobnih inženirskih metod in sodelovanje celotnega razvojnega tima. Posebno pozornost moramo posvetiti izbiri pravilne kombinacije materialov izdelka, izvedbi

simulacij brizganja polizdelkov ter temperaturnim optičnim in trdnostnim simulacijam svetilke, izbiri ustreznega materiala za oblikovne dele orodij, zasnovi optimalnega koncepta orodja z vidika robustnosti procesa brizganja in življenjske dobe orodja ter izbiri primerne stroja in opreme za brizganje. Zunanja leča svetilke je s stališča izdelave, montaže leče v celoten sklop in montaže svetilke v karoserijo avtomobila najkritičnejši brizgan polizdelek, zato se bomo v nadaljevanju osredotočili na problematiko razvoja in izdelave dvokomponentne leče.

3 RAZVOJ LEČE

Razvoj optičnih polizdelkov zahteva sodelovanje celotnega razvojnega tima od faze zasnove izdelka do prenosa v proizvodnjo. Pomembno je, da je izdelek že v fazi izdelave koncepta zasnovan tako, da ga bo možno izdelati. V ta namen v podjetju uporabljamo metodo DFMA – design for manufacturing and assembly. Z metodo DFMA odgovorni člani tima preverijo izvedljivost leče s tehnološkega stališča in jo optimirajo v smeri optimalne izdelave in enostavnejše montaže. Ker so dvokomponentne leče dodatnih zavornih svetilk večjih dolžin z vidika procesa brizganja zelo zahtevne za izdelavo, vključimo v proces razvoja leče tudi orodjarja. Orodjar preveri izvedljivost leče s stališča izdelave orodja. Z metodo DFMA v fazi razvoja:

- preverimo ustreznost predlaganih materialov za obe komponenti,
- določimo pozicije dolivnih mest in debeline posameznih komponent leče glede na zahteve kupca in omejitve izdelka,
- izvedemo simulacije brizganja za obe komponenti in na podlagi rezultatov optimiramo lečo v smeri izboljšanja tečenja materiala v orodju in zmanjšanja geometrijskih odstopkov,
- preverimo in optimiramo snemalne kote izdelka na obeh komponentah,
- definiramo fiksirne geometrije na prvi komponenti leče, da se prepreči premik prve komponente leče v fazi brizganja druge komponente,

- optimiramo delilne ravnine na izdelku v smeri zmanjšanja števila preskokov delilne ravnine in zveznih prehodov,

- optimiramo geometrijo leče za montažne operacije,

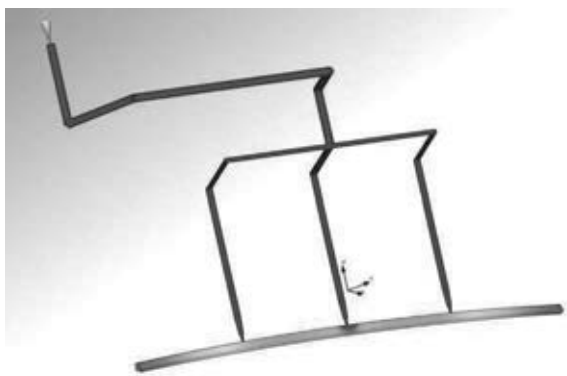
- analiziramo negativne geometrije na leči in definiramo izvedbo stranski pogonov za odpiranje negativnih geometrij v orodju,

- analiziramo geometrijo izdelka z vidika temperirnega sistema v orodju,

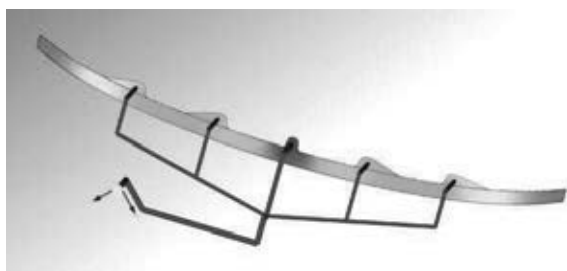
- analiziramo izvedljivost snemanja leče iz orodja glede na predviden izmetalni sistem,

- analiziramo in optimiramo delitev med prvo in drugo komponento.

Simulacijo brizganja izvedemo za obe komponenti (Slika 3 in Slika 4).



Slika 3: Simulacija brizganja prve komponente



Slika 4: Simulacija brizganja druge komponente

Simulacije brizganja izvedemo z večkratnimi ponovitvami, da se čimbolj približamo željenemu stanju v proizvodnji. Zaradi zahtevnosti dvokomponentne leče v simulacijo vključimo tudi dolivni in temperirni sistem orodja. Tehnološki parametri procesa, ki jih uporabimo v zadnji simulaciji, predstavljajo osnovo za parametre, ki jih uporabimo na prvem preskusu leče.

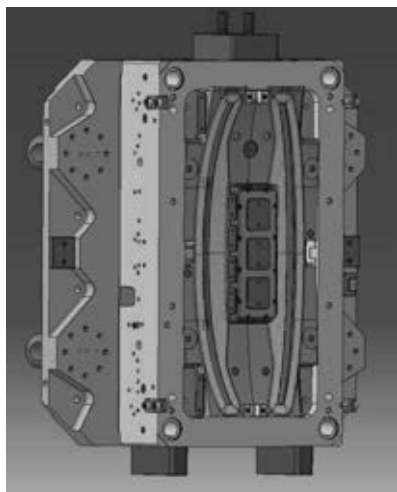
Leča je po vgradnji v karoserijo vozila v celoti vidna, zato je potrebno v fazi simulacij posebno

pozornost posvetiti sistemu dolivanja in potencialnim napakam, ki se lahko pojavijo v procesu brizganja zaradi napačne izbire tipa dolivnega sistema ali dolivnih mest. Hladni spoji na leči niso dovoljeni, zato mora biti dolivanje obeh komponent izvedeno sekvenčno. Pri izbiri tipa in mesta dolivnih točk moramo upoštevati omejitve materiala in izdelka. Na področju dolivnih mest se pojavljajo dekorativne napake, ki po vgradnji svetilke v vozilo niso dovoljene. Posebno pozornost moramo posvetiti notranjim napetostim v izdelku, ki se pojavijo v izdelku po brizganju. Z ustrezno kombinacijo debelin sten, poti tečenja taline v orodju in nizkih brizgalnih tlakov ter optimalnih naknadnih tlakov, s katerimi odpravimo posedenost na leči, bomo notranje napetosti v leči znižali in preprečili dodatne deformacije leče v fazi odprave notranjih napetosti v svetilki, ki jo izvedemo pred odpremo svetilke končnemu kupcu.

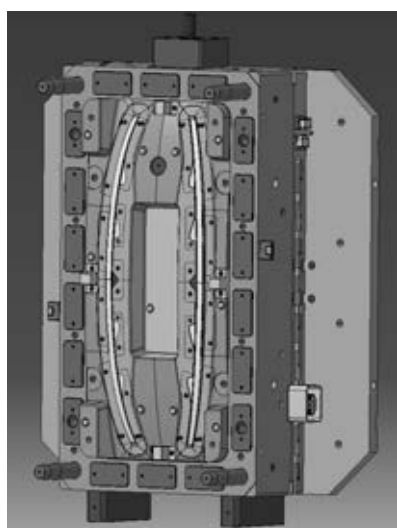
4 KONSTRUKCIJA IN IZDELAVA ORODJA ZA 2K LEČO

Pri dvokomponentnih lečah je potrebno že v fazi zasnove orodja določiti brizgalni stroj, na katerem se bo leča brizgala in orodje zasnovati za izbran stroj. Leče se izdelujejo na namenskih dvokomponentnih strojih, ki morajo biti opremljeni z vrtljivo mizo ali dodatno opremo, ki omogoča uporabo orodij z indeksno ploščo. Zaradi velike dolžine leče v primerjavi z ostalima gabaritoma, so tudi gabariti orodja veliki in lečo je potrebno proizvajati na stroju z večjo zapiralno silo, kot ga zahteva projekcijska površina leče in masa brizga posameznih komponent. Pozicija brizgalnih enot na dvokomponentnih strojih je glede na izvedbo dvokomponentnega stroja in izvedbo vrtljive mize ali opreme za indeksno ploščo različna, zato sta brizgalna stran orodja dvokomponentne leče (Slika 5) in zapiralna stran orodja (Slika 6) orodje zasnovani namensko za izbran stroj in ju običajno ni možno uporabiti na drugem stroju. Orodjar orodje zasnuje in izdelava v skladu s tehničnimi zahtevami za orodje, ki mu jih posredujemo že v fazi, ko pripravlja ponudbo in dopolnimo pred pričetkom izdelave koncepta orodja. Pri izdelavi orodja moramo posebno pozornost posvetiti izbiri materiala za oblikovne

dele orodij, ki formirajo obliko leče, saj je od kvalitetne površine gnezd odvisna tudi kvaliteta površine izdelka po brizganju.



Slika 5: Brizgalna stran orodja 2K leče



Slika 6: Zapiralna stran orodja 2K leče

5 ZAGON IN OPTIMIZACIJA ORODJA

Faza preizkušanja orodij in optimizacija procesa brizganja dvokomponentnih leč predstavlja ključno fazo v razvoju izdelka. V fazi optimiranja procesa moramo poiskati optimalne parametre brizganja, s katerimi bomo izdelali dimenzijsko in dekorativno kvalitetno lečo s čim manjšimi notranjimi napetostmi. Zaradi zahteve po sekvenčnem polnjenju leče, s katerim odpravimo hladne spoje, za krmiljenje pnevmatskih zapiralnih šob z iglami uporabljamo elektromagnetne ventile na stroju in dodatne regulatorje tlaka ali servomotorje na toplo

kanalnih sistemih, ki omogočajo natančno krmiljenje časa odpiranja in zapiranja igel. V fazi optimizacije procesa brizganja posebno pozornost posvetimo parametrom brizganja prve komponente, ki vplivajo na dimenzije prve komponente in s tem pozicioniranje in stabilnost prve komponente v orodju v fazi brizganja druge komponente. Do premika prve komponente med brizganjem druge komponente lahko pride tudi zaradi napačne izbire parametrov brizganja druge komponente. Dodatno omejitev pri izbiri parametrov brizganja predstavljajo notranje napetosti v leči, ki v primeru, da so previsoke, povzročijo lokalne deformacije leče v fazi temperiranja svetilke pred odpremo kupcu, ter zahteve po čim manjši zvitosti leče po brizganju, da ne prihaja do težav pri končni montaži. Da zadostimo vsem kriterijem, optimiramo parametre brizganja v smeri čim nižjih brizgalnih in naknadnih tlakov ter visokih temperatur orodja in taline.

6 SKLEP

Dvokomponentne leče dodatnih zavornih svetilk zaradi velikih razmerij gabaritov in visokih dekorativnih zahtev spadajo med kompleksnejše izdelke, pri katerih moramo v fazi razvoja izdelka in orodja ter fazi optimiranja procesa brizganja poiskati optimalne konstrukcijske rešitve za izdelek in orodje ter parametre brizganja, ki nam bodo omogočali stabilen proces brizganja z minimalnim izmetom. V procesu razvoja izdelkov tega tipa je potrebna uporaba sodobnih inženirskih metod in uvajanje izboljšav na podlagi pridobljenih izkušenj.

Viri:

- [1] CARS UK: (2018, 25. April) 2018 Audi A7 Sportback arrives sporting Hybrid tech – and it looks NEW too. Pridobljeno na: <http://www.carsuk.net/2018-audi-a7-sportback-arrives-sporting-hybrid-tech-looks-new/>
- [2] Menges, G., Mohren P: (1993). How to make injection moulds 2nd ed.. Munich: Carl Hanser Verlag.
- [3] A. Adamlje: Orodjar in plastičar – partnerja ali tekmeča Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 9. Industrijski forum Inovacije, razvoj, tehnologije Portorož, 5. in 6. junij 2017 (str.205-208). Škofljica: ProfiDTP.

SPEKTROFOTOMETRIJA – VSESTRANSKO ORODJE ZA ANALIZO DEGRADACIJE POLIMEROV?

Thomas WILHELM, Teja PEŠL, Silvester BOLKA
Fakulteta za tehnologijo polimerov

IZVLEČEK

Degradacija polimernih materialov ima velik vpliv na lastnosti in življenjsko dobo plastičnih izdelkov in je pogosto povezana s spremembo barve. Spektrofotometrija je dosti bolj občutljiva na spremembo barve kot človeško oko in nam tako omogoča kvantitativno analizo degradacije.

V prispevku predstavljamo študijo, ki primerja rezultate spektrofotometrije ter rezultate mehanske in termične analize vzorcev, ki so bili podvrženi različnim temperaturam in različnim časom sušenja. Teste smo izvedli tudi pri minimalni in maksimalni priporočeni temperaturi brizganja. Glede na dobljene rezultate smo nato obravnavali prednosti in pomanjkljivosti spektrofotometrije za analizo degradacije polimerov.

1 UVOD

Že med pripravo polimernega materiala na predelavo ter nato tudi med samo predelavo polimernih materialov lahko z izbiro napačnega časa sušenja, previsoke temperature sušenja, previsoke temperature brizganja, previsokega protitlaka in še marsikaterega drugega dejavnika močno vplivamo na degradacijo samega materiala. Degradacija polimernih materialov ima velik vpliv na življenjsko dobo plastičnih izdelkov, saj ima pomemben vpliv na lastnosti materiala. Degradacije pa ne zaznavamo samo s pomočjo laboratorijskih testov, kjer merimo spremembe mehanskih in toplotnih lastnosti, temveč tudi s spremembo barvnih tonov. Ker pa žal človeško oko ni tako občutljivo na spremembo barve, da bi lahko zaznalo že najmanjšo degradacijo, si pomagamo s posebno metodo – spektrofotometrijo, s katero izmerimo barvne tone materiala, in tako zaznamo že najmanjše spremembe v barvi materiala, kar lahko pomeni degradacijo in s tem spremembo lastnosti.

2 SPEKTROFOTOMETRIJA

Spektrofotometrija je pomembna za veliko industrijskih aplikacij, kot so npr. proizvodnja in

uporaba barv, papirniška industrija, tekstilna industrija in industrija predelave plastike. Barvni toni se lahko med predelavo spremenijo. Razlog je lahko v nihanju barvnih tonov med posameznimi dobavami ali zaradi nihanja parametrov med samo predelavo. Pri zahtevnih aplikacijah je potreben spektralni pristop. Človeško oko naj bi bilo sposobno zaznati razliko v barvnem tonu 0,5 CIELAB enot, kar naj bi bil tudi cilj pri aplikacijah, ki zahtevajo visoko ponovljivost barvnih tonov. Najboljšo ponovljivost pri merjenju barvnih tonov zagotavlja uporaba spektrofotometra [1].

Najbolj pogosto uporabljen tip osvetlitve je D_{65} , ki ima barvno temperaturo 6504 K in kot osvetlitve 10° .

CIELAB barvni prostor:

- L – svetlost
- a: rdeče – zelena os
- b: rumeno – modra os

$L = 0$ za črn predmet in $L = 100$ za bel predmet.

Negativna vrednost a – zeleni predmet, pozitivna vrednost a za rdeč predmet.

Negativna vrednost b za moder predmet, pozitivna vrednost b za rumen predmet.

Za vrednotenje barvnih razlik uporabljamo premik v barvnem prostoru, ki ga izračunamo po Enačbi 1.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJA

3.1 Priprava vzorcev

Uporabili smo tri različne termoplaste.

Za testiranje vpliva temperature in časa sušenja smo uporabili akrilonitril-butadien-stiren (ABS), s trgovsko oznako Novodur HD M 203, proizvajalca Ineos Styrolution.

Za testiranje vpliva temperature brizganja smo uporabili polikarbonat (PC) in polistiren (PS). PC je bil Lexan 503R, proizvajalca Sabic Innovative Plastics, PS je bil Edistir N 3782, proizvajalca Eni Versalis.

3.2 Laboratorijska testiranja

Testiranja smo opravili v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Vse vzorce smo brizgali na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX.

Vzorce ABS smo pred brizganjem sušili pri temperaturah 60 °C, 80 °C in 100 °C, v časovnih intervalih 1 uro, 4 ure in 24 ur. Brizgali smo jih pri temperaturi 230 °C.

Vzorce PC smo brizgali pri temperaturah 270 °C in 340 °C.

Vzorce PS smo brizgali pri temperaturah 170 °C in 250 °C.

Natezne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10kN. Natezne teste smo izvedli skladno z ISO 527. Pri nateznem testu je bil razmak čeljusti 50 mm, hitrost testiranja do raztezka 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min.

Meritve udarne in zarezne udarne žilavosti smo izvedli na Charpy LY-XJJDS skladno z ISO 179. Razmik med podporama je bil 60 mm, uporabili smo 5 J kladivo za meritve udarne žilavosti in 2 J kladivo za meritve zarezne udarne žilavosti.

Meritve barvnih tonov smo izvedli na spektrofotometru X-ride Coloreye XTH.

3.3 Temperatura in čas sušenja pri ABS

Pri nateznem testu (Tabela 1) ima temperatura sušenja velik vpliv na togost, veliko manjši vpliv pa na trdnost in raztezek pri pretrgu. Najvišjo togost dosežemo pri sušenju 1 h pri 80 °C, najnižjo togost dobimo pri sušenju 4 ure pri 100 °C. Trdnost je najvišja pri sušenju 24 h pri 80 °C, najnižja pri sušenju 4 h pri 100 °C. Raztezek pri pretrgu je najvišji pri sušenju 1 h pri 80 °C, najnižji pri sušenju 4 h pri 100 °C. Iz rezultatov lahko zaključimo, da je temperatura sušenja 100 °C že povzročila kar opazen upad nateznih lastnosti, kar bi lahko povezali z degradacijo materiala. Pri vrednotenju rezultatov je zanimivo dejstvo, da pri vseh treh temperaturah dobimo najnižjo togost, trdnost in raztezek pri pretrgu po 4 urah sušenja, po 1 uri in 24 urah sušenja so vrednosti višje.

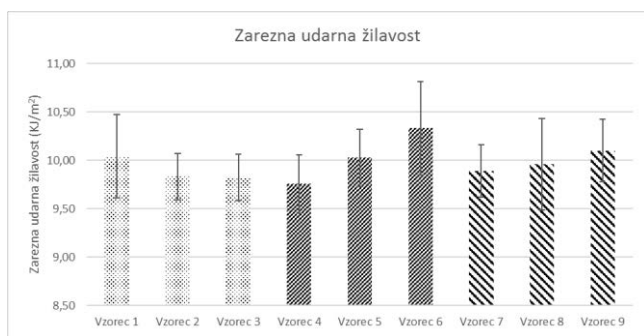
Tabela 1: Rezultati mehanskih analiz za ABS

Material, T sušenja, čas sušenja	Vzorec	Natezni E modul (GPa)	Natezna trdnost (MPa)	Raztezek pri pretrgu (%)
ABS, 60 °C, 1 h	1	2,68	49,5	9,91
ABS, 60 °C, 4 h	2	2,64	50,3	9,39
ABS, 60 °C, 24 h	3	2,82	50,7	10,85
ABS, 80 °C, 1 h	4	3,20	51,5	11,40
ABS, 80 °C, 4 h	5	2,94	51,3	8,89
ABS, 80 °C, 24 h	6	3,02	51,9	10,60
ABS, 100 °C, 1 h	7	2,30	50,7	10,78
ABS, 100 °C, 4 h	8	1,91	46,9	7,67
ABS, 100 °C, 24 h	9	2,24	48,5	8,29

Pri meritvah udarne žilavosti vzorci sušeni pri 60 °C in 80 °C niso počili, udarna žilavost je bila večja od 90 kJ/m². Pri vzorcih sušenih pri 100 °C, sta počila dva vzorca sušena 1 uro (74,0 kJ/m² in 85,1 kJ/m²), dva vzorca sušena 4 ure (82,8 kJ/m² in 85,0 kJ/m²) in 4 vzorci sušeni 24 ur (44,5 kJ/m² do 72,6 kJ/m²). Glede na rezultate udarne žilavosti bi lahko zaključili, da se pri vzorcih sušenih pri 100 °C udarna žilavost zmanjšuje, vendar so vzorci zelo nehomogeni, saj

jih počí le 20 % sušenih 1 uro in 4 ure, ter 40 % sušenih 24 ur. Temperatura sušenja 100 °C povzroči zniževanje žilavosti, razlik med temperaturama sušenja 60 °C in 80 °C pa ni zaznati.

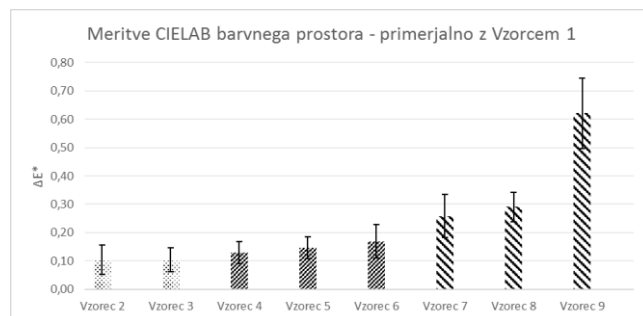
Pri meritvah zarezne udarne žilavosti vzorcev ABS (Slika 1) opazimo, da pri sušenju pri 60 °C z daljšanjem časa sušenja zarezna udarna žilavost pada, pri sušenju pri 80 °C z daljšanjem časa sušenja zarezna udarna žilavost narašča in je najvišja pri 24 urah sušenja (10,33 kJ/m²), pri sušenju pri 100 °C z daljšanjem časa sušenja zarezna udarna žilavost narašča. Iz dobljenih rezultatov bi lahko zaključili, da je optimalna temperatura sušenja 80 °C in čas 24 ur. Najnižjo zarezno udarno žilavost dobimo pri sušenju pri 80 °C 1 uro (9,76 kJ/m²).



Slika 1: Zarezna udarna žilavost vzorcev ABS

Pri meritvah optičnih lastnosti smo vse vzorce primerjali glede na vzorec 1, ki nam je služil kot referenca. S Slike 2 je grafično lepo razvidno, da ΔE CIELAB barvnega prostora narašča od vzorca 2 do vzorca 9. Iz rezultatov je razvidno, da se je vzorcem glede na čas in temperaturo sušenja spremenil barvni ton. Iz rezultatov zopet lahko sklepamo že prej ugotovljene ugotovitve, da z naraščanjem temperature sušenja povzročimo degradacijo materiala ABS. Največja sprememba glede na ΔE CIELAB barvnega prostora je opazna pri vzorcu 9, kjer je vrednost znašala 0,62. Vse vrednosti od vzorca 2 do 8 so izmerjene pod vrednostjo 0,5, kar spada pod vrednotenje rezultatov, da barvna razlika ni zaznavna za človeško oko. Pri vzorcu 9 pa je izmerjena vrednost presegla 0,5 in spada pod zanemarljivo razliko v barvnem tonu. Rezultati kažejo na spremembo v barvi, vendar ta v našem okolju ni vidna oz. je naše oko ne zazna.

V našem primeru je lepo prikazana razlika barve od referenčnega vzorca do vzorca 9, kjer vrednosti strmo naraščajo. Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da je spektrofotometrija dober pokazatelj toplotne predzgodovine oz. degradacije materiala.



Slika 2: ΔE CIELAB barvnega prostora vzorcev ABS

3.4 Temperatura brizganja pri PC in PS

Pri nateznem testu (Tabela 2) ima temperatura brizganja enoten vpliv le na raztezek pri pretrgu. Z višanjem temperature brizganja se raztezek pri pretrgu zmanjša tako pri PC kot pri PS. Višanje temperature brizganja zviša togost in trdnost pri PC, pri PS pa ju zniža. Ta fenomen je za PC poznan, sej se mu pri degradaciji togost in trdnost lahko povišata, raztezek pa zniža. PS se togost in trdnost znižata, prav tako raztezek pri pretrgu, kar je tudi znak degradacije PS.

Tabela 2: Rezultati mehanskih analiz za PC in PS

Material, T brizganja	Natezni E modul (GPa)	Natezna trdnost (MPa)	Raztezek pri pretrgu (%)
PC, 270 °C	2,85	59,5	14,22
PC, 340 °C	3,35	64,7	3,78
PS, 185 °C	2,60	59,0	4,40
PS, 250 °C	2,37	50,4	2,65

Pri meritvah udarne žilavosti so vzorci tako PC kot PS manj žilavi, če jih brizgamo pri višjih temperaturah, kar lahko pomeni degradacijo pri

brizganju. Drastično znižanje udarne žilavosti je vidno pri PS, pri PC je znižanje manj izrazito.

Tabela 3: Udarne žilavost vzorcev PC in PS

Udarne žilavost (kJ/m ²)			
PS, 185 °C	PS, 250 °C	PC, 270 °C	PC, 340 °C
27,90 ± 4,39	7,16 ± 2,20	> 111	> 86

Pri meritvah zarezne udarne žilavosti vidimo drastično znižanje tako pri PC kot pri PS. Višja temperatura brizganja povzroči degradacijo materiala, ki vpliva na zarezno udarno žilavost. Potrdilo se je dejstvo, da je zarezna udarna žilavost boljše merilo za zasledovanje degradacije materiala kot udarna žilavost.

Tabela 4: Zarezna udarna žilavost vzorcev PC in PS

Zarezna udarna žilavost (kJ/m ²)			
PS, 185 °C	PS, 250 °C	PC, 270 °C	PC, 340 °C
1,93 ± 0,10	1,07 ± 0,26	10,00 ± 0,93	4,25 ± 0,43

Pri meritvah optičnih lastnosti smo vse vzorce primerjali glede na prvo nabrizgane vzorce pri nižjih temperaturah. Iz Tabele 5 lahko razberemo, da je ΔE CIELAB barvnega prostora veliko višja za višjo temperaturo brizganja. Največja sprememba glede na ΔE CIELAB barvnega prostora je opazna pri vzorcu PC, ki je bil brizgan pri 340 °C, kjer je vrednost znašala 5,84, kar je že močno opazna razlika v barvnem tonu. Pri vzorcu PS 250 °C je razlika veliko manjša in znaša 2,95. Razlika v barvnem tonu lepo pokaže toplotno predzgodovino materiala, saj imajo vzorci brizgani pri nižji temperaturi veliko nižjo vrednost ΔE , kot vzorci brizgani pri višji temperaturi.

S pomočjo meritev barvnih tonov je možno sklepati na degradacijo materiala med brizganjem, saj je lepo vidna razlika med minimalno priporočeno in maksimalno priporočeno temperaturo brizganja tako za PC kot za PS.

Tabela 5: ΔE CIELAB barvnega prostora vzorcev PC in PS

ΔE CIELAB barvnega prostora			
PS, 185 °C	PS, 250 °C	PC, 270 °C	PC, 340 °C
1,01	2,95	1,96	5,84

5 SKLEP

Rezultati testiranja so pokazali, da lahko zaznamo degradacijo ABS kot posledico sušenja le s spektrofotometrom. Razlika v barvnih tonih (ΔE) narašča s temperaturo in s časom sušenja. Čeprav s prostim očesom razlik v barvnih tonih še ni mogoče zaznati, pa meritve ΔE pokažejo lep trend naraščanja.

Pri zasledovanju degradacije kot posledice temperature brizganja smo uspešno simulirali močnejšo degradacijo kot s sušenjem granulata. Tako pri PC kot pri PS smo dobili rezultate skladne z navedbami v literaturi za degradacijo pri nateznih testih in testih zarezne udarne žilavosti. Spet pa so meritve s spektrofotometrom pokazale zelo očitno razliko v barvnih tonih (ΔE), ki je le občutno narasla pri višji temperaturi brizganja. Tako smo pri PC dobili vrednost $\Delta E = 5,84$, pri PS je bila $\Delta E = 2,95$. Ti dve vrednosti pa kažeta na že vidno spremembo barvnega tona, ki jo lahko občutljivo oko že zazna.

Na podlagi rezultatov vseh testov lahko zaključimo, da je spektrofotometrija izredno občutljiva metoda za analizo degradacije tako ABS, PC in PS. Velika prednost te metode je tudi v njeni enostavnosti, hitrosti izvedbe, hkrati pa ne poškoduje kosov, ki jih merimo.

Viri:

- [1] Hiltunen, J.: *Accurate Color Measurement*, Dissertation, University of Joensuu, Joensuu, 2002.

VPLIV DODAJANJA PA RECIKLATA SVEŽEMU PA NA MEHANSKE IN TOPLOTNE LASTNOSTI BRIZGANIH KOSOV

Teja PEŠL¹, Branka VILTUŽNIK², Silvester BOLKA¹, Thomas WILHELM¹

¹Fakulteta za tehnologijo polimerov

²Plastika Skaza, d.o.o.

IZVLEČEK

Zaradi vse večje ozaveščenosti o vplivu plastike na okolje, so trendi, predvsem na področju termoplastov, usmerjeni v smer uporabe recikliranih termoplastov. Podjetja se tako vedno pogosteje srečujejo z izzivi, da ob predelavi termoplastov uporabijo tako lasten reciklat iz proizvodnje (industrijski reciklat) kot tudi tržni reciklat. S tem pomembno vplivajo na zniževanje deleža predvsem industrijskih odpadkov ter na zviševanje dodane vrednosti izdelkom, hkrati pa jim izziv postavlja vprašanje, s kakšnimi tehnološkimi parametri in kolikšen delež recikliranega termoplasta smejo dodati svežemu termoplastu, da dosežejo končni izdelki zahtevane lastnosti. V sodelovanju z industrijo, smo na Fakulteti za tehnologijo polimerov testirali, kako različni deleži dodanega recikliranega termoplasta v svež termoplast vplivajo na končne lastnosti brizganih izdelkov. Določili smo, kakšen delež recikliranega termoplasta je še sprejemljiv. V prispevku bomo omenjen problem predstavili na primeru PA 6, kjer smo svežemu PA materialu dodajali PA industrijski reciklat. Pomembno je poudariti tudi, da se z vsako dodatno reciklažo lastnosti materiala drastično poslabšajo, zato je pomembno tudi, kolikokrat je termoplast že bil recikliran, prav tako pa na končne lastnosti vplivajo parametri med brizganjem izdelka. Vse predstavljene analize smo opravili na lastni opremi v laboratoriju Fakultete za tehnologijo polimerov, medtem ko smo izdelke nabrizgali v podjetju Plastika Skaza.

1 UVOD

Reciklaža polimernih materialov se uveljavlja predvsem zaradi višanja cen svežih polimernih materialov ter zaradi vpliva na okolje. Z uporabo reciklaže lahko podjetja dolivke in slabe izdelke ponovno uporabijo in tako znižajo stroške končnim izdelkom. Hkrati se je potrebno zavedati, da se lastnosti materialu med mehansko reciklažo spremenijo, zato reciklata ne moremo uporabiti samega, temveč ga v določenem deležu dodajamo svežemu materialu. V prispevku bomo predstavili, kakšen delež recikliranega termoplasta je še sprejemljiv, da zadostimo končnim lastnostim izdelka [1].

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Kljub temu, da se uporaba recikliranih termoplastov vse bolj uveljavlja, moramo pri uporabi le-teh biti pozorni na končne lastnosti brizganih izdelkov. Takoj, ko presežemo določen delež dodanega reciklata, se mehanske in/ali toplotne lastnosti poslabšajo do te mere, da ima izdelek skrajšan življenjski cikel. V našem

laboratoriju smo zato testirali sveži material, reciklat in dve različni mešanici svežega materiala ter reciklata.

2.1 Uporabljeni materiali

Material, ki smo ga uporabili za raziskavo, je bil poliamid 6 (PA 6) Durethan B30S 000000, proizvajalca Lanxess. Uporabili smo svež granulater reciklat, ki je bil industrijski reciklat podjetja Plastika Skaza.

2.2 Priprava vzorcev

Vzorci smo pred brizganjem zmešali v razmerju, ki je predstavljeno v Tabeli 1.

Tabela 1: Razmerje pripravljenih mešanic

Vzorec	Sveži granulater (m. %)	Reciklat (m. %)
1	100	0
2	80	20
3	75	25
4	0	100

2.3 Laboratorijski testi

Vse laboratorijske teste smo opravili v laboratorijih na Fakulteti za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Testne vzorce smo nabrizgali na brizgalnem stroju Battenfeld TM 1600/750 B4 v podjetju Plastika Skaza.

Natezne in upogibne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10 kN. Natezne teste smo izvedli skladno z ISO 527. Razmak čeljusti je bil 50 mm, hitrost testiranja do raztezka 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min. Upogibne teste smo izvedli skladno z ISO 178. Razmik spodnjih podpor je bil 64 mm, hitrost testiranja pa 2 mm/min.

Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo testirali na upogib z dvojno prižemo s frekvenco 1 Hz, amplitudo 0,02 mm in do 200 °C. Hitrost segrevanja je bila 2 °C/min.

Preizkus udarne žilavosti smo izvedli po Charpy-ju na LY-XJJDS s 4 J kladivom (vzorci z zarezo) oziroma s 5 J kladivom (vzorci brez zareze). Vzorci so bili širine 10 mm in debeline 4 mm, razdalja med podporama je bila 60 mm.

Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Perkin Elmer TGA 4000. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 600 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi atmosferi (20 mL/min), nato pa od 600 °C do 900 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v kisikovi atmosferi (20 mL/min).

Teste diferenčne dinamične kalorimetrije (DSC) smo izvedli na Mettler Toledo DSC 2. Uporabili smo 40 µl Al lončke, zatehte vzorcev so bile med 10 mg in 30 mg. Teste smo izvajali v N₂ atmosferi. Vzorce smo najprej temperirali na 0 °C, sledil je izotermni segment 5 min; segrevanje s hitrostjo 10 °C/min od 0 °C do + 260 °C, izotermni segment pri + 260 °C 5 min, ohlajanje od + 260 °C do 0 °C s hitrostjo – 10 °C/min, potem smo vse korake še enkrat ponovili.

2.4 Rezultati

V Tabeli 2 so zbrani rezultati vseh meritev za lažjo primerjavo med posameznimi vzorci.

Tabela 2: Rezultati vseh laboratorijskih testov

	Sveži granulat	Sveži granulat (80 m.%) + reciklat (20 m.%)	Sveži granulat (75 m.%) + reciklat (25 m.%)	Reciklat
Natezni E modul (GPa)	2,74	2,84	2,98	3,22
Natezna trdnost (MPa)	79,06	77,62	77,23	76,30
Raztezek pri pretrgu (%)	22,64	11,85	35,91	40,37
Upogibni E modul (GPa)	2,58	2,55	2,56	2,39
Upogibna trdnost (MPa)	100,5	99,7	100,5	94,4
Raztezek pri upogibni trdnosti (%)	6,05	6,10	6,09	6,11
Dinamični E modul (GPa)	2,28	2,31	2,39	1,97
Maksimum tan δ	0,1919	0,1905	0,1911	0,1760
T _g pri tan δ (°C)	64,8	64,7	63,5	60,5
Udarne žilavost (kJ/m ²)	116,62	121,11	117,92	115,59
Zarezna udarna žilavost (kJ/m ²)	8,86	8,80	8,44	8,73

Vrednosti nateznega E modula z dodatkom recyklata naraščajo in sicer za dobre 3 % pri dodatku 20 m.% recyklata in za skoraj 9 % pri dodatku 25 m.% recyklata, prav tako pa je tudi natezni E modul čistega recyklata za skoraj 18 % višji kot natezni E modul svežega materiala. Iz tega lahko sklepamo, da z dodajanjem recyklata v svež material, material postaja bolj tog. Natezna trdnost se z dodatkom recyklata zniža za 1,8 % pri dodatku 20 m.% recyklata, za 2,3 % pri dodatku 25 m.% recyklata ter za 3,5 % pri samem reciklatu, kar lahko povežemo s krajšimi

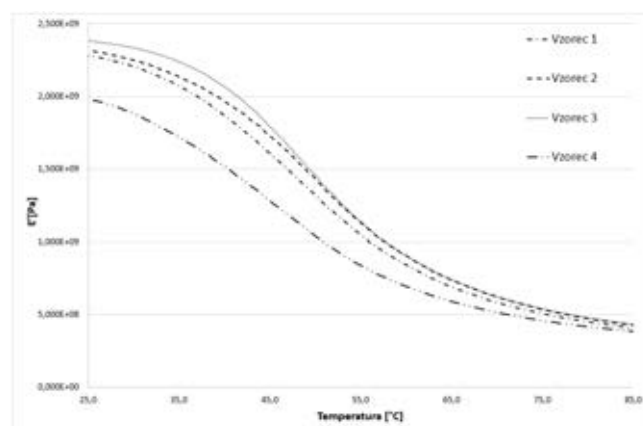
verigami, ki posledično prenesejo manj napetosti, preden pride do plastične deformacije. Raztezek pri pretrgu se z dodatkom 20 m.% recyklata zniža za skoraj 50 %, z dodatkom 25 m.% recyklata pa se v primerjavi s svežim materialom poveša za skoraj 60 %. Podobno se zgodi tudi ob uporabi samega recyklata, ko se raztezek pri pretrgu zviša za skoraj 80 %. Krajše verige delujejo kot kristalizacijska jedra, okoli katerih začne material kristalizirati, kar povzroči, da se togost materialu poveša. Ker pa je teh kristalizacijskih jeder veliko več, material postane bolj žilav.

Vrednosti upogibnega E modula se z dodatkom recyklata bistveno ne spremenijo, prav tako ne vrednosti raztezka pri maksimalni upogibni trdnosti. Opazimo rahlo znižanje upogibne trdnosti pri dodatku 20 m.% recyklata (za 0,8 %) in ob uporabi samega recyklata (za 6 %) glede na sveži material, vendar je le-ta pri dodatku 25 m.% recyklata zopet enaka kot pri svežem materialu.

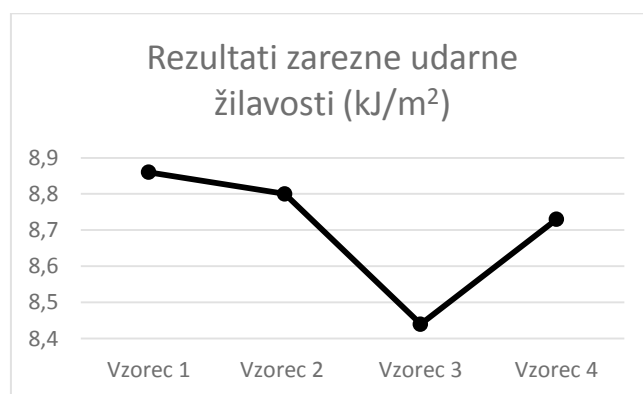
Iz DMA analize smo določili temperaturo steklastega prehoda (T_g) in ugotovili, da se pri dodatku 20 m.% recyklata, le-ta zniža za 0,1 °C, pri dodatku 25 m.% recyklata za 1,3 °C, ob uporabi samega recyklata pa za 4,3 °C. Znižanje T_g pripisujemo krajšanju verig, kar omogoči, da se gibanje krajših verig lahko prične že pri nižjih temperaturah. Podobno kot natezni E modul, se poveša tudi dinamični E modul pri 25 °C in sicer za 1,3 % pri dodatku 20 m.% recyklata ter za 4,8 % pri dodatku 25 m.% recyklata, v obeh primerih pa se v primerjavi s svežim materialom zniža vrednost faktorja izgub pri temperaturi steklastega prehoda, kar pomeni, da material postaja bolj elastičen oziroma slabše duši vibracije. Dinamični E modul (Slika 1) recyklata je sicer za 13,5 % nižji kot dinamični E modul svežega materiala, močno pa se zniža tudi vrednost faktorja izgub.

Rezultati zarezne udarne žilavosti (Slika 2) se z dodatkom 20 m.% recyklata znižajo za 0,7 %, pri dodatku 25 m.% recyklata za 4,7 %, pri samem reciklatu pa za 1,5 %. Ti rezultati prav tako kažejo, da z dodatkom recyklata material postane bolj tog. Rezultati udarne žilavosti (Slika 3) kažejo, da se le-ta izboljša pri dodatku 20 m.% recyklata za 3,8 %, pri dodatku 25 m.% recyklata za 1,1 % v primerjavi s svežim materialom, pri

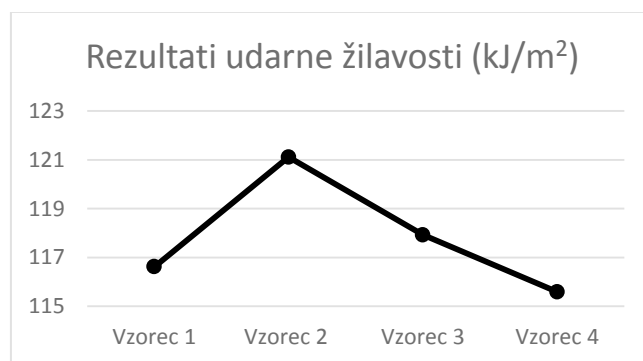
uporabi samega recyklata pa se v primerjavi s svežim granulatom poslabša za 0,9 %.



Slika 1: Graf dinamičnega E modula

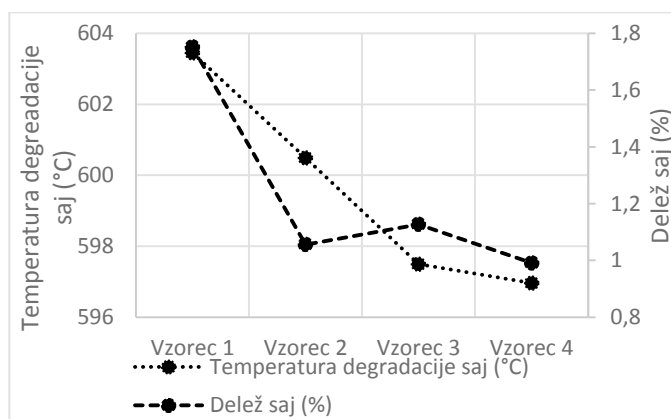


Slika 2: Graf rezultatov zarezne udarne žilavosti



Slika 3: Graf rezultatov udarne žilavosti

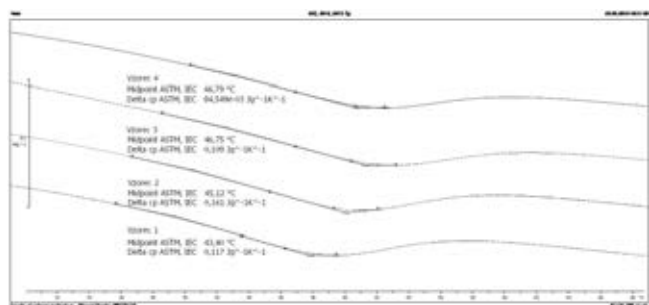
Rezultati termogravimetrične analize (Slika 4) so pokazali, da se s povešanjem deleža recyklata v mešanici znižuje temperatura degradacije saj, znižuje pa se tudi njihov delež.



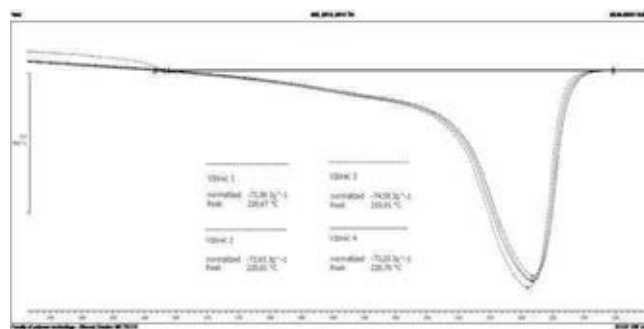
Slika 4: Graf rezultatov termogravimetrične analize

Z diferenčno dinamično kalorimetrijo smo analizirali spremembo temperature steklastega prehoda (Slika 5) ter spremembo temperature tališča (Slika 6). Ugotovili smo, da se z višanjem deleža recyklata v vzorcu zviša tudi temperatura steklastega prehoda (T_g). Sveži granulata ima T_g pri 43,3 °C, mešanica z 20 m.% recyklata ima T_g pri 45,1 °C, mešanica z 25 m.% recyklata ima T_g pri 46,8 °C, 100 % reciklat pa ima T_g pri 46,8 °C.

Temperatura tališča (T_m) se sicer z dodajanjem recyklata svežemu materialu znižuje do dodanih 25 m.% recyklata, vendar se nato pri 100 % reciklatu zopet poviša in je tudi višja kot temperatura tališča svežega materiala. Sprememba temperature tališča je kljub temu skoraj zanemarljiva, saj se spremeni največ za 0,36 % oziroma 0,8 °C.



Slika 5: Določevanje temperature steklastega prehoda (T_g) iz DSC analize



Slika 6: Določevanje temperature tališča (T_m) iz DSC analize

3 SKLEP

Rezultati laboratorijskih testov so pokazali, da se z dodatkom 20 m.% ali 25 m.% recyklata lastnosti materiala bistveno ne spremenijo oziroma poslabšajo in so tako rezultati primerljivi z rezultati svežega materiala. Ugotovili pa smo, da so se v primerjavi s svežim materialom občutno poslabšali rezultati 100 % recyklata.

Iz rezultatov sklepamo, da lahko z dodajanjem 25 m.% recyklata svežemu granulatu ohranimo mehanske in toplotne lastnosti materiala, hkrati pa vplivamo na ceno končnega izdelka ter na porabo odpadnega materiala, ki bi ga drugače zavrgli, medtem ko bi 100 % reciklat lahko uporabljali za druge, tehnično manj zahtevne izdelke, katerim zadoščajo tudi poslabšane lastnosti, s čimer bi lahko reševali okoljski problem, ki nastaja zaradi odpadne plastike, ki vse prevečkrat pristane na napačnih odlagališčih.

Viri:

- [1] Domingo, G.T., Catelli de Souza, A.M.: Influence of reprocessing on the mechanical properties of polyamide 6 containing talc, *AIP Conference Proceedings* (2016).

OPTIMIZACIJA IN NADZOR PROCESA BRIZGANJA DEKORATIVNIH POLIZDELKOV Z OPTIČNIMI ZAHTEVAMI

Aleš ADAMLJE, Anet ROŽIČ
Hella Saturnus Slovenija d.o.o

IZVLEČEK

Z uvedbo LED tehnologije so se zahteve glede natančnosti polizdelkov z optičnimi funkcijami v svetilih drastično povišale. V fazi razvoja je potrebno za vsako svetilo izvesti optične meritve, ki morajo ustrezati zakonskim zahtevam, le te pa mora izdelek izpolnjevati tekom celotne življenjske dobe proizvoda. Zakonske vrednosti glede svetlobnih vrednosti morajo izpolnjevati vsi proizvedeni izdelki, zato je robusten in stabilen proces brizganja izdelka ključnega pomena. Povišanim zahtevam glede dimenzijske natančnosti in kvalitete površine optičnih površin je možno slediti le z novimi metodami optimizacije procesa v fazi razvoja izdelka in ustreznemu nadzoru procesa brizganja v proizvodnji. V prispevku bo prikazan primer optimizacije brizganja polizdelka in orodja ter izkušnje z različnimi načini nadzora procesa brizganja.

1 UVOD

Svetila na sodobnih avtomobilih ne opravljajo le njihove primarne funkcije – osvetljevanja vozila in cestišča, ampak tudi pomembno vplivajo na izgled avtomobila, zato jim oblikovalci avtomobilov v fazi oblikovanja avtomobila posvečajo vedno večjo pozornost. V preteklosti je bila večina svetil izdelana v halogenski izvedbi (Slika 1), v zadnjih letih pa je bil v večini svetil halogenski izvor zamenjan z LED izvori (Slika 2), ki omogočajo več svobode pri konstrukciji funkcionalnih delov svetil in posledično tudi končnih oblikah svetil. Novi oblikovni trendi v avtomobilski industriji so tudi na področje svetil, ki se uporabljajo na sprednjem delu avtomobila, prinesli trend oblikovanja v smeri zniževanja višine svetila in večje dolžine svetila, s čimer se je funkcionalna površina, ki je osnova za konstrukcijo reflektorskih površin, v večini svetil zmanjšala in prinesla dodatne izzive glede doseganja zakonsko določenih vrednosti, ki jih mora svetilo dosegati za izvedbo homologacije. Da bi dosegli predpisane optične vrednosti, smo morali spremeniti tehnologijo izdelave funkcionalnih površin reflektorjev v orodju. S spremembo tehnologije izdelave optičnih trnov v orodju smo dosegli boljšo dimenzijsko natančnost optičnih površin trnov reflektorja v orodju in posledično površin reflektorja po brizganju.



Slika 1: Žaromet za meglo – halogen izvedba [1]



Slika 2: LED svetilka [1]

Za doseg zahtevanih optičnih vrednosti, ki ustrezajo zahtevam za homologacijo svetila, moramo v fazi razvoja posebno pozornost posvetiti zasnovi celotnega reflektorja, simulacijam brizganja, optičnim simulacijam in

konceptu orodja. Najvišje zahteve glede natančnosti izdelave optičnih trnov v orodju imajo reflektorji svetil, ki formirajo svetlo temno mejo, kot sta kratki pramen glavnega žaromet in žaromet za meglo.

V fazi industrializacije brizganih polizdelkov z optičnimi funkcijami namenjenih vgradnji v LED svetila se srečujemo s težavami, ki jih pri brizganju reflektorjev vgrajenih v halogenska svetila ni bilo. Zahtevana dimenzijska natančnost izdelkov je večja, dopustne razlike v dimenzijskih odstopanjih izdelkov in razlike v odstopkih med izdelki iz različnih gnezd v orodju pa manjše. Z uveljavljenimi pristopi pri izdelavi orodij in optimizaciji procesa brizganja ne dosegamo zahtevane dimenzijske kvalitete izdelkov. Do signifikantnih razlik v odstopkih prihaja med posameznimi gnezdmi v orodju znotraj enega brizga, težave se pojavljajo tudi pri dolgoročni dimenzijski stabilnosti izdelkov. Z namenom izboljšanja robustnosti procesa brizganja, smo izvedli študijo vpliva parametrov na dimenzije in dosežene optične vrednosti reflektorja. Za izboljšanje procesa smo v fazi optimizacije uporabili metodo DMAIC, v okviru katere smo s pomočjo programskega paketa Minitab izvedli tudi raziskavo z metodo načrtovanja eksperimentov. Da bi zagotovili celovit nadzor procesa brizganja, smo poleg statistike procesa na stroju v orodje vgradili senzorje za spremljanje tlaka in temperature v vseh gnezdih orodja, ob stroj pa vgradili infra kamero za kontrolo temperature izdelkov po odvzemanju iz orodja.

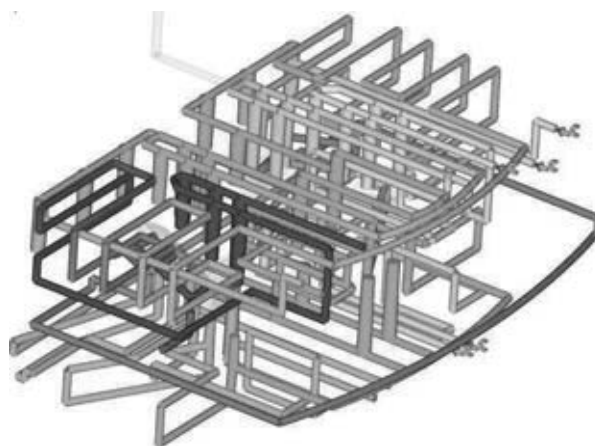
2 OD KONCEPTA DO INSTRUALIZACIJE REFLEKTORJA

Zaradi visokih funkcionalnih in dekorativnih zahtev razvoj reflektorja svetila brez sodelovanja vseh članov projektnega tima in uporabe namenske programske opreme ni možen. Po zasnovi koncepta optičnih površin in integraciji le teh v konstrukcijo izdelka smo z metodo DFMA preverili izvedljivost reflektorja za proizvodnjo in montažo. V fazi zasnove reflektorja smo s pomočjo metode DFMA določili:

- glavno smer odpiranja izdelka v orodju in smeri stranskih pogonov,
- pozicijo dolivka ter debelino sten,

- minimalne snemalne kote glede na funkcije posameznih površin reflektorja,
- potek delilnih ravnin reflektorja,
- pritrdilno geometrijo reflektorja za lažjo montažo,
- velikosti in predviden položaj izmetačev na izdelku ter površine, na katerih izmetači niso dovoljeni,
- koncept izvedbe temperirnega sistema v orodju.

Na osnovi rezultatov metode DFMA je konstruktor izdelka skonstruiral reflektor, ki smo ga s pomočjo namenske programske opreme preverili in vrednotili v virtualnem okolju. V virtualnem okolju smo izdelali trdnostno, tolerančno in toplotno analizo ter simulacijo brizganja. S tehnološkega vidika je najpomembnejša simulacija brizganja. Da bi se čim bolj približali dejanskemu stanju procesa brizganja v proizvodnji, smo v zadnji simulaciji brizganja upoštevali tudi dolivni sistem in temperirni sistem v orodju (Slika 4).



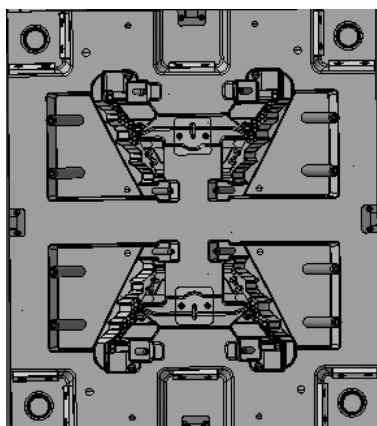
Slika 4: Simulacija hlajenja v orodju – temperature v posameznih hladilnih kanalih

Glede na pričakovane težave z doseganjem zahtevane dimenzijske natančnosti ter dekorativne ustreznosti izdelka, smo v fazi konstrukcije reflektorja izvedli več simulacij brizganja, s katerimi smo optimirali tok taline v orodju in preverili vplive parametrov brizganja na dimenzijska odstopanja reflektorja. Parametri brizganja, s katerimi smo dosegli optimalne rezultate glede dimenzijskih odstopkov oziroma zvitosti reflektorja po brizganju, so bili osnova za končno simulacijo brizganja z upoštevanjem dolivnega in izmetalnega sistema v orodju in

nastavitvene parametre na stroju. S simulacijami brizganja z upoštevanjem hladilnega sistema v orodju smo ugotovili, da s strani konstruktorja orodja predlagan sistem temperirnih kanalov ne zagotavlja enakomernega hlajenja celotne površine gravure orodja, zato smo glede na rezultate simulacije pozicije temperirnih kanalov optimirali. Z ustreznim sodelovanjem celotnega razvojnega tima in orodjarja smo proces brizganja reflektorja v veliki meri optimirali že v virtualnem okolju.

3 ZAGON IN OPTIMIRANJE PROCESA BRIZGANJA

Zaradi velikih planiranih količin v življenjski dobi izdelka smo se odločili, da bomo izdelali večgnezdno orodje (Slika 5). S tem smo znižali neposredne stroške proizvodnje izdelka.



Slika 5: Brizgalna stran orodja

Zaradi več gnezdne zasnove orodja smo morali že v začetni fazi zagona procesa posebno pozornost posvetiti analizi polnjenja vseh gnezd (Slika 6).



Slika 6: Analiza polnjenja gnezd – delni brizg

Izvedli smo analizo polnjenja posameznih gnezd od 30% do 95% napolnjenosti kalupa. Na podlagi rezultatov smo izvedli balansiranje toplo kanalnega sistema in optimirali preseke dolivnih mest na posameznih gnezdih, saj je za doseganje čim manjših razlik v dimenzijskih odstopanjih enakomernost polnjenja posameznih gnezd ključna. Z enakomernim polnjenjem posameznih gnezd dosežemo enake notranje tlake v posameznih gnezdih in posledično podobne notranje napetosti v izdelkih različnih gnezd. Z optimizacijo smo razliko v masi posameznih gnezd zmanjšali na manj kot 0,5% mase izdelka, razlika v volumnu napolnjenosti posameznih gnezd pa je bila s prostim očesom na izdelkih komaj opazna. Po analizi brizganja smo izvedli še analizo naknadnega tlaka, s katero smo določili optimalen profil, čas in višino naknadnega tlaka. ter analize vpliva temperatur orodja in temperature taline, analize časa brizganja in časa hlajenja izdelka v orodju. Analize so pokazale, da imajo ti parametri signifikanten vpliv na dimenzijska odstopanja reflektorjev. Kljub izvedeni optimizaciji polnjenja posameznih gnezd, s katero smo dosegli manjša dimenzijska odstopanja in glede na predhodne izkušnje optimalno polnjenje vseh gnezd, so bile razlike v doseženih optičnih vrednostih, na posameznih gnezdih reflektorja signifikantne in za proces končne montaže nesprejemljive. Glede na rezultate optičnih meritev smo se odločili, da v proces brizganja uvedemo dodaten nadzor.

