

# VARILNA TEHNIKA

Izdaja:  
Slovensko društvo za varilno tehniko

Letnik: 69  
ISSN 2463-9214

1/2019



## GLASILO DRUŠTEV ZA VARILNO TEHNIKO

WELDING REVIEW, ORGAN OF THE WELDING SOCIETIES

© Varilna tehnika letnik 69 (2019) številka 1. Izdano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.

© *Varilna tehnika Volume 69 (2019) Issue 1. Issued in Slovenia. All rights reserved.*

### Impresum

Internet

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

[www.drustvo-sdvt.si/varilnatehnika](http://www.drustvo-sdvt.si/varilnatehnika)

e-mail: [arpad.koves@guest.arnes.si](mailto:arpad.koves@guest.arnes.si)

### Glavni in odgovorni urednik (Editor):

dr. ARPAD KÖVEŠ, univ. dipl. ing.

### Uredniški odbor (Editorial Board):

Dr. MILOŠ JOVANOVIĆ

Dr. GABRIEL RIHAR

Dr.-Ing. MIRO URAN

Dr. TOMAŽ VUHERER

Dr. DARJO ZULJAN

### Naslov izdajatelja in uredništva:

Slovensko društvo za varilno tehniko,  
Ptujška 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

OCENA NATEZNE TRDNOSTI AVSTENITNEGA NERJAVNEGA JEKLA IZ IZMERJENIH VREDNOSTI TRDOTE .....	1
SODELOVANJE Z UKRAJINO .....	6
EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF INSERTED FLOORS WITH DECREASED HEIGHT .....	7
PENETRANTSKA PREISKAVA UTRUJENOSTNIH RAZPOK NA ALUMINIJEVI ZLITINI 7075.....	16
TITAN XQ PULS PRIHRANI DENAR IN POVEČA UČINKOVITOST.....	25
DELO Z MAKSIMALNO MOČJO IN FLEKSIBILNOSTJO: MOBILNI VARILNIK MICORTIG 200 .....	27
4. SREČANJE PROJEKTNE SKUPINE FSW-TECH ....	29
MEDNARODNI VARILSKI INŠPEKTOR .....	30

# OCENA NATEZNE TRDNOSTI AVSTENITNEGA NERJAVNEGA JEKLA IZ IZMERJENIH VREDNOSTI TRDOTE

Borut Zorc<sup>a,b</sup>, Matija Zorc<sup>b</sup>, Aleš Nagode<sup>b</sup>

*Institut za varilstvo d.o.o. /  
Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška  
fakulteta, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana*

[Borut.zorc@i-var.si](mailto:Borut.zorc@i-var.si)

## Povzetek

Zaradi različnih razlogov je včasih nemogoče izmeriti natezno trdnost materiala. Takrat se uporabi merjenje trdote in iz njenih vrednosti s korelacijskimi enačbami oceni natezna trdnost. V članku je narejena primerjalna analiza uporabnosti obstoječih enačb za avstenitna nerjavna jekla, dve pa sta na novo razviti iz podatkov v standardu ISO 18265/2013 in izmerjenih trdot v povezavi z nateznimi trdnostmi iz atestov analiziranih jekel. Vse enačbe dajejo vrednosti, ki so v območju standardno podanih nateznih trdnosti različnih avstenitnih jekel, se pa v natančnosti rezultatov nekoliko razlikujejo. Kot najbolj natančna se je pokazala enačba  $R_m = 1,59 \cdot HB + 330$  (MPa), katere izračunane vrednosti natezne trdnosti osnovnega materiala so v območju 95,4-99,4% vrednosti v atestih podnih vrednosti, z njo izračunana natezna trdnost zvarov pa dosega 92-100% trdnosti osnovnega materiala.

**Ključne besede:** avstenitno nerjavno jeklo, natezna trdnost, trdota, korelacija

## Abstract

Due to various reasons the measuring of tensile strength of the material is sometimes impossible. In that case, the hardness measurement is used and the tensile strength is estimated from the hardness values based on the correlation equations. In the article a comparative analyses the usefulness of the existing equations for the austenitic stainless steels is presented. However, two equations are newly

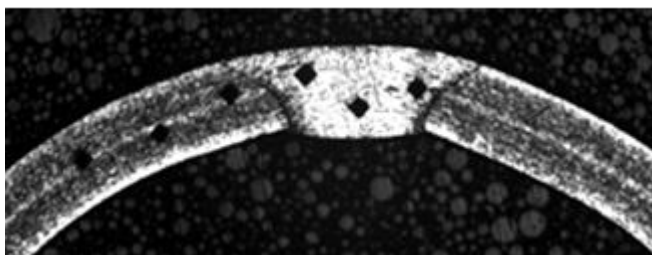
developed from the data given in ISO 18265/2013 standard and measured hardnesses values in relation to the tensile strengths from the certificates of the analyzed steels. All equations give the values that are in the range of tensile strengths of different austenitic steels from the standards, but they slightly differ in the accuracy of the results. The most accurate is the equation  $R_m = 1.59 \cdot HB + 330$  (MPa), which gives the calculated values of the tensile strength of the base material in the range of 95.4-99.4% of the values from the certificates, while the calculated tensile strength of the welds reaches 92-100% of the strength of the base material.

**Key words:** austenitic stainless steel, tensile strength, hardness, correlation

## 1. UVOD

V praksi se občasno, bodisi s strani inšpekcijskih organov, kupcev izdelka ali proizvajalcev samih, pojavi zahteva po preverjanju kemične sestave, mehanskih lastnosti in stanja materiala že izdelanih konstrukcij in strojnih elementov. Razlogi so različni, od uporabe materiala, ki ni skladen z zahtevami tehnične dokumentacije (npr. previsoka temperatura izmerjene udarne žilavosti v certifikatih uporabljenega materiala, material nižjega trdnostnega razreda ali celo material neznanega izvora) do preventivne kontrole po doseženi obratovalni dobi (npr. parovodi). Če proizvajalec še vedno razpolaga z uporabljenim materialom ali če se iz konstrukcije lahko odvzame kos materiala, je naloga enostavna. V laboratoriju se izvede njegovo recertificiranje pri pogojih, ki so navedeni v tehnični dokumentaciji (npr. meritve udarne žilavosti pri nižji temperaturi) oziroma oceni stanje materiala po določeni obratovalni dobi in tako potrdi ali zavrže primernost uporabljenega materiala za dotični izdelek oziroma za nadaljno uporabo. Problem nastane, če proizvajalec več ne razpolaga z uporabljenim materialom oziroma če iz izdelka ni možno odvzeti materiala. Takrat se kemična sestava na licu mesta določi s prenosnimi analizatorji, stanje materiala se oceni metalografsko (»ambulantna metalografija« z direktnim opazovanjem mikrostrukture na kritičnih mestih ali z odvzemom replik [1]), napetost tečenja in natezna trdnost pa se ocenita z meritvami trdote. Vse metode omogočajo analizo z minimalnim

odvzemom materiala brez vpliva na nosilnost dotične konstrukcije. Občasno je nekatere mehanske lastnosti zaradi dimenzij in proizvodne tehnologije nemogoče izmeriti tudi kljub zadostni količini materiala. Primer je merjenje natezne trdnosti vzdolžnih zvarnih spojev v tankostenskih ceveh majhnih premerov (slika 1). V tem primeru je možno oceniti natezno trdnost le na osnovi meritev trdote.



Slika 1: Cev  $\Phi = 3,2 \times 0,25$  mm, nerjavno jeklo 1.4404 [2],

(fotografirano pri povečavi 50x)

## 2. KORELACIJA TRDOTA-NATEZNA TRDNOST

V literaturi je najti korelacije trdota-napetost tečenja in trdota-natezna trdnost v obliki korelacijskih enačb, tabel in diagramov [3-14]. Zanimivo je, da v standardih [7,8,9,10] podane tabele in diagrami veljajo za večino jekel v valjanem, normaliziranem, žarjenem in poboljšanem stanju, le za avstenitna jekla ne. V starejšem tehničnem poročilu ISO/TR 10108:1989 [6] so navedena tudi nerjavna jekla, a jih novejši standard ISO 18265/2013 [7] ne obravnava. Pregled tabel v [6] in [7] pokaže, da tabele v novejšem standardu pri neki vrednosti trdote podajajo eno vrednost natezne trdnosti, medtem ko je v starejšem tehničnem poročilu za neko vrednost trdote podano trdnostno območje  $R_m^{\min}$  do  $R_m^{\max}$ . Primerjava pokaže, da je v [7] podana le srednja vrednost nateznej trdnosti iz trdnostnega območja v [6]. To nekoliko razvrednoti novi standard, saj je znano, da lahko enaka vrednost trdote eksistira pri različni natezni trdnosti [14], ki je posledica dovoljenih odstopanj v kemični sestavi in mikrostrukturnih razlik v posameznih saržah enakega materiala.

### 2.1. Korelacijske enačbe za jeklo

V različnih literaturnih virih je najti različne korelacijske enačbe trdota-natezna trdnost za različne materiale. V nadaljevanju so našteje le enačbe za jekla, ki so bile uporabljene v

ksperimentalnem delu. Večina enačb naj ne bi veljala za avstenitna jekla, nekaj pa je namenskih tudi za te vrste jekel. Korelacijske enačbe trdota-natezna trdnost za jekla so:

- [3,5]	$R_m = 3,5 \cdot HB$ (MPa)	(1),
- [4] avstenitno jeklo	$R_m = 3,4 \cdot HB$ (MPa)	(2),
- [12]	$R_m = 3,45 \cdot HB$ (MPa)	(3),
- [12]	$R_m = 3,734 \cdot HV - 99,8$ (MPa)	(4),
- [12]	$R_m = 3,295 \cdot HV - 93,8$ (MPa)	(5),
- [13]	$R_m = 2,77 \cdot HB + 92,754$ (MPa)	(6),
- [14] jeklo AISI 316	$R_m = 231 \cdot HB + 47879$ (psi) = $1,59 \cdot HB + 330$ (MPa)	(7),
- [14] jeklo AISI 316	$R_m = 536 \cdot HB$ (psi) = $3,69 \cdot HB$ (MPa)	(8),
- iz $R_m/HV^{\#}$ , tabela A.1 v [7]	$R_m = 3,2 \cdot HV$ (MPa)	(9),
- povprečje $R_m^{OM}/HV_{povp.}^{\#\#}$	$R_m = 3,15 \cdot HV$ (MPa)	(10).

Opombe: <sup>#</sup>faktor 3,2 iz povprečja območja trdot 80-225 HV, <sup>##</sup>faktor 3,15 iz povprečja 7-ih vrednosti.

### 3. EKSPERIMENTALNI DEL

#### 3.1. Metoda

Certificiranje varilnega postopka po različnih standardih (npr. [15]), zahteva meritve natezne trdnosti zvarnega spoja, ki pa jih v nekaterih primerih ni možno izvesti. Tak primer predstavlja tudi certificiranje varilnega postopka vzdolžnega zvara na ceveh iz nerjavnega jekla (1.4404 in 1.4876) s premerom manjšim od 10 mm (tabela 1). Cevi so bile izdelane iz neskončnega traku z simultanim preoblikovanjem in TIG varjenjem v namenskih avtomatskih napravah, ki ne omogočajo varjenje vzorcev drugačnih oblik (npr. sočelno varjenje dovolj širokih trakov ali cevi dovolj velikih premerov), s katerimi je možno direktno z nateznim preizkusom izmeriti natezno trdnost zvarnega spoja. Zato je bila natezna trdnost ocenjena z meritvami trdote iz povprečje vsaj treh vrednosti [7].

Zaradi tankih sten je bila uporabljena metoda mikrotrdote HV0,5. V osnovnem materialu smo izvedli pet meritev trdote, povprečno vrednost pa izračunali iz treh vrednosti (najmanjša in največja vrednost ni bila upoštevana). V zvaru smo zaradi majhne površine izvedli le tri meritve trdote in iz teh vrednosti izračunali povprečno trdoto zvarov.

Ker korelacijske enačbe niso razvite za varjeno stanje, je bilo potrebno najprej določiti primeren sorazmernostni faktor med trdoto in natezno trdnostjo. V ta namen so bile preverjene iz literature znane enačbe (1) do (8), sami pa smo na osnovi tabele A.1 v [7] razvili enačbo (9), na osnovi izmerjene trdote in v atestih podanih nateznih trdnosti analiziranih jekel pa enačbo (10). V vseh enačbah so bile kot referenčne vrednosti privzete natezne trdnosti iz dostavljenih atestov materiala (*tabela 1:  $R_m^{OM}$* ). Na osnovi analize rezultatov je bila na koncu izbrana enačba z najboljšim ujemanjem in z njo ocenjena natezna trdnost zvarov.

