

VARILNA TEHNIKA

Izdaja:
Slovensko društvo za varilno tehniko

Letnik: 71
ISSN 2463-9214



GLASILO DRUŠTEV ZA VARILNO TEHNIKO

WELDING REVIEW, ORGAN OF THE WELDING SOCIETIES

© Varilna tehnika letnik 71 (2020) številka 1.
Izdano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.

© *Varilna tehnika Volume 71 (2020) Issue 1.*
Issued in Slovenia. All rights reserved.

Impresum

Internet

<http://www.i-var.si/varilna-tehnika>

www.drustvo-sdvt.si/varilnatehnika

e-mail: arpad.koves@guest.arnes.si

Glavni in odgovorni urednik (*Editor*):

dr. ARPAD KÖVEŠ, univ. dipl. ing.

Uredniški odbor (*Editorial Board*):

Dr. MILOŠ JOVANOVIĆ

Doc. dr. GABRIEL RIHAR

Dr.–Ing. MIRO URAN

Dr. TOMAŽ VUHERER

Dr. DARJO ZULJAN

Naslov izdajatelja in uredništva:

Slovensko društvo za varilno tehniko,

Ptujska 19, SI–1000 Ljubljana,

tel.: +3861 280 94 00

Izdaja: v elektronski obliki na povezavi:

<http://www.i-var.si/varilna-tehnika>

Cena: brezplačna elektronska izdaja

ISSN: 2463-9214

KAZALO

73. LETNA SKUPŠČINA IIW: VIRTUALNA KONFERENCA JE ZAMENJALA TRADICIONALNO IZVEDBO LETNE SKUPŠČINE	1
UPORABA CERTIFICIRANEGA POSTOPKA VARJENJA V INDUSTRIJI	6
POVEZAVE MED OBLIKO PULZA LASERSKEGA NAVARJANJA IN OBLIKO NAVARA.....	13
SPECIALIZACIJA ZA MEDNARODNE VARILSKE KOORDINATORJE – IWE, IWT, IWS 2019/2020 ...	22
VARJENJE KOT NADGRADNJA NA PROFESIONALNI POTI.....	24
USPOSABLJANJE VARILCEV NA INSTITUTU ZA VARILSTVO	26

73. letna skupščina IIW: virtualna konferenca je zamenjala tradicionalno izvedbo letne skupščine

Prevod in priredba: dr. Arpad Köveš

Oblikovanje koncepta

Po svetovnem izbruhu pandemije koronavirusa COVID-19 februarja 2020 je Mednarodni inštitut za varjenje (IIW) s težkim srcem sprejel odločitev o odpovedi prvotno načrtovane letne skupščine v Singapurju in namesto tega razvil koncept letne skupščine na daljavo, ki je potekala približno v istem času od 15. do 22. julija. To je bilo velik projekt, saj skupščina hkrati vključuje več kot 25 komisij IIW-ja (WU – Working Units) s ciljno udeležbo več kot 500 strokovnjakov iz celega sveta.

IIW je ob podpori profesionalnega organizatorja dogodkov razvil koncept virtualnega konferenčnega centra, ki je zagotovil udeležencem tako imenovano konferenco iz oči v oči, ki je bila čim bolj podobna klasični izvedbi. Ta oblika je omogočila izvedbo praktično vseh dejavnosti IIW-ja, pa tudi socialno udejstvovanje, hkrati pa zagotovila varnost udeležencem, ki so sodelovali na daljavo iz svojih domov ali pisarn.



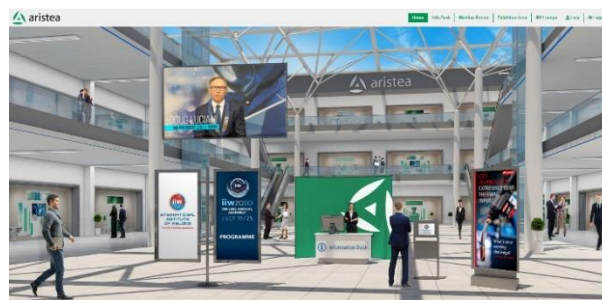
Slika 1: Virtualni konferenčni center 73. letne skupščine IIW

- Vsi sestanki so bili med 13:00 and 16:00 uro po CEST, saj je bil ta čas najbolj primeren za udeležence iz celega sveta na različnih časovnih pasovih.
- Od ponedeljka do sobote je bilo na voljo do 10 sej komisij, kar je omogočilo udeležencem, da so lahko prehajali iz ene seje na drugo ter tako sodelovali v večih različnih WU-jih oziroma komisijah

- Otvoritveni in zaključni govori ter podelitev nagrad IIW-ja so bili na voljo vsem udeležencem.
- Za sponzorje so bile ustvarjene navidezne kabine vključno s predhodno posnetimi videoposnetki in predstavitvami izdelkov, prikazi izdelkov ter funkcijo klepetanja (chata) v živo za lažjo interakcijo z občinstvom.
- Vključena je bila tudi razstava varilske umetnosti, ki je prikazovala varilsko umetnost iz celega sveta z razlago le-te iz perspektive umetnikov.

Registracija na konferenco je omogočila večim udeležencem iz iste organizacije nižjo ceno.

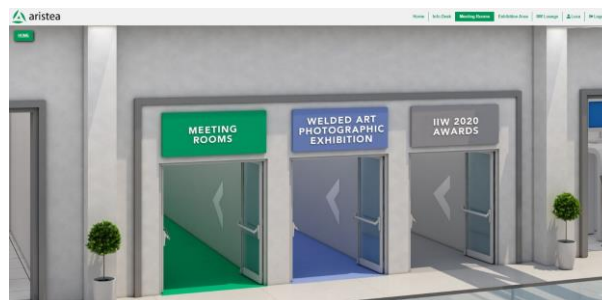
Projekt spletne letne skupščine je v obdobju treh mesecev razvil nov sekretariat IIW-ja, ki je začel svoje delo v letu 2020, vodil ga je dr. Luca Costa ter IIS - italijanski inštitut za varjenje.



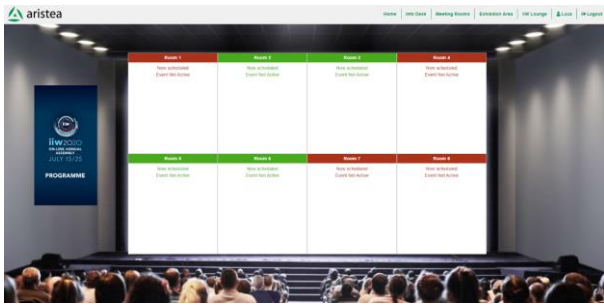
Slika 2: Navidezna avla 73. letne skupščine IIW



Slika 3: Plato sponzorjev v virtualnem konferenčnem centru 73. letne skupščine IIW



Slika 4: Dostop do sejnih sob in do razstave



Slika 5: Plato za dostop v sejne sobe

Dogodek so podprli naslednji sponzorji:

- Kiswel
- Fornius International GmbH
- Cavitar
- Panasonic

Registracija za virtualno letno skupščino se je pričela 1. junija, virtualni konferenčni center pa se je odprl za sestanke 8. julija 2020.

Številke govorijo o velikem uspehu virtualne konference letne skupščine

V otvoritvenem govoru na 73. letni skupščini je predsednik IIW-ja Douglas Luciani dejal: “Vsaka organizacija mora biti toliko fleksibilna, da se lahko prilagodi trenutnim okoliščinam, posebno takim, kakor nas je letos presenetila pandemija koronavirusa COVID-19”. V tem oziru je spletno platformo komentiral z naslednjimi besedami: “Prepričan sem, da bomo s tem edinstvenim okoljem omogočili nadaljnjo uspešno izvedbo letne skupščine in s tem omogočili krepitev globalnega sodelovanja industrije varjenja in spajanja”. Vsi so se strinjali, da je bila virtualna spletna letna skupščina IIW-ja zelo uspešna, saj je število udeležencev preseglo ciljno število in ni zmanjšalo števila pomembnih in plodnih tehničnih prispevkov.

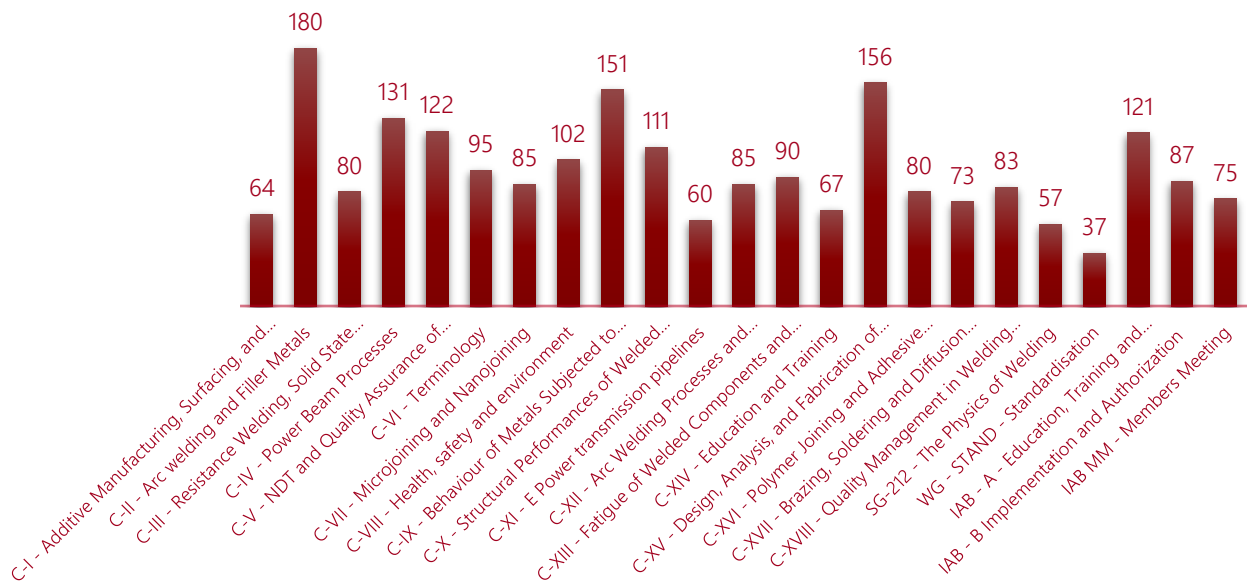


Slika 6: Razprave med spletnim zasedanjem letne skupščine IIW

V tem kontekstu je bilo:

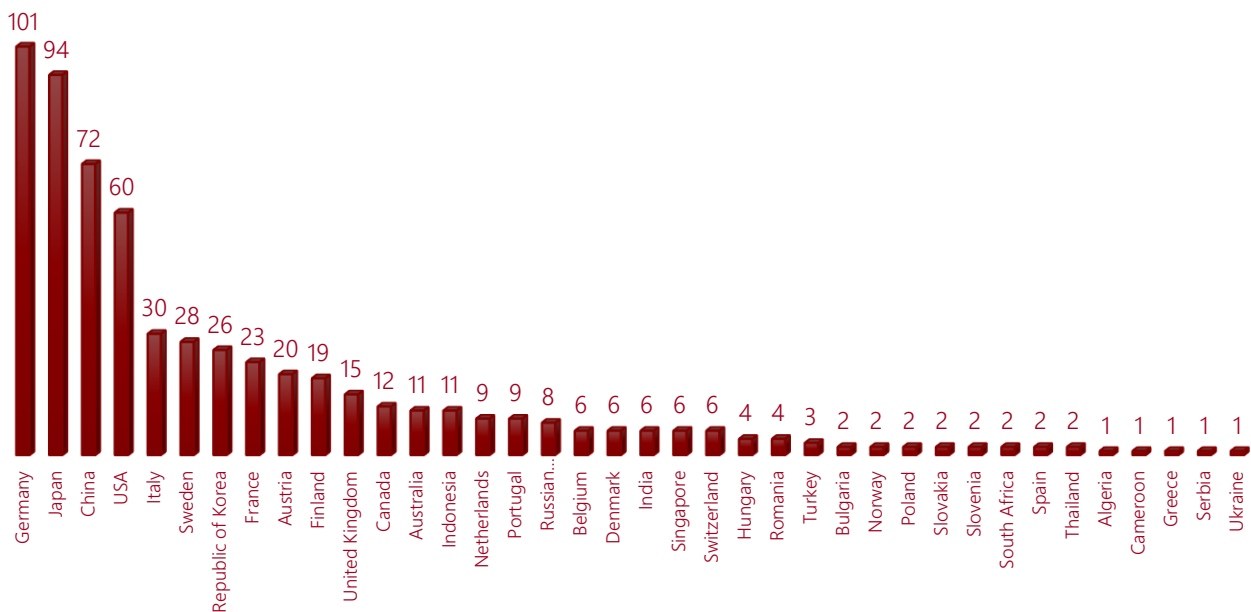
- 38 držav udeleženk
- 50 sej različnih komisij
- 150 ur sestankov v 48. sejah komisij
- 240 predstavljenih dokumentov,
- 37180 udeležencev na vsaki seji komisije

Attendances per Working Unit



Kot običajno so udeleženci letne skupščine predstavljali delegacije posameznih držav. Od 50 držav članic so bili na 73. letni skupščini prisotni delegati iz 38 držav.