4 NADZOR PROCESA BRIZGANJA

Z namenom dodatne kontrole procesa brizganja smo v orodju že v fazi zasnove koncepta orodja v vsa gnezda vgradili tlačne senzorje, s katerimi spremljamo notranji tlak v posameznem gnezdu orodja. Ker nam vgrajena oprema na brizgalnem stroju ne omogoča istočasni nadzor tlaka v vseh gnezdih orodja, smo za nadzor tlaka v orodju uporabili sistem za nadzor in optimizacijo procesa COMO NEO proizvajalca Kistler (Slika 7). Za nadzor temperatur izdelka po odvzemu izdelkov iz orodja smo ob stroj vgradili termo kamero proizvajalca Flir.



Slika 7: Como Neo osnovna enota z zaslonom (5)

Rezultati meritev tlakov so pokazali, da je razlika v maksimalnih notranjih tlakih v orodju med posameznimi gnezdi do 40%. Poteki krivulje notranjih tlakov v času brizganja, času naknadnega tlaka in času hlajenja izdelka v orodju, so bili za vsa gnezda različni. Največje razlike v tlakih med posameznimi krivuljami so bile v fazi preklopa na naknadni tlak. Na podlagi rezultatov smo v procesu brizganja izvedli dodatno optimizacijo, s katero smo notranje tlake v orodju za posamezna gnezda poskusili čim bolj izenačiti. Razlike v maksimalnih tlakih smo zmanjšali, ne pa povsem odpravili, saj nam izvedbe orodja ne omogoča povsem neodvisnega balansiranja posameznih gnezd. Meritve temperatur s termo kamero na izdelkih, po odvzemu iz orodja (Slika 9), so pokazale, da med brizganjem serije ne prihaja do signifikantnih razlik v temperaturah izdelkov.



Slika 8: Meritve temperatur na izdelku s termokamero FLIR

5 SKLEP

Trendi oblikovanja svetil v avtomobilski industriji nam prinašajo vedno nove izzive. Omejitve, ki nam jih pri razvoju postavljajo oblikovalci avtomobilov z obliko svetil, imajo velik vpliv na konstrukcijo in izdelavo optičnih površin ter s tem doseganje zakonsko predpisanih optičnih vrednosti, ki jih morajo dosegati svetila. Uporaba sodobnih inženirskih metod in vrednotenja izdelka v virtualnem okolju je nujna, da se zmanjša število potrebnih optimizacij v času industrializacije izdelka. V fazi preskušanj in zagona proizvodnje moramo s sistematičnim pristopom proces optimirati do stanja, ki nam bo omogočilo stabilen proizvodni proces tekom proizvodnje v celotni življenjski dobi izdelka. Glede na pridobljene izkušnje, bomo v bodočih projektih implementirali izboljšave na orodjih z izbiro optimalnih dolivnih sistemov, ki bodo omogočila neodvisno balansiranje tečenja mase za vsako od gnezd, in izboljšanja sistema temperiranja v orodju z implementacijo konformnega sistema hlajenja v orodju, ki nam omogoča enakomernejše temperiranje izdelka. Dodatne izboljšave bomo iskali v smeri izboljšav pri materialu izdelka in izboljšavah na stroju z uporabo adaptivnega krmiljenja brizgalne enote.

Viri:

- [1] Small lamps: Diverse safety lighting (2018, 25. April): Pridobljeno na: <https://www.hella.com/hella-com/en/Car-Body-Lighting-10326.html>.
- [2] Menges, G., Mohren P (1993): How to make injection moulds 2nd ed.. Munich: Carl Hanser Verlag.
- [3] Adamlje, A.: Orodjar in plastičar – partnerja ali tekmeča Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 9. Industrijski forum Inovacije, razvoj, tehnologije Portorož, 5. in 6. junij 2017 (str.205-208). Škofljica: ProfiDTP.
- [4] Rožič, A. (2016): Zagon in optimizacija procesa brizganja večkomornega reflektorja (Magistrsko delo). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
- [5] 2011 BMW 5-Series Sedan Gallery (2018, 25. April). Pridobljeno na: <https://www.topspeed.com/cars/bmw/2011-bmw-5-series-sedanar82001/picture334658.html>
- [6] Kistler: ComoNeo System for process monitoring and process optimization in plastic injection molding applications (2018, 25. April). Pridobljeno na <https://www.kistler.com/?type=669&fid=73837&model=document>

BIOKOMPOZIT "MADE IN SLOVENIA" IZ VLAKEN MISKANTUSA IN PE-HD MATRICO UPORABEN ZA BRIZGANJE TEHNIČNIH IZDELKOV

**Silvester BOLKA¹, Ana DRMOTA PETRIČ², Aleš ŠPILER³, Thomas WILHELM¹, Teja PEŠL¹,
Janez SLAPNIK¹, Rajko BOBOVNIK¹**

¹Fakulteta za tehnologijo polimerov

²Kolektor Group d.o.o.

³Krilotim, obnovljivi viri energije d.o.o.

IZVLEČEK

Naravna vlakna so v zadnjem času vedno bolj zanimiva tako za raziskovalno sfero kot industrijsko uporabo. Na področju termoplastičnih kompozitov se uveljavljajo kot alternativa za steklena vlakna npr. za notranjo opremo v avtomobilski industriji. Najpomembnejše lastnosti naravnih vlaken so relativno nizka cena, visoka specifična togost, trdnost, niso abrazivna pri predelavi, so iz obnovljivih virov, torej okolju prijazna. Najpomembnejša lastnost za uporabo v avtomobilski industriji je nižja gostota naravnih vlaken, ki vpliva na zniževanje teže izdelkov in s tem zmanjševanje porabe pogonske energije. Za izdelavo industrijsko uporabnih biokompozitov z naravnimi vlakni je potrebno uporabiti dodatke, ki omogočajo dobre interakcije naravnih vlaken in termoplastične matrice, dispergirnih sredstev in raznih stabilizatorjev. S pravo kombinacijo vseh dodatkov in pravnimi parametri pri kompavndiranju in brizganju dosežemo optimalne lastnosti, ki so vedno pogojene v prvi vrsti z deležem dodanih naravnih vlaken.

V prispevku bomo predstavili biokompozit iz vlaken miskantusa in PE-HD matrice, ki je zasnovan za uporabo v avtomobilski industriji in ga bomo uporabili za izdelavo prototipa dela ohišja za avtomobilski sedež. Testirali smo vpliv različnih deležev vlaken miskantusa v biokompozitu, različnih tehnologij priprave vlaken miskantusa pred kompavndiranjem in različnih kompatibilizatorjev. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli delno v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov, delno v laboratorijih podjetja Kolektor. Vrednotili smo mehanske in toplotne lastnosti, dinamične mehanske lastnosti, žilavost, toplotno prevodnost. S pomočjo CT posnetkov smo preverjali tudi poroznost in homogenost brizganih kosov. Z doseženimi lastnostmi smo uspeli iz visokotonažne matrice narediti inženirski termoplastični biokompozit.

Delo je bilo opravljeno v okviru projekta Cel.Krog - Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov, ki ga vodi Inštitut za celulozo in papir in kjer sodelujemo Kolektor in Fakulteta za tehnologijo polimerov kot partnerji.

1 UVOD

Termoplastični kompoziti z naravnimi vlakni (biokompoziti) so zanimiva alternativa kompozitom s steklenimi vlakni v avtomobilski industriji, predvsem zaradi nizke gostote in uporabe obnovljivega vira ojačitev. Nizka gostota biokompozitov pomeni nižjo maso vozila in posledično nižje CO₂ emisije [1]. Kompoziti se že od časa antike uporabljajo kot konstrukcijski materiali [2]. Naravna vlakna razvrščamo kot lignocelulozni material in so sestavljena iz treh glavnih sestavin: celuloze, hemiceluloze in lignina [3]. Specifične fizikalne lastnosti naravnih vlaken so primerljive s specifičnimi fizikalnimi

lastnostmi steklenih vlaken [4]. Z višanjem deleža naravnih vlaken v polimerni matrici se višata tako togost kot trdnost biokompozita [5]. Žilavost, ki se z višanjem deleža naravnih vlaken v biokompozitu znižuje, pa je odvisna tudi od homogenosti, orientacije in porazdelitve vlaken, največji vpliv pa ima dolžina naravnih vlaken [6].

2 PROJEKT CEL.KROG

Strateška usmeritev programa je napredno izkoriščanje biomase kot obnovljivega surovinskega vira, za razvoj novih materialov in bio-osnovanih produktov. Za te namene je

vzpostavljena celostna veriga vrednosti za kaskadno rabo biomase.

Program je umeščen v prednostno področje S4, Mreže za prehod v krožno gospodarstvo in je delno financiran iz sredstev strukturnih skladov EU v Sloveniji. Vključuje vsa fokusna področja: tehnologije za predelavo biomase in razvoj novih bioloških materialov, tehnologije za uporabo sekundarnih surovin in ponovno uporabo odpadkov ter pridobivanje energije iz le teh. Produktne smeri sledijo ambicioznim ciljem vključenih podjetij za razvoj konkurenčnih produktov na osnovi obnovljivih virov, skladno z zahtevami po učinkovitejši rabi surovin in zmanjševanju pritiskov na okolje. S sinergijami v čez-sektorskem povezovanju podjetij, ki predstavljajo celostno verigo v snovni in energetski izrabi biomase, program prispeva k dolgoročni konkurenčnosti pomembnega dela slovenske industrije: kemijske, tekstilne, papirne, lesne in avtomobilske industrije, gradbeništva, inženiringa in energetike.

V programu sodelujejo vrhunske raziskovalne skupine s področij materialov, kemijskega inženirstva, predelovalnih in procesnih tehnologij, biotehnologije in nanotehnologije. Povezovanje v novih verigah vrednosti prispeva k preseganju razdrobljenosti ter s tem h krepitevi sposobnosti za mednarodno odličnost raziskav in tehnološkega razvoja.

2.1 Razvoj lahkih polimernih kompozitov za uporabo v avtomobilski industriji

Raziskave so usmerjene v razvoj nizko- in visoko- temperaturnih polimernih kompozitov. Vanje so kot aktivna komponenta za doseganje potrebnih mehanskih lastnosti in nizke mase vključena različna ligno-celulozna vlakna (v makro, mikro in nano velikostnem redu) v kombinaciji s površinsko kemijsko modifikacijo in uporabo bio-osnovanih modifikatorjev. Cilj je razvoj polimernih kompozitov z vgrajenimi lignoceluloznimi vlakni, ki bodo služili za izdelavo tehnično dovršenih prototipnih avtomobilskih delov z lastnostmi, ki sledijo zahtevam trga: lažji izdelki, ki zmanjšujejo vpliv na globalno segrevanje, omogočajo nižjo porabo in višjo varnost in so hkrati dostopni po konkurenčni ceni. Rezultat bo industrijski

prototip komponente dela ohišja v avtomobilski industriji.

3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJA

3.1 Priprava vzorcev

Termoplastična matrica je bila polietilen visoke gostote HDPE CC2056, proizvajalca Sabic. Naravna vlakna so bila stebila miskantusa v obliki pelet v dveh izvedbah, z dodatkom 10 m.% škroba in v čisti obliki, katere so peletirali v podjetju Krilotim, obnovljivi viri energije d.o.o. Kot kompatibilizator smo uporabili PP-g-MA (Fusabond PMD 353D, proizvajalca DuPont) in PE-g-MA (PE 1040 K2, proizvajalca Exxelor). Da smo zagotovili dobro homogenizacijo in preprečili degradacijo zaradi dodatne predelave smo dodali še lubrikant (Crodamide EBS-MB-(GD, proizvajalca Croda) in antioksidant (AT 10, proizvajalca Amik Italia S.p.A.).

Vsi testi z biokompoziti so bili izvedeni s 30 m.% dodanih vlaken miskantusa v obliki pelet. Testirali smo dve različni izvedbi pelet miskantusa (z in brez škroba), različno vsebnost vlage pelet miskantusa pred kompavndiranjem in dva različna kompatibilizatorja (PP-g-MA in PE-g-MA).

2.1 Laboratorijska testiranja

Testiranja smo opravili v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu in laboratorijih podjetja Kolektor Group d.o.o. iz Idrije.

Kompavndirali smo na dvopolžnem korotirajočem ekstruderju Labtech LTE 20-44 s premerom polžev 20 mm in L:D razmerjem 44:1.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX.

Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo segrevali s hitrostjo segrevanja 2 °C/min, pri frekvenci 1 Hz in amplitudi 20 µm. Za testiranja smo uporabili dvojno prižemo.

Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Perkin Elmer TGA 4000. Vzorec smo segrevali od 40 °C do 550 °C, s hitrostjo segrevanja 10 °C/min, v dušikovi

atmosferi (20 mL/min), nato pa 10 min pri 550 °C v kisikovi atmosferi (20 mL/min).

Upogibne in natezne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10kN. Upogibne teste smo izvedli skladno z ISO 178, natezne teste skladno z ISO 527. Pri upogibnem testu je bil razmik spodnjih podpor 64 mm, hitrost testiranja 2 mm/min. Pri nateznem testu je bil razmik čeljusti 50 mm, hitrost testiranja do raztezka 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min.

Diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) smo izvedli na kalorimetru Mettler Toledo DSC 2 skladno z ISO 11357. Hitrost segrevanja in ohlajanja je bila 10 °C/min.

Meritve udarne in zarezne udarne žilavosti smo izvedli na Charpy LY-XJJDS skladno z ISO 179. Razmik med podporama je bil 60 mm, uporabili smo 2 J kladivo.

Meritve toplotne prevodnosti smo izvedli na Hot Disk TPS 1500 s Kapton senzorjem premera 3,189 mm pri 23 °C in 2 mW. Čas merjenja je bil 20 s.

Meritve indeksa tečenja taline smo izvedli na LIYI MFI LY-RR skladno z ISO 1133, pri temperaturi 200 °C z 2,16 kg utežjo.

Test navzemanja vode smo izvedli skladno z ISO 62 pri sobni temperaturi.

Rentgensko računalniško tomografijo (CT) smo izvedli na phoenix v|tome|x s Industrial High-Resolution CT.

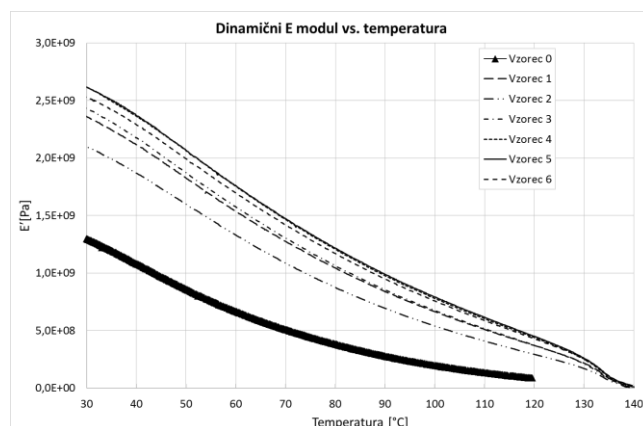
Mikrostrukturno analizo smo izvedli na vrstičnem elektronskem mikroskopu (SEM) Jeol JSM-IT300. Vzorce smo napršili s cca 3 nm Au. Parametri med analiziranjem: LV MODE: 20 kV / 68 P.C. / WD 15 mm.

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

Vzorca 1 in 2 smo kompavndirali s kompatibilizatorjem PP-g-MA, vzorce od 3 do 6 s kompatibilizatorjem PE-g-MA. Vzorca 3 in 4 sta vsebovala 2 m.% PE-g-MA, vzorec 5 je vseboval 4 m.% in vzorec 6 je vseboval 6 m.% kompatibilizatorja. Vzorci od 1 so 3 so vsebovali v peletih 10 m.% škroba, vzorci od 4 do 6 so bili iz čistih vlaken miskantusa. Vlaga v peletih pred kompavndiranjem je bila pri vzorcu 1 10,2 %, pri vzorcu 2 je bila 8,6 %, pri vzorcu 3 0,025 %, pri

vzorcih od 4 do 6 0,95 %. Kot referenco smo uporabili vzorec 0, ki je čista PE-HD matrica.

Slika 1 prikazuje dinamični E modul za vzorce, kjer je kot referenca prikazan vzorec 0, ki je čisti PE-HD. Dodatek škroba v pelete miskantusa zniža dinamični E modul, prav tako tudi temperaturo uporabe. Sušenje peletov pred kompavndiranjem ima negativni vpliv na dinamični E modul. Kompatibilizacija s PE-g-MA je bolj primerna kot s PP-g-MA. Najvišji dinamični E modul smo dobili pri vzorcu 5, kjer smo dodali 4 m.% kompatibilizatorja, najnižji dinamični E modul ima vzorec 6, kjer je bilo 6 m.% kompatibilizatorja. Pri vzorcu 4 in 5 smo uspeli dvigniti temperaturo uporabe biokompozita za 40 °C, kar pomeni, da smo iz visokotonažne matrice izdelali inženirski biokompozit. HDT smo dvignili iz 85 °C za čisto matrico na 125 °C za biokompozit (vzorca 4 in 5).



Slika 1: Rezultati DMA analiz

Rezultati TGA analize pokažejo (Tabela 1), da je temperatura degradacije vlaken miskantusa od 360 °C do 366 °C. Višja kot je vlaga pri kompavndiranju, manjši delež vlaken miskantusa razpade do prve temperature degradacije in višja je tudi temperatura degradacije PE-HD matrice, ki znaša 498 °C. Če je vlaga nizka je temperatura degradacije PE-HD matrice od 491 °C do 493 °C. Delež saj je odvisen od sestave vlaken miskantusa in znaša od 6,2 m.% do 7,4 m.%. Vpliv kompatibilizatorja pri TGA analizi ni bil viden.

Tabela 1: Rezultati TGA analiz

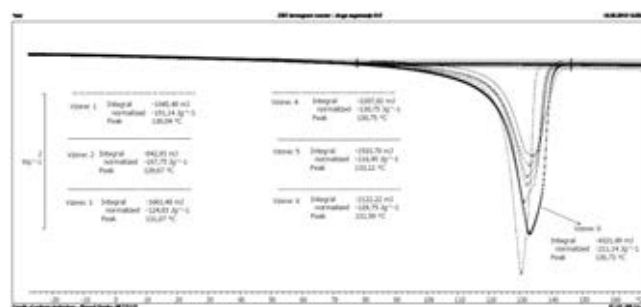
Vzorec	T _{d1} (°C)	Razpad 1 (m.%)	T _{d2} (°C)	Razpad 2 (m.%)	Skupni razpad (m.%)	Saje (m.%)
0	-	-	491,0	99,6	99,6	-
1	364,2	19,9	498,6	73,8	93,7	6,3
2	363,4	17,9	498,0	75,9	93,8	6,2
3	360,0	23,2	491,5	70,6	93,8	6,2
4	364,8	22,5	491,2	70,9	93,4	6,6
5	364,6	21,1	493,2	71,0	92,6	7,4
6	365,7	20,9	491,2	72,4	93,3	6,7

Visoka vlaga vlaken miskantusa pred kompavndiranjem močno zniža togost in trdnost, ki sta še vedno višji od togosti in trdnosti čiste PE-HD matrice. Kompatibilizator PE-g-MA dodatno zviša togost in trdnost glede na PP-g-MA, dodatek škroba pa malenkost zniža togost in trdnost. Višanje količine kompatibilizatorja PE-g-MA do 4 m.% zvišuje togost in trdnost, pri 6 m.% pa se togost in trdnost pričneta zniževati, raztezek pri pretrgu pa z višanjem količine dodanega PE-g-MA kompatibilizatorja narašča. Povzetek meritev nateznih in upogibnih lastnosti je predstavljen v Tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati mehanskih analiz

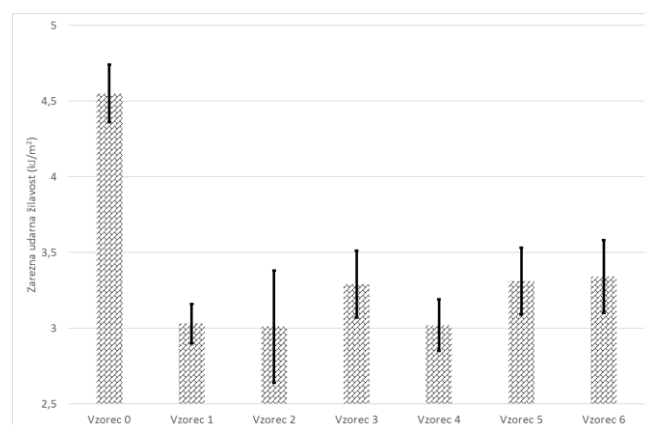
Vzorec	Natezni E modul (GPa)	Natezna trdnost (MPa)	Raztezek pri pretrgu (%)	Upogibni E modul (GPa)	Upogibna trdnost (MPa)
0	0,86	24,5	567,9	0,98	23,5
1	1,20	25,7	2,9	1,72	30,0
2	1,90	25,0	3,3	1,58	28,7
3	2,24	31,5	3,2	1,98	36,6
4	2,38	33,5	3,1	2,15	39,0
5	2,64	36,4	3,6	2,16	40,5
6	2,44	35,3	4,2	2,05	38,9

DSC analiza nam pokaže (Slika 2), da je tališče nižje pri obeh vzorcih z visoko vsebnostjo vlage pred kompavndiranjem in sicer 130 °C. Vzorca z manj vlage imajo tališče od 131 °C do 133 °C. Primerjava vzorca 3 in 4 nam pokaže, da je stopnja kristaliničnosti s kompatibilizatorjem PE-g-MA 71,1 % in tako 7,1 % višja kot s kompatibilizatorjem PP-g-MA. Najvišjo stopnjo kristaliničnosti doseže vzorec 2 (85,9 %), kar pomeni, da kovalentne vezi med MA in vlakni delujejo dodatno kot nukleacijska jedra in pospešijo kristalizacijo. To domnevo potrjuje tudi vzorec 1, ki ima stopnjo kristaliničnosti 77,4 %. 4 m.% kompatibilizatorja PE-g-MA povzročijo drastičen padec stopnje kristaliničnosti (61,5 %), hkrati pa je tališče najvišje (133 °C). Vzorec 6 pa ima ponovno višjo stopnjo kristaliničnosti (70,7 %).

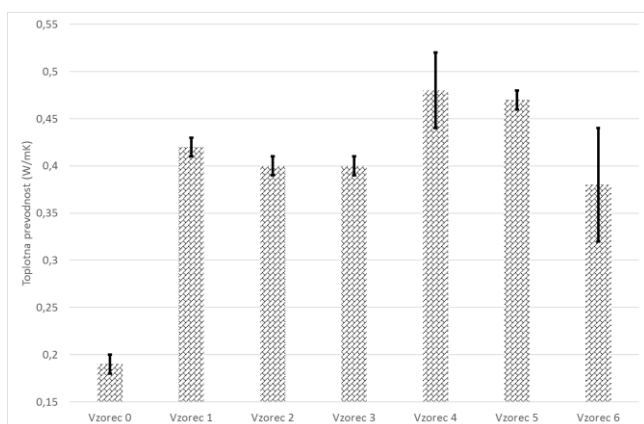


Slika 2: DSC termogrami vzorcev

Na Sliki 3 so prikazane meritve zarezne udarne žilavosti. Rezultati so skladni z meritvami nateznih lastnosti. Visoka vlaga zniža zarezno udarno žilavost, dodatek škroba jo malenkost dvigne, kompatibilizator PE-g-MA zniža zarezno udarno žilavost glede na PP-g-MA, višanje koncentracije PE-g-MA zvišuje zarezno udarno žilavost.



Slika 3: Meritve zarezne udarne žilavosti

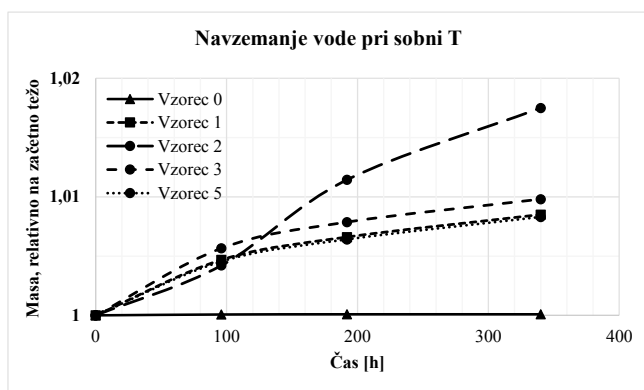


Slika 4: Meritve toplotne prevodnosti

Meritve toplotne prevodnosti (Slika 4) pokažejo, da je najvišja toplotna prevodnost pri PE-g-MA kompatibilizatorju pri 2 m.% in 4 m.%. Dodatek škroba zniža toplotno prevodnost, prav tako kompatibilizator PP-g-MA. Vlaga peletov pred kompavdiranjem na toplotno prevodnost nima velikega vpliva.

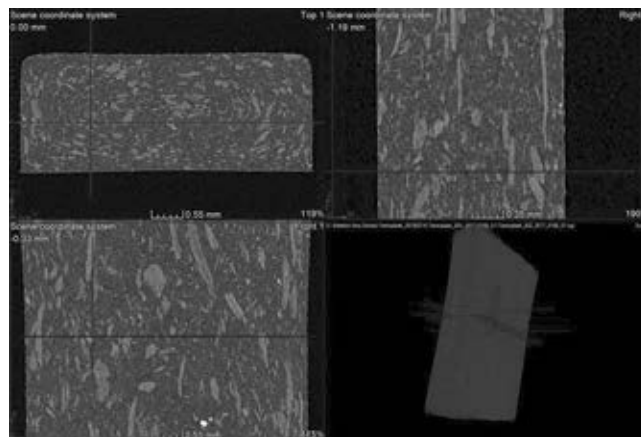
Meritve indeksa tečenja taline smo izvedli pri biokompozitih s kompatibilizatorjem PE-g-MA. Najvišji MFI ima vzorec 3, 4,21 g/10 min, potem vzorec 4 3,69 g/10 min, vzorec 5 1,74 g/10 min, najnižji MFI ima vzorec 6 1,62 g/10 min. Višanje deleža dodanega kompatibilizatorja znižuje vrednosti MFI.

Test navzemanja vode pri sobni temperaturi smo izvedli na vzorcih 0, 1, 2, 3 in 5 (slika 5). Vzorec 0, ki je čista PE-HD matrica ne navzema vode. Vzorci 1, 2, 3 in 5 s 30 m.% dodanih vlaken miskantusa se navzemajo vodo, do nasičenja po 340 h še ni prišlo. % navzemanja vode vzorcev 1, 3, 5 je po 340 h za 50 % nižji od vzorca 2. Razlike gre pripisati razliki v tipu kompatibilizatorja in % vlage pred kompatibilizacijo.

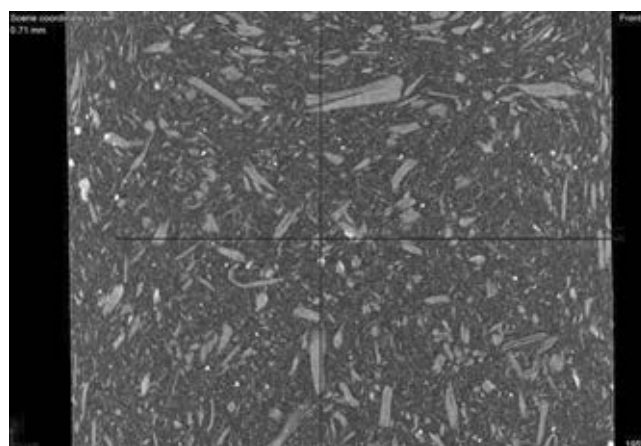


Slika 5: Navzemanje vode pri sobni temperaturi

CT analizo smo izvedli na vzorcih 1, 2, 3 in 5. Slika 6 prikazuje sestavo vzorca 1 v različnih ravninah. Na sliki 7 je prikazana sestava v eni ravnini. Iz slik je razvidna velikost celuloznih vlaken in homogenost porazdelitve vlaken. Poleg tega vidimo, da vzorec ni porozen ter da so vlakna dobro kompatibilizirana – ni razslojevanja med vlakni in polimerno matrico.

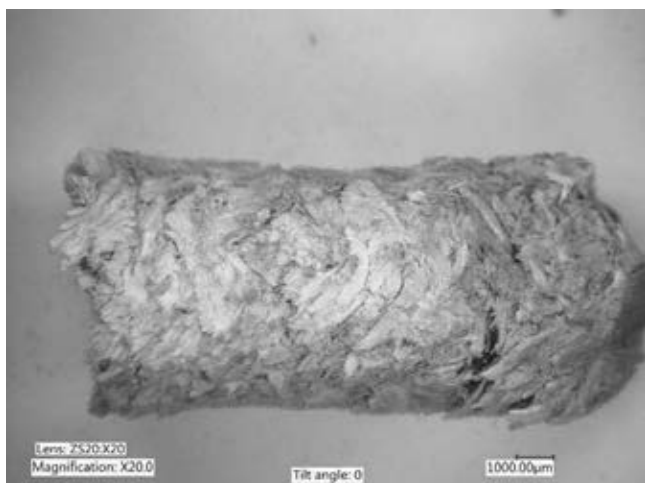


Slika 6: CT analiza vzorca 1 – tri ravnine

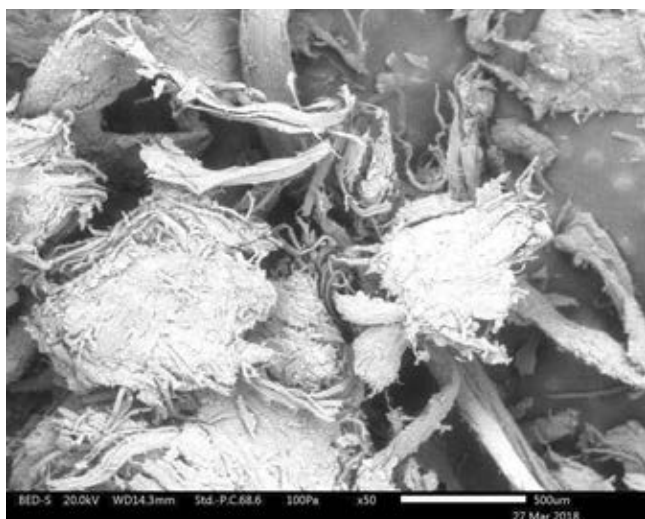


Slika 7: CT analiza vzorca 1 – ena ravnina

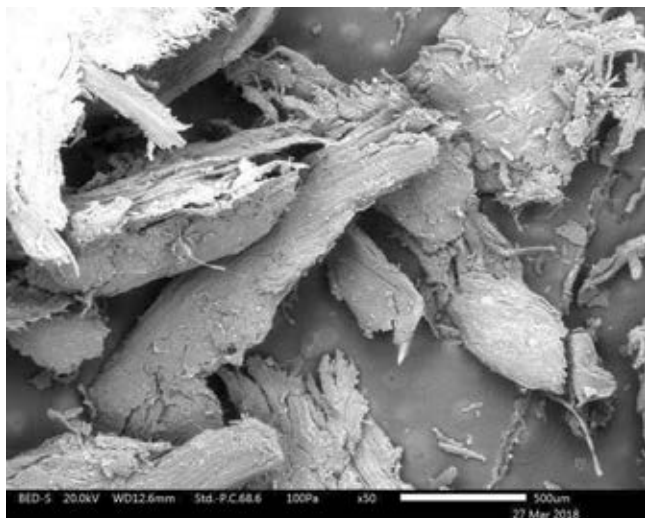
SEM analizo smo izvedli na naravnih vlaknih miskantusa v obliki pelet (slika 8) v čisti obliki (slika 9) in z dodatkom 10 m.% škroba (slika 10). Posnetki imajo dobro globinsko ostrino in zato omogočajo tridimenzionalen prikaz strukture in lastnosti naravnih vlaken. Vlaknen med seboj ni mogoče ločiti, saj imajo obliko aglomeratov. Na mestih, kjer so aglomerati prekinjeni, se vidijo posamična vlakna s premerom 30 do 50 µm.



Slika 8: Pelet miskantusa (mikroskop Keyence VHX 6000)



Slika 9: SEM analiza vlaken miskantusa



Slika 10: SEM analiza vlaken miskantusa z 10 m.% škroba

5 SKLEP

Rezultati testiranja so pokazali, da smo uspešno formulirali biokompozit "MADE IN SLOVENIA" iz vlaken miskantusa in PE-HD matrice, ki je uporaben za brizganje tehničnih izdelkov. Dvignili smo togost in trdnost, temperaturo uporabe, stopnjo kristaliničnosti in tališče. Znižala pa se je žilavost, kar je tudi slabost komercialno dostopnih kompozitov s kratkimi steklenimi vlakni. SEM in CT posnetki so pokazali, da smo tudi uspešno izvedli kompatibilizacijo med vlakni miskantusa in PE-HD matrico, kar potrjujejo tudi testi navzemanja vlage.

S tem smo pokazali, da obstaja v Sloveniji zadosti znanja za izdelavo biokompozitov iz odpadne biomase. Izsledki bodo v pomoč pri naporih za zmanjšanje CO₂ emisij pri predelavi plastike.

Viri:

- [1] Komornicki Jacques, Bax Laszlo, Vasiliadis Harilaos, Magallon Ignacio, Ong Kelvin. Polymer composites for automotive sustainability [svetovni splet]. Brussels: SusChem, Cefic - The European Chemical Industry Council, 2016.
- [2] Wong Joanna, Ermanni Paolo. Manufacturing of Polymer Composites. Zurich: ETH Zurich, Laboratory of Composite Materials and Adaptive Structures, 2017.
- [3] Matuana L. M., Stark N. M.. The use of wood fibers as reinforcements in composites. Cambridge: Elsevier Ltd., 2015.
- [4] Woodhams R. T., Thomas G., Rodgers D. K.. Wood fibers as reinforcing fillers for polyolefins. Polymer Engineering & Science (1984), vol. 24, no. 15, str. 1166-1171.
- [5] Ku H., Wang H., Pattarachaiyakoo N., Trada M.. A review on the tensile properties of natural fibre reinforced polymer composites. Centre of Excellence in Engineered Fibre Composites and Faculty of Engineering, University of Southern Queensland (2011), vol. 42, no. 2, str. 1-51.
- [6] Muthuraj R., Misra M., Defersha F., Mohanty Kumar A.. Influence of processing parameters on the impact strength of biocomposites: A statistical approach. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing (2016), vol. 83, April 2016, str. 120-129.

IZBOLJŠAVA NATANČNOSTI POSTOPKA DOLOČITVE DELEŽA STEKLENIH VLAKEN V KOMPOZITNEM LAMINATU

Ted PRODAN

MARE d.o.o.

Center za eksperimentalno mehaniko, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani

IZVLEČEK

Delež vlaken (DV) v kompozitnem laminatu sodi med najpomembnejše parametre pri kompozitnih izdelkih. Med konstruiranjem se DV uporablja za napoved debeline in mehanskih lastnosti laminata, med kontrolo kakovosti nam DV preverja proizvodni proces in med preizkušanjem so mehanske lastnosti laminata močno odvisne od sprememb v DV.

Procedura merjenja DV je predpisana s standardi, kot sta ISO 1172 in ASTM D2584. Pri meritvi se izpostavi laminatni vzorec višji temperaturi, pri kateri organska smola izgori in ostanejo le anorganska steklena vlakna. S tehtanjem laminata pred in po testu izgorevanja določimo DV. Napoved DV iz debeline laminata, ali obratno, napoved debeline laminata iz DV, izračunamo s pomočjo teže vlaken in smole v laminatu ter njihovih gostot. Postopek se redno uporablja pri konstrukciji kompozitnih izdelkov in ta je pogosto predpisan v konstrukcijskih standardih, kot npr. v EN 13121.

Za višje optimiziran izdelek predpisana postopka merjenja in napovedi DV pokazeta neskladje med izmerjenim in napovedanim DV, ker postopka ne upošteva organske aperture vlaken in praznin v laminatu. Med merjenjem DV z žarilnim preizkusom namreč organska apertura izgori, pri postopku napovedi DV pa se apertura zmotno šteje kot del negorljivih anorganskih vlaken. Neskladje pri DV povzroči tudi odstopanje med konstruirano in izdelano debelino laminata, zaradi česar se smatra da izdelek odstopa od specifikirane izdelave, kar lahko privede do zavrnitve izdelka.

Članek prikaže nadgrajen postopek za natančnejšo napoved DV in debeline laminata z upoštevanjem aperture vlaken in praznin v laminatu.

1 UVOD

Kompozit je material, ki sestoji iz dveh ali več različnih materialov, pri čemer te ločimo glede na njihovo funkcijo: vezivo ali ojačitev. Glede na tip veziva poznamo kovinske, keramične in polimerne kompozite, glede na tip ojačitve pa vlaknaste kompozite in kompozite ojačane z delci. V članku obravnavamo kompozit v katerem so ojačitev steklena vlakna in vezivo vinilestrska smola (termosetni polimer).

V primerjavi s kovinami, kompozitni materiali nudijo prednosti kot so višje razmerje trdnosti glede na težo, korozijsko odpornost, fleksibilnost pri konstruiranju, električno in toplotno izolativnost, nizek strošek vzdrževanja, itd. Za razliko od kovin, ki imajo izotropne lastnosti (te se ne spreminjajo glede na smer), so kompozitni materiali izrazito anizotropni, saj v smeri vlaken nudijo visoke mehanske lastnosti (vlakna nosijo večino obremenitve), pravokotno na smer vlaken pa imajo relativno nizke mehanske lastnosti (vezivo povezuje vlakna).

Zaradi anizotropnosti je konstruiranje s kompoziti zapleteno, saj je glede na smer obremenitve potrebno upoštevati razlike v mehanskih lastnostih znotraj posameznega sloja (ali lamele), kakor tudi razlike lastnosti slojev, ki skupaj tvorijo laminat, pri čemer se smer vlaken običajno razlikuje med sloji. Posledično je zapleten tudi postopek merjenja in določevanja mehanskih lastnosti laminata, ki jih potrebujemo pri konstruiranju.

Namen članka je obravnavati samo tisti del konstruiranja, ki je vezan na postopke določitve deleža vlaken (DV) v laminatu in njegove debeline. Omejili se bomo tudi na laminat izdelan z matom, ki sestoji iz krajših steklenih vlaken (dolžine ~10 cm), katere so znotraj sloja razporejene enakomerno v vse smeri. Mehanske lastnosti tovrstnega laminata so v ravnini sloja izotropne (anizotropne pa izven ravnine).

2 DELEŽ VLAKEN V LAMINATU

Delež vlaken (DV) v laminatu sodi med najpomembnejše kompozitne parametre. Med

konstruiranjem se DV uporablja za napoved mehanskih lastnosti in debelino laminata, pri čemer nam višji DV daje višje mehanske lastnosti laminata.

Pri izdelavi laminata je DV potrjen ali ponovno določen, saj je ta odvisen od izbranega proizvodnega procesa, zmogljivosti proizvodne opreme ter lastnosti vlaken in smole (impregnacijska lastnost vlaken, sposobnost prileganja vlaken obliki izdelka, viskoznost smole, itd.). Pri kontroli kakovosti nam DV preverja ali nam proizvodni proces daje želeno razmerje med ojačitvenimi vlakni in smolo v laminatu, kar posredno preverja ali izdelujemo laminat z zelenimi mehanskimi lastnostmi.

Zaradi pomembnosti DV je postopek merjenja tega predpisan s standardi, kot so ISO 1172 [1] ali ASTM D2584 [2]. Postopek izpostavi laminatni vzorec višji temperaturi (565 °C), pri kateri organska smola izgori in ostanejo le anorganska steklena vlakna. S tehtanjem laminata pred in po testu izgorevanja določimo DV_b (b = burning).

Postopek napovedi DV_t iz debeline laminata (t = thickness) povezuje debelino laminata s količino vlaken in smole v laminatu preko njunih gostot (ali specifičnih tež). Postopek napovedi DV_t iz debeline laminata, ali obratno, napoved debeline laminata iz DV_t, se redno uporablja v kompozitni industriji in je pogosto tudi predpisan v konstrukcijskih standardih, kot npr. v EN 13121 za izdelavo tlačnih kompozitnih posod [3].

Pri višji optimizaciji kompozitnega izdelka, postopka določitve DV_b in DV_t pokazeta neskladje, ker pri vlaknih zanemarita organsko apreturo. Kot apreturo upoštevamo vse premaze oz. dodatke, ki so na površini steklenih vlaken (za zaščito vlaken, za lubrikacijo pri procesu izdelave vlaken, za izboljšavo adhezije med steklom in smolo, kot vezivo za vlakna, itd.). Postopek napovedi DV_t ne upošteva apreturo in zato njeno težo nepravilno pripiše k teži anorganskih vlaken, vendar pri žarilnem testu meritve DV_b apretura izgori, zato je izmerjena vrednost DV_b vedno nižja od predvidene DV_t s katero smo izdelek konstruirali. Poleg omenjenega, postopek napovedi DV_t zanemari zračne mehurčke oz. praznine v laminatu, kar še dodatno poveča razliko med DV_b in DV_t. Nižja vrednost DV_b posredno pomeni, da ima izdelek nižje mehanske

lastnosti od tistih, ki smo jih uporabili med konstruiranjem na osnovi višjega DV_t.

Glede na potrebe, DV_t izrazimo na težo ali na volumen. Vrednosti sta različni, vendar medsebojno povezani preko gostote vlaken in smole, tako da jih lahko medsebojno pretvorimo. Z uporabo osnovnih enačb mikromehanike v članku predstavimo primer analize laminata, pri katerem je volumski DV_t višji za 3.6% od DV_b, kar predvidi da smo izdelek konstruirali z ~9% višjim nateznim modulom kot smo ga dobili na koncu izdelave. V primeru natezne obremenitve to pomeni, da bi stena izdelka morala biti ~9% debelejša od izdelane, kar pri velikih debelostenskih izdelkih lahko predstavlja velik nepredvideni proizvodni strošek. Naknadna ojačitev izdelka ni vedno možna, zato razlike med DV_b in DV_t lahko privedejo do zavrnitve izdelka.

3 NADGRADNJA MODELA ZA »DV_t«

V nadaljevanju so predstavljene enačbe vezane na obstoječi postopek napovedi DV_t, nato pa nadgradnja enačb, ki privede do natančnejše napovedi.

3.1 Obstoječe enačbe za napoved »DV_t«

Pri postopku napovedi DV_t se vprašamo kolikšna bo debelina sloja v laminatu za nek predviden DV_t. Izračun debeline sloja upošteva težo (maso) in gostoto vlaken ter težo in gostoto smole v sloju laminata. Na primer, za kompozitne tlačne posode, je postopek izračuna debeline sloja v laminatu predpisan s prvo enačbo v standardu EN 13121:

$$t = \left(\frac{1}{\rho_g} + \frac{100 - m_g}{m_g \cdot \rho_r} \right) \cdot 10^3 \quad (1)$$

kjer so

- t debelina sloja »i« v laminatu (mm)
na količino 1 kg/m² vlaken
- m_g težni delež vlaken (masni delež), DV_t (%)
- ρ_g gostota stekla vlaken (kg/m³)
- ρ_r gostota smole (kg/m³)

Zaradi konsistence merskih enot v enačbi (1) izrazimo t_i v metrih (na kg/m²) namesto v milimetrih, kar odpravi faktor 10³. Delež vlaken po teži, ali težni DV_t, označen z m_g

preimenujemo v f_w in pri njem odmaknemo %, kar spremeni faktor **100** v **1** in tako dobimo

$$t_i = \frac{1}{\rho_g} + \frac{1 - f_w}{f_w \cdot \rho_r} \quad (2)$$

Kot kaže enačba (3), debelino sloja v laminatu t_L dobimo če t_i pomnožimo s težo vlaken v sloju F_{AW} (običajno izraženo v g/m^2 ; to je sicer *masa* vlaken na enoto površine, vendar pri kompozitih se namesto besede *masa* tradicionalno uporablja beseda *teža*).

Z namenom poenostavitve razlage, v članku prikažemo analizo laminata z enim slojem, zato v nadaljevanju sloj imenujemo kar laminat.

$$t_L = t_i \cdot F_{AW} \quad (3)$$

Z uporabo enačbe (2) se spremeni enačba (3) v

$$t_L = \frac{F_{AW}}{\rho_g} + \frac{F_{AW}(1 - f_w)}{f_w \cdot \rho_r} \quad (4)$$

Zadnji člen na desni strani enačbe (4) prepišemo v

$$\frac{F_{AW}(1 - f_w)}{f_w \cdot \rho_r} = \frac{F_{AW} \cdot r_w}{f_w \cdot \rho_r} = \frac{F_{AW} \cdot \frac{W_r}{W_L}}{\frac{W_F}{W_L} \cdot \rho_r} = \quad (5)$$

$$= \frac{F_{AW} \cdot W_r}{W_F \cdot \rho_r} = \frac{\frac{W_F}{A} \cdot W_r}{W_F \cdot \rho_r} = \frac{W_r}{A \cdot \rho_r} = \frac{R_{AW}}{\rho_r}$$

kjer so

r_w težni delež smole v laminatu, $w_r = 1 - f_w$

W_f teža vlaken v laminatu

W_r teža smole v laminatu

W_L teža laminata, $W_L = W_f + W_r$

A enota površine

F_{AW} teža vlaken na enoto površine (običajno g/m^2)

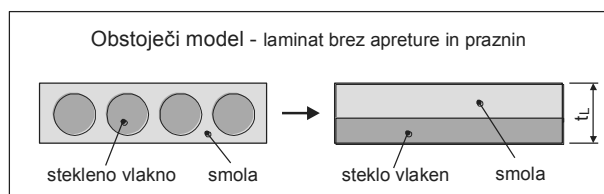
R_{AW} teža smole na enoto površine (običajno g/m^2)

Enačba (4) se torej prepiše v

$$t_L = \frac{F_{AW}}{\rho_g} + \frac{R_{AW}}{\rho_r} \quad (6)$$

kar si lahko predstavljamo kot da je debelina laminata enaka vsoti debeline, ki jo doprinesejo vlakna in debeline, ki jo doprinese smola. Slika 1

prikazuje ta koncept kot obstoječi model za določanje debeline laminata.



Slika 1: obstoječi model debeline laminata.

V nadaljevanju podamo še enačbo za izračun težnega DV_t , označenega z f_w

$$f_w = \frac{F_{AW}}{F_{AW} + R_{AW}} \quad (7)$$

in enačbo za izračun volumenskega DV_t , označenega z f_v

$$f_v = \frac{F_{AW}}{\rho_g} \cdot t_L^{-1} \quad (8)$$

pri čemer je t_L določen z enačbo (6)

Enačba (7) izračuna težni delež vlaken s faktorjema F_{AW} in R_{AW} , ki sta podana na enoto površine A . Če faktorja pomnožimo z enoto površine, se faktorja spremenita v teže. Zato težni DV_t je enak teži vlaken deljeno s težo laminata (skupno teža vlaken in smole). Podobno, če v enačbi (8) pomnožimo faktorja F_{AW}/ρ_g in t_L z enoto površine, vidimo da je volumski delež vlaken enak volumnu vlaken deljeno z volumnom laminata.

Teoretično izračunano debelino laminata t_L in izmerjeno debelino laminata t_{Lm} primerjamo z enačbo (9) in jo izrazimo v %.

$$t_L \% = \frac{t_{Lm} - t_L}{t_{Lm}} \quad (9)$$

3.1 Nadgradnja enačbe za napoved » DV_t «

Natančnejšo napoved DV_t iz debeline laminata, ali obratno, napoved debeline laminata iz DV_t , dobimo tako da od teže stekla vlaken odstranimo težo organske apreture, kar storita enačbi (12,13). Težo apreture vlaken izmerimo z žarilnim preizkusom na vlaknih po standardu ASTM D4963 [4]. Postopek je podoben žarjenju laminata, le da tokrat vlakna niso impregnirana s smolo. Tako nadgradimo enačbo (6) v

$$t_L = \frac{G_{AW}}{\rho_g} + \frac{S_{AW}}{\rho_s} + \frac{R_{AW}}{\rho_r} \quad (10)$$

Parametre v enačbi (10) dobimo z enačbama

$$S_{AW} = F_{AW} \cdot s\% \quad (11)$$

$$G_{AW} = F_{AW} - S_{AW} \quad (12)$$

kjer so

G_{AW} teža stekla vlaken na enoto površine

S_{AW} teža aperture vlaken na enoto površine

R_{AW} teža smole na enoto površine

$s\%$ težni delež aperture vlaken

ρ_g gostota stekla vlaken

ρ_s gostota aperture vlaken

ρ_r gostota smole

Pri nadaljnji izboljšavi modela dodamo na desno stran enačbe (10) še t_v , ki predstavlja doprinos k debelini laminata zaradi praznin,

$$t_L = \frac{G_{AW}}{\rho_g} + \frac{S_{AW}}{\rho_s} + \frac{R_{AW}}{\rho_r} + t_v \quad (13)$$

pri čemer je

$$t_v = t_L \cdot v\% \quad (14)$$

Volumski delež praznin $v\%$ je določen z razmerjem med volumnom praznin in volumnom laminata. Delež se ne spremeni, če ga izrazimo na enoto površine, torej kot razmerje med debelino, ki jo prispevajo praznine t_v in celotno debelino laminata t_L .

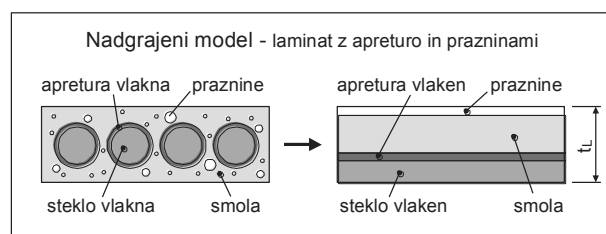
Delež praznin najprej izmerimo po eni od metod predstavljenih v standardu ASTM D2734 [5]. V osnovi gre za meritev gostote laminatnega vzorca, kjer se vzorec stehta in njegovo težo deli z izmerjenim volumnom vzorca. Delež praznin dobimo iz razlike med teoretično gostoto (ki je višja, brez praznin) in izmerjeno gostoto (ki je nižja, zaradi vsebnosti praznin).

V nadaljevanju izračun teoretične gostote nadgradimo z upoštevanjem deleža aperture $s\%$, ki smo ga izmerili z žarilnim preizkusom na ne impregniranih vlaknih. Razmerje med popravljenim teoretično gostoto in izmerjeno gostoto nam tako poda želeni $v\%$.

Če v enačbi (13) prestavimo t_v na levo stran enačbe, ga izrazimo z enačbo (14), nato izpostavimo t_L in preostali del premaknemo na desno stran enačbe dobimo:

$$t_L = \left(\frac{G_{AW}}{\rho_g} + \frac{S_{AW}}{\rho_s} + \frac{R_{AW}}{\rho_r} \right) \cdot (1 - v\%)^{-1} \quad (15)$$

Enačba (15) predstavlja končno obliko nadgradnje enačbe (6) za natančnejšo določitev debeline laminata glede na DV_t , pri čemer se, za razliko od enačbe (6), v enačbi (15) upoštevajo tudi apertura vlaken in praznine v laminatu, zaradi katerih je debelina izdelanega laminata večja. Slika 2 prikazuje ta koncept kot nadgrajeni model za določanje debeline laminata.



Slika 2: nadgrajeni model debeline laminata.

Na podoben način nadgradimo še enačbo (7) za izračun težnega DV_t

$$f_w = \frac{G_{AW}}{G_{AW} + S_{AW} + R_{AW}} \quad (16)$$

in enačbo (8) za izračun volumskega DV_t

$$f_v = \frac{G_{AW}}{\rho_g} t_L^{-1} \quad (17)$$

pri čemer je t_L določen z enačbo (15).

4 PRIMERJVA MODELOV: » DV_t «

V nadaljevanju opravimo izračun za DV_t na primeru laminata izdelanega z impregnacijo enega sloja mata, za katerega smo po obstoječem modelu predvideli 50% težni DV_t (teža vlaken F_{AW} in smole R_{AW} sta enaki).

4.1 Obstoječi model

Z obstoječim modelom izračunamo predvideno debelino laminata t_L , težni DV_t , f_v , in volumski DV_t , f_v . Podatek goste stekla ρ_g in smole ρ_r dobimo od proizvajalcev materialov.

Vhodni podatki

Gostota E-stekla vlaken	$\rho_g = 2.57 \text{ g/cm}^3$
Gostota vinilestrske smole	$\rho_r = 1.17 \text{ g/cm}^3$
Količina vlaken	$F_{AW} = 300 \text{ g/m}^2$
Količina vinilestrske smole	$R_{AW} = 300 \text{ g/m}^2$
Izmerjena debelina laminata	$t_L = 0.40 \text{ mm}$

Izračuni

Izračunana debelina laminata, en.(6)	$t_L = 0.37 \text{ mm}$
Razlika med izmerjeno in izračunano debelino laminata, en.(9)	$t_L\% = 6.7\%$
Težni delež vlaken, en.(7)	$f_w = 50.0\%$
Volumski delež vlaken, en.(8)	$f_v = 31.3\%$

4.2 Nadgrajeni model

Za nadgrajeni model dodatno potrebujemo delež aperture **s%** (iz žarilnega testa ne impregniranih vlaken) in delež praznin **v%** (iz meritve gostote laminata). Gostota aperture je iz literature [6].

Vhodni podatki

Gostota E-stekla vlaken	$\rho_g = 2.57 \text{ g/cm}^3$
Gostota vinilestrske smole	$\rho_r = 1.17 \text{ g/cm}^3$
Gostota aperture	$\rho_s = 1.0 \text{ g/cm}^3$
Količina vlaken	$F_{AW} = 300 \text{ g/m}^2$
Količina vinilestrske smole	$R_{AW} = 300 \text{ g/m}^2$
Delež aperture	$s\% = 4.9\%$
Delež praznin	$v\% = 4.5\%$
Izmerjena debelina laminata	$t_L = 0.40 \text{ mm}$

Izračuni

Količina aperture v vlaknih, en.(11)	$S_{AW} = 14.7 \text{ g/m}^2$
Količina stekla vlaken, en.(12)	$G_{AW} = 285.3 \text{ g/m}^2$
Izračunana debelina laminata, en.(13)	$t_L = 0.40 \text{ mm}$
Razlika med izmerjeno in izračunano debelino laminata, en.(9)	$t_L\% = 0.0\%$
Težni delež vlaken, en.(16)	$f_w = 47.6\%$
Volumski delež vlaken, en.(17)	$f_v = 27.7\%$

4.3 Primerjava izračunov

Iz izračunov vidimo, da nadgrajeni model predvidi debelino laminata t_L , ki je skladna z izmerjeno debelino t_{Lm} . Obstoječi model to debelino podceni za $\sim 7\%$. Nadgrajeni model nam tudi pokaže, da je težni DV_t 47.6%, kar je za 2.4% nižje od specificiranega 50% za izdelavo laminata. Nižji delež vlaken potrjuje tudi žarilni preizkus na laminatu s katerim dobimo DV_b .

Konstruktivski standard ASME-X [7] za kompozitne tlačne posode zahteva, da proizvedemo laminat s težnim deležem vlaken v toleranci $\gg -0 / +10\%$. V kolikor bi z obstoječim modelom pri konstrukciji »ciljali« na spodnjo

mejo tolerance $\gg -0\%$, bi po izdelavi izdelka in opravljenem žarilnem preizkusu pristali na $\gg -2.4\%$, kar je izven specificirane zahteve in posledično bi izdelek zavrnilen. Z nadgrajenim modelom, pa bi med konstrukcijo vedeli, da moramo pri proizvodnji povečati težo vlaken v primerjavi s težo smole.

5 PRIMERJAVA MODELOV: »E-MODUL«

Obstoječi in nadgrajeni model primerjamo še z izračunom predvidenega nateznega modula laminata. Za ta namen uporabimo volumski DV_t , označen z f_v . Izračuni v prejšnjem poglavju so pokazali, da obstoječi model predvidi volumski DV_t kot 31.3%, ki je za 3.6% višji od izračunanega z nadgrajenim modelom 27.7%.

Za izračun predvidenega nateznega modula uporabimo enačbe iz mikromehanike kompozitov [8], pri čemer je enačba (20) za kompozit iz mata:

$$E_L = E_f f_v + E_m (1 - f_v) \quad (18)$$

$$E_T = \frac{E_m E_f}{E_f (1 - f_v) + E_m f_v} \quad (19)$$

$$E_{csm} = \frac{3}{8} E_L + \frac{5}{8} E_T \quad (20)$$

Opis parametrov je v izračunu, ki sledi.

5.1 Obstoječi model

Za izračune z enačbami (18-20) uporabimo vhodna podatka E_f in E_m od proizvajalcev materialov, medtem ko smo v_f izračunali v predhodnem poglavju z obstoječim modelom.