#### 3.2. Rezultati in diskusija

Rezultati izračunanih nateznih trdnosti z različnimi enačbami so podani v *tabeli 1*, ujemanje izračunanih in v atestu podanih nateznih trdnosti pa v *tabeli 2*. Pregled tabel v standardih [16] in [17] pokaže, da so vse izračunane vrednosti v območju nateznih trdnosti različnih avstenitnih nerjavnih jekel, tudi tipa AISI 316 (1.4401, 1.4404, 1.4406, 1.4432, 1.4436;  $R_m = 520-780$  MPa) oziroma jekla 1.4876 ( $R_m = 450-680$  MPa, cev  $\Phi = 4,2 \times 0,40$  mm), zato so v osnovi za oceno natezne trdnosti uporabne vse preizkušene enačbe.

Tabela 1: Dimenzije cevi, povprečna trdota HV 0,5 in izračunane natezne trdnosti  $R_m^{rač}$ :

Cev $\Phi \times d$ (mm)	Povp. trd. OM (HV), (HB)*	$R_m^{OM}$ (MPa)	$R_m^{rač}$ (MPa), enačba:									
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3,2 x 0,25	214, 203	628	710	690	700	699	611	655	653	749	685	674
4,2 x 0,40	190, 181	602	633	615	624	610	532	594	618	668	608	598
4,3 x 0,30	182, 173	634	605	588	597	580	506	572	605	638	582	573
5,0 x 0,30	204, 194	634	679	660	669	662	578	630	638	716	653	643
5,0 x 0,50	197, 187	620	654	636	645	636	555	611	627	690	630	620
6,0 x 0,42	196, 186	608	651	632	642	632	552	608	626	686	627	617
7,5 x 0,50	200, 190	620	665	646	655	647	565	619	632	701	640	630
Povprečna $R_m^{OM}, R_m^{rač}$		621	657	638	647	638	557	613	628	692	632	622

\* iz standarda ISO 18265/2013

Tabela 2: Ujemanje izračunane in v atestu materiala podane natezne trdnosti

Cev $\Phi \times d$ (mm)	ujemanje $R_m^{rač}/R_m^{OM}$ (%), enačba:									
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3,2 x 0,25	88,4	91,0	89,7	89,8	97,3	95,9	96,2	83,8	91,7	93,2
4,2 x 0,40	95,1	97,9	96,5	98,7	88,4	98,7	97,4	90,1	99,0	99,3
4,3 x 0,30	95,4	92,7	94,2	91,5	79,8	90,2	95,4	99,4	91,8	90,4
5,0 x 0,30	93,4	96,1	94,8	95,8	91,2	99,4	99,4	88,5	97,1	98,6
5,0 x 0,50	94,8	97,5	96,1	97,5	89,5	98,5	98,9	89,8	98,4	100
6,0 x 0,42	93,4	96,2	94,7	96,2	90,8	100	97,1	88,6	97,0	98,5
7,5 x 0,50	93,2	96,0	94,6	95,8	91,1	99,8	98,1	88,4	96,9	98,4
Povprečje	93,4	95,3	94,4	95,0	89,7	97,5	97,5	89,8	96,0	96,5
$(R_m^{rač}/R_m^{OM})$ sp.	88,4	91,0	89,7	89,9	79,8	90,2	95,4	83,8	91,7	90,4
$(R_m^{rač}/R_m^{OM})$ zg.	95,4	97,9	96,1	98,7	97,3	100	99,4	99,4	99,0	100
$\Delta$ (zg. – sp.)	7,0	6,9	6,4	8,8	17,5	9,8	4,0	15,6	7,3	9,6

Statistična analiza pokaže, da za oceno stopnje natančnosti neke enačbe ni najprimernejša ocena na osnovi povprečne vrednosti natezne trdnosti (tabela 1), saj rezultat kaže večjo natančnost enačbe z večjim območjem sipanja rezultatov: najnatančnejša je enačba (10), sledijo ji (7), (6), (9) itd. Natančnost enačbe je nujno določiti na osnovi odstopanja spodnje in zgornje izračunane vrednosti od referenčne vrednosti skupaj z razliko med spodnjo in zgornjo izračunano vrednostjo. Po tem, najbolj verodostojnem načinu je najnatančnejša enačba (7), ki daje vse vrednosti z natančnostjo od 95,4 do 99,4%. Sledijo ji enačbe (9), (2), (10), (6), (4), (3), (1), (8) in (5). Največje vrednosti daje enačba (8), najmanjše enačba (5). Najslabše

ujemanje večine rezultatov ima enačba (8), kjer je natančnost petih vrednosti < 90%, sledi ji enačba (5) s tremi vrednostmi < 90%, enačbe (1), (3) in (4) z eno vrednostjo < 90%, pri ostalih pa se vse vrednosti ujemajo z natančnostjo > 90%. Glede na ugotovitve je bila natezna trdnost zvarov ocenjena z najbolj merodajno enačbo (7), katerih izračunane vrednosti so v tabeli 3. Računski rezultati kažejo, da so natezne trdnosti zvarov nekoliko manjše od trdnosti osnovnega materiala, znašajo pa  $\geq 92\%$  natezne trdnosti varjenih osnovnih materialov. Lahko zaključimo, da so trdnosti zvarov sprejemljive. Standard [15] namreč zahteva natezno trdnost zvara, ki je enaka ali večja od spodnje v standardih navedene  $R_m^{sp}$  za varjeni material.

Tabela 3: Z enačbo (7) izračunane natezne trdnosti zvarov  $R_{mzv}$  rač (zahteva:  $\geq 520$  MPa oz. 450 MPa za cev  $\Phi = 4,2 \times 0,40$  mm).

Cev $\Phi \times d$ (mm)	3,2 x 0,25	4,2 x 0,40	4,3 x 0,30	5,0 x 0,30	5,0 x 0,50	6,0 x 0,42	7,5 x 0,50
Pov. (HV), (HB) *	197, 187	170, 162	168, 160	201, 191	171, 163	173, 165	182, 173
$R_{mzv}^{rač}$ (MPa)	627	588	584	634	589	592	605
$R_{mzv}^{rač}/R_m^{OM}$ (%)	99,8	97,7	92,1	100	95,0	97,4	97,6

\* iz standarda ISO 18265/2013

#### 4. ZAKLJUČKI

Na osnovi rezultatov opravljene raziskave na tankostenstenskih ceveh majhnih premerov, ki so izdelane z avtomatskim TIG vzdolžnim varjenjem preoblikovanih trakov iz avstenitnih nerjavnih jekel 1.4404 in 1.4876, lahko zaključimo:

- V literaturi je najti veliko enačb za oceno natezne trdnosti jekla iz vrednosti izmerjenih trdot.
- Možno je razviti enostavne korelacijske enačbe bodisi iz podanih ali iz izmerjenih vrednosti trdote in nateznih trdnosti. Na tak način sta bili razviti novi enačbi izračunavanja natezne trdnosti avstenitnih jekel iz vrednosti trdote:  $R_m = 3,2 \cdot HV$  in  $R_m = 3,15 \cdot HV$  (MPa).
- Z manjšo ali večjo natančnostjo so vse enačbe uporabne tudi za avstenitna jekla, saj so izračunane vrednosti ne glede na enačbo, v območju standardno podanih nateznih trdnosti večine avstenitnih jekel.
- Najbolj natančna se je pokazala enačba  $R_m = 1,59 \cdot HB + 330$  (MPa), katere izračunane vrednosti natezne trdnosti so v območju natančnosti 95,4 do 99,4% v certifikatih podanih vrednosti za analizirana jekla.
- Z enačbo (7) izračunane vrednosti nateznih trdnosti zvarov so v splošnem nekoliko manjše od trdnosti osnovnega materiala, so večje od najmanjše še sprejemljive vrednosti in so na nivoju 92-100% trdnosti osnovnega materiala.

#### Literatura

- [1] Spaić S.; *Metalografska analiza*. Univ. v Ljubljani, FNT-oddelek za montanistiko, Ljubljana, 1993.
- [2] Institut za varilstvo d.o.o.: *Poročilo št. 72497/18*. Ljubljana, 2018.
- [3] *Metalurški priročnik*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1972, str. 157 in 158.
- [4] Kraut B.: *Strojniški priročnik*. Strojniški vestnik, Ljubljana, 1981, str. 317.
- [5] *Strojnotehnološki priročnik*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1998, str. 164.
- [6] ISO/TR 10108/1989-tech. report: *Steel-Conversion of hardness values to tensile strength values*.
- [7] ISO 18265/2013: *Metalic materials-Conversion of hardness values*.
- [8] Genculu S, P. E.: *Correlation of Hardness Values to Tensile Strength*. CAB Incorporated, <http://www.cabinc.com>, dostopno 29.09.2018 ob 1300.
- [9] ASTM A 370: *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*.
- [10] SAE J 417: *Conversion Table of Hardness*.
- [11] ASM Handbook, Vol. 4: *Heat Treating*. ASM, Materials Park, Ohio, USA, 2009, str. 684 in 877.

[12] Pavlina E. J., Van Tyne C. J.: Correlation of Yield Strength and Tensile Strength with Hardness for Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 17(6), 2008, str. 888-893.

[13] Gaško M., Rosenberg G.: *Correlation between hardness and tensile properties in ultra-high strength dual phase steels-short communication. Materials engineering-Materiálove inžinirstvo 18, 2011, str. 155-159.*

[14] Isakov E.: *Cutting Data for Turning of Steel. Industrial press Inc., New York, 2009.*

[15] *ISO 15614-1/2017: Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.*

[16] *EN 10088-2/2005: Stainless steels-Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purpose.*

[17] *EN 10095/1999: Heat resisting steels and nickel alloys.*

## SODELOVANJE Z UKRAJINO

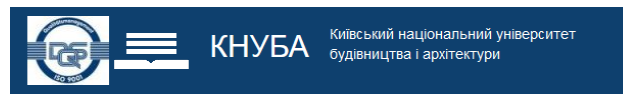
Inštitut za varilstvo in Nacionalna univerza za gradbeništvo in arhitekturo v Ukrajini sta podpisala sporazum o sodelovanju za:

- skupne raziskovalne in razvojne projekte na področju tehničnih ved, varjenja, spajanja materialov, tehnologij, testiranj in certificiranja;
- računalniška modeliranja in programiranja, tehnične eksperimente in procesne analize
- sodelovanje na področju visokošolskega izobraževanja, pripravnštva, usposabljanja in izmenjave raziskovalcev, podiplomskih študentov
- organizacijo skupnih konferenc, sejmov v Sloveniji in Ukrajini
- objavlanje revij, posebnih izdaj, monografij s soavtorstvom
- predstavitev slovenskega znanstvenega razvoja v Ukrajini in
- uvedbo ter izmenjavo dosežkov na področju raziskav kovin, varjenja, gradbeništva, tehnologije in drugih materialov ter njihova uporaba v različnih gospodarskih sektorjih.

## MEMORANDUM

...of agreement about collaboration between Welding Institute, Slovenia, and Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine:

- joint research and development programs in the fields of Technical Sciences, Welding, Joining materials, Technologies, Testing and Certification;
- computer modeling and programming, technical experiments and process analysis;
- cooperation in the field of higher education, internship, training and exchange of researchers, postgraduates;
- organization of joint conferences, fairs in Slovenia and in Ukraine;
- publication of journals, Special Editions, co-writing monographs;
- representation of Slovenian scientific developments in Ukraine;
- introduction and exchange of achievements in the field of metals research, welding, constructions, technologies and other materials, and their use in various sectors of the economy.



**Objavljamo članek Ukrajinskih kolegov na temo  
Eksperimentalne in teoretične preizkave vgradnih  
stopnic z zmanjšano višino**

## **EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF INSERTED FLOORS WITH DECREASED HEIGHT**

*S.I. Bilyk, Doctor of Technical Sciences, professor  
T.O. Nilova,  
Candidate of Technical Sciences, assistant professor  
L.I. Lavrinenko,  
Candidate of Technical Sciences, assistant professor  
Semchuk I.Y.,  
master  
Kyiv National University of Civil Engineering and  
Architecture*

These days in connection with increase of employing steel in construction the steel structures finds much more distribution in light frameworks, high-rise buildings, and also in building with a little number of storeys where they are not used earlier.

Scientific and technological advance in the field of design and production of steel structures has significantly increased the use of welded thin-webbed beams with sinusoidally corrugated webs, manufactured according to the profiles range and technology of the Austrian company Zeman, the efficiency of which use has been proven in practice in Ukraine and in Europe.

Rationality of structural decisions of inserted floors in multistorey buildings and to a lesser extent coatings depends on structural height of the floor. This height directly affects useful volume of premises, an area of wall fencing, as well as the cost of heating and engineering networks (electrical, plumbing and others).

Decreasing the structural height of the floors can be achieved by reducing the height of main beam and proper connection of the beams together.

The minimum height of the main beam can be determined from the condition that the beam deflection at the operating load does not exceed the limit value  $f_u$ :

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{f_y l}{E} \eta \frac{M_e}{M} \left( \frac{l}{f} \right)_u,$$

(1)

where  $f_y$  – design resistance of steel according to the yield strength;  $l$  – design span of the beam;  $\eta$  – coefficient that takes into account the effect of shear deformation of a thin corrugated web on the beam deflection (equal to 1.20...1.10 depending on the parameter  $h/l = 1/10...1/15$ );  $M_e, M$  – the maximum moments in the beam from the operating and limit loads in accordance.