Participants per delegation (country)



Prepoznavanje odličnosti

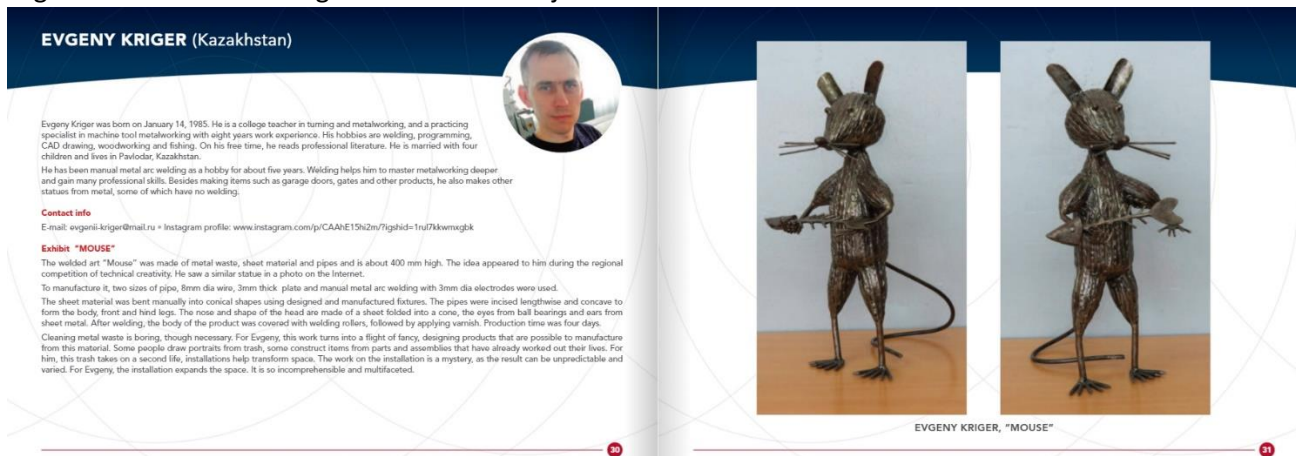
Med letno skupščino je bila izvedena tudi razglasitev IIW-jevi nagrad in priznanj za leto 2020 posameznikom za izjemne prispevke znanosti in povezovanju organizacij na področju varjenja, spajanja in sorodnih procesov. Dobitniki so bili naslednji:

- WALTER EDSTRÖM MEDAL, prejemnik Dr Ernest Levert
- FELLOW OF IIW, prejemniki: Prof. Yoshinori Hirata, Dr Eric M. Sjerve and Prof. Adolf F. Hobbacher
- ARTHUR SMITH AWARD, prejemnik Dr Glenn Ziegenfuss
- CHRIS SMALLBONE AWARD, prejemnik Dr Jim Guild,
- THOMAS MEDAL, prejemnik Dr Vincent Van Der Mee

- YOSHIKI ARATA AWARD, prejemnik Dr Stephen Liu
- HALIL KAYA GEDIK AWARD, prejemnik Prof. Zuheir Barsoum
- WELDING IN THE WORLD BEST PAPER AWARD, prejemnik Dr Alexis Chiocca
- HENRY GRANJON CATEGORY B AWARD, prejemnik Dr Klaus Schricker
- HENRY GRANJON CATEGORY C AWARD, prejemnik Dr Mohan Subramanian

V okviru virtualne letne skupščine IIW-ja je bila organizirana tudi druga razstava varjenih

umetniških del, na kateri je sodelovalo 33 umetnikov iz celega sveta. Posebne kategorije so vključevale nastajajoče tehnologije spajanja, mlade umetnike in fotografije, s čimer se načrtuje nadaljnja razširitev kategorij umetnosti na prihodnjih razstavah. Udeležence so predstavljali svetovno znani umetniki in kiparji pa tudi taki, ki jim je tovrstna dejavnost hobi. Sodelovali so tudi taki, ki so vključevali eksperimentiranje z novjšimi procesi, kot je npr. 3D tiskanje, potem fotografi s fotografijami, ki prikazujejo varjenje z umetniškega vidika ipd.



Slika 7: Stran kataloga razstavljenih eksponatov varjenih umetniških del s primerom varjene "miške", izdelane iz kovinskih odpadkov pločevine in cevi

Menjava predsednika IIW-ja

V skladu s statutom IIW-ja je g. Douglas Luciani (Kanada) letos z zaprtjem letne skupščine zaključil svoj triletni predsedniški mandat, nasledil ga je novoizvoljeni g. David Landon (ZDA). Zaradi virtualne izvedbe letne skupščine ni bilo tradicionalne primopredaje predsedniške funkcije, le-ta je bila uprizorjena z videoposnetki.



Slika 8: Douglas Luciani, predsednik IIW-ja 2017-2020 med svojim otvoritvenim govorom

»Ko se ozrem na zadnja tri leta, je razveseljivo videti, kaj smo skupaj dosegli«, je med zaključnim govorom na letni skupščini dejal Luciani. Izpostavil je nekatere od teh dosežkov, kot sta sprejeti petletni strateški načrt IIW-ja in njegova vizija. »biti vodilna svetovna skupnost, ki povezuje industrijo, raziskave in izobraževanje za doseg večjega napredka na področju varjenja in spajanja za varnejši svet in trajnostni razvoj. Omenil je tudi preselitev sekretariata IIW-ja iz Francije v Italijo, ki deluje pod okriljem italijanskega inštituta za varjenje (IIS) ter nov petletni sporazum z Evropsko varilsko federacijo (EWF) na področju kvalifikacijske in certifikacijske sheme.



Slika 9: David Landon, predsednik IAWT-ja 2020-2023

»Ko se bodo prihodnje generacije zazrle nazaj v zgodovino IAWT-ja, se mi brez dvoma zdi, da bo njihova ugotovitev potrjevala moje mnenje, da so bila zadnja tri leta izredno plodna v zgodovini IAWT-ja«, je komentiral zadnje obdobje novoizvoljeni predsednik David Landon. Zadnjih 28 let je delal v podjetju Vermeer Corporation, svetovnem proizvajalcu industrijske in kmetijske opreme. Landon je v IAWT-ju aktiven od leta 1997, zadnja štiri leta je bil član upravnega odbora IAWT-ja. Je tudi aktiven član Ameriške varilske zveze – AWS (American Welding Society), leta 2015 je bil član

upravnega odbora AWS in tudi njen predsednik. V svojem govoru je poudaril, da je sodelovanje z IAWT-jem pozitivno vplivalo na njega in njegovo firmo, tako s tehničnega vidika kakor tudi z vidika kvalificiranja in certificiranja osebja in proizvodnje. Njegovo sodelovanje z IAWT-jem je podjetju Vermeer Corporation olajšalo iskanje mednarodnih partnerjev in omogočilo sodelovanje z njimi pri razvoju varjenih izdelkov in tehnologij. Zaključil je takole: »Ko gledam na IAWT in na vrednost sodelovanja z omenjeno institucijo, ugotavljam, da to sodelovanje pomeni za uporabnika veliko dodano vrednost«.

Prihodnji dogodki IAWT-ja

Ob trenutni negotovosti, ki je povezana s pandemijo COVID-19, IAWT pozorno spremlja razmere in bo sprejemal ustrezne odločitve glede izvedne načrtovanih IAWT-jevih dogodkov v naslednjih mesecih. Izkušnje z letošnjo virtualno 73. letno skupščino so pokazale, da se na tak način da izpeljati marsikateri dogodek, v kolikor klasičnih srečanj ne bi bilo mogoče organizirati. V vsakem primeru pa je jasno, da so osebna srečanja, v kolikor bodo mogoča, kljub vsemu nenadomestljiva.

IAWT upa, da bo v letu 2021 možno organizirati klasične oblike mednarodnih kongresov, kolokvijev in sestankov, vključno z 74. letno skupščino IAWT-ja, ki se planira v času od 20. do 25. junija 2021 v italijanski Genovi.



Slika 10: Prizorišče 74. Letne skupščine IAWT v Genovi, Italija, 20. do 25. junija 2021

Uporaba certificiranega postopka varjenja v industriji

*Nikolaj Samsa, C-IWE
Institut za varilstvo, Ljubljana*

Zvarni spoj, ki mora biti zanesljiv, da bo vršil svojo funkcijo nosilnosti, je potrebno preveriti. Z neporušitvenimi preiskavami ocenimo nepopolnosti v zvarnem spoju. V primeru pozitivne ocene še ne moremo trditi, da je tak spoj sposoben prenašati določene napetosti. Za ugotovitev nosilnosti so potrebne mehanske preiskave. Šele z vsem zgoraj navedenim bomo lahko potrdili, da je zvarni spoj ustrezne kakovosti. Porušen zvarni spoj je sicer neuporaben, vendar pri tem dobimo vse podatke, da lahko zvar podobnih lastnosti ponovno izvedemo. Zato moramo imeti ustrezen material, ustrezne pogoje pri varjenju, dodajni material, pomožne materiale in vnešeno energijo, ki smo jo uporabljali pri varjenju. Vnos energije je glede na uporabljeno omejena navzgor in navzdol. Pri prevelikem vnosu energije nam lahko narastejo zrna in dobimo prenizke vrednosti žilavosti. Pri premajhnem vnosu energije se nam poviša trdota v zvaru oz. toplotno vplivanem območju (ne velja za avstenitna jekla). Povečanje trdote materiala je največkrat znak za krhko strukturo materiala.

Standard EN ISO 15607 določa načine kvalifikacije postopka varjenja, ki je namenjen za določene načine varjenja. Upoštevani so načini za obločno varjenje, varjenje z elektronskim snopom, varjenje z laserskim žarkom, uporovno varjenje in plamensko varjenje. Dodana sta še načina varjenja za čepe in tornu varjenje.

Osnovna pravila so namenjena za ročno, mehanizirano in avtomatsko varjenje.

Pred samo kvalifikacijo varilnega postopka je potrebno varilcu ali operaterju predložiti predhodni popis postopka (pWPS), ki ga sestavi tehnolog – koordinator varjenja na osnovi izkušenj ali ga pridobi na kateri koli drugi način (popisi postopkov od proizvajalca stroja, izdelovalca dodatnih materialov, ...). Kvalifikacijo po pWPS naj praviloma opravijo že kvalificirani oziroma certificirani varilci.