Vhodni podatki

Natezni modul E-stekla	$E_f = 76 \text{ GPa}$
Natezni modul smole	$E_m = 3.2 \text{ GPa}$
Volumski delež vlaken	$f_v = 31.3\%$

Izračuni

Natezni modul laminata vzdolž vlaken, en.(18)	$E_L = 25.97 \text{ GPa}$
Natezni modul laminata pravokotno na vlakna, en.(19)	$E_T = 4.57 \text{ GPa}$
Natezni modul laminata, en.(20)	$E_{csm,e} = 12.60 \text{ GPa}$

5.2 Nadgrajeni model

Za izračune uporabimo vhodni podatek v_f , ki smo ga dobili v predhodnem poglavju z nadgrajenim modelom.

Vhodni podatki

Natezni modul E-stekla	$E_f = 76 \text{ GPa}$
Natezni modul smole	$E_m = 3.2 \text{ GPa}$
Volumski delež vlaken	$f_v = 27.8 \%$

Izračuni

Natezni modul laminata vzdolž vlaken, en.(18)	$E_L = 23.40 \text{ GPa}$
Natezni modul laminata pravokotno na vlakna, en.(19)	$E_T = 4.36 \text{ GPa}$
Natezni modul modula laminata, en.(20)	$E_{csm,u} = 11.50 \text{ GPa}$

5.3 Primerjava nateznih modulov

Primerjavo nateznih modulov izrazimo v % z:

$$E_{csm\%} = \frac{E_{csm,e} - E_{csm,u}}{E_{csm,e}} \quad (21)$$

Izračun

Primerjava elastičnih modulov laminata, en.(21) $E_{csm\%} = 8.7 \%$

Iz izračuna vidimo, da bi z uporabo obstoječega modela, ki nam poda 3.6% višji volumski DV_t , konstruirali izdelek s predvidenim nateznim modulom, ki je za ~9% višji od modula, ki ga bi predvideli z nadgrajenim modelom.

Nateznega preizkusa, ki bi to ~9% razliko v modulih potrdil nismo naredili na našem laminatu, so pa enačbe iz teorije mikromehanike laminatov dovolj zanesljive, da lahko to razliko v modulih sprejmemo kot približno vrednost.

Velja omeniti, da je vpliv praznin na natezni modul laminata zapleteno teoretično predvideti. Pri nižjem % praznin so izračuni zanesljivejši, pri višjem % praznin pa izračuni ponavadi podcenijo padec modula.

6 SKLEP

Pri obravnavanem laminatu smo videli, da obstoječi model napove ~7% nižjo debelino laminata v primerjavi z nadgrajenim modelom, ki debelino predvidi skladno z izmerjeno debelino na izdelanem laminatu.

Laminat smo izdelali z uporabo iste teže vlaken in smole, zato nam je obstoječi model napovedal 50% težni DV_t , ki pa po izkušnjah vemo, da je vedno nekoliko višji od izmerjenega DV_b z žarilnim preizkusom. Nadgrajeni model nam je napovedal 2.4% nižji DV_t , kar ga naredi skladnejšega z DV_b . Z uporabo nadgrajenega modela smo tako varnejši pri zahtevi konstrukcijskih standardov, da naš delež vlaken v izdelanem laminatu ne pade izven zahtevanih toleranc, kar lahko privede do zavrnitve izdelka.

S pomočjo enačb iz mikromehanike smo videli, da nam obstoječi model napove ~9% višji natezni modul kot ga napove nadgrajeni model. Posledično bi z obstoječim modelom konstruirali izdelek z ~9% pretankim laminatom iz vidika natezne obremenitve. V primeru velikega debelostenskega izdelka, bi lahko zahteva po naknadni ojačitvi izdelka predstavljala velik nepredvideni proizvodni strošek. V kolikor naknadna ojačitev izdelka pa ne bi bila možna, bi se soočili z zavrnitvijo izdelka zaradi neustrezne nosilnosti.

V praksi se omenjene probleme rešuje z večanjem varnostnega faktorja izdelka, kar pa tudi podraži izdelek. V primeru potrebe po višji optimizaciji izdelka si tako lahko pomagamo z predstavljenim nadgrajenim modelom, ki zanesljivejše predvidi debelino laminata, delež vlaken in posledično tudi mehanske lastnosti.

Viri:

- [1] *ISO 1172:1996, Textile-glass-reinforced plastics - Prepregs, moulding compounds and laminates - Determination of the textile-glass and mineral-filler content - Calcination methods*, International Organization for Standardization.
- [2] *ASTM D2584-11, Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org.
- [3] *EN 13121:2016 - GRP tanks and vessels for use above ground*, European Committee for Standardization, Brussels, 2016.
- [4] *ASTM D4963-11, Standard Test Method for Ignition Loss of Glass Strands and Fabrics*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org.
- [5] *ASTM D2734-16, Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
- [6] HN Petersen, Y Kusano, P Brøndsted, K Almadal: *Preliminary Characterization of Glass Fiber Sizing*, Proc. Risoe Int. Symp. on Mat. Sci.: Processing of fiber composites, 2013, orbit.dtu.dk.
- [7] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section-X – Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels*, Edition 2015, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 2015.
- [8] JE Ashton, JC Halpin, PH Petit: *Primer on Composite Materials: Analysis*; Progres in Materials Sciences Series, Volume II, Technomic Publishing, 1969.

POLIURETAN KOT MATRICA ZA KOMPOZITE

Silvester BOLKA, Thomas WILHELM, Teja PEŠL

Fakulteta za tehnologijo polimerov

IZVLEČEK

Kompoziti, najpogosteje s steklenimi vlakni, imajo pogosto ali epoksi ali poliestrsko matrico. Če bi radi zagotovili uporaben kompozit za dinamične obremenitve z višjimi dovoljenimi raztezki, potem sta omenjeni matrici omejeno uporabni. Naslednja omejitev je pogosto tudi nekompatibilnost epoksi ali poliestrske matrice z različnimi dodatnimi elementi. Te omenjene omejitve v dobri meri lahko odpravimo, če uporabimo poliuretanski sistem kot matrico za kompozit. Prednost poliuretanske matrice je poleg višjega raztezka pred porušitvijo tudi zelo enostavno "krmiljenje" časa zamreževanja, saj lahko z dodatkom pospeševalca kot tretje komponente časa ciklov drastično skrajšamo, brez da bi s tem bistveno vplivali na ceno in mehanske lastnosti kompozita. Seveda ima poliuretanski sistem tudi svojo šibko točko - to je izredna občutljivost tako na zračno vlago kot na vlago vseh uporabljenih materialov. Vlaga, v kakršni koli obliki (zračna ali v materialu), povzroči penjenje poliuretanske matrice in s tem se drastično poslabšajo mehanske lastnosti - laminat ni več uporaben.

V prispevku bomo predstavili poliuretan kot matrico za izdelavo kompozitov, vpliv dodanega pospeševalca, naknadno zamreževanje, preden so dosežene dokončne mehanske lastnosti ter mehanske in toplotne lastnosti kompozitov s poliuretansko matrico.

1 UVOD

Uporaba polimernih kompozitov je v porastu zadnja štiri desetletja. Kompoziti so sestavljeni iz vlaken z visoko trdnostjo, ki jih obdaja polimerna matrica. Kot matrico lahko uporabimo tako termoplaste kot duroplaste. Kompoziti z duroplastično matrico so zelo krhki in jih naknadno ne moremo več preoblikovati s segrevanjem. Ena od možnih alternativ za duroplastično matrico je tudi poliuretan. Kompoziti s steklenimi vlakni in poliuretansko matrico imajo le malenkost nižjo togost in trdnost kot v primeru epoksi matrice, njihova krhkost pa je nižja [1]. Uporaba poliuretanske matrice ima pri kompozitih, kjer imamo veliko različnih materialov, prednost pred ostalimi duroplastičnimi matricami, saj ima zelo dobro adhezijo na veliko različnih površin materialov. Njena tehnologija predelave je primerljiva s predelavo epoksi ali poliestrskih matric. V prispevku bomo predstavili poliuretansko matrico za uporabo v kombinaciji s steklenimi vlakni, njene prednosti in slabosti ter mehanske in toplotne lastnosti.

2 LASTNOSTI POLIURETANA

Poliol in izocianat tvorita v pravem mešalnem razmerju poliuretan, če poliolu primešamo pospeševalec dobimo trokomponenten sistem. Pospeševalec omogoča spreminjanje časa oz. temperature utrjevanja.

Poliuretanska lepila imajo pred ostalimi lepili določene prednosti:

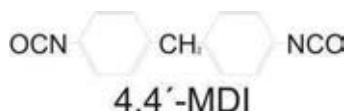
- z različnimi dodatki jim lahko spremenimo lastnosti in
- z uporabo različnih polnil ali trdilca dobimo želene lastnosti.

Višja stopnja zamreženosti lepila vodi k večji natezni in strižni trdnosti. Nižanje zamreženosti vodi k elastičnim in šibkejšim spojem, ki imajo boljše adhezijo posebno pri nizki temperaturi. Na splošno velja, da se z višjo stopnjo zamreženosti viša temperaturna odpornost, odpornost na vlago, mehčala, smole in olja.

Poliol je sestavljen iz diolov, triolov. V kompozitih se uporabljajo polieterski in poliesterski polioli. Za znižanje cene poliola je v osnovno zgradbo dodano tudi polnilo, ki povzroči nehomogenost materiala – pred uporabo je poliol

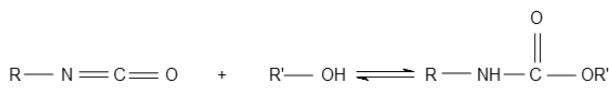
zato vedno potrebno zares dobro premešati. Polnila imajo višjo gostoto od polioliolov, tako da se običajno nahajajo na dnu embalaže. Polioliolu je lahko dodano tudi sušilno sredstvo, ki mehansko veže vodo in tako preprečuje vpliv zračne vlage na zapenitev sistema.

Za visoko zmogljive poliuretanske kompozite se kot izocianat (Slika 1) uporablja MDI - difenilmetan - 4, 4' - diizocianat.



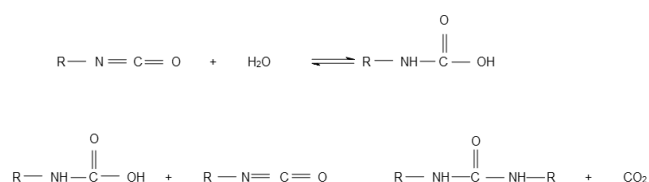
Slika 1: MDI izocianat

Pri reakciji polioliolov in izocianatov (Slika 2) nastane (poli)uretan.



Slika 2: Reakcija poliola in izocianata

Druga reakcija je reakcija izocianata z vodo in nastaneta (poli)urea in ogljikov dioksid. To je osnova za penjene poliuretanskega sistema. (Poli)urea (Slika 3) pomeni, da nastane v poliuretanu trd in krhek segment.



Slika 3: Reakcija izocianata in vode

Tip ojačitve pri kompozitih (steklenih, aramidnih, karbonskih) je pomemben za doseganje želene trdnosti in togosti. Pri tem je pomembna debelina kompozita, ki se pri konstruiranju običajno uporablja za preračune. Pomembno pri določitvi debeline je navedba volumskega deleža ojačitve in matrice. Pri izdelavi kompozitov se je potrebno potruditi, da je delež matrice čim manjši – s tem se prihrani pri teži in materialu matrice. Kot »standard za ojačitve iz steklenih vlaken« velja, da je volumski delež ojačitev 60 vol.% ($\varphi = 0,6$) in volumski delež matrice 40 vol.% ($\varphi = 0,4$). Kot zgornja meja za volumski delež ojačitev je postavljena meja pri 65 vol.%. Še večji volumski delež

ojačitev ni več optimalen, ker je potem v kompozitu nekvalitetna omočenost površine vlaken ojačitev.

Volumski delež ojačitev se pri prepreg tehnologiji ali tehnologiji omakanja ojačitev doseže brez problemov, pri ročnem laminiranju ojačitev se doseže volumski delež ojačitev okoli $\varphi = 0,42$.

Za zagotavljanje konstantne kvalitete za določevanje volumskega deleža ojačitve, je potrebno izračunati dejanski volumski delež ojačitve v kompozitu (Slika 4).

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{1-\psi}{\psi} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_m}}$$

Slika 4: Izračun volumskega deleža ojačitve

φ – volumski delež ojačitve

ψ – masni delež ojačitve

ρ_f – gostota ojačitve

ρ_m – gostota matrice

3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJA

3.1 Priprava vzorcev

Uporabili smo trokomponentni poliuretanski sistem, poliestrski polioliol in MDI izocianat, ter pospeševalec. Mešalno razmerje med polioliolom in izocianatom je bilo 100 : 65 (masno razmerje). Uporabljeni sistem je primeren za ročno laminiranje. Pospeševalec smo dodajali v polioliol. Kot ojačitev smo uporabili mato iz steklenih vlaken, ki je imela 450 g/m² površinske mase.

Prednosti uporabljenega poliuretanskega sistema pred epoksi sistemi so:

- okoli 8 % nižja gostota,
- nižja cena,
- nižja temperatura utrjevanja,
- krajši časi utrjevanja v stiskalnici in
- višja fleksibilnost.

Poliuretanski sistem omogoča dobro adhezijo na veliko različnih materialov:

- plastiko: ABS, TPU
- ojačitve: steklo, aramid, karbon
- sredice: les, penjen PVC, penjen PU, flise
- kovine, aluminij, gumo.

Pri prvi seriji vzorcev smo dodajali pospeševalec v polioliol, zmes homogeno premešali,

dodali izocianat in merili odprti čas. Pospeševalec smo dodali v količini od 0,25 m.% do 1 m.%. Meritve smo izvajali na vzorcih okrogle oblike, premera 100 mm in debeline sloja 2 mm.

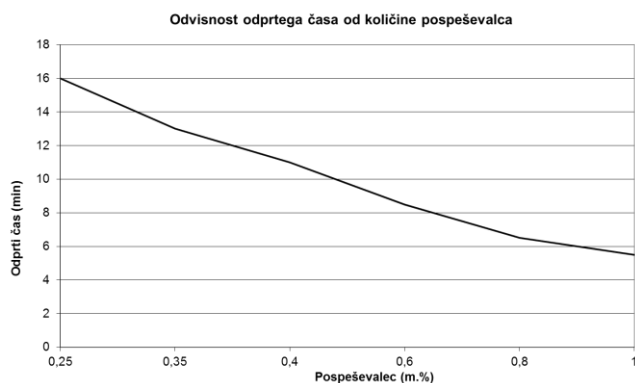
Pri drugi seriji vzorcev smo utrjevali vzorce pri različnih temperaturah in jih testirali v časovnem intervalu takoj po utrjevanju do 240 ur po utrjevanju. Vzorce smo skladiščili pri 25 °C.

Pri tretji seriji smo s poliuretanskim sistemom ročno impregnirali stekleno mato. Za izdelavo kompozita smo uporabili 4 sloje in jih utrdili. Izdelali smo tri serije vzorcev. Pri prvi seriji smo predhodno stekleno mato osušili, pri drugi seriji smo uporabili neosušeno stekleno mato, pri tretji seriji smo mato rahlo dodatno navlažili. Vse tri serije smo utrdili pri 60 °C, 1 uro in izmerili natezne in dinamične mehanske lastnosti.

2.1 Laboratorijska testiranja

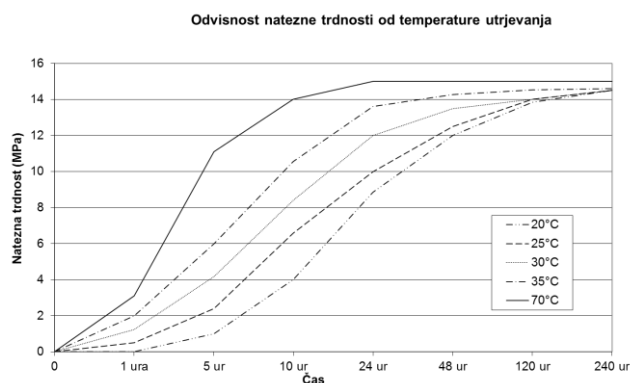
Testiranja smo opravili v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Količina dodanega pospeševalca (Slika 4) močno skrajša odprti čas in sicer od 16 min pri 0,25 m.% dodanega pospeševalca na le 5,5 min pri 1 m.% dodanega pospeševalca. To pomeni, da lahko zelo enostavno krmilimo reaktivnost sistema glede na tehnološke zahteve izdelave kompozitov. Če se odločimo za ročno mešanje poliola in izocianata, potem je maksimalna količina dodanega pospeševalca okoli 0,6 m.%, saj je potrebno obe komponenti zares kvalitetno premešati. V nasprotnem primeru dobimo nehomogeno mešanico matrice, kjer imamo na določenih mestih več poliola, na drugih več izocianata.



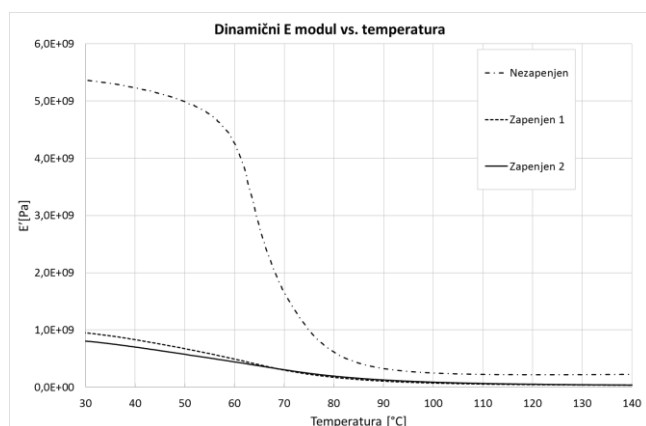
Slika 4: Odvisnost odprtega časa od količine dodanega pospeševalca

Uporabljeno poliuretansko matrico (Slika 5) lahko utrjujemo od sobne temperature naprej. Velik interval za temperaturo utrjevanja je dobrodošel v primerih, ko je debelina kompozita velika in bi kot posledica eksotermne reakcije pri zamreževanju (sproščanje toplote) temperatura narasla do te mere, da bi prišlo hkrati že do degradacije matrice, kar se optično vidi s spremembo barve matrice. Pri višjih temperaturah utrjevanja (70 °C) dosežemo dokončne mehanske lastnosti že po 24 urah. Če poliuretansko matrico utrjujemo pri 20 °C dosežemo dokončne mehanske lastnosti po 10 dneh. Natezna trdnost je odvisna tudi od temperature utrjevanja. Pri nižji temperaturi utrjevanja je tudi po zaključku naknadnega zamreževanja natezna trdnost nižja, kot pri utrjevanju pri višji temperaturi in sicer okoli 5 %. To pomeni, da moramo za tog in trden kompozit dvigniti temperaturo zamreževanja. Če potrebujemo fleksibilen kompozit ga moramo zamreževati pri čim nižji temperaturi.



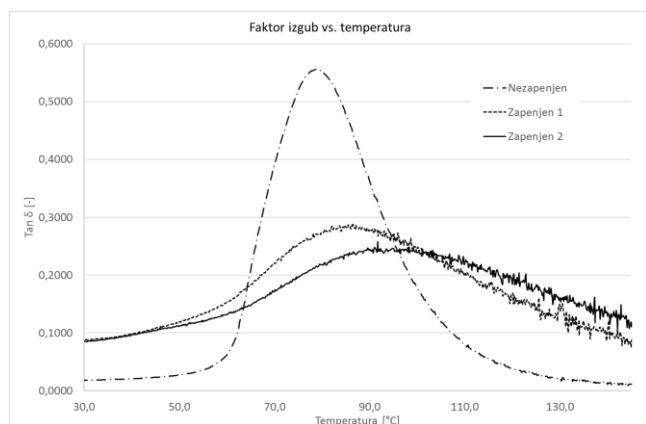
Slika 5: Odvisnost natezne trdnosti od časa naknadnega zamreževanja

Na grafu odvisnosti dinamičnega E modula od temperature (Slika 6) vidimo vpliv tako temperature kot vsebnosti vlage na dinamični E modul. Dobro dinamično togost kompozita dosežemo s kvalitetno osušenimi ojačitvami. Visoko togost ima kompozit do 55 °C, potem dinamična togost drastično pade, kar pomeni, da je v tem temperaturnem območju temperatura steklastega prehoda poliuretanske matrice. Neosušena ojačitev (Zapenjen 1) in dodatno navlažena ojačitev (Zapenjen 2) imata veliko nižjo dinamično togost preko celotnega temperaturnega območja (od 25 °C do 150 °C).



Slika 6: Odvisnost dinamičnega E modula od temperature

Iz grafov faktorja izgub (Slika 7) lahko karakteriziramo temperaturo steklastega prehoda kompozita – poliuretanske matrice. Temperatura steklastega prehoda se z višanjem količine vlage pomika k višjim temperaturam. Pri popolnoma osušenih ojačitvah je temperatura steklastega prehoda 79,2 °C, pri neosušeni ojačitvi 86,1 °C in pri navlaženi ojačitvi 95,8 °C. Višina vrha faktorja izgub kaže na elastični odziv oz. sposobnost dušenja. Višji kot je vrh faktorja izgub, boljše material duši vibracije. Vidimo lahko, da z višanjem deleža vode kompozit slabše duši vibracije, kar pomeni, da vsebuje matrica več togih segmentov (poliuree). Ker pa pri reakciji izocianata in vode poleg poliuree nastaja tudi CO₂ (matrica se zapeni), je dinamična togost takšnega kompozita kljub višji vsebnosti togih segmentov nižja.



Slika 7: Odvisnost faktorja izgub od temperature

Testi upogibnih lastnosti (Tabela 1) so skladni z rezultati dinamičnih mehanskih analiz. Najvišjo togost in trdnost ima kompozit s predhodno

popolnoma osušeno ojačitvijo, najnižjega kompozit z navlaženo ojačitvijo. Glede na doseženi togosti in trdnosti je potrebno pri izdelavi kompozitov iz poliuretanske matrice vedno upoštevati tudi namembnost končnih izdelkov in temu ustrezno osušiti uporabljene materiale (ojačitve, sredice). Posebej pomembna je tudi zračna vlaga. Pri visoki zračni vlagi je velika nevarnost, še posebej pri ročnem laminiranju, da se poliuretanska matrica in tudi uporabljeni materiali navlažijo med samim procesom izdelave kompozita.

Tabela 1: Rezultati upogibnega testa

Vzorec	Upogibni E modul (GPa)	Upogibna trdnost (MPa)	Raztezek pri maksimalni upogibni trdnosti (%)
Nezapenjen	6,06	174,4	3,56
Zapenjen 1	2,08	55,4	10,29
Zapenjen 2	0,82	26,6	22,16

5 SKLEP

Rezultati testiranja so pokazali, da je poliuretanska matrica uporabna za izdelavo konstrukcijskih kompozitnih izdelkov.

Njene prednosti (dobra adhezija na različne materiale, enostavno krmiljenje časov utrjevanja, široko temperaturno območje utrjevanja) so dobrodošle predvsem pri izdelavi maloserijskih izdelkov in velikoserijskih izdelkov večjih debelin. Vedno pa je potrebno posebno pozornost pri izdelavi kompozitov s poliuretansko matrico nameniti vlagi – tako vlagi vseh uporabljenih materialov kot zračni vlagi pri proizvodnji.

Viri:

- [1] Baker, W.: *Processing of composites*, Carl Hanser Verlag, Munich, 2000.

REZKARJI KROŽNEGA IZSEKA - INOVATIVNA REŠITEV OBDELAVE

Rok VOLK¹, Markus RÖSEL²

¹EMUGE-FRANKEN tehnika d.o.o.

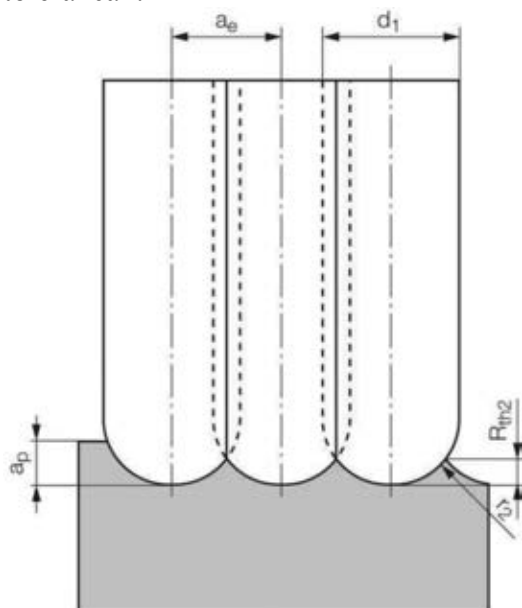
²EMUGE-FRANKEN, Nemčija

IZVLEČEK

Pri nemškem podjetju FRANKEN iz skupine EMUGE-FRANKEN, so razvili in leta 2012 javnosti prvič predstavili inovativen način končne obdelave rezkanja, s katerim ne dosežemo samo boljše površine, temveč lahko prihranimo tudi 90% in več časa obdelave. Ker rezkarji pokrivajo različne izseke kroga, jih je proizvajalec poimenoval v nemščini "Kreissegment-fräser", v angleščini "Circle Segment End Mills", kar v slovenščini predstavlja rezkarje krožnega izseka.

1 UVOD

Kako doseči boljšo površino obdelovanca in to v krajšem času kot s krogelnim ali torus rezkarjem? Ta problem sta se namenila rešiti nemški proizvajalec rezilnih orodij FRANKEN GmbH iz skupine EMUGE-FRANKEN in nemški razvijalec CAM rešitev Open Mind Technologies AG. Izziv za Open Mind je bil izračun geometrije orodja glede na geometrijo obdelovanca, za proizvajalca orodij FRANKEN pa izdelava nove geometrije orodja v tesnih tolerancah.



Slika 2: Obdelava s krogelnim rezkarjem

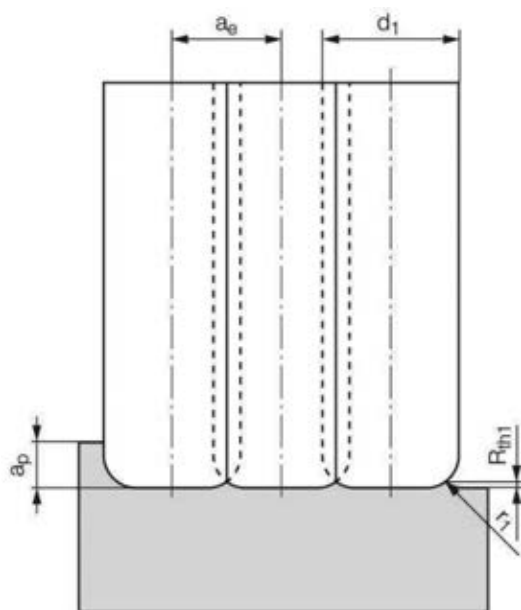
2 KAKOVOST POVRŠINE - HRAPAVOST

Za doseganje boljše kakovosti obdelane površine sta pomembna dva dejavnika, radij orodja in aksialni (vrstični) pomik. Kakovost površine se zmanjša, če se poveča korak in izboljša, če se poveča radij orodja pri enakem vrstičnem koraku, kar potrjuje tudi naslednji primer. (Slika 1)

Premer orodja	Razmik med rezi	Teoretična hrapavost
10 mm	0,2 mm	1 μm
10 mm	1,0 mm	25 μm
150 mm	0,2 mm	0,066 μm
150 mm	0,774 mm	1 μm

Slika 1: Primerjava hrapavosti

Pri uporabi krogelnega ali torus rezkarja za končno obdelavo, je prednost torusa v širini koraka, ki je lahko večji v primerjavi s krogelnim rezkarjem pri enaki kakovosti površine. (slika 2 in 3)



Slika 3: Obdelava s torus rezkarjem

Teoretični izračun hrapavosti površine pri uporabi krogelnega rezkarja nam pokaže, da večji ko je radij, boljša je končna površina obdelovanca, oziroma, večji ko je radij, večji je korak, pri enaki končni obdelavi površine obdelovanca. Večji korak pomeni znatno zmanjšanje časa obdelave!

Opis pojmov (slika 4)

d_1 = Premer orodja v mm

b_r = Širina koraka v mm (a_e)

R_{th} = Teoretična hrapavost površine v mm

Primer 1

d_1 = 10 mm

b_r = 0,2 mm

R_{th} = **0,001 mm**

Primer 2

d_1 = 150 mm

b_r = 0,2 mm

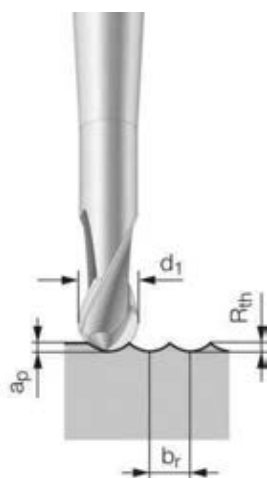
R_{th} = **0,00006 mm**

Primer 3

d_1 = 150 mm

b_r = **0,774 mm**

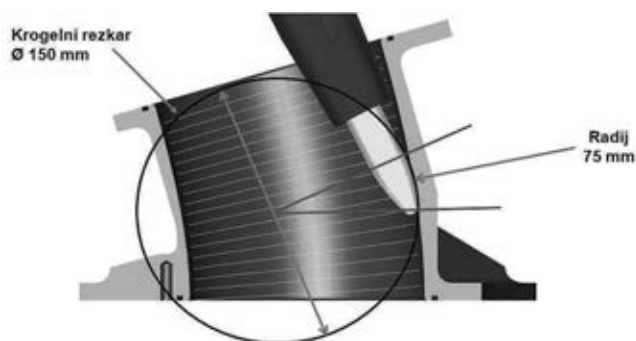
R_{th} = **0,001 mm**



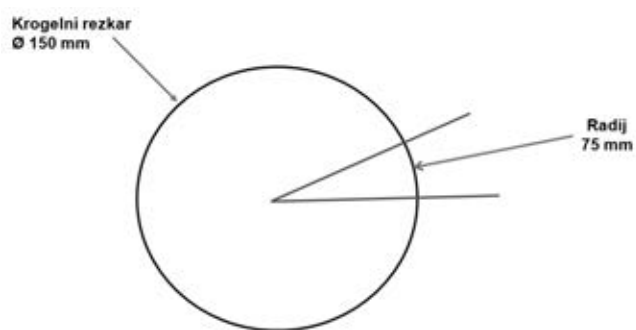
Slika 4: Prikaz pojmov

2.1 Razvoj rezkarjev

Za krajšanje obdelovalnega časa, npr. z razmikom med vrsticami 5 mm namesto 0,5 mm, se mora radij orodja za nekajkrat povečati, da se zmanjša hrapavost, kar je včasih preprosto nemogoče. Predstavljajte si, da za določeno hrapavost potrebujete krogelni rezkar s polmerom 500 mm, za kar potrebujete prostor za orodje 1000 mm, kar je v praksi preprosto nemogoče. Tehnologi iz obeh podjetij FRANKEN in Open Mind, so prišli do zelo inovativne rešitve. Enaka hrapavost se doseže, če je na rezkarju samo del kroga, oz. krožnega izseka (Slika 5 in 6).



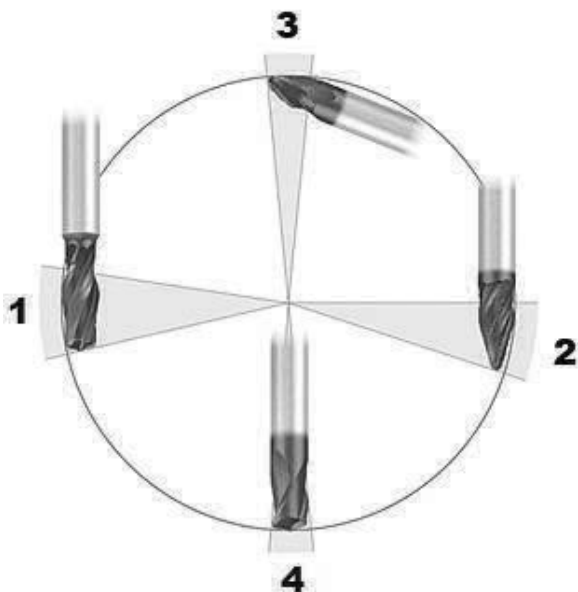
Slika 5: Prikaz delnega izseka kroga v praksi



Slika 6: Prikaz delnega izseka kroga

Pri Open Mind so razvili ustrezno strategijo za CAM hyper MIL in pri FRANKEN prototip orodja. Že prvi prototip orodja je bil uspešen, zato so se tehnologi pri podjetju FRANKEN odločili razširiti serijo orodij krožnega izseka. FRANKEN je s tem postal pionir v izdelavi rezkarjev krožnega izseka. Leta 2012 so javnosti predstavili 4 standardne trdokovinske rezkarje za 5-osno

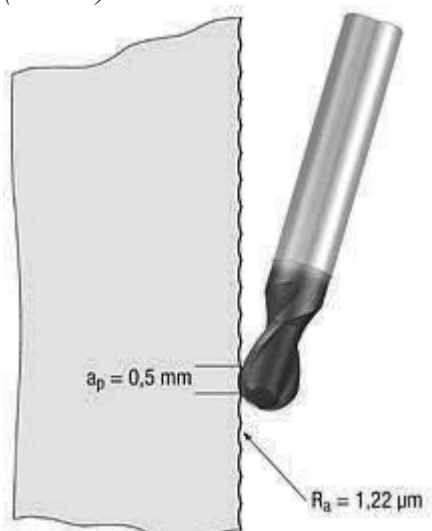
končno obdelavo, rezkarje krožnega izseka (Circle Segment End Mills) (slika 7).



Slika 7: 1. Sodčkasti (Barrel-shape)
 2. Kapljasti (Taper form)
 3. Stožčasti (Oval form)
 4. Lečasti (Lens form)

2.2 Oblike rezkarjev krožnega izseka

Geometrija rezkarjev krožnega izseka omogoča pred-končno in končno obdelavo (glajenje) obdelovancev. Zaradi večjega odvzema materiala pri večjih aksialnih pomikih in velikimi radiji pride na rezilnem robu do večjih rezalnih sil kot pri običajni obdelavi s krogelnimi rezkarji. (slika 8).



Obdelava s krogelnim rezkarjem
 Slika 8: Primerjava obdelave

Štiri oblike rezkarjev krožnega izseka za pred-končno in končno obdelavo. (slika 9, 10, 11, 12)
 Rezkarji so primerni za obdelavo širokega spektra materialov, od aluminija do inconela.



Slika 9: Sodčkasta oblika (Barrel-shape)



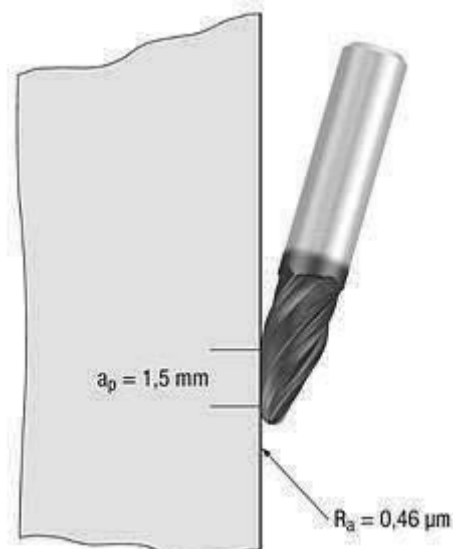
Slika 10: Kapljasta oblika (Taper form)



Slika 11: Stožčasta oblika (Oval form)



Slika 12: Lečasta oblika (Lens-shape)



Obdelava z rezkarjem krožnega izseka

2.3 Novosti

Novi izvedbi rezkarjev krožnega izseka v stožčasti obliki s kotnim radijem (ER), imata skoznje hlajenje in sta na voljo v izvedbi NR za grobo obdelavo (slika 13) in izvedbi N za končno obdelavo (slika 14). Oblika za grobo obdelavo omogoča konstantno obdelavo tudi za kompleksne komponente in dodatno končno obdelavo z rezkarji krožnega izseka, s čimer prihranimo proces pred-končne obdelave. Taka kombinacija grobe pred-končne in kasneje končne obdelave, nam prihrani čas rezkanja tudi do 50 %. Hkrati dosežemo boljšo kakovost obdelane površine, ker smo se izognili dodelavam za odstranitev prehodnih območij in s tem bistveno izboljšali dimenzijsko in konturno natančnost.

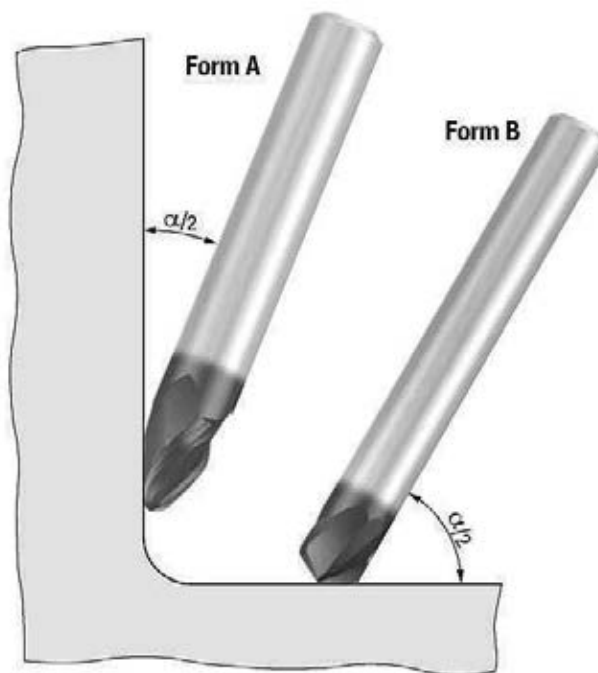


Slika 13: NR stožčasta oblika +ER



Slika 14: N stožčasta oblika +ER

Dopolnjena je tudi stožčasta oblika rezkarjev krožnega izseka in sicer za obdelavo z naklonom orodja $< 45^\circ$ (Form A) in naklonom orodja $> 45^\circ$ (Form B). Radij r_2 pri izvedbi Form A je v standardnemu programu tudi do velikosti 1500 mm (Slika 15).



Slika 15: dopolnjena stožčasta oblika

3 SKLEP

Z rezkaji krožnega izseka lahko zaradi večjega koraka (a_p) prihranite tudi do 90 % in več. Sami lahko preverite, kakšni so lahko vaši prihranki na spletni strani namenjeni rezkarjem krožnega izseka, www.frankenexpert.com.

www.emuge-franken.si

www.frankenexpert.com

APPLICATIONS OF PLASMA TECHNOLOGY

Jörg EISENLOHR
plasma technology GmbH

Abstract

Plasma surface modification with low pressure plasma, is growing exponentially as industrial engineers and manufacturers.

By supplying energy, gas is ionized - therefore plasma is formed! In plasma atoms, molecules, ions and electrons move freely, interact among each other and the item which has to be treated. Its surface can be refined and modified in manifold ways. Completely new and innovative surface characteristics can be created as well improving or making already existing processing technologies more effective in an environmental friendly way.

During plasma activation functional groups are generated on the items surface to which paint- or glue-systems can bond. With a special process it is possible, to create thin layers on the surface. These layers are working as a primer system. Layers deposited can be hydrophilic, hydrophobic, decorative and protective.

The resulting micro structure has a larger surface area which improves bonding of the coating by providing the coating with more adhesion locations.

Industries ranging from medical and biotech, to aerospace, electronics and even consumer goods are realizing that altering the surface of their materials can yield significant benefits.

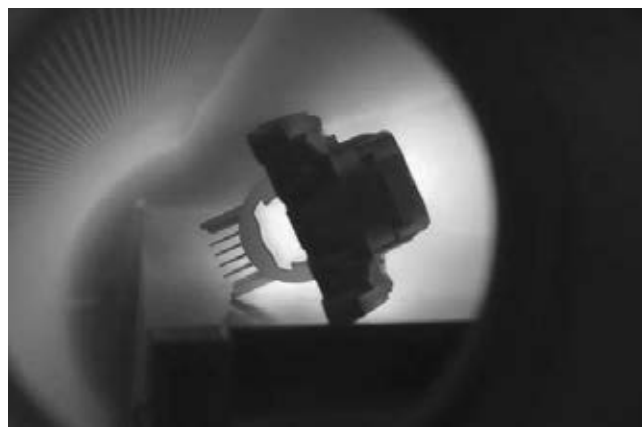
EXPLANATION OF LOW PRESSURE PLASMA AND PLASMA SYSTEMS

A cold plasma is generated at a low pressure inside a vacuum chamber. The creation of electromagnetic fields causes the gases and gas mixtures contained in the chamber to ionize and

thus be converted into the highly reactive plasma state. The surface properties of the components entering the chamber are selectively changed by the choice of the gas composition (air, nitrogen, oxygen, etc.) and the type of energy input [DC, kHz, MHz (radio frequency) or GHz (microwaves)].

In low-pressure plasma, surfaces can be

- ultra-finely cleaned
- activated
- coated
- structured



PLASMA ACTIVATION

Due to their non-polar character, many polymers cannot be printed on, painted or bonded, or only with great difficulty. Activation is therefore required to increase their surface energy. A low-pressure plasma process modifies the surface by functionalizing the polymer chains, e.g. using

carbonyl ($>C=O$), Carboxyl ($-COOH$) or Hydroxyl groups ($-OH$). This increases the surface energy of the work piece and adjusts the surface tension of the substance to be applied. These embedded functional groups can be characterized and quantified by electron spectroscopy for chemical analysis.

ULTRA-FINE PLASMA CLEANING

If extremely clean surfaces are required, they can be generated in the low-pressure plasma if the coating thickness of the contamination is thin. This process makes it possible to eliminate nearly all organic contaminants since these are converted to their gas phase in the plasma and removed by the constant gas flow.

COATING IN THE LOW-PRESSURE PLASMA (PLASMA POLYMERIZATION)

This process variation brings organic monomers of low molecular weight into plasma as a process gas. These monomers are excited in the plasma. They are then split and precipitated into a strongly interlinked, permanent polymer coating on any desired substrate. The properties of this coating are determined by the type of monomer used, the auxiliary gas used and the selected process parameters.

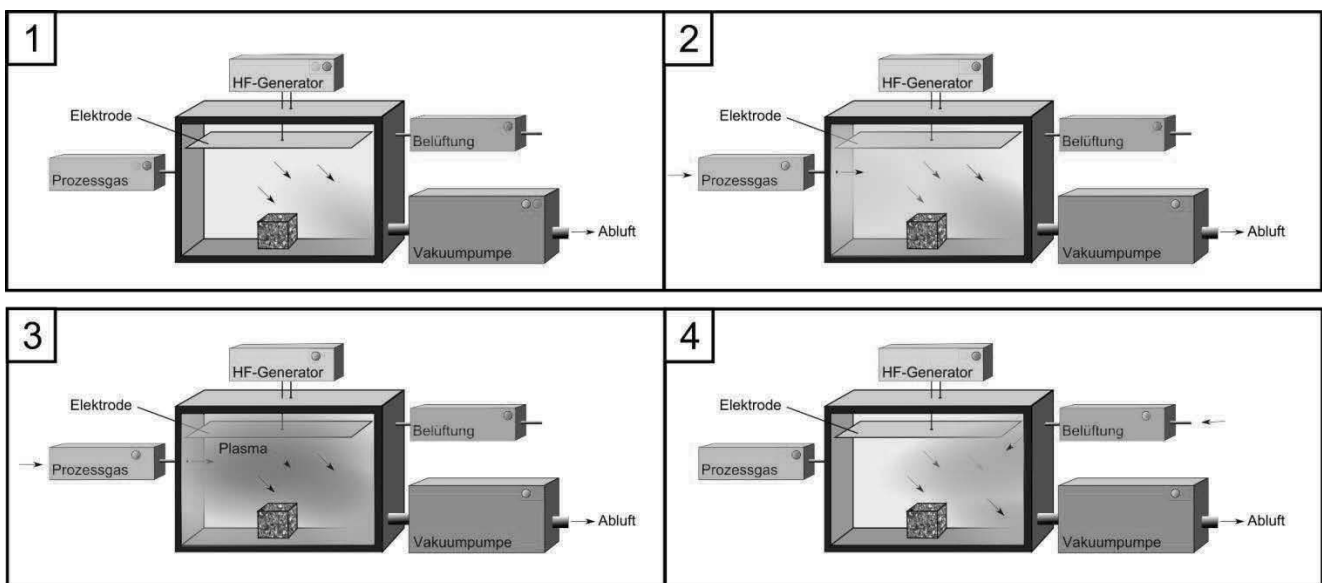
STRUCTURING OF LOW-PRESSURE PLASMA

The structuring selectively removes material from the surface and converts it to the gas phase so that it can be diverted out of the chamber. New process gas is continuously added to keep the conversion rate constant. The material removal roughens and enlarges the surface, making it wettable. This process variation makes it possible to pre-treat polymers for a coating process which are difficult to paint and bond, such as POM, PPS or PTFE.

PLASMA SYSTEMS

Plasma treatment is one of the most inexpensive and productive processes of plasma surface technology. The process pressures are in the fine vacuum range and do not require any extensive pump or high-vacuum technology. The cycle times can be very short and last between 20 seconds and 15 minutes, depending on the process-chamber volume and the required effect. The total process is divided into the following single steps:

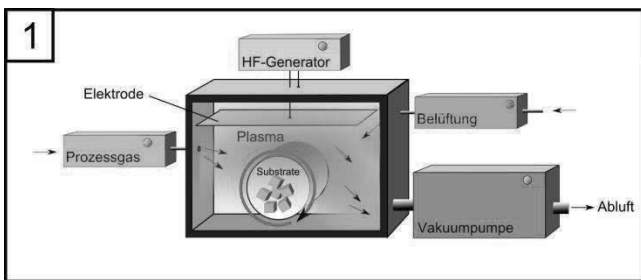
- insertion of single parts, stacked work pieces, rolled materials, or barrel plating into the chamber.
- generation of the vacuum and process gas inlet,
- activation of the high-frequency source and plasma treatment,
- ventilation and removal of the components.



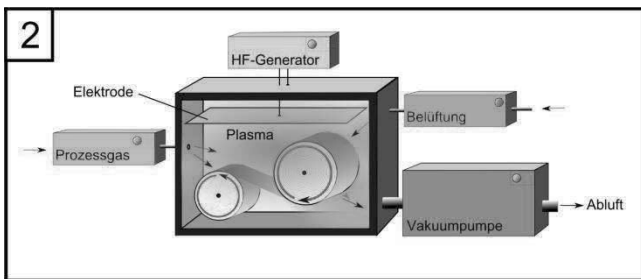
Steps of plasma treating, evacuation, gas inlet, plasma treatment and venting.



Laboratory plasma system



Plasma system with rotary drum, for bulk materials. The parts are treated 3D.



Plasma system roll-to-roll, the foil is treated on both sides.

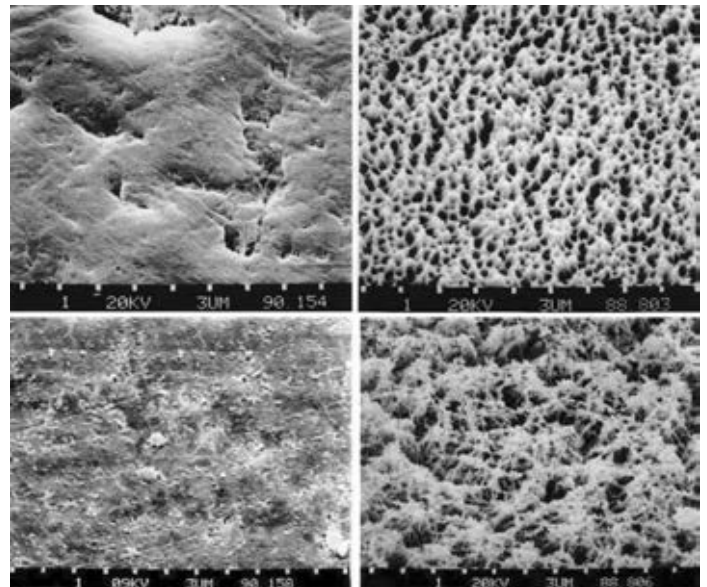
INDUSTRIAL APPLICATIONS

Plasma Cleaning

- Removal of production residues
- Removal of Silicon and other contaminants

Plasma Etching / Activation

To improve the adhesion of paints and coatings.

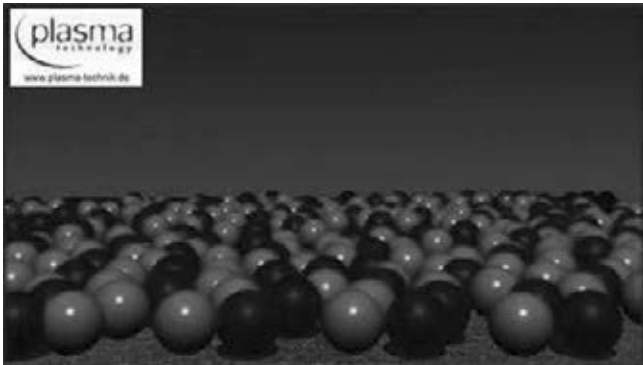


Etching of PTFE and POM, left side untreated, right side plasma etched

Plasma Primer

Plasma processes can be completed in several stages, i.e. the ultra-fine surface cleaning is followed, for example, by activation and/or deposition of a layer. The transition to each subsequent step is made without intermediate ventilating to prevent uncontrolled reactions. The plasma primer is a reactive aerosol which is added to the plasma atmosphere following the ultra-fine cleaning and decomposed from the coupled energy into molecule groups. These deposit homogeneously on the cleaned substrate

and remain ready on the surface to form a permanent bond with a coating (paint, printing ink, glue, additional polymer). The functional groups of the plasma primer are physically and chemically adapted to those of the coating. The coating thickness of the precipitated primer is in the nanometer range, i.e. it is extremely thin, but still highly uniform and effective.



Plasma system with trolley.

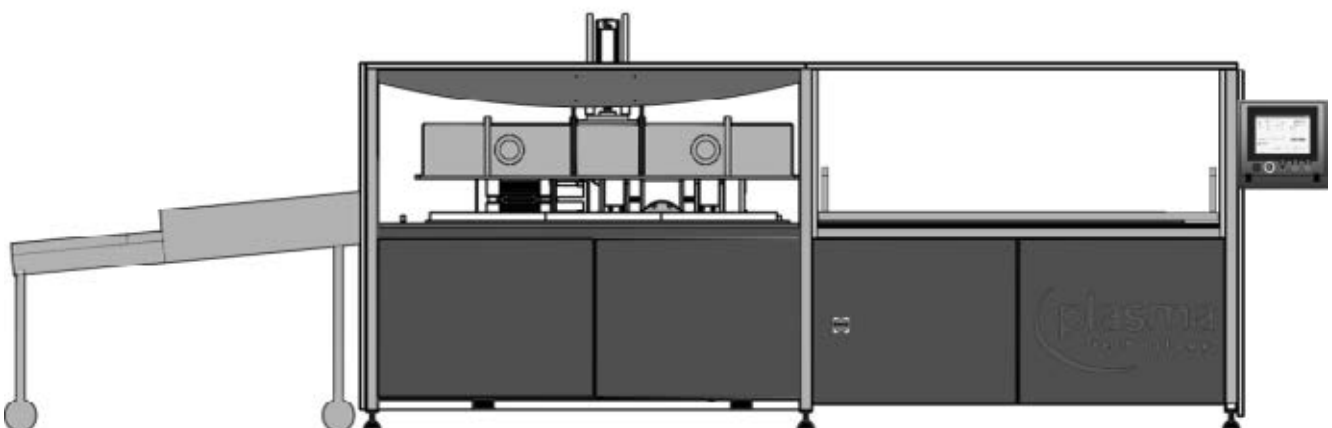
Integration of plasma into production lines

Low pressure plasma system with automatic door controls. By opening one door to load parts and the other on the opposite side treated and untreated parts are kept separate. This ensures a controlled material flow and ensures for example that only treated parts will be painted.

This is a short-cycle system, which requires around 20 seconds for evacuation, plasma and ventilation. The component mount could be modified to also serve as the vacuum-chamber floor.



Full automatically plasma system



TEORIJA IN PRAKSA UPORABE VEČKOMPONENTNIH ARGONSKIH MEŠANIC ZA VARJENJE V INDUSTRIJSKE NAMENE

Edvard BJELAJAC, IWE
Messer Slovenija d.o.o.

IZVLEČEK

Varjenje spada med industrijsko najbolj uporabljene procese spajanja kovinskih materialov, njegova aplikativnost je razširjena tudi na spajanje nekovinskih materialov, predvsem plastičnih mas. Optimalna kombinacija ustrezne varilne opreme, dodatnih materialov in zaščitnih plinov je ključno za doseganje tehnološko in ekonomsko ustreznih rezultatov.

1 UVOD

Začetki obločnih postopkov varjenja segajo v obdobje pred letom 1900. Prvi poizkusi so bili delani z grafitno elektrodo, kasneje je Oscar Kjellberg patentiral proces obločnega varjenja z oplaščeno elektrodo. Sledilo je raziskovanje industrijsko uporabnejših postopkov, z poudarkom na neprekinjenosti procesa in visoki produktivnosti.

Tako so bili razviti postopki varjenja z polno žico, GMAW (MIG/MAG), z netaljivo volframovo elektordo GTAW in varjenje pod praškom.

GMAW, GTAW in SAW varjenje so močno zastopani v industriji in na njih odpade največji del varjenja komercialno zanimivih kovinskih materialov.

V zadnjih letih pridobiva na veljavi robotsko lasersko varjenje tanjših pločevin, ki nadomešča GTAW varjenje.

Pri varjenju z oplaščeno elektrodo, MMA, se žlino tvorne in plinotvorne komponente za zaščito

taline vara razvijajo v obloku. Ob taljenju komponent v oplaščanju le te prehajajo delno v žlindro delno tvorijo plinotvorne komponente za zaščito taline vara.

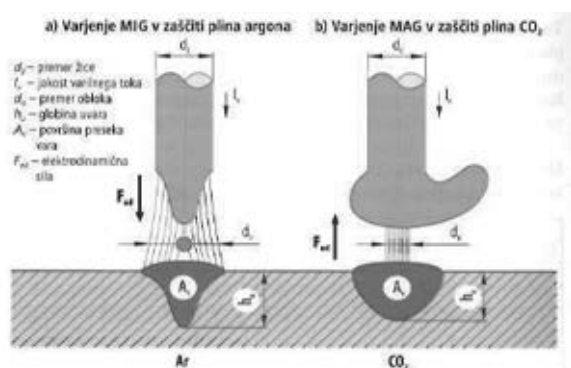
Pri obločnem varjenju GMAW in GTAW ter SAW uporabljamo gole, nezaščitne dodatne materiale, v obliki žic različnih premerov. Za njihovo zaščito, med gorenjem v obloku je nujno potrebna zaščita zunanjega medija. Pri GMAW in GTAW je zaščitni medij plinski, pri SAW pa v obliki praška, ki se v stiku z oblokom tali in ščiti talino vara pred okoliško atmosfero.

Pri GTAW postopku varjenja se uporabljata inertna zaščitna plina argon in helij, pa tudi vodik in dušik v manjših deležih.

Širša paleta zaščitnih plinov se uporablja za GMAW varjenje. V preteklosti se je kot samostojni plin največ uporabljal ogljikov dioksid, kasneje pa so večjo veljavo dobile argonske mešanice, ki poleg nosilnega inertnega zaščitnega plina vsebujejo do okoli 20% aktivnih komponent. Aktivne komponente so ogljikov dioksid in kisik, redkeje helij.

Osnovna argonska mešanica Ar+18% CO₂ nudi povprečne rezultate v primerjavi z novimi mešanici, v primerjavi z čistim ogljikovim dioksidom so rezultati veliko boljši.

Prehod iz ogljikovega dioksida na argonske mešanice je v prvi vrsti povezan z povečevanjem tokovne obremenitve varilne žice. Zaščitni plin ogljikov dioksid dovoljuje grobo kapljičast prehod dodatnega materiala skozi oblok, pri zaščitnih plinih na argonski osnovi pri višjih tokovnih obremenitvah dodatni material prehaja v obliki manjših kapljic, kar je iz varilnotehničnega stališča ugodnejše, enako iz vidika produktivnosti. Z višjo tokovno obremenitvijo povečamo količino pretaljenega dodatnega materiala na enoto časa. Slika 1 prikazuje različne prehode dodatnega materiala skozi oblok.



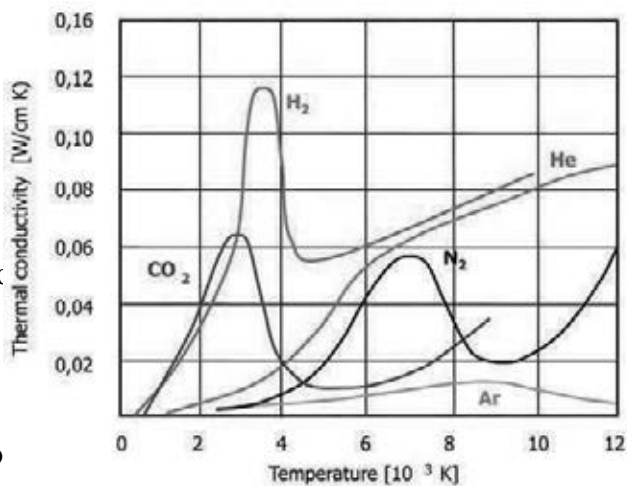
Slika 1: Prehodi dodatnega materiala skozi oblok (a) argonske mešanice, (b) CO₂. (1)

Pri argonskih mešanicih je glavni element argo katerega delež v zaščitnih mešanicih običajno presega 80 vol.%, ostalo pa so aktivne plinske komponente, največkrat z ogljikov dioksid ali kisik ter mešanica obeh navedenih komponent.