The optimum beam height at which the steel consumption reaches the minimum is:

$$h_{opt} = k_t \sqrt{\frac{W_{cal}}{t_w}},$$

(2)

where  $k_t = 1,05...1,1$  – coefficient of influence on the beam corrugated web height of the structural transition coefficients from the theoretical area of the flanges and the web of compound I-section to the actual one;  $W_{cal}$  – the required resistance moment of the cross-section;  $t_w$  – thickness of the beam web.

Formula (1) and (2) allow in a general way to write the ratio of the minimum beam height to the optimum one as the coefficient  $\xi$  that allows to evaluate the efficiency of beam height assignment of the minimum value:

$$\xi = \frac{h_{\min}}{h_{opt}} = \frac{5}{24} \frac{f_y l}{E} \eta \frac{M_e}{M} \left( \frac{l}{f} \right)_u \frac{1}{k_t} \sqrt{\frac{t_w}{W_{cal}}}.$$

(3)

It follows from (3) that if  $\xi < 1$ , then the optimal height of the beam web  $h_w$  is calculated as greater than the minimum height, and therefore the accepted web height can be reduced to the minimum value. With increasing  $f_y$ , in the first place for the flanges, the resistance moment  $W_{cal}$  will decrease, so minimum to optimal height ratio from the beam rigidity conditions will increase. Increasing the web

thickness  $t_w$  in turn leads to decreasing the optimal height.

When designing beams of minimum height, the web thickness from the condition of ensuring its shear strength can be the main factor:

$$t_w \geq \frac{Q \cdot \sqrt{3}}{h_w R_y},$$

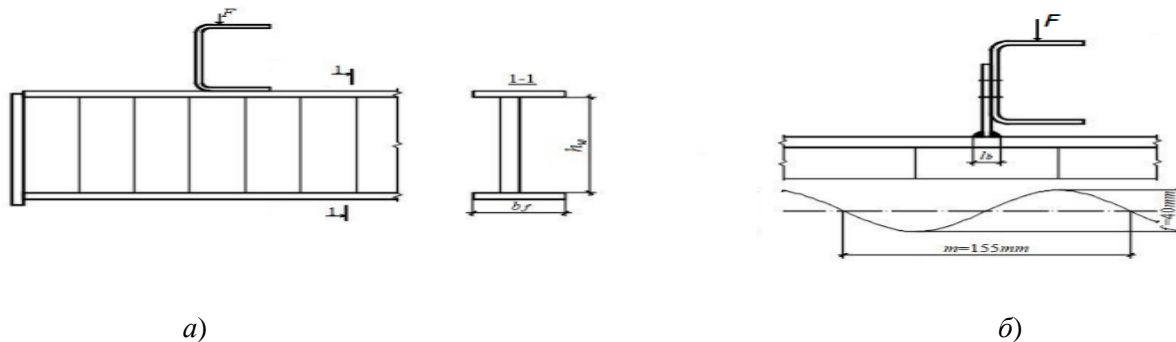


Fig.1. Support point of purlins: a) on the upper beam flange directly; b) with use of transversal elements

Experimental and theoretical investigations carried out by the authors [1] as well as in [2, 3,8,9] proved that for standard corrugated profiles range of company Zeman the web local buckling never occurs under local patch loading on the web in its plane under steel behavior within the elastic deformations.

The results of the web local stability analysis do not allow determining the actual limit bearing capacity of a cross-section under the action of local loadings. However, for science and practice it is important to ascertain behaviour features of the web when the stresses value in it significantly exceeds the yield strength and approaches the tensile strength.

In order to study the actual behaviour of corrugated webs under the action of local loadings in their plane, to determine the influence of geometric and mechanical characteristics of the cross-sections, as well as loading application

(4)

where  $Q$  –the maximum shear force in the beam span.

If condition (4) is satisfied, any connection of the beams can be accepted - either at the same level or floor-by-floor. At floor-by-floor connection purlins are installed on the upper beam flange with use of transversal elements or without them (Fig. 1).

schemes empirical and numerical studies were conducted on the experimental model.

The model had a transversely corrugated sinusoidal web with height  $h_w = 500$  mm and thickness  $t_w = 3$  mm, and flat sheet flanges with dimensions  $b_f \times t_f = 300 \times 8$  mm. The wave height of corrugations  $f = 40$  mm with its projection length  $m = 155$  mm, design span of the model  $12m = 12 \cdot 155 = 1860$  (Fig. 2). Such a small length of the model was assumed to avoid the influence of bending moment on bearing capacity under significant forces  $M$  and  $Q$  in cross-section. Slenderness of the web was  $\lambda_w = h_w/t_w = 166,7$ , and conventional slenderness –  $\bar{\lambda}_w = \sqrt{R_{yw}/E} = 6,34 > 2,5$ .

Such value of conventional slenderness for flat webs demands to install stiffening ribs with a small step and to check local stability of the web compartments.

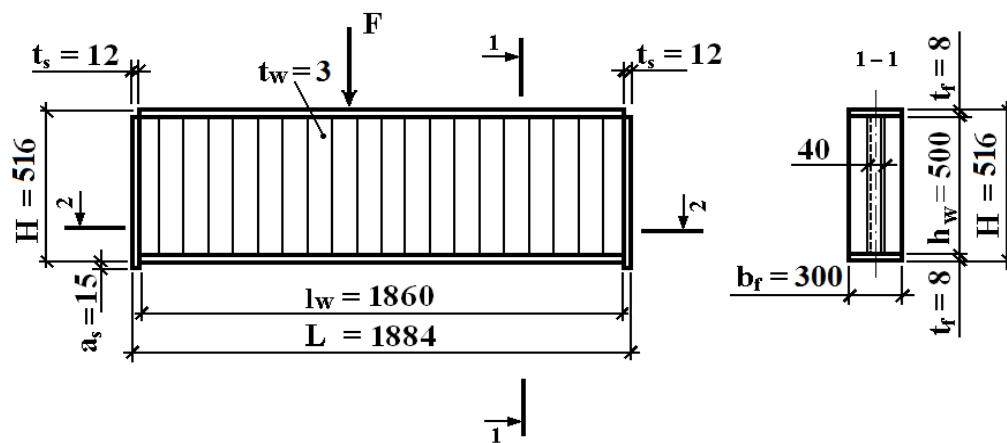


Fig. 2. Experimental beam model

The steel mechanical characteristics of the model were determined by standard samples and correspond with:

- for the web - yield strength  $\sigma_{yw} = 296,5$  MPa, tensile strength  $\sigma_{tw} = 441,8$  MPa (sample 1);
- for flanges - yield strength  $\sigma_{yf} = 293,9$  MPa, tensile strength  $\sigma_{if} = 449,2$  MPa (sample 2).

The diagram of steel behaviour is accepted by results of experimental research of the sample 1 (Fig. 3) and fits with [4].

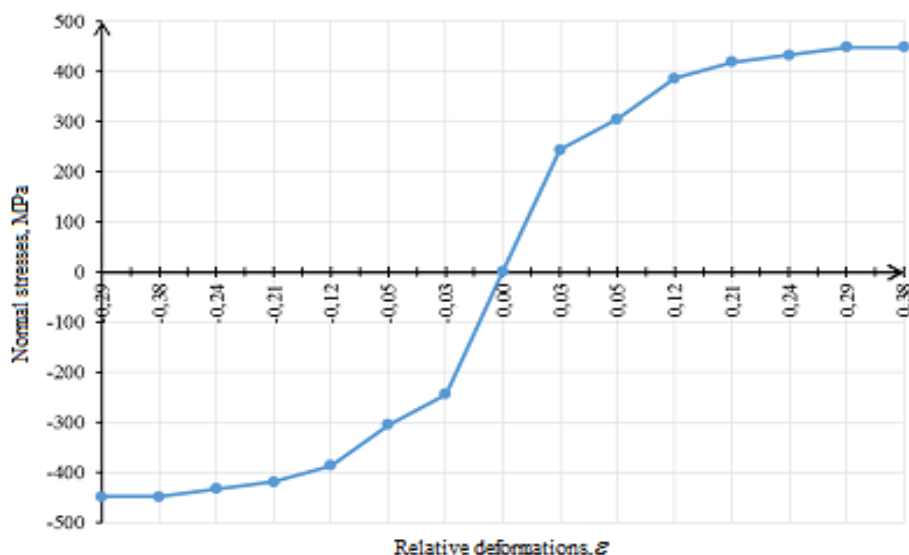


Fig. 3. Diagram of steel behavior

The model by the edge end stiffener was supported on a steel frame that was fixed to a power floor. One of the model supports had the ability to move freely in the horizontal direction (the roller support). On the supports upper flanges of the model were fastened by cross-bars to prevent its horizontal movement. The same cross-bars were installed in cross sections where vertical loadings were applied

to ensure the beam behavior in conditions of plane bending.

The loading was imposed in the middle of the model length and was executed by two jacks  $Q = 2 \times 25$  t, the loading value was controlled by a mechanical dynamometer. The values of loads and deflections of the model were recorded and compared during the loading, which allowed tracing the beam behavior accurately. To control the

operation of jacks and measuring device the model was being preloaded to a value of 20 kN and after the necessary keeping the loading was being removed. Due to the small values of the model span and the beam span to her height ratio  $L/H = 1,68/0,5 = 3,33$  the model deflections was controlled by deflectometers.

Applying the loading on the flanges was carried out via a steel bearing pad with thickness 15 mm and width 300 mm which equal to the flange width, and along the model its dimensions were  $l_b = 15$  mm.

After proper keeping the loading was applied on the model with a small step, as indicated in Fig 4, until the bearing capacity was exhausted. The ultimate loading value was determined by the maximum indications of calibrated mechanical dynamometer.

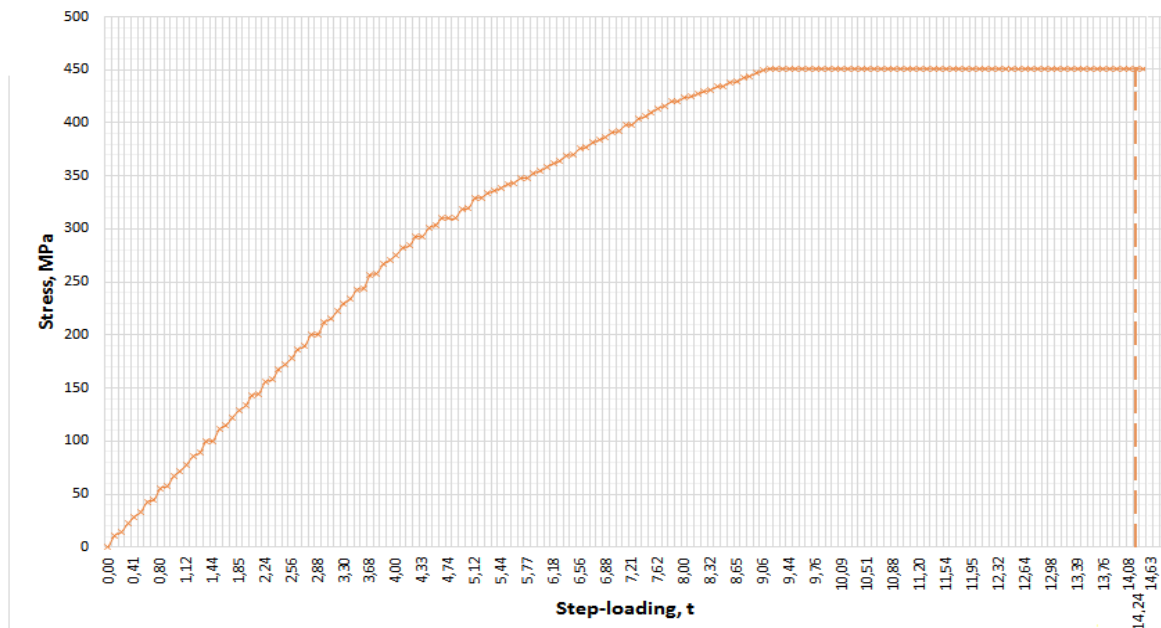


Fig. 4. Stress to step-loading dependency diagram

The maximum value of the experimental loading achieved by the dynamometer indexes was  $F_1 = 16$  tons at  $l_b = 15$  mm;  $F_{1.cal}$  was 14,24 tons.

The dependence of the normal local stresses in the beam web at the level of its connection with the flange along the axis of the applied loading depending on its value is shown in Fig. 5. The graphs show that after the stresses reached the ultimate strength the failure did not occur, and the web continued to resist an increased loading. This is because the normal stresses at the level of connection with the flange resists by the web at sites

of length  $S = 26$  cm, which is practically independent of the loading length  $l_b = 15,5$  cm. The maximum stresses in both cases reach a maximum along the axis of the force  $F$  application, and at a distance from it they decrease. When reaching the value of steel tensile strength  $\sigma_{wu}$  the stresses in the beam web no longer increase, and the stresses begin to increase at a certain distance from the force axis  $F$  (Fig. 5). At this the applied loading reaches its maximum value.