Popis oziroma specifikacijo varilnega postopka za ročno obločno varjenje kovinskih materialov po ISO

15609-1, za plamensko varjenje ISO 15609-2, varjenje z elektronskim snopom ISO 15609-3, varjenje z laserjem ISO 15609-4, elektro uporovno varjenje ISO 15609-5, obločno hibridno varjenje z laserjem ISO 15609-6, se sestavlja na osnovi kvalifikacije postopka varjenja. Sestavi ga koordinator varjenja odobri pa proizvajalec.

Pridobitev popisa postopka varjenja je na več načinov – glej na naslednji strani »diagram poteka« za razvoj in kvalifikacije postopkov varjenja, ki prikazuje možnosti pridobitve ustreznega popisa postopka (WPS).

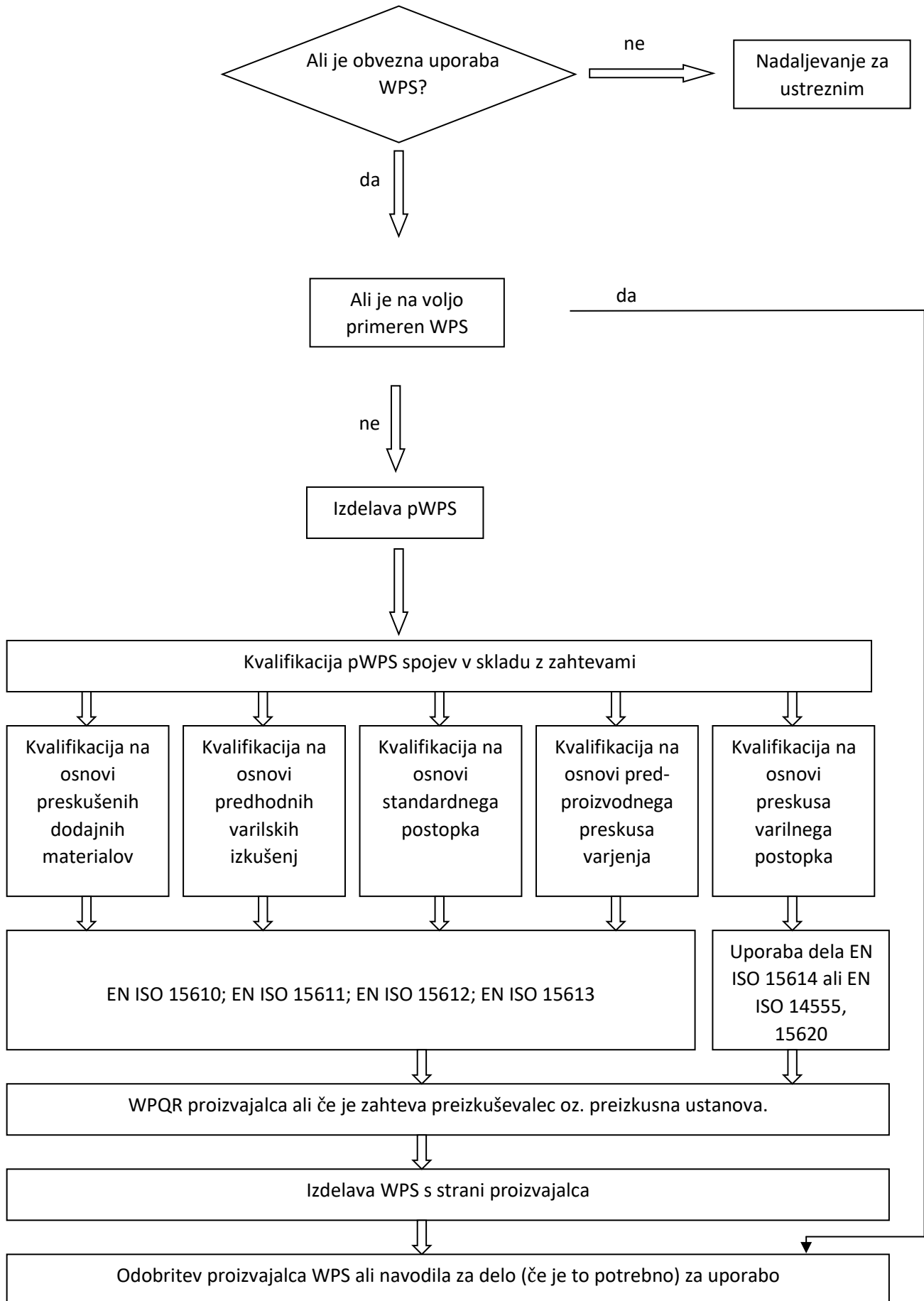
Za odgovornejša varilska dela je zahtevana izdelava postopka po EN ISO 15613, EN ISO 17660 ali EN ISO 15614, ki ima več delov v odvisnosti od uporabljenih osnovnih materialov. Certificiranje postopka varjenja je tudi ugotavljanje sposobnosti izvajalca, da izvede ustrezen zvarni spoj.

Kadar je zahteva po certificiranju po EN ISO 15614, je upravičeno pričakovati, da bo poleg varilca ali operaterja sodeloval tudi tehnolog oziroma koordinator varjenja. Varilec mora dobiti vso strokovno podporo pri izvajanju izdelave vzorca za certificiranje po omenjenem standardu.

Priporočljivo je, da se na certifikacijo podjetje pripravi tako, da predhodno opravi varjenje s parametri na enak material kot se vari za certifikacijo. Stremeti je potrebno, da bo zvarni spoj varjen s parametri, ki bodo omogočali hitrejšo in cenejšo izvedbo varilskih del.

DIAGRAM POTEKA ZA RAZVOJ IN KVALIFIKACIJE POSTOPKOV VARJENJA

(vir standard SIST EN ISO 15607- prevod Niko Samsa)



Certificiranje postopka varjenja

V prisotnosti nadzornika certificiranja postopka s strani priglašene organa, se izvede zvar po predhodnem popisu postopka (pWPS). Varilec upošteva parametre, ki so navedeni v predhodnem popisu postopka (pWPS), dejanske parametre pa kontrolor priglašene organa vpisuje v zapis. Po končanem varjenju se testni kosi pregledajo, preiščejo in preizkusijo po standardu v priglašenem laboratoriju. Po opravljenih raziskavah in mehanskih preskusih, ki jih določa standard, se v primeru pozitivnih rezultatov izda poročilo o preskušanju in WPQR certifikat/odobritev postopka, ki vsebuje tudi poročilo o varjenju. V tem poročilu so parametri varjenja, ki so bili uporabljeni in so osnova za popis postopka (WPS).

V primeru, da nista bili pri mehanskih preizkusih merjeni trdota in žilavost (jeklo S355), se pri uporabi vpisanih parametrov v WPQR ne sme

uporabiti večjega ali manjšega vnosa toplote, kot je bil pri varjenju posameznega varka na certificiranju.

V primeru, da so bile merjene trdote in žilavosti, je vnos toplote v mejah za 25% navzgor ali navzdol od dejansko uporabljene pri certificiranju postopka varjenja. V primeru, da niso bile izmerjene trdote se vnos toplote ne tolerira v nižje vrednosti, v primeru, da ni bilo izvedenih preizkusov žilavosti, pa se ne sme prekoračiti vnese toplote, ki je bila določena pri certificiranju posameznega varka. Oglejmo si parametre varjenja primera varjenja za MAG način podanih v tabeli 1. Običajno nastavljene vrednosti parametrov med varjenjem nihajo, zato jih pišemo v obsegu. V spodnji tabeli so vrednosti vpisane brez obsega.

Primer **MAG** varjenje pločevine S355J2+N debeline 12 mm.

Tabela 1: Parametri varjenja pri certificiranju postopka

Način varjenja	Dodajni material Ø [mm]	Jakost toka [A]	Napetost varjenja [V]	Vrsta toka/ polariteta	Hitrost varjenja		Hitrost elektr. žice [m/min]	Vnos energije [kJ/cm]	Oblika prehoda dodatnega materiala v obloku
					[cm/min]	[mm/s]			
135	1,2	144	16,7	DC(+)	15	2,5	3,6	7,69	D
135	1,2	160	17	DC(+)	18	3,0	3,8	7,25	D
135	1,2	175	18,2	DC(+)	20,6	3,43	4,6	7,42	D

V tabeli 1 je vidna hitrost varjenja posameznega varka. Navedeni so samo prvi trije varki. Glede na hitrost dodajanja elektrodne žice premera 1,2 mm, lahko izračunamo polnitve žleba priprave robov na Y s 3 mm režo in 2 mm topim robom. Prvi varek bi napolnil žleb 26,05%, drugi varek 22,91%, tretji varek 24,24%. Tako bi bil žleb skupaj napolnjen že do 73,2%. Iz jakosti varilnega toka je iz zgornje tabele razvidno, da je bil prenos materiala v obloku kratkostičen. Na osnovi tabele 1 bi se koordinator lahko odločil za parametre varjenja, ki bi zagotavljali pršeči prehod materiala s približno enakim vnosom toplote. Iz poročila o preskušanju je potrebno ugotoviti ali imamo rezervo pri žilavosti in trdoti.

Rezultati preskusov so prikazani v tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati preizkusov žilavosti v toplotno vplivani coni in v zvaru

KV ₂ (KV ₂) [J] **)	KV ₂ - preračunano (KV ₂ - Calculated) (KV ₂ - Umgerechnet) [J/cm ²]	KV ₂ - povprečje (KV ₂ - Average) (KV ₂ - Durchschnitt) [J]	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN 10025-2: ≥ 27 J	Lega zarez (Notch position) (Kerb-Lage)
165	/	157 ± 9,5	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel	VHT 1/1
156	/			VHT 1/1
151	/			VHT 1/1
146	/	145 ± 9,0	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel	VWT 0/1
140	/			VWT 0/1
150	/			VWT 0/1

Rezultati žilavosti v zgornji tabeli 2 kažejo, da imamo dovolj rezerve in je dopustno preseči vnos toplote za 25% (zaradi večjega vnosa toplote bi se znižala žilavost). Najenostavnejša je regulacija vnosa toplote z višanjem ali nižanjem hitrosti varjenja, saj je neodvisna spremenljivka. V primeru, da uravnavamo vnos toplote s spremembo jakosti toka, se spreminja tudi napetost varjenja (razen pri idealni vodoravni statični karakteristiki izvora). Tudi hitrost dodajanja elektrodne žice bi morala biti spremenjena.