2 KEMIČNI IN FIZIKALNI VPLIV AKTIVNIH KOMPONENT V ARGONSKIH MEŠANICAH

Z spreminjanjem sestave zaščitnega plina se spreminjajo tudi fizikalne in kemične lastnosti zaščitne plinske mešanice. Fizikalne lastnosti plinov, ki vplivajo na oblok so: ionizacijski potencial, toplotna prevodnost in specifična teža. Kemične lastnosti plina vplivajo na sposobnost omakanja taline (2).

Toplotna prevodnost je pomembna lastnost plina, ki znatno vpliva na prehod materiala skozi oblok. Višja toplotna prevodnost obloka zoži plazemski stolpec obloka, nižja toplotna prevodnost ga poveča, pri prenosu enake količine toplote v osnovi material. Plina, ki povečata toplotno prevodnost argona, sta CO₂ in He. Oba imata relativno visoko prevodnost pri temperaturah obloka. Kot rezultat zoženega stolpca plazme, se elektroni zadržujejo na spodnjem delu varilne žice, kar prispeva h kapljičastem prenosu. (3)

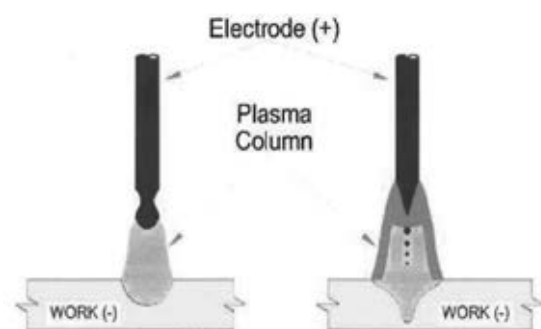


Slika 2.: Termična prevodnost sestavin zaščitnih plinov (4).

Argon ima pri temperaturah obloka nižjo temperaturno prevodnost kot He ali CO₂. Stolpec plazme v zaščitnem plinu argonu razširi taleči se konec varilne žice in kreira več površine za kondenzacijsko segrevanje elektronov. Ta proces

ogrevanja hitro odtaja varilno žico z kreiranjem majhne kapljice na koncu žice. Prisotnost močne Lorenzove sile, povzroči tok finih kapljic, usmerjenih proti osnovnemu materialu, v osnovnem materialu dobimo globok uvar, na sredini vara.

Pri argonu imamo dva področja v obloku. Notranje, vroče področje in zunanje hladnejše področje. Profil uvara je ozek, globok v srednjem delu in se širi proti površini. Pri plinih z večjo prevodnostjo, se širi toplota hitreje iz centra proti zunanosti obloka zato dobimo širši uvar (5).



Slika 3. Visoko termično prevoden plin prenaša grobo kapljičasto material skozi oblok (levo), nizko prevodni plin, npr. argon, razširi oblok in material prenaša v spreju (desno). (6)

Pri argonskih mešanicah z povečevanjem deleža CO₂ premikamo prehod materiala iz prehoda v spreju proti grobo kapljičastemu prenosu. Tako imamo pri 10% CO₂ v Ar prehod v spreju, nad 15% CO₂ del materiala skozi oblok prehaja v spreju, del grobo kapljičasto, pri 25% CO₂ pa imamo samo grobo kapljičast prenos. (7)

Disociacija in rekombinacija zaščitnega plina se dogaja pri več atomarnih plinih, kot sta O₂ in H₂. Pri segrevanju v obloku ti plini razpadejo na atome, se delno ionizirajo, pri čemer nastanejo prosti elektroni, Pri stiku disociranega plina z relativno hladnim osnovnim materialom, se atomi rekombinirajo in oddajo dodatno toploto, kar poveča energijo obloku. Disociacije in

rekombinacije ni pri enoatomarnih žlahtnih plinih, kot sta Ar in He (8).

Reaktivnost je merilo reakcije zaščitnega plina z talino vara. Na primer dušik jemljemo kot zelo inertni plin, pri temperaturah v obloku pa lahko reagira z talino vara. Med reaktivne pline spadajo tudi vodik in ogljikov dioksid. Vodikov atom je mnogo manjši od atoma železa zato se lahko prosto giblje znotraj njegove kristalne rešetke. Ogljikov dioksid pri visokih temperaturah razpade na CO in O₂.

3 VEČKOMPONENTNE MEŠANICE IN NJIHOVO NAČTROVANJE

Pri načrtovanju zaščitnih plinskih mešanic za GMAW postopek varjenja moramo upoštevati v prvi vrsti izbor zaščitnih plinov, ki so kemično združljivi z osnovnim materialom. Znotraj te skupine se določi razmerje med deleži izbranih plinov za doseganje optimalnih rezultatov. Osnova za ocenjevanje je običajno standardna mešanica 82%Ar + 18% CO₂ ali druga že uporabljena mešanica v procesu. Običajno se načrtuje zaščitne mešanice kot kombinacijo več plinov, običajno treh, redkeje več.

Prednost večkomponentnih mešanic je zmanjševanje območja grobo kapljičastega prenosa, prenos v spreju omogočajo pri nižji napetosti obloka (9).

Večkomponentne mešanice so namenske in njihova uporaba ne daje pričakovanih rezultatov za vsa dela po GMAW postopku.

3.1. PRAKTIČNI PRIMER

Robotsko varjenje konstrukcijskega jekla po EN 10025, kvalitete S235, z varilno žico G3Si1, premera 1,2mm.

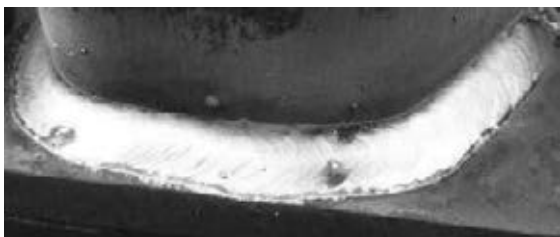
Zvarjenci so bili izdelani z uporabo enake tehnološke opreme, avtomatsko varjenje na robotu, v obeh primerih smo nastavili optimalne parametre, spremenili smo zaščitni plin. Prvi je bil izdelan z uporabo zaščitnega plina Ar + 5%CO₂ + 5%O₂ (slika 4-6), drugi z izbrano večkomponentno mešanico (slika 7-9).



Slika 4: Varjenje z novo mešanico (levo) in Ar + 5%CO₂ + 5%O₂ (desno)



Slika 5: Področje vara Ar + 5%CO₂ + 5%O₂



Slika 6: Področje vara, izbrana večkomponentna mešanica (a)

4 ZAKLJUČEK

Z uporabo namenskih, večkomponentnih zaščitnih plinskih mešanic pri MIG/MAG varjenju je mogoče:

- zmanjšati škropljenje in posledično dodatno delo po varjenju,
- povečati hitrost varjenja
- izboljšati teme vara.
- izboljšati delavno okolje varilca zaradi zmanjšanja emisije dimnih plinov (10)

VIRI

1. Tušek J. *Varjenje in sorodne tehnike spajanje materialov v neločljivo zvezo*, 2014; p. 120.
2. V.V.Vaidya. *Theory and practice of shielding gas mixtures for semi-automatic welds*, p 3
3. Kim, Y.S., June 1989, Ph.D.Thesis, Department of Material Science & Engineering, MIT, Cambridge, MA 02139
4. http://www.welding-advisers.com/PRACTICAL_WELDING_LETTER-PracticalWeldingLetterNo137.html
5. Larson N.E, Influence of Shielding Gases on the Quality of Welds, 2nd International Symposium on »Orbital Welding in High Purity Industries«, La Baule, France, p.2
6. V.V.Vaidya. *Theory and practice of shielding gas mixtures for semi-automatic welds*, fig.1
7. V.V.Vaidya. *Theory and practice of shielding gas mixtures for semi-automatic welds*, p 3
8. Larson N.E, Influence of Shielding Gases on the Quality of Welds, 2nd International Symposium on »Orbital Welding in High Purity Industries«, La Baule, France, p.2
9. V.V.Vaidya. *Theory and practice of shielding gas mixtures for semi-automatic welds*, p 4
10. Bjelajac E. Aplikativnost večkomponentnih mešanic in njihov vpliv na delavno okolje varilca, 9. Forum RRT 3000, 2017, p.95

RAZVOJ IN PROIZVODNJA NAJVEČJIH ROBOTSKIH KLEŠČ NA SVETU

Jožef KOČEVAR ml.
KOČEVAR IN SINOVI d.o.o.

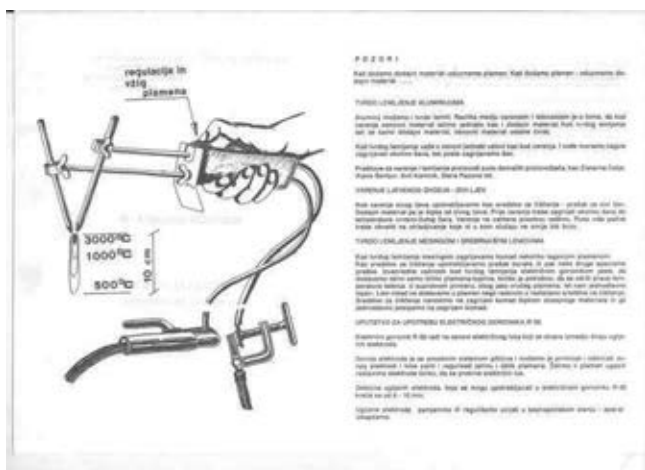
IZVLEČEK

Podjetje Kočevar in sinovi d.o.o. je v letu 2018 izdelalo že šesti komplet največjih robotskih klešč za uporovno varjenje na svetu. Klešče so namenjene spajanju sestavnih elementov železniških potniških vagonov. Klešče vsebujejo inovativne rešitve konstrukcijskih problemov in glede kombinacije lastne teže, iztega in varilne sile veljajo za največje varilne klešče na svetu. Klešče prinašajo podjetju globalno konkurenčno prednost in odpirajo trge v Rusiji, Indiji, Kitajski in drugje.

ZGODOVINA PODJETJA KOČEVAR

Podjetje je bilo ustanovljeno pod imenom JOŽE KOČEVAR-ELEKTROMEKANIKA-VARILNA TEHNIKA leta 1969, ko je perspektiven inženir, sedaj solastnik in prokurist v podjetju, gospod Kočevar starejši, z manjšo investicijo pričel z razvojem in konstruiranjem varilnega transformatorja za obločno varjenje. Kot edino podjetje na področju uporovnega varjenja v takratni Jugoslaviji je v nekaj letih zrastle v, za čas socializma, večje zasebno podjetje s 25 zaposlenimi.

na kvaliteti komponent, funkcionalnosti in inovativnosti. Prisotnost na velikem Evropskem trgu je bila ključna za obstoj majhnega družinskega podjetja kot je naše, vendar je zahtevala vse več namensko proizvedenih strojev za uporovno varjenje.



Slika 1: Prvi idelek obrtne delavnice JOŽE KOČEVAR-ELEKTROMEKANIKA-VARILNA TEHNIKA

Iz potrebe novih trgov se je podjetje reorganiziralo z manjšo proizvodnjo, vendar večjim poudarkom



Slika 2: Robotske varilne klešče KOČEVAR

Zaradi tega je podjetje, poleg standardnih strojev, pričelo s proizvodnjo večjih strojev za točkovno in kolutno varjenje glede na individualna povpraševanja, kar je pripeljalo nove kupce, razširilo obstoječi trg in omogočilo, da je podjetje postalo znano v Evropi po tehnologiji za uporovno varjenje.

Po zahtevah končnega kupca in našega naročnika iz Avstrije smo leta 2013 razvili namenske, uporovne varilne klešče namenjene spajanju komponent potniških vagonov. Klešče vsebujejo inovativne rešitve konstrukcijskih problemov in glede kombinacije lastne teže, iztega in varilne sile veljajo za največje varilne klešče na svetu. Vgrajeno imajo sodobno invertersko regulacijo varilnega toka s tipanjem upornosti sekundarnega varilnega kroga ter varjenja z enosmernim tokom. Klešče prinašajo obema podjetjema globalno konkurenčno prednost in odpirajo trge v Rusiji, Indiji in Kitajski.

INVERTERSKO UPOROVNO VARJENJE Z ENOSMERNIM TOKOM.

Razvoj in uporaba

Invertersko uporovno varjenje se je razvilo iz potrebe po čim manjši teži varilnega transformatorja, ki ga je morala instaliranega v varilnih kleščah, prenašati pri točkastem varjenju avtomobilskih karoserij, robotova roka.

Univerzalno veljavna enačba za inducirano sekundarno napetost praznega teka transformatorja, nam definira zakonitost, po kateri je le-ta poleg gostote magnetnega pretoka B in številu ovojev N , premo sorazmerna prerezu transformatorskega jedra S in pritisnjeni frekvenci f .

$$U_0 = 4,44 \cdot B \cdot N \cdot S \cdot f \quad (1)$$

Iz linearne odvisnosti enačbe vidimo, da za isto inducirano sekundarno napetost varilnega transformatorja, pri linearnem povečevanju

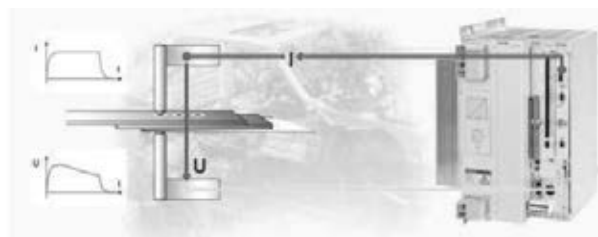
frekvence, lahko sorazmerno temu zmanjšujemo prerez magnetnega jedra transformatorja in na ta način zmanjšamo težo transformatorja pri isti prenosni moči.



Slika 3: Zagon in tehniško prevzemanje varilne opreme

Da ustrezemo enačbi je potrebno samo z primernim elektronskim inverterjem, frekvenco 50 Hz invertirati na povišano srednjefrekvenčno področje od 1000 Hz do 1200 Hz. Prenos do frekvence 1200 Hz je še mogoč z boljšo silicijevo transformatorsko pločevino, nadaljnje poviševanje frekvence gre le s feritnimi jedri.

Varjenje samo z golo povišano frekvenco 1000 Hz ni mogoče zaradi prevelike induktivne upornosti sekundarnega kroga, zato varilni sekundarni tok s frekvenco 1000 Hz takoj na samem izhodu transformatorja usmerimo s specialnimi diodami z nizko disipacijo v Grectzovem stiku.



Slika 4: Sodobna (BOSCH REXROTH) regulacija varilnega toka s tipanjem upornosti sekundarnega kroga

Dobimo lahko in učinkovito transformatorsko-usmerniško varilno enoto, ki je v eksploataciji

pokazala vrsto čudovitih varilno tehničnih lastnosti, ki ob uporabi najnovejših spoznanj v gradnji inverterskih izvorov, kombiniranih s krmilniki varilnega toka, prekašajo vse konvencionalne naprave, napajane s tokom frekvence 50 Hz .



Slika 5: Šolanje operaterjev pri končnem kupcu v Indiji

Ker je impedanca transformatorsko-usmerniške varilne enote 1000Hz relativno majhna, manjša kot pri največjih konvencionalnih varilnih transformatorjih napajanih s tokom frekvence 50 Hz, je tudi strmina naraščanja varilnega toka veliko večja in se približuje strmini vzpona varilnega toka pri kondenzatorskem varjenju.

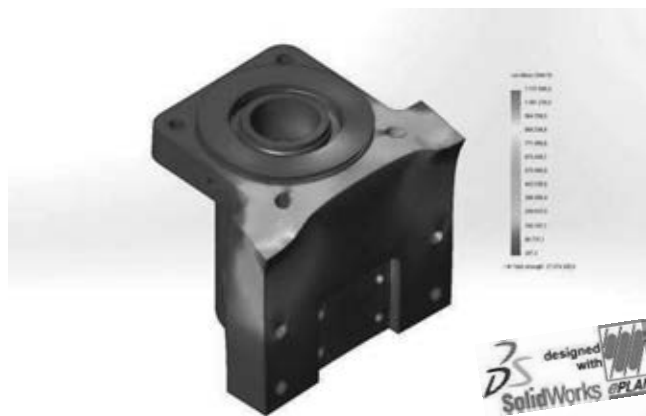
Nizka impedanca in zato visoka strmina naraščanja varilnega toka nam omogoča varjenje toplotno in električno dobro prevodnih kovinskih gradiv, kot so: aluminij, baker, srebro in zlato.

Poleg navedenih dobrih lastnosti nam povišana strmina naraščanja varilnega toka ob uporabi transformatorsko-usmerniških varilnih enot 1000 Hz, dopušča kontinuirano kolutno pulzno šivno varjenje jeklene pločevine na profilirnih strojih tja do hitrosti 20 m/min pri debelini pločevine 0,8+0,8mm mm, kar je 3 do 4 krat več kot pri konvencionalnih strojih.

PREDNOSTI BOSCH REXROTH SREDNJEFREKVENČNIH INVERTERSKIH 1000HZ IZVOROV

Prednosti Bosch Rexroth srednjefrekvenčnih inverterskih 1000hz izvorov v primerjavi s konvencionalnimi 50 Hz izvori, za uporabo v uporovni varilni tehniki se izraža v naslednjih bistvenih segmentih, ki bodo opisani v nadaljevanju :

- 20 x hitrejšo reagiranje na spremembe upravljanja varilnega toka iz izmerjenega "istwert" stanja na željeno "sollwert" stanje. V prvi amplitudi otipljemo dejansko vrednost, v naslednji reguliramo na željeno vrednost. 20 x natančnejša regulacija istwert / sollwert. $(1000\text{Hz} / 50\text{Hz} = 20)$
- Nizka impedanca (induktivna upornost) sekundarnega varilnega tokokroga. Simetrična obtežba napajalne elektroenergetske mreže.
- Visokokvalitetno varjenje aluminija in njegovih zlitin. Povečana varivost težko varljivih kovinskih kombinacij.
- Manjše lepljenje elektrod. Občutno zmanjšana potrošnja varilnih elektrod.
- Povprečno dvakrat manjša masa varilnega transformatorja za enako električno obtežbo in enako varilno produktivnostjo.
- Induktivna upornost sekundarnega varilnega tokokroga je pri enosmernem toku nič.



Slika 6: Simulacija obremenitvenih sil po metodi končnih elementov s programskim paketom SOLID WORKS

ROBOTSKE KLEŠČE ZA UPOROVNO VARJENJE

Kot že prej omenjeno, varilne klešče vsebujejo inovativne rešitve konstrukcijskih problemov in glede kombinacije lastne teže, iztega in varilne sile veljajo za največje varilne klešče na svetu.

Tabela 1: Tehnične karakteristike varilnih klešč

ISO 669	Tehnični podatki:		Izteki ročic – 1900 mm
S _n	Imenska moč	kVA	107,155,166,196
S _{max}	Maksimalna moč	kVA	196, 245, 262, 310
U ₂₀	Napetost sekundarja	V	8,9; 13,2; 17
U _{1n}	Napetost primarja	V	400
f	Imenska frekvenca	Hz	50
I _{2cc}	Kratkostični tok sekundarja	kA	20
	Varovalke	A	200
	Priključni vodniki	mm ²	200
	Delovni hod / dostavni hod	mm	60 / 250
F _{max}	Varilna sila	daN	1800 +
e	Odprtina ročic	mm	800
l	Izteki ročic	mm	1900 +
Q	Pretok hladilne vode	L/min	15
	Teža	kg	400+

Glavnino razvoja je obsegalo konstruiranje z poudarkom na zmanjšanju teže ter sposobnosti prenašanja velikih obremenitev.

V podjetju že skoraj dvajset let uporabljamo programski paket **SOLID WORKS** s katerim smo vsak posamen element klešč preračunali oz. izdelala se je simulacija glede na obremenitev ter težo.



Slika 6: Dva kompleta (srednji model ter manjši model) klešč pripravljenih za natovarjanje v ladijske kontejnerje.



Slika 8: Varjenec (stena potniškega vagona) ter portal s KUKA manipulatorjem v ozadju

Klešče so z ustreznimi I/O moduli pripravljene na Industrijo 4.0.



Podjetje **Kočevar in sinovi d.o.o.** je regionalni zastopnik varilne opreme **BOSCH REXROTH** (AC, MFDC izvori varilnega toka ter transformatorji):



PROFESSIONAL AIR AND DUST CLEANING IN INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Guido ROCCHINOTTI¹, Tomaž VONČINA²

¹ZEHNDER Group Deutschland GmbH, Clean Air Solutions

²SIES napredne restive d.o.o.

ABSTRACT

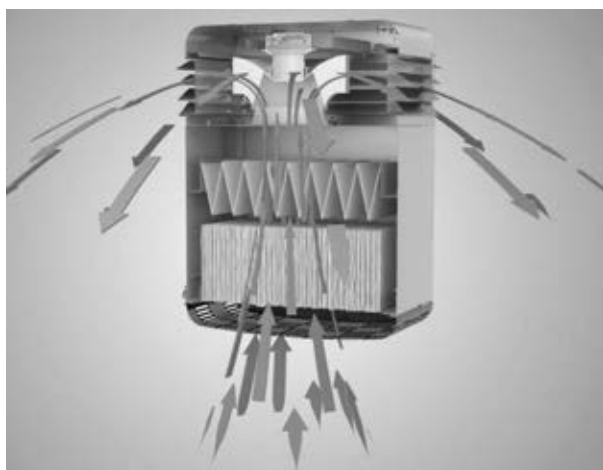
Zehnder Clean Air Solutions is the expert when it comes to industrial air purification. We truly believe that clean air is the key to success. Our service range includes air cleaning systems in different sizes to react according to individual needs and requirements.

1 INTRODUCTION

Clean Air Solutions

The occurrence of airborne particles (dust particles, gases, microorganisms) is unavoidable in all industries. This form of dust pollution can be dramatically reduced, more effectively and efficiently than ever before, with Zehnder Clean Air Solutions and the innovative Zehnder filter technology.

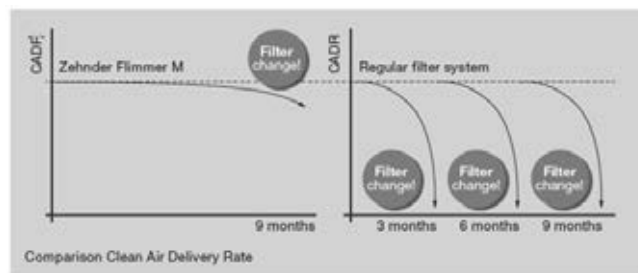
Zehnder Flimmer M



Picture 1: Zehnder Flimmer M

The specific filter combination inside Zehnder Clean Air Solutions ensures the most effective filtering. The polypropylene fibres of the Flimmer filter are electrostatically charged and thereby attract incoming particles. This three-dimensional Flimmer filter collects particles along the fibres in the same

direction as the air flowing through it. This ensures a persistent and constant air flow and pressure drop. Due to a large surface capture area (sum of Flimmer fibres), the dust holding capacity is higher compared to regular filters. The Media filter that takes care of the filtering after the Flimmer filter catches the particles that were not caught before or that were too big. This increases the dust holding capacity of the filtersystem and ensures enduring efficiency over time.



Picture 2: Clean air delivery rate

2 DESCRIPTION

It is a matter of fact that clean air can contribute to a better work environment and to boost companies' bottom lines. The following contents explain how and address the topics

- Reducing employee absenteeism
- How to reduce business expenses
- Welding hazards

2.1 Reducing employee absenteeism

COOP as one of the largest retail and wholesale companies in Switzerland, provides an

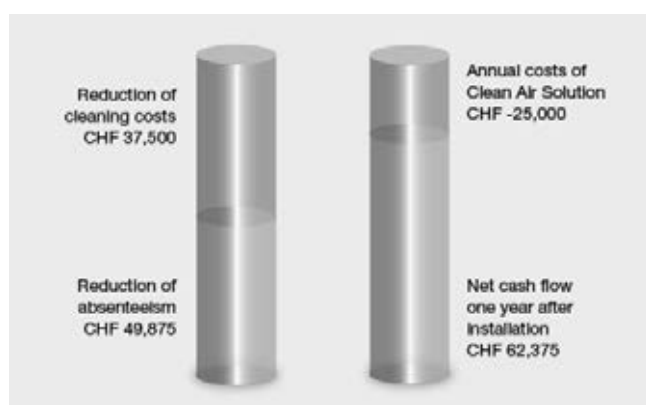
enormous range of products to supermarkets, DIY stores and filling stations. The initial reservations by COOP with regard to the system were quickly eliminated. A dust level reading carried out after installation showed a dust reduction of about 75%, convincing COOP for good of the air cleaning system.

Within a very short period of time, positive employee feedback indicated an enormous improvement in the working environment and their satisfaction with the improved air quality in their environment.

Since installing Zehnder Clean Air Solutions, absenteeism has been almost cut in half. The previously high rate of 5.8% on an annual average is now at a benchmark level of 3.9%.

The results are impressive from a business perspective.

As shown in the figure on the right, reducing absenteeism and the costs for cleaning did more than just compensate for the annual costs of the air cleaning system. Already in the first year, Coop had an additional net cash flow of CHF 62,375, which corresponds to an internal rate of return of 52 %, or savings of CHF 891 per employee in the distribution centre.



Picture 3: Cost reduction at COOP

2.2 How to reduce business expenses and remain competitive

The current global economic climate is plagued by political uncertainty and turmoil which negatively impacts consumer confidence, spending and new business investment.

The global manufacturing sector has already started to feel the pinch. In fact, a PwC report describes the industry as ‘growing at a snail’s pace’. While companies can’t do much to change the political situation anytime soon, they can take steps to look after their own businesses.

To withstand ongoing economic uncertainty, manufacturers have to remain competitive, increase their productivity and reduce business expenses. Here are five ways your business can save money and increase its profit.

Reduce employee absenteeism

If your employees are frequently off sick, then you are effectively paying people for work that they have not done. This will cost your business a lot of money over time. To ensure no loss in profits and productivity, you need to reduce your employee absenteeism rates.

The best way to achieve this is to provide your workers with a clean and healthy working environment. Happy and healthy employees are more productive and much more reliable. All of which contributes to a healthier bottom line.

Optimise your production process

Inefficient production processes can significantly increase your business costs. Why? Because they typically take longer to complete, and time really is money!

To reduce business expenses, take a close look at your manufacturing processes and get rid of any inefficient systems. This can be done in a number of ways; you can automate certain parts of your production process, or change the workflow to move goods through the manufacturing process faster.

Limit equipment downtime and maintenance

Every minute your equipment stands idle costs your company money. To reduce this expense, you need to limit the amount of time spent on equipment maintenance, and do everything in your power to avoid breakdowns.

You can keep maintenance and downtime to a minimum by making sure that your machines are kept clean at all times. When dust settles on

equipment, especially automated machinery that relies on sensors, it compromises the equipment's performance – and results in more maintenance.

Reduce your energy consumption

Lowering your energy consumption is not only good for the environment – it will help you reduce business expenses too. The simple introduction of measures such as putting your factory lights on a timer, or insulating your manufacturing facility, will lower your energy consumption – and thus, lower your operating costs. You can also reduce your energy consumption by ensuring you have good air circulation in your facility. If hot air that rises is circulated from the ceiling to floor your workspace will be much warmer, thus reducing the need for heating and bringing down energy costs.



Picture 4: Up to 30 % reduction of heating costs possible

Lower your cleaning costs

To meet industry standards, you need to keep your factory clean. Cleaning is a necessity to ensure your processes run smoothly and your employees are happy. But it's also expensive – if your employees are spending their time cleaning, instead of working, keeping your premises clean will come at a cost that can significantly impact your bottom line.

To reduce cleaning costs, make sure that your cleaning processes are optimised and effective. Don't only start cleaning once the dust has settled – rather fight dust when it's still in the air and reduce your cleaning efforts and budget.

By installing an industrial air purification system like Zehnder Clean Air Solutions you can achieve all of the above five steps – and significantly reduce business expenses. This will keep your business competitive, productive and profitable in a challenging economic climate.

For more information on how Zehnder Clean Air Solutions can help you reach your goals, check out our product page.

2.3 Welding hazard – how to protect employees

Welding is a dangerous profession. There are plenty of welding hazards, ranging from the inhalation of gases and fumes, to incidents involving burns and electrical shocks.

Failing to protect your employees from these risks, can lead to serious workplace health issues that can damage the overall business. Welding is a dangerous job. If something goes wrong, an employee could be unable to work for some time, or in some extreme cases, ever again.

As an employer, here are four welding hazards you must be aware of – and what you can do to mitigate the risks:

Gases and fumes are by-products of most welding processes. In the course of their careers, welders are exposed to many potentially toxic vapors. If, for example, zinc vapors and galvanised metal react, exposed workers can fall sick with Metal Fume Fever. The symptoms are unpleasant and include night sweats, body aches, fatigue and nausea. Prolonged exposure can be severely detrimental to the health of your employees.

As explained on The Fabricator, the nose plays an important part in filtering smoke, fumes and dust from the air. However, welding machines create some very small particles that can slip past the nasal filters, into the sinus cavity, down the throat and settle in the lungs.

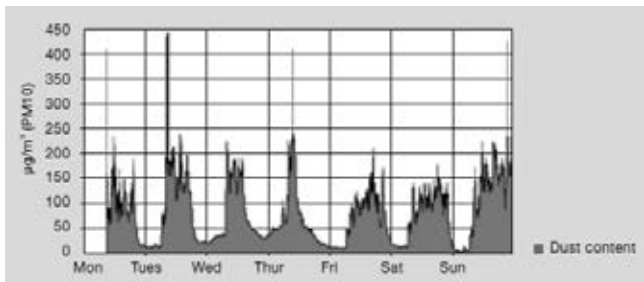
To protect your employees from these fumes – and the resulting health issues like those caused by Metal Fume Fever – a cooling fan will help

blow the gases away. Or, you could provide your staff with respiratory masks. However, the best way to ensure your employees are protected is to install an air cleaning system. This is a very effective way to filter harmful particles from the air before they can be inhaled by your workers.

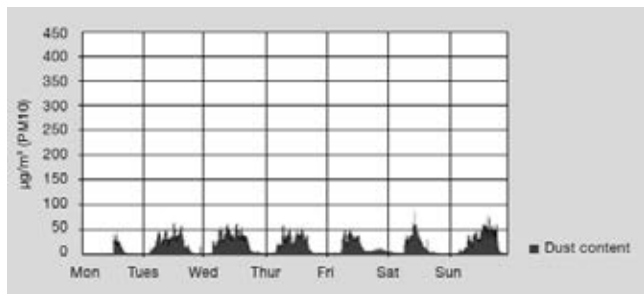
While welding is dangerous work, it can be done safely if the appropriate measures are taken. Always make sure your staff are provided with the appropriate personal protective equipment. It's also very important that you keep the air in your facility as clean as possible. This will reduce the volume of potentially toxic fumes as well as the fire risks associated with dust.

2.4 Dust measurements

TSI DustTrak measures all particles in the range 0.1 - 10.0 µm (respirable particles), and specifies the results in µg (particle content)/m³ (air). It collects data over a period and calculates the average value for a five minute period. The results are shown in the form of a diagram.



Picture 5: Dust concentration before installation



Picture 6: Dust concentration after installation

3 Achieve clean room conditions ISO 7 - 6, without expensive investment in clean room infrastructure

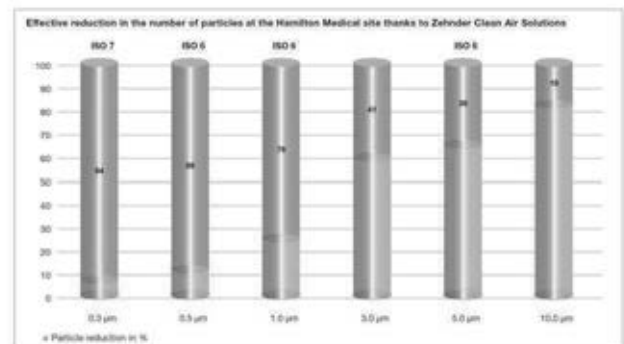
By installing the air cleaning systems, the company Hamilton was able to avoid the expense of investing in a clean room infrastructure.

This highlights the superiority of Zehnder Clean Air Solutions for outstanding hygienic conditions. For Dr Hans von Pfuhlstein, “the Zehnder air cleaning equipment has now become an integral part of the production infrastructure and is therefore vital for compliance with the high hygiene standards which Hamilton Medical has set for itself.”

The medical technology company also sees great potential for the future integration of the Zehnder air cleaning systems into the continuously growing infrastructure, rather than building costly clean rooms.

The hygiene requirements are greatly exceeded. In order to assess the efficiency in terms of the actual air quality, measurements for airborne germs and particles were carried out in twelve measurement locations after an operating time of one year with just one filter replacement.

The results speak for themselves: Rather than ISO clean room class 9, the air conditions now correspond to clean room classes 6 – 7 / GMP classes B – C in some cases. The general germ count was reduced by an average of 73 %, while the particle count in the air decreased by 59 %.



Picture 7: Particle reduction in % at Hamilton

TRENDI IN NADZOR STANJA HIDRAVLIČNIH TEKOČIN

Milan KAMBIČ

Olma d.o.o.

IZVLEČEK

Predstavljeni bodo trendi na področju hidravlične opreme, hidravličnih tekočin in najpomembnejše specifikacije za mineralna hidravlična olja. Pri nadzoru in vzdrževanju stanja hidravličnih tekočin bo največ poudarka namenjeno kontaminaciji. Eno od pomembnih diagnostičnih opravil je redno nadzorovanje stopnje čistosti in vzdrževanje v priporočenem območju, seveda pa na zanesljivost obratovanja in uporabno dobo opreme vplivajo tudi drugi parametri, na osnovi katerih lahko zanesljivo ocenimo trenutno stanje in se odločimo o nadaljnjih vzdrževalnih ukrepih.

Prispevek obravnava stopnje čistosti hidravlične tekočine, priporočene stopnje čistosti, (ne)čistost svežih hidravličnih olj, načine in parametre za nadzor stanja hidravličnih tekočin.

1 UVOD

Mineralna olja različnih lastnosti in kvalitetnih nivojev ter težko vnetljive tekočine dandanes predstavljajo največji delež uporabe v hidravlični opremi [1], [2]. Zato bomo tema dvema skupinama tudi v nadaljevanju posvetili največjo pozornost. Seveda pa poznamo še veliko drugih vrst hidravličnih tekočin.

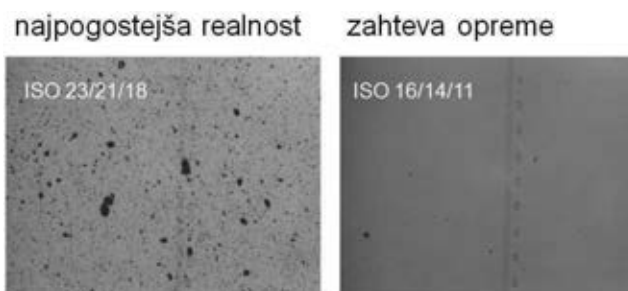
Sodobna hidravlična oprema se spreminja. Nekateri trendi bodo omenjeni v drugem poglavju. Spremembam hidravlične opreme se morajo prilagajati tudi hidravlične tekočine, ki jih v tej opremi uporabljamo, ne nazadnje pa tudi specifikacije za hidravlične tekočine. Doslej najstrožjo specifikacijo za hidravlične tekočine je leta 2015 izdalo podjetje Rexroth Bosch Group, in sicer RDE 90235 [3].

Kontaminacija hidravličnih tekočin je neizogiben pojav, saj del kontaminantov pride v hidravlično tekočino že med proizvodnjo, ostali pa med transportom, skladiščenjem, polnjenjem hidravličnih naprav in med uporabo. Glede na to, da kontaminacije ne moremo popolnoma preprečiti, je pomembno, da znamo izmeriti stopnjo (ne)čistosti hidravlične tekočine, saj na ta način ugotovimo ali je še primerna za nadaljnjo uporabo [2], [4].

Potrebno stopnjo čistosti hidravlične tekočine za določen namen predpisujejo/priporočajo

proizvajalci strojev oz. hidravličnih naprav, in sicer predvsem glede na vgrajene sestavne dele.

Poudariti je potrebno, da se vedno ravnamo po najboljčutljivejši sestavini, kar pomeni, da moramo doseči in vzdrževati vsaj takšno stopnjo čistosti, kot jo ta sestavina zahteva. Standard DIN 51524 iz leta 2006 zahteva stopnjo čistosti svežih hidravličnih olj na mineralni osnovi najmanj 21/19/16 (ISO 4406: 1999). Kljub temu, da ima večina svežih hidravličnih olj boljšo stopnjo čistosti od zahtevane po tem standardu [5], pa v primeru servo ventilov in proporcionalnih ventilov večinoma ne dosegajo zahtev proizvajalcev hidravlične opreme. Potrebna stopnja čistosti za servo ventile znaša namreč okoli 16/14/11. Razkorak med zahtevami sodobne in precizne hidravlične opreme in dejanskim stanjem je po podatkih iz literature lahko celo tako velik, kot je prikazan na sliki 1 [1].



Slika 1: Razkorak med zahtevano in dejansko stopnjo čistosti svežega hidravličnega olja

Ta razkorak v praksi najpogosteje premoščamo z dodatnim filtriranjem svežih hidravličnih olj, v nekaterih primerih pa z uporabo olj boljše stopnje čistosti [6].

Dandanes stopnjo čistosti najenostavneje določamo z avtomatskimi števci delcev. Z meritvami smo ugotovili, da na izmerjene stopnje čistosti lahko zelo vplivajo pogoji med samo meritvijo, na primer pretok in tlak olja, poleg tega pa tudi prisotnost zračnih mehurčkov in/ali vode v olju [1], [7].

2 TRENDI NA PODROČJU HIDRAVLIČNE OPREME, TEKOČIN IN SPECIFIKACIJ

Hidravlična oprema se neprestano spreminja. Sistemi se vedno bolj manjšajo (še zlasti to velja za mobilno hidravliko), posledično se krajšajo obtočni časi, kar poleg naraščajočih tlakov in temperatur pomeni dodatno obremenitev za hidravlično tekočino. Kljub temu pa od nje želimo daljšo uporabno dobo, tolerantnost glede manjših vsebnosti vode in zanesljivo obratovanje sistemov brez nenačrtovanih zaustavitev. Te trende prikazuje slika 2, kjer so prikazane tudi lastnosti sodobnih hidravličnih tekočin, ki se morajo prilagajati opisanim spremembam hidravlične opreme.



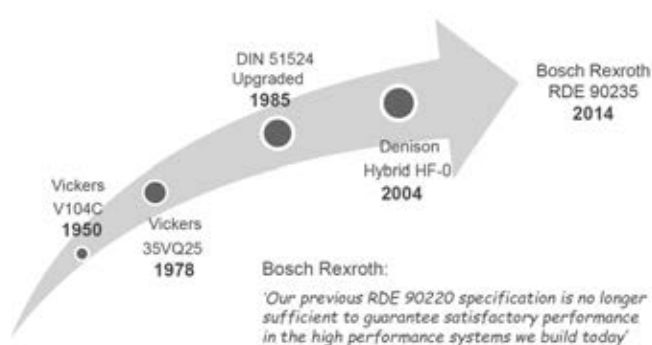
Slika 2: Trendi na področju hidravlične opreme in hidravličnih tekočin

Zaostrene zahteve lahko hidravlična tekočina izpolnjuje z večjo količino aditivov (predvsem aditivov proti obrabi), z dobro sposobnostjo filtracije, odlično termično in oksidacijsko

stabilnostjo, daljšo protikorozijsko zaščito in hitrim izločanjem zraka kar zmanjšuje nevarnost penjenja.

Opisanim spremembam hidravlične opreme in tekočin, se morajo prilagajati tudi specifikacije, zato se v obstoječe dodajajo nove zahteve ali pa se obstoječe zahteve zaostrejejo. Najnovejša in najstrožja zahteva za hidravlične tekočine je Bosch Rexroth RDE 90235 [3]. Če je hidravlična tekočina skladna z vsemi zahtevami RDE 90235, bo dodana na seznam tekočin, odobrenih za uporabo v Bosch Rexroth opremi. Postopek ocenjevanja presega minimalne zahteve ustreznih standardov za tekočine in je primeren za vse hidravlične medije na osnovi mineralnih olj, okolju prijazne medije in težko vnetljive hidravlične tekočine.

Postopek ocenjevanja proizvajalcem maziv in aditivov omogoča, da so njihove hidravlične tekočine ocenjene nepristransko in neodvisno od primera uporabe. Praktično ocenjena hidravlična tekočina proizvajalcem strojev in upravljavcem omogoča, da zmanjšajo stroške vzdrževanja in izpadov svojih strojev in sistemov ter izboljšajo zanesljivost delovanja [3]. Razvoj specifikacij po letu 1950 prikazuje slika 3.



Slika 3: Razvoj specifikacij za hidravlične tekočine [3]

3 NADZOR STANJA HIDRAVLIČNIH OLJ

Stopnja čistosti svežih in rabljenih hidravličnih olj je izredno pomemben podatek. Za zanesljivo oceno stanja rabljene hidravlične tekočine pa potrebujemo podatke tudi o drugih parametrih. Poznamo več načinov nadzora stanja, kot so

enostavnejše, a hitre on-site meritve, najpogosteje uporabljane off-line meritve in sodobne, vedno bolj uporabne on-line meritve. Seveda pa pogosto uporabimo tudi kombinacijo omenjenih načinov, kar je običajno celo najboljša možnost.

3.1 Off-line nadzor stanja

V primeru off-line meritev v lastnem ali zunanemu laboratoriju je pomembno, da stanja ne ocenjujemo le na osnovi ene same analize, temveč spremljamo trend spremembe posameznih parametrov. V ta namen moramo opravljati periodične analize vzorcev. Za zanesljivo oceno stanja moramo poznati začetno stanje olja, izrednega pomena pa je reprezentativnost vzorcev. Vsa sodobna oprema in znanje nam namreč ne bosta omogočila ugotovitve dejanskega stanja, če odvzet vzorec ne bo odražal stanja celotne polnitve olja. Za reprezentativnost vzorca so pomembni:

- način odvzema (statični, dinamični)
- mesto odvzema
- čas odvzema
- čistost uporabljene embalaže.

Vsak vzorec olja odvezamo na enak način, iz istega mesta in ob enakem času (režimu obratovanja).

Dinamični odvzem vzorca iz cevovoda med obratovanjem ima prednost pred statičnim iz rezervoarja, ki ga opravljamo zato le izjemoma, in sicer na približno 2/3 višine nivoja olja v rezervoarju. Pri dinamičnem odvzemu je pomembno, da je mesto vzorčenja v toku olja in ne morda v mrtvih conah.

Mesto odvzema vzorca je odvisno od namena vzorčenja. Običajno želimo iz sistema pridobiti čim več podatkov, zaradi česar moramo odvezem opraviti pred morebitnim povratnim filtrskim elementom, ki nam filtrira večji del delcev in tako odstrani večji del za nas pomembnih podatkov. Seveda pa je včasih, ko nas zanima učinkovitost filtrskega elementa, treba vzorec odvzeti pred in za filtrskim elementom.

Vzorčenje opravljamo vsakokrat v stabilnih pogojih obratovanja, ko je olje ogreto na delovno temperaturo. V primeru, da vzorčenje med obratovanjem ni možno, pa ga opravimo čim prej

po zaustavitvi, preden se kontaminanti začno posedati.

Za vzorčenje uporabljamo suho in čisto namensko embalažo. Pred odvzemom reprezentativnega vzorca prvo količino olja iz merilnega/odzemnega mesta zavrzemo.

Parametri, ki nam v primeru reprezentativnega vzorca olja omogočajo zanesljivo oceno stanja, so:

- kinematična viskoznost (40 °C, 100 °C)
- indeks viskoznosti
- gostota
- plamenišče
- nevtralizacijsko število
- vsebnost vode
- vsebnost mehanskih nečistoč (skupno, porazdelitev po velikosti, elementna sestava ...)
- drugi (videz, barva, vonj ...).

Poročilo o analizi mora poleg ustreznih enot in navedbe uporabljenih metod vsebovati tudi komentar rezultatov in mnenje o stanju, saj si v nasprotnem primeru uporabniki morda ne bodo znali ustrezno razlagati dobljenih rezultatov. Rezultati analize so osnova za določitev potrebnih vzdrževalnih ukrepov (na primer dodatna filtracija, vgradnja drugačnih filtrskih elementov, menjava polnitve ...).

3.2 On-line nadzor stanja

V zadnjih letih se je kot odlična alternativa opisanega off-line načina začel uveljavljati tudi on-line nadzor stanja. Glavna prednost tega načina je namreč izredno kratek odzivni čas, saj zaradi različnih senzorjev (nekateri so prikazani na sliki 4), ki merijo stanje kontinuirano ali v kratkih časovnih intervalih in so vgrajeni v hidravlično napravo, praktično v vsakem trenutku poznamo aktualno stanje hidravlične tekočine.

Tako vzdrževalnemu osebju preostaja več časa do nastopa kritičnih okvar in jih v večini primerov lahko prepreči.

Posamezni senzorji



- Vsebnost vode
- Temperatura
- Tlak
- Pretok
- Nivo olja

Multisenzorji



- Dielektrična konstanta
- Prevodnost
- Viskoznost
- Vsebnost vode
- Temperatura

Števci delcev



- ISO4406
- Števci kovinskih delcev >200µm

Senzorski sistemi



- Integrirano:
- črpalka
- senzorji
- ekran, tiskalnik
- spomin

Slika 4: Različni senzorji za on-line nadzor stanja

4 VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH OLJ

Gre za stalno aktivnost, saj tudi tedaj, ko stanje ne zahteva nujnih vzdrževalnih posegov (dodatna filtracija, sušenje olja, menjava polnitve), opravljamo redne kontrole nivoja olja, temperatur, tlakov, padca tlaka na filtrskih elementih, stopnje čistosti tekočine, netesnosti ipd.

Poleg mehanskih kontaminantov, ki jih na še dopustnem nivoju vzdržujemo z vgrajenimi filtrskimi elementi, po potrebi pa tudi z dodatno filtracijo, veliko pozornost namenjamo tudi količini vlage/vode v tekočini. To predvsem velja za mineralna hidravlična olja in težko vnetljive tekočine vrste HFD, kjer je dopustna vsebnost vode zelo nizka. Seveda pa količino vode (pogosto preko meritve viskoznosti) nadzorujemo tudi pri tekočinah vrste HFC, saj se zaradi izparevanja vode njena količina običajno niža, viskoznost tekočine pa posledično viša. Tudi pri vrsti HFA so potrebne redne kontrole koncentracije, saj ta zelo vpliva na mazalne lastnosti, sposobnost zaščite pred korozijo ipd.

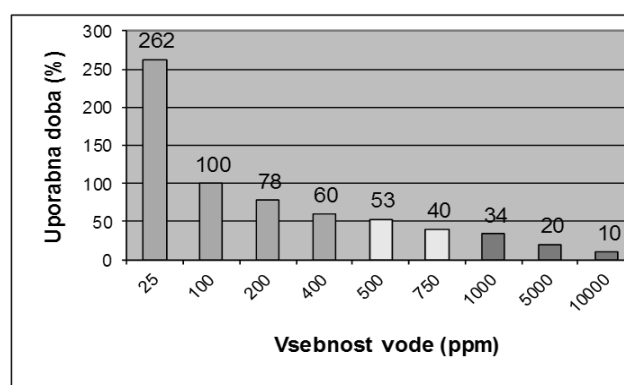
V nadaljevanju bo omenjeno tudi mešanje hidravličnih tekočin, in sicer tako mešanje iste vrste tekočine, kot tudi različnih vrst tekočin.

4.1 Dopustna vsebnost vode

Analize vzorcev hidravličnih olj večkrat potrdijo prisotnost manjše ali večje količine vode. Tako proizvajalci hidravlične opreme kot proizvajalci maziv in delovnih fluidov običajno

manjšo količino vode v olju tolerirajo. Enotno veljavnega priporočila o mejnih vrednostih pa ni. Različni viri navajajo sprejemljive vrednosti v območju med 0,05 % in 0,3 % prostornine polnitve hidravlične naprave [7].

Kratek in jedrnat odgovor na vprašanje o sprejemljivi vsebnosti vode je: v hidravličnem fluidu naj ne bo vode, če pa je voda vseeno prisotna, naj bo njena vsebnost čim nižja. Tudi najmanjša količina vode vpliva na kemijske lastnosti olja in učinkuje na kovinske površine hidravličnih sestavin in rezervoarja v napravi, kar prikazuje slika 5. Vidimo, da je pri prej navedeni okvirni zgornji dopustni vsebnosti vode v rabljenem hidravličnem olju 0,1 % oziroma 1000 ppm, uporabna doba strojnega dela le še tretjina nazivne. Pri vsebnosti vode 0,05 % ali 500 ppm (kar je zgornja dopustna vsebnost vode v svežem mineralnem hidravličnem olju po standardu DIN 51524), pa uporabna doba strojnega dela znaša le še polovico nazivne. Preprosto povedano, raven škode na olju in stroju je odvisna od količine in časa prisotnosti vode v olju, napravi. Zato cilj ne sme biti le zagotavljanje vsebnosti vode pod zgornjo dopustno mejo, temveč obratovanje naprave brez ali z minimalno možno vsebnostjo vode [8].



Slika 5: Vpliv vode na uporabno dobo sestavin

Izčrpen odgovor na zastavljeno vprašanje o dopustni vsebnosti vode je zapleten. Tudi aditivi v nekaterih hidravličnih oljih, še zlasti tisti proti obrabi (AW – Anti Wear), lahko vplivajo na točnost kazanja instrumentov, ki jih običajno uporabljamo za ugotavljanje onesnaženja z vodo.

V praksi je priporočljivo sistematično spremljati trend parametrov, določenih z

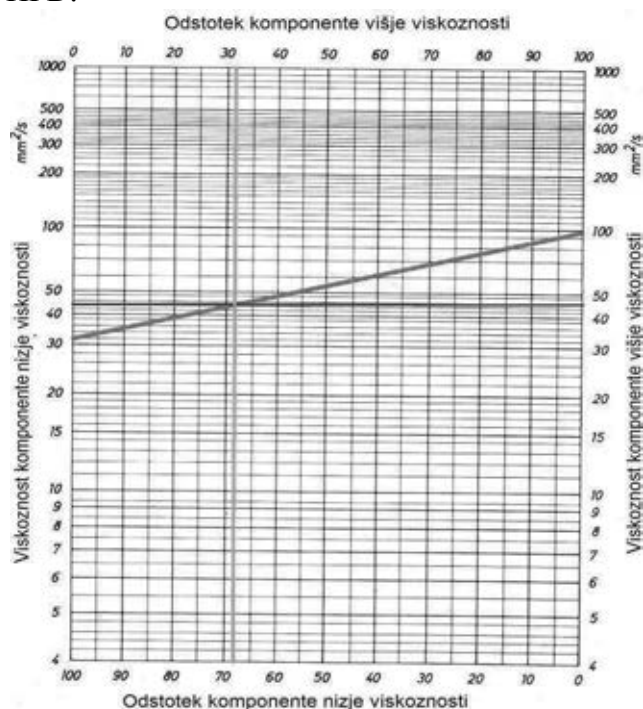
analizami olja in najprej ugotoviti, ali količina vode v določenih časovnih intervalih narašča, pada ali je stabilna. Če iz rezultatov analize ugotovimo, da se je vsebnost povežala, je olje treba zamenjati ali prisotno vodo odstranjevati z ustreznimi izločevalniki, kot so: vakuumske naprave, centrifuge, absorpcijski filtri ali kakšni drugi separatorji. Pri tem je, po odstranjevanju vode iz olja, z analizo treba ugotoviti, ali je olje še primerno za nadaljnjo uporabo. Prav tako je treba ugotoviti vir oz. vire onesnaževanja z vodo in opraviti potrebne spremembe, popravila ali korekcije na napravi, da bi se preprečilo ponovno vstopanje vode v olje, napravo. Običajni vzroki onesnaženja z vodo so dolivanje nečistega fluida, neučinkoviti ali pokvarjeni odzračevalni filtri, slabo zatesnjeni pokrovi za dolivanje, netesni oljni hladilniki, neustrezno izpiranje naprave, kondenzacija vlage v notranjosti naprave, rezervoarja ipd [8].

4.2 Mešanje hidravličnih tekočin

Mešanje hidravličnih tekočin je možno le izjemoma. Ena od takšnih izjem je mešanje istih vrst hidravličnih tekočin z različno viskoznostjo. To možnost večkrat uporabimo, kadar nimamo na zalogi olja določene viskoznostne gradacije, imamo pa olji z nižjo in višjo gradacijo od želene. V tem primeru lahko potrebna deleža olja nižje in višje gradacije viskoznosti določimo z diagramom mešanja (slika 6). V prikazanem primeru želimo z mešanjem doseči viskoznostno gradacijo ISO VG 46, in sicer z uporabo olj ISO VG 32 in ISO VG 100. V diagramu obe razpoložljivi viskoznosti povežemo s premico in v presečišču te premice z želeno viskoznostjo (v našem primeru ISO VG 46) potegnemo navpičnico ter enostavno odčitamo potreben delež olja višje viskoznosti na zgornjem delu diagrama, delež olja nižje viskoznosti pa na spodnjem delu diagrama. Za doseg želene viskoznostne gradacije ISO VG 46 bi tako potrebovali eno tretjino olja ISO VG 100 in dve tretjini olja ISO VG 32.

Prikazan primer pa je na žalost praktično edini, kjer je mešanje hidravličnih tekočin možno. Hidravličnih tekočin različnih vrst nikakor ne smemo mešati.

Mešanje mineralnega olja in tekočine vrste HFC ni možno zaradi visoke vsebnosti vode v tekočini HFC. Enako velja za tekočino vrste HFD in tekočino vrste HFC. Načeloma je sicer možno mešanje mineralnega olja in tekočine vrste HFD, saj nobena vode ne vsebuje, pa tudi v kemijskem smislu sta združljivi. Vendar bi z dodajanjem mineralnega olja v tekočino HFD zelo ogrozili varnost pred požarom, ki jo zagotavlja tekočina HFD.



Slika 6: Diagram mešanja

V primeru neželenega mešanja različnih vrst hidravličnih tekočin je treba ravnati po navodilih proizvajalcev hidravličnih tekočin, ki imajo predvidene postopke sanacije za vsak posamezni primer.

4.3 Vzdrževanje tekočin vrste HFA

Nadzor stanja in vzdrževanje je v tem primeru podobno kot pri tekočinah za obdelavo kovin, ki jih mešamo z vodo, saj gre za emulzije oziroma raztopine. Med različnimi meritvami in vzdrževalnimi ukrepi bi poudarili pomen rednega nadzora koncentracije (navadno z refraktometri, včasih tudi s titracijo) in vzdrževanja v priporočenem območju ter občasnega določanja števila mikroorganizmov (navadno s potopnimi valji), po potrebi dodajanja biocidov.

4.4 Vzdrževanje tekočin vrste HFC

Zaradi izparevanja vode se pri tej vrsti tekočin viskoznost med uporabo večkrat postopoma dviga. V določenih primerih lahko viskoznost naraste izven priporočene ISO VG gradacije. Viskoznost lahko vrnemo v priporočeno območje z dolivanjem ustrezne količine destilirane vode. Pri tekočinah HFC je smiselna tudi občasna kontrola vrednosti pH in stopnje čistosti, (kjer pa imamo težave, saj običajni avtomatski števeci delcev niso primerni za tovrstne tekočine), manj običajna pa je kontrola števila mikroorganizmov.

4.5 Najpogostejše napake pri uporabi

Na osnovi naših dolgoletnih izkušenj na področju uporabe hidravličnih tekočin so najpogostejše napake uporabnikov naslednje:

- skladiščenje (odprto skladišče, pokončna lega, ki omogoča t. i. »dihanje sodov«)
- polnjenje hidravličnih sistemov brez ustrezne filtracije olja
- ni nadzora stanja oljnih polnitev
- nenamenska, »umazana« embalaža, ki jo uporabimo za vzorčenje
- neupoštevanje mnenja proizvajalca glede stanja in morebitnih priporočil o potrebnosti menjave.

Priporočljivo je skladiščenje v zaprtih, temperiranih prostorih s temperaturo nad 5 °C. Sode po možnosti skladiščimo v ležečem položaju, da tako preprečimo t. i. »dihanje sodov«. Tako prvo polnjenje hidravličnih sistemov kot kasnejša dolivanja izvedemo preko filtrirnih agregatov, na katerih uporabimo tako fin filter element, kot je najbolj fin originalno vgrajen filter element. Oljne polnitve moramo redno nadzorovati sami ali pa s pomočjo dobavitelja/proizvajalca hidravlične tekočine, ki največkrat svoje usluge ponuja celo brezplačno. Pomen namenske in čiste embalaže za vzorčenje je ključen za pravilno interpretacijo rezultatov in realno oceno stanja. Na žalost veliko uporabnikov ne zaupa v poštenost mnenja proizvajalca hidravlične tekočine, še posebej tedaj, ko ta priporoči celotno menjavo polnitve. Razloga za dvom v poštenost na tem mestu ni, saj se vsak proizvajalec zaveda, da uporabnik lahko opravi

tudi vzporedne analize v drugih laboratorijih, zato si pri krojevanju rezultatov lastnim interesom nikakor ne bo dovolil.

5 SKLEP

Za nemoteno obratovanje hidravličnih sistemov in naprav je ključnega pomena primerna stopnja čistosti, ki jo podajajo proizvajalci hidravlične opreme. Poleg tega pa pri nadzoru stanja spremljamo tudi trend drugih parametrov, na primer vsebnosti vlage/vode in ostalih, saj je zanesljiva ocena stanja tekočine, posredno pa hidravlične naprave, možna le s spremljanjem trenda različnih parametrov. Nabor parametrov, ki so vključeni v sistem nadzora stanja tekočine, je odvisen tudi od vrste tekočine, zato se ti pri tekočinah vrste HFA in HFC razlikujejo od parametrov, ki jih nadzorujemo pri mineralnih hidravličnih oljih. Navedene so tudi najpogostejše napake pri uporabi hidravličnih tekočin, predvsem zato, da jih v prihodnosti ne bi ponavljali.

Viri:

- [1] Kambič, M.: Diagnostika in vzdrževanje hidravličnih tekočin, 8. *Industrijski forum IRT 2016*, Zbornik, str. 97-102.
- [2] Lovrec, D., Kambič, M.: *Hidravlične tekočine in njihova nega*, Univerza v Mariboru, 2007.
- [3] Hydraulic fluids on the test bench (<https://www.boschrexroth.com/en/xc/company/press/index2-26304>)
- [4] Kambič, M., Hrobat, A.: Spremljanje kontaminacije hidravličnih tekočin, *Ventil 13(2007)6*, str. 414-418.
- [5] Kambič, M., Kus, B., Vidmar, L.: Stopnja čistosti svežih hidravličnih olj, *Slotrib 1998*, Zbornik predavanj, str. 195-203.
- [6] Kambič, M.: Proizvodnja hidravličnega olja boljše stopnje čistosti, *Slotrib 2012*, Zbornik predavanj, str. 211-220.
- [7] Kambič, M., Tič, V.: Vpliv kontaminantov na izmerjene stopnje čistosti hidravličnih tekočin, 7. *Industrijski forum IRT 2015*, Zbornik, str. 121-126.
- [8] Kambič, M.: Kolikšna je sprejemljiva vsebnost vode v hidravličnem olju?, *Ventil 12(2006)2*, str. 106-106

IZAZOVI I RJEŠAVANJE PROBLEMA U PROIZVODNJI ODLJEVAKA OPTIČKIM 3D MJERENJEM

Tomislav HERCIGONJA, Josip KOS, Nenad DRVAR
TOPOMATIKA d. o. o.

IZVLEČEK

U radu je pokazana analiza izvora geometrijskih pogrešaka na odljencima proizvedenim u kalupima za jednokratnu primjenu. Na primjeru odljevka kućišta ventila, korištenjem optičkog 3D mjernog uređaja GOM GmbH ATOS detektirana je greška u obliku zamaknute dvije polovice. 3D skeniranjem i usporedbom sa CAD geometrijom kontrolirana su gnijezda pješčanog kalupa, modelne ploče i oblici jezgre. Detektirana je greška u položaju jezgre na modelnoj ploči, zbog premale jezgre otkrivene su neujednačenosti u debljini stijenke odljevka i nedovoljan dodatak za strojnu obradu. Zbog jednostavnosti upotrebe i preglednosti rezultata mjerenja, zaključujemo da je mjerenje optičkim 3D sustavima moguće uvesti u pojedine faze proizvodnog procesa čime se osigurava kraće vrijeme do ispravnog proizvoda.

1 UVOD

Suvremena proizvodnja zahtjeva što kraće vrijeme proizvodnje komponenata. Kako bi osigurali visoke zahtjeve kupaca, jedan od načina ubrzanja kompletnog proizvodnog procesa je i unapređenje kontrole kvalitete [1].

Na primjeru odljevka kućišta ventila, u radu je pokazana analiza izvora geometrijskih pogrešaka na odljencima proizvedenim u kalupima za jednokratnu primjenu.

Mjerenja provedena s ATOS 3D skenerima [2] precizna su i brza, što omogućuje sveobuhvatnu geometrijsku analizu u pojedinim fazama procesa kod:

- Verifikacije CNC izrade alata i kalupa
- Kontrole geometrije jezgri
- Kontrole geometrije modelnih ploča
- 3D mjerenja odljevaka
- Kontrole strojno obrađenih proizvoda

Rezultati mjerenja lako su čitljivi i najčešće prikazani grafički u mapi boja.

Prije implementacije ATOS sustava, proces otkrivanja izvora grešaka sa konvencionalnim pristupom bio je dugotrajan i neprecizan praćen

komplikiranim Izvještajima, najčešće u obliku tablica.

1.1 3D mjerenje ATOS 3D skenerima

Postupkom 3D skeniranja snima se kompletna površina odljevka što omogućuje sveobuhvatnu i brzu analizu geometrije.



Slika 1: 3D skeniranje odljevka sustavom ATOS



Slika 2: Rezultat 3D skeniranja (lijevo) Odstupanje prikazano u mapi boja (desno)

Kompletno snimljena geometrija stvarnog odljevka, omogućuje jednostavnu usporedbu sa CAD modelom i grafički prikaz rezultata odstupanja stvarne od nominalne geometrije.

2 3D MJERENJE ODLJEVKA

Za vrijeme procesa razvoja, verifikacije kompletnog proizvodnog procesa ili uhadavanja proizvodnje, uobičajeno je snimiti kompletnu geometriju da bi što detaljnije analizirali geometrijske karakteristike odljevaka.

Postupak 3D skeniranja sa sustavom ATOS i obrada podataka vrši se u programskom paketu GOM 2018 i njegovom modulu GOM Inspect koji nudi različite scenarije poklapanja stvarne i nominalne geometrije poput: *RPS, By Geometrical Elements, Best fit, Local Best fit...* što je korisno za simulaciju raznih funkcionalnih karakteristika komponente.

2.1 Best fit analiza

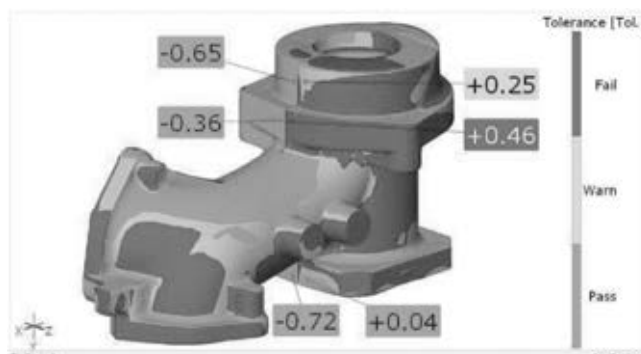
Uobičajeno je 3D mjeriti odljevke nakon lijevanja prije strojne obrade. Odljevci uvijek imaju dodatak materijala za strojnu obradu pa je Best fit poklapanje najčešće prvi odabir za usporedbu nominalne i stvarne geometrije.



Slika 3: Odstupanje odljevka od CAD modela

Slika 3 (iznad) prikazuje odstupanja prema Best Fit metodi. Tople boje prikazuju dodatak materijala, hladne bolje manjak materijala, a zeleno je unutar tolerancije. Vidljivo je da u nekim zonama odljevak nije u toleranciji. Kako bi točno provjerili koje zone su izvan tolerancije, pogodno je koristiti GO / NOGO prikaz.

Slika 4 prikazuje odstupanja prema zadanoj toleranciji tj. da li je geometrija unutar ili izvan tolerancije. U ovom slučaju, zeleno je unutar tolerancije, žuto na rubu tolerancije, a crveno izvan tolerancije.



Slika 4: GO / NOGO prikaz odstupanja

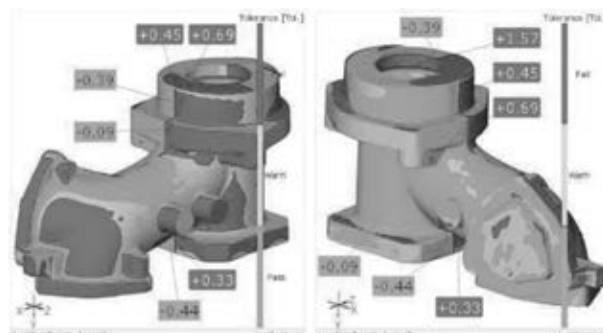
Prema rezultatima prikazanim na slikama 3 i 4, vidljivo je da je jedna polovica odljevka većim djelom izvan tolerancije. Za pretpostaviti je da je problem u zamaknutim polovicama kalupa za lijevanje.

2.2 Local Best fit analiza

Za potvrdu pretpostavke, CAD model će se lokalno poklopiti prema polovicama odljevka definiranim razdjelnim linijama kalupa.



Slika 5: Local Best Fit poklapanje polovica



Slika 6: Odstupanja prema Local Best Fit metodi

Vidljivo je da su odstupanja koncentrirana na polovici koja nije korištena za poravnanje, što potvrđuje pretpostavku te je idući korak geometrijska analiza pješčanog kalupa.

3 DIMENZIONALNA ANALIZA KALUPA I MODELNIH PLOČA

Prema rezultatima inspekcije odljevka, uzrok dimenzionalnih odstupanja odljevka je zamak polovica kalupa.

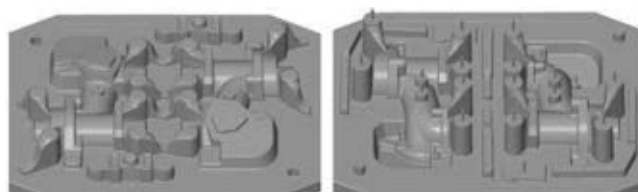
Da bi otkrili izvor greške na kalupnim polovicama, prvo su 3D skenirani kalupi i modelne ploče te su međusobno uspoređeni po cijeloj površini.

3.1 Usporedba stvarnih modelnih ploča i kalupa

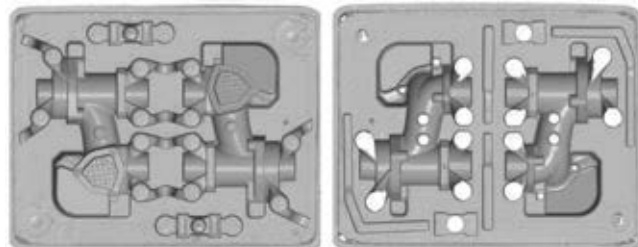
3D skeniranje kalupa i modelnih ploča izvršeno je sa digitalizatorom ATOS Compact Scan 5M [3].



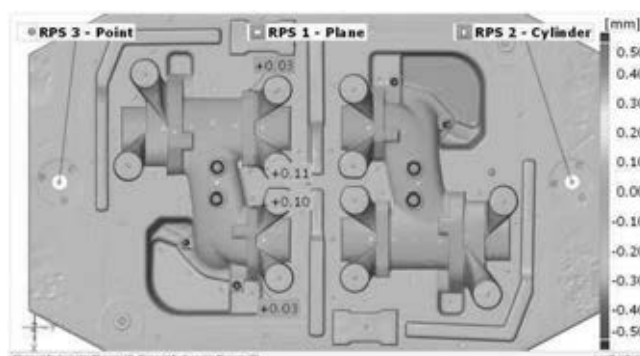
Slika 7: 3D skeniranje donjeg djela kalupa



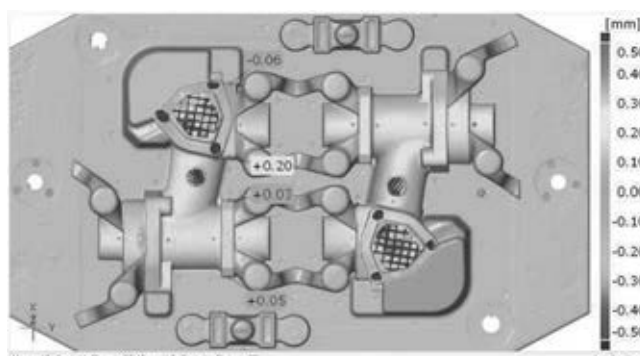
Slika 8: Rezultat 3D skeniranja modelne ploče



Slika 9: Rezultat 3D skeniranja kalupa



Slika 10: Usporedba modelne ploče i kalupa donjaka



Slika 11: Usporedba modelne ploče i kalupa gornjaka

Nakon usporedbe stvarnih modelnih ploča i kalupa, iz rezultata mjerenja je vidljivo da su modelne ploče geometrijski ispravne što znači da su kalupi napravljeni točno prema modelnim pločama.

Idući korak je usporedba stvarnih modelnih ploča sa CAD modelima prema kojima su ploče izrađene.

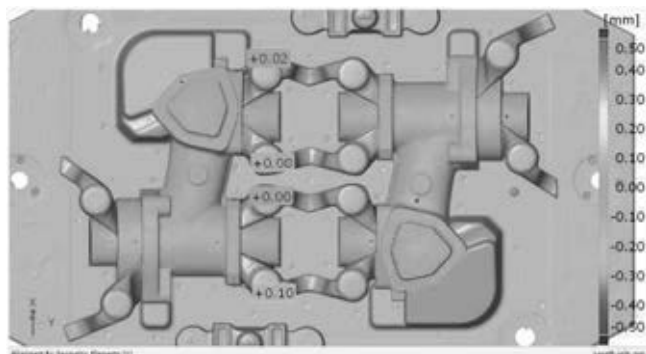
3.2 Usporedba stvarnih modelnih ploča sa CAD modelima modelnih ploča

Iz rezultata mjerenja prikazanih u točki 2.1, vidljivo je da su gornjak i donjak kalupa ispravno napravljeni prema modelnim pločama.

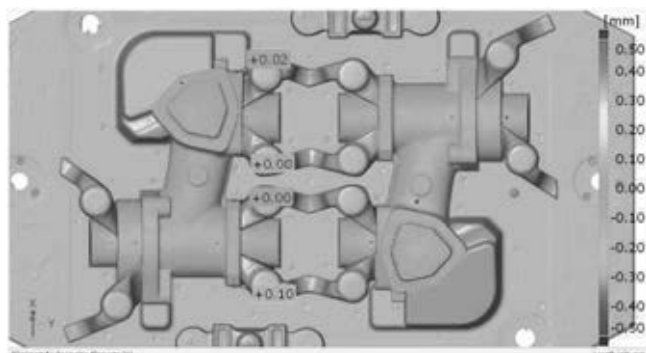
Za provjeru ispravnosti proizvodnje modelnih ploča, usporediti ćemo geometriju stvarnih modelnih ploča sa referentnom geometrijom za izradu ploča – CAD modelima.



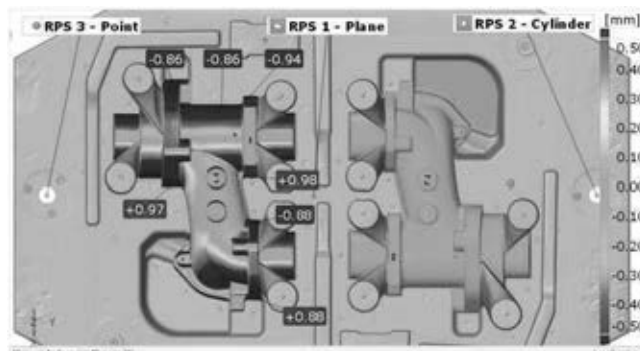
Slika 12: 3D skeniranje modelne ploče



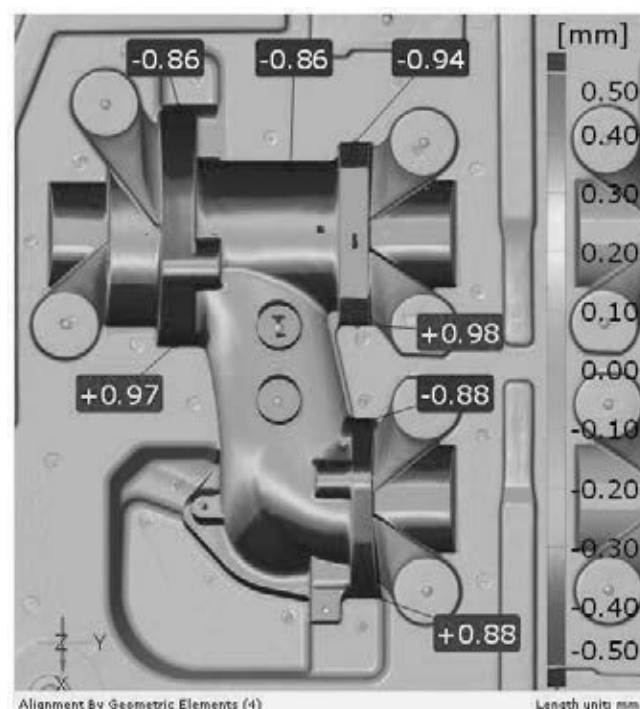
Slika 13: 3D skeniranje modelne ploče



Slika 14: odstupanja geometrije stvarne modelne ploče gornjaka od referentnog 3D modela



Slika 15: odstupanja geometrije stvarne modelne ploče gornjaka od referentnog 3D modela



Slika 16: Detalj odstupanja

Nakon usporedbe stvarnih modelnih ploča i referentnih 3D modela, iz rezultata mjerenja je vidljivo da je izvor pogreške gornja modelna ploča ne odgovara CAD modelu.

Tople boje na slici označuju odstupanje X+ smjeru, a hladne boje u negativnom smjeru X-.

4 KONTROLA DODATKA ZA STROJNU OBRADU I 3D MJERENJE JEZGRI

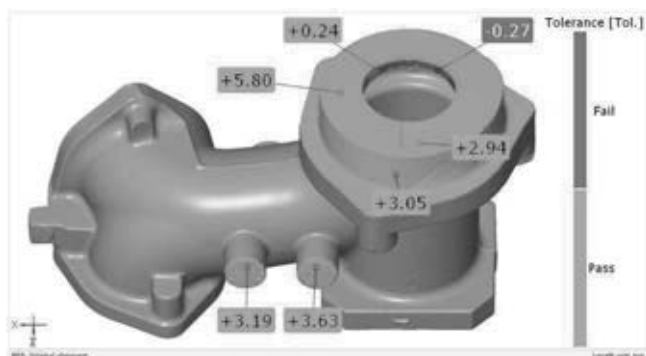
Prije strojne obrade odljevka važno je provjeriti ima li na odljevku dovoljno dodatka za strojnu obradu. U tu svrhu usporediti ćemo 3D model odljevka i CAD model gotovog proizvoda.

U softverskom paketu GOM Inspect 2018 moguće je obojanim zonama na CAD modelu definirati različite tolerancijske zone – npr. plava boja na CAD modelu definira toleranciju + 0,2 do +5 mm, roza + 0,2 do 6 mm što je vidljivo na idućoj slici.



Slika 17: CAD model gotovog proizvoda sa tolerancijskim zonama

Da bi virtualno simulirali ima li dovoljno dodatka za strojnu obradu, CAD model i odljevak poklopiti će preko RPS sistema. Na ovaj način simulirano je poravnanje kakvo bi bilo prilikom strojne obrade, tj. na ovaj način simulirana je naprava na koju se postavlja odljevak za strojnu obradu.

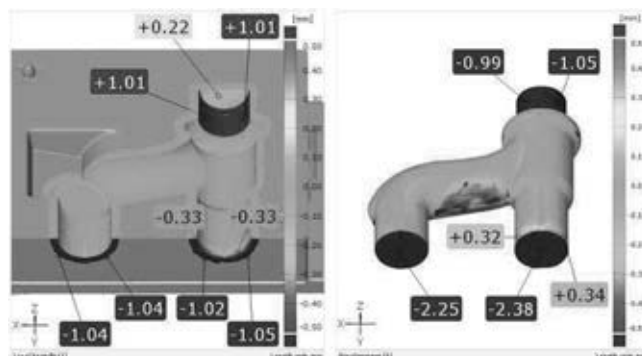


Slika 18: Prikaz odstupanja površina predviđenih za strojnu obradu

Sa slike 18 vidljivo je da je jedan dio površine izvan zadanih tolerancija te da nema dovoljno

materijala za strojnu obradu. To znači da u stvarnosti glodalo obradnog centra ne bi niti dotaknulo površinu odljevka koja odstupa u minus, te bi taj dio ostao neobrađen jer nema dovoljno dodatka za strojnu obradu.

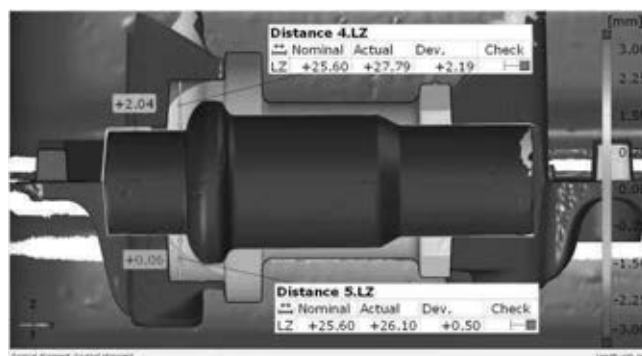
Izvor greške potrebno je tražiti preko komponenata koje formiraju unutrašnjost odljevka, a to su jezgre.



Slika 19: Geometrijska analiza alata i jezgri

Slika 19 prikazuje odstupanja stvarnog alata i stvarne jezgre od odgovarajućih CAD modela. Vidljive su dvije greške: zbog viška materijala na gornjem promjeru alata (+1 mm) na jezgrama se javlja nedostatak materijala (-1 mm), a na prednjoj strani alata vidljiv je nedostatak materijala koji uzrokuje kraću jezgru od potrebne duljine alata i jezgre.

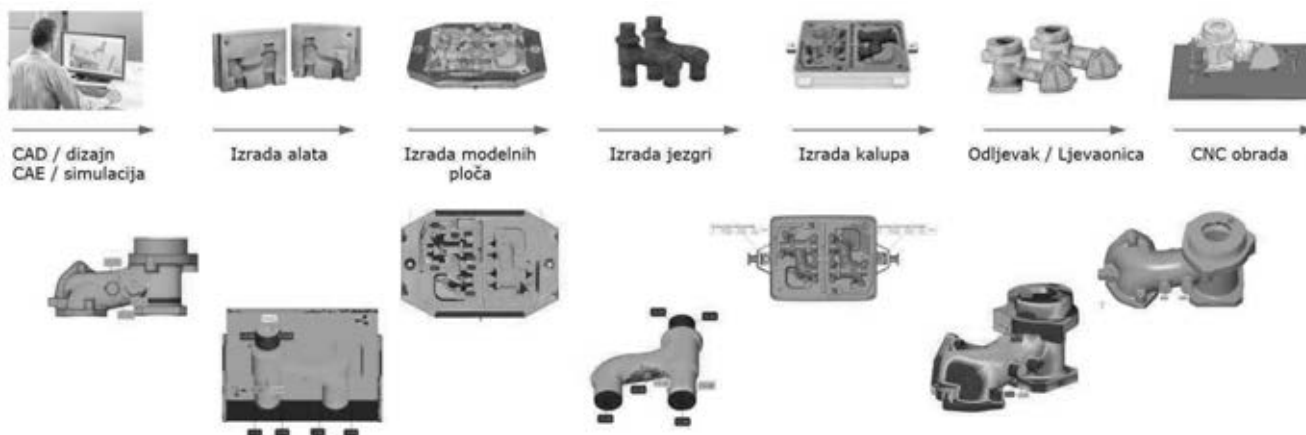
Navedeno geometrijsko odstupanje uzrokuje krivu poziciju jezgre u kalupu i zbog toga nedovoljno materijala za obradu na odljevku.



Slika 20: Pozicija stvarne jezgre u stvarnom kalupu

Analizom stvarnog kalupa i jezgre u sklopu, vidljivo je odstupanje od dva mm u poziciji po visini što je uzrokovalo nedostatak materijala za strojnu obradu. Na slici nominalna vrijednost 25.6 mm, a stvarne 27.79 mm i 26.10 mm.

5. ZAKLJUČAK



Zbog jednostavnosti upotrebe i preglednosti rezultata mjerenja, zaključujemo da je mjerenje optičkim ATOS 3D sustavima moguće uvesti u pojedine faze proizvodnog procesa čime se osigurava kraće vrijeme do ispravnog proizvoda. Primjena u raznim procesima prikazana je kroz rad.

LITERATURA

- [1] GOM Casting workshop 2018, zbornik radova <https://www.gom-workshop.com/>
- [2] www.GOM.com
- [3] www.TOPOMATIKA.hr

Tehnologija ATOS 3D skenera omogućuje brzo i precizno snimanje geometrije:

- Odljevka
- Kalupa
- Modelne ploče
- Jezgara
- Alata za jezgre

Velika pogodnost programskog paketa GOM 2018 je u tome što je moguće referentnu i stvarnu geometriju poklopiti prema zahtijevanim različitim scenarijima poklapanja – *RPS*, *Local Best fit*, *Best fit*, *Preko geometrijskih elemenata* i na taj način simulirati razne procese u proizvodnji.

Primjerice, u poglavlju 4 na stvarnom odljevku virtualno je simulirano postavljanje odljevka na napravu prije strojne obrade. Ustanovljeno je da fali materijala za strojnu obradu te odljevak nije niti prešao u iduću fazu proizvodnog procesa – strojne obrade. Na ovaj način uštedeno je vrijeme rada stroja jer je besmisleno obrađivati odljevak koji cijeli neće biti dobar.

VIZUALNA ERGONOMIJA Z UPORABO KOREKCIJSKIH ZAŠČITNIH OČAL

Zvone BALANTIČ¹, Dejan ALJANČIČ²

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede

²Alcom d.o.o.

IZVLEČEK

Človek več kot 80% informacij pridobi preko vida, zato je vizualna ergonomija izjemno pomembna na slehernem koraku. Delo in delovni pogoji pogostokrat niso idealni in primerni za izpostavljene oči, zato je potrebno organ vida zaščititi z uporabo ustreznih in najbolj kakovostnih zaščitnih očal.

Naš namen je, da se osredotočamo na človekove vizualne zmožnosti, ki se z uporabo zaščite nekoliko spremenijo. S pravilno in ustrezno izbiro korekcijskih zaščitnih očal bomo odpravili neuravnoteženost med človekovimi individualnimi lastnostmi, okoljem in delovno nalogo. Neuravnoteženost lahko povzroči neugodje, pojav napak, nesreč in poškodb pri delu. Današnja tehnologija omogoča uporabo najsodobnejših materialov za izdelavo korekcijskih zaščitnih očal, ki ustrezajo najbolj zahtevnim standardom.

Naš cilj je pripraviti in uporabiti zanesljive in inovativne rešitve za zaščito organa vida pred vplivi zunanjega okolja. Osredotočamo se na integracijo najsodobnejše tehnologije pri izdelavi korekcijskih zaščitnih očal in pri ustvarjanju pogojev, ki ustrezajo človekovim individualnim vizualnim zmožnostim. Pri tem sodelujejo človekove vizualne sposobnosti, okolje in delo.

Trikotnik vizualne ergonomije tvorijo človekove značilnosti (zdravje oči, nošenje očal, globinska zaznava, ločevanje barv, ostrina vida), okolje (osvetlitev, nevarnosti poškodb oči, kakovost zraka, psihosocialni faktorji in zadovoljstvo pri delu) ter delo (vizualni prikazovalniki, nastavitve računalniških zaslonov, ureditev delovnih mest, velikost in barva ter kontrast pisave, počitek pri delu in intenziteta dela).

1 UVOD

Svetloba je vir življenja in, če svetlobe ne bi bilo, bi življenje na zemlji izumrlo. Vidna svetloba je elektromagnetno valovanje, ki ga zaznava človeško oko. Področje vidnih žarkov je v primerjavi s celotnim elektromagnetnim spektrom zelo majhno in obsega valovne dolžine od 400 do 760 μm . Infrardeči žarki, katerih valovna dolžina je večja od 760 μm , in ultravijolični žarki, katerih valovna dolžina je manjša od 400 μm , lahko povzročajo posebne okvare človeškega organizma [1]. Jakost svetlobe se v toku dneva spreminja, prav tako se zaradi različnih vpadnih kotov sončnih žarkov spreminja tudi intenziteta različnih valovnih dolžin. Svetlobni spekter v jutranjih urah je intenziviran na rdečem delu spektra, čez dan pa se valovne dolžine z najvišjo amplitudo pomikajo proti oranžni in rumeni svetlobi.

Oko zaznava le predmete, ki sami oddajajo svetlobo ali pa svetlobo odbijajo. Če zelo majhna površina svetila izžareva veliko količino svetlobe, taka svetloba slepi.

Svetloba ima na človeka kompleksen učinek. Poleg slikovnih informacij, ki jih prinaša, vpliva tudi na vegetativno živčevje, ki ni direktno povezano z vidom. Na človeka ima t. i. »biološki učinek«. Svetloba, ki pade na mrežnico, vpliva tudi na občutljive ganglijske celice mrežnice, imenovane »tretji fotoreceptor«. Informacije iz teh celic potujejo v suprakiazmatično jedro (SCN), ki se nahaja v hipotalamusu v naši t. i. »telesni uri«. Izmenični cikli svetlobe in teme vplivajo na delovanje suprakiazmatičnega jedra in posledično povzročajo ciklično izločanje hormona melatonina iz češerike [2, 3].

Človek več kot 80% informacij pridobi preko vida, zato je vizualna ergonomija izjemno

pomembna na slehernem koraku. Dobra razsvetljava ima pozitiven vpliv na izvajanje delovne naloge. Delavec, ki dela na delovnem mestu, kjer je dobro vidno zaznavanje in kjer se počuti prijetno, bo bolj motiviran in osredotočen na delo. To doprinese k večji učinkovitosti. Kakovost dela s tem narašča, zmanjša se število napak in tveganj za nastanek nesreč pri delu [4].

Delo in delovni pogoji pogostokrat niso idealni in primerni za izpostavljenosti oči, zato je potrebno organ vida zaščititi z uporabo ustreznih in najbolj kakovostnih zaščitnih očal. Posebno obravnavo zahtevajo zaposleni, ki za kakovostni vid potrebujejo korekcijska dioptrijska očala, ki jih predpiše zdravnik (angl. Prescription glasses - RX). Ko se tak delavec pojavi v okolju, ko za delo potrebuje še zaščito proti zunanjim mehanskim ali kemijskim vplivom, se pojavi težava. Vse prevečkrat opazimo, da zaposleni in njihovi nadrejeni samo situacijo poenostavijo in preko osebnih RX očal namestijo klasična zaščitna očala brez dioptrije (angl. Over the glasses - OTG). Taka kombinacija prinaša nemalo nevšečnosti, saj je namestitev zaščitnih očal marsikdaj neustrezna. Uporabnik očal lahko izbere oblikovno neustrezen in premalo globok okvir, neustrezne ročke ali naglavni trak ter povezovalni most. Skratka, težava se pojavi, ko ob potrebni zaščiti oči potrebujemo še RX očala.

Poudariti moramo še dejstvo, da s kombinacijo RX in OTG očal pred oči postavljamo dve plasti, kar prinaša bistveno povečano odbojnost (refleksivnost), zmanjšano prepustnost (transmisivnost) in s tem manjšo svetlobno energijo, ki prihaja v človeško oko. Vsa ta dejstva govorijo v prid celoviti rešitvi – uporabi zaščitnih enoplastnih RX očal.

2 MATERIALI IN METODE

V svetu obstaja veliko študij in analiz vpliva nivoja osvetljenosti na produktivnost. Največji skok v produktivnosti dosegamo pri povečanju svetlobnega toka pri slabo osvetljenih delovnih površinah [5]. Prav pri takih primerih je uporaba ustreznih zaščitnih očal z veliko svetlobno prepustnostjo še toliko bolj pomembna. Človekove vizualne zmožnosti se z uporabo zaščite nekoliko spremenijo.

Ko proučujemo človeški vid in vizualno ergonomijo, se moramo soočiti z anatomskimi in fiziološkimi značilnostmi oči. Čutilo za vid je oko, ki skupaj s čutnimi celicami – fotosenzorji opravlja t. i. fizično zaznavanje svetlobe. Fotosenzorji vpadlo svetlobo spremenijo v živčne impulze, ki se preko vidnih živcev prenesejo v možgane. Poznamo dve vrsti fotosenzorjev. To so čepki in paličice.

Čepki so skoncentrirani v rumeni pegi v področju ostrega vida in so za svetlobo slabše občutljivi. Z njimi ločimo barve in oblike. Paličice so razporejene na periferiji mrežnice in imajo veliko občutljivost na svetlobo. Z njimi vidimo gibanje in obrise v slabi svetlobi. Barve z njimi ne razpoznamo [1].

Pri objektivni presoji uporabe RX zaščitnih očal je potrebno ustreči mnogim kriterijem: široko vidno polje, visoka svetlobna učinkovitost, zagotavljanje hitre adaptacije, akomodacije in ostrine vida. Človeško oko prepozna svetlost oziroma dobi svetlobni vtis o bolj ali manj svetli, svetleči ali osvetljeni okolici [1]. Informacijo o svetlosti pa seveda pridobimo na podlagi svetlobnega toka, ki s svetilnostjo osvetljuje delovno okolje. Svetlobni tok, ki potuje proti očesu lahko izmerimo ali izračunamo, s predpostavko, da poznamo snov, ki jo svetloba na svoji poti prehaja.

Pri dokazovanju prednosti uporabe RX zaščitnih očal pred kombinacijo RX in OTG očal smo izhajali iz predpostavke, da uporabimo dve plasti enakega materiala (organsko steklo / organsko steklo) z lomnim količnikom $n_2 = 1,5$. V izračunu smo upoštevali, da je lomni količnik zraka $n_1 = 1$. Omejili smo se na manjše optimalne vidne kote (ergonomske vpadne kote v območju $\pm 15^\circ$) od srednjice smeri pogleda [1]. Preverili smo tudi večje vpadne kote – vse do Brewsterjev vpadnega kota za predvidene lomne količnike [6]. Podatek je pomemben za izračun povprečne odbojnosti in prepustnosti. Uporaba lomnega zakona (Snellov zakon) predvideva določanje lomnega kota žarka (Θ_2) glede na njegov vpadni kot (Θ_1), kot to kaže enačba (1).

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Pri izračunu smo predpostavili velik radij krivine stekla in tako upoštevali zakonitosti ravnega svetlobnega vala na planparalelni plasti, Do odboja prihaja pri vstopu v plast stekla in pri izstopu iz plasti stekla.

S pravilno in ustrezno izbiro RX zaščitnih očal bomo odpravili neuravnoteženost med človekovimi individualnimi lastnostmi, okoljem in delovno nalogo. Neuravnoteženost lahko povzroči neugodje, pojav napak, nesreč in poškodb pri delu. Današnja tehnologija omogoča uporabo najsodobnejših materialov za izdelavo RX zaščitnih očal, ki ustrezajo najbolj zahtevnim standardom.

3 REZULTATI

Proučili smo svetlobne spremembe v primeru, ko smo uporabili RX očala, preko katerih namestimo OTG zaščitna očala in v primeru, ko uporabimo le RX zaščitna očala.

Najprej smo s pomočjo enačbe (2) izračunali povprečno odbojnost (R) v ergonomskem področju vpadnih vidnih kotov ($\pm 15^\circ$) za $n_1 = 1$ in $n_2 = 1,5$.

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \times 100 \quad (2)$$

$$R = 4 \%$$

Prepustnost (T) izračunamo po enačbi (3)

$$T = 1 - R \quad (3)$$

$$T = 96 \%$$

3.1 Brewsterjev kot

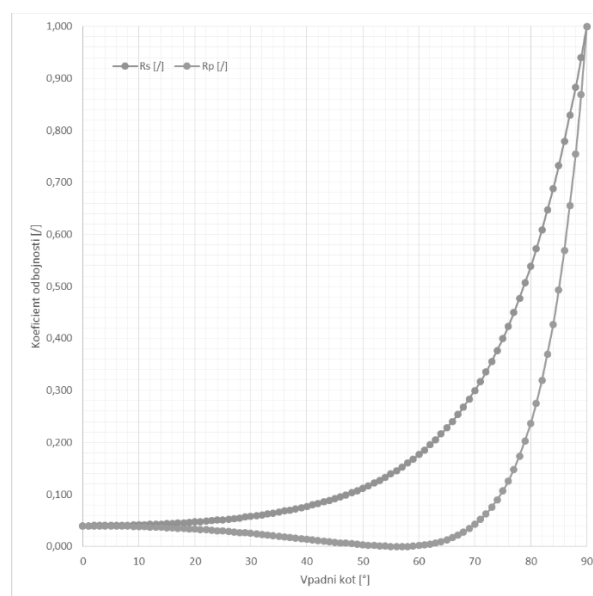
Ko svetloba prihaja iz optično redkejši snovi (zrak) v optično gostejšo snov (steklo), velja, da je $\Theta_1 > \Theta_2$. Ob prehodu se del svetlobe odbije, del pa se lomi in prehaja naprej v drugo sredstvo. Odbiti del svetlobe je odvisen od odbojnosti, kar pa je posledica polarizacije vpadne svetlobe. Odbojni koeficient je različen za svetlobo, ki je polarizirana v ravnini, ki leži pravokotno na vpadno ravnino (R_s) in svetlobo, ki je polarizirana v ravnini, ki leži vzporedno glede na vpadno ravnino (R_p). Ker se vpadni koti spreminjajo,

lahko v določenem trenutku R_p pade na vrednost 0 (Brewsterjev kot - Θ_B). Kota sta različna za različne smeri prehajanja svetlobe – iz zraka na steklo ali iz stekla na zrak. V našem primeru smo s pomočjo enačb (4) in (5) izračunali R_s in R_p . V nekem trenutku (mejni kot) se vsa svetloba odbije ($R_s = R_p = 1$), v drugem trenutku (Brewsterjev kot) pa je odbojnost dela polarizirane svetlobe nič ($R_p = 0$), p polarizirana svetloba pa v celoti prehaja v drugo snov in se v celoti lomi ($\Theta_1 + \Theta_2 = 90^\circ$) – linearno polarizirana v ravnini, ki je pravokotna na vpadno ravnino.

$$R_s = \left(\frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right)^2}}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right)^2}} \right)^2 \quad (4)$$

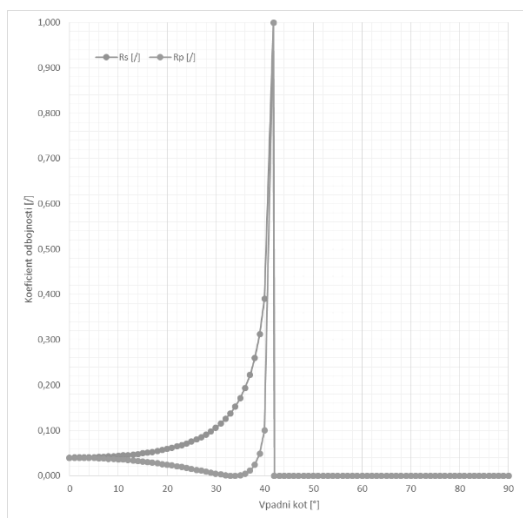
$$R_p = \left(\frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right)^2} - n_2 \cos \theta_1}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right)^2} + n_2 \cos \theta_1} \right)^2 \quad (5)$$

Pri prehajanju svetlobe iz redkejši v gostejšo snov $n_1 < n_2$ dobimo rezultate (Slika 1). Brewsterjev kot se pojavi pri $56,31^\circ$, popolni odboj ($R_s = R_p = 1$) pa pri $\Theta_1 = 90^\circ$.



Slika 1: R_s in R_p pri prehodu svetlobe iz $n_1 = 1$ v $n_2 = 1,5$; $\Theta_B = 56,31^\circ$

Pri prehajanju svetlobe iz gostejše v redkejšo snov dobimo rezultate (Slika 2). Brevsterjev kot se pojavi pri 33,69°, popolni odboj ($R_s = R_p = 1$) pa pri $\Theta_1 = 41,81^\circ$.



Slika 2: R_s in R_p pri prehodu svetlobe iz $n_2 = 1,5$ v $n_1 = 1$; $\Theta_B = 33,69^\circ$

Če predpostavimo, da je 50% svetlobe polarizirano v eno, 50% pa v drugo smer, lahko zapišemo enačbo (6) in tako izračunamo odbojni koeficient R , ki v območju optimalnih oziroma manjših vpadnih vidnih kotov ($\pm 15^\circ$) znaša 0,04 (4%), kar v splošnem potrdimo tudi z enačbo (2).

$$R = \frac{R_s + R_p}{2} \quad (6)$$

Izračun dokazuje, da se pri velikih vpadnih kotih odbojni koeficient hitro povečuje, kar včasih predstavlja motnjo (refleksno sliko) pri vstopanju svetlobe iz okolice pod velikimi vpadnimi koti.

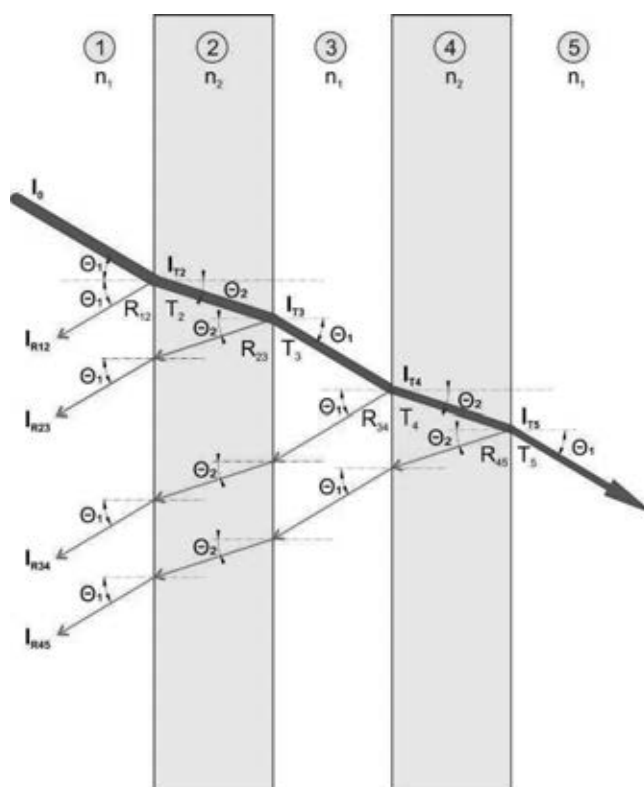
3.2 RX očala in OTG zaščitna očala

Istovrstna uporaba RX očal in OTG zaščitnih očal, pomeni, da pred oči namestimo dve plasti gostejše snovi (steklo). Zaradi tega na teh mestih prihaja do lomljenja žarkov in tudi do odboja in prehoda. V praksi se žal zelo pogosto najde kombinacija cenениh RX očal in najcenejših OTG zaščitnih očal brez kakršnega koli antirefleksnega sloja. Do visokega odboja svetlobe tako vedno

prihaja pri vsakem prehajanju snovi z različnim lomnim količnikom – pri vstopu in pri izstopu iz steklene plasti – prehod med polji 1-2, 2-3, 3-4 in 4-5 (Slika 3). Energija vpadle svetlobe se pri prehodu iz polja 1 v polje 2 zmanjša za odbojni koeficient (0,04) in znaša 0,96 vstopne energije I_0 – enačba (7, 8):

$$I_{R_{12}} = I_0 R_{12} \quad (7)$$

$$I_{T_2} = I_0 T_2 \quad (8)$$



Slika 3: Odbojnost in prepustnost svetlobe skozi dve plasti (RX očala in OTG zaščitna očala brez antirefleksnih slojev)

Energija vpadle svetlobe se pri prehodu iz polja 2 v polje 3 zmanjša za nov odbojni koeficient (0,04) in znaša 0,92 vstopne energije I_0 , odbojna energija pa 0,038 vstopne energije – enačba (9,10). Pri zapisu enačb upoštevamo dejstvo, da so vsi odbojni koeficienti enaki ($R_{12} = R_{23} = R_{34} = R_{45} = R$). Podobno lahko ugotovimo tudi za prepustnost ($T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T$):

$$I_{R_{23}} = I_{T_2} R_{23} = I_0 T_2 R_{23} = I_0 TR \quad (9)$$

$$I_{T_3} = I_{T_2} T_3 = I_0 T^2 \quad (10)$$

Pri prehodu iz polja 3 v polje 4 lahko zapišemo podobno, kjer prehodna energija znaša 0,88 vstopne energije I_0 , odbojna energija pa 0,037 vstopne energije – enačba (11,12):

$$I_{R_{34}} = I_0 T^2 R \quad (11)$$

$$I_{T_3} = I_0 T^3 \quad (12)$$

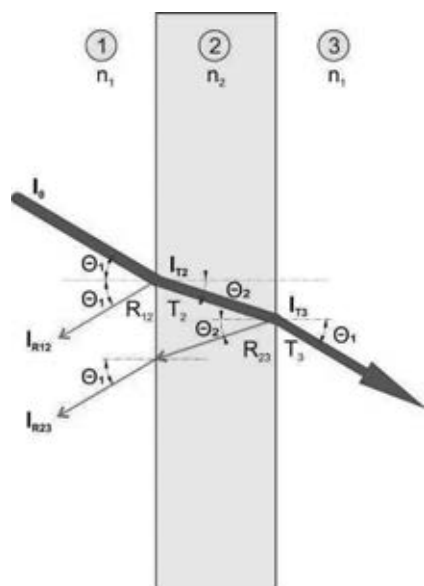
Pri prehodu iz polja 4 v polje 5 pa lahko zapišemo ugotovitev, ki kaže, da prehodna energija znaša 0,84 vstopne energije I_0 , odbojna energija pa 0,035 vstopne energije – enačba (13, 14):

$$I_{R_{34}} = I_0 T^3 R \quad (13)$$

$$I_{T_3} = I_0 T^4 \quad (14)$$

3.2 RX zaščitna očala

Pri RX zaščitnih očalih je prisotna le ena plast stekla, kar omogoča precej večjo prepustnost svetlobe in manj odbite energije, ki bi povzročala svetlobne motnje (moteča refleksija) (Slika 4).



Slika 4: Odbojnost in prepustnost svetlobe skozi eno plast (RX zaščitna očala)

Pri izračunu uporabimo enačbe (8 – 10) in tako lahko ugotovimo, da se energija vpadle svetlobe pri prehodu iz polja 1 v polje 3 spremeni za faktor 0,92 vstopne energije I_0 , odbojna energija pa znaša 0,038 vstopne energije I_0 .

4 RAZPRAVA

V prispevku smo se osredotočili v del celovitega pogleda na ergonomijo, posebno na vizualno ergonomijo [1]. Trikotnik vizualne ergonomije tvorijo človekove značilnosti (zdravje oči, nošenje očal, globinska zaznava, ločevanje barv, ostrina vida), okolje (osvetlitev, nevarnosti poškodb oči, kakovost zraka, psihosocialni faktorji in zadovoljstvo pri delu) ter delo (vizualni prikazovalniki, nastavitve računalniških zaslonov, ureditev delovnih mest, velikost in barva ter kontrast pisave, počitek pri delu in intenziteta dela).

V okviru raziskave smo uporabili lomni količnik stekla ($n = 1,5$), ki je dober približek lomnim količnikom materialov, ki jih v praksi uporabljamo – organska stekla (polikarbonat, CR39 1.50, HI 1.6, HI 1.67, PC 1.59 in Trivex 1.53) [7]. Material, ki smo ga uporabili je vgrajen v RX in OTG očalih podjetja UVEX, katerega na področju RX korekcijskih očal v Sloveniji zastopa podjetje ALCOM. Vsa očala so funkcionalna, udobna in omogočajo dolgotrajno uporabo, okvirji pa so varni, zanesljivi. Očala se morajo prilagati vsem oblikam obraza in morajo opravljati svojo funkcijo pri različnih delovnih pogojih. Predvsem pa je potrebno poskrbeti za vizualno jasnost.

Izračun je pokazal, da v primeru istočasne uporabe RX očal in OTG zaščitnih očal (brez antirefleksnih premazov), skozi obe plasti prehaja le 88% svetlobe, kar potrjujejo tudi rezultati eksperimentalnih meritev. V primeru, ko uporabimo le eno plast RX zaščitnih očal, se prehodnost svetlobne energije poveča na 92%. Pri določenih materialih je odbojnost celo večja, kot smo jo predvideli v našem primeru, saj doseže tudi 8% in več. Seveda pa je logično na površino stekel RX zaščitnih očal nanesti še notranji in zunanji antirefleksni nanos z odbojnostjo manjšo od 1% (na določenih valovnih dolžinah osrednjega dela vidnega spektra). V takem primeru se bo prehodnost dodatno močno

povečala, saj bo svetlobna prehodnost skozi steklo z nanosom dosegla več kot 98%. Odbojnost se je od primera uporabe OTG zaščitnih očal in RX očal brez antirefleksnih slojev do uporabe RX zaščitnih očal z obojestranskim antirefleksnim slojem zmanjšala kar za 8-krat, to pa pomeni, da refleksija praktično ni opazna.

Z uporabo očal moramo vsekakor preprečiti nevarnosti poškodbe očesa zaradi odletavajočih vročih ali prašnih delcev, (varjenje, litje, brušenje, ulivanje, ...), nevarnosti zaradi uporabe kemičnih snovi (jedke tekočine ...), brizganja tekočine (visoke hitrosti, pulzirajoč curek ...), morajo biti mehansko odporna (udarci, ureznine...), zadržati morajo prodor kaotičnih delcev (bočna zaščita), prilagoditi se morajo anatomiji (fleksibilne / izmenljive ročke ...), omogočiti morajo različne kote gledanja (dioptrijske prilagoditve, premazi ...), onemogočiti morajo bleščanje (montaže, precizna dela ...) in prenesti različne vibracije (postroji, ploščadi, udarna kladiva ...). Zahteve so zelo kompleksne, tako, da je vse parametre praktično nemogoče zajeti v teoretičnem modelu.

Osnovna ideja razmišljanja o ustrezni uporabi zaščitnih očal izhaja iz Zakona o varnosti in zdravja pri delu [8, 9] in seveda iz povsem osebnega interesa zaščititi svoje telo pred zunanjimi nevarnostmi. Oko je organ, ki omogoča več kot 80% izmenjave vseh informacij z okolico, zato je vid izjemnega pomena pri človeku. Celovito zaščito oči je potrebno razumeti tudi skozi ustvarjanje ustreznih delovnih pogojev, med katere spada čim večja prepustnost svetlobne energije skozi zaščitna očala.

Posebno dimenzijo obravnave potrebujejo zelo atraktivna RX zaščitna očala z ukrivljeno obliko (UVEX RX sp okviru [7]). Taka očala delavcu omogočajo neovirano uporabo vidnega polja. Klasična zaščitna očala namreč s stransko zaščito močno omejujejo vidno polje.

S pravilno in ustrezno izbiro korekcijskih zaščitnih očal bomo odpravili neuravnoteženost med človekovimi individualnimi lastnostmi, okoljem in delovno nalogo. Neuravnoteženost lahko povzroči neugodje, pojav napak, nesreč in poškodb pri delu. Današnja tehnologija omogoča uporabo najsodobnejših materialov za izdelavo

korekcijskih zaščitnih očal, ki ustrezajo najbolj zahtevnim standardom.

Pri standardih zaščite je potrebno izpostaviti, da smo obravnavali očala, ki v osnovi zadostijo evropskim standardom EN 166 in EN 169 (varjenje) in prenesejo poizkus odpornosti pri gibanju projektila premera 6,35 mm s hitrostjo 45,7 m/s.

Naš cilj je bil pripraviti in uporabiti zanesljive in inovativne rešitve za zaščito organa vida pred vplivi zunanega okolja. Osredotočili smo se na integracijo najsodobnejše tehnologije pri izdelavi RX korekcijskih zaščitnih očal in pri ustvarjanju pogojev, ki ustrezajo človekovim individualnim vizualnim zmožnostim. Pri tem sodelujejo človekove vizualne sposobnosti, okolje in delo.

Viri:

- [1] Balantič, Z., Polajnar, A., Jevšnik, S., Ergonomija v teoriji in praksi, Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2016.
- [2] Camlek N., Svetloba v delovnem okolju in njen vpliv na vrednotenje obremenitve vida, Maribor: fakulteta za strojništvo, 2011.
- [3] Kobav M., Bizjak G., Vpliv spektra svetlobe na tvorjenje melatonina R-14, Maribor: Slovensko društvo za razsvetljavo - SDR,, 2010.
- [4] Licht.de, „www.licht.de,“ 20 5 2011. [Elektronski]. Available: http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen05_industry_trade.pdf.
- [5] Juslén H., Productivity and Preferred Illuminances – Field Studies in the Industrial Environment, Finland: Espoo, 2007.
- [6] R. M. A. Azzam, „Relationship between the p and s Fresnel reflection coefficients of an interface independent of angle of incidence,“ Journal of the Optical Society of America , Izvo. %1 od %2vol.3, Issue 7, pp. 928-929, 1986.
- [7] Uvex, „Individualna osebna zaščitna oprema,“ [Elektronski]. Available: <http://www.alcom.si/wp-content/uploads/Catalogue-AlcomUvex201801.pdf>. [Poskus dostopa april 2018].
- [8] ZDR-1; Ur. l. RS št.78/2013, „Uradni list Republike Slovenije,“ 2013. [Elektronski]. Available: http://www.mdds.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/veljavni_predpisi/zdr_1/#c16842.
- [9] Uradni list št 43/2011, Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1), 2011.

VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE NA LASTNOSTI ADITIVNO IZDELANIH NAVAROV IZ MARAGING JEKLA

Damjan KLOBČAR¹, Maja LINDIČ¹, Boštjan PODLIPEC², Andrej GLOJEK³, Peter KASTELIC⁴

¹Fakultata za strojništvo, Univerza v Ljubljani

²RAZVOJNI CENTER JESENICE, družba za razvoj novih materialov in tehnologij d.o.o.

³TECOS, razvojni center orodjarstva Slovenije

⁴Daihen VARSTROJ, d.d.

IZVLEČEK

Oblikovno navarjanje žice (ang. *Wire and Arc additive manufacturing – WAAM*) je postopek aditivne proizvodnje, ki zaradi fleksibilnosti in širokega nabora uporabe dodatnih materialov kaže velik potencial pri izdelavi industrijskih orodij. Navarjanje maraging jekla je iz vidika obvladovanja procesa aditivne izdelave za zagotavljanje ustreznih mehanskih lastnosti končnega izdelka zelo specifično. Maraging jeklo se veliko uporablja v procesih Selektivnega Laserskega Sintranja orodij - SLS, pri tehnologiji WAAM pa je potrebno rešiti še mnogo izzivov. Raziskava zajema študijo oblikovnega navarjanja ter vplivov naknadnih toplotnih obdelav na mikrostrukturo in mehanske lastnosti navarov. Rezultati kažejo velik vpliv toplotne obdelave po varjenju na mehanske lastnosti navara.

1 UVOD

Oblikovno navarjanje žice – WAAM (ang. *Wire and Arc Additive Manufacturing*) je postopek aditivne proizvodnje, ki kot vir energije za taljenje materiala izkorišča varilni oblok. Prvič se v zgodovini aplikacija tega procesa pojavi 1926, ko je R. Baker patentiral proces navarjanja kot metodo izdelovanja dekorativnih predmetov [1]. Kasneje, je mogoče zaslediti kar nekaj patentov, najhitrejši razvoj pa se je začel po letu 1990, in sovпада z razvojem ter večjo dostopnostjo industrijskih robotov tudi na širšem trgu. Sistemi namenjeni navarjanju po postopku WAAM so sestavljeni iz vira varilnega toka in sistema, ki izvaja gibanje gorilnika. Za navarjanje je mogoče uporabiti različne postopke varjenja, najpogosteje je mogoče zaslediti MIG/MAG, TIG ali plazemsko varjenje, možne so tudi variacije teh postopkov.

Velika prednost izdelave po postopku WAAM je skoraj več kot 90 % izkoristek dodatnega materiala in je precej večji v primerjavi s praškastimi aditivnimi tehnologijami, kjer je mogoče doseči do 10-60 % izkoristek, odvisno od sistema. Prav tako je produktivnost izdelave neprimerljivo večja [2]. Vendar, pa je geometrijska natančnost izdelave s postopkom

WAAM nižja kot pri ostalih tehnologijah in znaša $> \pm 0,2$ mm, kar pomeni, da je naknadna obdelava z odrezavanjem nujna za doseganje ustreznih toleranc. Kljub temu je izmet materiala precej manjši kot pa če izdelujemo s konvencionalnimi postopki. V primeru, ko strošek materiala predstavlja nezanemarljiv strošek končnega izdelka, je geometrija izdelka precej velika in nima majhnih detajlov je izdelava po postopku WAAM precej dobra izbira. Razvoj postopka izdelave je še vedno v teku in še ni na stopnji, ki bi bila primerna za industrijsko aplikacijo.

Ker se pri navarjanju uporablja dodatni material v žici, ki je enaka tisti, ki se uporabljajo pri varjenju po različnih varilnih postopkih je izbira dodatnega materiala in njihova dostopnost na trgu precej velika. Raziskave navarjanja po postopku WAAM so bile narejene z aluminijevimi varilnimi žicami različnih serij [3–6], titanovimi (največ na Ti-6Al-4V) [7–14] jeklenimi (konstrukcijskih, nerjavnih, orodnih, inkonelu itd.) [15–21] in varilnimi žicah ostalih materialov (npr. magnezij).

Proces navarjanja je specifičen za vsako posamezno varilno žico, zato je potrebno za celovito poznavanje njihovih lastnosti potrebno določiti samostojno tehnološko okno procesnih

parametrov s pripadajočimi mehanskimi lastnostmi.

Maraging jekla so visoko legirana, visoko trdnostna jekla z nizko vsebnostjo ogljika (<0,03 %) in visokim deležem niklja (do 25 %), ki svoje končne lastnosti dosežejo z naknadno toplotno obdelavo. Ta obsega topilno žarjenje in izločevalno žarjenje oz. staranje. Z dobrim poznavanjem povezave med parametri toplotne obdelave, mikrostrukturo in mehanskimi lastnostmi lahko dosežemo izjemno trdnost materiala, ki lahko po toplotni obdelavi znaša tudi do 2,0 GN/mm² [22]. Imajo dobro varivost [23], [24] in jih v primerjavi z ostalimi orodnimi jekli ni potrebno predgrevati [25] kar v primeru uporabe v postopkih izdelave z aditivnimi tehnologijami predstavlja veliko prednost.

Maraging jekla imajo pri temperaturi okolice v celoti martenzitno strukturo kar omogoča nizka temperatura pri kateri se prične transformacija avstenita - M_s in sicer 200-300 °C. To je mogoče doseči z ustreznimi legirnimi elementi. Običajno pa se dodaja tudi Co, ki v osnovi vpliva na zvišanje temperature M_s, pač pa omogoči večjo stopnjo precipitacije ostalih legirnih elementov [23] ter tvori intermetalno fazo. Večini maraging jekel se dodaja Ni, Co, Ti, Al, Mo itd. Pri veliki količini teh legirnih elementov se lahko pojavi zaostali avstenit, ki je v maraging jeklih nezaželen, zaradi česar se običajno maraging jekla starajo z namenom pretvorbe zaostalega avstenita v martenzit oz. formacije precipitativ [26].

Najpogosteje se maraging jekla spaja s postopkom TIG, s katerim je mogoče doseči najvišjo trdnost spoja, nižjo trdnost pa s postopkom varjenja MIG. Pomembno je, da je vnos toplote pri varjenju čim manjši, saj pri večjem vnosu nastanejo veliki varki z gobo, mikrostrukturo in z nizko trdnostjo [23].

2 EKSPERIMENT

Izvedli smo eksperimentalno oblikovno navarjanje varilne žice Capilla 2709 MAG premera 1,2 mm na osnovni material enake

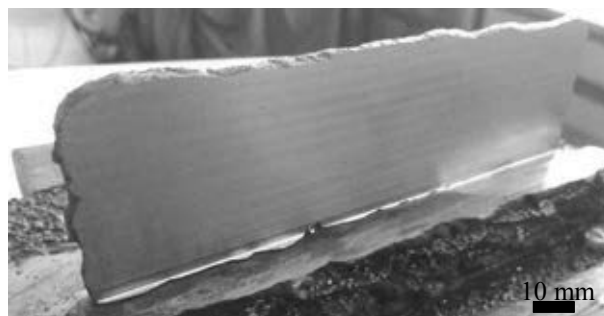
kemične sestave po postopku MIG v zaščiti inertnega plina argona, z namenom raziskati možnosti uporabe v orodjarstvu. Kemična sestava uporabljenega jekla po standardu EN 14700 je: <0,03 % C, 17-19 % Ni, 10-12 % Co, 4-4,5 % Mo, <0,3 % Mn, <0,8 % Si, ravnovesni delež Fe.

Uporabili smo varilni vir Fronius Trans Pulse Synergic 3200 s krmilno omarico VR 7000 CMT. Gibanje smo izvajali z varilnim robotom ABB IRB 140 in ga načrtovali v programskem okolju SprutCAM. Na osnovi preliminarnih testov smo ugotovili problematiko premajhnega zlivanja materiala med procesom navarjanja posameznih plasti zaradi česar je prišlo do porozne mikrostrukture. Z optimizacijo procesa smo za izdelavo izbrali varilni program CMT+pulz, pri procesnih parametrih, ki so prikazani v tabeli 1. Dolžina navarjene stene je bila 120 mm. Navarjali smo z izmeničnim menjavanjem smeri navarjanja za vsako posamezno plast s čimer smo kompenzirali prekomerno razlivanje materiala ob koncih varkov.

Tabela 1: Procesni parametri

Hitrost gibanja [mm/s]	3
Varilni tok [A]	172
Medvarkovna temperatura [°C]	250

Vzorke za mehanske preizkuse in toplotno obdelavo smo izrezali iz stene, ki smo jo navarili na osnovni material. Za doseganje ustreznih geometrijskih toleranc smo steno predhodno rezkali do debeline 3 mm, kot je prikazano na sliki 1.



Slika 1 Navarjena stena rezkana na debelino 3 mm.

Na osnovi preliminarnih testov smo se odločili za pogoje toplotne obdelave (topilno žarjenje in staranje), ki so prikazani v tabeli 2.

Tabela 2: Izbrani pogoji toplotne obdelave

	Topilno žarjenje T [°C], t [h]		Staranje T [°C], t [h]	
1	920	1	490	3,5
2			450	7

Izvedli smo statični natezni preizkus in meritve trdot. Epruvete za natezni preizkus so bile izdelane v skladu s standardom DIN 50125:2009 in izrezane iz navarjenega bloka v smeri vzdolžno glede na smer navarjanja, kot je prikazano na sliki 2.



Slika 2 Izdelava standardnih preizkušancev za natezni preizkus.

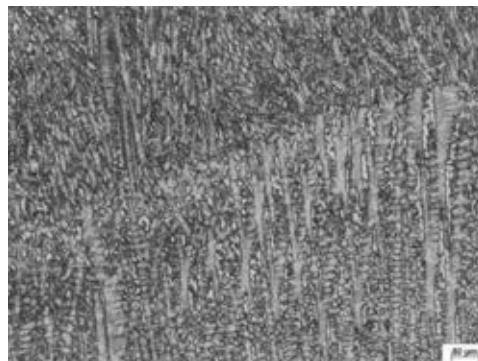
Za določitev vpliva toplotne obdelave na mehanske lastnosti smo izmerili tudi natezno trdnost materiala v stanju navarjenem stanju pred izvedbo toplotne obdelave. Natezna trdnost takšnega materiala znaša 1067 MPa in je nižja od tistih po toplotni obdelavi, katerih vrednosti so prikazani v tabeli 3. Z nižjo temperaturo in krajšim časom staranja smo dosegli nižjo trdnost materiala.

Tabela 3: Rezultati mehanskih preizkusov pri različnih pogojih toplotne obdelave.

	Rm [MPa]	Trdota - HV	žarjenje	staranje
1	1943	587	920 °C, 1 h	490 °C, 3,5 h
2	1573	597		450 °C, 7 h

Metalografsko analizo smo izdelali na navarjeni steni, ki smo jo prečno prerezali je bila analizirana na različnih mestih v vzorcu. Tipična

mikrostruktura navarjenega in jedkanega materiala je pri 100-kratni povečavi prikazana na sliki . Mikrostruktura je enakomerna, brez poroznosti z značilno dendritno strukturo.



Slika 3 Mikrostruktura navarjenega vzorca pri 100 – kratni povečavi.

Izvedli smo še primerjavo mikrostrukture s tisto, ki smo jo dobili na osnovi preliminarnih testov. Z optimizacijo procesa smo dosegli eliminacijo plinske poroznosti, ki je bila prisotna v mikrostrukturi. Na sliki 4 je prikazana mikrostruktura pri 200 – kratni povečavi v kateri so razvidni izločeni precipitati.



Slika 4 Mikrostruktura po optimizaciji procesnih parametrov brez plinske poroznosti.

3 SKLEP

Na osnovi mehanskih preizkusov in metalografske analize smo prišli do naslednjih ugotovitev:

- Ustrezna izbira procesnih parametrov močno vpliva na dinamiko procesa s čimer je mogoče vplivati na zmanjšanje poroznosti v materialu.
- Z izbiro ustreznih pogojev toplotne obdelave po varjenju vplivamo na končne lastnosti.

- Z WAAM tehnologijo navarjanja dobimo mehanske lastnosti so primerljive tistim, ki jih dobimo pri izdelavi s tehnologijo selektivnega laserskega sintranja ali z lastnostmi osnovnega materiala.
- Dosegli smo natezno trdnost v stanju navarjenem stanju, ki je primerljiva tisti, ki jo podaja proizvajalec dodatnega materiala.

Na osnovi eksperimentov sklepamo, da je ob primerni izbiri procesnih parametrov možno uspešno navarjanje maraging jekla po postopku WAAM za potrebe orodjarske industrije pri čemer je potrebno rešiti še izzive, ki se pojavljajo pri implementaciji tega procesa. Predvsem se ti pojavljajo pri načrtovanju poti robotskega navarjanja, saj so obstoječa CAM programska okolja, bodisi premalo fleksibilna ali pa ne omogočajo načrtovanja za proces izdelave z dodajalnimi tehnologijami.

Zahvala

Avtorji se finančno pomoč zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (raziskovalni program št. P2-0270 in raziskovalna projekta št. L2-8181 in L2-818). Prispevek je delno sofinanciran s strani Strategije Pametne Specializacije v okviru projekta z naslovom »Materiali in tehnologije za nove aplikacije – MARTINA«. Naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

Viri:

- [1] B. Ralph: *Method of making decorative articles*, 1925.
- [2] Recent developments in fusion processing of aluminium alloys (<http://www.latest2.manchester.ac.uk/documents/2011joining/S.Williams.pdf>)
- [3] A. S. Haselhuhn in sod.: Structure-property relationships of common aluminum weld alloys utilized as feedstock for GMAW-based 3-D metal printing, *Materials Science and Engineering*, A673 (2016): str. 511–523.
- [4] B. Cong, J. Ding, S. Williams, Effect of arc mode in cold metal transfer process on porosity of additively manufactured Al-6.3 % Cu alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2015), str. 1593–1606.
- [5] K. Ayarkwa, S. Williams, and J. Ding: Investigation of pulse advance cold metal transfer on aluminium wire arc additive manufacturing, *International Journal of Rapid Manufacturing*, 5(2015), str. 44–57.
- [6] J. Gu in sod.: Wire+ arc additive manufacturing of aluminium, *Proceedings of the 25th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, ZDA, (2014)*, str. 4–6.
- [7] Y. Ma in sod.: The effect of location on the microstructure and mechanical properties of titanium aluminides produced by additive layer manufacturing using in-situ alloying and gas tungsten arc welding, *Materials Science and Engineering, A 631 (2015)*, str. 230–240.
- [8] J. Donoghue in sod.: The effectiveness of combining rolling deformation with Wire-Arc Additive Manufacture on beta-grain refinement and texture modification in Ti-6Al-4V, *Materials Characterization*, 114 (2016), str. 103–114.
- [9] F. Martina in sod.: Residual stress reduction in high pressure interpass rolled wire+ arc additive manufacturing Ti-6Al-4V components, *Proc. 25th Int. Solid Freeform Fabrication Symp (2014)*, str. 89–94.
- [10] B. A. Szost in sod.: A comparative study of additive manufacturing techniques: Residual stress and microstructural analysis of CLAD and WAAM printed Ti-6Al-4V components, *Materials & Design* 89 (2016), str. 559–567.
- [11] J. Zhang: Crack path selection at the interface of wrought and wire+ arc additive manufactured Ti-6Al-4V, *Materials & Design* 104(2016), str.365–375.
- [12] J. Zhang in sod.: Fatigue crack propagation behaviour in wire+ arc additive manufactured Ti-6Al-4V: Effects of microstructure and residual stress, *Materials & Design* 90 (2016), str. 551–561.
- [13] F. Martina in sod.: Microstructure of interpass rolled wire+ arc additive manufacturing Ti-6Al-4V components, *Metallurgical and Materials Transactions, A46(2015)12*: 6103–6118.
- [14] O. Yilmaz, A. A. Uglu: Shaped metal deposition technique in additive manufacturing: A review, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 230(2016)10, str. 1781–1798.
- [15] J. Wang in sod.: Effect of location on microstructure and mechanical properties of additive layer manufactured Inconel 625 using gas tungsten arc welding, *Materials Science and Engineering, A676(2016)*, str. 395–405.
- [16] H. Coules in sod.: Effect of high pressure rolling on weld-induced residual stresses, *Science and Technology of Welding and Joining* 17(2012)5, str. 394–401.
- [17] A. Adebayo in sod.: Effects of solid lubricants on wire and arc additive manufactured structures *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 228(2014)4, str. 563–571.
- [18] P. A. Colegrove in sod.: Microstructure and residual stress improvement in wire and arc additively manufactured parts through high-pressure rolling, *Journal of Materials Processing Technology* 10(2013), str. 1782–1791.
- [19] F. Youheng in sod.: Optimization of surface appearance for wire and arc additive manufacturing

- of Bainite steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2017), str. 301–313.
- [20] J. Stockinger in sod.: Additive Manufacturing via *Cold Metal Transfer, Metal Additive Manufacturing Conference 2016, (2016)*.
- [21] H. Zhao in sod.: A 3D dynamic analysis of thermal behavior during single-pass multi-layer weld-based rapid prototyping, *Journal of Materials Processing Technology* (2011), str. 488–495.
- [22] S. Floreen, The physical metallurgy of maraging steels, *Metallurgical Reviews*, 13(1968)1, str. 115–128.
- [23] FH. Lang, N. Kenyon, Welding of maraging steels, *Welding Research Council*, 1971.
- [24] V. Rajkumar in sod.: Studies on welding of maraging steels, *Procedia Engineering* 75(2014), str. 83–87.
- [25] Welding of tool steel, (https://www.uddeholm.com/files/TB_welding-english.pdf)
- [26] Saleem Hashmi, *Comprehensive Materials Finishing*, Elsevier, 2016.

VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE NA LASTNOSTI ADITIVNO IZDELANIH NAVAROV IZ MARAGING JEKLA

Damjan KLOBČAR¹, Maja LINDIČ¹, Boštjan PODLIPEC², Andrej GLOJEK³, Peter KASTELIC⁴

¹Fakultata za strojništvo, Univerza v Ljubljani, ²RAZVOJNI CENTER JESENICE, družba za razvoj novih materialov in tehnologij d.o.o., ³TECOS, razvojni center orodjarstva Slovenije, ⁴Daihen VARSTROJ, d.d.

VPLIV IZHODIŠČNE MIKROSTRUKTURE NA SFEROIDIZACIJSKO ŽARJENJE JEKLA C60

Simon REČNIK, Blaž KARPE, Sergej NOVAK, Matija ZORC, Borut KOSEC, Aleš NAGODE
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo

IZVLEČEK

Namen raziskave je bil preučiti vpliv različnih predhodnih toplotnih obdelav jekla C60 na proces sferoidizacije. Za določevanje optimalnih temperatur toplotnih obdelav jekla C60 smo izvedli preizkus kalilne vrste in na osnovi dobljenih rezultatov določili temperature kaljenja, normalizacije in sferoidizacijskega žarjenja. Vzorce smo nato toplotno obdelali, in sicer kalili v slanici in olju ter normalizirali z namenom doseči različne izhodiščne mikrostrukture pred sferoidizacijskim žarjenjem.

Po standardu ISO 9950 smo izdelali merilno sondo in izmerili hitrosti ohlajanja v posameznem hladilnem mediju (slanici, olju in na zraku). Delež sferoidiziranega cementita v vzorcih iz jekla, ki so bili različno dolgo žarjeni v elektroporovni komorni peči na zraku, smo določili z vrstično elektronsko mikroskopijo.

1 UVOD

Ena izmed nepogrešljivih zlitin današnjega časa je jeklo. To je železova zlitina, pri kateri je najpomembnejši zlitinski element ogljik. Glede na kemijsko sestavo ločimo dva tipa jekel: ogljična in legirana jekla. Na mehanske lastnosti jekla lahko vplivamo s toplotno obdelavo. Ena od pomembnejših toplotnih obdelav je sferoidizacijsko žarjenje. Cilj sferoidizacijskega žarjenja je dobiti enakomerno porazdeljene karbidne (Fe_3C) delce v feritni osnovi. V članku bomo predstavili vpliv predhodne toplotne obdelave in s tem izhodiščne mikrostrukture na potek sferoidizacijskega žarjenja mnogoogljčnega jekla C60. Sferoidizacijsko žarjenje spada med postopke toplotne obdelave, s katerim običajno želimo doseči stanje jekla z najmanjšo trdoto, predvsem zato, da bi ga čim lažje mehansko obdelali, lahko pa se jekla sferoidizacijsko žarijo tudi pred kaljenjem, z namenom doseganja bolj homogenih lastnosti po samem kaljenju.[1,3]

2 EKSPERIMENTALNI DEL

2.1 Preizkus kalilne vrste

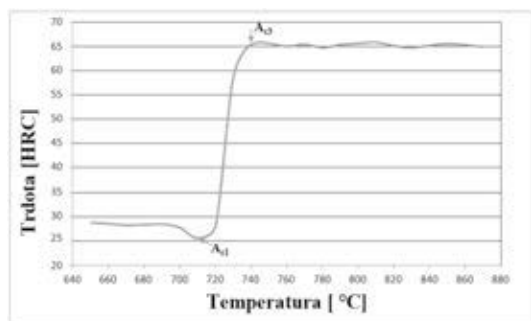
S preizkusom kalilne vrste smo določili temperature A_{c1} in A_{c3} na osnovi katerih smo določili temperature toplotnih obdelav jekla

C60. Preizkus kalilne vrste je potekal tako, da smo vzorce kvadratnega preseka v komorni peči Bosio, segreli na temperature od 650 °C (pod A_{c1}) do 870 °C (nad A_{c3}). Vzorce smo na določeni temperaturi zadržali 36 minut, nato pa jih hitro ohladili v slanici. Čas segrevanja je eden izmed glavnih pogojev za uspešno opravljanje tega preizkusa, saj je ena izmed osnovnih zahtev, da je temperatura po celotnem vzorcu čim bolj enakomerna. Na osnovi pridobljenih rezultatov smo naredili diagram, ki prikazuje trdoto v odvisnosti od temperature ($\text{HRC} = f(T)$), in na podlagi sprememb trdote določili temperaturi premen A_{c1} in A_{c3} (slika 1). Ker je bil namen raziskave preučiti vpliv toplotne obdelave na sferoidizacijo jekla C60, smo pred sferoidizacijskim žarjenjem material različno toplotno obdelali, in sicer kalili v slanici in olju ter normalizirali. Končni produkt teh obdelav so različne izhodiščne mikrostrukture, ki imajo različen vpliv na sferoidizacijo jekla C60.

S slike 1 ($\text{HRC} = f(T)$) smo razbrali, da je premenska točka A_{c1} za izbrano jeklo pri 710 °C, premenska točka A_{c3} pa pri 740 °C. Optimalne temperature toplotnih obdelav smo določili na podlagi krivulje kalilne vrste in te znašajo: $T_{\text{kaljenja}} = 780 \text{ °C}$, $T_{\text{normalizacije}} = 780 \text{ °C}$ in $T_{\text{sferoidizacije}} = 700 \text{ °C}$.

Jeklo C60 je dobavljeno v normaliziranem stanju in ima na začetku perlitno feritno

mikrostrukturo. Pri temperaturi blizu A_{c1} pride do rahlega padca trdote, ki ga lahko pripišemo hitrejši difuziji in večji topnosti ogljika v feritu,



kar lahko privede do delne sferoidizacije cementita.

Slika 1: Krivulja kalilne vrste ($HRC = f(T)$)

Nad to temperaturo pa vse do temperature A_{c3} pa se trdota postopoma zvišuje zaradi vedno večjega deleža martenzita, ki nastane pri transformaciji avstenita pri hitrem ohlajanju v slanici. Pri temperaturah nad A_{c3} je sprememba trdote zanemarljiva, saj se je celotni avstenit pri ohlajanju v slanici transformiral v martenzit.

Pri vseh toplotnih obdelavah smo vzorce segrevali v elektrouporovni komorni peči Bosio na zraku. Čas segrevanja je bil enak kot pri preizkusu kalilne vrste (36 minut) zaradi enakih dimenzij vzorcev. Za vsako toplotno obdelavo je bilo potrebno določiti optimalno temperaturo, to je: temperaturo kaljenja, normalizacije in sferoidizacijskega žarjenja.

Temperaturi kaljenja in normalizacije smo določili na podlagi temperature A_{c3} :

$$T_{\text{normalizacija}} (\text{°C}) = A_{c3} + (30 \text{ °C do } 50 \text{ °C})$$

$$T_{\text{kaljenja}} (\text{°C}) = A_{c3} + (20 \text{ °C do } 40 \text{ °C})$$

Temperaturo sferoidizacijskega žarjenja pa na osnovi temperature A_{c1} :

$$T_{\text{sferoidizacije}} (\text{°C}) = A_{c1} - 10 \text{ °C}$$

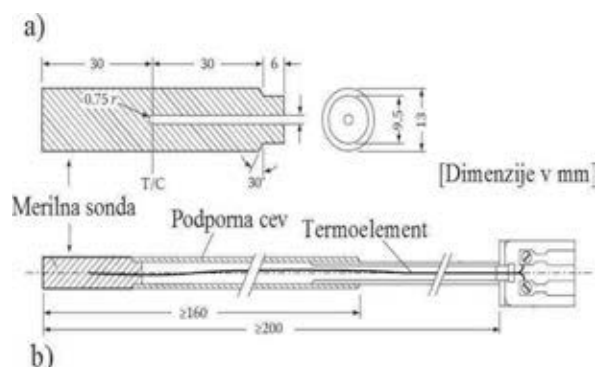
Vzorce z različno izhodiščno mikrostrukturo smo nato sferoidizacijsko žarili različno časovno obdobje: 1h, 2h, 4h, 8h, 16h in 24h. Žarjenje vzorcev je prav tako potekalo v komorni peči na zraku. Pri toplotni obdelavi ima velik vpliv na mikrostrukturo ohlajevalna hitrost. Ta je predvsem odvisna od medija, v katerem

ohlajamo material. Kot kalilni medij lahko uporabljamo slanico (t. j. vodno raztopino soli z različno vsebnostjo NaCl), vodo, polimerne raztopine, mineralna olja, solne kopeli, zrak ali inertne pline.

2.2 Določevanje ohlajevalne hitrosti industrijskih kalilnih olj po standardu iso 9950

V praksi določimo hitrost ohlajanja s standardnimi preizkusi. Pogosto je v uporabi standardizirana metoda, ki je določena po standardu ISO 9950 [2] in je namenjena za določevanje ohlajevalnih hitrosti v kalilnih oljih. Ta mednarodni standard podrobneje opiše izvajanje tega laboratorijskega testa, pri katerem se uporablja posebna merilna sonda iz nikljeve zlitine INKONEL (slika 2 a). S preizkusom lahko določamo ohlajevalne značilnosti različnih olj, pri pogojih, ki jih določa standard. Zavedati se moramo, da izvajanje tega preizkusa poteka v laboratorijskih pogojih, zato ne moremo delati korelacij med rezultati tega testa in testi, ki so opravljeni v industrijskih pogojih, saj so razlike med njimi prevelike. Merilni sklop (Slika 2 b), ki ga uporabljamo pri meritvi, je sestavljen iz merilne sonde, termoelementa in podporne cevi.

Sonda je cilindrične oblike premera 12,5 mm in dolžine 66 mm. V centru sonde je izvrtina dolžine 40 mm in luknja premera 4 mm, v katero vstavimo termoelement, ki je namenjen merjenju spremembe temperature v odvisnosti od časa. Sondo nadalje segrevamo v komorni peči do temperature, ki jo določa standard, ta znaša 850 °C.



Slika 2: Shema merilnega sklopa za merjenje ohlajevalne hitrosti; a) merilna sonda; b) merilni sklop [2]

Ko termoelement izmeri predpisano temperaturo, celotni merilni sklop potopimo v fiksno količino kalilnega olja, ki ga testiramo. V trenutku, ko termoelement potopimo v olje, se sprememba v temperaturi v centru sonde zabeleži kot funkcija časa. Podatki, ki jih dobimo s preizkusom, se uporabijo za ocenitev ohlajevalne hitrosti medija. Prenos sonde iz peči v ohlajevalni medij mora biti izveden v ne več kot dveh sekundah, po možnosti z avtomatskim mehanizmom. Po prenosu merilnega sklopa iz peči v medij je priporočljivo, da je sonda potopljena v centru posode, kjer je kalilno olje. Standard nam določa, da sta v posodi dva litra testiranega olja.

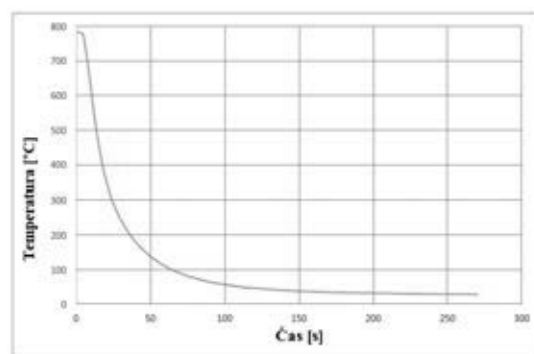
2.3.1 Merjenje hitrosti ohlajanja v različnih medijih

Po standardu ISO 9950 smo izmerili hitrost ohlajanja v kalilnem olju DURIXOL 4, v slanici in na zraku. Ta standard opisuje le merjenje hitrosti ohlajanja v olju, v našem primeru pa smo ga uporabili tudi za merjenje ohlajevalne hitrosti v slanici in na zraku. Standard predpisuje, da sta merilna sonda in podporna cev iz nikeljeve zlitine INKONEL, vendar smo se zaradi težav pri dobavi tega materiala odločili izbrati druge zlitine. Za merilno sondo smo izbrali visoko temperaturno obstojno avstenitno nerjavno jeklo oznake W. Nr. 1.4841. Podporno cev pa smo naredili iz kislinsko-obstojnega avstenitnega nerjavnega jekla oznake W. Nr. 1.4404.

2.3 Določevanje maksimalne hitrosti ohlajanja

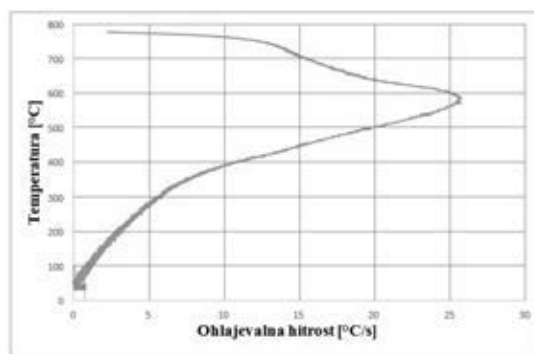
Za merjenje smo potrebovali: merilni sklop (merilna sonda, termoelement in podporna cev), komorno peč, računalnik, računalniški program Adam 5.0 in napravo za shranjevanje podatkov. Meritve smo izvedli v časovnih intervalih 50 milisekund. Med merjenjem je olje imelo 25 °C slanica 20,4 °C (slanica je bila narejena iz kamene soli), zrak pa 25 °C. Sonda je bila med merjenjem postavljena vertikalno s podpornim nosilcem, s katerim smo ustvarili enako hitrost in globino potopitve pri vseh meritvah.

Ko smo merilno sondo prestavili iz peči v medij so se podatki o spremembi temperature



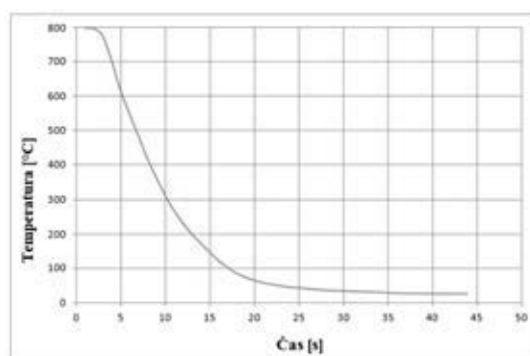
preko termoelementa shranjevali z napravo Agilent 34970 A. Podatki so nam služili za konstrukcijo Slika 3: Sprememba temperature v odvisnosti od časa pri ohlajanju v olju

diagramov, ki prikazujejo odvisnost temperature od časa ($T = f(t)$), (slike 3, 5 in 7).



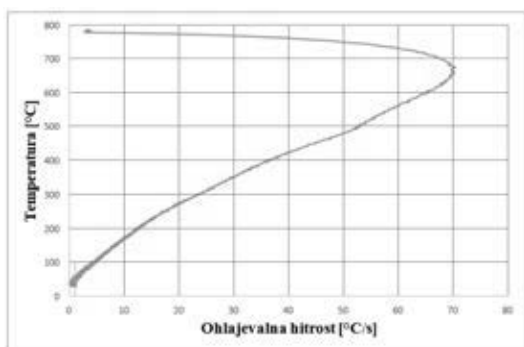
Slika 4: Ohlajevalna krivulja (olje)

Za izris grafa, ki nam prikazuje spremembo temperature v odvisnosti od ohlajevalne hitrosti, smo izračunali ohlajevalno hitrost kot odvod temperature po času. Iz grafov (slike 4, 6 in 8) smo določili maksimalne hitrosti ohlajanja. Maksimalna hitrost ohlajanja v olju je znašala 25,86 °C/s pri temperaturi 589 °C, v slanici 70,4 °C/s pri temperaturi 657,56 °C in na zraku 3,75 °C/s pri 781,3 °C.



Slika 5: Sprememba temperature v odvisnosti od časa pri ohlajanju v slanici

Pri začetnih poskusih merjenja smo imeli težave z udiranjem vode med navojno zvezo merilne sonde in podporno cevjo. Prisotnost vode se je pokazala v nihanju krivulje ohlajevalne hitrosti, kar smo preprečili z bakreno podložko med merilno glavo in



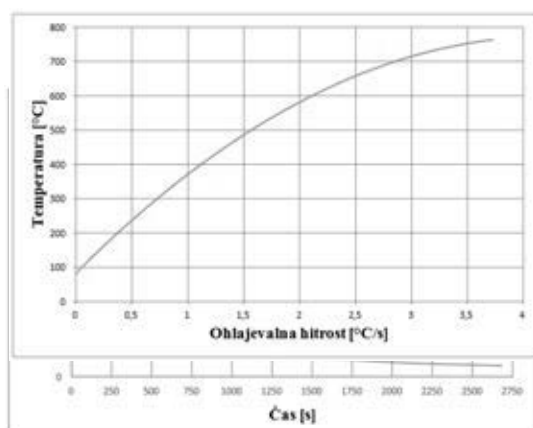
ohišjem.

Slika 6: Ohlajevalna krivulja (slanica)

Slika 7: Sprememba temperature v odvisnosti od časa pri ohlajanju na zraku

Slika 8: Ohlajevalna krivulja (zrak)

Iz rezultatov razberemo, da je hitrost ohlajanja močno odvisna od izbranega kalilnega sredstva. Tem bolj strmo krivuljo spremembe temperature v odvisnosti od časa imamo, večja je hitrost ohlajanja medija. Če ohlajanje materiala poteka v vodi, slanici ali v olju, se na

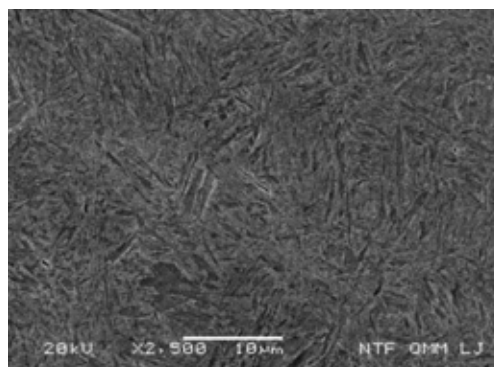


površini vročega jekla tvori neprekinjena plast pare, ki služi kot izolacija, zaradi česar ne pride do neposrednega stika med materialom in kalilnim sredstvom. Toplotna izolacija jekla privede do tega, da hitrost ohlajanja ni največja na začetku ohlajanja, temveč takrat, ko se jeklo dovolj ohladi in pride do mehurjastega vrenja,

ki nam razbije toplotno izolacijsko plast.

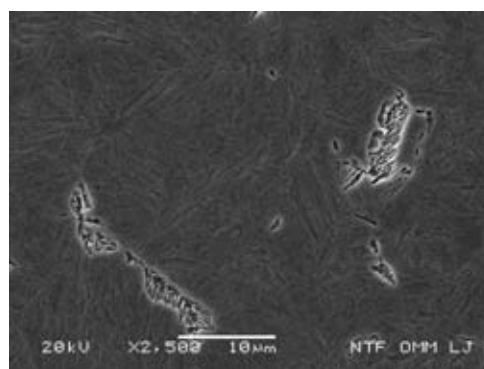
2.4 Mikrostrukturna analiza toplotno obdelanih vzorcev

Jeklo C60 smo pred sfereoidizacijskim žarjenjem različno toplotno obdelali, tako da smo ga kalili v slanici in olju ter normalizirali. Najprej smo naredili mikrostruktorno analizo izhodnega stanja, torej po toplotni obdelavi, nato še po različnih časih sfereoidizacijskega žarjenja. Mikrostruktura po kaljenju v slanici je martenzit, čigar delež je 100 % (slika 9).



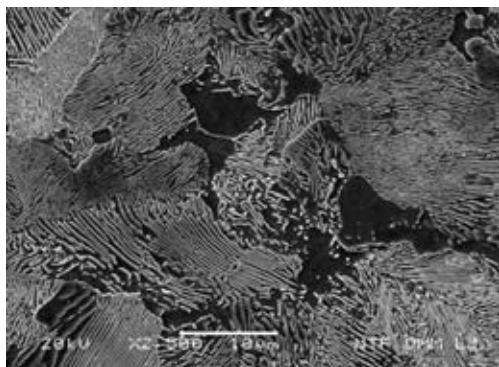
Slika 9: Mikrostruktura jekla, kaljenega v slanici; martenzit

Pri kaljenju v olju je delež martenzita nekoliko manjši, saj se je zaradi nižje ohlajevalne hitrosti del avstenita transformiral v perlit, kar je privedlo do nastanka perlitnih kolonij (slika 10).



Slika 10: Mikrostruktura jekla, kaljenega v olju; martenzit in perlitne kolonije

Z normalizacijo smo dosegli najnižje hitrosti toplotne obdelave, zaradi tega se ta mikrostruktura v primerjavi s prejšnjima bistveno razlikuje. Mikrostruktura je iz približno 85 % lamelarne perlitne in 15 % ferite (slika 11).

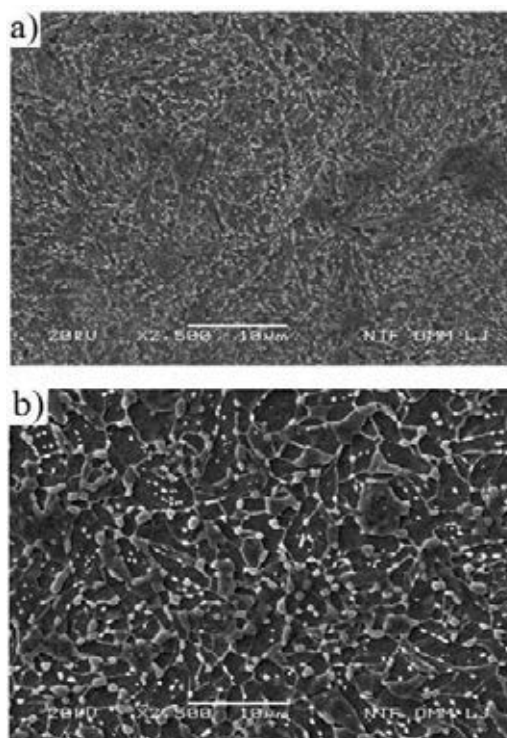


Slika 11: Mikrostruktura normaliziranega jekla; lamelaren perlit in ferit

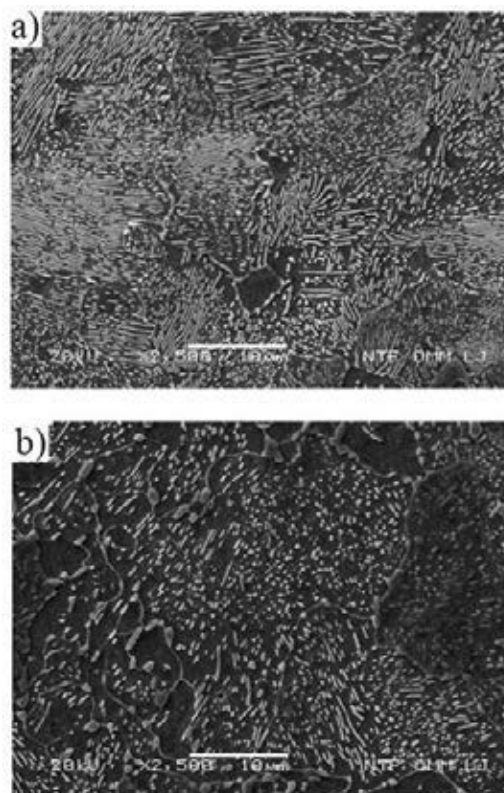
2.5 Mikrostruktorna analiza vzorcev po sferoidizacijskem žarjenju

Toplotni obdelavi je sledilo sferoidizacijsko žarjenje, ki smo ga izvajali pri različnih časih zadrževanja na temperaturi žarjenja.

Mikrostrukture različno toplotno obdelanih vzorcev po različnih časih sferoidizacijskega žarjenja so prikazane na slikah 12 in 13. V mikrostrukturi vzorcev, kaljenih v slanici, se po eni uri sferoidizacijskega žarjenja opazijo ostanki martenzitnega habitusa, v večini pa prevladuje ferit in enakomerno porazdeljen cementit (Fe_3C) (Slika 12 a). Večji delci cementita se nahajajo na mejah prvotnih avstenititnih zrn, manjši delci pa po mejah bivših martenzitnih letvah. Mikrostruktura se po dveh urah sferoidizacijskega žarjenja ni bistveno spremenila. Do manjših razlik je prišlo šele po štirih urah, ko so nekateri delci cementita postali nekoliko večji, kar pa je bolj očitno po osmih urah žarjenja. Ta pojav imenujemo Ostwaldovo zorenje, pri čemer večji delci cementita (Fe_3C) rastejo na račun manjših cementitnih delcev. Mikrostruktura jekla, kaljenega v olju, se po sferoidizacijskem žarjenju ni bistveno razlikovala od mikrostrukture, pri kateri so bili vzorci kaljeni v slanici. To pa pomeni, da so tudi procesi med sferoidizacijskim žarjenjem zelo podobni. Manjša razlika je bila opažena v mikrostrukturi jekla pri času sferoidizacijskega žarjenja ena ura. Opažena so bila mesta, kjer ni prišlo do popolne sferoidizacije cementita, saj je bil cementit še vedno v obliki lamel, ki so posledica ostankov perlitnih kolonij, ki so nastale zaradi kaljenja v olju.



Slika 12: Mikrostrukturi v slanici kaljenega jekla v po različnih časih sferoidizacijskega žarjenja a) 1 ura, b) 24 ur



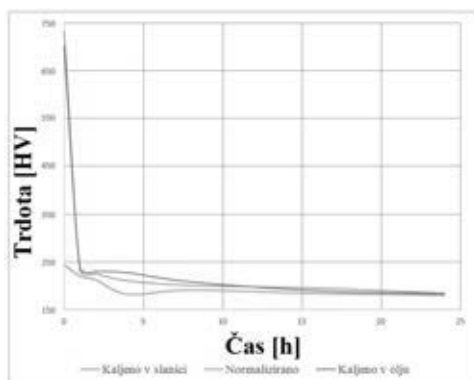
Slika 13: Mikrostrukturi normaliziranega jekla po sferoidizacijskem žarjenju a) 1 ura, b) 24 ur

V mikrostrukturi normaliziranega jekla je delež sferoidiziranega cementita po eni uri žarjenja

(slika 13 a) le 20 %, preostali cementit je bil še vedno v obliki lamel. Iz mikrostrukture smo določili, da je delež sferoidizacije po najdaljšem času žarjenja 80% (Slika 13 b), kar pomeni da sferoidizacija cementita tudi po štiriindvajsetih urah žarjenja ni v celoti zaključena, saj je še vedno bil cementit prisoten v obliki lamel.

2.6 Merjenje trdote

Trdoto smo izmerili sferoidizacijsko žarjenim, kakor tudi kaljenim in normaliziranim vzorcem, ter primerjali razliko v trdotah. Pri vzorcih, ki so bili kaljeni v slanici in olju, je po eni uri sferoidizacijskega žarjenja prišlo do velikega padca v trdoti, v primeru normaliziranih vzorcev pa je bil padec trdote bistveno manj izrazit, saj je bila že začetna trdota po predhodni toplotni obdelavi bistveno nižja. Sprememba trdot po različnih časih žarjenja glede na izhodiščno mikrostrukturo jekla je prikazana na sliki 14.



Slika 14 Sprememba trdote jekla po žarjenju glede na različno izhodiščno stanje

3 SKLEPI

Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv različne izhodiščne toplotne obdelave na sferoidizacijo mnogoogljičnega jekla C60. Z metalografskimi preiskavami smo prišli do naslednjih zaključkov:

- Temperaturni premeni A_{c1} in A_{c3} smo določili s preizkusom kalilne vrste in sta znašali 710 °C oz. 740 °C.
- Mikrostruktura vzorcev, kaljenih v slanici, je bila iz martenzita,

mikrostruktura vzorcev, kaljenih v olju, iz martenzita in perlitnih kolonij, pri normaliziranih vzorcih pa smo dobili perlitno-feritno mikrostrukturo.

- Po standardu ISO 9950 smo izmerili ohlajevalne hitrosti v različnih medijih. Največjo ohlajevalno hitrost 74,4 °C/s smo dosegli pri kaljenju v slanici, v olju 25,84 °C/s in najmanjšo 3,75 °C/s pri ohlajanju na zraku.
- Največje spremembe trdote jekla po sferoidizacijskem žarjenju glede na različno izhodiščno stanje so bile pri vzorcih, kaljenih v slanici, najmanjša sprememba pa je bila pri normaliziranih vzorcih.
- V mikrostrukturi vzorcev, kaljenih v slanici in olju, že po eni uri sferoidizacijskega žarjenja dobimo drobne, homogeno porazdeljene delce cementita v feritni osnovi, medtem ko je delež sferoidiziranih lamel v normaliziranem vzorcu okoli 20 %.

Viri:

- [1] Kveder, A. *Metalurški priručnik: Toplotna obdelava jekla*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1971, 742-743 str.
- [2] *International standard ISO 9950: Industrial quenching oils Determination of cooling characteristics – Nickel-alloy probe test method*, 1995
- [3] Rečnik, S. *Vpliv toplotne obdelave na sferoidizacijo jekla C60*. Ljubljana : Oddelek za materiale in metalurgijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, 2016

VZDRŽEVANJE V SKLOPU INDUSTRIJE 4.0

Dušan BOŽIČ¹, Jochen KINAUER², Klemen LISEC¹

¹Inden d.o.o.

²camLine GmbH

IZVLEČEK

Serijska proizvodnja se mora za dosego visoke učinkovitosti, fleksibilnosti in stabilnosti procesov osredotočiti tudi na avtomatizacijo postopkov vzdrževanja. Naloga pametnega vzdrževanja je več kot le organizacija vzdrževalnega osebja! V sklopu vzdrževanja je potrebno še analizirati procesne parametre, nadzorovati tok materiala, zagotavljati zadostno število rezervnih delov, koordinirati delo vzdrževalcev in pri tem vse aktivnosti tudi dokumentirati. Dodatno je potrebno v okoljih z visoko stopnjo kompleksnosti proizvodnje in velikim številom naprav, aktivnosti pri vzdrževanju beležiti in pridobljene izkušnje dokumentirati kot primere dobre prakse ali angleško »Best Known Methods (BKM)«. V izogib zastojem mora biti vzdrževanje koordinirano tudi s pametnim načrtovanjem proizvodnje, zagotavljanje rezervnih delov, pa mora biti izvedeno s pomočjo integracije z ERP sistemom. Na podlagi primerov iz proizvodnje v prispevku predstavljamo postopke za pametno vzdrževanje v okviru industrije 4.0.

1 UVOD

Serijska proizvodnja se mora za dosego visoke učinkovitosti, fleksibilnosti in stabilnosti procesov osredotočiti tudi na avtomatizacijo postopkov vzdrževanja. Pri tem so izzivi s katerimi se soočajo vzdrževalci zelo različni, kar terja sistematičen pristop in informacijsko podporo njihovem delu. Naloga pametnega vzdrževanja je namreč več kot le organizacija vzdrževalnega osebja! V sklopu vzdrževanja je potrebno še analizirati procesne parametre, nadzorovati tok materiala, zagotavljati zadostno število rezervnih delov, koordinirati delo vzdrževalcev in pri tem vse aktivnosti tudi dokumentirati.

Glavni izzivi pri vzdrževanju opreme v proizvodni liniji so sledeči:

- zagotavljanje konsistentnosti,
- zagotavljanje kakovosti,
- priprava poročil,
- enostavna uporaba in
- avtomatizacija.

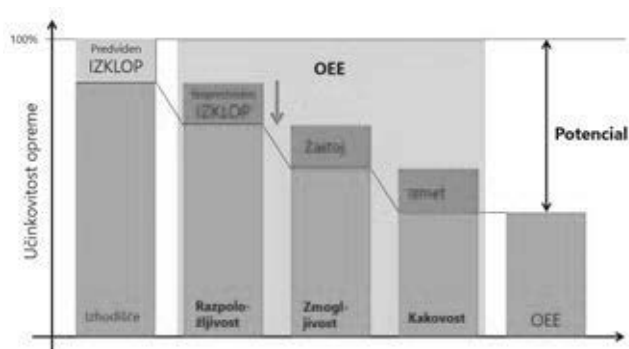
Zagotavljanje konsistentnosti izvajanja vzdrževalnih del lahko predstavlja težavo, ko mora med seboj sodelovati več vzdrževalnih ekip v različnih izmenah. Pri tem je potrebno zagotoviti učinkovit prenos informacij o

predvidenih in izvedenih vzdrževalnih delih med ekipami. Nadalje je potrebno po izvedbi vzdrževalnih del kakovost izvedbe del tudi evalvirati. To lahko storimo s spremljanjem stanja opreme in ključnih kazalnikov učinkovitosti (angl. Key Performance Indicators), kot je na primer OEE. Pri uporabi informacijskih sistemov za podporo vzdrževanju pa je pomembna tudi njihova enostavna uporaba, ki omogoča uporabniku načrtovanje in spreminjanje vzdrževalnih postopkov brez posebnih računalniških znanj. Izzive pri vzdrževanju opreme pa zaključuje avtomatizacija procesa načrtovanja vzdrževanja, ki na podlagi stanja opreme avtomatično posodablja načrt vzdrževanja, kar lahko prihrani veliko časa in izboljša izkoriščenost opreme.

V nadaljevanju prispevka, v poglavju 2, najprej na primeru OEE kazalnika predstavimo kako lahko identificiramo skrite priložnosti za izboljšanje učinkovitosti opreme, v poglavju 3 predstavimo tri različne načine vzdrževanja opreme in sicer korektivno vzdrževanje opreme v podpoglavju 3.1, preventivno vzdrževanje v podpoglavju 3.2 in prediktivno vzdrževanje v podpoglavju 3.3. Na koncu pa sledi še predstavitev primera iz prakse v poglavju 4. Članek zaključujemo s poglavjem 5 v katerem so zbrane sklepne misli.

2 OEE - SKRITE PRILOŽNOSTI

Osrednji kazalnik učinkovitosti v vsaki proizvodnji liniji predstavlja kazalnik OEE (angl. Overall Equipment Efficiency). Z dobrim poznavanjem strukture kazalnika je mogoče identificirati vzroke za nižjo proizvodnjo učinkovitost in identificirati skrite priložnosti za izboljšave v proizvodnji liniji. Slika 1 prikazuje zgradbo kazalnika OEE in področja, kjer se skrivajo priložnosti za izboljšanje učinkovitosti proizvodnje.



Slika 1: OEE – Skrite priložnosti

Na Slika 1 lahko vidimo, da na učinkovitost proizvodnje vplivajo različni dejavniki, ki jih lahko glede na vpliv v grobem razdelimo v tri skupine in sicer: razpoložljivost, zmogljivost in kakovost. Težave na kateremkoli izmed zgoraj navedenih področji se neposredno manifestirajo v slabši proizvodnji učinkovitosti in posledično zmanjšanju kazalnika OEE.

Čeprav so si področja na prvi pogled različna, pa imajo eno skupno točko in sicer vzdrževanje opreme. S pomočjo vzdrževanja opreme v proizvodni liniji namreč zagotavljamo, da imamo pri obratovanju čim manj nenačrtovanih prekinitev, zastojev in izmeta kot posledica nepravilnega ali nerednega vzdrževanja opreme. V naslednjem poglavju podajamo pregled različnih načinov vzdrževanja opreme v proizvodnji.

3 VZDRŽEVANJE OPREME

V proizvodnji z visoko stopnjo kompleksnosti, ki jo prinaša industrija 4.0 in vse večjo količino podatkov, ki so nam pri tem na voljo, se tudi nabor različnih načinov vzdrževanja opreme

veča. Vzdrževanje opreme lahko tako razdelimo v tri skupine in sicer:

- korektivno vzdrževanje,
- preventivno/pogojno vzdrževanje in
- prediktivno vzdrževanje.

Slika 2 prikazuje različne tipe vzdrževanja opreme, ki se uporabljajo v proizvodnji.



Slika 2: Različni načini vzdrževanja opreme

V nadaljevanju poglavja podajamo podrobno predstavitev vsakega izmed navedenih tipov vzdrževanja opreme.

3.1 Korektivno vzdrževanje

Najosnovnejšo obliko vzdrževanja predstavlja korektivno vzdrževanje, ki je v mnogih industrijah prisotno še danes. Pri korektivnem vzdrževanju gre pravzaprav za vzdrževanje po potrebi, torej ko pride do okvare. Korektivno vzdrževanje posledično po navadi spremlja še nepričakovan izpad proizvodnje, hkrati pa lahko predstavlja tudi potencialno varnostno tveganje za zaposlene. Uporaba korektivnega vzdrževanja mora biti zato omejena le na tista področja, kjer okvare ne predstavljajo varnostnih tveganj, učinki okvare niso kritični, stroški nepredvidene zaustavitve proizvodnje pa niso visoki.

Pri korektivnem vzdrževanju je potrebno voditi evidenco napak in seznam opravljenih del. Prednosti korektivnega vzdrževanja pa predstavlja prihranek časa pri načrtovanju popravil (načrtovanje ni potrebno) in pa stroškovni prihranek, saj prav tako ne potrebujemo integracije opreme.

3.2 Preventivno/pogojno vzdrževanje

Preventivno oziroma pogojno vzdrževanje je običajen način vzdrževanja opreme v večini proizvodnih podjetjih. Vzdrževalna dela na

opremi se pri tem načinu vzdrževanja izvajajo ob konstantnem časovnem intervalu ali pa so pogojena s številom ciklov, odvisno od narave procesa oziroma opreme, ki jo vzdržujemo.

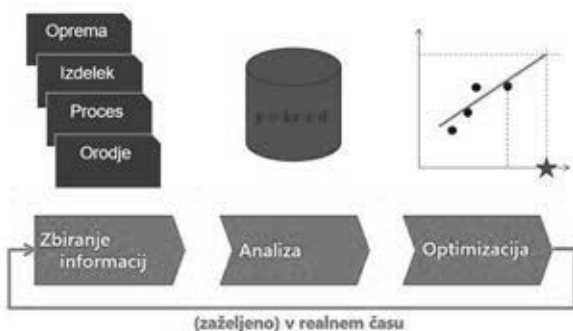
Preventivno vzdrževanje se uporablja tam, kjer je potrebno zadostiti garancijskim pogojem opreme. Prav tako pa se uporablja tudi za preprečitev nepričakovanih okvar in posledično popravil, ki jih je nemogoče načrtovati. Kontinuirano vzdrževanje zagotavlja tudi povečanje razpoložljivosti opreme in zmanjšuje možnost napak pri proizvodnji. Z zmanjšanjem napak pri proizvodnji pa se posledično zmanjša tudi izmet, kar pomeni večjo izkoriščenost opreme in nižje stroške.

Pri preventivnem vzdrževanju je potrebno voditi evidenco napak in seznam opravljenih del. Potrebno je tudi načrtovanje aktivnosti, integracija opreme pa je dobrodošla pri analizi ciklov in vpliva na proizvodnjo kakovost.

Naslednjo stopnjo pri vzdrževanju pa predstavlja prediktivno vzdrževanje, ki ga podrobno predstavljamo v naslednjem poglavju.

3.3 Prediktivno vzdrževanje

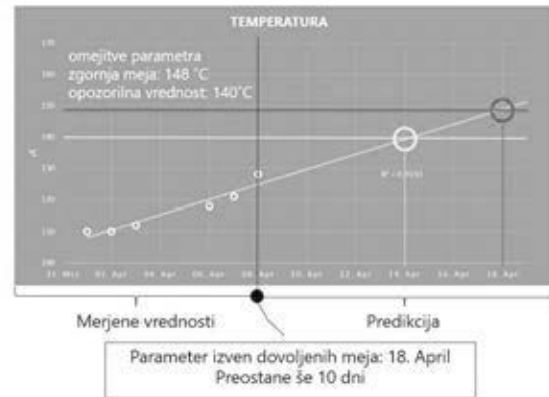
Vzdrževanje v proizvodnem procesu predstavlja motnjo, ki znižuje učinkovitost in predstavlja dodatne stroške, zato si želimo, da je vzdrževanje opreme izvedeno ravno takrat ko je potrebno, vendar čim redkeje, da so motnje proizvodnega procesa čim krajše. Za doseg zastavljenega cilja pa je potrebno sistematično zajemati in analizirati različne podatke vezane na proizvodni proces, kot to prikazuje Slika 3.



Slika 3: Prediktivno vzdrževanje

Poznamo več načinov prediktivnega vzdrževanja, pri čemer najbolj osnovo obliko predstavlja analiza trendov ključnih proizvodnih

parametrov. Enostaven prikaz analize trenda procesnega parametra (temperature) predstavlja Slika 4.



Slika 4: Napovedovanje s pomočjo analize trendov

Iz slike je razvidno, da na podlagi meritev (beli krogi) s pomočjo matematičnih metod najprej izračunamo trendno linijo. Na podlagi presečišča trendne linije in opozorilne vrednosti ter zgornje meje parametra pa lahko nato določimo optimalno časovno okno za izvedbo vzdrževanja.

Naslednjo obliko prediktivnega vzdrževanja predstavlja vzdrževanje na podlagi prstnega odtisa. Pri tem načinu vzdrževanja nenehno spremljamo »prstni odtis« nekega parametra in ga primerjamo z referenčno vrednostjo odtisa. Pri tem lahko uporabimo različne procesne parametre. Primer analize prstnega odtisa prikazuje Slika 5.



Slika 5: Napovedovanje s pomočjo »prstnega odtisa«

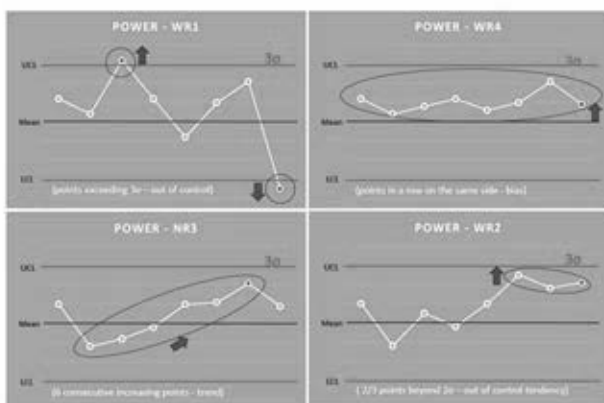
Slika na levi strani prikazuje »prstni odtis«, torej predvideno obliko procesnega parametra, na desni strani pa prikazuje dejanske meritve z

analizo odstopanj in trendno linijo. Pri analizi prstnih odtisov je potrebno nenehno izračunavanje trendnih linij z analizo izmerjenih vrednosti ter sprotno prilagajanje načrta vzdrževanja.

Izzivi, ki se porajajo pri tem načinu vzdrževanja so naslednji:

- identifikacija procesnih parametrov za prstne odtise,
- sinhronizacija zajema meritev,
- izločitev napačno izmerjenih vrednosti,
- določitev trendne linije in
- ponovna določitev »prstnih odtisov« po izvedenih vzdrževalnih delih.

Tretji način prediktivnega vzdrževanja pa predstavlja predikcija s pomočjo statističnih metod. Pri tem gre za realno-časovno analizo procesnih parametrov s pomočjo različnih statističnih metod. Pri tem gre pravzaprav za uporabo različnih standardiziranih pravil, ki jih prikazuje Slika 6. Na slikah so prikazane različna neželena stanja v proizvodnji. Zgoraj levo in spodaj desno sta prikazani kršitve mejnih vrednosti pri dveh oziroma treh standardnih odklonih parametra. Spodaj desno je prikazan trend naraščanja, zgoraj desno pa je prikazan odmik od srednje vrednosti. Vsa prikazana stanja prikazujejo alarme, katerih vzrok pa je lahko tudi v slabem oziroma pomanjkljivem vzdrževanju opreme.



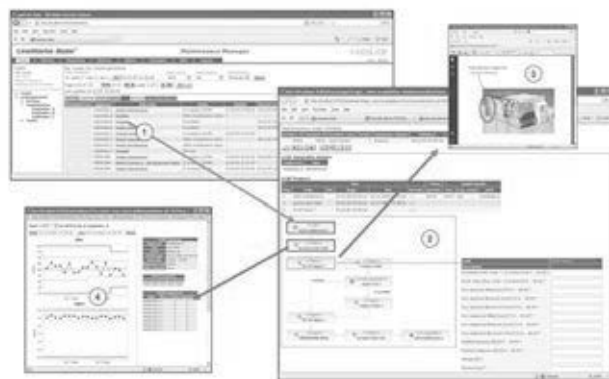
Slika 6: Western Electric & Nelson rules, [1-2]

Slabost uporabe statističnih metod je ta, da potrebujejo veliko število izračunov (veliko računske moči), nudijo pa le detekcijo težav, brez napovedi.

4 PRIMER SISTEMA

Sodobni informacijski sistemi za podporo vzdrževanju združujejo različne funkcionalnosti, kot so na primer:

- seznam vzdrževalnih del za posamezno orodje,
- prikaz statusa opravil (v delu/pripravljeno/načrtovano),
- prikaz časovnega intervala operacije s prikazom zamude,
- navodila za vzdrževalce (po korakih + slikovno gradivo),
- zajem podatkov in validacija glede na mejne vrednosti,
- analiza podatkov in priprava poročil (npr. vsa izvedena vzdrževalna dela na opremi).



Slika 7: Sistem za podporo vzdrževanju

5 SKLEP

Z naraščanjem kompleksnosti proizvodnje in optimizacijo proizvodnih procesov, postaja zagotavljanje učinkovitega vzdrževanja opreme vse pomembnejše. Pri tem se vse pogosteje pri delu uporablja tudi informacijska podpora, ki pa mora podpirati različne principe vzdrževanja, saj le tako lahko svoj proces vzdrževanja optimiramo in s tem zagotovimo kar se da nemoteno proizvodnjo s čim manj prekinitvami.

Viri:

- [1] Montgomery, Douglas C.: *Introduction to Statistical Quality Control (5 ed.)*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] *Engineering Statistics Handbook*, NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods National Institute of Standards and Technology, 2006.

NAPREDNE METODE VEČKRITERIJSKE OPTIMIZACIJE V INDUSTRIJI 4.0

Robert OJSTERŠEK, Iztok PALČIČ, Borut BUCHMEISTER
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

V času hitrega razvoja podjetij, ki se na globalnem prostoru srečujejo z vpeljavo koncepta Industrije 4.0, ki temelji na masovni proizvodnji kupcu prilagojenih izdelkov, so napredne optimizacijske metode ključnega pomena. Optimizacijske metode omogočajo krajše pretočne čase in proizvodne cikle, manjše zaloge, večjo prilagodljivost, nižje stroške, večjo učinkovitost, visoko donosnost in kakovostne izdelke. Članek predstavlja vpeljavo simulacijskih metod večkriterijske optimizacije proizvodnje po naročilu. Pri tem želimo prikazati, kako pomemben vpliv ima optimizacija proizvodnje v Industriji 4.0. Predstavljamo vpliv robotizacije in avtomatizacije delovnih mest na produktivnost in učinkovitost proizvodnje. V članku je najprej opredeljen proizvodni proces, podprt s konceptom Industrije 4.0, kateremu sledi predstavitev simulacijskega modela, izdelanega na podlagi realnih vhodnih podatkov. Glede na izvedeno analizo obstoječega sistema je predlagana večkriterijska optimizacija pretočnih časov, zasedenosti delovnih mest in števila končanih izdelkov v simulacijskem obdobju. Končni rezultat predstavlja pomembnost vključevanja novih naprednih metod večkriterijske optimizacije v namen pravilnega implementiranja koncepta Industrije 4.0 v obstoječ proizvodni proces.

1 UVOD

Koncept Industrije 4.0 [1] se vse bolj pogosto uporablja tako na globalnem kot v slovenskem prostoru. Orientiran je na visoko tehnološke pametne tovarne in sledi prvim trem industrijskim revolucijam. Prvi, ki se je nanašala na mehanizacijo, drugi masovni proizvodnji in tretji avtomatizaciji. Lahko z zagotovostjo trdimo, da je ključnega pomena optimizacija proizvodnih procesov s ciljem zagotovitve konkurenčnosti podjetja. Zaradi kompleksnosti proizvodnih procesov bomo v članku predstavili napredne metode večkriterijske optimizacije, navezujoče se na pet stopenjski arhitekturni model kibernetško-fizičnega sistema (ang. Cyber-Physical System, CPS) [2, 3].

V prvem delu članka je predstavljen petstopenjski arhitekturni model. Sledi aplikativen primer uporabe naprednih večkriterijskih optimizacijskih metod. Članek je zaključen s predstavitvijo pomembnosti pravilne

integracije koncepta Industrije 4.0 v obstoječ proizvodni sistem.

2 PETSTOPENJSKI CPS ARHITEKTURNI MODEL

Na sliki 1 je prikazan petstopenjski CPS arhitekturni model, ki je opredeljen kot sodoben mehanizem za spremljanje in nadzorovanje proizvodnih sistemov (PS) [4]. Ta ponuja informacijsko okolje za optimiranje in planiranje naslednjih parametrov: upravljanje s človeškimi viri, zagotavljanje fleksibilnosti in ohranjanje produktivnosti PS [5]. V nadaljevanju članka je predstavljen aplikativni primer uporabe naprednih metod večkriterijske optimizacije, ki se nanaša na upoštevanje vseh petih nivojev arhitekturnega modela.

Prvi nivo arhitekturnega modela splošno predstavlja inteligentno-komunikacijski nivo, ki se nanaša na (ang. Plug & Play) aplikacije, odprtokodne komunikacijske protokole in senzorska omrežja. Drugi nivo ali podatkovno-

informacijsko-konverzijski nivo omogoča inteligentne analitične algoritme za večkriterijsko podatkovno optimizacijo in oceno optimalnih rešitev. Tretji nivo ali kibernetski nivo omogoča uporabo digitalnega dvojčka med osnovnimi komponentami in zaključenimi sklopi, podatkovno-časovne strukture ter uporabo metod množice pri podatkovnih strukturah. Četrty nivo ali kognitivni nivo omogoča integracijo simulacijskih okolij s podatkovnimi nizi, vizualizacijo za uporabnika in kolaborativne diagnostične in odločitvene modele. Najvišji, peti nivo oz. t. i. konfiguracijski nivo se nanaša na rekonfigurabilne, samo-adaptivne in samo-optimizacijske algoritme.

Omenjen arhitekturni model si deli podobnost z internetom stvari, vendar omenjen model predstavlja višje-nivojsko stopnjo povezovanja fizičnih in digitalnih elementov. V času, ko Industrija 4.0 predstavlja vse bolj aktualno področje, opredeljeno s CPS modelom, prehajamo v dobo kibernetske proizvodnje (ang. cyber manufacturing, CM).



Slika 1: CPS arhitekturni model

3 APLIKATIVNI PRIMER UPORABE CPS MODELA

V nadaljevanju je predstavljena aplikativna implementacija CPS modela na primeru naprednih metod večkriterijske optimizacije PS. V levem stolpcu tabele 1 lahko vidimo pet nivojev zgoraj predstavljenega CPS arhitekturnega modela, v desnem stolpcu pa je predstavljena arhitekturna opredelitev realnega PS.

Tabela 1: Aplikativni CPS model

Arhitekturni nivo	Opredelitev PS
1. <i>Inteligentno-komunikacijski nivo</i>	Vhodni podatki realnega PS, primerni za simulacijski model.
2. <i>Podatkovno-informacijsko-konverzijski nivo</i>	Uporaba vhodnih podatkov za ocenitveni algoritem.
3. <i>Kibernetski nivo</i>	Uporaba metod množice s ciljem določitve optimalnih rešitev.
4. <i>Kognitivni nivo</i>	Izgradnja simulacijskega modela s ciljem večkriterijske optimizacije PS.
5. <i>Konfiguracijski nivo</i>	Uporaba adaptivnih metod s ciljem določitve optimalnih rešitev.

1. Inteligentno-komunikacijski nivo: vhodni podatki realnega PS so zajeti preko analitičnih orodij in naprednih senzorskih sistemov obstoječega PS, podprtega s konceptom Industrije 4.0. Kot opombo je potrebno navesti, da kakovost zajetih in obdelanih vhodnih podatkov bistveno vpliva na vse naslednje arhitekturne nivoje.
2. Podatkovno-informacijsko-konverzijski nivo: v našem primeru uporabljamo hevristični Kalmanov algoritem (HKA) [6] za ocenitev optimalnih rešitev večkriterijske optimizacije PS. S pomočjo estimacije lahko napovemo optimalne oz. skoraj optimalnih (ang. near optimum, NO) rešitve večih kriterijev PS (pretočni časi, zasedenost delovnih mest in strojev ter število končanih izdelkov v simulacijskem obdobju).
3. Kibernetski nivo: značilnost HKA je, da se ob oceni NO rešitev pojavi negativni šum, ki prispeva k relativni napaki ocenjene vrednosti [7]. V ta namen uporabljamo metodo množic, ki omogoča uporabo zgolj najboljših rešitev.
4. Kognitivni nivo: na podlagi vseh predhodno zbranih podatkov PS in zgrajenih

matematičnih modela sledi izgradnja simulacijskega modela, prikazanega na sliki 2. Simulacijski model povzema vse značilnosti PS v realnosti, temu sledi izbira kriterijev optimizacije. Glede na kompleksnost PS in zgrajenega simulacijskega modela se lahko odločimo za izvedbo simulacijskih scenarijev [8], ki omogočajo podrobno simuliranje glede na prej predvidene karakteristike PS.

5. **Konfiguracijski nivo:** pridobljene rešitve simulacijskega in matematičnega modela zavisijo od funkcije časovne spremenljivke, kar splošno pomeni, da se rešitve glede na čas spreminjajo. V ta namen predlagamo vpeljavo adaptivnih odločitvenih metod določitve NO rešitev.

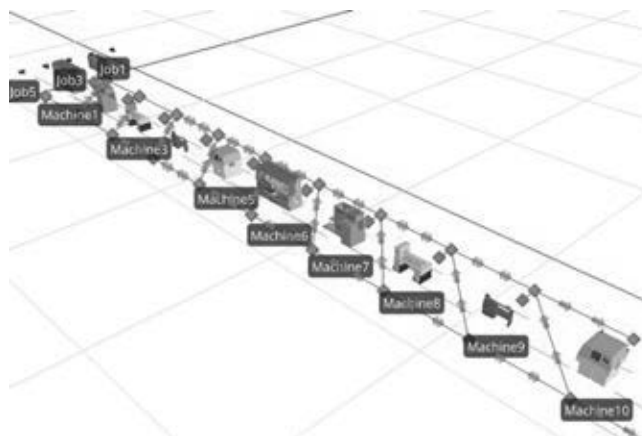
4 VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA SIMULACIJSKEGA MODELA PS

Simulacijski model PS je zgrajen v programskem orodju za izvedbo diskretnih simulacij. Temelj za izdelavo petstopenjskega simulacijskega modela je tri dimenzionalen model PS in njegovi vhodni podatki, predstavljeni v tabeli 2.

Tabela 2: Vhodni podatki simulacijskega modela Petstopenjski simulacijski Vhodni podatki model

1. korak: izdelava modela in dodelitev karakteristik obdelovalne linije.	Postavitev obdelovalne linije z vključujočimi dolžinami in razmerji.
2. korak: funkcijski opis PS.	Karakteristike obdelovalnih centrov in naprav.
3. korak: izdelava tri-dimenzionalnega modela.	Pot gibanja obdelovancev in transportnih sredstev.
4. korak: izvedba simulacije scenarijev delovanja obdelovalne linije glede na različne pogoje.	Opredelitev morebitnih dodatnih omejitev simulacijskega modela.
5. korak: ovrednotenje in analiza simulacijskih rezultatov.	Uporaba korelacijskih faktorjev v namen optimizacije modela.

Na sliki 2 je prikazan simulacijski model PS, zgrajena na podlagi predstavljenega petstopenjskega pristopa modeliranja. Obdelovalnim centrom in napravam so dodeljene karakteristike predvidenih naprav, medsebojne odvisnosti so opredeljene z matematičnimi funkcijskimi zapisi.



Slika 2: Simulacijski model

4.1 Opis proizvodnega sistema

Proizvodni sistem sestavlja deset strojev, ki so kompatibilni s konceptom Industrije 4.0, na teh strojih se izvaja deset naročil. Prihodi naročil so prikazani v tabeli 3, pri tem so posamične serije majhne, število različnih izdelkov pa veliko. Opisan PS kategoriziramo kot PS s proizvodnjo po naročilu. Glede na simulacijske rezultate scenarija 1, ki je opredeljen kot referenčni scenarij, smo na podlagi ugotovljenih ozkih grl izvedli večkriterijsko optimizacijo v dveh korakih (simulacijski scenarij 2 in 3). Pri scenariju 2 smo predlagali vpeljavo CPS modela. Rezultati so prikazani v tabeli 4. Poleg vpeljave CPS pri scenariju 2 smo pri scenariju 3 implementirali še metodo HKA.

Tabela 3: Zaporedje operacij in procesni časi naročil

Naročilo	(zaporedje, procesni čas)									
Naročilo 1	(1, 29)	(2, 78)	(3, 9)	(4, 36)	(5, 49)	(6, 11)	(7, 62)	(8, 56)	(9, 44)	(10, 21)
Naročilo 2	(1, 43)	(3, 90)	(5, 75)	(10, 11)	(4, 69)	(2, 28)	(7, 46)	(6, 46)	(8, 72)	(9, 30)
Naročilo 3	(2, 91)	(1, 85)	(4, 39)	(3, 74)	(9, 90)	(6, 10)	(8, 12)	(7, 89)	(10, 45)	(5, 33)
Naročilo 4	(2, 81)	(3, 95)	(1, 71)	(5, 99)	(7, 9)	(9, 52)	(8, 85)	(4, 98)	(10, 22)	(6, 43)
Naročilo 5	(3, 14)	(1, 6)	(2, 22)	(6, 61)	(4, 26)	(5, 69)	(9, 21)	(8, 49)	(10, 72)	(7, 53)
Naročilo 6	(3, 84)	(2, 2)	(6, 52)	(4, 95)	(9, 48)	(10, 72)	(1, 47)	(7, 65)	(5, 6)	(8, 25)
Naročilo 7	(2, 46)	(1, 37)	(4, 61)	(3, 13)	(7, 32)	(6, 21)	(10, 32)	(9, 89)	(8, 30)	(5, 55)
Naročilo 8	(3, 31)	(1, 86)	(2, 46)	(6, 74)	(5, 32)	(7, 88)	(9, 19)	(10, 48)	(8, 36)	(4, 79)
Naročilo 9	(1, 76)	(2, 69)	(4, 76)	(6, 51)	(3, 85)	(10, 11)	(7, 40)	(8, 89)	(5, 26)	(9, 74)
Naročilo 10	(2, 85)	(1, 13)	(3, 61)	(7, 7)	(9, 64)	(10, 76)	(6, 47)	(4, 52)	(5, 90)	(8, 45)

Rezultati, navedeni v tabeli 4, jasno prikazujejo odpravo ozkih grl zgoraj predstavljenega PS glede na tri kriterije. Simulacijskih rezultati odstopajo za $\pm 2\%$, saj predstavljajo povprečne vrednosti desetih ponovitev teka simulacijskega modela.

Tabela 4: Rezultati večkriterijske optimizacije PS

Optimizacijski kriterij	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
Število končanih izdelkov v simulacijskem času	754	856	894
Povprečni pretočni čas enega izdelka [h]	21,9	17,8	16,2
Povprečna zasedenost [%]	53,89	60,12	63,47

5 SKLEP

Z vpeljavo metahevrstičnih metod in CPS modela smo optimirali PS, podprt s konceptom Industrije 4.0. Večkriterijska optimizacija števila končanih izdelkov, povprečnih pretočnih časov in povprečne zasedenosti obdelovanih centrov prikazana v tabeli 4. Glede na dobljene rezultate opazimo, da se pri vpeljavi CPS modela število končanih izdelkov zviša za 14 %, pri tem se skrajša pretočni čas za 4,1 h. Z implementacijo petnivojskega arhitekturnega modela v PS opazimo zvišanje povprečne zasedenosti obdelovalnih centrov, ob tem pa se zmanjša čas čakanj na izvajanje naslednje operacije. Pri vpeljavi HKA in uporabi CPS modela se rezultati

optimizacije še izboljšajo, kar lahko pripišemo naprednemu HKA algoritmu. Število končanih izdelkov se zviša za 18 % glede na referenčni scenarij, pretočni čas enega izdelka se zmanjša na 16,2 h, kar predstavlja 5,4 urno zmanjšanje pretočnega časa. Nekoliko se zviša povprečna zasedenost obdelovalnih centrov. Predstavljeni rezultati potrjujejo v uvodu predstavljeno hipotezo, kako pomembni so inovativni pristopi večkriterijske optimizacije in uporabe simulacijskih programskih orodij v Industriji 4.0.

Viri

- [1] Schwab K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Cologny/Ženeva, Švica.
- [2] Hinderer, K.; Rieder, U.; Stieglitz, M. (2016). *Dynamic Optimization*, Springer Science-Verlag, New York.
- [3] T'kindt, V.; Billaut, J. C. (2006). *Multicriteria Scheduling*, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling Theory, Algorithms and Systems*, Springer Science+Business Media, LLC, New York.
- [5] Buchmeister, B. (1996). *Vodenje proizvodnje z dinamičnim oblikovanjem čakalne vrste po spremenljivih strategijah* : doktorska disertacija. Maribor: Fakulteta za strojništvo.
- [6] Ojstersek, R.; Zhang, H.; Palcic, I.; Buchmeister, B. (2017). Use of Heuristic Kalman Algorithm for JSSP, *Proceedings of the XVII International Scientific Conference on Industrial Systems*, str. 72-78.
- [7] Zhang, H.; Liu, S.; Moraca, S.; Ojstersek, R. (2017). An Effective Use of Hybrid Metaheuristic Algorithm for Job Shop Scheduling Problem, *International Journal of Simulation Modelling*, let. 16, št. 4, str. 644-658.
- [8] Ojstersek, R.; Buchmeister, B. (2017). Use of Simulation Environments for the Purpose of Production Optimization, *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, str. 750-758.

VPLIV PARAMETROV MEHANSKE OBDELAVE NA POVRŠINSKO POROZNOST ZAPRTO-CELIČNE PENE FOAMTECH®

Boštjan RAZBORŠEK, Ivo PAHOLE, Mirko FICKO

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Aluminijaste pene so eden izmed materialov, ki se šele uveljavlja na področju modernega inženirstva. Njihova uporaba je prisotna na področjih, kjer se zahtevajo lahke konstrukcije, ki morajo prenašati mehanske in termične obremenitve ali imeti sposobnost absorpcije udarne energije. Elementi iz aluminijastih pen imajo običajno porozno jedro, ki ga obdaja tanka plast neporozne zunanje površine. Ta plast bistveno vpliva na homogenost in mehanske lastnosti elementa, ima pa tudi funkcijo zaščite pred notranjo korozijo. Mehanska obdelava z odrezovanjem takšno strukturo deformira, kar ima za posledico zmanjšanje trdnostnih lastnosti. Da bi ohranili trdnostne lastnosti, je potrebno po obdelavi z odrezovanjem izvesti postopek preoblikovanja površine do te mere, da postane obdelana površina neporozna.

Prispevek opisuje mehansko obdelavo vzorcev zaprto-celične aluminijaste pene določene površinske poroznosti s komercialnim imenom Foamtech®. Uporabili smo postopek tornega preoblikovanja s čelnim in bočnim delom preoblikovalnega orodja iz karbidne trdine. Vzorci so bili izdelani s pomočjo tračne žage z minimalno deformacijo površine ter obdelani z določenimi parametri obdelave (globino preoblikovanja, podajalno hitrostjo in število vrtljajev). Obdelano površino smo obarvali, zaradi boljšega kontrasta med poroznim in neporoznim delom površine. Izdelali smo digitalne fotografije obdelane površine ter jih s pomočjo programske opreme in pragovnega algoritma analizirali. Za vsak vzorec smo izračunali spremembo površinske poroznosti ter določili vpliv parametrov obdelave na poroznost obdelane površine.

1 UVOD

Kovinske pene predstavljajo relativno novo vrsto materiala, ki se razvija na osnovi oponašanja struktur in lastnosti naravnih celičnih materialov, kot so les, korale, kosti, itd. So razred materialov z izredno nizko gostoto in visoko poroznostjo. S svojo edinstveno kombinacijo lastnosti, ki izhajajo na eni strani iz lastnosti celične strukture, na drugi strani pa iz lastnosti osnovnega materiala, imajo kovinske pene velik potencial uporabe v prihodnosti. Z razvojem kovinskih pen so se začeli ukvarjati v petdesetih letih prejšnjega stoletja. Razvitih je bilo veliko postopkov proizvodnje pene, ki pa so v glavnem omogočali učinkovit nadzor nad gostoto pene, ne pa tudi nadzor rasti celičnih struktur. To je posledično vodilo do nepredvidljivih strukturnih in mehanskih lastnosti končnega izdelka, kar je bil glavni razlog za pomanjkanje komercialne uporabe kovinskih pen za zahtevne izdelke v avtomobilski, železniški in letalski industriji. V zadnjih letih so nove raziskave in optimizacijami postopkov doprinesle k rešitvi tega problema, kar

je pomenilo, da je postala komercialna uporaba teh materialov z izjemnimi lastnosti, mnogo širša.

Najpomembnejše raziskave na področju aluminijastih pen, so danes orientirane v dve smeri. Prva smer predstavlja raziskave proizvodnje pen, druga pa je usmerjena v aplikacije izdelkov aluminijastih pen in v tehnologijo obdelave. Slednje predstavlja načine, kako priti do končnih oblik izdelkov. Nekateri proizvajalci izdelkov iz aluminijastih pen se odločajo za izvedbo s penjenjem v ustrezne kalupe, ki imajo končno obliko izdelka. Takšen način je zaradi ustrezno formirane porozne strukture in neporozne zunanje površine trdnostno ugodnejši. Slaba stran je visoka cena izdelave kalupov, kar ni rentabilno pri majhnih serijah izdelkov. Drugi način je uporaba sekundarnih operacij (mehanska obdelava z odvzemanjem materiala) za doseganje končnih oblik izdelkov. Kot polizdelki se uporabljajo pločevine, palice, bloki iz aluminijaste pene izdelane s poljubnim postopkom penjenja. Takšni polizdelki imajo najpogosteje porozno jedro in neporozno tanko zunanjo površino. Jedra imajo lahko različno stopnjo poroznosti, odvisno parametrov penjenja.

Mehanska obdelava aluminijastih pen v osnovi ne predstavlja posebnih težav. Težave se pojavijo zaradi deformiranja celic in odpiranja zunanje površine (Slika 1). Le-ta postane po obdelavi izjemno porozna z močno deformiranimi celicami, kar ima za posledico spremembo mehanskih lastnosti elementa.



Slika 1: Struženje polizdelka iz aluminijaste pene

2 OPIS PROBLEMA

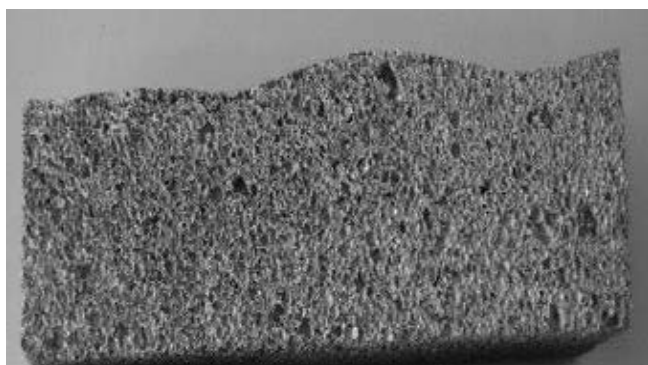
Pri obdelavi elementov iz kovinskih pen izdelanih s penjenjem v kokilih, pride do odstranitve tankega sloja neporozne zunanje površine, s čimer je porušena površinska kompaktnost, napetostne silnice pa so prekinjene. Takšni izdelki so trdnostno oslabljeni, zaradi majhne trdote in trenja med elementi v sklopih pa hitro pride do obrabe. Za izboljšanje kvalitete zunanje površine in s tem mehanskih lastnosti ter obrabne in korozijske obstojnosti kovinskih pen je bilo razvitih več metod in postopkov. Maurer s sodelavci [1] se je ukvarjali z uporabo termičnih površinskih prevlek. Uporabil je različne tehnike in vrste nanosa površinske zaščite, glede na končno uporabo (povečana odpornost proti obrabi, abrazivna odpornost, korozijska odpornost). Končna učinkovitost zaščite je bila odvisna od materiala površinske zaščite, vrste in parametrov postopka ter priprave površin. Na ta način je dosegel povečanje trdnostnih lastnosti in kakovosti površine kovinskih pen. S stopnjo površinske poroznosti poroznih materialov, je tako mogoče izboljšati funkcijske lastnosti materiala in povečati razmerje med trdnostjo in

maso. Banhart s sodelavci [2], govori o povečani tlačni trdnosti elementov iz kovinskih pen izdelanih z ekspanzijo v kokilo, zaradi zunanje neporozne plasti. Zunanja neporozna plast, ima tudi funkcijo zaščite visoko poroznega materiala. Ashby [3] in Gibson [4] s sodelavci govorita o uporabi ustreznih sendvič plošč z visoko porozno notranjostjo in ustrezno debelo homogeno zunanjo plastjo. Zaradi homogene zunanje plasti se poveča tlačna, torzijska, natezna in upogibna trdnost. Izboljšanje mehanskih lastnosti kovinskih pen, je mogoče tudi s polnjenjem odprtih celic na površini. Kitazono [5] s sodelavci se je ukvarjal z metodo infiltracije poliesterske smole v odprto celično zunanjo površino aluminijaste pene. Tlačna trdnost in sposobnost absorpcije energije se je zelo povečala. Nekateri preoblikovalni postopki so bili uporabljeni za obdelavo porozne zunanje površine kovinskih pen. Koriyama [6] s sodelavci je uporabili postopek obstreljevanja površine (shot peening) poroznega bakra z jeklenimi kroglicami. Lobos [7] s sodelavci je za enak material uporabil postopek žičnega ščetkanja porozne površine. V obeh primerih je prišlo do plastične deformacije sten celic in do nastanka neporozne plasti fine granulacije. Matsumoto [8] s sodelavci je s postopkom kombinacije inkrementalnega preoblikovanja in trenja, plastično deformiral površino zaprto celične aluminijaste pene. Orodje iz hitroreznega jekla in visokimi vrtljaji, je na različnih globinah pomikal po površini in tako izdelal tanek sloj neporozne površine, brez deformacije oziroma porušitve material v notranjosti. Tudi Yong-Jai [9] se je ukvarjal s plastično deformacijo površine aluminijaste pene. Površino aluminijast pene, obdelano z elektro erozijo, je preoblikoval s postopkom tornega preoblikovanja in valjanja. Morfologija površine je bila po obdelavi bistveno spremenjena. Površina je bila gostejša in precej bolj gladka, s čimer so bile povečane vezne karakteristike površine. Na tako obdelano površino, je s pomočjo obojestranskega adhezivnega lepilnega traku vezal aluminijasti T-profil ter preizkušal karakteristike spoja.

3 MATERIALI IN METODE

Stopnja površinske poroznosti zelo vpliva na trdnostne lastnosti končnih izdelkov iz kovinskih

pen. V raziskovalnem delu smo preučili vpliv parametrov mehanske obdelave na stopnjo površinske poroznosti. Uporabili smo dva postopka, in sicer postopek enotočkovnega inkrementalnega preoblikovanja ter postopek tornega valjanja. Oba postopka sta dobro poznana pri preoblikovanju pločevine. Za preizkušanje smo uporabili zaprto celično aluminijasto peno s komercialnim imenom Foamtech®, dobavitelja AlCarbon (Slika 2). Tehnične lastnosti materiala so v tabeli 1.



Slika 2: Aluminijasta pena Foamtech®

klasifikacija	enote	vrednost
Osnovne lastnosti		
Material/litina	/	Al. (97,5 % ≥) / AA.1070
Struktura	/	Zaprto-celična
Fizikalne lastnosti		
Tlačna trdnost	MPa	1,0 ~ 1,8
Natezna trdnost	MPa	0,5 ~ 1,2
Strižna trdnost	MPa	0,7 ~ 1,5
Gostota	g/cm ³	0,15 ~ 0,3
Toplotna prevodnost	W/mK	~ 0,1
Absorpcija energije (50 % deformacija)	MJ/m ³	0,61 (pri gostoti 0,2 g/cm ³)

Tabela 1: Lastnosti aluminijaste pene Foamtech®

Vzorci za preizkušanje so bili izdelani na tračni žagi z uporabo hladilne tekočine in majhne podajalne hitrosti, s čimer je bila dosežena minimalna deformacije žagane površine.

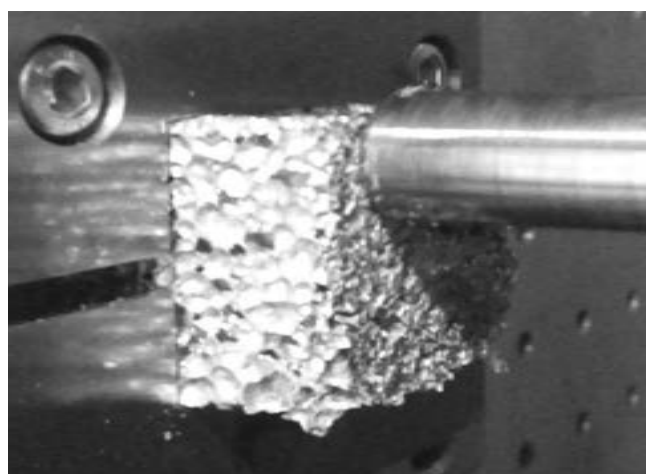
Dimenzije vzorcev so bile 50 x 40 x 40 mm (Slika 3).



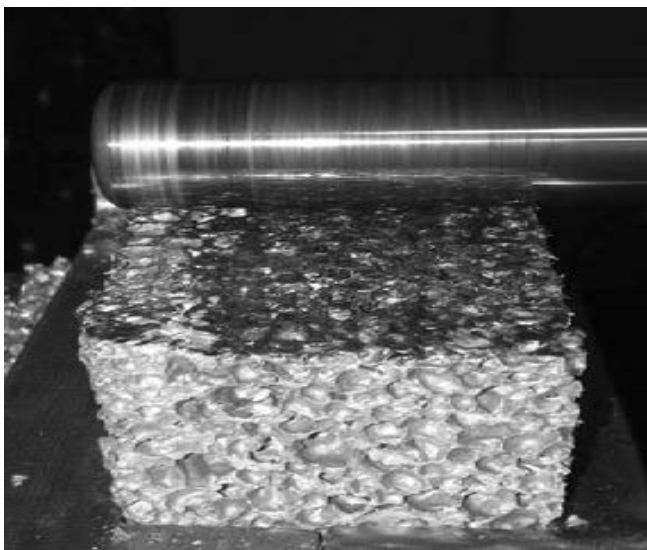
Slika 3: Vzorec dimenzij 50 x 40 x 40

Za vpenjanje vzorcev je bila skonstruirana in izdelana vpenjalna priprava, ki je omogočala togo vpenjanje preizkušancev, brez deformacije strukture zaradi vpenjalne sile.

Orodje za preoblikovanje je bilo izdelano iz karbidne trdine, premera 20 mm in zaokrožitvijo R1,5 mm (Slika 11). Površina orodja je bila brušena s površinsko hrapavostjo Ra 1,6. Obdelava je bila izvedena na 4-osnem, vodoravnem CNC rezkalnem stroju Heller BEA1. V prvi fazi je bilo izvedeno preoblikovanje s čelnim delom orodja (inkrementalno preoblikovanje) (Slika 4), v drugi pa z bočnim delom orodja (torno valjanje) (Slika 5).

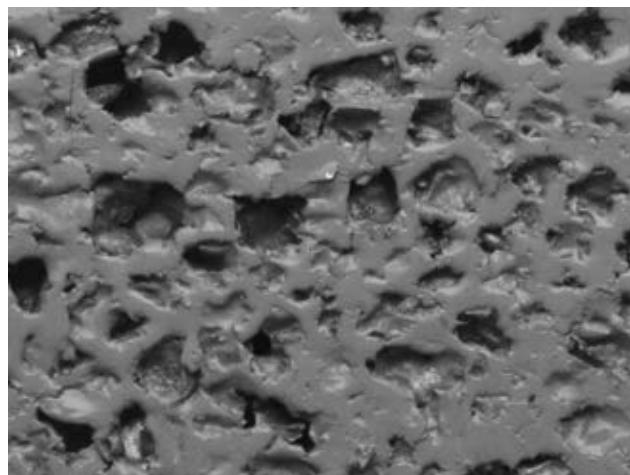


Slika 4: Inkrementalno preoblikovanje



Slika 5: Torno valjanje

Obdelava vzorcev je bila izvedena z različnimi kombinacijami tehnoloških parametrov. Spreminjali smo število vrtljajev orodja n , podajalno hitrost f in globino obdelave a . Število vrtljajev je znašalo 16 min^{-1} , 2000 min^{-1} ter 4000 min^{-1} . Podajalna hitrost je znašala 250 mm/min , 500 m/min ter 1000 mm/min . Skupna globina obdelave je znašala 2 mm , 4 mm ter 6 mm pri globini obdelave 1 mm pri enem prehodu orodja. Celotna površina vzorca je bila obdelana v treh istosmernih prehodih orodja, in sicer od leve proti desni strani. Skupaj je bilo obdelanih 27 preizkušancev aluminijaste pene s čelnim in 27 preizkušancev aluminijaste pene z bočnim preoblikovanjem. Obdelana površina je bila različno plastično deformirana, kar je imelo za posledico različno stopnjo površinske poroznosti. Deformirano površino smo rumeno obarvali, da smo dobili boljši kontrast med neporoznim in poroznim delom površine (slika 6).



Slika 6: Obarvana obdelana površina vzorca

Z rumeno barvo smo obarvali tudi deset neobdelanih vzorcev, katerih srednja vrednost površinske poroznosti je predstavljala referenčno vrednost za primerjanje z obdelanimi vzorci. Z digitalnim fotoaparatom visoke resolucije smo izdelali digitalne fotografije obdelane površine. Slike smo v programskem paketu Adobe Photoshop obdelali tako, da je bila velikost obdelane površine za analiz $45 \times 35 \text{ mm}$. S tem smo odstranili $2,5 \text{ mm}$ širok robni pas, ki je bil izpostavljen vplivom deformacije na robovih. S programskim paketom MATLAB in pragovnim algoritmom smo slike pretvorili v binarno obliko (Slika 7). Takšna oblika nam je omogočila izračun poroznega dela površine (točke v črni barvi) ter neporoznega dela površine (točke v beli barvi).

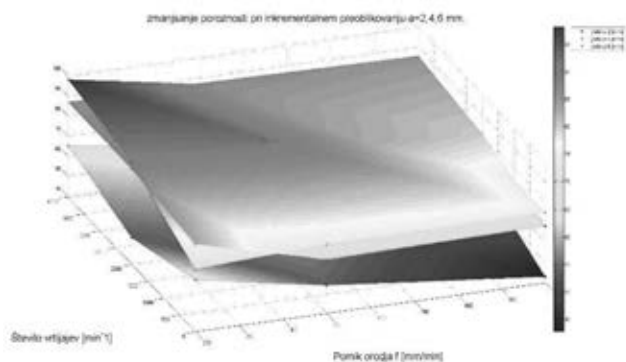


Slika 7: Binarna oblika slike

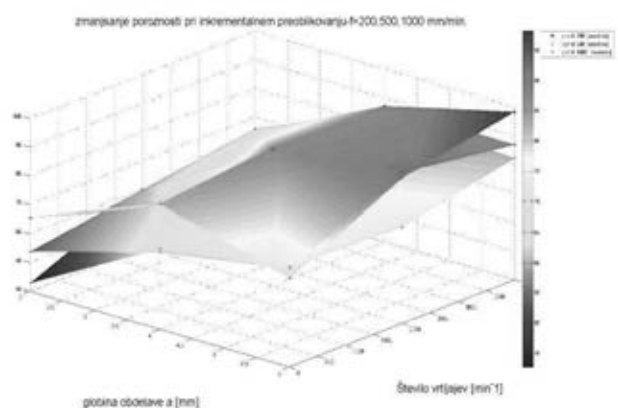
4 REZULTATI IN DISKUSIJA

Po obdelavi in analizi desetih referenčnih vzorcev, je bila izračunana srednja referenčna vrednost površinske poroznosti 52,63 %. Površinska poroznost posameznega referenčnega vzorca je od srednje vrednosti odstopala za ± 5 %.

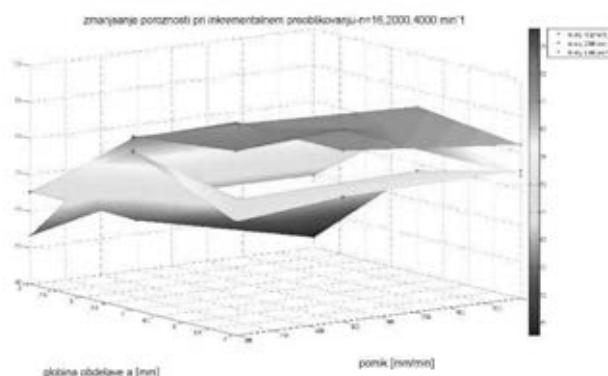
Po analizi vseh vzorcev, so bile izračunane posamezne vrednosti površinske poroznosti ter primerjane z referenčno vrednostjo. Rezultati so pokazali, da se je površinska poroznost po obdelavi z inkrementalnim preobliskovanjem (Slika 8, 9, 10) in tornim valjanjem (Slika 11, 12, 13) zmanjšala za več kot 50 % do 90 %.



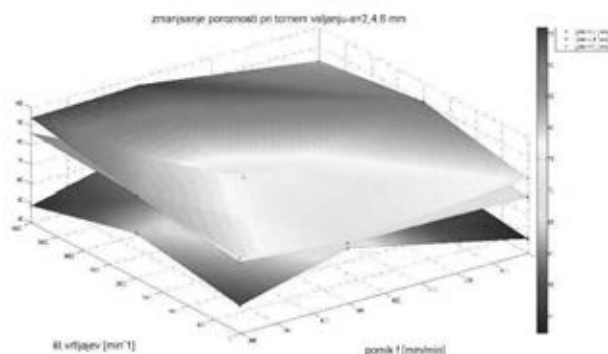
Slika 8: Zmanjšanje poroznosti pri inkrem. preobliskovanju in $a=2, 4$ in 6 mm



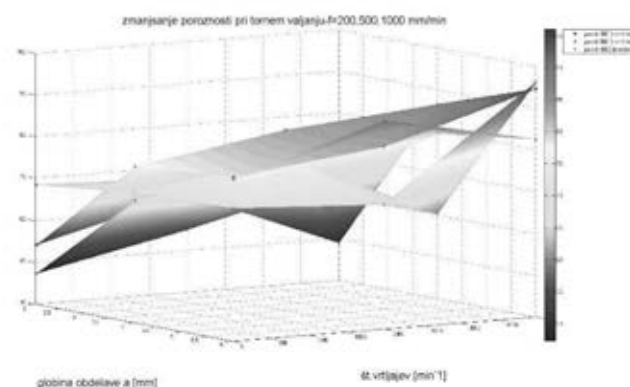
Slika 9: Zmanjšanje poroznosti pri inkrem. preobliskovanju in $f=200, 500$ in 1000 mm/min



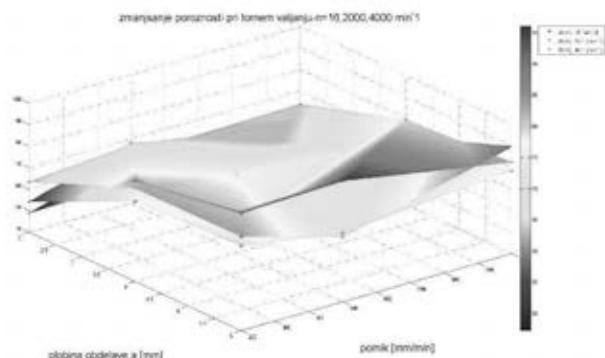
Slika 10: Zmanjšanje poroznosti pri inkrem. preobliskovanju in $n=16, 2000$ in 4000 min⁻¹



Slika 11: Zmanjšanje poroznosti pri tornem valjanju in $a=2, 4$ in 6 mm



Slika 12: Zmanjšanje poroznosti pri tornem preobliskovanju in $f=200, 500$ in 1000 mm/min



Slika 13: Zmanjšanje poroznosti pri tornem preoblikovanju in $n=16$, 2000 in 4000 min^{-1}

Iz rezultatov preizkušanja in prikazanih grafov lahko zaključimo, da spreminjanje parametrov obdelave pri inkrementalnem preoblikovanju in tornem valjanju bistveno vpliva na zmanjšanje stopnje površinske poroznosti. Največji vpliv na zmanjšanje poroznosti ima globina obdelave, sledi število vrtljajev ter pomik orodja. Ker je večanje globine obdelave omejeno s strani oblike obdelovanca ter časa obdelave, je za manjšanje poroznosti smiselno povečati število vrtljajev, kar nakazujejo tudi trendi površin v grafih.

5 SKLEP

Preoblikovanje s postopkom inkrementalnega preoblikovanja in tornega valjanja omogoča, da predhodno obdelanim elementom s postopki odzemanja materiala, ustrezno zmanjšamo površinsko poroznost. Zaradi neporozne zunanje površine se povečajo trdnostne lastnosti končnim elementom. Z gnetenja materiala se napetostne silnice prerazporedijo v zvezne, neprekinjene linije, kar zmanjša zarezne učinke. Kljub preoblikovanju v relativno veliko globino obdelovanca, ostane deformacija preizkušanca na lokalnem območju, kar je posledica deformacije celične strukture in dobre preoblikovalnosti pen iz aluminijevih zlitin.

Na ta način lahko s kombinacijo odrezovalnih postopkov, ustreznega dodatka za preoblikovanje ter preoblikovanja, ki ga izvedemo na istem stroju, izdelamo kompaktne elemente iz aluminijaste pene s poroznim jedrom in neporozno zunanjo površino. V primerjavi z izdelavo elementov s penjenjem v kalupe v maloserijski proizvodnji, je ta način tudi cenejši,

saj odpadejo stroški izdelave kalupa, za polizdelke pa se lahko uporabi aluminijasta pena v obliki blokov, palic ali pločevine.

Viri:

- [1] Maurer M., Zhao L., Lugscheider E. : Surface Refinement of Metal Foams. *Advanced Engineering Materials* 2002, 4, No 10
- [2] Banhart, J. Baumeister, *J. Mater. Sci.* 1998, 33, 1431.
- [3] Ashby, M. F.; Evans, A. G.; Fleck, N. A.; Gibson, L. J.; Hutchinson, J. W.; Wadley, H. N. G. *Metal Foams: A Design Guide*, Butterworth-Heinemann, Woborn, USA, 2000.
- [4] L. J. Gibson, M.F. Ashby, *Cellular Solids*, Cambridge University Press, Cambridge 1997.
- [5] Kitazono, K., Suzuki, R., Inui, Y., 2009. Novel Strengthening Method of Closed-Cell Aluminum Foams through Surface Treatment by Resin. *Journal of Materials Processing Technology* 209, 3550-3554.
- [6] Koriyama, S., Paiboon, S.A., Suzuki, S., Asakawa, M., Ide, T., Nakajima, H., 2012. Enhancement of the Hardness of Lotus-Type Porous Copper by Shot Peening. *Steel Research International, Special Edition*, 1215-1218.
- [7] Lobos, J., Suzuki, S., Nakajima, H., Ji, Y.S., Fujii, H., Terada, D., Tsuji, N., 2009. Structural Change and Improvement of the Mechanical Properties of a Lotus-Type Porous Copper by Wire-Brushing. *Journal of Physics: Conference Series* 165, 012070.
- [8] Ryo, M., Hiroyuki, T., Masaaki, O., Hirosh, U.: Fabrication of skin layer on aluminium foam surface by friction stir incremental forming, *Procedia Materials Science* 4 (2014) 239-243.
- [9] Yong-Jai Kwon, Ichinori Shigematsu and Naobumi Saito : Development of New Production Technology for Metallic Foam Core Sandwich Panel Using Friction Phenomena. *Materials Transactions*, Vol. 50, No. 4 (2009) pp. 879 to 884.

INDUSTRIJSKI
FORUM

IRT

2018

Prijave za
TARAS 2018







Implementacija CIKLOINDEGA MONTAŽNEGA SISTEMA v proces sestave komponent za avtomobilsko industrijo



**Proris, inovativne
tehnologije d.o.o.**

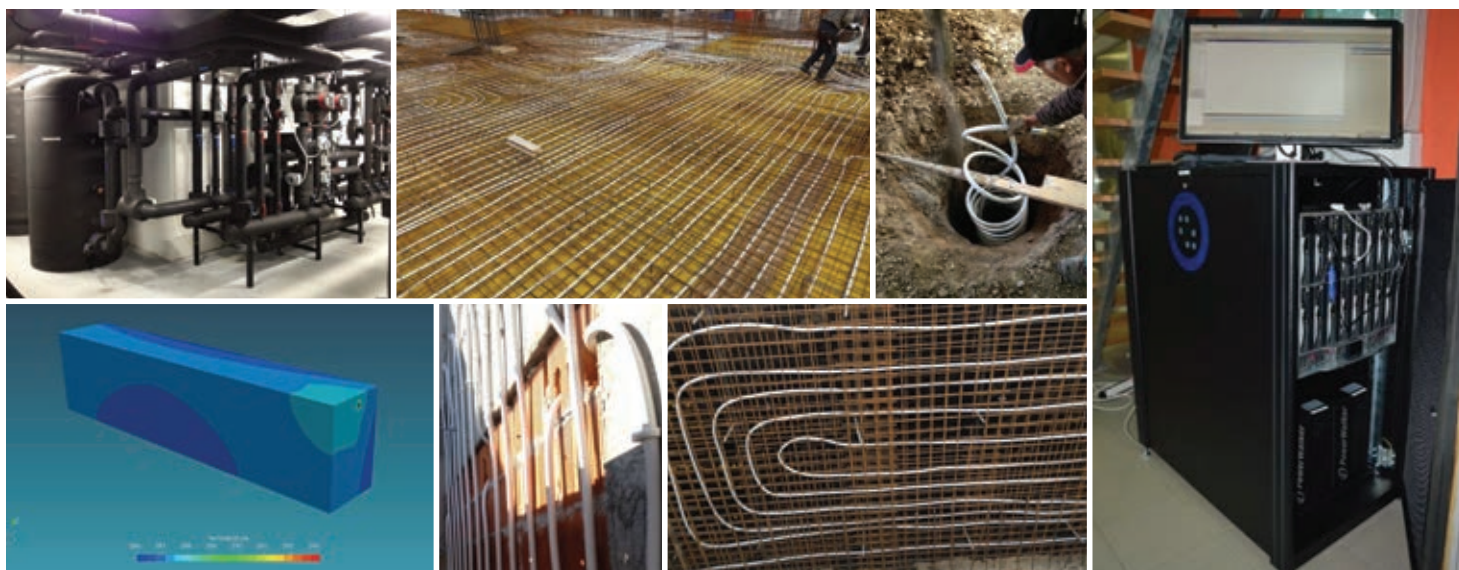
**Fakulteta za
strojništvo
Maribor**

Cikloidni montažni sistem CMS kot procesna inovacija in njena implementacija v proces montaže, ki je produktna inovacija predstavlja novost na področju montaže izdelkov v avtomobilski industriji, ki je vzbudila zanimanje prestižnega svetovnega proizvajalca avtomobilov. Inovativni gibalni mehanizem omogoča vgradnjo internih in eksternih montažnih enot, ki vključujejo komponente za izpolnjevanje potreb, ki jih narekuje Industrija 4.0.

Glavna prednost je montaža izdelka z enim vpetjem v izogib medfaznim zalogam polizdelkov in posledično skrajšanje časa montaže, prihranek na uporabi delovnih površin ter zagotavljanje sledljivosti izdelkov. Sočasna rotacija in translacija montažnega objekta omogoča lažje in hitrejše delo z dostopnostjo do vseh mest montaže na izdelku. Posledica uporabe internih montažnih enot na več delovnih postajah pa je zmanjšanje investicijskih stroškov in s tem večja rentabilnost. Rezultat procesne in produktne inovacije povečuje konkurenčno sposobnost podjetja, ki stroj uporablja.



Skoraj ničenergijska stavba s sistemom SOLINTERRA



DULC, d. o. o.

Fakulteta za tehnologije in sisteme

Podjetje Dulc, d. o. o., je družinsko podjetje, ustanovljeno leta 1978, ki se primarno ukvarja s strojnimi inštalacijami. Z zavedanjem pomena implementacije obnovljivih virov energije (OVE) v bodočo energetske oskrbo, se je podjetje odločilo, da bo skušalo razviti oziroma implementirati celosten sistem učinkovite energijske oskrbe za stavbe. Za pomoč pri razvoju je podjetje angažiralo raziskovalno skupino Fakultete za tehnologije in sisteme in inštitut INOVEKS, ki sta pomagala pri razvoju sistema. Rezultat sodelovanja je nizkoenergijski in nizkoeksergijski sistem ogrevanja in hlajenja stavb, ki je tudi zaščiten pod blagovno znamko SOLINTERRA.

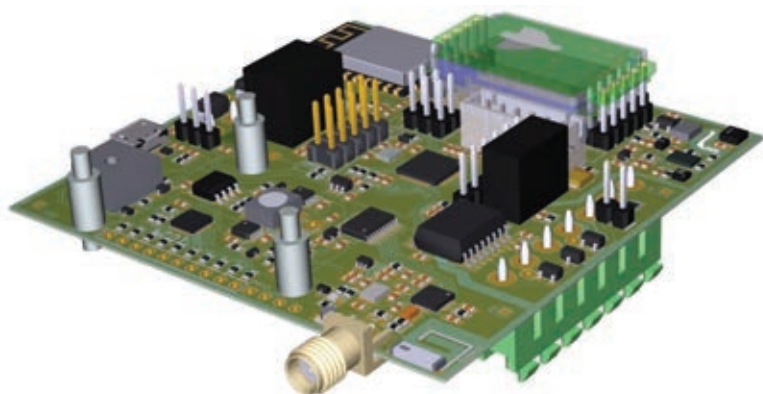
Sistem ogrevanja in hlajenja stavb SOLINTERRA je zasnovan na način, da za svoje delovanje v največji možni meri izkorišča obnovljive vire energije. Sistem SOLINTERRA tako uporablja

sončno energijo za ogrevanje, zemljo kot topli zemeljski hranilnik toplote, podtalnico pa kot vir energije za hlajenje.

Razviti sistem je bil prvič celostno uporabljen pri gradnji nove stavbe Medpodjetniškega izobraževalnega centra (MIC) Nova Gorica, ki za hlajenje in ogrevanje potrebuje povprečno 7 kWh/m² dovedene električne energije na leto oziroma 17,5 kWh/m² primarne energije na leto, kar je bistveno manj od dovoljene meje, ki jo definira Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 (AN sNES) iz leta 2014. AN sNES namreč definira skoraj-nič-energijske objekte kot stavbe z limitirano vrednostjo primarne energije na enoto kondicionirane površine na leto, ki za nestanovanjske stavbe znaša pri novogradnjah 55 kWh/m². Razviti sistem SOLINTERRA tako omogoča trikrat nižjo rabo energije od predpisane meje.



Multi-parametrski senzor kakovosti notranjega okolja z inteligentnim sporočanjem stanja v stavbah (INAP ACS - All Control System)



INAP,
informatizacija in
avtomatizacija
procesov, d.o.o

**Inovacijsko-razvojni
inštitut Univerze v
Ljubljani**

V stavbah preživimo ~90% časa. Zato je zelo pomembno, kakšno je notranje toplotno, akustično, svetlobno okolje in kakovost zraka, saj vse to bistveno vpliva na naše zdravje, sposobnost učenja in produktivnost pri delu ter zadovoljstvo. Z ustrezno mikroklimo se zmanjša bolniška odsotnost, poveča se produktivnost, kar ima tudi pozitiven vpliv na gospodarstvo ter višji BDP. Zato morajo biti stavbe ustrezno grajene, v fazi uporabe pa zagotavljati ustrezno okolje. Poleg zdravega in kakovostnega okolja pa morajo biti stavbe tudi energetske učinkovite. Z vplivanjem na vedenje ljudi v smeri varčnega obnašanja lahko dosežemo znatne prihranke energije in virov (glede na standard SIST EN ISO 50001 med 5 in 15%). Potrebne parametre kakovosti notranjega okolja pa lahko spremljamo na različne načine, senzor INAP ACS je eden od redkih, ki celovito zajema vse ključne parametre in jih ustrezno ovrednoti. Rezultate številnih meritev (CO₂, VOC, RGB-W, temperatura, vlaga in hrup) senzor preko Wi-fi

omrežja (brežična komunikacija) sprotno pošilja na INAP oblačni sistem, s tem pa ni potrebno drago komunikacijsko kabliranje. Glede na prejete informacije, senzor prikazuje posamezne meritve ali ustrezno vrednoti rezultate meritev glede na razvit inovativen model. Na ta način lahko uporabnik sprejema določene ukrepe, od enostavnega prezračevanja prostora do kompliciranega nastavljanja CNS sistema. S tem si izboljšuje kakovost notranjega okolja, vse to pa mu ne povzroča dodatne kognitivne obremenitve. Za podporo opisanim intuitivnim, neinvazivnim interakcijam je nameščena RGB dioda, njena barva se zvezno spreminja glede na izmerjene vrednosti izbranih parametrov npr. CO₂ (zelene pomeni ugodje, rdeča pa opozarja na prekoračene vrednosti). Na ta način so uporabniki sprotno informirani glede potrebnih ukrepov v prostoru (na primer, zračenje), kar omogoča boljše pogoje za delo ter učenje, obenem pa tudi varčevanje z energijo.



INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2018

Sodelujoči na
Industrijskem forumu IRT





ORGANIZATOR DOGODKA

PROFI dtp

Profi dtp, d.o.o.
Gradišče nad Pijavo Gorico 204
1291 Škofljica
www.profidtp.si

ORGANIZACIJSKI ODBOR

ŠVETAK Darko – vodja organizacijskega odbora, Profi dtp, d.o.o.
ROT Matjaž, Revija IRT3000
ŠENKINC Denis, PRO IKT, Denis Šenkinc, s.p.

PARTNERSKE ZBORNICE, ZDRUŽENJA IN GROZDI



PROGRAMSKI ODBOR

DREV Vinko, LTH Castings d.o.o.
Dr. FLORJANIČ Blaž, BSH Hišni aparati, d. o. o., in iMold, d. o. o.
GANTAR Gašper, Visoka šola za proizvodno inženirstvo,
Visoka šola za varstvo okolja
KLINC Marko, Gorenje MDM Kragujevac Srbija
Dr. KLOBČAR Damjan, UL, Fakulteta za strojništvo.
Dr. KOPAČ Janez, UL, Fakulteta za strojništvo
Dr. KOSEC Borut, UL, Naravoslovnotehniška fakulteta
Dr. KOSEC Gorazd, Acroni, d. o. o.
KOVAČ Jernej, UL, Fakulteta za strojništvo
Dr. KRAMAR Davorin, UL, Fakulteta za strojništvo
LOTRIČ Marko, OZS, predsednik odbora za znanost in tehnologijo
Dr. MAJDIČ Franc, UL, Fakulteta za strojništvo
MIRNIK Marko, TURNA, d. o. o.
Dr. MUHIČ Simon, SIMUTEH s.p., Fakulteta za tehnologije in sisteme

Dr. NARDIN Blaž, Gorenje d.d.
OBOLNAR Matija, Hella Saturnus Slovenija d.o.o.
Dr. PALČIČ Iztok, UM, Fakulteta za strojništvo
Dr. PEPELNJAK Tomaž, UL, Fakulteta za strojništvo
Dr. PERME Tomaž, vodja programskega odbora
POJE Janez, KERN, d. o. o.
ROT Matjaž, revija IRT3000
Dr. SAVŠEK Tomaž, TPV, d. d.
ŠENKINC Denis, revija IRT3000
ŠKRLEC Janez, Razvojno raziskovalna dejavnost Janez Škrlec s.p.
ŠVETAK Darko, Strokovna revija IRT3000
ZIBELNIK Miha, Orodja Prebil d.o.o.
Dr. ŽLAJPAH Leon, Institut Jožef Stefan
Dr. ŽNIDARŠIČ Matjaž, CBS inštitut, celovite gradbene rešitve, d. o. o.

MEDIJSKI PARTNERJI



PARTNER REGISTRACIJE



PARTNERJI ZNANJA IN TEHNOLOŠKI PARKI

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



FS
Fakulteta za
strojništvo



Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo

IJS



VISOKA ŠOLA
ZA PROIZVODNO
INŽENIRSTVO

●●● FTPO

Fakulteta za
tehnologijo polimerov



PARTNERJI IZ INDUSTRIJE

ACRONI

gorenjegroup
Gorenje Orodjarna, d.o.o.

KOVINOPLASTIKA LOŽ
ALVEUS | ARX | KOVINOtools

AKRAPOVIČ



LITOSTR&JPOWER

B/S/H/

Horta

SIBO | Clusers
group | Plastics
Tools

CIMOS

Horta
HF-Rotomatika



ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Mehanizmi
Iskra Mehanizmi, d.d., Lipnica

Turmalina
Nadaljujemo tradicijo. Ustvarjamo prihodnost.

DOMEL

KOLEKTOR
55 let / years

UNIOR

GLAVNI POKROVITELJ

ABB

NACIONALNI PARTNER FORUMA

SPIRIT SLOVENIJA | I FEEL SLOVENIA
JAVNA AGENCIJA



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI RAZVOJ IN TEHNOLOGIJO

POKROVITELJI

 **BÖHLER**

BTS
COMPANY

 **Hoffmann Group**
Tools to make you better

METTLER TOLEDO

SILABS ...
by sij

 **TOPOMATIKA**

YASKAWA

RAZSTAVLJAVCI NA FORUMU

3D-ING
SCANNING

WAY[®]

abc
MAZIVA

ALCOM
OFTALMOLOŠKA TEHNOLOGIJA

BECKHOFF
New Automation Technology

Blast
Tehnik

CADCAMLab
CADCAM
member of G R O U P

CELJSKI SEJEM

CHEMETS

EMUGE
FRANKEN

EPPS

CADdy

iCm
PASSION FOR PERFECTION

IRT 3000
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE
WWW.IRT3000.COM

KISTLER
measure. analyze. innovate.

KMS

KOČEVAR
Uporovno varjenje

40 LET BISTRIH REŠITEV
KOPA

LEOSS
moč podatkov

LOTRIČ METROLOGY

makom
Čisto preprosto. Preprosto čisto.

RAZSTAVLJAVCI NA FORUMU

MARSi
plastic solutions
3D metal print

MESSER 
Gases for Life

meusburger[®]

MIEL[®] **OMRON**
www.miel.si

MiniTec
THE ART OF SIMPLICITY

PAN GOSLAR

primakem.

PS 
PS LOGATEC

IRLS[®]

SECO 

sies
napredne rešitve

simtec

STÄUBLI

TEQ 

tipteh

Member IMC Group
Tungaloy

 Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo

 Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo

 FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO
UNIVERZA V NOVI MESTU

 ZDRUŽENJE
MANAGER

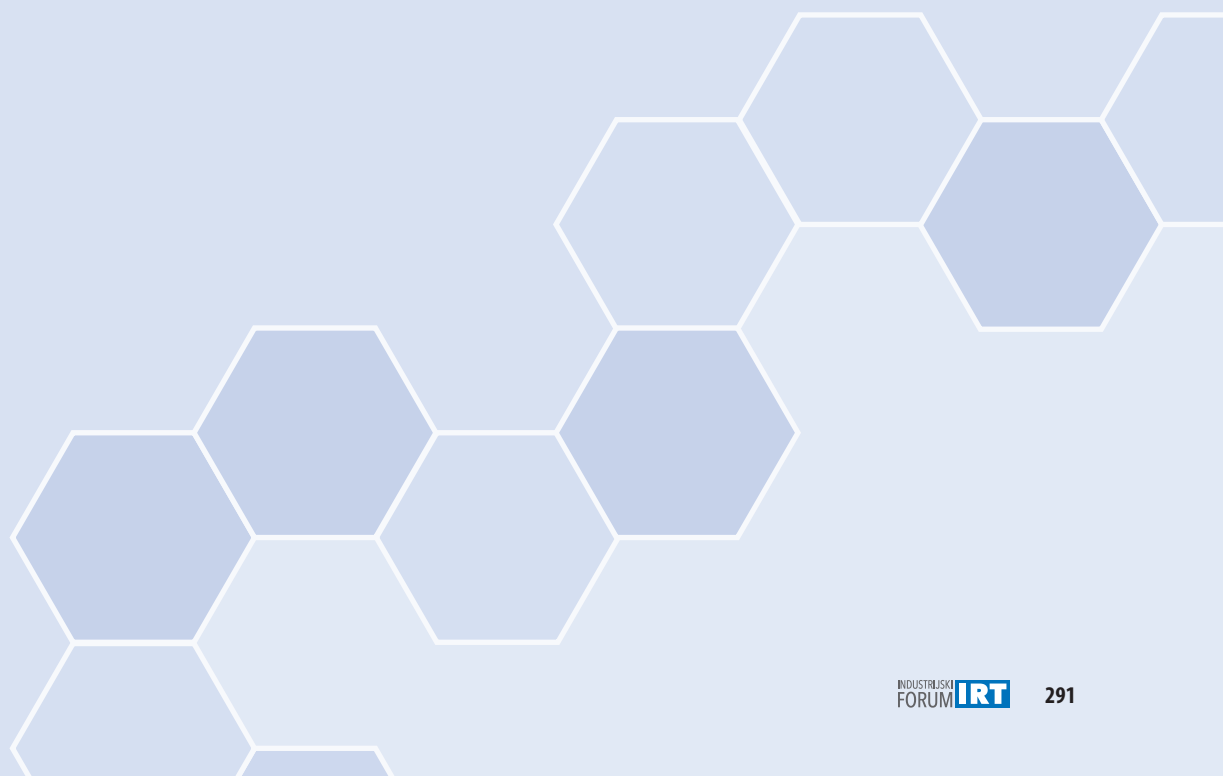
 VISOKA ŠOLA
ZA PROIZVODNO
INŽENIRSTVO

ZOLLER
Uspeh je merljiv[®]

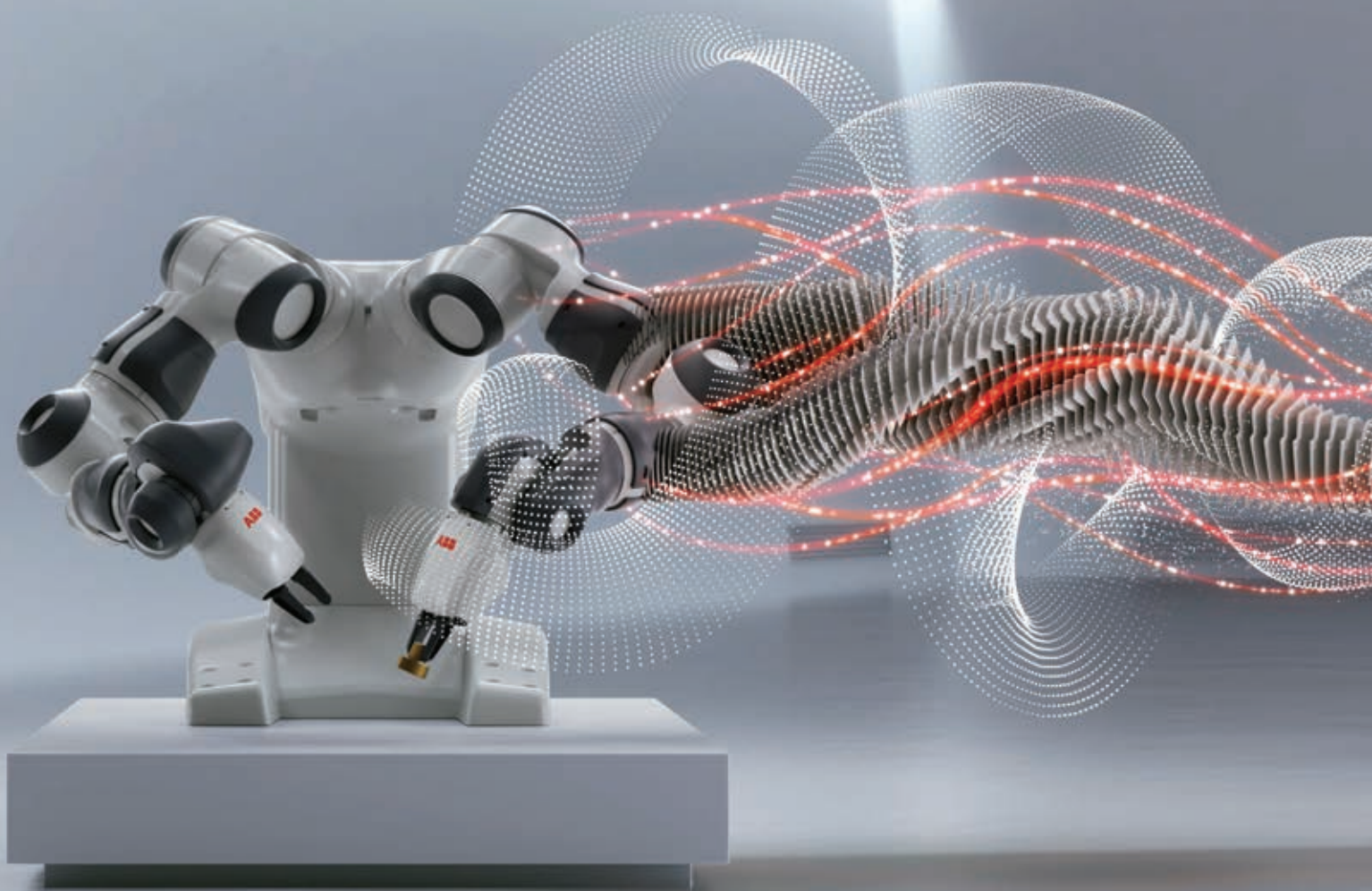


INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2018

Oglasne predstavitve
podjetij







Let's write the future with robots that have what it takes to collaborate.

Inštaliranih je že več kot 300.000 ABB robotov, ki povečujejo produktivnost v tovarnah po vsem svetu. So del integriranega ekosistema: internet stvari, storitev in ljudi. Sodelujoč robot YuMi omogoča sodelovanje ljudi in robotov in s tem odpira povsem nove priložnosti.
Več na abb.si/future





INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



SPLAČA SE BITI NAROČNIK

UGODNOSTI ZA
NAROČNIKE REVIJE

ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številok)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh
- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature

JAN	FEB	MAR
APR	MAJ	JUN
JUL/AVG	SEP	
OKT	NOV/DEC	

VSEBINA PO MESECIH

Utrip doma
Orodjarstvo in strojegradnja
Nekovine
Napredne tehnologije

Utrip doma
Proizvodnja in logistika
Spajanje, materiali in tehnologije
Vzdrževanje in tehnična diagnostika



Na voljo tudi
digitalna različica revije

Vsak novi naročnik prejme
majico in ovratni trak

NAROČITE SE!

- ☎ 01 5800 884
- ✉ info@irt3000.si
- 💻 www.irt3000.si/narocam



WWW.IRT3000.COM

SPIRIT SLOVENIJA

vaš partner za uresničevanje
podjetniških idej in priložnosti!

www.spiritslovenia.si



SPIRIT
SLOVENIJA
JAVNA AGENCIJA

**I FEEL
SLOVENIA**



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI
RAZVOJ IN TEHNOLOGIJO

NOVO!

OBDELAVA KOVIN Z ODREZAVANJEM – NAJBOLJŠE PRAKSE

AVTORJA: PATRICK DE VOS IN JAN-ERIC STÄHL

Knjiga »Obdelava kovin z odrezavanjem – najboljše prakse« je prva v zbirki štirih knjig, ki sta jih avtorja Patrick De Vos, korporativni vodja tehničnega šolanja pri Seco Tools, AB, in Jan-Eric Ståhl, profesor na katedri za proizvodne tehnologije in materiale Univerze v švedskem Lundu, namenila ljudem, ki imajo v industriji in praksi opravka z odrezavanjem kovin.

V knjigi so podrobno predstavljeni različni fizikalni modeli, s katerimi opisujemo in analiziramo obdelovalni proces, ter osnovni mehanizmi odrezavanja kovin.

V ospredju so v praksi pogosti modeli, ki bralcu ponudijo boljše razumevanje obdelovalnega procesa. V zadnjem poglavju je izoblikovana tudi povezava med tehnologijami strojne obdelave in proizvodno ekonomiko. Knjiga predstavlja praktični vodnik o tem, »kaj delati« in »kako delati«, da bodo procesi obdelave kovin z odrezavanjem zanesljivi, produktivni in donosni.



KOMU JE KNJIGA NAMENJENA

Glavni namen knjige je predstavitev praktičnih modelov za doseganje učinkovitega in donosnega procesa obdelave kovin z odrezavanjem. Knjiga je namenjena širši javnosti, ki se srečuje z obdelavo kovin. Poudarek je na praktični rabi, zato je v knjigi manj matematičnih in znanstvenih razlag, so pa v njej ključne rešitve in pristopi, kako se znanost in teorija o odrezavanju kovin uporabljata v praksi. Knjiga je primerna tako za študente kot zaposlene v kovinsko predelovalni industriji, nadvse veseli jo bodo tudi profesorji, saj jim bo v izdatno pomoč v praktičnem laboratorijskem okolju.

IZ VSEBINE

VREDNOST IN MOČ ZNANJA(A)

KINEMATIKA PROCESA ODREZAVANJA KOVINE

- Odrezavanje različnih materialov
- Idealiziran model procesa in spremenljivke

ORODJE ZA ODREZAVANJE KOVIN

MODEL OBDELOVALNOSTI

- Pristopi k obdelovalnosti
- Lastnosti in obdelovalnost materiala obdelovanca

MODELI OBLIKOVANJA ODREZKOV

MODELI OBLIKOVANJA ODREZKOV

- Geometrije lomilcev odrezkov

MODELI SIL PRI REZANJU

- Merjenje sil
- Empirično modeliranje sil
- Mehanske obremenitve in vibracije

TERMIČNA ANALIZA OBDELAVE Z
ODREZAVANJEM

PROPADANJE IN DOBA UPORABNOSTI ORODJA

KAKOVOST OBDELANIH POVRŠIN

DOBRE PRAKSE PRI OPTIMIZACIJI PROCESOV
ODREZAVANJA

EKONOMSKI VIDIKI PROCESOV ODREZAVANJA

Prednaročilo knjige

prednaročila sprejemamo na e-poštni
naslov: info@irt3000.com

Izid knjige

konec aprila 2017

Cena

25,00 EUR.

Izdajatelj

Profi DTP d.o.o.



oblikujete vaše sanje

A[®] Brand

Inovativna in visoko-zmogljiva orodja

A[®] Brand je premium blagovna znamka, ki jo sestavljajo najnovejša visoko-zmogljiva in inovativna orodja za vrtanje, vrezovanje in vtiskovanje navojev ter rezkanje.



več o
A[®] Brand
orodju

A Brand* A znamka*

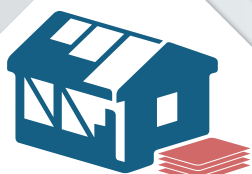
BTS Company d.o.o.
info@bts-company.si
www.bts-company.com

LJUBLJANA
Bratislavska cesta 5
T. 01 5841 502

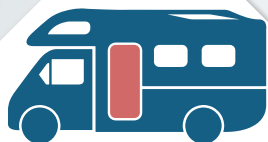
MARIBOR
Cesta k Tamu 16
T. 02 4600 300

BTS
COMPANY

51. MOS Teh



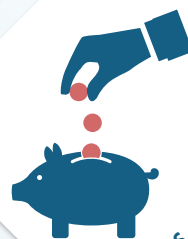
MOS Dom



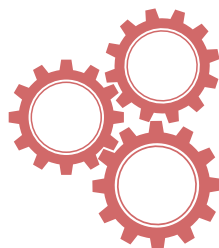
MOS Tur



MOS Biz



MOS Plus



MOS Teh



OPREMA IN
MATERIALI
ZA OBRT IN
INDUSTRIJO

SVET, KI GA RAZUMEJO IN ŽIVIJO
TEHNOLOGI, RAZVOJNIKI, VZDRŽEVALCI,
PROGRAMERJI, OBRTNIKI, POZNAVALCI
TEHNIČNIH STROK, LJUBITELJSKI
MEHANIKI IN DOMAČI MOJSTRI.

www.ce-sejem.si

11.-16. SEPTEMBER
2018
CELJSKI SEJEM

Se želite tudi vi pridružiti številnim uspešnim podjetjem?
Pridobite informativno ponudbo zdaj!
Pišite na info@ce-sejem.si



BÖHLER L625
AMPO

BÖHLER L718
AMPO

BÖHLER M789*
AMPO

BÖHLER N700
AMPO

BÖHLER W360*
AMPO

BÖHLER W722
AMPO

* Na voljo poleti 2018



BÖHLER
AMPO



Additive
Manufacturing
Powder

ZNANOST! NE FANTASTIKA

voestalpine BÖHLER Edelstahl je vaš specializirani dobavitelj prahov za tako imenovano tehnologijo 3d-tiskanja. Kot tehnološko vodilni ponudnik trajno ohranjamo vodilni položaj na različnih sektorjih trga metalurgije prahov. V svojih laboratorijih za raziskave in testiranje razvijamo prahove po meri, ki postavljajo nova merila na področju zmogljivosti za visokozahtevne komponente. AMPO: visokokakovostni prahovi in znanje na področju 3D-tiskanja od strokovnjakov za materiale pri družbi voestalpine BÖHLER Edelstahl.

BÖHLER Slovenija Predstavništvo voestalpine

High Performance Metals International GmbH

Jarška cesta 10B, 1000 Ljubljana

Tel: +386 1 58 78 630 • Faks: +386 1 587 86 39

mirjana.klasan@bohler-slovenija.si • www.bohler-international.com

voestalpine

ONE STEP AHEAD.



UMETNOST BRIZGANJA

HENRIK PRIVŠEK • MATJAŽ ROT
AVTOR UREDNIK

IZ VSEBINE

TEHNIČNE ZAHTEVE ZA TERMOPLASTIČNI MATERIAL

- Izbira materiala za nek namen
- Določanje lastnosti materiala
- Opis standardov za ugotavljanje lastnosti termoplastičnih materialov
- Preglednice tehničnih lastnosti termoplastičnih materialov

VPLIV PARAMETROV PREDELAVE TERMOPLASTIČNEGA MATERIALA NA KAKOVOST IZDELKA

- Vpliv materiala in njegove priprave na kakovost izdelka
- Vpliv orodja in njegove priprave na kakovost izdelka
- Vpliv stroja in njegove priprave na kakovost izdelka
- Razmerje med pripravo, predelavo in strukturo materiala ter kakovostjo izdelka
- Preglednice tehnoloških priporočil

NAPAKE PRI BRIZGANJU IN NJIHOVO PREPREČEVANJE

- Najpogostejše napake pri predelavi termoplastov
- Obrazec Napake v proizvodnem procesu
- Preglednica napak in možnih vzrokov

Knjiga Umetnost brizganja obravnava ozko področje predelave termoplastov s tehnologijo brizganja. Napisana je z namenom, da zapolni veliko praznino v tovrstni literaturi v slovenskem jeziku, medtem ko je v tujih jezikih take literature zelo veliko. Je prvi korak k izpopolnjevanju znanja s tega področja. V njej bo bralec našel več kot le osnove brizganja, saj je napisana z namenom, da deluje kot priročnik tipa vse-v-enem.

Posebnost knjige je tudi v njenem podajanju praktičnih izkušenj. Medtem ko večina podobnih del predstavlja predvsem t. i. najboljše prakse, knjiga Umetnost brizganja izpostavlja napake, ki se jim velja izogniti, in njihove posledice. Cilj avtorja in urednika je delavcem olajšati odpravljanje predelovalnih težav in izboljšati obvladovanje samega proizvodnega procesa.

KOMU JE KNJIGA NAMENJENA

Knjiga je namenjena zelo širokemu krogu strokovnih delavcev, in sicer delavcem v razvojnem oddelku, ki snujejo nove plastične izdelke, konstruktorjem orodij, orodjarjem, vodjem proizvodnega procesa brizganja, tehnologom brizganja, predelavcem, pripravljalcem materiala ter delavcem oddelka za kakovost. Znanja in vsebine bodo v pomoč tudi komercialno tehničnemu osebju, ki je pri opravljanju svojega dela pogosto primorano poslovnim partnerjem in upravnim uslužbencem posredovati tehnične informacije o predelavi plastičnih mas.

CENA KNJIGE

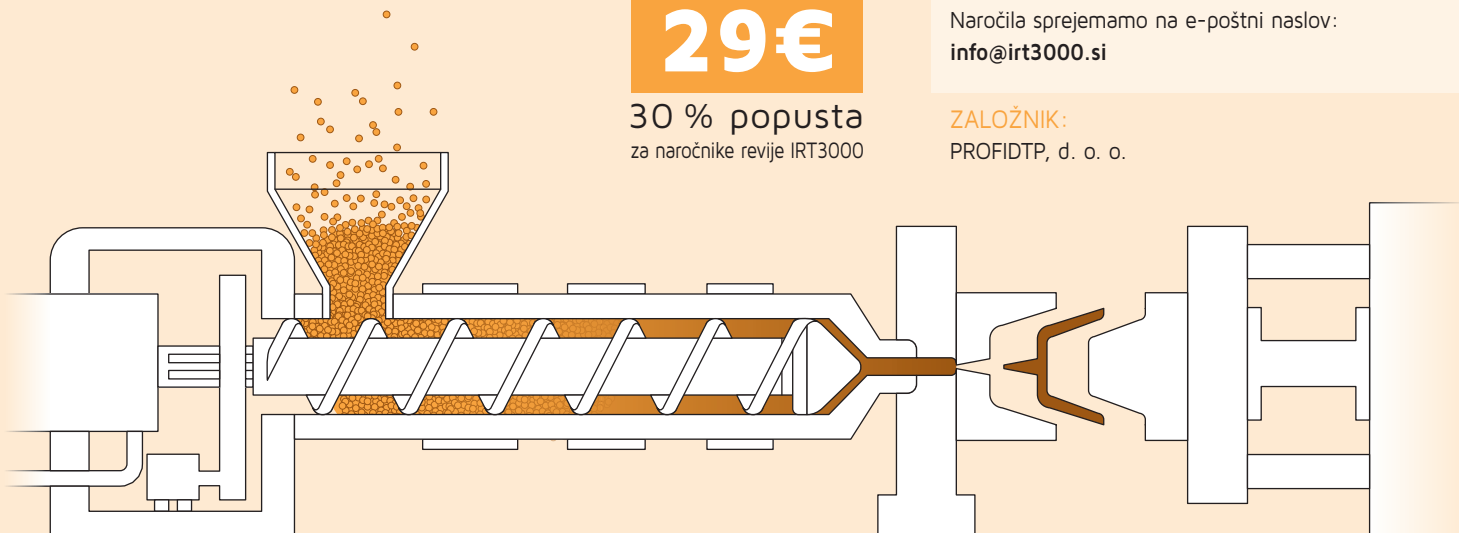
29€

30 % popusta
za naročnike revije IRT3000

NAROČILO KNJIGE

Naročila sprejemamo na e-poštni naslov:
info@irt3000.si

ZALOŽNIK:
PROFIDTP, d. o. o.



POD PRITISKOM IN ZARADI PREMIOV
NASTANEJO ENKRATNE STVARI.
ZAKAJ BI BILO PRI VRTANJU DRUGAČE?



Tudi v svetu orodja velja: popolnost zmagala! GARANT kot premium znamka orodja predstavlja kompetenco proizvajalca Hoffmann Group. Več kot 30.000 visokozmogljivih orodij za vse namene uporabe nudi najvišjo invacijsko varnost, trajno premium kakovost in optimalno razmerje med ceno in uporabo. Prepričajte se sami:

www.garant-tools.com



 **Garant**®

Izkoristite rok zgodnje prijave 31. 5. 2018
in si zagotovite najugodnejše cene ter
frekventno lokacijo!

V istem terminu še
FEEL THE FUTURE OF GAMING:
19. in 20. 10. 2018

Feel the **FUTURE**

2. sejem inovativnih digitalnih rešitev
Celjski sejem, **17.-19. oktober 2018**



FeelTheFuture

Se želite tudi vi pridružiti številnim uspešnim podjetjem?
Pridobite informativno ponudbo zdaj!
Pišite na info@ce-sejem.si



Karakterizacija in določanje kvalitete materialov prilagojeno vašim potrebam

- **Modularni koncept** - rešitve po vaši meri
- **Visoka zmogljivost** - analize širokega spektra vzorcev
- **Zanesljiva avtomatizacija** - analiza velikega števila vzorcev
- **Šolanja in podpora** - seminarji ter aplikacijska literatura
- **Servis** - hiter odziv in možnost servisne pogodbe



Več o termični analizi:

► www.mt.com/ta

METTLER TOLEDO

MEDNARODNI

INDUSTRIJSKI SEJEM 2019

Celjski sejem
9.–12. april 2019

- Najpomembnejši proizvajalci in nosilci ključnih blagovnih znamk
- Premierne predstavitve novih dosežkov industrije
- Največji v regiji!

FORMA TOOL – orodjarstvo in strojogradnja
VARJENJE IN REZANJE
MATERIALI IN KOMPONENTE
NAPREDNE TEHNOLOGIJE

ZAGOTOVITE SI MESTO MED NAJBOLJŠIMI.

Pridobite informativno ponudbo že zdaj: info@ce-sejem.si

Prijave od
1. junij 2018

Medijski partner



www.ce-sejem.si



CELJSKI SEJEM



Novi ATOS 5

Hitro 3D-skeniranje z velikim merilnim območjem



Novi GOM CT

Meroslovni računalniški tomograf

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 24

- | Strokovni in znanstveni prispevki
- | Iz prakse za prakso
- | Ventil na obisku
- | Novice - zanimivosti
- | Aktualno iz industrije
- | Novosti na trgu
- | Podjetja predstavljajo
- | Ali ste vedeli
- | Dogodki

Spoštovani!

Ventil je znanstveno-strokovna revija in objavlja prispevke, ki obravnavajo razvojno in raziskovalno delo na Univerzi, inštitutih in v podjetjih s področja fluidne tehnike, avtomatizacije in mehatronike. Revija želi seznanjati strokovnjake z dosežki slovenskih podjetij, o njihovih izdelkih in dogodkih, ki so povezani z razvojem in s proizvodnjo na področjih, ki jih revija obravnava. Prav tako želi ustvariti povezavo med slovensko industrijo in razvojno in raziskovalno sfero ter med slovenskim in svetovnim proizvodnim, razvojnim in strokovnim prostorom. Naloga revije je tudi popularizacija področij fluidne tehnike, avtomatizacije in mehatronike še posebno med mladimi. Skrbi tudi za strokovno izrazoslovje na omenjenih področjih.

Revija Ventil objavlja prispevke avtorjev iz Slovenije in iz tujine, v slovenskem in angleškem jeziku. Prispevkom v slovenskem jeziku je dodan povzetek v angleščini, prispevki v angleščini pa so objavljeni z daljšim povzetkom v slovenskem jeziku. Člani znanstveno-strokovnega sveta so znanstveniki in strokovnjaki iz Slovenije in tujine. Revijo pošiljamo na več naslovov v tujini in imamo izmenjavo z drugimi revijami v Evropi. Revija je vodena v podatkovni bazi INSPEC.

Štiriindvajsetletno izhajanje revije Ventil pomeni, da je v prostoru neprecenljiva za razvoj stroke. Uredništvo si skupaj z znanstvenim svetom prizadeva za visokokvalitetno raven in relevantnost objav, ki bosta v prihodnosti vse napore usmerila v to, da bo kvalitetna raven še višja. V ta namen vključuje v znanstveno-strokovni svet priznane znanstvenike, raziskovalce in strokovnjake, ki s svojim znanjem vspodbujajo vsak na svojem področju objavljanje rezultatov razvojnega in raziskovalnega dela. Uredništvo spremlja razvoj stroke in znanstveno raziskovalno delo doma in vtujini preko konferenc, delavnic in seminarjev ter z izmenjavo tuje periodike.

Revija je priznana v tujini, še posebno na področju fluidne tehnike, kar želimo doseči tudi na področju mehatronike in avtomatizacije. Preko objav v reviji se promovirajo dosežki slovenske znanosti in industrijske proizvodnje. Revija je in bo tudi v prihodnje prostor za predstavljanje kvalitetnih razvojnih in raziskovalnih dosežkov slovenske industrije in raziskovalne sfere na področju fluidne tehnike, avtomatizacije in mehatronike.

Uredništvo



revija Ventil

 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
 Tel.: 01/ 4771 704, Faks: 01/ 4771 772

E-pošta: ventil@fs.uni-lj.si, Internet: www.revija-ventil.si



SILABS^{...}

SILABS združuje vsa laboratorijska in metrološka znanja Skupine SIJ pod eno streho. Storitve, ki jih vsakodnevno uporabljajo najzahtevnejše aplikacije v metalurški, kovinskopredelovalni in drugih industrijskih panogah, so sedaj zajete pod blagovno znamko SILABS. S povezovanjem dobrih praks in izkušenj laboratorijev v Skupini SIJ so naročniki pridobili možnost širše izbire laboratorijskih storitev na enem mestu ter potrditev dolgoročne usmeritve laboratorijske dejavnosti v Skupini SIJ.

- Kalibracijski laboratoriji
- Laboratorij za neporušne preiskave
- Laboratorij za kontrolo ultrazvočnih aparatov
- Kemijski laboratoriji
- Mehanski laboratoriji
- Metalografski laboratoriji
- Korozijski laboratoriji
- Fizikalni laboratoriji

● ● ● PRILAGODLJIVOST. PRIZADEVNOST. ZANESLJIVOST.

www.sij.silabs.si

sij[•]



IFA M
international trade fair for
automation & mechatronics



Robotics



**SMART
INDUSTRY**

icm

PASSION FOR PERFECTION



INTRONIKA
International Trade Fair for industrial and professional electronics



ICT4Industry

12.-14.02.2019

LJUBLJANA, SLOVENIJA

GOSPODARSKO RAZSTAVIŠČE

WWW.ICM.SI

MOTOMAN HC10

6-osni-kolaborativni robot



Krmiljen z
YRC1000



Motoman HC10 je 6-osni kolaborativni robot z nosilnostjo 10kg in polmer dosega R=1200mm.

HC10 predstavlja novo generacijo robotov, ki so zmogljivi, cenovno dostopni, vsestransko uporabni, preprosti za uporabo in izdelani za integracijo v industrijske procese. Roboti so namenjeni uporabnikom, ki iščejo preprosto in hitro avtomatizacijo nalog, ki jih industrijski roboti opravljajo v bližini ljudi v sodelujočem načinu delovanja.

Varno sobivanje z uporabniki

Varnostni krmilnik FSU: Functional Safety Unit

Nadzor nad različnimi mejnimi vrednostmi sile merjene s senzorji sile na vseh šestih robotskih oseh.

Tehnologija PFL Power and Force Limiting

Robot se takoj odzove na zunanje sile in tako ščiti uporabnika.

Aplikacija EasyTeach – natančno ročno vodeno učenje in programiranje robota

Poenostavljena izvedba in preprosta uporaba robota HC10.

Brez varnostne ograje

- Vgrajena funkcija kontrole sile ob dotiku na vseh šestih robotskih oseh
- Gibljivi deli robota so oblikovani tako, da preprečujejo možnost poškodb
- Varnostni standard – aplikacija za industrijske robote: ISO 10218-1 (5.10.5 Power and Force limiting)
- Varnostne funkcije za krmilnike industrijskih robotov: ISO 13849-1, PLd, CAT3
- Tehnična specifikacija za delovanje kolaborativnih robotov: TS15066

Enostavno programiranje

- Neposredno premikanje robotske roke s pomočjo ročnega vodenja
- Pametni vmesnik (Smart HUB) za programiranje po principu »enostavnega učenja«



Boniteta odličnosti
2017

Ali dobro vidite na delovnem mestu?
Ali so vaše oči zaščitene?
uvex dioptrijska zaščitna očala s certifikatom EN166



ALCOM
25 YEARS OF OPHTHALMIC TECHNOLOGY

Alcom d.o.o.
Partizanska c. 26
4000 Kranj
Slovenija
www.alcom.si/uvex
Alcom je licenciran proizvajalec
uvex zaščitnih očal za regijo Adrija

uvex

UVEX ARBEITSSCHUTZ GMBH
SBU Occupational Health
Siegeldorfer Str. 1-3
90768 Fürth
Germany
www.uvex-safety.com

02. - 04.10.2018

Ljubljana, Slovenija, GR

CLEANME

STROKOVNI SEJEM ZA INDUSTRIJSKO & KOMERCIALNO ČIŠČENJE



powered by **iCm**



AUTODESK® PRODUCT DESIGN & MANUFACTURING COLLECTION



Celovita zbirka profesionalnih programskih orodij, ki pokriva vse faze of načrtovanja do proizvodnje izdelkov.

Vse v enem paketu

Pokrijte celoten proces razvoja izdelka s celovito rešitvijo, ki vključuje CAD programe za 2D in 3D načrtovanje, napredne simulacije, 2.5 - 5 osni CAM za CNC obdelave, postavitve tovarn, izmenjavo modelov z BIM orodji in še več.

Povezan način dela

Autodesk Inventor z vgrajenimi orodji za načrtovanje (CAD), simulacije (CAE) in CNC obdelave (CAM) je osrednje orodje zbirke. Specialna dodatna orodja se nemoteno povežejo z inventorjevim modelom za popolno definicijo izdelka.

Pripravljeni za prihodnost

Z naročnino na zbirko pridobite stalen dostop do najnovejših tehnologij takoj, ko izidejo. Od stalnih izboljšav obstoječih orodij do popolnoma novih pristopov, ki lahko nadgradijo vaš način dela.

Product Design and Manufacturing Collection poleg ključnih produktov **Inventor Professional**, **AutoCAD**, **Nastran In-CAD** ter **HSM** vsebuje tudi mnoga ostala programska orodja. Obiščite www.basic.si/zbirke za ogled celotne vsebine zbirke.

Za simulacije s področja fluidov in brizganja plastike pa ponujamo specialna simulacijska paketa:

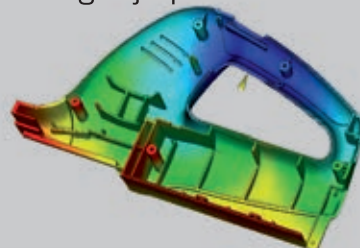
AUTODESK® CFD

Simulacije toka tekočin ter prenosa toplote



AUTODESK® MOLDFLOW®

Simulacije brizganja plastike.



3. mednarodna konferenca o
TRIBOLOGIJ POLIMEROV**PolyTrib**
201824. – 25. september 2018
Grand Hotel Bernardin, Portorož

| KONTAKT |

SLOVENSKO DRUŠTVO ZA TRIBOLOGIJO

Prof. dr. Mitjan Kalin – predsednik konference
Joži Sterle – tajništvoBogišičeva 8
1000 Ljubljana
SlovenijaTel.: +386 1 4771 460
Fax: +386 1 4771 469E-mail: polytrib@tint.fs.uni-lj.si
Web: www.tint-polytrib.com

| SEKCIJI POSVEČENI POLIMERNIM ZOBNIKOM |

Poleg tematik, povezanih s polimeri in njihovimi tribološkimi aplikacijami, bo na konferenci PolyTrib 2018 posebna pozornost v obliki ločenih sekcij posvečena **polimernim zobnikom**.

Namen konference je predstaviti trenutno stanje razvoja na tem področju in ga primerjati s specifično problematiko ter zahtevami v industrijskem in drugih sektorjih.

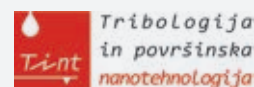
Razprave in prispevki, povezani s **testiranjem polimernih zobnikov**, njihovim **konstruiranjem**, **proizvodnjo** (izdelovanje orodja, brizganje, itd.), **perspektivnimi materiali**, **standardi** in **tribologijo** polimernih zobnikov, so zelo dobrodošli.

25. maj 2018	Oddaja povzetkov/člankov
22. junij 2018	Preliminarni program
29. junij 2018	Rok za predčasno prijavo
3. september 2018	Končni program
24. – 25. september 2018	Konferenca

| TEME |

- ☀ Trenje in obraba polimernih materialov
- ☀ Metode preizkušanja polimernih materialov
- ☀ Polimerni materiali, kompoziti in nano-kompoziti za tribološke aplikacije
- ☀ Mazanje in tribo-kemija polimerov in mejnih filmov
- ☀ Adhezija, omočljivost in površinska energija
- ☀ Ekološki vidik polimerov in njihova povezava s tribologijo
- ☀ Nanotehnologija v povezavi s tribologijo polimerov
- ☀ Snovanje in modeliranje polimerov, izzivi v proizvodnji
- ☀ Tribološke aplikacije, polimerne komponente
- ☀ Topografija polimernih materialov

| SPONZORJI |



Sponzorje/razstavljalce vljudno vabimo k sodelovanju na konferenci. Za več informacij nas prosim kontaktirajte na polytrib@tint.fs.uni-lj.si.



S storitvami 3D-tiska ideje hitro postanejo resničnost.



**Svetovanje | Konstruiranje in 3D-modeliranje | 3D-skeniranje
CT-skeniranje | Vzratno inženirstvo | 3D-tisk izdelkov | Poobdelava**

Z uporabo tehnologij 3D-tiska (SLS, SLA in SLM) in različnih materialov omogočamo izdelavo predmetov, ki služijo številnim namenom. Izdelujemo prototipe, male serije polizdelkov in končnih izdelkov, nadomestne dele, 3D-tiskane zobotehnične in ortodonske izdelke, promocijska in poslovna darila idr.

Več informacij: maja.ploj@posta.si

FESTO

**Visoko
fleksibilno,
zelo
kompaktno**



**Hočete pozicionirati enostavno in natančno.
Želite hitra in poljubna gibanja v 2D prostoru.
Mi vam dobavimo rešitev pripravljeno za priključitev.**

**→ WE ARE THE ENGINEERS
OF PRODUCTIVITY.**

Kompaktnije? Bolj ne gre!

Ploskovni portal EXCM s svojo kinematiko in vgrajenimi pogoni zagotavlja maksimalen delovni prostor pri minimalnem vgradnem prostoru. Ethernet in CANopen ga delajo še bolj povezljivega. Standardizirani sistem z dvojnim krmilnikom je idealen za namizne aplikacije.

Festo, d.o.o. Ljubljana

Blatnica 8

SI-1236 Trzin

Telefon: 01/ 530-21-00

Telefax: 01/ 530-21-25

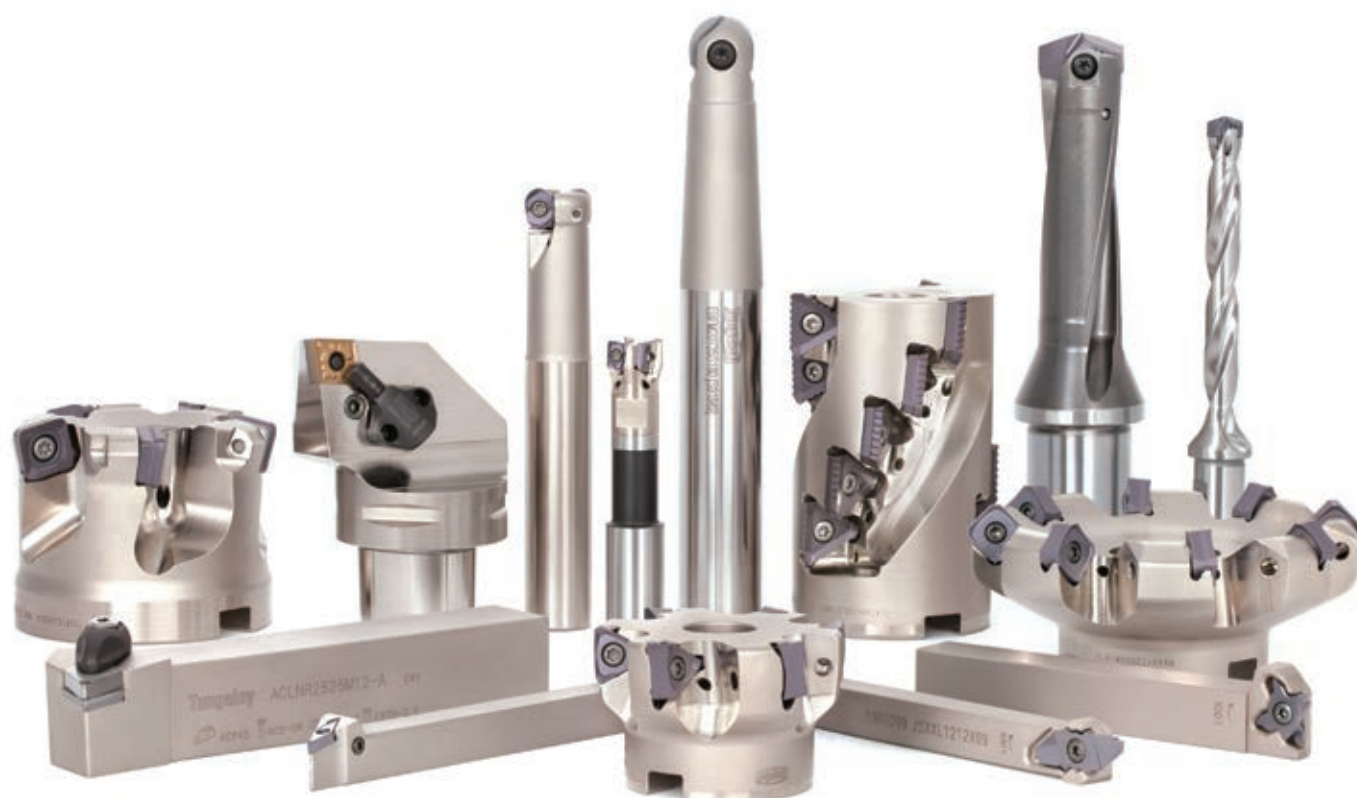
Hot line: 031/766947

sales_si@festo.com

www.festo.si



Inovativne rešitve za potrebe industrije 4.0



www.tungaloy.com • info@tungaloy.si • tcm-oredja@siol.net



MOULDING
EXPO

*Mednarodni sejem
za orodja, modele in kalupe*

Orodje & Model & Oblika & Ti.

21.–24. maj 2019

Sejem Stuttgart, Nemčija

#MEX2019

www.moulding-expo.com

THE FACTORY AUTOMATION COMPANY

FANUC

V svetu obratuje trenutno že 520.000 industrijskih robotov FANUC!



CNC



ROBOTI



ROBOCUT



ROBODRILL



ROBOSHOT



KOČEVAR
Uporovno varjenje

- točkovno varjenje
- multitočkovno varjenje
- bradavičasto varjenje
- kolutno varjenje
- sočelno varjenje
- avtomatizacija varjenja



• bradavičasto varjenje



• multitočkovno varjenje



• avtomatizacija varjenja



• kolutno varjenje

Svetovanje, rezervni deli, potrošni material...





SKLADIŠČE

Mora biti blago tudi pri vas vedno ob pravem času na pravem mestu in brez napak?

Paket MOBOS Skladišče sestavljajo moduli:

Prevzem	Prevzem blaga (kosovno, šarža, serijska številka, rok uporabe)
Izdaja	Izdaja blaga
Medskladiščni prenos	Prenos blaga med skladišči
Preskladiščenje	Premiki blaga znotraj istega skladišča (modul »Lokacijsko vodeno skladišče«)
Lokacijsko vodeno skladišče	Informacije o lokaciji blaga, vodenje po skladišču
Optimizacija po skladišču	Predlog optimalnih poti in razporeditve blaga v skladišču
Proizvodnja	Enostavna proizvodnja z možnostjo dodelav po specifikaciji stranke
Inventura	Inventura blaga v skladišču
Sledljivost	Skrb za pravočasno izdajo iz skladišča (FIFO, FEFO)
Komision	Izdelava dokumentov po predlogi



Paket Skladišče je del celotnega sistema MOBOS. Ta je na voljo v različnih paketih, ki jih lahko med seboj kombiniramo. Tako lahko istočasno na istem terminalu deluje več paketov, npr. **TERENSKA PRODAJA, ZBIRANJE NAROČIL in SKLADIŠČE**. Več na www.mleoss.com

MOBOS Skladišče je rešitev za vse, ki želite pospešiti in poenostaviti delo v skladišču ter izločiti napake. **MOBOS** je povezljiv z vašim informacijskim sistemom. Povprašajte na leoss@leoss.si ali po telefonu **(01) 530 90 28**. Za vse produkte iz našega kataloga zagotavljamo kompletno podporo in pomoč kot tudi vzdrževanje v lastnem servisu.

LEOSS d.o.o., Dunajska cesta 106, 1000 Ljubljana. T: (01) 530 90 20 in 040 480 006 E: leoss@leoss.si



**REŠITVE V
PAKETIH**

V LUČI NOVIH IZZIVOV

in rasti podjetja na lokaciji v Preboldu zaposlimo:

- 1. VODJE PROJEKTOV V
AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI**
- 2. TEHNOLOGE VZDRŽEVANJA**
- 3. SKRBNIKA SISTEMA IT**
- 4. VODJE PROJEKTOV ZA NPI
ORODJA**
- 5. TEHNOLOGE KAKOVOSTI**
- 6. KONSTRUKTERJE**
- 7. STROKOVNJAKE S PODROČJA
BRIZGANJA PLASTIKE**
- 8. VEČ ŠTUDENTOV IN
DELAVCEV V PROIZVODNJI**

Prijave in informacije:

E-mail: zaposlitev@odelo.si

Telefon:

+386 3 703 46 47

www.odelo.si

Podjetje ODELO je vodilni proizvajalec in sistemski dobavitelj avtomobilskih luči za mednarodno avtomobilsko industrijo.

Ustvarjajte z nami svetlo prihodnost na poti polni izzivov in se nam pridružite kot sodelavec v dinamičnem mednarodnem okolju priložnosti.

Več informacij o razpisanih pogojih si lahko ogledate na www.odelo.si ali pa nas pokličete.

TOX® PROIZVODNI PROGRAM



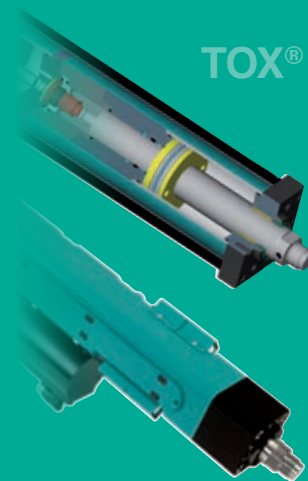
TOX® - Stiskalnice

od 2 – 2000 kN



TOX® - Klešče

Ročne, robotske in strojne klešče

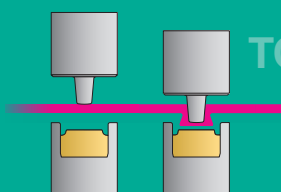


TOX® - Pnevmohidravlični cilindri

od 2 – 2000 kN

TOX® - Servo pogonske enote

do 500 kN



TOX® - Orodja za hladno spajanje pločevin



PILIH

PILIH d.o.o.

Ob Dragi 5, SI – 3220 Štore

Tel: 03 780 20 50 • e-pošta: info@pilih.si

www.pilih.si

www.tox-de.com

PAN GOSLAR



Ta mesec smo praznovali že 28 let, vendar naši začetki segajo že 40 let nazaj. Naš program sega od prodaje čistil, čistilnih pripomočkov, strojev do sanitarnega papirja. Imamo lasten servis in dostavo blaga. Že na samem začetku smo se odločili presegati zgolj povprečje s trdim delom strogim izborom le na najbolj kvalitetne ponudbe čistil in strojev ter izredno bogatimi izkušnjami, širokim znanjem in visoko kakovostjo.



Stacionarno vpenjanje za Industrijo 4.0

Visokokakovostna avtomatizacija in priprava na naloge Industrije 4.0 hodita pri podjetju SMW-Autoblok z roko v roki. Proizvajalec vpenjalne tehnike širi svojo ponudbo v tej smeri.

Ko gre za iskanje rešitev z zajamčeno prihodnostjo, se podjetja po vsem svetu vse bolj zanašajo na tehniko in znanje družbe SMW-Autoblok Spannsysteme GmbH. Proizvajalec vpenjalne tehnike s sedežem v mestu Meckenbeuren ob Bodenskem jezeru po svetu zaposluje približno 600 ljudi in ima več kot 50 prodajnih podružnic in zastopstev. SMW-Autoblok dobavlja vpenjalne sisteme na ključ za obdelovalne stroje, avtomobilsko industrijo, naftna polja, letalsko industrijo in splošno strojegradnjo.

Kupcem je med drugim na voljo tudi popolna paleta vpenjalnih sistemov za struženje in brušenje. Ne glede na to, ali gre za hitromenjalne čeljustne glave, membranske vpenjalne glave ali samocentrirne linete, lahko SMW-Autoblok vsakemu kupcu ponudi pravo rešitev za vpenjanje. Kako obsežen je program izdelkov, je razvidno tudi iz debeline glavnega kataloga, ki obsega več kot 400 strani.

Razširitev ponudbe s stacionarno vpenjalno tehniko

Tretji segment v ponudbi podjetja SMW-Autoblok, poleg vpenjalnih sistemov za struženje in brušenje, predstavljajo stacionarni vpenjalni sistemi. Namenjeni so predvsem obdelovalnim centrom in imajo lasten katalog.

Novi vpenjalni sistem z ničelno točko SMW-Autoblok APS omogoča uporabnikom, da skrajšajo čas priprave tudi za 90 odstotkov. Sistem vpenjanja z ničelno točko APS je namenjen popolni obdelavi s postopki, kot so struženje, rezkanje, merjenje, erozija ali brušenje, uporabniku pa prinaša koristi občutnega zmanjšanja stroškov priprave in povečanja razpoložljivosti strojev v celotni proizvodnji.



► Vpenjalni steber RT je združljiv z vsemi običajnimi paletami za stroje in ga je mogoče opremiti na različne način. Uporaba sistema vpenjanja z ničelno točko APS prinaša opazno skrajšanje časa priprave.

Tri različne linije izdelkov Basic, Premium in Top ponujajo optimalne rešitve za vsako nalogo. Moduli so na voljo v kaljenih in prevlečenih izvedbah iz jekla, kakor tudi v izvedbah iz kaljenega jekla. Do trije vpenjalni drsniki zagotavljajo najboljši prijem med obdelavo, še posebej pri zahtevnih obdelavah na obdelovalnih centrih. S standardno funkcijo Turbo se lahko potezne sile povečajo do 45 kN. APS ima zelo majhno vgradno višino ter zagotavlja natančnost in ponovljivost pod 0,005 mm. Posebna prevleka na vpenjalnih drsnikih in na vpenjalnem čepu skrbi za trajno nemoteno delovanje sistema in najdaljšo dobo uporabnosti.

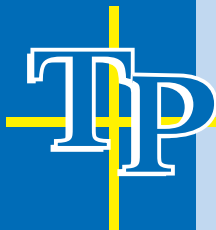
Moduli APS so zaščiteni pred rjavenjem (različica iz nerjavnega jekla) in zatesnjeni. Da nosilna površina vpenjalnega sistema med odpiranjem modula ostane čista, skrbi vgrajena čistilna funkcija (zaporni zrak). Možen je tudi nadzor naleganja vpenjalne naprave s pomočjo zraka in sistem vpenjanja z ničelno točko APS je tako idealen za vključitev v aplikacije Industrije 4.0.



► Pripravljen za Industrijo 4.0: strojni primež SL Proofline

www.smw-autoblok.de





TEHNA PLUS

d.o.o.
trgovsko in proizvodno podjetje

V prodajnem programu imamo vsa orodja vrhunske kakovosti za kovinskopredelovalno industrijo, med katerimi so najpomembnejši naslednji programi:

MITSUBISHI, ki ima v programu več kot 50.000 različnih orodij, kot so:

- orodja za struženje
- trdokovinski svedri za globoko vrtanje do 40 x D
- orodja za vrtanje do trdote 60 HRC
- orodja za rezkanje do trdote 55 HRC
- rezkarji iz karbidnih trdin do trdote 70 HRC

Ostali programi so naslednji:

- magnetni vrtalniki in kronski svedri
- vse vrste žag za strojno industrijo
- vse vrste ščetk za čiščenje in poliranje
- vse vrste merilnega orodja
- vse vrste HSS in HSSE svedrov ter navojnih svedrov

TEHNA PLUS, d.o.o.

Njiverce, Ob železnici 6
2325 Kidričevo, Slovenija

Poslovalnica:

Rogozniška 14, 2250 Ptuj, Slovenija

E-mail: info@tehnplus.com

Tel.: +386 2 780 67 00, 780 67 06

Faks: +386 2 780 67 05

www.tehnplus.com

**Vaše
zadovoljstvo!**



MVX 6D

MVX svedri zagotavljajo stabilno obdelavo in kvalitetno površino izvrtine.

Namenjeni so za vrtanje v jeklo, inox in sivo ter jekleno litino do globine 6 x D, s katerimi dobimo razširitev izvrtine z delnim povrtanjem ter struženjem.

 MITSUBISHI MATERIALS



Wittmann

Eno podjetje za vse rešitve.

www.wittmann-group.com

**Vabljeni na 10 letnico združitve
WITTMANN-BATTENFELD
13. in 14. junij – Kottlingbrunn Avstrija
Prijave na: info@robos.si**



ROBOS d.o.o.

Brničeva 31, SI-1231 Ljubljana Črnuče

Tel: 01 7888 535 | Fax: 01 7888 531 | Mobi: 041 779 019 | www.robos.si | info@robos.si

world of innovation

Zmanjšajte stroške merjenja s fleksibilnim merilnim sistemom Equator

Pridružite se stotinam dobaviteljem avtomatiziranih delov, ki uporabljajo Equatorjev sistem nizke potrošnje za potrebe aplikacij in proizvodnih procesov s strojno ali programsko opremo in priborom za ročne in avtomatizirane operacije.

Equator je prilagodljivo merilo, zasnovano za hitrost, ponovljivost in preprosto uporabo pri ročnih ali avtomatiziranih aplikacijah.

- Majhni stroški lastništva
- Preprosta avtomatizacija
- Neobčutljivost na temperaturne spremembe

Uradni distributer za izdelke Renishaw v Sloveniji, na Hrvaškem, v Bosni in Hercegovini, Srbiji, Črni Gori in Makedoniji:



RLS d.o.o. Poslovna cona Žeje pri Komendi, Pod vrbami 2, 1218 Komenda
T 01 527 2100 F 01 527 2129 E mail@rls.si www.rls.si

www.renishaw.si/equator





10. INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
forum-irt.si

ISBN 978-961-94025-4-2



9 789619 402542