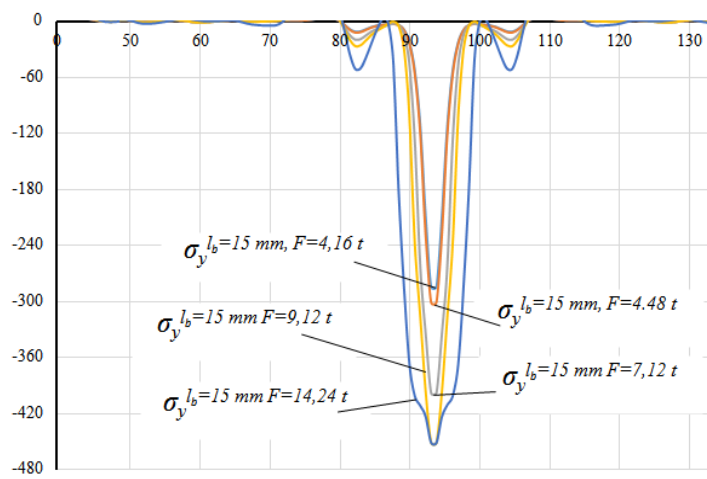


Fig 5. Diagram of local stress distribution at  $l_b = 15$  mm loading

The character of changing the web stress state under concentrated force with increasing loading and the support length  $l_b = 15$  mm can be traced on the mosaics (Fig. 6).

The distribution of stresses in the cross section is displayed under the maximum stress 398 MPa,

which is achieved when the force  $F = 7.12$  t is applied (see Figure 6, a). Figures (6, b and c) show the distribution of stresses in the cross section at almost the same stresses of the beginning and the end of yield line 451 MPa (applied forces  $F = 9.12$  t and 14.24 t respectively).

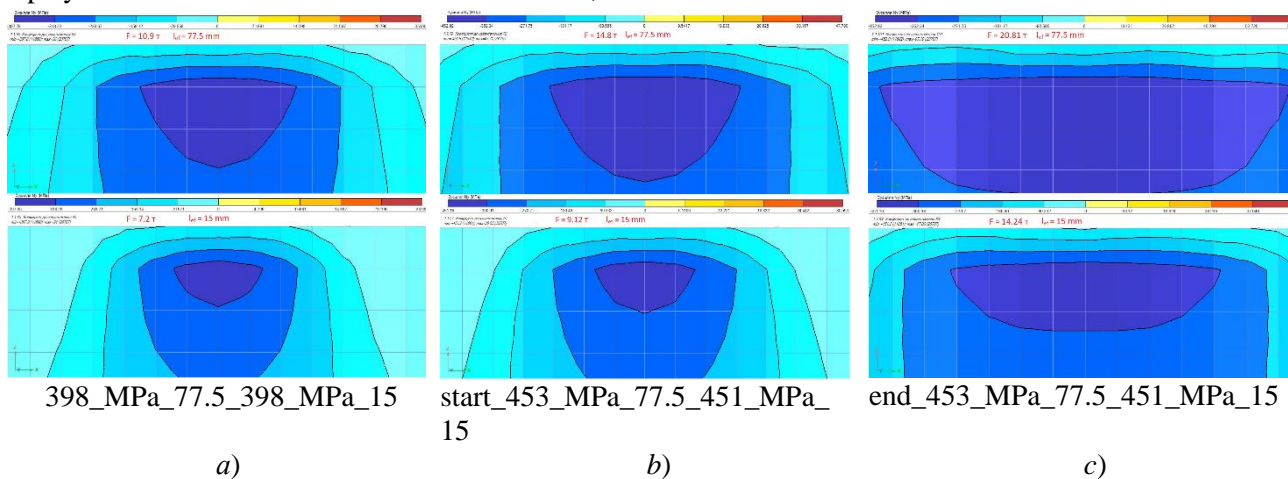


Fig 6. Mosaic of stress distribution in the cross-sections under different loadings

As shown by numerical investigations, regardless of the geometric characteristics of the cross-section of the beam with transversely corrugated web, in a situation where the local loading acts, the exhaustion of the bearing capacity with the loss of the web strength according to [5, 6] always occurs earlier than the loss of the web stability.

Figure 7 shows the characteristic deformation of one corrugation due to local bearing failure of the beam web. No features of weld failure were found.



Fig. 7. Local buckling of the corrugation

At floor-by-floor supporting of secondary beams on the main one the local stresses of high intensity arise in its web. The values of this stresses according to the requirements [5, 6] should not exceed the yield strength of steel  $\sigma_{yw}$ . In addition, in order to reduce the structural height of the floors, the connections of the beams are arranged in one level or reduced one, for which the stiffeners welded to the corrugated webs are used. A constant change in the curvature of the wall does not allow bolted attachment of beams to stiffening ribs to be identical, the same as for the width of the stiffening ribs themselves.

In this paper [7] a single-type by its decision joint for connection the corrugated beams with secondary beams is proposed. Such junction is achieved by the arrangement of transverse cross brace which is connected to the flanges and is not adjacent to the web (Fig. 8). Structural cross brace is made from flat strip steel (Fig. 8, a) or from an angle (Fig. 8, b) with the necessary size for placement of bolts. If necessary, the cross brace from any other cross-section can be taken. Thus, there are no significant local stresses in the web (as in the case when the stiffening rib is absent), and the support reactions of the beams are transmitted to the upper and lower flanges of the I-beam through the cross brace.

The secondary beam is attached with bolts to the cross brace, the size of which is specified from the strength or stability condition [6].

Depending on the level of the beam connection (Fig. 9) longitudinal forces in the cross brace can be adjusted by changing the level of the adjunction of the auxiliary beam and determined by the formulas:

$$\begin{aligned} & \text{- at the top part – tension} & N_1 = - \\ & N(1-l_1/l); & \\ & \text{- at the bottom part – compression} & N_2 = -N l_1, \end{aligned} \quad (5)$$

where  $N$  – support reaction of the secondary beam,  $N_1$  and  $N_2$  – forces in the upper and lower parts of the cross brace respectively;  $l_1$  and  $l_2$  – length of the upper and lower parts of the cross brace respectively.

In the presence of joining the cross brace to the upper flange through a vertical oval hole (Fig. 10) the forces on the upper flange is not transmitted, thus  $N_1 = 0$ . Additional efficiency is provided by the fact that the load  $N$  is completely transferred to the tensioned lower flange of the main beam, and vertical tensile normal stresses occur in the beam web.

The peculiarity of the developed model is that the placement of the cross braces does not require coordination with the wave contour of the corrugated web.

In buildings with complex configuration such structural decisions allow to attach the secondary beams at any angle to the main ones, changing only the cross brace placement.

In inserted floors with decreased height the flange area has a large value that allows designing them more thick-webbed than commonly used higher beams. In order to reduce in the flanges the local moments from the forces created by the cross braces, the places of their attachment to the flanges should be displaced closer to the web axis (Fig. 8, c).

It is also advisable to increase the design length of the force transfer along the beam on the flange by the cross brace, which will decrease local stresses in the beam web at their location places and directly in the welds. For this purpose it is necessary to apply the cross braces made from corners (Fig. 8, b) or other profiles instead of flat strip steel (Fig. 8, a).

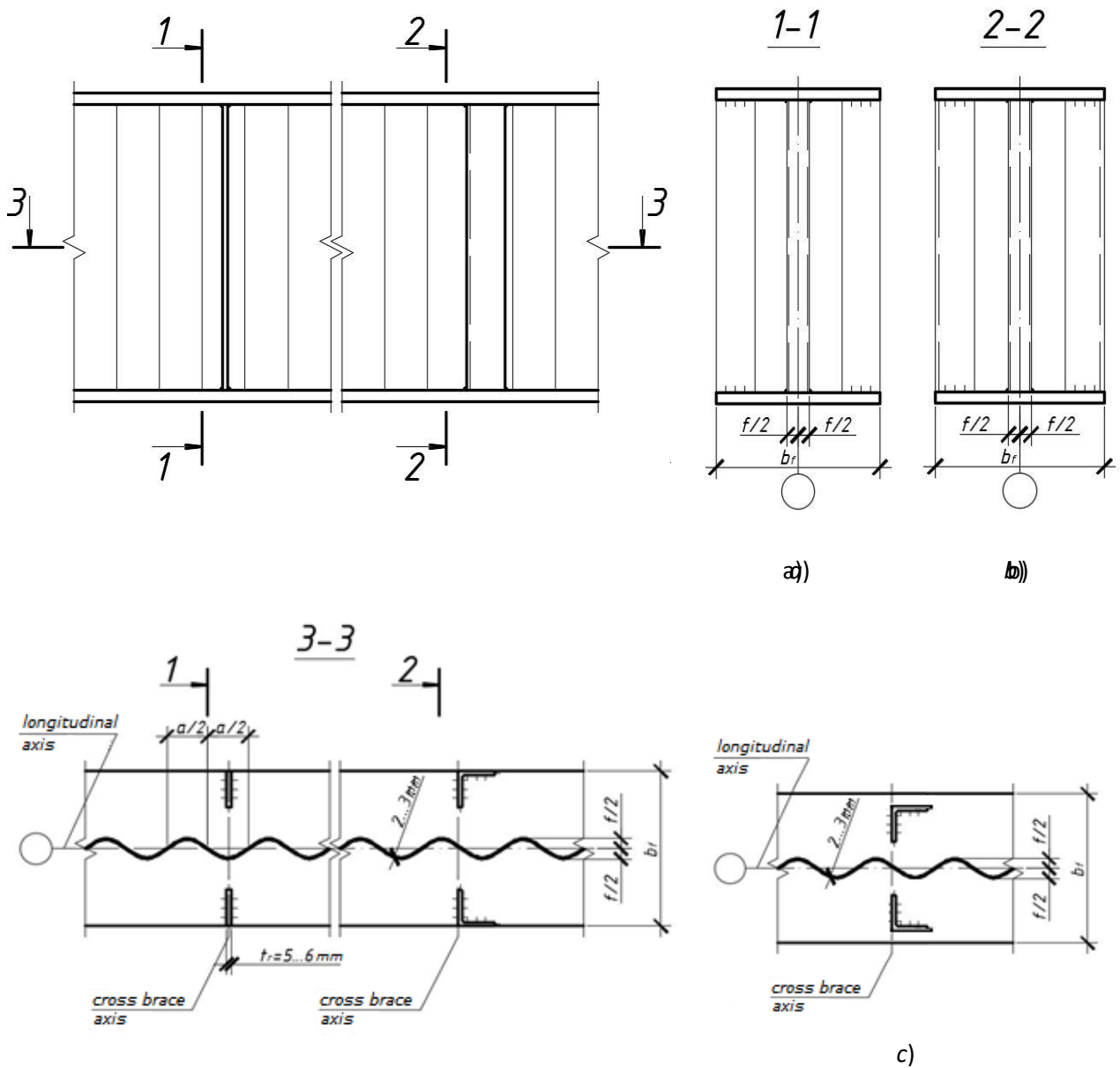


Fig. 8. Joint for connection a secondary beam with the corrugated sin-beam via transverse cross brace:  
a) from flat strip steel; b) from an angle

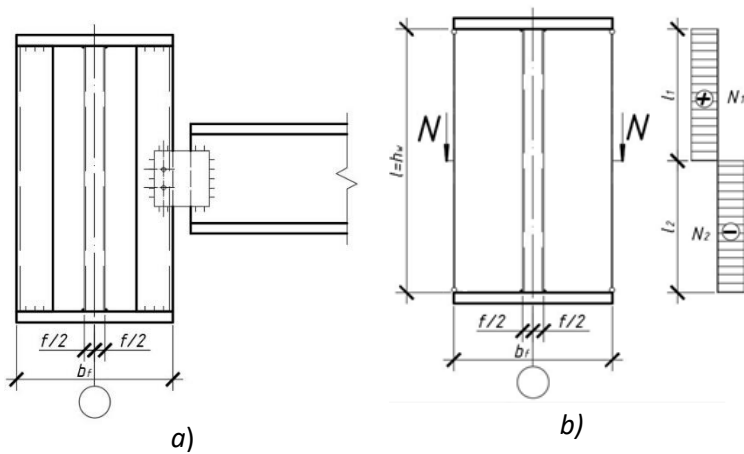


Fig. 9. To the design of the connection a secondary beam with the corrugated sin-beam via transverse cross brace: a) diagram of connection joint; b) design diagram of cross brace

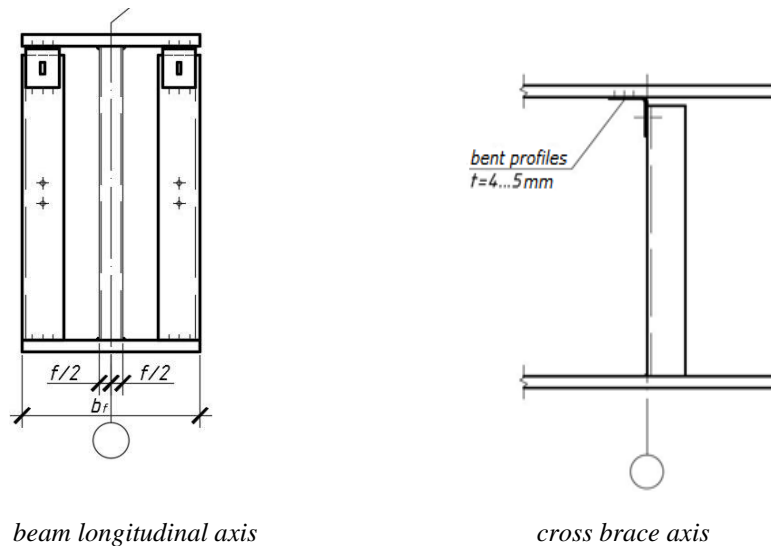


Fig. 10. Transmitting a loading from a secondary beam on the lower flange only

## Conclusions

As shown by numerical and experimental investigations limit state of the beam corrugated web at  $\sigma_{yw} \leq \sigma_{yf}$  will always be provided under the condition that the acting stresses in the web do not exceed the yield strength  $\sigma_y$ .

Designing the floors with decreased height is recommended to perform using I-beams with corrugated webs.

Limit state of the corrugated web under local patch loadings is achieved when stresses are equal to the ultimate strength of steel  $f_u$ .

## REFERENCES

1. Nilov O.O., Bilopup T.O., Lazniuk M.V., Nilova T.O. Eksperymentalni doslidzhennia roboty stalevykh dvotavrovykh tonkostinnykh balok z poperechno-hofrovanykh stinkamy.

- Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho instytutu stalevykh konstruksii im. V. M. Shymanovskoho. — K. : Stal, 2015. — Vyp. 15. — S. 62–70. [In Ukrainian]
2. *Pasternak H., Robra J., Kubieniec G.* New proposals for EN 1993-1-5, Annex D: Plate girders with corrugated webs. — Proceedings of Joint IABSE-fib Conference on Codes in Structural Engineering. Developments and Needs for International Practice, Dubrovnik, May 3-5, pp. 3–5 (2010) Google Scholar.
  3. *Kuchta K.R.*, Design of corrugated webs under patch load. — *Advanced Steel Construction*, — 2007, — Vol. 3, — No. 4. — P. 737 — 751.  
<https://doi.org/10.18057/IJASC.2007.3.4.3>.
  4. Eurocode No. 3, Design of Steel Structures. Part 1.5. Plated structural elements (EN 1993-1-5, 2008).
  5. Eurocode No. 3 Design of Steel Structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings (European Prestandard ENV-1993-1-1).
  6. DBN V.2.6-198:2014 « Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia». Kyiv 2015. — 297 s. [In Ukrainian]
  7. *Nilov O.O., Lavrinenko L.I., Semchuk I.Iu., Nilova T.O.* Vuzol spriazhennia stalevykh balok z poperechno hofrovanymy khvyliastymy stinkamy. Patent na korysnu model UA №120477 U, MPK E04S3/07 (2006.01). Zareiestrovano v Derzhavnomu reiestri patentiv Ukrainy na korysni modeli 10.11.2017, Biul. № 21. [In Ukrainian].
  8. Bilyk S. Determination of critical load of elastic steel column based on experimental data // Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія. міжнар. наук.-вироб. журн. К., КНУБА, Вип.04/2016, С.89-96. [library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/12/201604.pdf#62](http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/12/201604.pdf#62).
  9. Bilyk S., Tonkacheiev V. / Determining sloped load limits inside von mises' truss with elastic support / *Journal Materials in tehnologije / Materials and Technology*/. Volume 52, NO.2, Mar.-Apr. 2018, pp. 105-110. doi:10.17222/mit.2016.08361.

# PENETRANTSKA PREISKAVA UTRUJENOSTNIH RAZPOK NA ALUMINIJEVI ZLITINI 7075

## Penetrant testing of fatigue cracks in the aluminum alloy 7075

*dr. Darjo Zuljan*

*dr. Uroš Zupanc*

*Institut z varilstvo d.o.o., Ptujška cesta 19, Ljubljana*

### Uvod

Namen raziskave je ugotavljanje in analiziranje linearnih utrujenostnih razpok na aluminijevi zlitini 7075-T651 s pomočjo penetrantske metode. Raziskovali smo aluminijevo zlitino v dobavljenem, površinsko utrjenem in korodiranem stanju. Poudarek je na razumevanju napredovanja korozije v posameznih mikrostrukturnih ravninah aluminijeve zlitine 7075-T651 v dobavljenem stanju ter nadalje analiziranje učinka hladnega utrjevanja vzorcev izbrane aluminijeve zlitine na korozivno obstojnost v agresivnem okolju klorovih ionov (raztopina NaCl). Z analizo mest prelomov utrjenih vzorcev je mogoče ugotoviti, da so v primerjavi z materialom v dobavljenem stanju mesta nastanka utrujenostnih razpok zamaknjena v podpovršje.

**Ključne besede:** aluminijeva zlitina 7075, penetrantska preiskava, utrujenostne razpoke.

### Introduction

The purpose of the study is to determine and analyze linear fatigue cracking on aluminum alloy 7075-T651 using a penetrant testing method. We investigated the aluminum alloy in the delivered, surface-hardened and corroded state. The emphasis is on the understanding of the progression of corrosion in individual micro structural planes of the aluminum alloy 7075-T651 in the delivered state and further analyzes the effects of the cold hardening of the samples of the selected aluminum alloy on the corrosion resistance in the aggressive chlorine ions (NaCl solution). By analyzing the fracture points of the solid samples, it can be concluded that in comparison with the material in the delivered condition, the site of the fatigue formation of the cracks is displaced into the sub-surface.

**Keywords:** aluminum alloy 7075, penetrant examination, fatigue cracks.

### Penetrantske preiskave

Penetrantske metode so samostojna smer neporušitvenih preiskav materialov. Metoda bazira na kapilarnem efektu kapljev (penetrantov). Ločimo rdeče, fluorescentne in dualne penetrante. Penetrantske metode služijo za odkrivanje površinskih nehomogenosti v materialu, kot so npr. razpoke, pore, hladni spoj ipd. S penetrantskimi metodami je mogoče odkrivati napake, ki segajo do površine in so na površini odprte, da v njih lahko pronica penetrantska kapljevina. S penetrantskimi metodami je možno izvajati kontrolo kovinskih materialov vseh vrst (barvne kovine – npr. aluminij, med in avstenitna jekla.). Ugotavljanje notranjih napak (ali zaprtih notranjih napak) s temi metodami ni možno. Glavna prednost penetrantskih metod je njihova enostavnost in visoka univerzalnost, nizka cena preiskave in hitrost preiskave [1-10].

### Predstavitev eksperimentalnega dela

Aluminijeva zlitina 7075-T651 se danes pogosto uporablja v avtomobilski industriji, letalstvu in vesoljski tehniki. Zaradi dobrih mehanskih lastnosti, ki jih zlitina doseže po termodinamični obdelavi (v izločevalno utrjenem stanju T 651) jo najdemo v mnogih mehansko obremenjenih delih kot so nosilne konstrukcije, zobniki, gredi, varovalni deli, regulacijski ventili in kolesa. Aluminijeva zlitina 7075-T651 vsebuje veliko število mikrostrukturnih faznih vključkov, kar vpliva na njene korozijske lastnosti. Nadalje imajo valjane plošče heterogeno mikrostrukturno sestavo zaradi različnih velikosti in usmerjenosti kristalne strukture v posameznih ravninah glede na smer

valjanja. Za napovedovane obratovalne lastnosti korodiranega materiala v dinamičnih obremenitvah je potrebno poznati mehanizme nastanka in napredovanja korozijskih poškodb. Velikost, oblika in razporeditev korozijskih poškodb na površini dinamično obremenjenega materiala vpliva na nastanek in širjenje utrujenostnih razpok. Hladno mikroplastično utrjevanje površine visokotrnostnih konstrukcijskih aluminijevih zlitin nosi določen riziko za pojav neželenih sprememb korozijskih lastnosti materiala. Cilj analize je preveriti vpliv hladnega utrjevanja vzorcev iz aluminijeve zlitine 7075-T651 na njihovo korozijsko obstojnost v raztopini NaCl in nastajanje ter širjenje razpok.

### Predstavitev materiala

V raziskavah je bila izbrana aluminijeva zlitina AlZn5,5MgCu (EN AW 7075) dobavljena kot valjana plošča debeline 20 mm. V tabeli 1 je predstavljena kemijska sestava dobavljene plošče. Glavni legirni elementi izbrane aluminijeve zlitine so Zn, Mg in Cu.

Aluminijeva zlitina 7075 je bila dobavljena v stanju T651, kar pomeni način toplotne obdelave za

dosego zelenih mehanskih lastnosti. Topilno žarjenje pri temperaturi 480 - 485 °C v času 1-2 ure, gašenje v vodi, 2-3 %-na hladna deformacija z vlečenjem in nato izločevalno utrjevanje pri temperaturi 130 °C v času 12 ur. Visoke mehanske lastnosti aluminijeve zlitine 7075 se dosežejo z izločevalnim utrjevanjem (tabela 2). Zlitini se dodajo legirni elementi v koncentracijah, ki presegajo ravnotežno topnost pri sobni temperaturi. Postopek izločevalnega utrjevanja vključuje topilno žarjenje pri visokih temperaturah, da dobimo popolno trdno raztopino. Topilno žarjenje je najučinkovitejše na evtektični temperaturi zaradi največje topnosti in tudi difuzivnosti. Topilnemu žarjenju sledi hitro ohlajanje oziroma gašenje do sobne temperature, da dobimo prenasičeno trdno raztopino. Končno fazo toplotne obdelave predstavlja umetno staranje zlitine. Visoko trdnost pridobimo zaradi nastanka fino dispergiranih precipitativ MgZn [2]. Izboljšanje mehanskih lastnosti v izločevalno utrjenih zlitinah je rezultat interakcij med dislokacijami in faznimi izločki v aluminijevi matrici. Ovirano drsenje dislokacij vpliva na ugodne mehanske lastnosti zlitine.

Tabela 1: Kemijska sestava zlitine Al 7075 –T651- AlZn5,5MgCu [11]

Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Fe	Al
0.14	1.58	0.03	2.41	0.20	5.70	0.03	0.15	ostalo(volumski delež %)

Tabela 2: Mehanske lastnosti aluminijeve zlitine 7075-T651 - AlZn5,5MgCu [11]

Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A50	HV0.3
585	532	12.0	165

### Predobdelava testnih vzorcev

Testi utrujanja korodiranih vzorcev so bili izvedeni na sobni temperaturi na resonančni napravi Cracktonic II švicarskega proizvajalca Rumul AG. Na sliki 1 so prikazani parametri utrujanja vzorcev. Raziskava odpornosti površinsko utrjenih vzorcev je bila izvedena pri maksimalni upogibni napetosti 300 MPa, izmerjeni na stanjšanem preseku vzorca.

Testiranje je potekalo pri nihajni sinusoidni obremenitvi. Izbrano je bilo napetostno razmerje obremenjevanja vzorcev  $R=0,05$ . Frekvenca vzbujanja vzorcev je znašala  $115\text{Hz} \pm 0,5 \text{ Hz}$ . Kriterij za porušitev vzorca je bil padec lastne vzbujevane frekvence vzorca za 3 %. V vsaki raziskovalni kombinaciji je bilo testiranih vsaj 5 vzorcev. Pri testiranju korodiranih vzorcev namenoma nismo odstranili korozijskih produktov.

## Navodilo za izvajanje penetrantskega testiranja na prisotnost razpok

V tabeli 3 so podana navodila za testiranje dinamično utrjenih epruvet je izdelano na podlagi EN ISO 3452-1 in postopka NDT PT/1/001.

Tabela 3: Navodilo za testiranje dinamično utrjenih epruvet, izdelano na podlagi EN ISO 3452-1 in postopka NDT PT/1/001

Navodilo NDT - PT		Št. navodila: PT 003/2005
Naročnik: Institut za varilstvo d.o.o. Ljubljana	Ime dela: Vzorci iz valjane plošče	
Naročilnica št.:6016	Št. risbe: 389	
Standardi, specifikacije: EN ISO 3452-1:2013, ISO 17635:2010, EN ISO 23277:2010, EN ISO 3059:2013, EN ISO 12706:2011	Izdelek št.: 102	
Postopek št.: PT/1/016	Material: Aluminijeva zlitina 7075 –T651	
1. Namen in obseg veljavnosti Za penetrantsko preiskavo vzorca 1234/2016, 100% srednjega dela epruvete.		
2. Kvalifikacija NDT osebja Preiskava in zapis indikacij lahko izvaja NDT osebje za metodo PT z nivojem minimalno 1. Ocenjevanje rezultatov preiskave lahko izvaja osebje s certifikatom PT nivoja 2 po EN ISO 9712.		
3. Uvrstitev preiskave Deli se preiskujejo po končnih preiskavah dinamičnega utrujanja.		
4. Naprave in sredstva za preiskavo Pomožne naprave: - čistilna sredstva; tekstilne krpe, denaturirani alkohol, jeklena krtača. Komplet sprejev: Chemetall <i>penetranti:</i> CHECKMOR 300 ( <i>rdeči</i> ) LOT: 0900045363 06/13 ->06/18 <i>razvijalci:</i> LD 9 LOT: 0900050463 01/15->01/18 <i>čistila:</i> S 85 LOT: 0900051321 04/15->04/18  <u>Merilniki vidne svetlobe</u> - Luxmeter: DIGITALNI LUX METER: BEHE 93408		
5. Osvetlitev delovnega mesta na mestu ocenjevanja: Jakost vidne svetlobe min. 500 luxov.		
6. Obseg preiskave: Dinamično utrjene dele epruvete preiščemo po celotni površini (100 %).		
7. Priprava preiskovanih delov Preiskovano površino razmastimo.		
8. Delovni postopek a) pred-čiščenje površine – Remover S 85		

b) uporaba penetranta – Checkmor 300

Penetrant naj tanko enakomerno prekrije testno površino. Čas penetriranja 20 min.

c) odstranitev odvečnega penetranta s površine na naslednji način:

- brisanje s suho krpo
- brisanje s krpo, navlaženo s S 85
- brisanje s čisto, suho, brez vlaken krpo
- ponoviti, dokler površina ni čista (kontrola, čistilna krpa je čista)

d) nanašanje razvijalca Developer LD9

- pretresi razvijalec
- nanesi tanek razvijalčev film na površino (sprej-površina razdalja 20-30 cm).
- čas razvijanja je 20 min.

e) ocenjevanje 2X (takoj in po preteku časa razvijanja 20 minut)

- kriterijih sprejemljivosti (ugotovljene nehomogenosti zapisati v zapis za PT)

f) čiščenje po izvedbi preiskave (z S 85 in krpo)

9. Rokovanje z deli po preiskavi

Po preiskavi dele očistimo s čistilom S 85. Deli z nedopustnimi indikacijami se izločijo in označijo.

10. Kriteriji sprejemljivosti (EN ISO 23277:2010 - kriterij sprejemljivosti 2X)

- ne ocenjujejo se indikacije, katerih dimenzija je manjša od 1 mm,
- nelinearne indikacije, katerih premer ne presega 4 mm, so dopustne,
- linearne indikacije, daljše od 2 mm, so nedopustne

Navodilo izdelal:

Datum:

Odobril:

Datum:

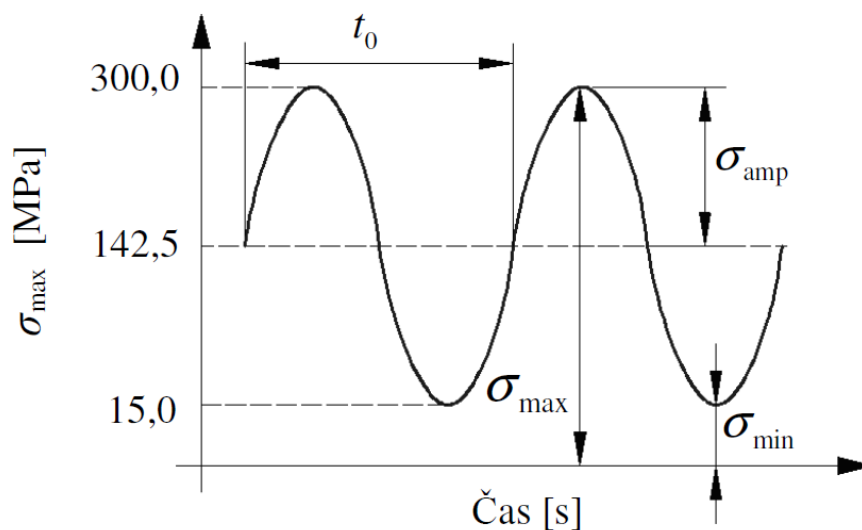
dr. Darjo Zuljan

Podpis:

Certifikat št.:

Podpis:

Certifikat št:

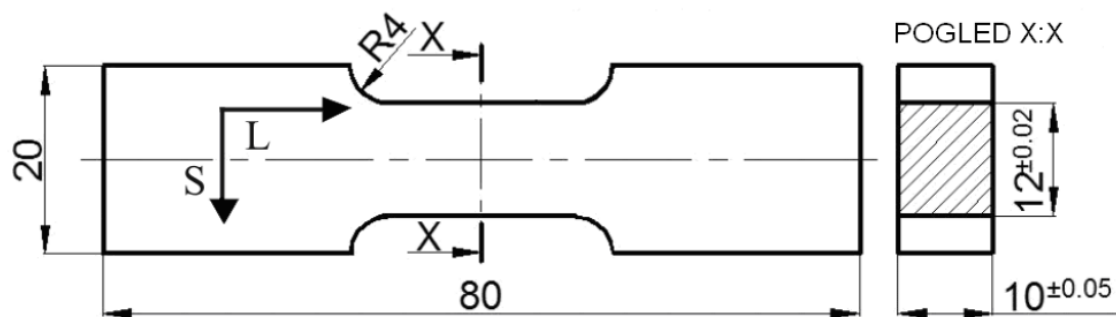


$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0,05$$

$$f_0 = 115 \pm 0,05 \text{ Hz}$$

$$t_0 = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Slika 1: Parametri utrujanja vzorcev



Slika 2: Dimenzije in oblika vzorca za analizo v dobavljenem stanju [11]

### Priprava vzorcev v dobavljenem stanju

Za raziskave utrujanja materiala so bili iz plešce izdelani vzorci z zoženim srednjim delom. Dimenzije vzorca so prikazane na sliki 2. Vzorci so bili izrezani v smeri valjanja (L smeri). Prehod na vzorcu iz zoženega preizkusnega dela v vpenjalni del je bil izveden v ostrem prehodu z radijem  $R = 4$  mm. Po mehanski obdelavi so bili vzorci površinsko brušeni s papirji do granulacije 600 ter razmaščeni v alkoholu v ultrazvočni kopeli.

### Rezultati raziskave in analiza penetrantskega testiranja

Za ocenjevanje mest utrujenostnih razpok smo vse testirane vzorce vrednotili s preiskavo s tekočim penetrantom. Na sliki 3 so prikazane fotografije testiranih vzorcev po preiskavi s tekočim

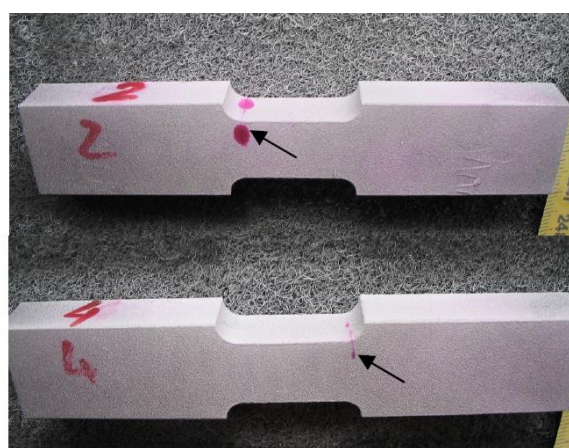
penetrantom. Izkazalo se je, da so v vseh primerih utrujenostne razpoke nastale na prehodu iz zoženega dela vzorca v vpenjalni del, torej na mestu največje koncentracije napetosti. Na vzorcih ugotavljamo linearne indikacije dolžine širine uzorca 10 mm. Posamezne utrujenostne razpoke so merile do okoli 4 mm v globino.

### Priprava vzorcev z utrjeno površino v korozivni atmosferi

V raziskavah je bila izbrana valjana plošča aluminijeve zlitine 7075-T651. Pri raziskavah utrujanja materiala v korozivnem okolju so bili izdelani dodatni vzorci s prilagojeno obliko v osrednjem delu, ki je omogočala enostavno zaznavanje nastanka utrujenostnih razpok na posameznih korodiranih mestih. Dimenzije in oblika vzorca je prikazana na sliki 4.

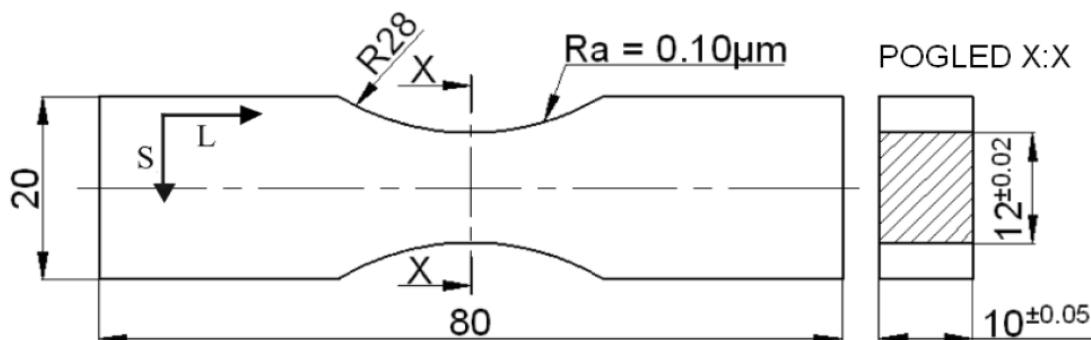


a.)



b.)

Slika 3: Fotografije testiranih vzorcev po penetrantski kontroli; vzorci materiala v površinsko utrjenem stanju (a) in (b) [11]

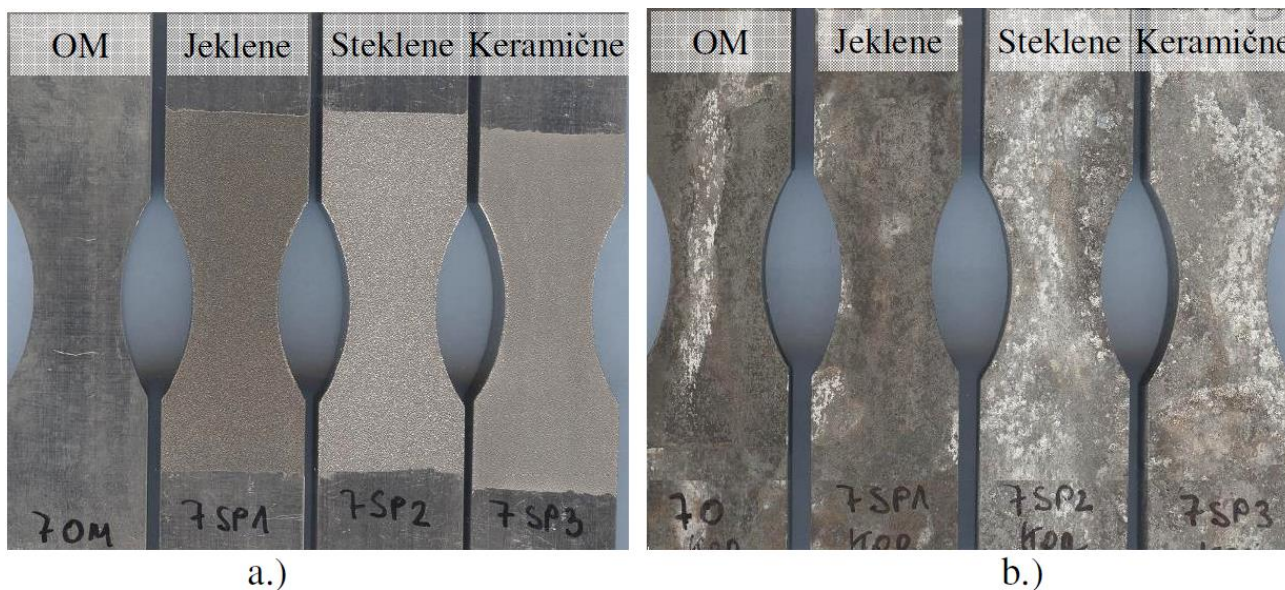


Slika 4: Vzorec za testiranje utrujanja površinsko utrjenega materiala v korozivni atmosferi [11]

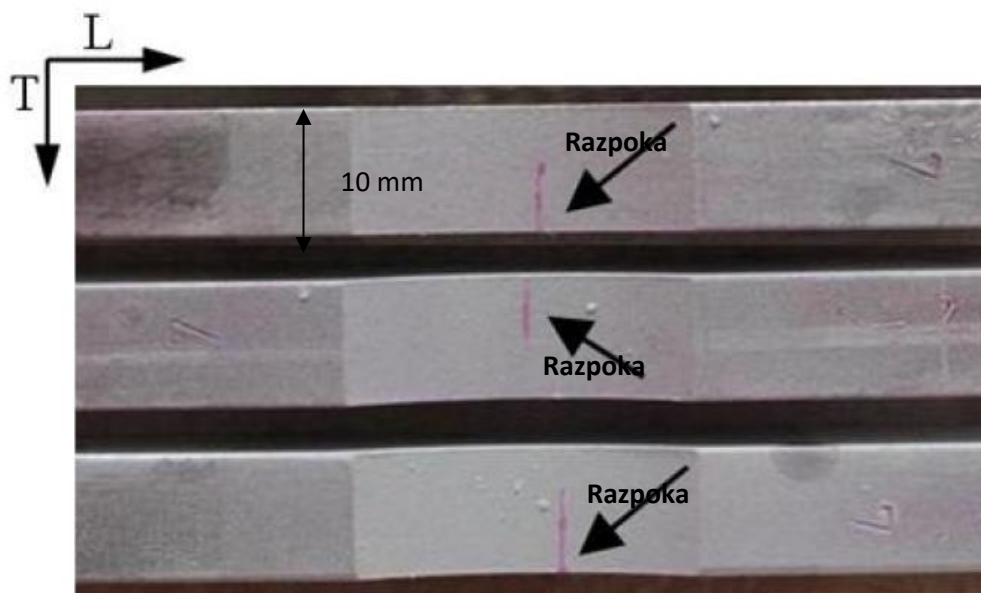
### Analiza vzorcev z utrjeno površino v korozivni atmosferi

Vzorci materiala v dobavljenem stanju so bili površinsko polirani z uporabo SiC brusnih papirjev. Polirana površina vzorcev omogoča analizo velikosti in razporeditve korozijskih poškodb ter nadalje spremljanje nastanka utrujenostnih razpok. Za napovedovanje odpornosti hladno utrjenega materiala na utrujanje je potrebno analizirati mesta prelomov.