Tabela 3: Rezultati meritev trdote

		Območje (area / Gebiet)	Legatiskov (Position of indentations / Lage der Eindrücke)	Izmerjene vrednosti (HV 10) (Individual hardness values / Messwerte) (HV 10)	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN ISO 15614-1: ≤ 380 HV10
Osnovni material (Parent metal) (Grund- Werkstoff)	Toplotno nevplivan (Unaffected metal) (Unbeein- flußter Werkstoff)	1	OM, nevplivan, površina (PM, unaffected, surface / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Oberfläche)	153 ; 149 ; 147	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		2	OM, nevplivan, sredina (PM, unaffected, centre / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Mitte)	139 ; 142 ; 140	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		3	OM, nevplivan, površina (PM, unaffected, surface / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Oberfläche)	158 ; 160 ; 157	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		4	OM, nevplivan, sredina (PM, unaffected, centre / Grundwerkstoff, unbeeinflusst, Mitte)	145 ; 150 ; 147	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
	Toplotno vplivana cona (Heat affected zone - HAZ) (Warme- einfluß- Zone-WEZ)	5	OM, TVC, teme zvara (PM, HAZ, top of weld / Grundwerkstoff, WEZ, nahtoberseite)	153 ; 158 ; 170 ; 175 ; 182	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		6	OM, TVC, koren zvara (PM, HAZ, bottom of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	165 ; 193 ; 184 ; 180 ; 216	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel

	Območje (area / Gebiet)	Legatiskov (Position of indentations / Lage der Eindrücke)	Izmerjene vrednosti (HV 10) (Individual hardness values / Messwerte) (HV 10)	Zahteva (Requirement / Anforderung): EN ISO 15614-1: ≤ 380 HV10	
		7	OM, TVC, teme zvara (PM, HAZ, top of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtoberseite)	155 ; 157 ; 165 ; 150 ; 158	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		8	OM, TVC, koren zvara (PM, HAZ, bottom of weld / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	166 ; 162 ; 175 ; 158 ; 170	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		9	OM, TVC, notranjost korena (PM, HAZ, root run, inside / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	174 ; 189 ; 163 ; 172 ; 175	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		10	OM, TVC, notranjost korena (PM, HAZ, root run, inside / Grundwerkstoff, WEZ, Nahtunterseite)	164 ; 158 ; 160 ; 159 ; 172	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
Zvar (Weld) (Schweißgut)		11	Var, krovni sloj (Weld metal, final run / Schweißgut, Decklage)	206 ; 202 ; 204	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		12	Var, krovni sloj (Weld metal, final run / Schweißgut, Decklage)	232 ; 233 ; 235	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel
		13	Var, koren zvara (Weld metal, root run / Schweißgut, Wurzellage)	/	/
		14	Var, notranjost korena (Weld metal, final run, inside / Schweißgut, Wurzellage)	187 ; 186 ; 197	Sprejemljivo Satisfactory / Akzeptabel

Rezultati meritve trdote v tabeli 3 potrjujejo, da imamo možnost varjenja z manjšim vnosom toplote, saj ni presežena vrednost 380HV. Tako lahko vnos toplote zmanjšamo za 25%.

Najenostavnejše je s spremembo hitrosti varjenja, ki jo povečamo.

Sproščeno energijo za posamezni varek izračunamo iz podanih parametrov v skladu s standardom ISO/TR 18491.

Enačba 1

$$E = \frac{U \cdot I}{v} 10^{-3}$$

Enačba 2

$$E = \frac{IE}{L} 10^{-3}$$

Enačba 3

$$E = \frac{IP}{v} 10^{-3}$$

- I – jakost varilnega toka (A)
- L – izvlečna dolžina varka (mm)
- U – napetost obloka (V)
- v – hitrost varjenja (mm/s)
- E – energija obloka kJ/mm
- IE – trenutna energija (J)
- IP – trenutna moč (J/s)

Za izračun vnosa toplote za posamezni varek upoštevamo še faktorje izgube toplote glede na način varjenja, ki so podani v standardu SIST EN ISO 1011-1 ali ISO 17671-1. Za MAG način varjenja je faktor 0,8.

Enačbi dva in tri sta uporabni pri izvori s pulznim vnosom energije.

Z novimi sinergetskimi izvori toka imamo lažje delo in si lahko nastavljamo kombinacije, ki nam

ustrezajo. Tako si lahko za povečano produktivnost varjenja (glede na vnos toplote pri certificiranju postopka varjenja) določimo nove parametre varjenja, na osnovi katerih se vnos toplote ne bo bistveno spremenil.

Tabela 4: Parametri varjenja s spremenjenimi parametri varjenja drugega in tretjega varka.

Način varjenja	Dodajni material Ø [mm]	Jakost toka [A]	Napetost varjenja [V]	Vrsta toka/ polariteta	Hitrost varjenja [cm/min][mm/s]		Hitrost elektr. žice [m/min]	Vnos energije [kJ/cm]	Oblika prehoda dodajnega materiala v obloku
135	1,2	144	16,7	DC(+)	15	2,5	3,6	7,69	D
135	1,2	250	24	DC(+)	38	6,2	8,5	7,57	S
135	1,2	260	29	DC(+)	47	7,8	9,5	7,7	S

Na osnovi hitrosti varjenja, hitrosti podajanja elektrodne žice, izgube zaradi brizganja in oblike zvarnega žleba lahko izračunamo vrednosti polnitve žleba (tabela 4). Polnitev žleba prvega varka znaša 26,05%, drugega varka 24,28% in tretjega 21,94%. Skupaj je polnitve 72,27%.

Izračunamo čas varjenja treh varkov na dolžini enega metra zvara oz. 100 cm. Pri prvem primeru (tabela 1), bi potrebovali efektivno 17,07 min. Po spremembi parametrov varjenja drugega in tretjega varka (tabela 2) bi za varjenje 1 m varjenja s tremi varki, potrebovali efektivno 11,04 min.

Če upoštevamo, da v osmih urah efektivno varimo predvidoma tretjino časa (oziroma 60 min) bomo s parametri iz prve tabele zvarili 9,37 m, s parametri iz druge tabele pa 14,49 m zvara, kar je za 54% več.

Standard nam dovoljuje tudi spremembo hitrosti varjenja prvega varka za max 25%. Tako bi sprememba hitrosti varjenja prvega varka za 25% navzgor znašala 20 cm/min (iz hitrosti 15cm/min zvara oziroma 2,5 mm/s na 20 cm/min).

Polnitev žleba bi bila v tem primeru za 26% manjša (iz 26,5% bi se polnitev žleba zmanjšala na 19,54%). V tej zvezi bi se zmanjšal tudi vnos toplote iz sicer iz 7,65 kJ/cm na 5,77 kJ/cm. Spreminjanje

parametrov varjenja v dovoljenem obsegu za prvi varek je tvegana. Praksa kaže, da nikoli ne spreminjamo parametre prvega varka, kajti imeli smo ustrezno prevaritev, s spremembo pa nimamo te zagotovitve. Pozorni moramo biti na zmanjševanje hitrosti varjenja posameznih varkov, saj obstaja nevarnost, da z zmanjševanjem hitrosti varjenja dobimo zlepe, ki so nesprejemljivi.

Zgoraj navedene jakosti toka (tabela 4) za drugi in tretji varek pomenijo, da smo iz kratkostičnega prenosa materiala, ki je bil naveden v prvi tabeli, prešli na pršiči prehod materiala. Standard EN ISO 15614-1 ne dovoljuje spremembe prehoda (prenosa) materiala iz kratkostičnega, ki je bil uporabljen in sprejet pri certificiranju postopka, na pršiči prenos. Pršiči prehod materiala pa standard ne dovoljuje spremeniti na kratkostičnega. Zgoraj navedene spremembe moramo torej opraviti v času certificiranja, da imamo pozneje možnost pri izdelavi popisov postopka (WPS) iz certificiranega, spreminjati vrednosti v pršičem prehodu materiala.

Nove vrednosti varilnih parametrov vpišemo v popis postopka varjenja z upoštevanjem WPQR. Obrazec WPS je prikazan v spodnji tabeli.

Tabela 5: obrazec za WPS

POPIS POSTOPKA VARJENJA - WPS <i>(Welding Procedure Specification - WPS)</i>		Ozn. WPS						
		Stran		1 od 1				
		Standard		EN ISO 15609- 1:2019				
Proizvajalec (enota)								
Naslov/projekt								
Oznaka WPQR	Datum	Revizija	WPS izdelal	Podpis				
Način varjenja (EN ISO 4063)		Osnovni material						
Oblika spoja		- oznaka po standardu						
Vrsta zvara		- debelina (mm)						
Priprava žleba		- premer (mm)						
Lega varjenja (EN ISO 6947)		Dodajni material						
Priprava in čiščenje		- oznaka po standardu						
Drugo		- premer (mm)						
Zasnova spoja		Zaporedje varjenja						
Varek št. prehod*	Način varjenja	Dodajni material Ø [mm]	Jakost toka [A]	Napetost varjenja [V]	Vrsta toka/ polariteta	Hitrost varjenja [mm/min] / izvlečna dožina L [mm]	Hitrost var. žice [m/min]	Energija obloka / Vnos energije [kJ/cm]
Plinska zaščita korena		Nihanje (maksimalna širina)						
Pretok plinske zaščite korena		Oscilacije: amplituda, frekvenca, zadrževalni čas						
Podložka		Zaščitni plin						
Pulzno varjenje/podrobnosti		Pretok zaščitnega plina						
Temperatura predgrevanja		Nagib šobe						
Medvarkovna temperatura		Oddaljenost šobe						
Toplotna obdelava po varjenju		Premer šobe						
Drugo		Vodenje pištole						

Povezave med obliko pulza laserskega navarjanja in obliko navara

Relations between the shape of the laser pulse and the shape of the clad weld

Vid Zuljan dipl. inž. str. (UN), izr. prof. dr. Damjan Klobčar (Fakulteta za strojništvo, Ljubljana)

Povzetek

Lasersko navarjanje odlično dopolnjuje klasične tehnike reparaturnega navarjanja, saj ustvarja majhno toplotno vplivano cono. Namen empirične raziskave, ki jo predstavljamo v pričujočem članku, je bil najti povezavo med obliko pulza laserskega navarjanja in obliko navara ter na ta način izboljšati lasersko navarjanje. Raziskava je bila narejena na vzorcih iz orodnih jekel (1.2311, 1.2312, 1.2343, 1.2344, 1.2767, 1.2379), navarjali pa smo dodatne materiale (Impax, Dievar, QRO, CastoMag 45351) s pomočjo laserja Bacchus. Sedem oblik pulzov, s katerimi smo navarjali, smo parametrizirali s tremi parametri (moč prvega dela pulza, moč drugega dela pulza, čas tretjega dela pulza). Po navarjanju smo izmerili širino navara, globino navara, višino navara, širino toplotno vplivane cone, debelino toplotno vplivane cone in kot med navarom in osnovnim materialom. Pridobljene podatke smo obdelali s statističnim postopkom imenovanim metoda glavnih komponent, ki nam je pokazal povezave med izbranimi parametri oblike in dimenzijami navarov. S pomočjo teh povezav lahko izboljšamo obliko pulzov in tako dobimo željeno obliko navara.

Ključne besede: vlakenski laser, navarjanje, orodna jekla, metoda glavnih komponent

Summary

Laser clad welding significantly complements classic welding techniques for reparation clad welding, due to small heat affected zone it creates. The main purpose of this research is to find relations between the shape of the laser pulse and the shape of the clad weld and consequently to improve the clad welding technology. The research

included clad welding on tool steels (1.2311, 1.2312, 1.2343, 1.2344, 1.2767, 1.2379) with filler materials (Impax, Dievar, QRO, CastoMag 45351) and the Bacchus laser. Seven shapes of the laser pulse were parameterized with three parameters (power of the first part of the pulse, power of the second part of the pulse, time length of the third part of the pulse). After the clad weld was created, we measured, clad welds' width, clad welds' depth, clad welds' height, the heat affected zone width, the heat affected zone thickness and the angle between parent and filler material. The measured values were analyzed using a statistical procedure called principal component analysis, which showed relations between the shape of the laser pulse and the shape of the clad weld. With the help of these relations, we can improve the shape of the laser pulse and thus get the desired clad weld shape.

Key words: fiber laser, clad welding, tool steels, principal component analysis

1. Uvod

Pri poškodovanih orodjih je izbira tehnologije navarjanja zelo zahtevna. Lasersko navarjanje ne more nadomestiti klasičnih tehnik reparaturnega navarjanja, lahko pa jih odlično dopolni. Konvencionalne metode v navar vnašajo veliko toplote in s tem ustvarijo veliko toplotno vplivano cono (TVC), ki znižuje kakovost navara. Edinstvena posebnost laserskega navarjanja je majhen vnos toplote in posledično majhna toplotno vplivana cona. Lasersko navarjanje je tako primerno za zlitine, ki so občutljive na toplotne spremembe.

V pričujočem članku bomo predstavili raziskavo, v kateri smo ugotavljali povezavo med obliko laserskega pulza in obliko navara.

2. Metodologija raziskave

2.1 Namen in cilji

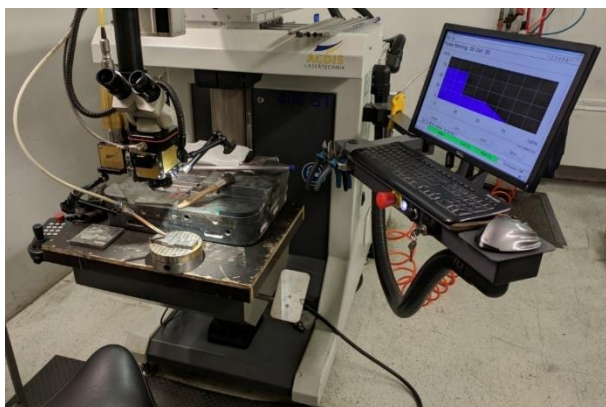
Temeljni namen raziskave, ki smo jo izpeljali s pomočjo metode glavnih komponent, je bil ugotoviti katere oblike pulza reparaturnega laserskega navarjanja so primerne za navarjanje na sedmih najpogosteje uporabljenih orodnih jeklih.

2.2 Opis opreme

2.2.1 Laser Bacchus

Laser Bacchus je zelo precizna naprava namenjena rezanju, vrtanju in varjenju. Naprava je vodno hlajena in omogoča natančno oblikovanje in modulacijo pulza. Lahko deluje v sestavi večih laserjev in z njimi vzporedno ustvarja pulz. Za delovanje potrebuje enofazno omrežje.

Pulze lahko ustvarja s frekvencami od 0,1 Hz do 50000 Hz, dolžina pulza lahko traja od 0,01 ms pa



Slika 1: Vlakenski laser98

do 50 ms. Največja energija pulza je lahko 44 J, največja moč 4400 W, največja povprečna moč pa 440 W. Optimalno delovanje naprave zagotavljamo s temperaturo od 10 °C do 50 °C.

2.2.2 Mikroskop Leica M60

Leica M60 je mikroskop z okularjem za direktno opazovanje in adapterjem za kamero, ki mu omogoča gledanje slike na računalniškem zaslonu. Posledično lahko s pomočjo programske opreme želene mere hitro in enostavno kotiramo in izmerimo. Mikroskop ima adapter za povečavo, ki omogoča sledeče povečave (0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 3,2; 4). Objektiv ima povečavo 1, adapter kamere ima povečavo 0.63, tubus ima povečavo 1, okular pa 10. Tako so končne možne povečave pri katerih lahko opazujemo skozi okular 6,3 do 40, preko kamere pa od 3,969 do 25,2.

2.3 Opis uporabljenih materialov

2.3.1 Osnovni materiali

V članku smo za osnovne materiale izbrali najpogosteje uporabljena orodna jekla.

Tabela 1: Kemijska sestava uporabljenih osnovnih materialov. [1]

Štev. vzorca	Kem. elem: Št. mat:	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
1	1.2311	Ostalo	0,40	0,30	1,45	1,95	0,20	-	-	-
2	1,2312	Ostalo	0,40	0,40	1,50	1,90	0,20	-	-	-
3	1,2343	Ostalo	0,37	1,0	0,38	5,15	1,30	-	0,40	-
4	1.2344	Ostalo	0,39	1,00	0,38	5,15	1,35	-	1,00	-
5	1,2767	Ostalo	0,45	0,25	0,35	1,35	0,25	4,05	-	-
6	1.2379	Ostalo	1,53	0,35	0,40	12,00	1,00	-	0,85	-
7	1,2550	Ostalo	0,60	0,85	0,30	1,05	-	-	0,15	1,45

Tabela 2: Toplotna obdelava uporabljenih osnovnih materialov [1]

Št. mat.:	Tk (°C):	Hladilno sredstvo:	Trdota HRC:	Vrsta jekla
1.2311	830-880	olje ali zračno hlajenje ali kopel 180-220°C	51	LATS*
1.2312	830-880	olje ali kopel 180-220°C	51	LATS*
1.2343	1000-1040	olje ali zračno hlajenje kopel 500-550°C	50-56	HWTS*
1.2344	1020-1060	olje ali zračno hlajenje ali kopel 450-550°C	52-56	HWTS*
1.2767	840-870	olje ali zračno hlajenje ali kopel 180-220°C	56	CWTS*
1.2379	1000-1040	olje ali zračno hlajenje ali kopel 500-550°C	62-64	CWTS*
1.2550	860-900	olje ali kopel 180-220°C	60	LATS*

Zgornja tabela popisuje toplotne obdelave uporabljenih osnovnih materialov.

2.3.2 Dodajni materiali

Spodnje preglednice opisujejo kemijsko sestavo uporabljenih dodatnih materialov.

Tabela 3: Kemijska sestava dodatnega materiala Impax [2]

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
Ostalo	0,37 %	0,3 %	1,4 %	2,0 %	0,2 %	1,0 %	-	-

Stanje materiala: utrjeno in popuščeno na 290-330 HB.

Barvna koda: rumena/zelena.

Tabela 4: Kemijska sestava dodatnega materiala Deivar [2]

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
Ostalo	0,35 %	0,2 %	0,5 %	5,0 %	2,3 %	-	0,6 %	-

Stanje materiala: mehko popuščeno na 160 HB.

Barvna koda: rumena/siva.

Tabela 5: Kemijska sestava dodatnega materiala QRO [2]

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
Ostalo	0,38 %	0,0 %	0,75 %	2,6 %	2,25 %	-	0,9 %	-

Stanje materiala: mehko popuščeno na 160 HB.

Barvna koda: oranžna/svetlo rjava.

Tabela 6: Kemijska sestava dodatnega materiala CastoMag 45351 [3]

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
Ostalo	0,50 %	3,00 %	0,50 %	9,15 %	-	-	-	-

2.4 Uporabljeni statistični postopki

Za statistično obdelavo podatkov smo uporabili metodo glavnih komponent. Metoda glavnih komponent (angl. *principal component analysis*, PCA) je statistična tehnika, ki analizira medsebojno soodvisnost spremenljivk z namenom, da se število spremenljivk zmanjša. Pri tem osnovni nabor spremenljivk preslikamo v množico novih spremenljivk, ki jih imenujemo glavne komponente. Glavnih komponent je toliko, kolikor je osnovnih spremenljivk, ki so med seboj neodvisne. Glavne komponente se izražajo kot linearna kombinacija osnovnih spremenljivk in ohranjajo njihovo skupno variabilnost. Prva glavna komponenta je določena tako, da pojasni kar se da velik del celotne variance osnovnih spremenljivk.

Druga glavna komponenta je določena tako, da je neodvisna od prve in pojasni kar se da velik del še nepojasnjene variance. Tretja glavna komponenta je neodvisna od prve in od druge glavne komponente in pojasni kar se da velik del še nepojasnjene variance, itd. [4].

Metoda glavnih komponent nima predpostavk o verjetnostni porazdelitvi podatkov. Vendar pa izračun kovariance oz. korelacija zahteva, da so izhodiščne spremenljivke številske z vsaj ordinalno mersko lestvico [4].

2.5 Opis dela

2.5.1 Navarjanje

Raziskava se je pričela z uporabo vlakenskega laserja. Z njim smo na sedmih različnih osnovnih materialih navarjali s štirimi različnimi dodajnimi materiali. Dodajni material je bil za vsakega od sedmih osnovnih materialov izbran tako, da je bil čim bolj podoben osnovnemu materialu. Na vsakega od sedmih osnovnih materialov smo navarjali z enajstimi različnimi oblikami pulza. Ostali parametri so bili konstantni, saj smo na ta način želeli ugotoviti vpliv oblike pulza na navar.

2.5.2 Rezanje

V nadaljevanju smo vse osnovne materiale prerezali na pol, pravokotno glede na navare. Za ta namen smo uporabili napravo Struers Labotom-3. Tako smo iz vsakega od osnovnih materialov naredili 2 vzorca (2 polovici).

2.5.3 Vstavljanje v bakelit

Eno od polovic smo obdali z bakelitom, s pomočjo naprave Struers CitoPress-1. Postopek smo izvedli s 5 in pol minutnim gretjem na 180 °C pri 250 barih in 4 minutnim hlajenjem s hitrostjo ohlajanja nastavljeno na opcijo hitro.

2.5.4 Brušenje

Z napravo Remet LS 1 smo nato obe polovici brusili z brusnimi papirji sledečih granulacij: P80, P180, P320, P600, P1000, P2500. Pričeli smo z grobimi brusnimi papirji, ki imajo malo zrn na inč (80P = 80 zrn/inch) in zaključili s finimi brusnimi papirji, ki imajo veliko zrn na inč (P2500 = 2500 zrn/inch). Med vsako menjavo brusnega papirja, smo vzorce rotirali za 90° in tako med postopkom brušenja odstranili raze predhodnega brušenja.

2.5.5 Poliranje

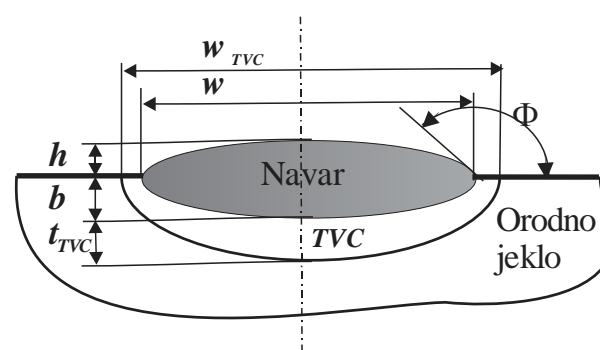
Sledilo je poliranje. Polirali smo z zrni velikosti 6, 3 in 1 μm . Pričeli smo polirati z večjimi zrni (6 μm) in zaključili z manjšimi zrni (1 μm). Med poliranjem smo vzorce brez rotacije krožno premikali okoli središča rotacije in tako dosegli poliranje v vse smeri. Pri vsaki menjavi velikosti zrn smo vzorce sprali z etanolom.

2.5.6 Jedkanje

Naslednja faza je bila jedkanje, ki je bila izvedena z namenom, da bi struktura navara postala vidna. Jedkali smo z raztopino imenovano Nital (2 %).

2.5.7 Merjenje dimenzij

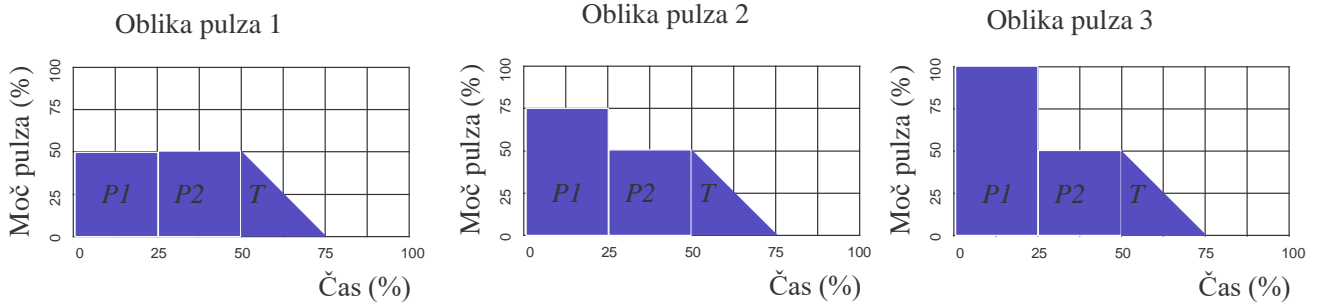
Za tem smo s pomočjo mikroskopa Leica M60 vsem vzorcem pod povečavo 25,2 izmerili sledeče parametre: širino navara (w), globino navara (b), višino navara (h), širino toplotno vplivane cone (w_{TVC}), debelino toplotno vplivane cone (t_{TVC}), kot med navarom in osnovnim materialom (Φ). Za potrebe eksperimentalnega dela smo izmerili 924 meritev izhodnih podatkov. Za opazovanje in merjenje smo uporabljali diagonalno osvetlitev in največjo možno jakost osvetljevanja.