Utrujenostni lom poteka tipično v treh stopnjah, in sicer: nastanek ali iniciacija razpoke, postopno napredovanje razpoke ter trenutni zlom zaradi preobremenitve materiala. Za določanje lokacije mest z utrujenostno razpoko smo na testiranih vzorcih izvedli penetrantsko preiskavo. Na sliki 5 so prikazani vzorci, in sicer: utrjena površina (a) in utrjena površina v korozivni atmosferi (b). Na sliki 6 so prikazana mesta utrujenostnih razpok, ki smo jih odkrili s penetrantsko preiskavo. Utrujenostne razpoke so po pričakovanju nastale v osrednjem, zoženem, delu vzorcev.



Slika 5: Testni vzorci: utrjena površina (a) in utrjena površina v korozivni atmosferi (b)[11]



Slika 6: Penetrantska preiskava na testiranih vzorcih razkriva mesta utrujenostnih razpok [11]

Na sliki 6 vidimo odkrite in s puščicami označene linearne indikacije (razpoke) dolžine med 5 in 7 mm. Poročila o preiskavi se izdelata po standardu EN ISO 3452-1.

### Sklepi in ugotovitve

V raziskavi odpornosti površinsko utrjenih vzorcev izbrane aluminijeve zlitine 7075-T61 na utrujanje v korozivnem okolju smo prišli do sledečih ugotovitev:

- Na vzorcih (dobavljeno stanje) ugotavljamo linearne indikacije dolžine širine vzorca 10 mm. Posamezne utrujenostne razpoke so do okoli 4 mm v globino.
- Penetrantska preiskava omogoča enostavno vizualizacijo nastanka razpok na testiranih vzorcih.
- Na vzorcih utrjenega in korodiranega stanja so bile odkrite linearne indikacije dolžine med 5 in 7 mm. Z analizo mest prelomov utrjenih vzorcev je mogoče ugotoviti, da so v primerjavi z materialom v dobavljenem stanju mesta nastanka utrujenostnih razpok zamaknjena v podpovršje. Vzrok za povečano globino nastanka razpoke na hladno utrjenih vzorcih predstavljajo zaostale tlačne napetosti, ki znižajo napetostni tenzor v površinskem sloju upogibno obremenjenega materiala. Zaostale tlačne napetosti povečajo odpornost na lezenje materiala med obremenitvijo in

zavirajo nastanek razpoke na površini oziroma potiskajo mesto njenega nastanka v večje globine. Utrujenostne razpoke so tako nastale v neutrjenem podpovršinskem sloju, kjer so upogibne obremenitve presegle kritično vrednost lomne žilavosti materiala.

### Literatura

- [1] ASM Handbook Volume 8 (2000) *Mechanical Testing and Evaluation*, 10. izdajala. Ohio: ASM International.
- [2] *SIST EN 3452-1. Neporušitveno preskušanje - Preskušanje s penetranti - 1. del: Splošna načela*. Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [3] EN ISO 9712 (2012) *Kvalifikacija in certifikacija osebja za neporušitvene preiskave - Splošna načela*. Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [4] EN ISO 17635 (2010) *Neporušitvene preiskave. Splošna pravila za kovinske materiale*. Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [5] EN ISO 3059 (2013) *Neporušitvene preiskave. Preiskavo preskušanje in preskušanje z magnetnimi delci - Pogoji opazovanja*. Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.

- [6] EN 3452-2 (2014) *Neporušitvene preiskave. Preiskava s penetranti. 2. del: Preiskave penetrantskih sredstev.* Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [7] EN 3452-3 (2014) *Neporušitvene preiskave. Preiskava s penetranti. 3. del: Referenčni bloki.* Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [8] EN 3452-4 (2000) *Neporušitvene preiskave. Preiskava s penetranti. 4. del: Sredstva.* Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [9] EN ISO 23277 (2015) *Neporušitvene preiskave. Preiskava zvarov s penetranti. Stopnje sprejemljivosti.* Brussels: CEN-CENELEC Management Centre.
- [10] EN 17635 (2010) *Neporušitvene preiskave. Splošna pravila za kovinske materiale.* Brussels: CEN-CENELEC Management Centre
- [11] ZUPANC, Uroš. (2011). *Integriteta površine po mehanskem utrjevanju aluminijevih zlitin: doktorsko delo.* Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.



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](http://www.voestalpine.com/welding)

**voestalpine**  
ONE STEP AHEAD.

Nils Heinen

**Varilni aparat MIG/MAG podjetja EWM omogoča varjenje v industriji generacije 4.0**

## **TITAN XQ PULS PRIHRANI DENAR IN POVEČA UČINKOVITOST**

Pod geslom "Varjenje 4.0" podjetje EWM predstavlja svoj odločni odgovor industriji 4.0 za varilno dejavnost - nove MIG/MAG večfunkcijske varilne stroje serije Titan XQ puls. Ključna inovacija: omogoča obsežno digitalno mrežno povezovanje in lahko tako izkorišča znatne, prej neizkoriščene potencialne prihranke v celotni procesni verigi. Poleg tega so vsi posamezni postopki varjenja s poudarkom na višanju učinkovitosti EWM standardno vključeni v enote brez dodatnih stroškov. Hkrati ponuja Titan XQ puls karakteristike, značilne za EWM - dolgoživost, robustno konstrukcijo in visoke zaloge moči.

Poleg številnih drugih digitalnih funkcij se naprave lahko povezujejo v omrežje z varilnim sistemom za upravljanje z varjenjem Welding 4.0 EWM Xnet. Navodila za varjenje se lahko prenašajo na aparat Titan XQ puls neposredno iz pisarne za načrtovanje brez uporabe papirja in vključujejo vse parametre. Hkrati programska oprema EWM Xnet prevzame tudi pogosto breme birokracije – Titan XQ puls lahko s pomočjo programske opreme EWM Xnet avtomatizira velik del obdelave doslej časovno zahtevne dokumentacije za zware, ki je razumljiva do zadnje podrobnosti za vsak posamezni zvar. Na ta način lahko dosežemo znatno povečanje učinkovitosti in kakovosti.

### **Robusten za zahtevno uporabo**

EWM je zasnoval svoj novi Titan XQ pulzni varilni stroj za težke aplikacije v dejavnostih, kot so jeklarne, ladjedelnice in proizvodnja vozil. Zaščiten je proti brizganju vode (IP23) in deluje tudi v ekstremnih razmerah v dežju, zmrzali in snegu v temperaturnem območju od - 25 °C do + 40 °C. Na voljo so različne izvedenke 350 A, 400 A, 500 A in 600 A, v kompaktni in nekompaktni različici, z novo razvitim in ločenim pogonom za dovajanje žice z maso 13 kg.

Inverterji aparata Titan XQ puls so namenjeni za zahtevno in neprekinjeno uporabo za 3-izmenske sisteme dela. Zagotavljajo intermitenco do 80%

(Titan puls 350, 400 in 500). Posebej velikodušno dimenzioniranje močnostnih polprevodnikov in hladilni sistem zagotavljata dolgo življenjsko dobo.

### **Nov gorilnik in krmilne plošče**

V vsakdanji rabi se uporabniki lahko veselijo nadaljnjih inovacij. Med drugim je na voljo popolnoma na novo razvit gorilnik PM v štirih različicah. Krmilne gumbе, grafični prikaz in osvetlitev LED na delovnem območju ter novi, ergonomsko oblikovani oprijem z gumijastim vložkom obljublajo prijetno varjenje brez utrujanja tudi v prisilnih legah. Na razpolago so tudi tri nove krmilne plošče.

Najnaprednejša različica (premium model) se imenuje Expert XQ 2.0.

Z uporabo vrtljivega gumba na klik je potrebno na zaslonu z jasnim besedilom izbrati samo postopek varjenja, material, plin in premer žice – aparat nato avtomatično sledi usmeritvi, ki natančno ustreza varilni nalogi.

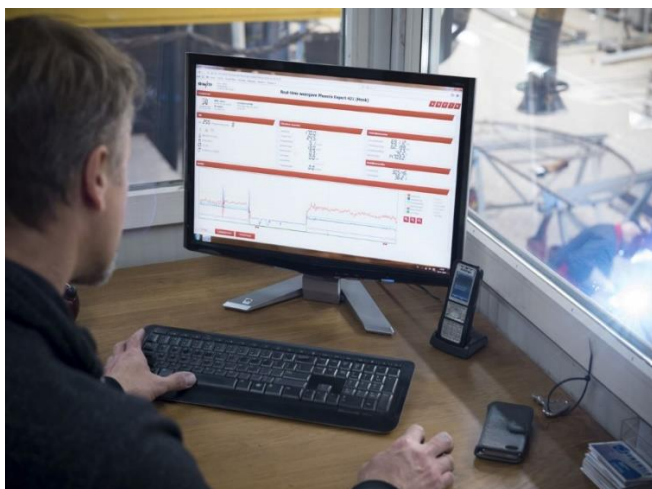
### **Vsi varilni postopki so standardni**

Vsi inovativni postopki varjenja iz EWM so standardno vključeni v nabavno ceno aparata Titan XQ puls in jih je mogoče izbrati s katero koli ponujeno krmilno ploščo. Ne samo, da lažje dosežete dosledno visoko kakovost zvarov, ampak boste prihranili tudi znatno količino materiala in časa. Tako za tanke ali debele pločevine, polnilne, pokrivne ali korenske zware kot tudi za prisilne položaje: s Titanom XQ puls lahko izpolnite vsa varilna opravila na nizkih do visoko legiranih jeklih in aluminiju.

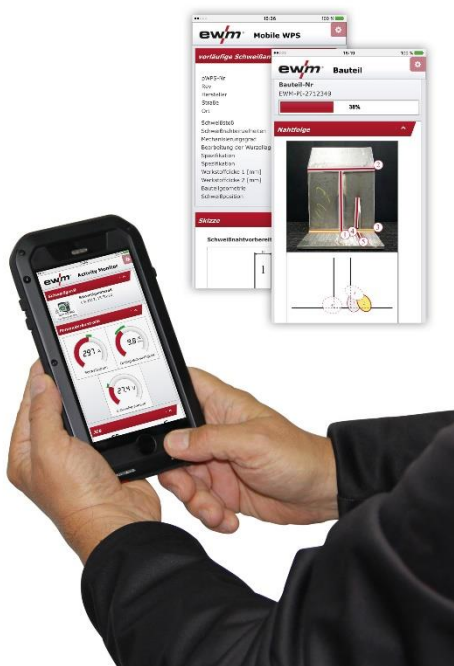
*Slika 1: Titan XQ puls podjetja EWM je nov MIG/MAG multifunkcijski varilni stroj z obsežno digitalno mrežno povezljivostjo.*



Slika 2: Povezava neposredno do varilca: ewm Xnet povezuje poljubno število MIG/MAG in TIG varilnih strojev s poljubnim številom osebnih računalnikov preko LAN/WLAN ali USB ključa.



Slika 3: Vsi podatki iz enega samega vira: s pomočjo programske opreme EWM Xnet lahko na primer nadzornik varjenja pregleduje vse trenutne parametre na varilnem stroju preko pametnega telefona ali tabličnega računalnika.



Slika 4: Med drugim je na voljo nov popolnoma razvit PM gorilnik v štirih različicah. Krmilne gumbi, grafični prikaz in osvetlitev LED na delovnem območju ter novo, ergonomsko oblikovano držalo z gumijastim vložkom obljublja prijetno varjenje brez utrujanja tudi v prisilnih držah.



## O podjetju EWM:

Podjetje EWM AG je največji proizvajalec in eden največjih mednarodnih proizvajalcev varilne tehnologije z varilnim oblokom v Nemčiji. Z aprednimi in trajnostnimi rešitvami za stranke s področja industrije in obrti ter z veliko mero strasti vodi družinsko podjetje iz Mündersbacha že 60 let njihov moto "We are Welding" ("Mi smo varjenje").

EWM razvija varilno tehnologijo vrhunskega razreda. Podjetje iz Westerwalda ponuja celovite sisteme z visoko kakovostnimi varilnimi aparati, vsemi potrebnimi komponentami, varilnimi gorilniki, potrošnim materialom za varjenje in opremo za varjenje za ročne in avtomatske aplikacije.

S svojimi tovarnami v Nemčiji, na Kitajskem in v Češki republiki je postalo znano po vsem svetu.

Uporabniki pohvalijo enostavnost uporabe in odlične rezultate. Podjetja cenijo dobro svetovanje, storitve in ogromne prihranke, ki jih omogočajo sistemi EWM. Delno patentirani varilni postopki zmanjšujejo uporabo materiala, energije in časa ter sprostijo do 75 odstotkov manj emisij varilnega dima.

Proizvajalec inovativne varilne tehnologije trenutno zaposluje okoli 800 ljudi na 14 nemških in 7 mednarodnih lokacijah, od tega je skoraj 400 zaposlenih na sedežu v Mündersbachu. področja industrije in obrti ter z veliko mero strasti vodi družinsko podjetje iz Mündersbacha že 60 let njihov moto "We are Welding" ("Mi smo varjenje").

EWM razvija varilno tehnologijo vrhunskega razreda. Podjetje iz Westerwalda ponuja celovite sisteme z visoko kakovostnimi varilnimi aparati, vsemi potrebnimi komponentami, varilnimi gorilniki, potrošnim materialom za varjenje in opremo za varjenje za ročne in avtomatske aplikacije. S svojimi tovarnami v Nemčiji, na Kitajskem in v Češki republiki je postalo znano po vsem svetu.

Uporabniki pohvalijo enostavnost uporabe in odlične rezultate. Podjetja cenijo dobro svetovanje, storitve in ogromne prihranke, ki jih omogočajo sistemi EWM. Delno patentirani varilni postopki zmanjšujejo uporabo materiala, energije in časa ter sprostijo do 75 odstotkov manj emisij varilnega dima.

Proizvajalec inovativne varilne tehnologije trenutno zaposluje okoli 800 ljudi na 14 nemških in 7 mednarodnih lokacijah, od tega je skoraj 400 zaposlenih na sedežu v Mündersbachu.

**Mobilna moč brez omejitev in kompromisov: Lorch predstavlja novo generacijo TIG varilnikov z visokofrekvenčnim vžigom, ki jih napaja baterija.**

## **DELO Z MAKSIMALNO MOČJO IN FLEKSIBILNOSTJO: MOBILNI VARILNIK MICORTIG 200**

*Prenosni TIG varilni inverter MicorTIG 200 razvit v podjetju Lorch Schweißtechnik je že večkrat dokazal svoje impresivne zmogljivosti. Uporabniki novega mobilnega TIG varilnika cenijo le-tega ne samo zaradi možnosti rabe v industriji in na gradbišču, ampak tudi zaradi njegovih dobrih varilnotehničnih lastnosti vključno z odličnimi lastnostmi vžiga obloka.*

Prvi TIG inverter napajan iz baterije (akumulatorja) ponuja varilec s svojim visokofrekvenčnim vžigom obloka povsem nove možnosti tako za delo v delavnici kakor tudi na terenu.

Ta naprava nam končno prinaša svobodo, ki jo rabimo pri varilskih delih", pravi Johannes Scheier, direktor in varilec v podjetju Mettallbau Johannes Scheier, ki povzema prednosti mobilne varilne naprave, katero podjetje uporablja za delo na gradbiščih v kombinaciji z baterijsko enoto.

All-In tehnologija vgrajena v varilni inverter omogoča njegovo priključitev na omrežno napetost 115-230 V ali na prenosno baterijsko postajo Lorch Mobile Power.

Ta vsestranskost je še posebej koristna na oddaljenih lokacijah, kjer ni na razpolago omrežnega priključka.

MicorTIG je prva varilna naprava, ki nam omogoča kombinacijo baterijskega napajanja z visokofrekvenčnim brezkontaktnim vžigom obloka. Visokofrekvenčni vžig nam ohranja življensko dobo volframove elektrode in preprečuje vključke volframa v talino zvara.

"Vžigalne lastnosti MicorTIG-a so zadovoljive, analizira Daniel Schöttle, direktor podjetja SMT Schöttle Metalltechnik GmbH, ki postavlja najstrožje zahteve glede natančnosti in vizualnega izgleda zvarnih spojev. Nadalje pove: „VF iskra je močna in učinkovita.

V podjetju, kjer se ukvarjamo s prototipiko za avtomobilsko industrijo, uporabljamo MicorTIG za varjenje nerjavečega jekla z veliko vsebnostjo zlitin, kot so krom-nikelj-molibdenove zlitine. V tem kontekstu nam varilnik zagotavlja stabilno varjenje tudi v najbolj zahtevnih pogojih.”

Mobilni TIG varilnik tehta le 6,8 kilograma. „MicorTIG je majhen, lahek in priročen“, potrjuje Volker Busch iz podjetja Stadtwerke Riesa in nadaljuje: „Lastnosti takega izvora za varjenje na terenu smo iskali že dolgo, saj moramo pogosto nositi varilnike navzgor in navzdol po stopnicah, da dosežemo različna nadstropja in kletne prostore.“



Slika 1: Z All-In tehnologijo lahko različni varilnika “Basic Plus” (v sredini) in “ControlPro” (desno) napajamo iz omrežja 155-230 V ali iz baterije – akumulatorja, na osnovi česa lahko varilec napravo glede mobilnosti prilagodi svojim potrebam



Slika 2: Zaradi priročnega ročaja in pritrilnega elementa moremo MicorTIG 200 vključno z baterijo enostavno prenašati iz enega delovnega mesta do drugega

Naprava je robustna, saj je neobčutljiva na udarce in premaguje brez poškodb padce z višine celo do 80 cm (standardna višina je 25 cm).

Uporabniki, ki delajo z varilnikom vsak dan potrjujejo: »MicorTIG predstavlja mobilnost na področju varjenja po načinu TIG. Varilnik poseduje funkcije za profesionalno rabo kot so brezkontaktni VF vžig obloka, pulzno varjenje do 5 Hz za varjenje tankih pločevin, grafičen zaslon in gumb za shranjevanje parametrov varilnih aplikacij«.

Uporabniki, ki delajo z varilnikom MicorTIG, prisegajo na primernost naprave za vse vrste TIG varilnih aplikacij.



Slika 3: Krmiljenje MicorTIG-a je popolnoma intuitivno in ne zahteva nobenih jezikovnih znanj zahvaljujoč velikemu grafičnemu zaslonu s simboli za upravljanje

Več informacij najdete na [www.lorch.eu](http://www.lorch.eu)  
PR contact:

Lorch Schweißtechnik GmbH

Lisa Michler

T +49 7191 503-0

F +49 7191 503-199

Im Anwänder 24-26

71549 Auenwald Nemčija





**INSTITUT ZA VARILSTVO**  
Welding Institute

## 4. SREČANJE PROJEKTNE SKUPINE FSW-TECH

12. in 13. junij 2019, Slovenija

Na mednarodnem srečanju skupine, ki jo sestavljajo predstavniki varilskih Institutov iz Slovaške, Romunije, Portugalske in Slovenije ter Evropske varilske federacije je bil poudarek na optimizaciji gradiv za predavanja o varjenju s pomočjo FSW tehnologije.

To je tehnologija gnetenja materiala s pomočjo rotirajočega orodja (**F**riction **S**teer **W**elding) s katerim dosežemo spajanje različnih materialov na razmeroma hladen način. V industriji se uporablja za širok spekter panog, avtomobilske, pomorske, železniške, jedrske, letalske in vesoljske tehnike. Pripravljene so vse skripte in 650 prezentacij. Naslednja naloga skupine bo optimizacija gradiva pred prevajanjem v tuje jezike.

V treh državah se bodo izvedli tudi pilotni projekti z namenom ugotavljanja morebitnih pomanjkljivosti v harmoniziranem sistemu izobraževanja. Ob koncu leta naj bi bil način izobraževanja enak po celi Evropi. Gradiva ter izpiti bodo usklajeni. Zadnji sestanek bo na Portugalskem konec oktobra, kjer naj bi bil poudarek na pregledu vseh zadnjih ciljev in pripravi zaključnega poročila.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

Slika 1: Renata Prokova, Anamaria Feler, Rita Bola, Miro Uran, Andreia Morgado, Janko Tomc, Raquel Almeida, Ludovít Gráf



Slika 2: Pregled gradiva in optimizacija slednjega

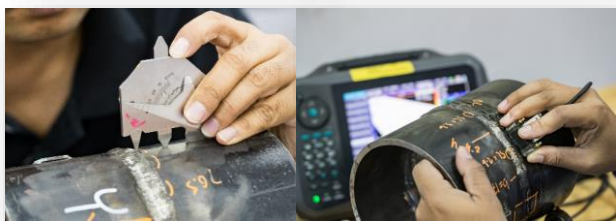


Slika 3: Potrdilo o mednarodnem srečanju



## **MEDNARODNI VARILSKI INŠPEKTOR**

### **Comprehensive level (IWI-C)**



**Institut za varilstvo vabi k vpisu na specializacijo za mednarodnega varilskega inšpektorja (IWIP), ki poteka skladno s pooblastilom Mednarodnega instituta za varilstvo (IIW) in smernico IAB-041r3-08.**

Specializacija je namenjena vsem, ki se pri svojem delu kakorkoli srečujejo s koordinacijo in nadzorom varilskih del. S kvalifikacijo IWIP boste lahko povezovali načrtovanje in izvajanje varilskih del z metodami preizkušanj in preiskav zvarnih spojev, kar je med drugim nedvomno povezano z zmanjševanjem stroškov.

#### **Vloga varilskega inšpektorja**

Naloga inšpektorja je pravočasno zazanavanje pomankljivosti v proizvodnem procesu, ki se jih lahko še da odpraviti s spremembami v projektu ali v sami izdelavi. S tem se precej znižajo stroški popravil in/ali reklamacij. Inšpektor mora obvezno podati pripombe, kjerkoli je to potrebno.

Inšpektor ima tudi pooblastila, da zaustavi dela ali zahteva takojšnje popravilo, da bi se rešili problemi povezani s kakovostjo proizvodnje. Inšpektor je pogosto v vlogi zunanjega nadzornika proizvodnje.

#### **Kaj s specializacijo pridobite?**

Znanja, usposobljenost in kompetence za:

- izdelavo kontrolnih planov,
- vodenje nadzora,
- prevzemanje opreme in objektov,
- zagotavljanje kakovosti v varilni proizvodnji,
- organizacijo neporušitvenih preiskav,
- pripravo prevzemne dokumentacije.

#### **Pristopni pogoji**

- diploma evropskega oziroma mednarodnega varilskega inženirja ali tehnologa (EWE/IWE ali EWT/IWT),
- življenjepis (CV, Europass) in
- potrdilo o opravljenem okulističnem pregledu.

#### **Diploma**

Kandidat, ki uspešno opravi vse predpisane obveznosti, prejme mednarodno diplomu in naziv **mednarodni varilski inšpektor obširnejše stopnje** (International Welding Inspector Comprehensive level, **IWI-C**).

Diplome izda Slovensko društvo za varilno tehniko (SDVT) v imenu Mednarodnega instituta za varilstvo (IIW). Diploma je v angleškem jeziku in je mednarodno priznana.

#### **Program**

Specializacija se izvaja v skladu z IIW smernico IAB-041r3-08. Učni program sestavljajo sledeče pomembnejše vsebine:

- naloge nadzora,
- organizacija in vodenje kontrole in nadzora,
- zagotavljanje kakovosti,
- priprava poročil in druge kontrolne dokumentacije,
- preverjanje kompetentnosti osebja,
- nepravilnosti in napake v zvarnih spojih,
- ocenjevanje in kriteriji sprejemljivosti,
- neporušitvene preiskave: vizualne, penetrantske, magnetne, radiografske, ultrazvočne,
- dimenzijska kontrola in tlačni preskusi.

## Cena

Cena specializacije za posameznega kandidata znaša 2.460 EUR (+ DDV).

**Za prijave do 1.9.2019 vam nudimo 10 % popust,** možno pa je tudi plačilo na več obrokov. V ceno so zajeti stroški izobraževanja, gradiva, izpita ter izdaje diplome.

## Izvedba

Začetek specializacije je **10.10.2019. Potekala bo v oktobru in novembru na Institutu za varilstvo – delno v Mariboru in delno v Ljubljani.** Predavanja in praktično usposabljanje se bodo izvajali ob petkih in sobotah, v skupnem trajanju 97 ur.

## Podrobnejše informacije:

- Spletna stran: [www.i-var.si](http://www.i-var.si)
- Ljubljana: [milos.jovanovic@i-var.si](mailto:milos.jovanovic@i-var.si), 00386 (0)41 899 397
- Maribor: [arpad.koves@i-var.si](mailto:arpad.koves@i-var.si), 00386 (0)41 694 006

Slika 1: Podelitev diplom generaciji 2017 IWIP



Slika 2: Diploma – Mednarodni varilski inšpektor