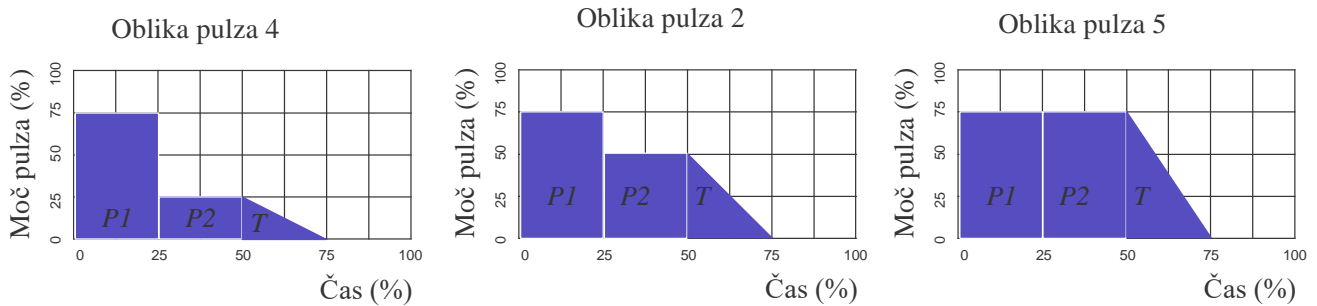
Slika 2: Dimenzije navara

2.5.8 Statistična obdelava podatkov

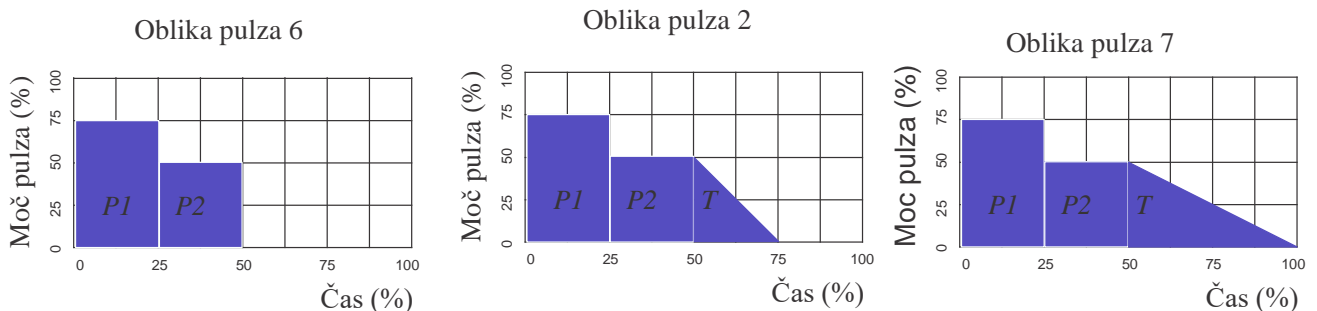
Sedem od enajstih oblik pulza smo parametrizirali s tremi parametri (moč prvega dela pulza, moč drugega dela pulza, čas tretjega dela pulza). Preostale 4 ni bilo možno parametrizirati na izbrani način, zato jih nismo uporabili v nadaljnjih obdelavah. Na ta način smo omogočili uporabo oblike pulza v metodi glavnih komponent. Za lažjo predstavbo smo parametre ponazorili na devetih grafih, vendar je od teh le sedem med seboj različnih, saj so vsi sredinski grafi enaki. 100 % čas je enak 25 ms, 100 % moč pulza, pa je enaka 1700 W.



Slika 1: Prikaz spremembe parametra "moč prvega dela pulza" (P1) na grafih moč v odvisnosti od časa"



Slika 2: Prikaz spremembe parametra "moč drugega dela pulza" (P2) na grafih moč v odvisnosti od časa"



Slika 3: Prikaz spremembe parametra "čas tretjega dela pulza" (T) na grafih moč v odvisnosti od časa"

V program Excel smo vstavili sledeče podatke:

1. Izhodne parametre (dimenzije navara izmerjene z mikroskopom Leica M60, 588 podatkov),

- širino navara,
- globino navara,
- višino navara,
- širino toplotno vplivane cone,
- debelino toplotno vplivane cone,
- kot med navarom in osnovnim materialom.

2. Vhodne parametre (parametri oblike pulza in materiala),

- moč prvega dela pulza,
- moč drugega dela pulza,
- čas tretjega dela pulza,
- ekvivalentna vsebnost ogljika osnovnega materiala,
- ekvivalentna vsebnost ogljika dodatnega materiala.

Ekvivalentno vsebnost ogljika smo izračunali po enačbi:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (1)$$

Da bi dosegli boljšo reprezentativnost in veljavnost, smo se odločili meriti dimenzije navarov na dveh prerezih. Da pa bi se izognili nepotrebnemu šumu, smo namesto dimenzij navara drugega prereza uporabili povprečje dimenzij navara prvega in drugega prereza, saj je povprečje manj občutljivo na šum. V nadaljevanju smo metodo glavnih komponent izvedli s pomočjo programa SPSS, v katerega smo uvozili podatke shranjene v programu Excel. Podatkom smo merilo popravili na proporcionalno, saj je program SPSS za nekatere podatke predpostavil nominalno merilo. Za metodo rotacije smo izbrali Equamax.

3. Rezultati

Pri metodi glavnih komponent sta zelo pomembna Kaiser-Meyer-Olkinov (KMO) test in Bartlettov test,

saj nam povesta v kolikšni meri so osnovne spremenljivke primerne za metodo glavnih komponent.

Tabela 7: Osnovne spremenljivke

Oznaka	Pomen
P1	moč prvega dela pulza
P2	moč drugega dela pulza
T	čas tretjega dela pulza
Ce_om	ekvivalent vsebnosti ogljika osnovnega materiala
Ce_dm	ekvivalent vsebnosti ogljika dodatnega materiala
h_1	višina navara prvega prereza
h_AVG	povprečna višina navara prvega in drugega prereza
b_1	globina navara prvega prereza
b_AVG	povprečna globina navara prvega in drugega prereza
w_1	širina navara prvega prereza
w_AVG	povprečna širina navara prvega in drugega prereza
w_TVC_1	širina toplotno vplivane cone prvega prereza
w_TVC_AVG	povprečna širina toplotno vplivane cone prvega in drugega prereza
t_TVC_1	debelina toplotno vplivane cone prvega prereza
t_TVC_AVG	povprečna debelina toplotno vplivane cone prvega in drugega prereza
kot_1	kot med navarom in osnovnim materialom prvega prereza
kot_AVG	povprečen kot med navarom in osnovnim materialom prvega in drugega prereza

Za Kaiser-Meyer-Olkinov test velja sledeče:

- 0,00 do 0,49 je nesprejemljivo,
- 0,50 do 0,59 je slabo,
- 0,60 do 0,69 je srednje,
- 0,70 do 0,79 je dobro,

- 0,80 do 0,89 je zelo dobro,
- 0,80 do 1,00 je odlično.

Za Bartlettov test, pa velja, da mora signifikantnost (Sig.) biti manjša od 0,05.

Tabela 8: Preglednica Kaiser-Meyer-Olkinovega in Bartlettovega testa

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0,683	
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	861,485
	df	136
	Sig.	0,000

Iz zgornje tabele je razvidno, da so v našem primeru podatki primerni za analizo.

Tabela 9: Preglednica deležev pojasnjenih varianc

Komponente	Delež variance [%]	Kumulativni delež variance [%]
1	33,552	33,552
2	24,945	58,497
3	10,976	69,472
4	6,807	76,279
5	6,372	82,651

V zgornji tabeli je razvidno, da je delež variance, ki jo pojasnjuje prvih 5 komponent enak 82,651 %. Opazimo, da prvih 5 komponent pojasnjuje skoraj vso varianco.

Tabela 10: Matrika komponent

Spremenljivke	Komponente				
	1	2	3	4	5
P2	0,923	-0,129	0,019	0,023	0,041
w_1	0,780	0,508	0,086	0,023	0,037
w_AVG	0,754	0,600	0,064	0,132	-0,056
w_TVC_AVG	0,705	0,447	0,039	0,424	0,218
w_TVC_1	0,697	0,398	0,080	0,447	0,269
P1	0,066	0,952	-0,074	0,065	-0,007
h_1	0,046	0,183	-0,887	-0,068	0,281
h_AVG	0,047	0,187	-0,847	-0,078	0,209
kot_1	0,239	0,215	0,721	0,442	-0,031
kot_AVG	0,212	0,237	0,689	0,546	-0,010
T	0,027	0,073	0,374	-0,069	0,082
t_TVC_AVG	0,096	-0,020	0,028	0,912	-0,202
t_TVC_1	0,057	-0,043	0,068	0,886	-0,271
Ce_dm	0,064	0,011	-0,013	-0,106	0,861
Ce_om	-0,090	-0,058	-0,269	-0,197	0,780
b_AVG	0,326	0,572	0,049	-0,179	0,652
b_1	0,282	0,595	0,053	-0,236	0,631

Izhajajoč iz vrednosti koeficientov korelacij, ki povezujejo osnovne spremenljivke in glavne komponente, bomo prvo komponento poimenovali **Komponenta moči drugega dela pulza**. Vrednost prve komponente je večja, če se povečujejo vrednosti moči drugega dela pulza, širine navara in širine toplotno vplivane cone. Prva komponenta pojasnjuje 33,552 % variance. S pomočjo prve komponente ugotovimo, da širina navara in širina toplotno vplivane cone zavisita od moči drugega dela pulza. Večja kot je moč drugega dela pulza, večja bo širina navara in širina toplotno vplivane cone.

Izhajajoč iz vrednosti koeficientov korelacij, ki povezujejo osnovne spremenljivke in glavne komponente, bomo drugo komponento poimenovali **Komponenta moči prvega dela pulza**. Vrednost druge komponente je večja, če se povečuje vrednost moči prvega dela pulza. Druga komponenta pojasnjuje 24,945 % variance. S pomočjo druge komponente ugotovimo, da moč prvega dela pulza nima glavnega vpliva na nobeno od osnovnih spremenljivk. S pomočjo koeficientov korelacij, pa lahko opazimo, da moč prvega dela pulza v manjši meri vpliva na širino in globino navara.

Izhajajoč iz vrednosti koeficientov korelacij, ki povezujejo osnovne spremenljivke in glavne komponente, bomo tretjo komponento poimenovali **Komponenta časa tretjega dela pulza**. Vrednost tretje komponente je večja, če se povečujejo vrednosti kota med navarom in osnovnim materialom in čas tretjega dela pulza in manjša, če se povečuje vrednost višine navara. Tretja komponenta pojasnjuje 10,976 % variance. S pomočjo tretje komponente ugotovimo, da višina navara in kot med navarom in osnovnim materialom zavisita od časa tretjega dela pulza. Večji kot je čas tretjega dela pulza, večji bo kot med navarom in osnovnim materialom in manjša bo višina navara.

Izhajajoč iz vrednosti koeficientov korelacij, ki povezujejo osnovne spremenljivke in glavne komponente, bomo četrto komponento poimenovali **Komponenta debeline toplotno vplivane cone**. Vrednost četrte komponente je večja, če se povečuje vrednost debeline toplotno vplivane cone. Četrta komponenta pojasnjuje 6,807 % variance. S pomočjo četrte komponente ugotovimo, da debelina toplotne vplivane cone ni povezana z nobeno od osnovnih spremenljivk.

Izhajajoč iz vrednosti koeficientov korelacij, ki povezujejo osnovne spremenljivke in glavne komponente, bomo peto komponento poimenovali **Komponenta osnovnega in dodatnega materiala**. Vrednost pete komponente je večja, če se povečujejo vrednosti ekvivalentne vsebnosti ogljika osnovnega materiala, ekvivalentne vsebnosti dodatnega materiala in globine navara. Peta komponenta pojasnjuje 6,372 % variance. S pomočjo pete komponente ugotovimo, da sta ekvivalentna vsebnosti ogljika osnovnega in dodatnega materiala povezana z globino navara. Večji kot je ekvivalent vsebnosti ogljika osnovnega materiala in ekvivalent vsebnosti ogljika dodatnega materiala, večja bo globina navara.

4. Zaključki

1.) Prva komponenta (komponenta moči drugega dela pulza) nam pove, da z večanjem moči drugega dela pulza, lahko povečamo širino navara in širino toplotno vplivane cone, kar je zaželeno pri aplikacijah navarjanja.

2.) Tretja komponenta (komponenta časa tretjega dela pulza) nam pove, da z večanjem časa tretjega dela pulza, lahko zmanjšamo višino navara in povečamo kot med navarom in osnovnim materialom. Pri aplikacijah navarjanja si želimo visoke navare, zato moramo v ta namen čas tretjega dela pulza skrajšati.

3.) Peta komponenta (komponenta osnovnega in dodatnega materiala) nam pove, da pri osnovnih in dodatnih materialih, ki imajo večji ekvivalent vsebnosti ogljika nastane navar z večjo globino. To je zaželeno pri aplikacijah varjenja cevi, kjer mora biti zagotovljena prevaritev, vendar pa je potrebno poudariti, da se z večanjem ekvivalenta vsebnosti ogljika veča tudi verjetnost pojave razpok.

4.) Druga komponenta (komponenta moči prvega dela pulza) nam pove, da z večanjem moči prvega dela pulza lahko povečamo širino navara, vendar ne v taki meri kot z večanjem drugega dela pulza. Druga komponenta nam pove tudi, da z večanjem prvega dela pulza lahko povečamo globino navara, vendar zopet ne v taki meri kot z večanjem ekvivalenta vsebnosti ogljika.

5. Literatura

[1] D. Zuljan, M. Uran: *Optimization of the Laser Wire Cladding of Tool Steels Using Factor Analysis*. Lasers in Engineering (Old City Publishing) 20 (2010) str. 21- 37

[2] Uddeholm. Dostopno na: <https://www.uddeholm.com>, ogled 4.7.2019.

[3] Ceweld. Dostopno na: <http://www.ceweld.nl>, ogled 4.7.2019

[4] K. Košmelj: *Metoda glavnih komponent: osnove in primer*. Acta agriculturae Slovenica 89.1 (2007) str 159-172.



Lasting Connections

THE BEST FOR THE BEST.



Don't forget: Always put on protective clothing before starting to weld!



Wherever and whatever you have to weld, Böhler Welding has the best stick electrode for the job. We supply any type you may need and our electrodes are always easy to handle, with fine arc ignition and stability.



Scan for more information

voestalpine Böhler Welding
www.voestalpine.com/welding

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

Specializacija za mednarodne varilske koordinatorje – IWE, IWT, IWS 2019/2020

Mojca Radman, Institut za varilstvo

Letošnjo jesen je specializacijo za mednarodne varilske koordinatorje – IWE, IWT, IWS pričela obiskovati nova generacija udeležencev. Gre za 5. generacijo, ki se izobražuje na kombiniran način (angl. »Blended learning«), kar pomeni, da je izobraževanje sestavljeno iz učenja na daljavo, predavanj v učilnici, praktičnih vaj v laboratoriju ter obiskov podjetij, ki delujejo na področju varjenja.

Generacija udeležencev 2019/2020 je 2 modula od skupno 4 opravila na navedeni način, nato pa je bil Institut za varilstvo zaradi virusa Covid-19 primoran v prilagoditev izvedbe preostanka specializacije. Mednarodni institut za varilstvo – IIV se je na nove razmere hitro odzval in izdal nove smernice za izvedbo programov izobraževanja in preverjanje znanja. V skladu s tem smo večinski del specializacije izvedli na daljavo. Udeleženci so imeli na voljo e-gradivo na portalu Moodle, pridobljeno znanje pa nato utrjujejo na predavanjih, ki jih izvajamo v živo s pomočjo programa Zoom. Preko omenjenega programa organiziramo tudi preverjanje znanja, katerega rezultati so primerljivi z rezultati klasične izvedbe le-tega. Takšen pristop se kaže kot učinkovit, udoben, stroškovno ugoden ter zelo dobro sprejet pri udeležencih in pri predavateljih. Posluževati se ga imamo namen tudi v prihodnje, z izjemo praktičnih vaj in demonstracij, ki se bodo še naprej izvajale v laboratorijih Instituta za varilstvo ter sodelujočih fakultet in podjetij, v kolikor bodo epidemiološke razmere to dopuščale.



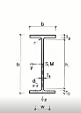
Slika 1: Obisk podjetja SIJ Acroni d.o.o.



Slika 2: Računalniško opravljanje izpita

Enoosni konstrukcijski elementi

- Zanje je značilno, da je poudarjena ena dimenzija – dolžina, npr. :
valjani profil IPE 240×4600
širina in višina sta majhni



$b = 120 \text{ mm}$
 $h = 240 \text{ mm}$
y-y močna os
z-z šibka os

21.04.2020. Pogled: 3.1. - na kratko 5

Slika 3: Izvedba predavanja preko programa Zoom (posnetek zaslona)

PLAN IZOBRAŽEVANJ 2021

Naziv programa	Okrajšava	Lokacija	Začetek	Zaključek	Št. ur	Izpit(i)
Specializacija za mednarodne varilske koordinatorje	IWT/IWE	Ljubljana/ Maribor	1.12.2021	31.5.2022	146 + 60+ 235 (DL)	Po modulih (4)
NDT – Preiskava s tekočimi penetranti	PT 1+2	Ljubljana/Maribor	1.2.2021	4.2.2021	40	5.2.2021
NDT – Vizualna preiskava	VT 1+2	Ljubljana	8.3.2021	11.3.2021	40	12.3.2021
	VT 1+2	Maribor	18.1.2021	21.1.2021	40	22.1.2021
NDT – Preiskava z magnetnimi delci	MT 1+2	Ljubljana/Maribor	12.4.2021	15.4.2021	40	16.4.2021
NDT – Ultrazvočna preiskave	UT 1	Maribor	13.5.2021	20.5.2021	64	21.5.2021
NDT – Ultrazvočna preiskave	UT 2	Maribor	Jesen 2021	Jesen 2021	80	Jesen 2021
NDT – Ultrazvočno merjenje debeline	UTT	Maribor	13.5.2021	14.5.2021	24	17.5.2021
NDT – Radiografska preiskava	RT.FAS	Ljubljana	11.6.2021	17.6.2021	120	18.6.2021
NDT – Nivo 3	Po dogovoru					
Varjenje plastičnih mas	/	Ljubljana	9.2.2021 16.11.2021	10.2.2021 17.11.2021	16	/

Varjenje kot nadgradnja na profesionalni poti

Mojca Krajnc, Institut za varilstvo

Poklicev, ki so bili tipično rezervirani le za moške, je vedno manj, saj razlogov, da je kakšno opravilo fizično težje, danes skoraj da ni več.

V varilstvu nekateri načini varjenja zahtevajo natančnost, ki pa je pregovorno značilna ženska lastnost. Varjenje TIG, je način pri katerem se ženske z odličnimi ročnimi spretnostmi lahko tudi bolje izkažejo, zato se lahko le vprašamo, zakaj ga ne opravlja več varilk.

K rušenju stereotipov varjenja v moški domeni lahko največ prispevajo ženske same, tako redke poklicne varilke, ki jim je to vsakdanja dejavnost, kot ženske, ki spoznavajo temeljna znanja varjenja v želji za širjenjem svojih kompetenc. Takšnih, ki bodo obogatila njihovo osnovno poklicno življenje.

Prav odprtost za različna znanja namreč omogoča nov pogled, sveže rešitve in inovativne ideje v različnih poklicih. Pridobljeno znanje in praktične izkušnje oplemenitijo tudi profesionalno področje tečajnikov in tečajnic Instituta za varilstvo, ki z velikim navdušenjem ocenjujejo izvedbo tečajev kot zelo kakovostno.

Med ženskami, ki so jo navdušili prvi koraki v svet varilstva, je tudi oblikovalka **Jasna Fatur**, diplomirana dizajnerka. Po zaključenem tečaju na našem Institutu smo ji zastavili nekaj vprašanj, na katera je rada odgovorila.

1. Varilstvo še zmeraj velja za moški poklic in to tudi je. Ste imeli kakšen problem, ko ste komu dejali, da se boste izučili enega izmed načinov varjenja?

Sploh ne, večinoma so bili pozitivno presenečeni in navdušeni v smislu, da jim lahko ponudim od ideje do izvedbe. Takoj sem dobila par naročil.

2. Ste sicer notranja oblikovalka – gre za “delovno čist” poklic, pa vendar se vam je pokazala potreba, da nadgradite svoje znanje. Zakaj?

Že med šolanjem smo pri različnih predmetih in seminarjih spoznavali različne materiale (les, steklo, keramika, tekstil...), ki ti kot oblikovalcu pomagajo pri izvedbi ideje. Menim, da je treba

materiale dobro poznati, da lahko oblikuješ predmet ali prostor.

3. Ali ni lažje poklicati nekoga, da vam zavari?

Ja in ne. Seveda pri večjih in zahtevnejših stvareh pokličem mojstra, ki z večletnimi izkušnjami in znanjem naredi zelene izdelke. Mi pa predstavlja svojevrsten izziv na list papirja skicirati izdelek in ga potem tudi izdelati. Sicer moram povedati, da sem se želela naučiti zvariti manjše zadeve. Kot na primer ogrodje mize ali podnožje stolov, okrasnih elementov, medsebojno zavarit cevi. Zakaj? Čakati mojstra, se usklajevati mi je vzelo preveč časa, poleg tega se mi je lahko zaradi tega zavlekel projekt. Na koncu je mojster sicer hitro opravil, vendar sem videla, da si prihranim predvsem mirne živce, če sama naredim. Zato sem se prijavila na tečaj na Institutu za varilstvo.

4. Niste edina ženska, ki se je priučila TIG varjenja. Pravijo celo, da so ženske celo bolj natančne in bi bile zaželeni v tem poklicu? Kaj je po vašem mnenju razlog, da nežnejši spol avtomatsko odvrne?

Verjetno napačna predstava, kaj sploh je to. Zmotno je mišljenje, da pri tem načinu varjenja letijo iskre in se kadi. Prav tako za to tehniko ni potrebna fizična moč, ampak mirna roka. Vodja varilne šole mi je povedal, da so pri TIG varjenju dostikrat prav ženske veliko bolj natančne.

5. Kaj ste se dejansko naučili? In kako boste to uporabili ali pa že uporabljate v svojem poklicu?

Zelo dobro je bil predstavljen teoretični del, kjer dobiš osnovna znanja, kaj sploh varjenje je in njegove specifičnosti. Nekaj smo se sicer učili v šoli, vendar sem na tečaju spoznala delo še bolj natančno.

Izkušeni inštruktorji varjenja so mi v delavnici predstavili TIG način varjenja na različnih materialih.

Zavedam se, da je za dober zvar potrebna kilometrina, zato so trenutno moji izdelki bolj za domačo uporabo.

Znanja uporabljam pri načrtovanju in verjetno sem boljši sogovornik pri naročilu izdelkov.

6. Načinov in tehnik varjenja je veliko. Zdaj, ko ste usvojili en del, bi vas zanimalo učenje tudi drugih načinov?

Vsekakor. Zanimivi so ostali načini kot tudi aplikacija na različnih materialih. Za zdaj mi je priučena tehnika zadosti. Ravno toliko, da lahko na hitro kaj postorim in zvarim sama. Nimam posebnih ambicij (za zdaj), da bi bilo varilstvo tudi moj poklic. V tem primeru bi se morala vpisati na bolj poglobljeno izobraževanje. Kdo ve kaj mi bodo leta prinesla.

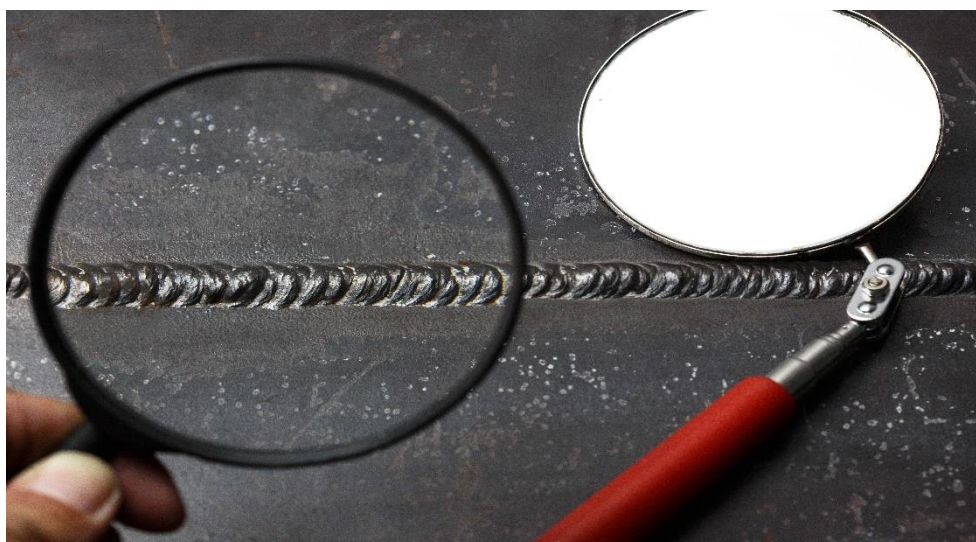
7. Kako poteka učenje na Institutu za varilstvo?

Na Institutu v prvih dveh dneh poslušam teoretični del, potem sledi praktični del. Tečajnikom se glede na pretekle izkušnje in nivo zelenega znanja individualno pripravi program. Potem nas inštruktorji vodijo skozi celotni program in nam s svojimi izkušnjami pomagajo usvojiti osnove oziroma bolj napredna znanja.

8. Kje bi bilo tovrstno znanje še koristno in bi ga na primer svetovali kolegicam, ki berejo ta članek?

V prvi vrsti bi rekla, da je zmotno mišljenje, da lahko TIG varjenje opravlja le moški. Svetovala bi jim, da se udeležijo dneva odprtih vrat, kjer se predstavijo različni načini varjenja. Mogoče spoznajo novo poslovno pot.

Če že nimajo ambicij, da bi se same lotile česa zavariti, bi bilo za kolegice, ki se ukvarjajo z notranjim dizajnom, dobro vsaj malo slišati kako se dela, kaj je mogoče in kako to poteka. Tako dobiš nove ideje, morda najdeš drugo rešitev, poleg tega se vsaj malo znaš pogovoriti z mojstri.



Slika 1: Pripomočki za pregled zvara

Usposabljanje varilcev na institutu za varilstvo

Zdravko Grmek, Katja Kurnik
Institut za varilstvo

Na Institutu za varilstvo **vsak prvi ponedeljek v mesecu** začnemo z usposabljanjem tistih, ki se redno ali občasno srečujejo s potrebo po varjenju. Izbira pravilnega načina varjenja pomeni boljšo kakovost opravljenega dela, včasih pa tudi bistveno krajši čas dela. Tečaj je namenjen za varilska dela v proizvodnji, montaži, pri strojnem in splošnem vzdrževanju ter za specialna varilska dela v butični proizvodnji, proizvodnji prototipov in orodjarstvu.

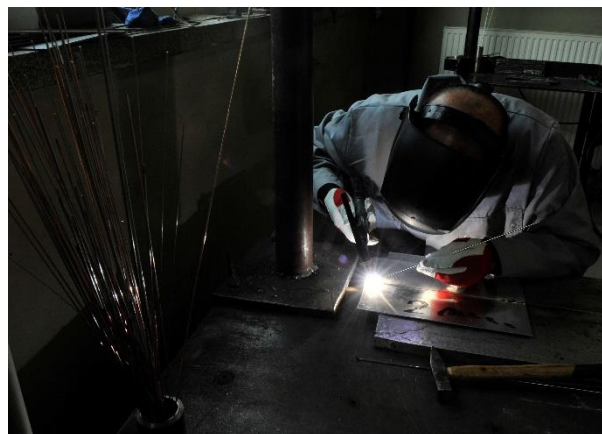
Tečaj varjenja je sestavljen iz **teoretičnega in praktičnega dela**. Pri teoretičnem delu udeleženci pridobijo osnovna in specifična znanja za opravljanje dela varilca in traja dva dni. Novost je, da od maja 2020 predavanja potekajo na daljavo preko aplikacije Zoom in ob pomoči naše tehnične podporne službe. Odziv dosedanjih tečajnikov je zelo dober, saj jim je prihranjena pot do nas, kljub temu pa se lahko skozi celoten potek predavanj vključujejo in postavljajo vprašanja.

Praktični del tečaja pa se še naprej izvaja v varilnicah na sedežu podjetja na Ptujski ulici 19 v Ljubljani in na naši enoti v Mariboru na Zagrebški

Cesti 90. Pri praktičnem delu udeleženci pridobijo praktično usposobljenost za varjenje na izbrani način varjenja (**TIG, MIG, MAG, elektroobložno, plamensko varjenje, plamensko spajkanje, varjenje plastičnih mas itd.**). Trajanje praktičnega dela je odvisno od posameznega kandidata oz. njegovega predhodnega znanja in izkušenj, saj se inštruktorji posvetijo vsakemu udeležencu posebej. Program usposabljanja je pripravljen na intenzivni osnovi (sorazmerno kratek in učinkovit), primeren pa je tako za začetnike kot tudi udeležence z več izkušnjami.

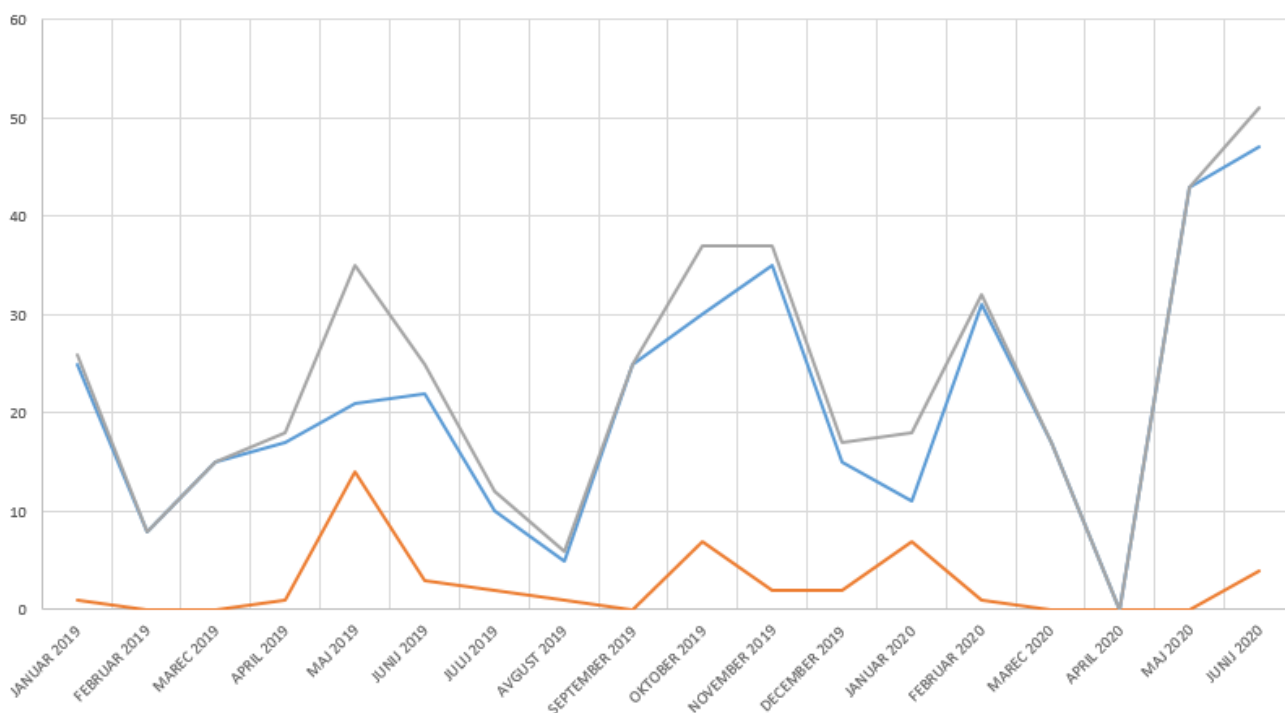
Po koncu tečaja ima vsak tečajnik možnost opraviti postopek certificiranja in pridobiti **mednarodno veljaven certifikat varilca** za izbrani način varjenja, ki zagotavlja, da je njegov nivo znanja na ustrezni strokovni ravni.

Naša strokovnost se prenaša na številne tečajnike, ki prihajajo k nam na usposabljanje. V letu 2019 in v prvi polovici leta 2020 je bilo v varilnici v Ljubljani 422 tečajnikov, kar pomeni v povprečju **23 tečajnikov na mesec**.



Slika 1: tečajnik

MESEC/ LETO	ŠTEVILO TEČAJNIKOV IZ PODJETIJ	ŠT. TEČAJNIKOV ZRSZ	ŠT. VARILCEV SKUPAJ
januar 2019	25	1	26
februar 2019	8	0	8
marec 2019	15	0	15
april 2019	17	1	18
maj 2019	21	14	35
junij 2019	22	3	25
julij 2019	10	2	12
avgust 2019	5	1	6
september 2019	25	0	25
oktober 2019	30	7	37
november 2019	35	2	37
december 2019	15	2	17
januar 2020	11	7	18
februar 2020	31	1	32
marec 2020	17	0	17
april 2020	0	0	0
maj 2020	43	0	43
junij 2020	47	4	51
Skupaj	377	45	422
Povprečje/mesec			23,44



Ker je naš cilj postati vedno boljši, smo od junija 2020 naprej poleg klasičnih certifikatov uvedli tudi **žepne izkaznice za varilce in spajkalce**. Uporabljate jo lahko pri vašem strokovnem delu v obsegu vaše pridobljene osebne kvalifikacije.

Če si želite sodelovati z nami, smo vam na voljo na **01 28 09 432** ali izobrazevanje-lj@i-var.si

Primer izkaznice:

