

UNIVERZITET U BEOGRADU

Drakče R. Tanasković

**OTPORNOST PREMA HABANJU I LOMU
REPARATURNI NAVARENIH
TOČKOVA KRANSKIH DIZALICA**

doktorska disertacija

Beograd, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE

Drakče R. Tanasković

**WEAR AND FAILURE
RESISTANCE OF REPAIR SURFACE
WELDED CRANE WHEELS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

Mentori doktorske disertacije

Dr Aleksandar Sedmak, redovni profesor,

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Marko Rakin, redovni profesor,

Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Članovi komisije za odbranu doktorske disertacije

Dr Aleksandar Belić, naučni savetnik,

Institut za fiziku Univerziteta u Beograd

Dr Zoran Radaković, redovni profesor,

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Blagoje Paunović, redovni profesor,

Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu

Datum odbrane: 28.09.2016.

PREDGOVOR

U ovom radu je prikazana detaljna analiza kontakta između šine i točka izvršena pomoću numeričke simulacije, metodom konačnih elemenata, za realne uslove opterećenja. Svi numerički modeli iskorišćeni su za naponsku analizu za slučajeve sa i bez prsline u cilju određivanja uticaja prsline na integritet i vek kranskih točkova. Takođe, prikazani su rezultati i ispitivanje mikrostrukture kranskih točkova, kao i procedura navarivanja, upotrebljena za popravku.

Reparatura delova mašinske opreme navarivanjem kojom se bavim već više od dve decenije, me je navela da nakon specijalističkog i magistarskog rada, realizovanih na Katedri za tehnologiju materijala Mašinskog fakulteta u Beogradu, radom na disertaciji samo nastavim započeti posao.

Ovim putem želim da se zahvalim svima koji su mi pomogli da ovakav jedan posao privedem kraju, a pre svega:

dr Aleksandru Sedmaku, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Beogradu mentoru ovog rada, na pomoći oko izbora i realizacije teme, za nesebično angažovanje u svim fazama ovog rada i, naravno, za veliko strpljenje i savesnost pri pregledu rukopisa i za mnoge predloge i sugestije koje su dovele do konačne verziji ovog rada;

dr Marku Rakin, redovnom profesoru Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu na korisnim primedbama oko postavke i analize problema metodom konačnih elemenata.

Urošu Tatiću, Simonu Sedmaku i Branislavu Đorđeviću kolegama na pomoći oko 3D analize naponskog stanja i obradi dobijenih rezultata.

Olgici Đorđević direktoru Kontrole kvaliteta i Mirjani Krivokući rukovodiocu Laboratorije za metalografiju Železare Smederevo na ispitivanju mehaničkih osobina uzoraka i ispitivanju mikrostrukture.

Mirolavu Marinkoviću, Krujezi Čailju i Zoranu Paviću zavarivačima na spremnosti da uvek izdvoje vreme za navarivanje uzoraka, kao i na odgovornom poštovanju parametara navarivanja.

Siniši Jovanoviću i Radovanu Vujiću tehnolozima održavanja dizalica Tople i Hladne valjaonice Železare Smederevo na korisnim informacijama o stanju točkova u eksploataciji, kao i o podacima o dizalicama.

Milovanu Markoviću, Vojislavu Radovanoviću i Saši Mihajloviću tehnolozima Pogona za remont opreme Železare Smederevo na pruženoj pomoći oko prikupljanja podataka o repariranim točkovima.

Nevenu Galjku Šefu kontrole i Nebojši Stevanoviću šefu Dijagnostike na informacijama i izveštajima kontrole o repariranim točkovima.

Mojim prijateljima i kolegama, Marku Gainu, Miljanu Stankoviću, Zoranu Stojanoviću, na spremnosti da u svakom momentu pomognu i uz čiju saradnju je sve bilo mnogo lakše i jednostavnije,

Dr Gerry Hyde i Viti Stankoviću inženjerima razvoja dodatnih materijala u COOREWIRE na pružanju pomoći oko izbora dodatnih materijala i parametara za navarivanje točkova.

Aleksandru Saviću dipl.inž. maš. tehnologu Termovizije kojije strpljivio izradio termovizijske snimke točkova tokom navarivanja.

Jelici Radovanović, inž. metalurgije, Violeti Popović, Ivanu Stojanoviću, dipl. maš.inž i Borivoju Kitanoviću inž. metalurgije na pomoći oko obrade teksta i fotografija.

Mojim roditeljima na finansijskoh pomoći oko izrade i publikovanja ovog rada

I, na kraju, veliko HVALA želim svojim najdražima, sinovima Filipu i Vuku i supruzi Violeti, koje su mi nesebično pružili svu svoju ljubav, razumevanje, strpljenje i podršku tokom svih ovih godina, koja mi izuzetno znači i bez koje ne bih uspeo.

Beograd, jun 2016. Drakče Tanasković

REZIME:

Osnovni predmet ove disertacije je da se korišćenjem njenih rezultata omogući odvijanje proizvodnog procesa sa minimalnim troškovima održavanja uz minimalno učešće živog rada, što je inače svakodnevni zadatak savremene nauke i tehnike. Zahtevi pri reparaturi kranskih točkova su isključivo vezani za dimenzije i površinsku tvrdoću. Usled habanja točak/šina, točak gube dimenzije gazne površine i venca, koje se repariraju navarivanjem.

U cilju smanjenja zastoja na kranovima i produžetka veka kranskog točka, kao i smanjenja troškova, napravljena je multidisciplinarna analiza čiji je cilj razvoj i primena nove eksperimentalno-numeričke metode za prevenciju pojave prslina i loma kranskih točkova.

U cilju određivanja optimalne tehnologije navarivanja sprovedeno je iscrpno eksperimentalno istraživanje osobina i mikrostrukture navarenog sloja, uključujući ispitavanja svakog prolaza i optimizaciju broj prolaza i parametara navarivanja za svaki prolaz.

Problem unosa toplote pri navarivanju, odnosno termomehanički problem određivanja temperature predgrevanja, je određen korišćenjem analitičkih izraza za prenos razmenu toplote, kao termovizijskom kamerom za eksperimentalno određivanje, odnosno merenje temperature. Dobijeni rezultati su upoređeni, a u diskusiju naglašene razlike i problemi u analitičkom određivanju temperature.

Numerička simulacija i procena integriteta na osnovu naponskog stanja točka u kontaktnom opterećenju sa šinom su dati korišćenjem analitičkih jednačina za Herzov pritisak (kontaktni napon), kao i odgovarajućim proračunom metodom konačnih elemenata, uključujući simulaciju uticaja prslina.

Na kraju je data tehnoekonomska analiza postupka navarivanja, odnosno procenjena njegova opravdanost (prednosti, mane) u odnosu na zamenu oštećenog točka. Pokazano je da se reparaturnim navarivanjem ostvaruju višestruke uštede, uz znatno kraće vreme popravke.

Ključne reči: Točak, šina, habanje, reparaturno navarivanje, prslina, integritet, mikrostruktura, metoda konačnih elemenata, temperatura predgrevanja, prenos toplote, termovizijska kamera

Naučna oblast: mehanika, inženjerstvo materijala

Uža naučna oblast: mehanika loma

SUMMARY

The main goal of this dissertation is for its results to enable the performing of manufacturing products with minimal maintenance costs and human labor, which represents an everyday challenge for modern science and technology. Demands for crane wheel repairs are exclusively related to dimensions and surface hardness. Due to the rail/wheel wear, the wheel loses its drift and rim surface area, which can be repaired by welding.

For the purpose of reducing downtime during exploitation of cranes and extending their life, along with reduction of costs, a multidisciplinary analysis was performed in order to develop and apply a new experimental-numerical method for prevention of crack initiation and crane wheel failure.

In order to determine the optimal welding technology, extensive experimental testing of the welded layer's properties and micro-structure was performed, including the testing of every pass and the optimization of welding parameters.

The problem related to the heat input, i.e. the thermo-mechanical problem of determining the preheating temperature was analyzed using analytical expressions for heat transfer, using a thermography camera for experimental measuring of temperature. Obtained results were compared and differences and issues involved with analytical determining of the temperature were emphasized in the discussion.

Numerical simulation and integrity assessment based on the stress state of the wheel due to the load caused by contact with the rail are given in form of analytical equations for Hertz's pressure (contact stress), along with the corresponding finite element method calculation, including the simulation of the effects of a crack.

Finally, a techno-economical analysis of the welding procedure, i.e. its justifiability (advantages, disadvantages), compared to damaged wheel replacement, was presented. It was shown that repair surface welding achieved significant savings, while greatly reducing the time needed for repairs.

Keywords: Wheel, rail, wear, hard-surfacing, repair welding, crack, integrity, microstructure, finite element method, preheating temperature, heat transfer, thermovision camera

Scientific field: Mechanics, Materials Engineering

Narrow scientific field: Fracture Mechanics

SADRŽAJ

1 UVOD	16
2 PROBLEM HABANJA TOČKOVA KRANSKIH DIZALICA	21
2.1. Teorije trenja i habanja	21
2.2. Karakteristike površina čvrstih tela	21
2.3. Trenje	21
2.4. Trenje klizanja	22
2.5. Trenje kotrljanja	24
2.6. Habanje	24
2.7. Adhezivno habanje	25
2.8. Habanja usled zamora materijala	28
3. REPARATURNI NAVARIVANJE TOČKOVA KRANSKIH DIZALICA	32
3.1. Izbor postupka navarivanja	32
3.2. Postupci navarivanja	33
3.3. Identifikacija dodatnih materija za navarivanje kranskih točkova	34
3.3.1. Osobine novih točkova kranskih dizalica	35
Točak sa ojačanim vencima.....	35
Točak sa duboko otvrdnutom površinom	36
Točak sa promennjivom dubinom otvrdnute površine	36
Točak od legiranog čelika	36
3.3.2 Ispitivanje dodatnih materijala	38
3.3.3 Ispitivanje mikrostrukture na uzorcima sa prslinama u cilju utvrđivanja parametara mehanike loma	44
3.4. Tehnologija reparaturnog navarivanja	50
3.5. Parametri navarivanja	54
3.5.1. Jačina struja navarivanja	55
3.5.2. Napon navarivanja	56
3.5.3. Polaritet electrode	57
3.5.4. Slobodna dužina elektrode	58
3.5.5. Položaj electrode	59
3.5.6. Brzina navarivanja	60

3.5.7. Preklapanje navara	61
3.5.8. Mešanje i prvi sloj navara	62
3.5.9. Proračun izmešanog hemijskog sastava materijala šava	63
4. UNOS TOPLOTNE ENERGIJE	65
4.1. Količina odvedene toplote usled hlađenja	67
5. NUMERIČKA SIMULACIJA NAPONSKOG STANJA KRANSKOG TOČKA	87
5.1. Kontaktna naprezanja, Hercovi pritisci	87
5.2. Geometrija kranskog točka	90
5.3. Numerička simulacija metodom konačnih elemenata	92
5.4. Rezultati	96
6. TEHNOEKONOMSKA ANALIZA	100
6.1. Troškovi dodatnog materijala i radne snage	101
6.2. Troškovi energije	105
6.3. Ukupni troškovi	106
7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK	110
8. LITERATURA	112
9. DODACI	116
Dodatak br. 1 – Crtež točka	117
Dodatak br. 2 – Izveštaji kontrole repariranog točka	118
Dodatak br. 3 – Pasport točka	125
Dodatak br. 4 – Softver za reparaturno navrivanje točkova	127
BIOGRAFSKI PODACI AUTORA	130

INDEKS SKRAĆENICA I OZNAKA

3D - Trodimenzionalno

A - granična površina točka

A- Amper -jedinica jačine struje

A5 - Izduženje

AISE - Asocijacije inženjera gvožđa i čelika

Ar - Argon

A_r – ukupna površina neposrednih dodira

A_v – Žilavost

β - Koeficijent zapreminskog širenja vazduha

°C – stepen Celzijus – jedinica temperature

c - specifična toplota J/(kgK)

C – Ugljenik

c' i n' - kefcijenti

C3D8R - Heksaedarski elementi prvog reda

CAD - (Computer Aided Design) Računarom podržano projektovanje

CAE - (Computer Aided Engineering) Računarom podržana inženjerska analiza

CAM - (Computer Aided Manufacturing) Računarom podržana proizvodnja

CO₂ - Ugljendioksid

Cr - Hrom

DIN – Nemački standars

Din. – Dinar – novčana jedinica republike Srbije

€ - Evro –novčana jedinica evropske unije

E - Jangov modul elastičnosti

EPP – navarivanje pod praškom

F_0 – dopunsko opterećenje usled međumolekulskog privlačenja

F_n – normalna sila

F_t – sila trenja

HB – Tvrdoća po Brinelu

HRC – Tvrdoća po Rokvelu „C“

HV- Hladna valjaonica Železare Smederevo

I – jačina struje

J- Džul

K – Kelvin – jedinica temperature

kN – kiloNjutn (jedinica za silu)

kW – kilovat – snaga električne energije

l – dužina navarivanja

μ – koeficijent trenja

MAG elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa

MIG elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa

min - minut

MKE - Metoda konačnih elemenata- (*FEM-Finite Element Method*)

mm – milimetar

Mn -Mangan

Mo - Molibden

Mpa – Mega Paskal jedinica pritiska

Nb - Niobijum

Ni - Nikl

N_u -Nusselt-ov broj

P - Fosfor

p_m – penetracijska tvrdoća

P_{max} – maksimalni površinski pritisak

PORD – Pogon za proizvodnju i remont tehnološke opreme

P_r - Prandtl-ov broj

P_{sr} - srednji površinski pritisak

Q_u - količina dovedene toplote za navarivanje

REL - ručno elektrolučno zavarivanje taljivom obloženom elektrodom

R_m – Zatezna čvrstoća

R_{p02} - Granica razvlačenja

s – sekund - jedinica vremena

S - Sumpor

SAP – Informacioni sistem Železare Smederevo

Si - Silicijum

SRPS – Srpski standard

t – trenutna temperatura

t_0 - temperatura okolnog

TIG - elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom od volframa u zaštitnoj atmosferi inertnog gasa

t_p – početna temperatura točka

TV – Topla valjaonica Železare Smederevo

U - napon električnog luka, V

v - brzina zavarivanja cm/min

v – brzina klizanja

V- Volt (jedinica za napon struje)

V- zapremina točka

ZUT - zona utjecaja toplote

α - Koeficijent prelaza toplote sa točka na vazduh (konstantan)

η - koeficijent iskoristivosti električnog luka

ν - Pausonov (Poisson) koeficijent

ρ - specifična težina točka

τ - vremenski period

ν - Poasonov koeficijent

SPISAK KORIŠĆENIH SLIKA

Slika 1.1. Oblik točka dizalice

Slika 1.2. Oblik gazne površine točka

Slika 1.3. Razlog zamene točkova u % [1]

Slika 2.1 Šema adhezionog habanja

Slika 2.2 Pohabana gazna površina i venac točka

Slika 2.3 Pohaban venac točka

Slika 2.4 Pohabani točkovi dizalice poslani na reparaciju

Slika 3.1 Šema EPP navarivanja

Slika 3.2 Primer navarivanja točka

Slika 3.3 Točak sa ojačanim vencima

Slika 3.4 Točak sa duboko otvrdnutom površinom

Slika 3.5. Točak sa promennjivom dubinom otvrdnute površine

Slika 3.6 Točak od legiranog čelika

Slika 3.7 Profil navarenog točka

Slika 3.8 Uzoraci navareni žicom WLDC 12

Slika 3.9. Makrostruktura uzoraka navarenih žicom WLDC 12

Slika 3.10 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom WLDC 12

Slika 3.11 Uzorak navaren žicom EPP2+CS350

Slika 3.12 Makrostruktura uzorka navarenog žicom EPP2

Slika 3.13 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom EPP 2

Slika 3.14 Uzorak navaren žicom Tube-Alloy 242-S

Slika 3.15 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom Tube-Alloy 242-S

Slika 3.16 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom FILTUB DUR 212

Slika 3.17 Mesto uzorka i uzorak navarenog točka sa prslinom

Slika 3.18 Uzorak navarenog točka sa prslinom

Slika 3.19 Mikrostruktura uzorka sa prslinom

Slika 3.20 Tvrdoća navarenog točka

Slika 3.21 Prsline na točku nakon navarivanja i obrade

Slika 3.22 Izveštaj kontrole o dimenzijama predobrađenog točka

Slika 3.23 Navarivanje otvora točka

Slika 3.24 Uputstvo za navarivanje

Slika 3.25 Količine dodatnih materijala za navarivanje

Slika 3.26 Optimalan oblik navara

Slika 3.27 Uticaj jačine struje na brzinu topljenja žice

Slika 3.28 Uticaj jačine struje na penetraciju

Slika 3.29 Uticaj napona na penetraciju

Slika 3.30 Uticaj polariteta elektrode na oblik i penetraciju navara

Slika 3.31 Slobodni kraj elektrode

Slika 3.32. Položaj elektrode ispod zenita točka

Slika 3.33 Uticaj brzine navarivanja na profil navara

Slika 3.34 Preklapanje navara

Slika 3.35 Prevaljivanje navara

Slika 3.36. Procentualno mešanje navara

Slika 4.1 Kamera FLIR P640

Slika 4.2. Termovizijski snimak točka pri vađenju iz peći za predgrevanje

Slika 4.3. Termovizijski snimak točka pri postavljanju na pozicioner (alat)

Slika 4.4. Termovizijski snimak točka 20 min nakon početka navarivanja

- strana suprotno od operatora -

Slika 4.5. Termovizijski snimak točka 20 min nakon početka navarivanja
- čeona strana-

Slika 4.6. Termovizijski snimak točka 20 min nakon početka navarivanja
- strana operatora -

Slika 4.7. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja jednog prolaza (60 min)
- strana suprotno od operatora -

Slika 4.8. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja jednog prolaza (60 min)
- čeona strana-

Slika 4.9. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja jednog prolaza (60 min)
- strana operatora -

Slika 4.10. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja 4 prolaza, 5h
- strana suprotno od operatora -

Slika 4.11. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja 4 prolaza, 5h
- čeona strana-

Slika 4.12. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja 4 prolaza, 5h
- strana operatora -

Slika 4.13. Prslina po celom preseku točka neposredno posle navarivanja

Slika 4.14. Prslina po celom preseku točka neposredno posle navarivanja II sloja

Slika 4.15. Prsline po celom obimu točka usled nekontrolisanog hlađenja

Slika 5.1 Dodir mašinskih delova po konačnoj površini (a), po liniji (b), u tački (c)

Slika 5.2 Dodir konveksne i konkavne površine

Slika 5.3. Geometrija i najčešće upotrebljavan tip točka u Železari Smederevo

Slika 5.4. Geometrija šine

Slika 5.5. Različiti modeli korišćeni za simulacij;; a) simetrično opterećenje bez prsline;
b) nesimetrično opterećenje bez prsline; c) simetrično opterećenje sa
prslinom; d) nesimetrično opterećenje sa prslinom.

Slika 5.6 Skice upotrebljene za definisanje geometrije prslina

Slika 5.7 Levo: Sile i granični uslovi simetričnog opterećenja bez prsline; Desno: Sile i granični uslovi simetrično opterećenja sa prslinom.

Slika 5.8. C3D8R -8-tačkasti linearni element sa reduciranom integracijom

Slika 5.9. Mreža u sklopu

Slika 5.10. Von Misesov napon za simetrično opterećenje bez prsline

Slika 4.11. Von Misesov napon za simetrično opterećenje sa prslinom

Slika 5.12. Von Misesov napon za nesimetrično opterećenje bez prsline

Slika 5.13. Von Misesov napon za nesimetrično opterećenje sa prslinom

Slika 6.1. Utrošene količine dodatnog materijala

Slika 6.2. Utrošeno vreme radne snage

Slika 6.3. Troškovi radne snage i materijala za reparaciju točka $\phi 630$

Slika 6.4. Cena novog točka

Slika D.1.1. Radionički crtež točka $\phi 630$

Slika D.2.1. Izveštaj kontrole o ultrazvučnom ispitivanju točka sa prslinom

Slika D.2.2. Izveštaj kontrole o ispitivanju penetrantima točka sa prslinom

Slika D.2.3. Izveštaj kontrole o ispitivanju penetrantima točka pre navarivanja

Slika D.2.4. Izveštaj kontrole o ultrazvučnom ispitivanju točka pre navarivanja

Slika D.2.5. Izveštaj kontrole o ispitivanju penetrantima navarenog točka

Slika D.2.6. Izveštaj kontrole o ultrazvučnom ispitivanju navarenog točka

Slika D.4.1. Uvodni ekran sa podacima o programu i autoru

Slika D.4.2. Ekran za izbor točka na osnovu broja crteža

Slika D.4.3. Ekran za unos mera predobrađenog točka

Slika D.4.4. Ekran sa prikazom potrebne količine dodatnog materijala

Slika D.4.5. Ekran sa prikazom tehnologije navarivanja-uputstva za zavarivača

SPISAK KORIŠĆENIH TABELA

Tabela 2.1 Veza između karakterističnih površina i uticajnih veličina kod adhezivnog habanja

Tabela 3.1 Mehaničke osobine EPP navara

Tabela 3.2 Hemijski sastav dodatnog materijala

Tabela 3.3 Preporučeni parametri navarivanja za EPP postupkom

Tabela 3.4 Mešanje materijala šava za različite preklope navara

Tabela 3.5 Maksimalni sadržaj ugljenika za izmešani Sarclad dodatni materijal

Tabela 4.1 Parametri navarivanja točkova

Tabela 6.1 Troškovi dodatnog materijala

Tabela 6.2 Troškovi radne snage

Tabela 6.3. Trošak električne energije za reparaciju točka

Tabela 6.4. Ukupni troškovi za reparaciju točka

Tabela 6.5. Redosled operacija pri reparaciji i izradi novog točka

Tabela 6.6. Troškovi izrade točka u radionici Železare

1 UVOD

U ovom radu pored teorijskih osnova i prikaza do sada publikovanih rezultata biće sadržana i sopstvena teorijsko-eksperimentalna istraživanja sa težištem na tehničko tehnološku problematiku ocene otpornosti prema habanju i lomu reparaturno navarenih točkova kranskih dizalica, kao i osvrtnom na tehnoekonomsku analizu.

U pogonu za proizvodnju i održavanje rezervnih delova Železare Smederevo, reparira se od 20-25 kranskih točkova mesečno. Povećanjem proizvodnje, povećava se i potreba za kranskim točkovima.

Zahtevi pri reparaturi kranskih točkova su isključivo vezani za dimenzije i površinsku tvrdoću.. Usled habanja točak/šina, točak gubi dimenzije gazne površine i venca, koje se repariraju navarivanjem.

Najčešće neispravnosti na repariranim točkovima su niska tvrdoća i pojava prslina na vencu i gaznoj površini. Točkovi sa greškama u tvrdoći se podvrgavaju ponovnoj termičkoj obradi, dok se točkovi sa prslinama izbacuju iz upotrebe. Razlog za izbacivanje točkova sa prslinama iz upotrebe je nepoznavanje i nesigurnost u njihovu otpornost na habanje.

U okviru rada biće istraženo adheziono habanje reparaturno navarenih kranskih točkova različitim postupcima i dodatnim materijalima, kao i uzrok nastajanja prslina neposredno posle reparacije i u toku eksploatacije.

Otkazi točka u najvećem broju slučajeva nastaju iniciranjem i rastom prslina. Kvalitetnije reparaturno navarivanja točkova može da se postigne samo na osnovu detaljnog poznavanja mehanizma pojave i rasta prslina. Na novoizrađenim točkovima i reparaturno navarenim točkovima kod kojih nema grešaka u početnoj eksploataciji, prslina u toku rada se javljaju kao posledica koncentracije napona i zamora materijala. Merodavan parametar za ove točkove je vek do inicijacije prslina.

U praksi je pokazano da i pored najstrožije kontrole posle reparaturnog navarivanja, u eksploataciju mogu biti pušteni i točkovi na kojima postoji inicijalna greška (prslina). Poreklo grešaka može biti višestruko: izbor dodatnog materijala, izbor

tehnologije navarivanja, greška radnika, režim termičke obrade. Vek ovih točkova zavisi od rasta prslina iz početne faze. Kako će se prslina razvijati zavisi od praga zamora.

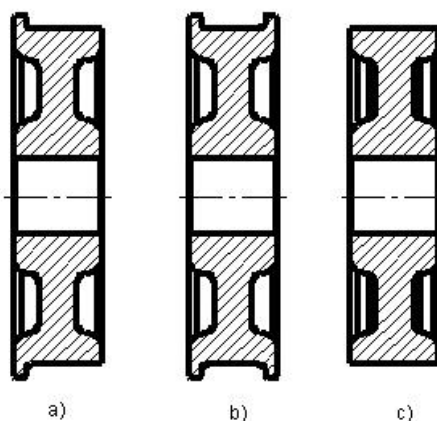
Reparatura oštećene površine krasnog točka postupkom navarivanja je standardna metoda održavanja točkova kako u svetu tako i kod nas. Razvijeni su poluautomatski i automatski postupci navarivanja kojima se veoma brzo oštećeni točak vraća u eksploataciju.

U radu su prikazani rezultati primene nekih samozaštitnih punjenih žica i punjenih žica za EPP navarivanje koji se koriste za navarivanje točka.

Prikazano je kako vrsta dodatnog materijala utiče na raspodelu tvrdoće kroz presek spoja i mikrostrukturu zavara.

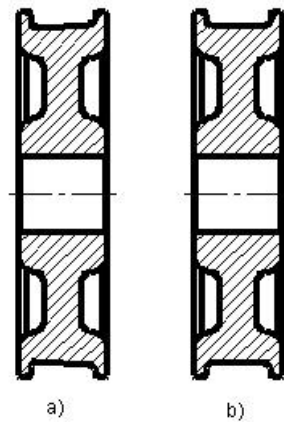
Točkovi se izrađuju kovanjem ili livenjem. Materijali koji se koriste su C11G1C, C14G1C, C45, C45E, C45G za kovanje, dok GS255JRN, GS295JRN, G34CrMo4 se koriste u livenju. Tvrdoća gazne površine novog točka je u intervalu od 38-42 HRC (Dodatak 1).

Točkovi se prema obliku dele na: točkove sa jednim vencom (sl 1.1a), točkove sa dva venca (sl 1.1b) i točkove bez venca (sl 1.1c). Gazna površina točka može biti konična (sl. 1.2a) i cilindrična (sl 1.2b). Prečnici točka su od ϕ 315- ϕ 800.



Slika 1.1. Oblik točka dizalice

Najviše se upotrebljavaju točkovi sa cilindričnom gaznom površinom i dva venca, tako da se najveći broj ispitivanja i analiza u ovom radu odnosi na ovaj tip točkova.

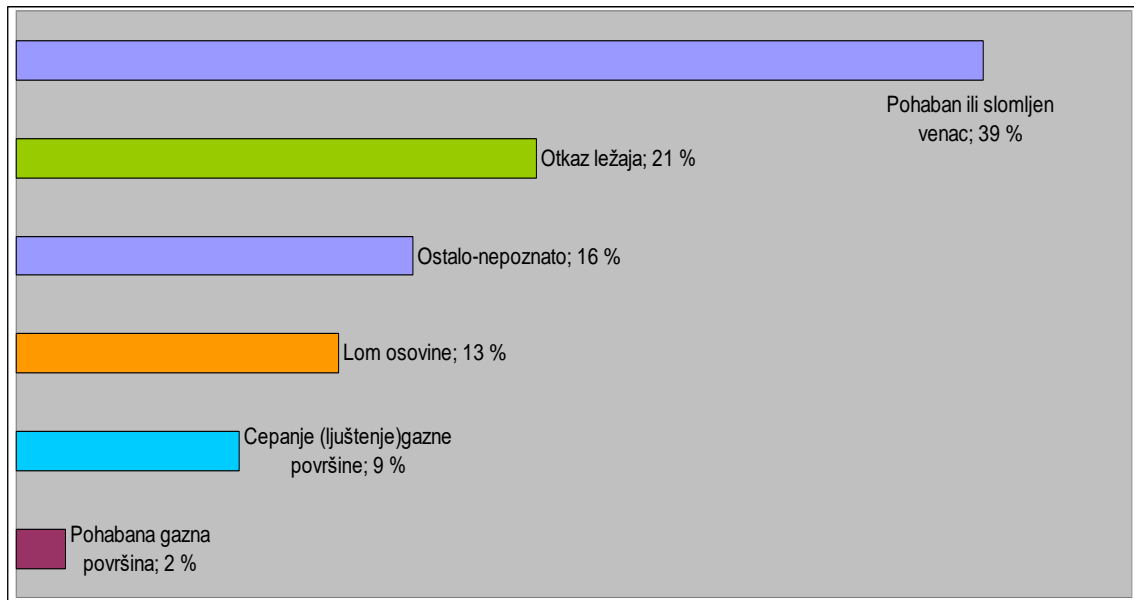


Slika 1.2. Oblik gazne površine točka

Železara Smederevo ima 206 dizalica - 127 tehnoloških i 79 remontnih. Nosivost dizalica je od 0,5 do 170 tona. Pregled i ispitivanje dizalica obavlja se svake treće godine, a ako se menja dizajn na opremi, taj rok ispitivanja je i kraći.

Poslednjih godina, usled povećanja proizvodnje u pogonima, dizalice prenose terete max nosivosti, samim tim su povećana i kontaktna naprežanja točk/šina. Treba napomenuti da dizajn točka i šine nije promenjen od ugradnje dizalica (kraj šezdesetih i početak sedamdesetih godina dvadesetog veka). Max opterećenja su izmenila većinsko oštećenja točka od habanja ka zamoru. Za razliku od sporog procesa habanja i gubljenje materijala, zamor izaziva prsline na kontaktnim površinama točkova

Oko 40% svih zamena točkova su zbog intenzivnog habanja venca točka i loma istog. Eksperimentima je dokazano da povećanje tvrdoće površine poboljšava otpornost iste na habanje. Ali, ako ova tvrdoća „ide“ dublje u venac točka, to će u stvari povećati verovatnoću njegovog loma i time oštećenje točka (sl.1.3).



Slika 1.3. Razlog zamene točkova u % [1]

Kao i tvrdoća, žilavost jezgra ispod tvrdog površinskog sloja doprinosi prevenciji odvaljivanja delića materijala sa gazne površine točka, jer će žilavo jezgro apsorbovati napone koji nastaju zbog nepravilno nivelisanih šina (osno rastojanje) u različitim dužinskim sekcijama šina. Ti naponi mogu se preneti na venac točka i dovesti do njegovog oštećenja i loma.

Kada je lom venca točka glavni razlog za zamenu točka, postaje izuzetno važno definisati tvrdoću površine i žilavost jezgra kao zahtev za svaki novi točak. Zato je za operatore bitno da osiguraju da svi zamenjeni točkovi imaju ovu vitalnu zaštitu - posebno kada su u eksploataciji prisutne veća rastojanja između šina i velika opterećenja.

Problem zamora točkova je često zove i kontakti zamor kotrljanja, koji je izazvan površinskim naponom koji se ponavlja usled kotrljanja. Slični problemi zamora takođe postoje na drugim mehaničkim komponentama kao što su zupčanici i ležajevi.

Većina postojećih modela za zamor pri kotrljanju koriste tehniku pojednostavljenog proračuna napona, kao što je Hercovo analitičko rešenje ili pojednostavljena analiza konačnog elementa sa primenom Hercovog kontaktnog pritiska. Zbog kompleksne geometrije dodirne površine točak/šina, merodavnije je

koristiti metod 3D konačnog elementa za izračunavanje naponskog stanja mehaničkih komponenti. Hercova teorija predpostavlja da je dodirna površina mala u poređenju sa dimenzijama delova i zakrivljenošću površina. Pokazano je da Hercova teorija nije prikladna kada je kontakna površina između točka i šine pored oboda točka, gde je zakrivljenost uporediva sa dodirnom površinom.

U savremenom inženjerstvu pravilo je da se svaki složeni sistem (proizvod ili objekat), koji se želi razviti, odnosno projektovati i izraditi, matematički modeluje i da se primenom CAD/CAM/CAE tehnologija izvodi simulacija njegovog izgleda, ispitivanja, funkcionalnosti eksploatacijskih karakteristika. Pre same izrade izrađuje se njegov smanjeni fizički model koji omogućava analizu funkcionalnosti proizvoda u sklopu, proveru dizajna, ergonomsku analizu i ostala funkcionalna testiranja čime se verifikuju rezultati matematičkog modelovanja i simulacija. Eksperimenti, matematičko modelovanje i simulacije danas su namoćniji alati koji se koriste u inženjerstvu.

Osim ovakvog, multidisciplinarnog pristupa, koji omogućava sveobuhvatno sagledavanje i rešavanje jednog u osnovi tehničkog problema, neophodno je posvetiti pažnju i njegovom ekonomskom aspektu. Stoga je na kraju rada, napravljena upravo jedna takva analiza, čime je u potpunosti zaokruženo rešavanje problema reparaturnog navaraivanja točkova kranskih dizalica.

2 PROBLEM HABANJA TOČKOVA KRANSKIH DIZALICA

2.1 Teorije trenja i habanja

Osnovni procesi koji se javljaju pri relativnom kretanju dva čvrsta tela su trenje na dodirnim površinama i habanje dodirnih površina. Usled pojave trenja dolazi do gubitka mehaničke energije pri radu mehaničkog sistema. Zbog pojave habanja dolazi do promena površina mašinskih delova tokom eksploatacije.

2.2 Karakteristike površina čvrstih tela

Pojam površina, u tribološkim istraživanjima, podrazumeva površinski sloj materijala male debljine.

Neravnine koje se mogu uočiti na površini mogu se podeliti na makroneravnine (iskrivljenost i valovitost površine) i mikroneravnine (izbrazdanost površine).

Sa aspekta tribologije najznačajniji pojam je hrapavost površine, odnosno skup neravnina koje obrazuju reljef površine. Geometrija površina tela koji su u kontaktu, menja se tokom vremena. U toku prvog perioda kontakta promena geometrije površine je intezivnija, što se naziva periodom "uhodavanja".

2.3 Trenje

Trenje predstavlja mehanički otpor koji nastaje na površini dodira dva tela pri kretanju jednog tela po drugom ili pri međusobnom relativnom kretanju. Izražava se silom trenja (F_t), koja se javlja kao otpor pojavi kretanja. Trenje se može podeliti u dva osnovna oblika:

- Unutrašnje trenje
- Spoljašnje trenje

Unutrašnjim trenjem naziva se međusobno delovanje molekula fluida, pri čemu dolazi do suprostavljanja relativnom kretanju slojeva. Unutrašnje trenje fluida se naziva viskoznost.

Spoljašnjim trenjem naziva se međudelovanje tela koje se javlja na mestima njihovog neposrednog dodira, a suprostavlja se njihovom relativnom kretanju. U zavisnosti od vrste kretanja mogu se razlikovati:

- Trenje klizanja
- Trenje kotrljanja

2.4 Trenje klizanja

Trenje klizanja predstavlja otpor relativnom kretanju koje se javlja kada jedno čvrsto telo klizi po drugom. Sila trenja je proporcionalna normalnoj sili koja deluje na površine koje su u kontaktu, što se može prikazati izrazom (2.1):

$$F_t = \mu F_n \quad (2.1)$$

gde je:

F_t – sila trenja

μ – koeficijent trenja

F_n – normalna sila

Po ovoj teoriji sila trenja ne zavisi od veličine površina koje su u dodiru i brzine klizanja, već zavisi jedino od opterećenja, stepena hrapavosti i prirode materijala elemenata. Međutim, novija ispitivanja su pokazala da ova formula ne zadovoljava u potpunosti. Po teoriji Bowdena, Tabora, Derjagina i drugih, sila trenja zavisi od normalnog opterećenja, stepena hrapavosti, stvarnoj dodirnoj površini, međumolekulskog privlačenja na mestima neposrednog dodira, tvrdoće materijala a takođe od procesa smicanja. To se može izraziti na sledeći način (2.2):

$$F = m \{ F_n, v, A_r, F_0, K \} \quad (2.2)$$

gde je:

A_r – ukupna površina neposrednih dodira

v – brzina klizanja

F_0 – dopunsko opterećenje usled međumolekulskog privlačenja

Kad površine koje se dodiruju nisu nekim mazivim slojem potpuno razdvojene tada, prema teoriji Bodwena, dolazi do sudaranja izbočina površinskih reljefa. Na tim mestima se u delićima vremena ostvaruje hladno ili toplo zavarivanje.

Hladno zavarivanje je pojava stvaranja jakih međuatomskih veza (adhezivno privlačenje), a javlja se u uslovima malih brzina klizanja. Na mestima dodira, naročito ako su površine potpuno čiste, javljaju se izrazita međuatomska privlačenja, pa i mogućnost prelaza atoma.

Toplo zavarivanje je pojava koja nastaje usled velike brzine klizanja. Kada u takvim uslovima dođe do sudaranja izbočina, na mestima sudara trenutno se javljaju visoki pritisci i temperature. Ako temperatura prekorači kritičnu tačku topljenja jedne od komponenata, dolazi do trenutnog zavarivanja na mestu sudara.

Bez obzira o kojoj se vrsti adhezije radi, da bi se klizanje nastavilo potrebna je neka dodatna sila za prekidanje veza i nastavljanje smicanja. To je naročito izraženo kod površina elemenata različitih tvrdoća, jer se u tim slučajevima izbočine tvrdog materijala utiskuju u mekši, izazivajući na njemu plastične deformacije uz brazdanje mekšeg materijala. U tom slučaju klizanje će zahtevati veću energiju a konačna posledica je brzo erozivno i abrazivno trošenje.

Da bi se izveo model jednačine suvog trenja, prvo se mora definisati stvarna dodirna površina, jer se samo na njoj odvijaju navedene pojave. Kada neka tvrda ploča klizi po mekšoj ili obrnuto, a obe imaju izrazite reljefe, stvarna dodirna površina (A_r) može se izraziti kao funkcija opterećenja (F_n) i tvrdoće (p_m) mekše ploče:

$$F_n = p_m A_r \quad (2.3)$$

gde je: p_m – penetracijska tvrdoća (po Brinellu ili Vickersu)

Jednačina se jednostavno može objasniti na sledeći način: kad je opterećenje malo, stvarna dodirna površina će takođe biti mala, jer površine naležu jedna na drugu samo preko najjisturenijih vrhova reljefa; postepenim povećanjem opterećenja,

neravnine se sve više plastično deformišu, naležući preko sve više isturenih vrhova. Broj neposrednih dodira sve više raste, pa raste i stvarna dodirna površina. Proces je ograničen tvrdoćom tela: promena stvarne dodirne površine će rasti sa opterećenjem toliko dugo dok se ne stvori neka površina koja će moći da podnese to opterećenje. Posle toga proces se zaustavlja. Takva granična površina zavisi od tvrdoće: što je tvrdoća veća, površina će biti manja i obrnuto.

2.5 Trenje kotrljanja

Trenjem kotrljanja naziva se otpor relativnom tangencijalnom kretanju koji se javlja kotrljanjem nekog predmeta po površini. Ako je dodirivanje u tački ili liniji, što je slučaj za kotrljanje idealne kugle ili valjka po idealnoj površini, sila trenja (F_t) je upravo proporcionalna opterećenju (F_n) a obrnuto proporcionalna poluprečniku kotrljajućeg tela (R):

$$F_t = \mu (F_n / R) \quad (2.4)$$

Koeficijent trenja (μ) zavisi od vrste materijala predmeta. Ako su tvrdoće kuglice i podloge dovoljno velike, a njihove površine idealne, može se pretpostaviti da će kod nekog opterećenja dodirno mesto biti tačka. Povećavanjem opterećenja, dolazi se u područje elastičnih deformacija, a dodirno mesto postaje površina. Usled savlađivanja kotrljanja i deformacija, dolazi do porasta sile trenja i koeficijenta trenja. Iznad nekog graničnog opterećenja nastupa preopterećenje sa trajno plastičnim deformacijama. Vrednosti koeficijenta trenja kotrljanja su znatno manje nego u slučaju klizanja.

2.6 Habanje

Površine mašinskih elemenata koje su prilikom kretanja u međusobnom kontaktu, menjaju s vremenom i svoja svojstva. Menja im se geometrija, veličina, struktura i svojstva površinskih slojeva, a veličina i karakter promena zavise od:

- uslova opterećenja,

- količine kretanja,
- prirode materijala elemenata koji su u kontaktu,
- sastava i svojstava okoline (vlaga, vazduh itd.),
- sastava i svojstava maziva itd.

Po definiciji, habanje je progresivni proces gubitka materijala elemenata ili delova mašina koji su u neposrednom kontaktu i nalaze se u relativnom kretanju. Kao posledica procesa habanja dolazi do istrošenosti delova mašina, smanjenja efikasnosti njihovog rada, potrošnje energije itd. Može se podeliti na mehaničko i hemijsko habanje. Pod mehaničkim habanjem se podrazumevaju:

- adhezija
- abrazija
- zamor materijala
- erozija

Pod hemijskim habanjem se podrazumeva:

- habanje kao posledica oksidacije površine materijala
- habanje usled procesa korozije materijala

U najvećem broju realnih slučajeva javlja se kao posledica kombinacije mehaničkog i hemijskog habanja. Kod točkova dizalica habanje nastaje usle adhezije i zamora materijala

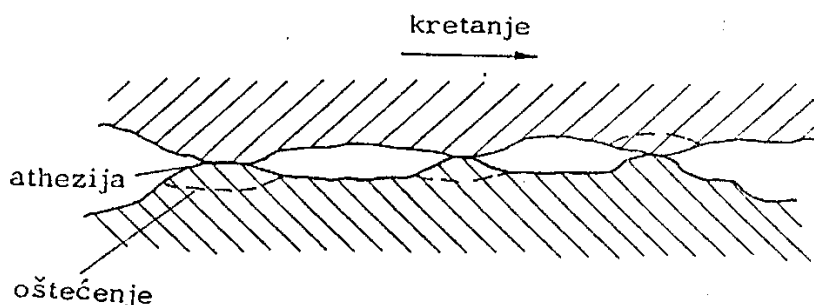
2.7 Adhezivno habanje

Adhezivno habanje, zaribavanje i zavarivanje površina materijala u kontaktu pri relativnom kretanju je posledica odstranjenja oksidnih čestica ili raskida oksidnog sloja, kao i otkazivanja graničnog sloja maziva. Najpre se oslobađaju na vrhovima neravnina površine čistog metala koji se adhezivno međusobno čvrsto vezuju, a pri kretanju smicanjem razaraju (sl. 2.1). Novi kontakti koji se međusobno spajaju u veće delove površina se javljaju pri većim pritiscima. Ove pojave zavise, od radnih uslova, opterećenja i klizne brzine, kao i od radne temperature. U tabeli 2.1 prikazane su karakteristike površine i uticajne veličine kod adhezionog habanja.

Zavisno od parametara koji definišu uslove kontakta i kretanja, adhezivno habanje može imati različiti intezitet i različite posledice. U najopštijem slučaju adhezivno habanje, posle perioda uhodavanja i prilagođavanja površine, prelazi u stacionarno stanje, koje se manifestuje u ravnomernom i umerenom odnošenju materijala.

Tabela 2.1 Veza između karakterističnih površina i uticajnih veličina kod adhezivnog habanja

Tribo-sistem	Karakteristične površine	Uticajne veličine	Primeri
Metal/ metal	prenos metala metalna abrazija hladno zavareni spojevi	materijal delova u sprezi napon otpornost na smicanje tvrdoća medijum	točak/šine zaptivne površine na zasunima kočnice spojnice



Slika 2.1 Šema adhezionog habanja

Pri nekim uslovima kontakta može doći do visokog habanja pa i oštećenja površina, kao posledice čistog adhezivnog habanja, delimičnog zavarivanja, a pri kretanju do raskidanja smicanjem tako zavarenih površina. Takvo habanje naziva se teško adhezivno habanje za koje se kod nas koristi i naziv ribanje ili zaribavanje

površine. Lakši oblici takvog habanja, lako zaribavanje manifestuje se karakterističnim risevima koji se pružaju u pravcu klizanja.

Kod teškog zaribavanja, u najnepovoljnijem slučaju dolazi i do najtežih oštećenja, sa dubokim risevima i odvajanjem znatnih delova materijala u pravcu klizanja. Oštećenja površine deluju mahom neorijentisano, kao raskinuta zavarena mesta. U slučaju teškog zaribavanja može doći do potpunog loma dela usled zavarivanja većeg dela površina u kontaktu i potpunog blokiranja kretanja.

Opterećenje delova u kontaktu sa ili bez međumaterijala (sa ili bez podmazivanja dodirnih površina) izaziva u materijalu odgovarajuće napone na pritisak ili zatezanje. Ako se delovi u kontaktu kreću jedan u odnosu na drugi, kao posledice dejstva klizanja ili kotrljanja površina, nastaju i odgovarajući naponi na smicanje. Moguća su i druga dejstva (npr. termička), pa je materijal, uopšte, izložen znatnim naponima čiji raspored, intenzitet i pravac nije uvek moguće odrediti. Pri ciklično promenljivim opterećenjima, posle određenog broja ciklusa, treba računati sa manjim ili većim oštećenjima, pa i sa potpunim otkazivanjem materijala. Pojava je poznata pod imenom zamor materijala, [2, 3, 4, 5].

Promenljivi naponi u materijalu su preduslov za pojavu zamora materijala. Otuda se oni, po pravilu, ne javljaju u kliznim ležajima ili drugim mašinskim delovima sa stalnim ili vrlo malo promenljivim opterećenjima (npr. ležaji rotacionih mašina svih vrsta), izuzev u posebnim slučajevima. Nasuprot tome, često se pojavljuju u kliznim ležajima klipnih mašina, naročito kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem i drobilica. Oštećenja usled zamora materijala su ograničena, najčešće, na tanki gornji sloj višeslojnih ležaja, ali su moguća i oštećenja po dubini, sa odlamanjem znatnih delova materijala pa i sa potpunim lomom ležaja.

Delovi mašinske opreme sa visoko koncentrisanim i funkcionalno ciklično promenljivim opterećenjima (kotrljajni ležaji, zupčanici svih vrsta, bregaste osovine, točkovi dizalica) izloženi su posebnoj vrsti oštećenja usled zamora materijala. Kod ovih delova, celokupno opterećenje pri kretanju koncentrisano je na vrlo malu površinu (teoretski na liniju ili tačku), usled čega vrlo visoki naponi periodično menjaju intenzitet od nule do maksimuma. Ovakve promene napona izazivaju na materijalu po površini i neposredno ispod nje, odvajanje (otkidanje) delići materijala stvarajući karakteristični

reljef u obliku manjih ili većih rupica – pitinga. Kod novih delova je tzv. piting uhodavanja česta pojava koja se vremenom ublažava i prestaje. Oštećenja usled zamora materijala mogu i vrlo naglo da napreduju do konačnog otkazivanja i loma elemenata.

2.8 Habanja usled zamora materijala

Površina kotrljanja točka, kao i venac, usled trenja sa šinom izloženi su intenzivnom habanju zbog velikog opterećenja i čestih promena smera kretanja kao i prilikom kočenja usled pojave klizanja točka. Točak treba da ima veće habanje od šine. Pri kočenju točak se ne okreće nego klizi, usled inercije tereta koji nosi kran, zbog čega dolazi do mestimičnog zagrevanja i trošenja što dovodi do štetnih lokalnih promena u strukturi materijala pa i do pojave prslina na gazećoj površini.

Poslednjih godina, veće brzine i povećana opterećenja na osovinama dovode do velikih kontaktnih naprezanja točka/šine. Takođe, učinjeni su naponi da se optimizuje konstrukcija točka i šine i poboljšaju performanse kao i da se smanje troškovi. Ovi trendovi su izmenili većinsko oštećenje točka od habanja ka zamoru. Za razliku od sporog procesa habanja, zamor izaziva prsline na kontaktnim površinama točkova i gubljenje materijala.

Kriterijumi o neispravnosti točka.

Točak se može smatrati pohabanim i neupotrebljivim:

- ako je prečnik točka smanjen (pohaban) za 10mm
- ako je debljina venca pohabana za 40%
- ako je došlo do pucanja venca ili bilo kog drugog dela točka.

Uzroci koji direktno utiču smanjenje radnog veka točka:

- Loša geometrija
- Netačne mere
- Nebezbeđena saosnost gazne površine i otvora za vratilo
- Nedoovoljena tvrdoća gazne površine.
- Zakošenost dizalice prilikom kretanja

- Nejednaka brzina kretanja na jednoj i drugoj šini zbog nejednakog prečnika točkova
- Neparalelnost ose točkova
- Istovremeno kretanje mosta dizalice i šetalice sa teretom, ili ljuljanje kranske staze
- Nepravilno korišćenje
- Kretanje sa teretom koji nije na sredini dizalice
- Velika brzina kretanja
- Guranje druge dizalice
- Stvaranje bočnih inercionih sila tereta.
- Odstupanje gazne površine šine po pravcu (neparalelne šine)
- Nepravilan gaz točka po šini zbog trajne deformacije nosača dizalice.
- Kontriranje, radi zaustavljanja dizalica



Slika 2.2 Pohabana gazna površina i venac točka

Problem zamora točkova je često zove i kontakti zamor kotrljanja, koji je izazvan površinskim naponom koji se ponavlja usled kotrljanja. Slični problemi zamora takođe postoje na drugim mehaničkim komponentama kao što su zupčanici i ležajevi.



Slika 2.3 Pohaban venac točka

Problem oštećenih venaca je rezultat velikih pukotina ispod površine, koje se grubo prostiru paralelno sa kotrljajućom površinom točka. Toplotne pukotine obično skidaju parčiće kontaktnih površina točka, dok oštećenja venca (oboda) može ugroziti integritet točka što je opasnije.



Slika 2.4 Pohabani točkovi dizalica poslani na reparaciju

Da bi se smanjili efekti abrazivnog habanja treba smanjiti koeficijent trenja između točka i šine po kojoj se točak kreće. Testovi sprovedeni od Asocijacije inženjera gvožđa i čelika (AISE) pokazali su da se koeficijent trenja može smanjiti za više od 40% otvrdnjavanjem šinskih točkova na 58 do 62 HRC. Šta više, zbog toga što tvrda površina nastoji da se uglača i postaje glatka tokom upotrebe, trenje se još više redukuje i habanje točka je samim tim sve manje. U slučaju najboljeg scenarija, kada se kreće otvrdnuti točak po otvrdnutoj šini, to će optimizovati očekivani životni vek obe komponente (točka i šine).

Tačkasta korozija i „odvajanje” („odvaljivanje”) materijala, kao glavni faktori ograničavanja „životnog” (radnog) veka točkova i dizalica, mogu takođe biti smanjeni izborom otvrdnutog i termički tretiranog točka pogodnog za primenu.

Tačkasta korozija i „odvajanje” („odvaljivanje”) materijala su posledice zamora materijala uzrokovanog ekstremno visokim površinskim naponima generisanim usled velikog opterećenja točka. Dakle, što je veće opterećenje, sve kritičnija (bitnija) postaje tvrdoća točka.

Testovi opterećenja pokazali su superiornost otvrdnutih točkova: posle 2.000.000 ciklusa, točkovi sa površinom otvrdnutom na 35 do 39 HRC, opterećeni sa 25 MPa, počinju pri ovom opterećenju da pokazuju prve znake zamora materijala, dok točkovi otvrdnuti na 50 do 53 HRC počinju te znake da pokazuju pri opterećenju od 40 MPa. Točkovi sa tvrdoćom 60 do 63 HRC moraju se opteretiti sa 60 MPa pre nego što se pojave prvi znaci habanja. [1].

3 REPARATURNO NAVARIVANJE TOČKOVA KRANSKIH DIZALICA

3.1 Izbor postupka navarivanja

Za izbor postupka navarivanja postoje brojni kriterijumi i uzimaju se u obzir zavisno od konkretnog slučaja, u sklopu celokupnog rešenja. U opštem slučaju uzimaju se u obzir zahtevi za postizanje kvaliteta navara i za postizanje ekonomičnosti navarivanja.

Zahtevi za postizanje kvaliteta su:

- stvarivanje navara bez grešaka u pogledu homogenosti i oblika,
- ujednačeno i ograničeno uvarivanje,
- ujednačen i ograničen stepen mešanja osnovnog i dodatnog materijala,
- postizanje povoljnih strukturnih karakteristika metala navara i ZUT-a,
- postizanje ujednačenog sadržaja hemijskih elemenata, i
- postizanje ujednačene tvrdoće.

Sa ekonomskog stanovišta, zahtevi su:

- minimalna mehanička obrada za pripremu za navarivanje,
- postizanje geometrije navara za koju je potrebna minimalna obrada,
- postizanje potrebne debljine navara u što manjem broju slojeva,
- svođenje toplotne obrade, pre i posle navarivanja na minimalnu meru,
- minimalni utrošak dodatnog materijala,
- minimalni utrošak radnog vremena za izvođenje navarivanja,

- mogućnost mehanizacije postupka, i
- mogućnost realizacije sa raspoloživom opremom i alatima.

Treba naglasiti da je u svim slučajevima dubina uvarivanja, a sa njome i stepen mešanja osnovnog i dodatnog materijala, element o kome treba uvek voditi računa. Veća dubina uvarivanja izaziva veći stepen mešanja, a time i "razblaženje" hemijskog sastava navara. Sa druge strane smanjenjem stepena mešanja raste opasnost od nastajanja grešaka u vezivanju koje su kod mešanja ispod 5% česte.

3.2 Postupci navarivanja

Postupci za navarivanje u principu mogu biti svi postupci zavarivanja topljenjem i zavarivačko lemljenje. Najviše primenjivani postupci navarivanja izvide se: gasnim plamenom, ručno elektrolučno, otvorenim lukom (punjenom žicom), TIG-om, pod praškom, pod plazminim lukom, pod troskom, elektrovibraciono, dok se u manjoj meri koristi navarivanje eksplozijom, navarivanje trenjem, navarivanju laserom.

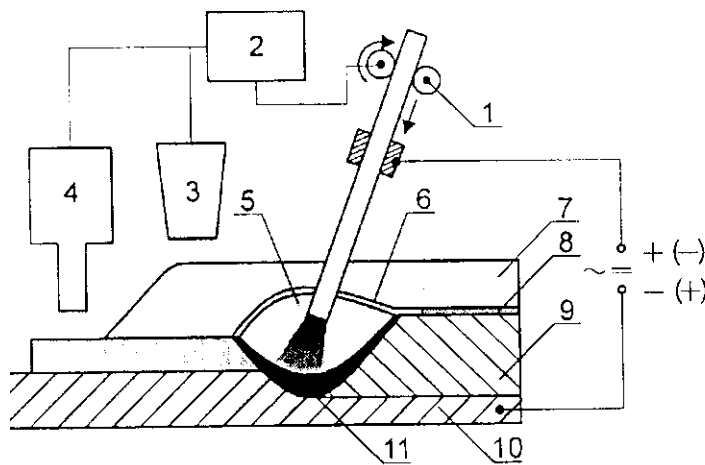
Postupci navarivanja u zaštiti gasa (MIG/MAG) odvijaju se u zaštiti Ar, CO₂ bilo pojedinačno ili u kombinacijama, sa ili bez male količine kiseonika. Kod ovih postupaka dodatni materijal mora biti u obliku elektrodne žice, a pošto većinu od ovih tvrdih legura nije moguće izraditi u obliku pune žice, to je ograničena primena MIG/MAG postupaka za tvrda navarivanja. Ipak se ovim postupkom mogu naneti prevlake od bronzne i drugih koroziono otpornih metala na delove od čelika.

Reparatura oštećenih delova točka dizalice se uspešno i kvalitetno izvodi navarivanjem EPP postupkom uz primenu praška i legirane punjene žice (slika 3.1). Prema standardu maksimalna tvrdoća navara točka treba da bude veća za 30-35 % od tvrdoće šine, odnosno 38-42 HRC.

Prednosti EPP postupka u odnosu na druge elektrolučne postupke zavarivanja su:

- veliko iskorišćenje,
- velike brzine zavarivanja,
- sporije hlađenje rastopa,

- velika dubina uvarivanja,
- minimalno razbrizgavanja,
- automatizacija postupka,
- mogućnost zavarivanja sa više žica ili sa trakom,
- moguća je primena punjene žičane elektrode,
- luk se pod slojem praška ne vidi i količina štetnih gasova nije velika, što znatno poboljšava uslove rada zavarivača.



- 1 - vođica žice
- 2 - upravljački modul
- 3 - regulator za prašak
- 4 - rezervoar za prašak
- 5 - gasni prostor
- 6 - tečna troska
- 7 - prašak
- 8 - očvrsla troska
- 9 - navar
- 10 - podloga
- 11 - zavarivačko kupatilo

Slika 3.1 Šema EPP navarivanja

3.3 Identifikacija dodatnih materija za navarivanje kranskih točkova

U periodu od 2000. god. do danas reparirano je oko 2000 točkova prečnika $\phi 630$ mm. Reparturno navarivanje je izvedeno sa različitim dodatnim materijalim. Pri reparaturi se težilo dobijanju točkova sa osobinama novih točkova.



Slika 3.2 Primer navarivanja točka

3.3.1 Osobine novih točkova kranskih dizalica

Danas se u svetu točkovi izrađuju livenjem i kovanjem, a nakon mašinske obrade se podvrgavaju različitim tipovima termičke obrade. Ovde će biti navedeni samo neke od njih koje proizvodi McKees Rocks Forgings [6] i XTEC, [1].

Točak sa ojačanim vencima (slika 3.3)

- Materijal AISI-1070 – otkivak, Termička obrada: kaljenje na 320-360 HB
- Primena: Dizalice sa umerenim opterećenjem na kojima je povećan pritisak na obod točka (dolazi do savijanja venca pre nego li njegovog pucanja)



Slika 3.3 Točak sa ojačanim vencima

Točak sa duboko otvrdnutom površinom (slika 3.4)

- Materijal AISI-1070 – otkivak
- Termička obrada: kaljenje na 56-60 HRC
- Primena: Dizalice sa maksimalnim opterećenjima koje rade u oblastima sa visokim nivoom abrazivne prašine ili drugih abrazivnih okruženja.



Slika 3.4 Točak sa duboko otvrdnutom površinom

Točak sa promennjivom dubinom otvrdnute površine (slika 3.5)

- Materijal AISI-1070 - otkivak
- Termička obrada: kaljenje na 56-60 HRC
- Primena: Stariji dizalice sa velikim opterećenjem točkova kod kojih tokom normalnog rada često dolazi do kontakta između venca točka i glave šine.

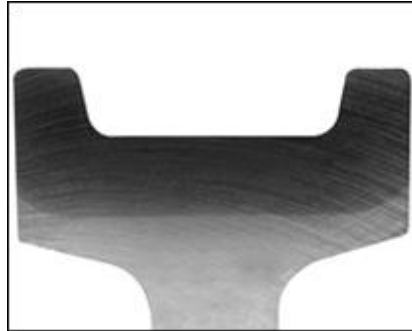


Slika 3.5. Točak sa promennjivom dubinom otvrdnute površine

Točak od legiranog čelika (slika 3.6)

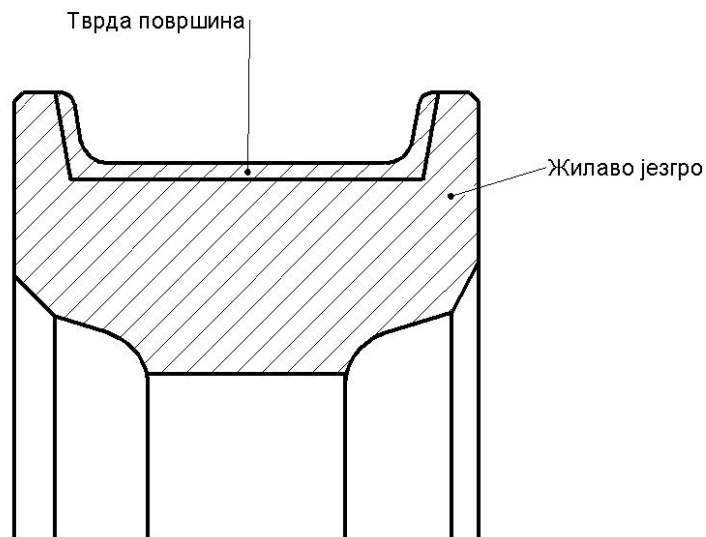
- Materijal AISI-4140 - otkivak

- Termička obrada: kaljenje na 40-56 HRC
- Primena: Starije dizalice sa izuzetno velikim opterećenjem točkova kod kojih tokom normalnog rada često dolazi do kontakta između venca točka i glave šine i gde često dolazi do loma venca točka.



Slika 3.6 Točak od legiranog čelika

Na osnovu uslova rada dizalica u Železari Smederevo i osnovnog materijala točkova zaključuje se da bi najviše odgovarao tip točka sa promenljivo otvrdnutom površinom, ali manjom tvrdoćom od navedene (oko 40 HRC). Zato se teži da se pri navarivanju ispoštuje geometrija prema slici 3.7.



Slika 3.7 Profil navarenog točka

3.3.2 Ispitivanje dodatnih materijala

Mehaničke osobine i hemijski sastav svih dodatnih materijala navedeni su u tabelama (3.1-3.2). Navarivani su točkovi i uzorci na kojima je ispitivana mikrostruktura i mehaničke osobine.

Tabela 3.1 Mehaničke osobine EPP navara, [7-13]

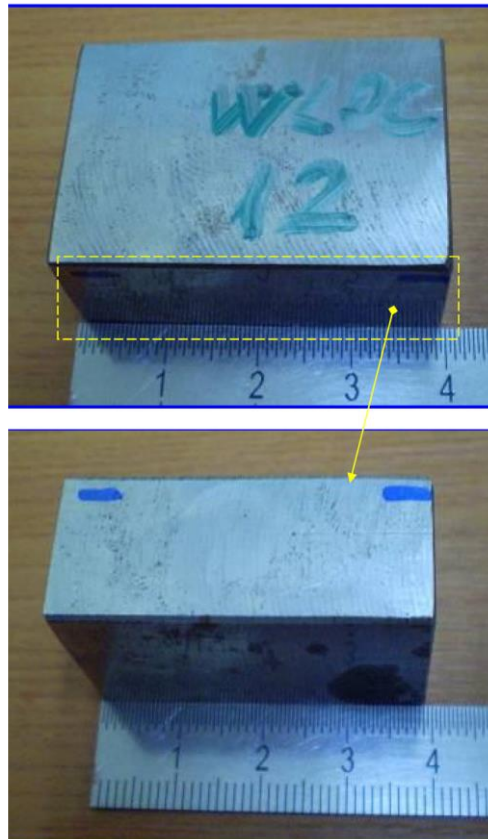
Dodatni materijal	TO	Rm MPa	Rp02 MPa	A5 %	Av J	Tvrdoća
WLDC 12	540 °C/2h	940	810	15	13	40 HRC
FILTUB DUR 212	680 °C/2h	797	677	10.8	7	35 HRC
EPP2 + CS350	BEZ	757	610	19	18	38 HRC
Tube-Alloy 242-S	Bez	920	740	10	5	40 HRC
FILTUB DUR 212	BEZ	/	/	/	/	34 HRC
INTERWELD 903S	BEZ	/	/	/	/	41 HRC

Tabela 3.2 Hemijski sastav dodatnog materijala, [7-13]

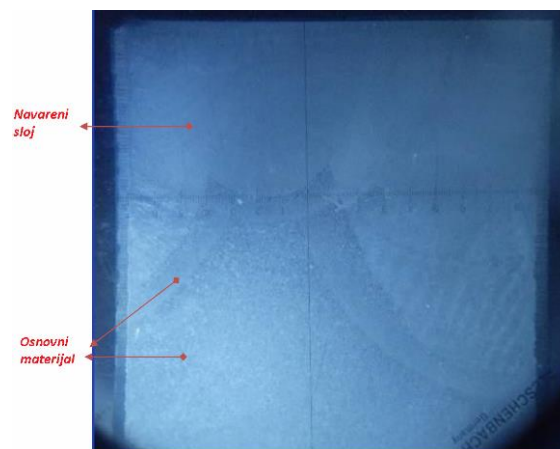
Dodatni materijal	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	P	S
WLDC 12	0.16	0.83	0.46	3.51	0.05	0.01	0.01		
FILTUB DUR 212	0.08	1.4	0.35	5		0.85			
EPP2	0.1	1	0.15						
CS-350	0.25	0.9	2	3		0.4			
Tube-Alloy 242-S	0.14	2	0.8	3		0.7		0.015	0.01

Svi testirani uzorci imaju zadovoljavajuću tvrdoću (tvrdoću koja se traži po dokumentaciji za novi točak) i martenzitnu mikrostrukturu, ali im se znatno razlikuju mehaničke osobine, posebno žilavost. Na slikama (3.8-3.15) prikazani su uzorci i mikrostrukture navrenih slojeva.

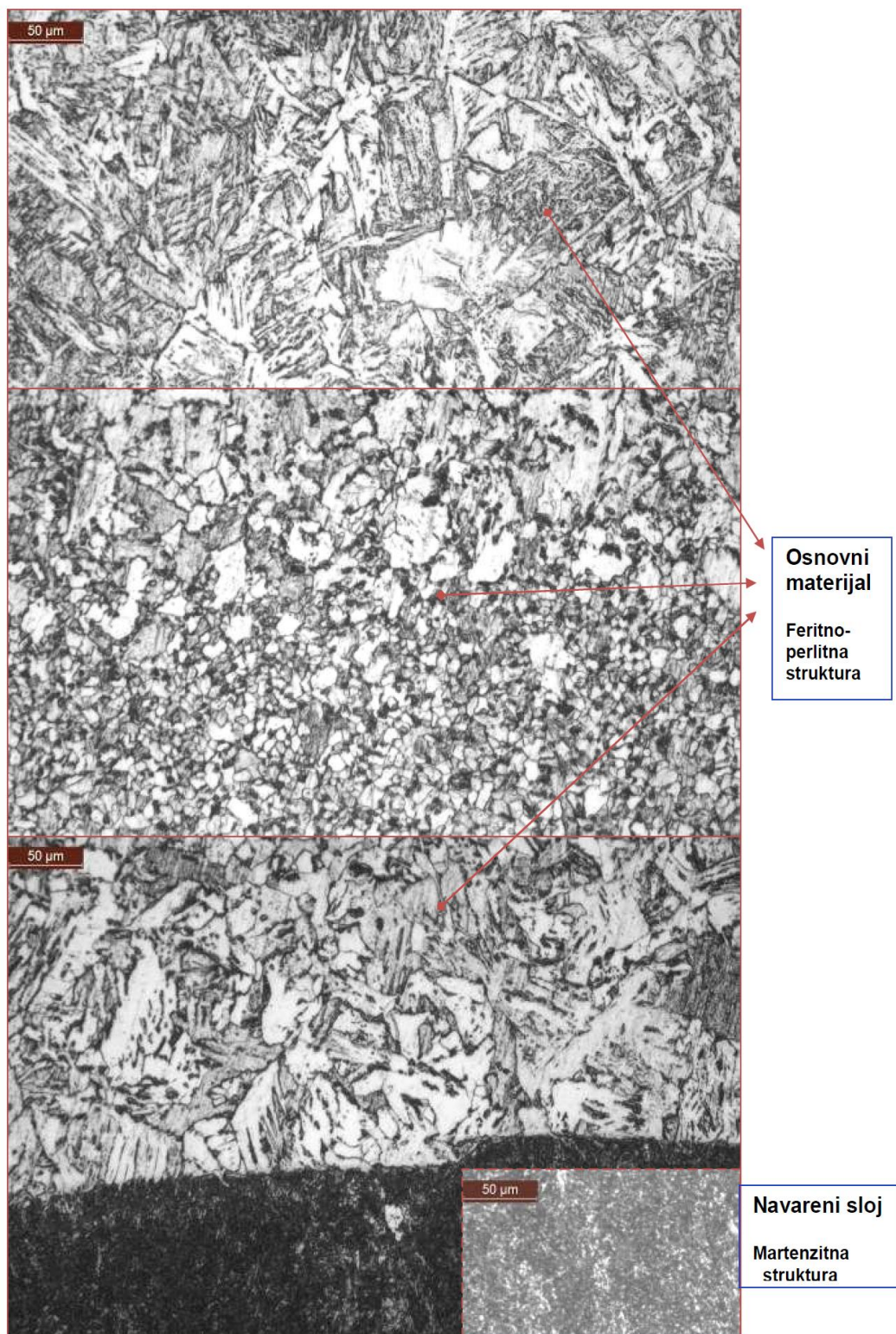
Većina proizvođača dodatnih materijala za reparaturna navarivanja delova koji su izloženi habanju abrazijom preporučuju martenzitne legure, [7-13], jer se pokazala kao najbolja, [14, 15].



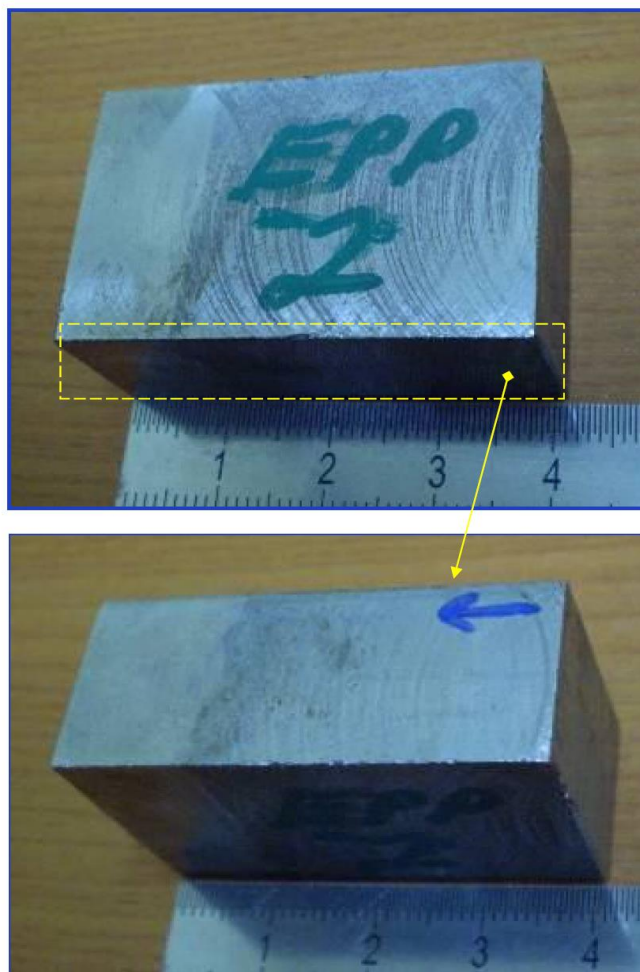
Slika 3.8 Uzorci navareni žicom WLDC 12



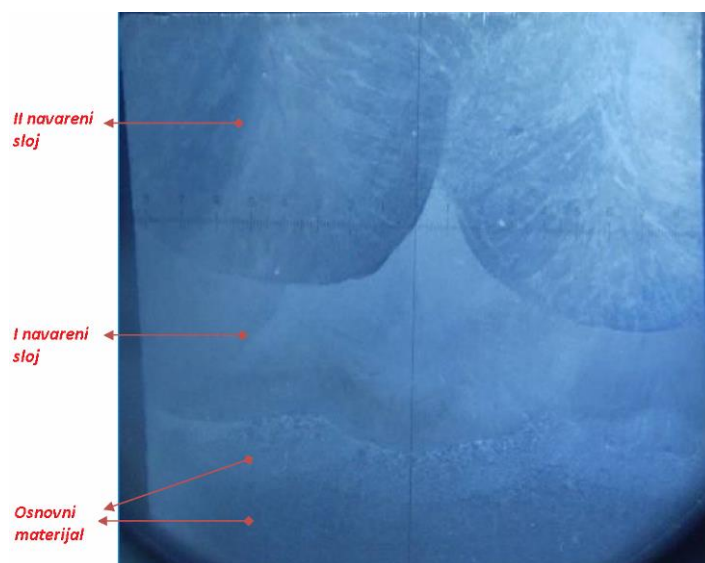
Slika 3.9. Makrostruktura uzoraka navarenih žicom WLDC 12



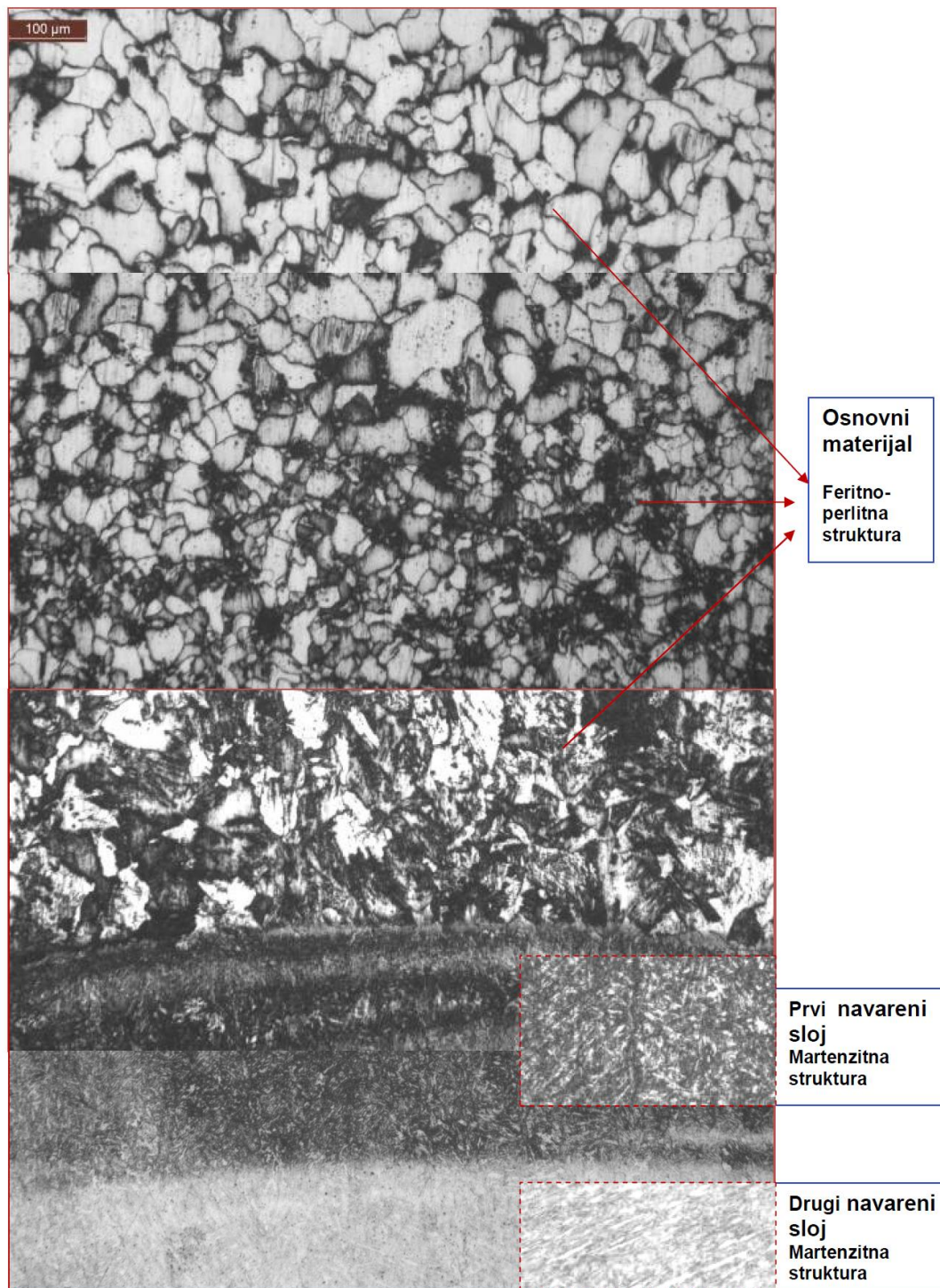
Slika 3.10 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom WLDC 12



Slika 3.11 Uzorak navaren žicom EPP2+CS350



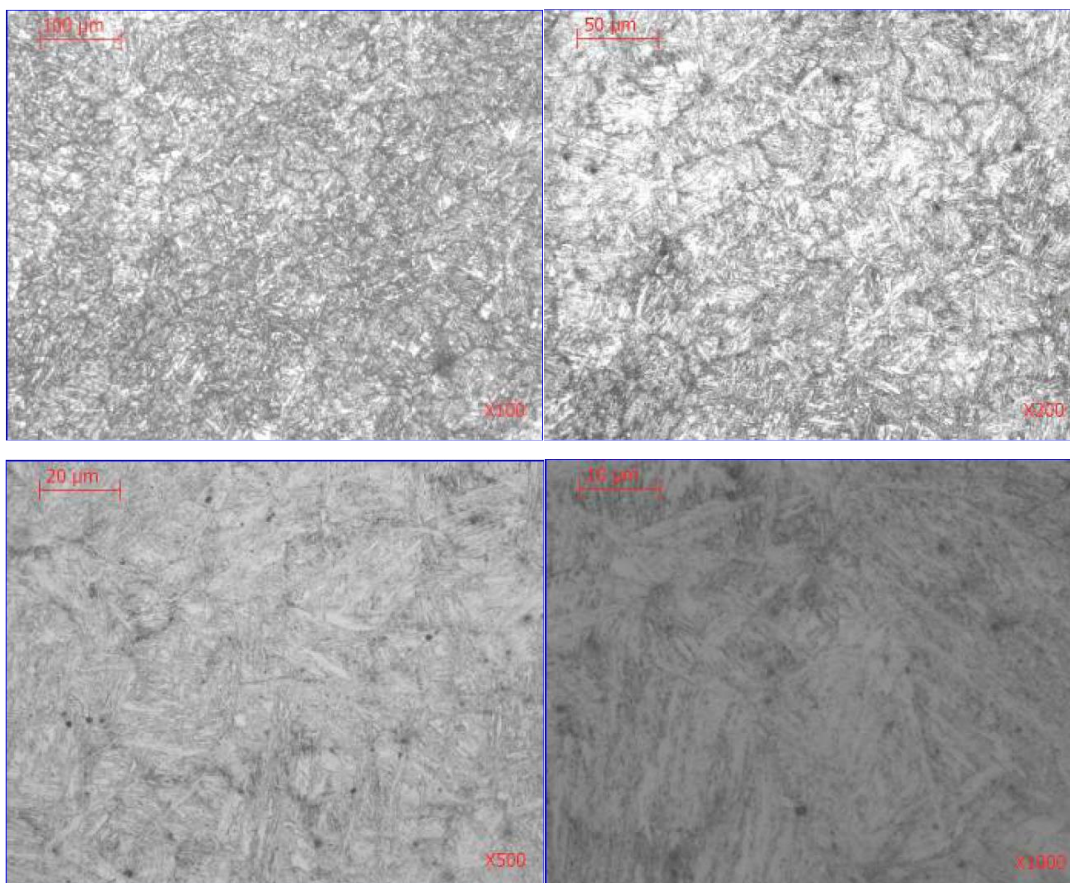
Slika 3.12 Makrostruktura uzorka navarenog žicom EPP2



Slika 3.13 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom EPP 2



Slika 3.14 Uzorak navaren žicom Tube-Alloy 242-S



Slika 3.15 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom Tube-Alloy 242-S



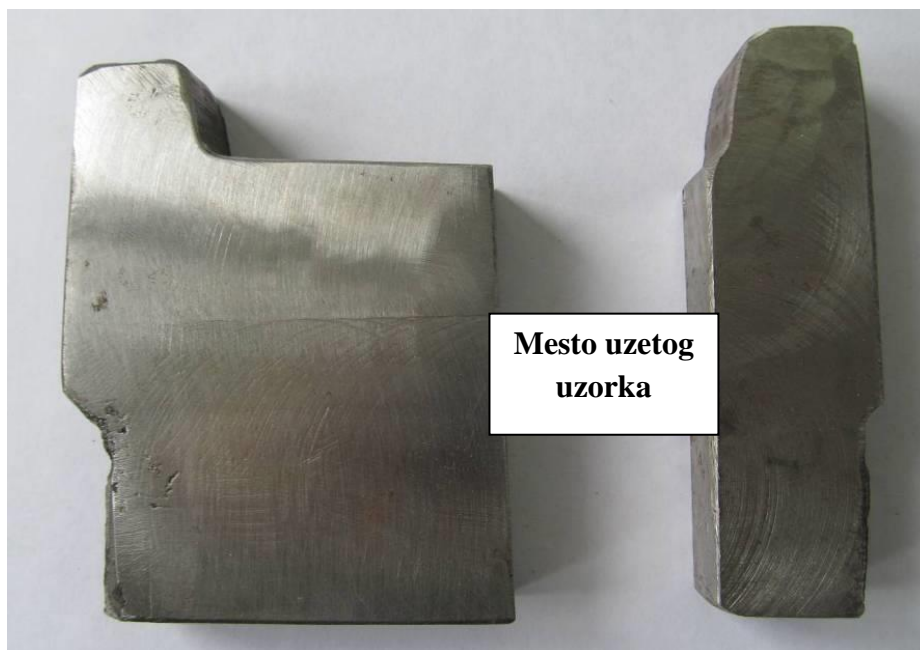
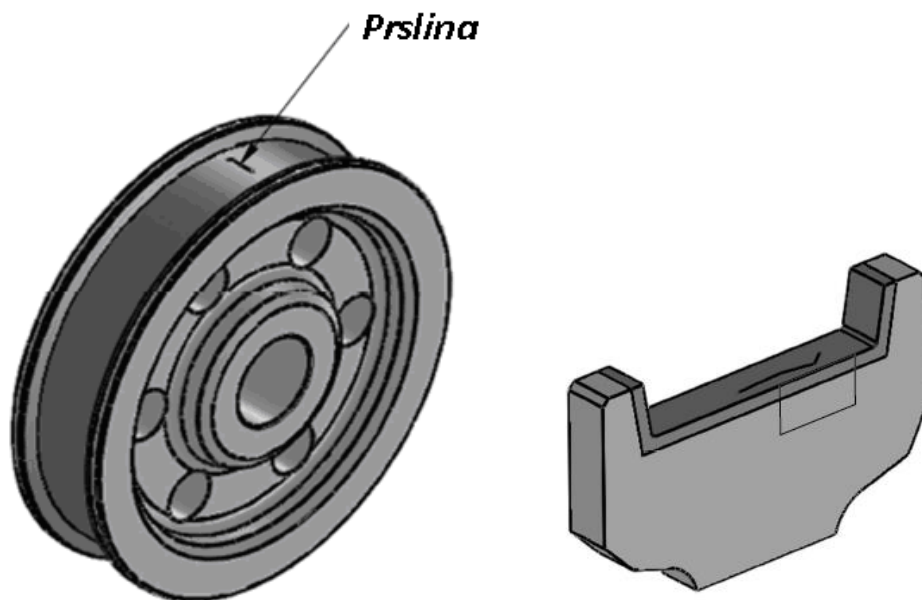
Slika 3.16 Mikrostruktura uzorka navarenog žicom FILTUB DUR 212

Ranije je zaključeno da je potrebno da točak pored tvrdoće i ima i dobru žilavost i zateznu čvrstoću. Za navarivanje točkova usvaja žica WLDC -12 za “tvrđi” sloj i žica WLDC -9 za pufer u kombinaciji sa praškom UNIVERSAL FLUX.

3.3.3 Ispitivanje mikrostrukture na uzorcima sa prslinama u cilju utvrđivanja parametara mehanike loma

Reparirani točak na kome se nakon završne obrade kontrolom bez razaranja (ultrazvukom i penetrantima) ustanovi prisustvo prsline se škartira. Ovakvi točkovi se ne ugrađuju na dizalicama, jer se predpostavlja da će vrlo brzo doći do njihovog loma. U nekoliko slučajeva, zbog nedostatka repariranih točkova u dogovoru sa tehnolozima za održavanje dizalica u proizvodnim pogonima ugrađeni su točkovi na kojima je bilo prsline samo na gaznoj površini točka. Ovi točkovi su češće kontrolisani, ali na njima nije uočeno širenje prsline. To je dovelo do potrebe za dubljom analizom.

Škartirani točkovi se seku i idu na pretapanje u konvertor Čeličane, odnosno mogu da se iskoriste za izradu uzoraka i ispitivanje. Na slikama (3.17-3.19) prikazan je izgled uzorka i mikrostruktura u zoni oko prsline.



Slika 3.17 Mesto uzorka i uzorak navarenog točka sa prslinom



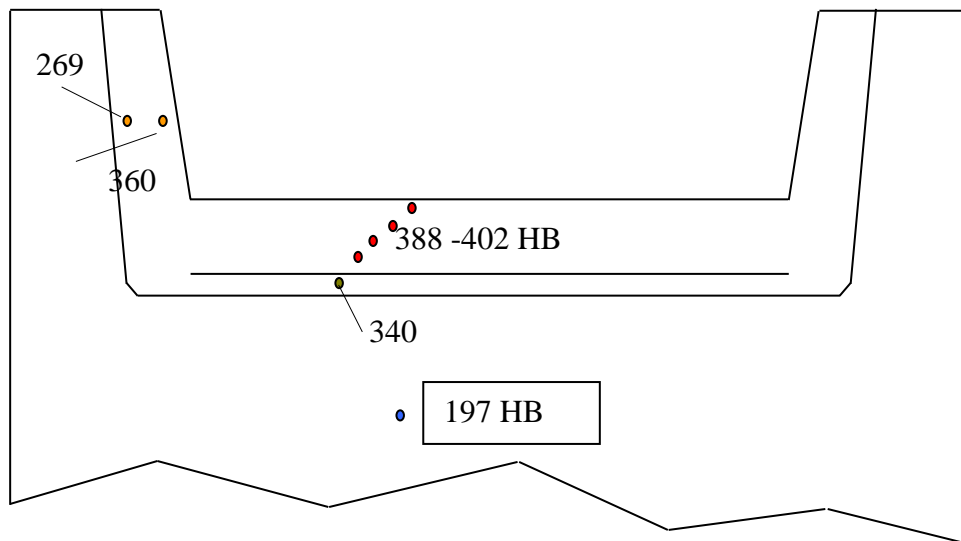
Slika 3.18 Uzorak navarenog točka sa prslinom



Slika 3.19 Mikrostruktura uzorka sa prslinom

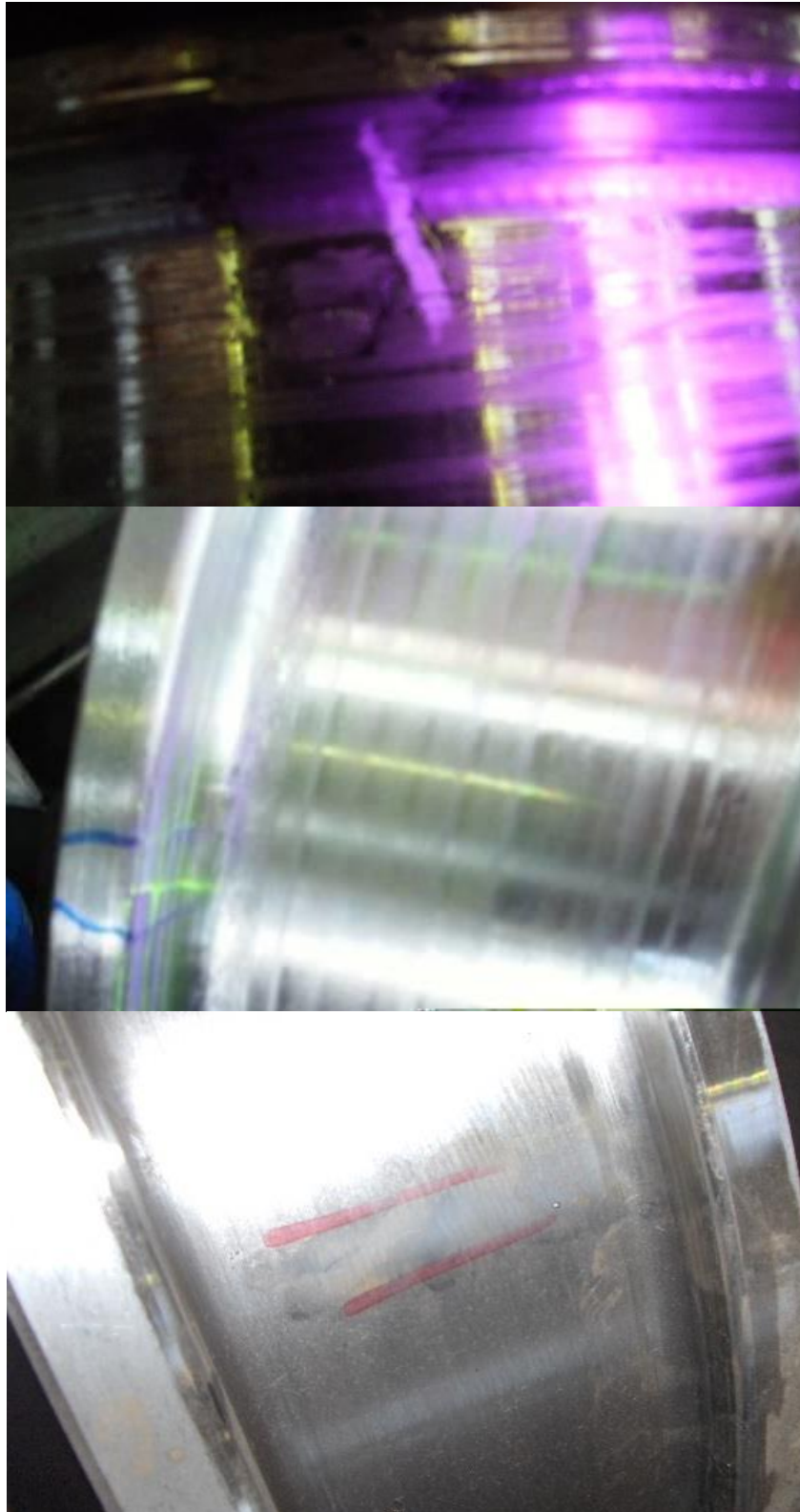
Kao što se vidi na predhodnim slikama prslina se prostire samo u zoni „tvrdog“ navara, odnosno do dubine 5 mm. U Dodatku 2 prikazani su izveštaji kontrole o ispitivanju penetrantima i ultrazvukom. Dužina prslina na ovom uzorku je oko 45 mm. Prslina retko kada prelazi dužinu od 75 mm (slika 3.21).

Na slici 3.20 prikazana je tvrdoća po dubini navarenog točka.



Slika 3.20 Tvrdoća navarenog točka

Tvrdoća točka opada od površine prema sredini, tako da imamo površinski tvrdi sloj (navaren sloj) i jezgro koje je manje tvrdoće, ali zato ima veću žilavost, a samim tim je otpornost na lom je veća. Isto se dešava i sa vencima točka. U koliko je na točku predobradom uklonjen kompletan venac, potrebno je žicom za pufer (WLDC-9) formirati venac smanjene debljine za 6 mm, odnosno za debljinu tvrdog sloja.

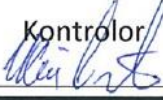


Slika 3.21 Prsline na točku nakon navarivanja i obrade

3.4. Tehnologija reparaturnog navarivanja

Ustaljeni postupak reparature točka dizalice sastoji se od sledećih operacija:

- Postaviti zavarivaču da privari pločicu sa brojem točka. Ukoliko postoji stari broj (koji je ranije određen) ne dodeljivati novi, već koristiti stari.
- Privariti pločicu sa brojem na telo točka, po uputu bravara.
- Normalizacija točka (zagrevanje na 830 °C i zadržavanje 8 sati. Dobijena tvrdoća 220 HB).
- **OBAVEZNO** predobraditi prečnik gazne površine točka i to za točak ϕ 315 na ϕ 303, za ϕ 400 na ϕ 388, za ϕ 500 na ϕ 488, za ϕ 630 na ϕ 618, za ϕ 710 na ϕ na 698, za ϕ 800 na ϕ 788 sa nagibom (ako je točak pogonski). Ako posle predobrade na navedenim prečnicima ima pukotina, prečnik gazne površine obraditi do prve čiste mere, maksimalno za točak ϕ 315 na ϕ 285, za ϕ 400 na ϕ 370, za ϕ 500 na ϕ 470, za ϕ 630 na ϕ 600, za ϕ 710 na ϕ 680, za ϕ 800 na ϕ 770. Ako je prečnik venca u okviru $\pm 5\text{mm}$ u odnosu na nominalnu meru po crtežu, isti ne obrađivati. Ukoliko je prečnik venca manji od -5 mm od nazivne mere sa crteža isti predobraditi do prve čiste mere koja će biti u minusu (u koracima od 6mm) u odnosu na nazivnu meru sa crteža. **NAPOMENA:** Predobradu vršiti u koracima po 6 mm itd.
- Predobraditi otvor točka maksimalno 2mm u plusu od nazivne mere sa crteža ili do prve čiste mere ako je oštećen.
- Kontrola i merenje predobrađenog točka po skici. U izveštaju koji popunjava kontrola (slika 3.20) pored ostalih podataka u koloni F upisati vrednosti za debljine oba venca (npr.20/10), a ako točak ima samo jedan venac upisati (npr.20/0) i sa dokumentacijom dostaviti tehnologu. Predobrađene površine pored vizuelne kontrole kontrolisati 100 % magnetofluksom i 100 % ultrazvukom

DIMENZIJE PREDOBRAĐENOG TOČKA						ϕ 630
Crtež br.	778.06.02.001		Broj: TV-069	RN:	1963791	
Dimenzija	An	Bn	Cn	Dn	En	Fn
Mera	606	690	140	110	150	15/25
Datum:	05.02.2016			Kontrolor:		

Slika 3.22 Izveštaj kotrole o dimenzijama predobrađenog točka

- Predgrijati točak na temperaturi od 230 do 250°C. Gaznu površinu i vence navariti žicom WLDC-9 do prečnika (za ϕ 315 na ϕ 303, za ϕ 400 na ϕ 388, za ϕ 500 na ϕ 488, za ϕ 630 na ϕ 618, za ϕ 710 na ϕ 698, za ϕ 800 na ϕ 788), a potom navarivanje nastaviti žicom WLDC-12 - 3 sloja. Ako je prečnik točka posle predobrade (za ϕ 315 na ϕ 303, za ϕ 400 na ϕ 388, za ϕ 500 na ϕ 488, za ϕ 630 na ϕ 618, za ϕ 710 na ϕ 698, za ϕ 800 na ϕ 788) navarivati samo žicom WLDC-12 – 3 sloja. Neposredno posle navarivanja gazne površine i venca (ako se otvor ne navaruje) točak prebaciti u Kalionicu. Ako se navaruje i otvor, navarivanju istog pristupiti odmah posle navarivanja gazne površine i venca, a nakon toga točak odmah prebaciti u Kalionicu. NAPOMENA: Tokom navarivanja održavati temperaturu od 320 do maksimalno 450 °C.
- Navariti točak u otvoru u minusu 6 mm od nominalne mere sa crteža, elektrodom PIVA 150B ϕ 4 za točkove ϕ 315, ϕ 400 i ϕ 500 a elektrodom PIVA 150B ϕ 5 mm za ostale točkove. Obavezno popuniti žleb za klin. Točak odmah posle navarivanja prebaciti u Kalionicu na termičku obradu.
- Žarenje točka. Točak odmah posle navarivanja ubaciti u peć i zagrevati približno 2 sata do temperature od 540 stepeni, i držati na toj temperaturi 2 sata. Nakon toga u peći ohladiti do temperature od 200 stepeni. Posle toga izvaditi točak iz peći i pokriti ga vatrootpornim platnom ili ga potopiti u bure sa peskom dok se

ne ohladi do sobne temperature. NAPOMENA: Brzina hlađenja i zagrevanja je 50 stepeni po satu.



Slika 3.23 Navarivanje otvora točka

- Obrada gazeće površine i venaca točka na mere sa crteža.
- Obrada navarenog otvora točka na mere sa crteža.
- Obeležiti položaj žljeb(ov)a za klin.
- Obrada žljeb(ov)a za klin, po obeleženom i prema crtežu. Obradu žljeb(ov)a za klin raditi na dubilici.
- Obraditi ivice i prorezati navoje sa oba čela točka.
- Kontrola točka (100% vizuelno, 100% magnetofluksom, 100% ultrazvuk)

Da bi se eliminisala mogućnost greške tehnologa i radnika-operatora na EPP uređaju, izrađen je softver u Visual Basicu 6.0 (Dodatak 4) koji na osnovu dimenzija predobrađenog točka definiše uputstvo/tehnologiju navarivanja (sl. 3.24) i potrebnu količinu dodatnog materijala (sl. 3.25), koja se koristi pri analizi troškova.

REPARATURNO NAVARIVANJE TOČKOVA DIZALICA

TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA TOČKA

Fi630 778.06.02.001 Broj TV-069 RN 1863781

Zicom WLDC-9 navariti:

gaznu površinu do prečnika Fi 618,

Zicom WLDC-12 navariti:

gaznu površinu do prečnika Fi 636,

vence do sirine 28

prečnik venca do Fi 690

Zicom PIVA 60 (ASKAYNAK AS SG-2) navariti:

Otvor točka do prečnika Fi 129

Slika 3.24 Uputstvo za navarivanje

REPARATURNO NAVARIVANJE TOČKOVA DIZALICA

POTREBNE KOLIČINE DODATNOG MATERIJALA ZA NAVARIVANJE TOČKA

Fi630 778.06.02.001 Broj TV-069 RN BR. 1863781

*Žica za navarivanje WLDC-9 **9,96** kg*

*Žica za navarivanje WLDC-12 **23,19** kg*

*Prašak za navarivanje UNIVERZAL FLUX **33,15** kg*

*Žica za navarivanje otvora PIVA 60 **3,42** kg*

Tehnolog:

Slika 3.25 Količine dodatnih materijala za navarivanje

3.5. Parametri navarivanja

Parametri navarivanja se uvek biraju tako da se dobije maksimalna brzina nanošenja koja ujedno daje i dobar kvalitet nanešenog depozita. Informativni parametri navarivanja koji se mogu specificirati, dati su u tabeli 3.3.

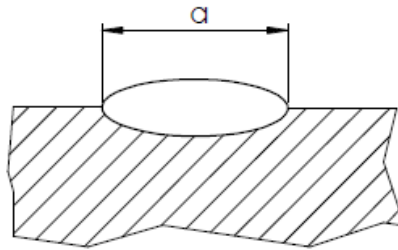
Tabela 3.3 Preporučeni parametri navarivanja za EPP postupkom [8]

Prečnik mm	Jačina struje A	Napon V	Brzina navarivanja mm/min	Pozicija electrode pre zenita, mm
Jendostruka žica				
150	350-425	26-30	300-400	20-25
200	450-500	26-30	300-400	25-30
250	550-600	28-32	320-420	30-35
300 I više	600-650	28-32	350-550	30-40
Dvostruka žica				
360	750-850	28-30	450-550	35-45
460	900-1000	28-30	450-550	45-50
750	950-1100	28-30	450-560	50-60
750-1000	1050-1150	28-32	450-560	60-80
1000-1500	1100-1350	28-32	480-560	80-100

Preklopi navara za gornje parametre navarivanja su 50-60%.

Navedeni parametri obrazlažu se u daljem tekstu sa posebnim osvrtom na njihov

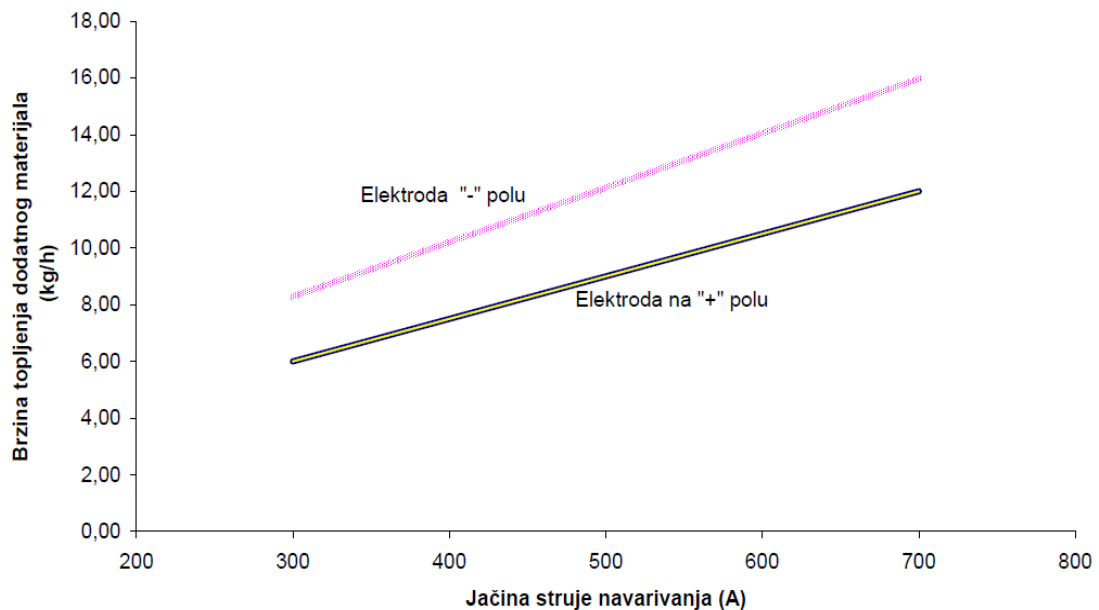
doprinos brzini topljenja, kvalitetu navara i efekat na oblik navara kada se parametri podese van optimalnih uslova. Oblici navara trebalo bi da odgovaraju obliku prikazanom na slici (3.26).



Slika 3.26 Optimalan oblik navara

3.5.1. Jačina struja navarivanja

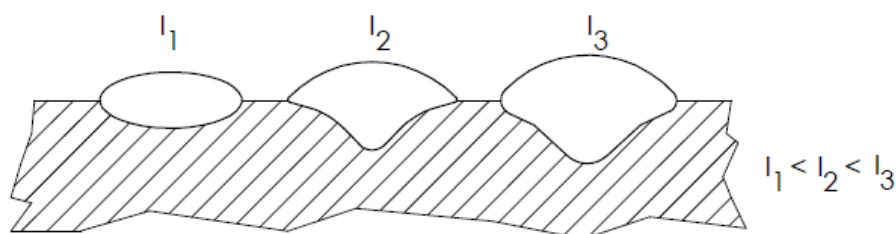
Jačina struje navarivanja je osnovni parameter koji direktno utiče na brzinu topljenja. Povećanje struje navarivanja povećava stopu topljenja elektrode pa prema tome daje i povećanje brzine topljenja. Na slici (3.27) data su brzina topljenja dodatnog materijala za različite nivoe struje.



Slika 3.27 Uticaj jačine struje na brzinu topljenja žice

Ipak, važno je uravnotežiti nivo struje sa ostalim parametrima u cilju dobijanja optimalnog oblika navara (3.26).

Slika (3.28) prikazuje efekat povećanja nivoa struje bez uravnoteživanja ostalih parametra. Penetracija navara u osnovi material se povećava usled povećanja unosa energije toplote koja direktno zavisi od nivoa struje.



Slika 3.28 Uticaj jačine struje na penetraciju

Poveđana penetracija dovodi do povećanja u mešanju dodatnog metala i lošeg oblika navara. U mnogim slučajevima ovo je nepoželjan efekat koji za rezultat može da ima pojavu pukotina kod očvršćavanja rastopljenog metala. Opšte uzev, sa podešavanjem struje podešavaju se ostali parametri navarivanja, npr. brzina navarivanja, da bi se postigao oblik navara (3.26).

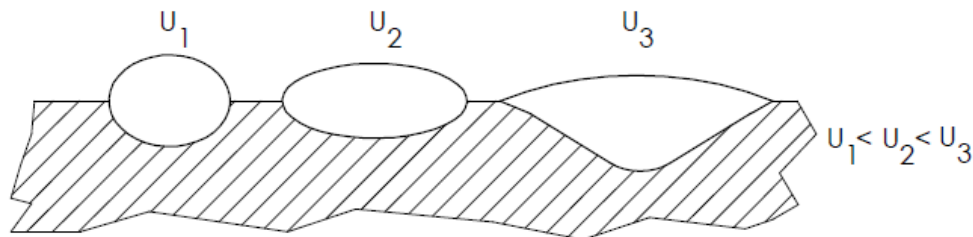
Minimalni i maksimalni nivoi struje koje bi trebalo koristiti pri EPP navarivanju žicom od 3.25 mm precnika, su sledeći: Jedna žica minimum 300A - maksimum 550A.

U koliko se prekorači ovaj maksimalni nivo počinju poteškoće u kontroli oblika navara.

3.5.2. Napon navarivanja

Napon zavarivanja ima mali uticaj na brzinu topljenja. Pri visokim naponima luka povećava se i njegova dužina, a smanjuje se elektrootporno predgrevanje produžetka elektrode, pa stoga smanjuje se i brzina topljenja.

Glavni uticaj napon ima na širinu navara. Povećanjem napona se smanjuje nadvišenje šava (3.29).



Slika 3.29 Uticaj napona na penetraciju

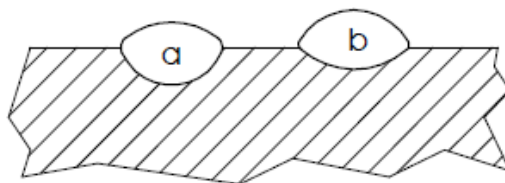
Suviše nizak napon može da izazove zajed ivice navara, što može da dovede do opadanja mogućnosti odvajanja troske i njenog utiskivanja u navar.

Kod navarivanja sa „tvin“ postupkom, visok napon može da rezultira situaciju da se javi izdignuti deo u centru krune navara kao rezultat prevelike blizine elektrode zenitu. Prema tome, korišćen napon kod navarivanja sa „tvin“ (navarivanje sa dve žice) postupkom trebalo bi da se kreće u donjoj granici opsega datog u tabeli 3.3, u skladu sa dobrim oblikom navara.

Kompletan opseg napona za SARCLAD materijale i za jednu i za navarivanje sa dve žice je 26 do 34V .Napon navarivanja trebalo bi da se odabere tako da da optimalni oblik navara.

3.5.3. Polaritet elektrode

Polaritet elektrode može biti pozitivan ili negativan u odnosu na deo koji se navaruje. Polaritet utice na brzinu topljenja i na mešanje legirajućih elemenata navara. Zavarivanje sa minus elektrodom daje više brzine topljenja (sl. 3.30b), ali niži stepen mešanja dodatnog materijala kada se uporedi sa zavarivanjem plus elektrodom (3.30a).



Slika 3.30 Uticaj polariteta elektrode na oblik i penetraciju navara

Negativan polaritet elektrode smanjuje provar, a povećava nadvišenje navara. Polaritet elektrode upravlja količinom prenosa energije kroz luk do osnovnog materijala. U slučaju sa navarivanjem negativnom elektrodom koristi se više energije luka za rastapanje elektrode, nego za topljenje osnovnog materijala koji treba navariti. Kod zavarivanja sa pozitivnom elektrodom više energije luka se prenosi na osnovni material koji treba zavariti, pa stoga sledi i niža brzina topljenja elektrode i količina depozita.

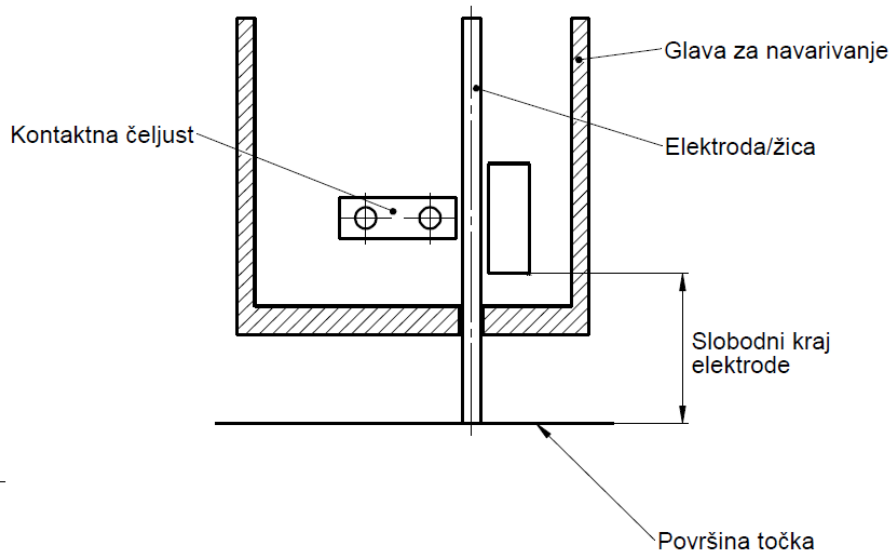
Navarivanje sa negativnom elektrodom treba koristiti za slučaj minimuma mešanja legirajućih elemenata navara i kao takva upotrebljava se za prvi sloj navarivanja. Ovo je važno radi svođenja na minimum ili potpunog uklanjanja mogućnosti nastojanja pukotina tokom očvščivanja usled mešanja legirajućih elemenata dodatnog metala i za svođenje na minimum opsega dubine izmešanog dodatnog materijala.

Pozitivna elektroda treba da se koristi generalno za nanošenje narednih slojeva dodatnog materijala posle prvog sloja. Ovakvim navarivanjem se dobija čistiji navar nego sa negativnom elektrodom usled veće snage provara luka.

3.5.4. Slobodna dužina elektrode

Osnovni uticaj slobodne dužine elektrode ide u smeru (3.31) brzine topljenja. Brzina sagorevanja elektrode povećava se sa povećanjem slobodnog kraja elektrode zbog Džulovog zakona I^2R o elektrootpornom zagrevanju. Elektroda se predgreva pre luka, što luk čini mnogo efikasnijim u topljenju same elektrode, pa se stoga povećava i brzina topljenja.

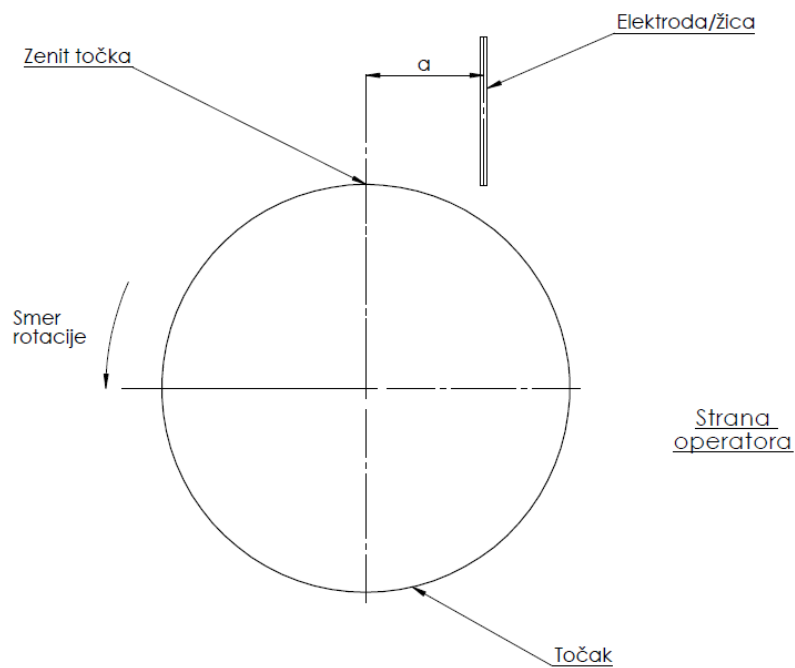
Prednost povećane brzine topljenja se koristi u malom obimu korišćenjem produžetka elektrode od 60 do 65 mm. Vidljivi i slobodni kraj elektrode ispod osnove glave za navarivanje trebala bi da iznosi 40-45mm. Predug slobodni kraj elektrode može da se odrazi na ivicu navara čineći je talasavom kao u slučaju kada ispravljači žice ne obavljaju svoju funkciju.



Slika 3.31 Slobodni kraj elektrode

3.5.5. Položaj elektrode

Položaj elektrode na zenit točka (3.32) je veoma važan u cilju postizanja dobrog oblika navara i dobre mogućnosti uklanjanja troske.



Slika 3.32. Položaj elektrode ispod zenita točka

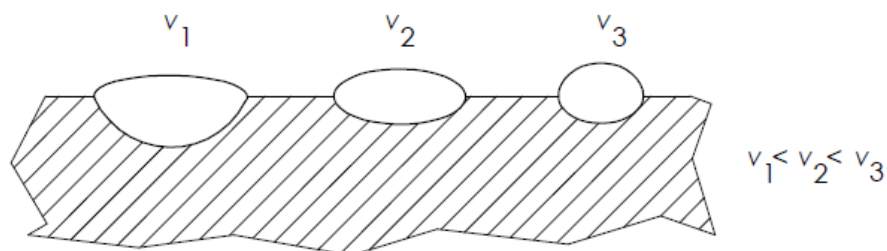
Uticao položaja elektrode na oblik navara razmatraju se na gotovo idealno postavljene elektrode. Položaj elektrode je kritičniji, a njegovi efekti jasno vidljivi kod navarivanja točkova malog prečnika.

Ako je elektroda postavljena predaleko od zenita, navar će biti širok i sa malim nadvišenjem, što u slučaju navarivanja prvog sloja može za rezultat da ima pukotine na sredini navara. Navar čak može da pokaže određenu nestabilnost, talasavu ivicu i u ekstremnim slučajevima navar ima tendenciju curenja (tečenja) na dole.

Ako je elektroda postavljena preblizu zenita navar će izgledati uže nego obično. Imade veće nadvišenje kao da navar pokušava da “pobegne” od položaja elektrode i ovo se obično javlja u centru navara. Navedeni oblik navaraje sličan po pojavi efektu visokog napona kod navarivanja „tvin“ postupkom, to jest, dolazi do izdignutog centralnog dela navara. Prema tome, važno je posvetiti pažnju identifikaciji ovog problema.

3.5.6. Brzina navarivanja

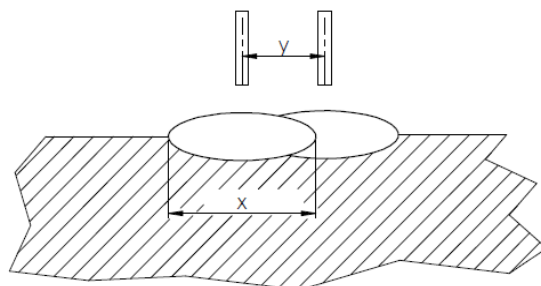
Brzina navarivanja generalno govoreći, ima uticaj na širinu navara, to jest, povećanje brzine smanjiće širinu i obrnuto, dajući i ravan oblik nanešenog navara (3.33). Brzina navarivanja mora stoga da se podesi zajedno sa naponom navarivanja i strujom radi dobijanja idealnog oblika navara i proizvodnje navarenih slojeva bez defekta.



Slika 3.33 Uticaj brzine navarivanja na profil navara

3.5.7. Preklapanje navara

Procentualno preklapanje navara kvantifikuje se uz pomoć veličine za koju drugi navar preklopi prvi u momentu kada se nanese na jednu stranu (3.34)



Slika 3.34 Preklapanje navara

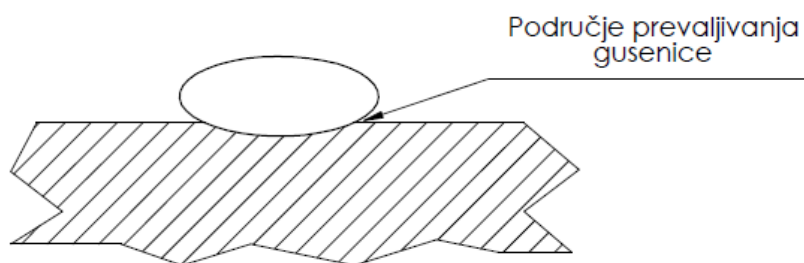
Glavni uticaj preklopa navara ide na mešanje navara pošto se više energije luka koristi za ponovljeno topljenje predhodno nanešenog navara umesto za topljenje osnovnog materijala. Tabela 3 prikazuje mešanja dodatnog metala koje se javlja za različite preklope navara.

Tabela 3.4 Mešanje materijala šava za različite preklope navara [16]

Procentualni preklop navara	Procentualno mešanje materijala šava	
	Polaritet elektrode	
	Negativna	Pozitivna
0	45-50	50-60
50	35-40	40-45
55	30-35	35-40
60	20-25	30-35
65	15-20	25-30
Vertikalno čelo		10-15

Nadvišenje navara se takođe povećava se povećanjem preklopa navara.

Međutim, treba povesti računa kod navarivanja sa visokim preklapom šava da ne dođe do prevaljivanja (3.35). Ako dođe do prevaljivanja šava na šav može se javiti slabija mogućnost uklanjanja troske, a za greškom vezivanja koje povećavaju mogućnost dojava uključaka troske. U mnogo slučajeva prevaljivanje šavova će se javiti kada se koriste preklopi šava veći od 70%.



Slika 3.35 Prevaljivanje navara

Preklop navara je vrlo važan parameter jer se koristi za ograničenje mešanja materijala šava navarivanja prvog sloja, to jest, materijal koji ne može navariti uspešno sa 50% preklopa mogao bi se uspešno navariti sa 65% preklopa.

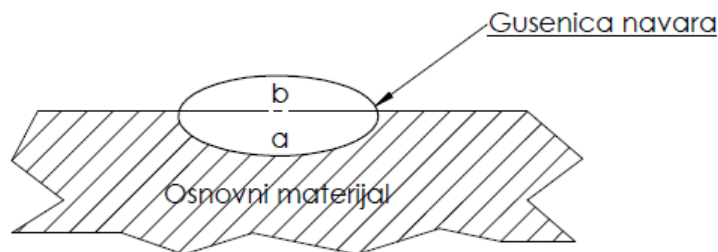
3.5.8. Mešanje i prvi sloj navara

Prvi sloj operacije navarivanja daje prelaznu zonu sa sastava osnovnog materijala točka na sastav navarenog sloja. Izuzetno je važno da ova zona bude bez defektnih navara.

Moguće je navariti točak direktno tvrdim materijalom pri čemu je ograničavajući factor za zadovoljavajuće nanošenje tvrdog material, rezultirajući sadržaj ugljenika izmešanog dodatog materijala šava. Sadržaj ugljenika prisutan u izmešanom materijalu šava može direktno da se navari legurom za tvrdo navarivanje ili se mora koristiti pufer sloj da se obezbedi prelazni hemijski sastav, to jest, pufer sloj bi trebalo da smanji sadržaj ugljenika tako da bezbedno može da se nanese materijal za tvrdo navarivanje.

3.5.9. Proračun izmešanog hemijskog sastava materijala šava

Da bi mogao da se proračuna sastav izmešanog dodatnog materijala mora se znati procentualno mešanje materijala šava. Procentualno mešanje šava može se proračunati iz veličine penetracije šava u osnovni materijal (3.36)



Slika br. 3.36. Procentualno mešanje navara

Veličina penetracije navara u osnovni materijal može se kontrolisati izmenom polariteta i iznosom preklopa navara.

Tabela 3.4 daje rezultirajuće nivoe mešanja prema promeni ovih parametra. Primer kako se može koristiti tabela 3 radi proračuna rezultirajućeg sadržaja ugljenika prisutnog u izmešanom materijalu šava sledi u daljem tekstu:

- Sadržaj ugljenika osnovnog materijala točka =0.4-0.45%
- Sadržaj ugljenika dodatog materijala WLDC 12 =0.16%

Navarivanje sa elektrodom na negativnom polu i sa 55% preklopa navara imaće za rezultat 30-35% mešanja materijala navara:

$$0.45 \times 0.35 / 100 = 0.158 \%$$

Sadržaj ugljenika materijala navara kao rezultat mešanja sa materijalom točka

$$0.16 \times 65 / 100 = 0.104\%.$$

Maksimalni dozvoljeni sadržaj ugljenika u izmešanom SARKLAD materijalu navara dati su u tabeli 3.5.

Tabela 3.5 Maksimalni sadržaj ugljenika za izmešani Sarclad dodatni materijal [16]

WLDC	1	3	6	8	9	10	12
Max. C, %	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3

Bez obzira na proračun koji pokazuje da se navarivanje može izvesti direktno sa „tvrdim slojem”, u praksi se pokazalo da se primenom pufer sloja, kada je potrebno navariti 3 i više „tvrda” sloja, sprečava širenja mikropukotina u zonu osnovnog materijala.

4 UNOS TOPLOTNE ENERGIJE

U ovom poglavlju je razmotren termomehnički problem unosa toplote pri navarivanju u cilju određivanja temperature, kao najvažnijeg parametra tokom procesa reparacije, [17].

Predgrevanje se često koristi kao metoda za smanjenje brzine hlađenja tokom zavarivanja, čime se dobija povoljnija mikrostruktura zavarenog spoja, tj. bolje osobine i smanjena osetljivost na lom, [17]. Stoga, precizno određivanje temperature predgrevanja tokom zavarivanja iz više prolaza (primera radi, kod reparaturnog EPP postupka) je od ključne važnosti. Sa tim ciljem se često primenjuju analitički proračuni, zasnovani na analizi transfera toplote, ali kako bi se oni praktično primenjivali, neophodna su određena pojednostavljenja, koja negativno utiču na tačnost. Ovaj problem je razmatran i opisan u mnogim radovima, primenom jednostavne analize transfera toplote, kod koje je neizbežno zanemarivanje efekata poput radijacije i zavisnosti temperature od termomehničkih svojstava materiala, [18, 19]. Sa druge strane, numeričke metode, posebno one koje su zasnovane na metodi konačnih elemenata, obezbeđuju preciznija rešenja termomehničkih problema poput zavarivanja, s obzirom da uzimaju u obzir uticaj radijacije, i promenu termomehničkih svojstava u zavisnosti od temperature, ali su takođe i mnogo komplikovanije za primenu [20, 21, 22]. Stoga, sa inženjerskog stanovišta, analitički proračun temperature predgrevanja i dalje predstavlja bitnu metodu, ali zahteva i eksperimentalnu verifikaciju tačnosti i primenljivosti. Eksperimentalno merenje je danas dostupno u svom najjednostavnijem obliku, npr. infracrveno merenje pomoću termovizijskih kamera, [23,24].

U ovom radu je primenjen analitički proračun zasnovan na analizi transfera toplote, u cilju određivanja temperature tokom faze hlađenja pri reparaturnom zavarivanju kranskih točkova u Železari Smederevo, i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima merenja termovizijskom kamerom, tj. infracrvenog merenja.

U tabeli 4.1 dati su parametri navarivanja određeni u poglavlju 3 na osnovu detaljne analize njihovog uticaja na oblik i svojstva navarenog sloja.

Tabela 4.1 Parametri navarivanja točkova

Redni broj sloja	DM	Jačina struje, A	Napon, V	Brzina zavari- vanja, cm/min
1	WLDC-9	300	28	50
2-4	WLDC-12	300	28	50

I – jačina struje, A

U - napon električnog luka, V

v - brzina zavarivanja cm/min

η - koeficijent iskoristivosti električnog luka, za EPP je 0,9

Za vrednosti iz tablice 4.1 (prvi prolaz): I=300 A, U=28 V, v =50 cm/min i koeficijent iskorišćenja električnog luka za EPP $\eta=0,9$ (4.1), dobija se:

$$E = \frac{I \cdot U \cdot 60}{v \cdot 1000} \cdot \eta \quad (4.1)$$

$$E = \frac{I \cdot U \cdot 60}{v \cdot 1000} \cdot \eta = \frac{300 \cdot 28 \cdot 60}{50 \cdot 1000} \cdot 0.9$$

$$E = 9.072 \text{ kJ / cm}$$

Odnosno količina dovedene toplote za navarivanje jednog –prvog sloja (4.2) iznosi

$$Q_u = E \cdot l \quad (4.2)$$

l – dužina navarivanja

n – broj navara (“gusenica”) u jednom sloju

$$l = n \cdot 2 \cdot R \cdot \pi = 8 \cdot 2 \cdot 30 \cdot \pi$$

$$l = 1507.96 \text{ cm}$$

$$Q_u = 9.072 \cdot 1507.96$$

$$Q_u = 13680.254 \text{ kJ}$$

Količina unete toplote za navarivanje 3 sloja (tvrdi nanos) je znatno veća jer je dužina navarivanja

$$l_1 = n_1 \cdot 2 \cdot R \cdot \pi = 40 \cdot 2 \cdot 31.5 \cdot \pi$$

$$l_1 = 7917 \text{ cm}$$

$$Q_{u1} = 9.072 \cdot 7917$$

$$Q_{u1} = 71823 \text{ kJ}$$

4.1. Količina odvedene toplote usled hlađenja

Količina toplote koja se odvede sa točka, jednaka je količini toplote koja se sa graničnih površina točka postavljenog na pozicioner preda konvekcijom okolnom vazduhu (zanemareno zračenje). Predpostavlja se da je prostiranje toplote u samom točku tako, da se može smatrati da je temperatura u svakom trenutku vremena ista u celom točku (termički otpor provođenja toplote je zanemarljivo mali). [25]:

$$|dQ| = \alpha \cdot A \cdot (t - t_0) d\tau = -V \cdot \rho \cdot c \cdot dt, \quad (4.3)$$

Sledi da je

$$\int_{t_p}^t \frac{dt}{t - t_0} = -\frac{\alpha \cdot A}{V \cdot \rho \cdot c} \int_0^\tau d\tau$$

Integraljenjem izraza dobija se

$$\ln \frac{t - t_0}{t_p - t_0} = -\frac{\alpha \cdot A \cdot \tau}{V \cdot \rho \cdot c},$$

odnosno

$$\frac{t - t_0}{t_p - t_0} = e^{-\frac{\alpha \cdot A \cdot \tau}{V \cdot \rho \cdot c}}$$

Gde je : t – trenutna temperatura

$t_0 = 18^\circ\text{C}$ - temperatura okolnog vazduha (pretpostavlja se da nema strujanja i da je konstantna)

$t_p = 250^\circ\text{C}$ – početna temperatura točka

$\alpha = 6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ - Koeficijent prelaza toplote sa točka na vazduh (konstantan)

$A = 1.307 \text{ m}^2$ - granična površina točka

$V = 0.0361 \text{ m}^3$ - zapremina točka

$\rho = 7850 \text{ kg}/\text{m}^3$ - specifična težina točka

$c = 0.461 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kgK})$ - specifična toplota

$\tau = 3600 \text{ s}$ - vremenski period

Posmatajući period od postavljanja točka sa $t_p = 250^\circ\text{C}$ na pozicioner, do navarivanja prvog sloja (3600s-prosečno vreme navarivanja jednog sloja sa svim pauzama/zastojima), točak preda okolnom vazduhu temperature $t_0 = 18^\circ\text{C}$, određenu količinu toplote Q i njegova temperatura bi, da nema dodatnog unosa toplote od navarivanja, bila:

$$t = (t_p - t_0) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot A \cdot \tau}{V \cdot \rho \cdot c}} + t_0$$

$$t = (250 - 18) \cdot e^{-\frac{6 \cdot 1.307 \cdot 3600}{0.0361 \cdot 7850 \cdot 0.461 \cdot 10^3}} + 18$$

$$t = 203^\circ\text{C}$$

a odvedena toplota je:

$$Q = \bar{\alpha} \cdot A \cdot (t - t_0) \tau,$$

Za određivanje Nusselt-ovog broja (4.4) pri prirodnoj konvekciji sa horizontalnog valjka na miran okolni vazduh može se upotrebiti sledeći izraz [26, 27]

$$N_u = c \cdot (G_r \cdot P_r)^n \cdot \left(\frac{P_r}{P_{rz}}\right)^{0.25} \quad , (4.4)$$

Fizičke osobine vazduha za srednju temperaturu $t_f=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ su [26]:

$$\lambda=2.59 \cdot 10^{-2} \text{ W/mK}$$

$$\nu=15.06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_r=0.703$$

Prandtl-ov broj za vazduh pri temperaturi $t_z=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ je $P_{rz}=0.677$ [26]

Koeficijent zapreminskog širenja vazduha je predstavljen u jednačini (4.5)

$$\beta = \frac{1}{t_f} = \frac{1}{293} \text{ K}^{-1} \quad (4.5)$$

Proizvod Grashof-og i Prandtl-ovog broja je prikazana u jednačini (4.6):

$$G_r \cdot P_r = \frac{\beta \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{1}{293} \cdot 9.81 \cdot 0.205^3 \cdot 232}{(15.06 \cdot 10^{-6})^2} = 295053663.52 \quad (4.6)$$

$$\text{Za } G_r \cdot P_r < 1 \cdot 10^9$$

$$c=0.5$$

$$n=0.25$$

$$N_u = c \cdot (G_r \cdot P_r)^n \cdot \left(\frac{P_r}{P_{rz}}\right)^{0.25}$$

$$N_u = 0.5 \cdot (292508584.52)^{0.25} \cdot \left(\frac{0.703}{0.677}\right)^{0.25}$$

$$N_u = 66.15$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{N}_u \cdot \lambda}{d} = \frac{66.15 \cdot 2.59 \cdot 10^{-2}}{0.205} = 8.4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Odnosno razmenjena količina toplote je prikazan jednačinom (4.7):

$$Q_o = \bar{\alpha} \cdot A \cdot (t - t_0) \tau \quad (4.7)$$

$$Q_o = 8.4 \cdot 1.307 \cdot (250 - 203) \cdot 3600$$

$$Q_o = 1857612.96 J$$

Ukupna količina toplote koja se zadrži na točku tokom navarivanja jednaka je razlici unete i odvedene količine toplote (4.8):

$$Q_{uk} = Q_u - Q_o \quad (4.8)$$

$$Q_{uk} = 13680.253 - 1857.613$$

$$Q_{uk} = 11822.641 kJ$$

Temperatura točka nakon navarivanja jednog sloja bez prekida bila bi:

$$Q = \bar{\alpha} \cdot A \cdot (t - t_0) \tau$$

$$t = 540 \text{ } ^\circ C$$

Temperatura dobijena proračunom je viša od stvarno izmerene temperature. Razlog je što se deo toplote sa točka prenosi zračenjem koje je u proračunu zanemareno.

Početna temperatura za navarivanje drugog i ostalih slojeva je viša od temperature predgrevanja (300-350 °C) i zato prilikom navarivanja ovih slojeva treba češće kontrolisati temperaturi i praviti pauze kako ne bi došlo do prekoračenja maksimalno dozvoljene temperature za navarivanje (450 °C), koja utiče na pojavu toplih prslina.

Ako se primenio isti postupak izračunavanja temperature točka nakon navarivanja tri „tvrda“ sloja dobija se:

$$t = (t_p - t_0) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot A \cdot \tau}{V \cdot \rho \cdot c}} + t_0$$

$$t = (350 - 18) \cdot e^{-\frac{6 \cdot 1.307 \cdot 18000}{0.0361 \cdot 78500 \cdot 461 \cdot 10^3}} + 18$$

$$t = 130 \text{ } ^\circ C$$

gde je:

$t_p=350^\circ\text{C}$ – početna temperatura točka

$\tau = 18000$ s - vremenski period

Prandtl-ov broj za vazduh pri temperaturi $t_z=350^\circ\text{C}$ je $P_{rz}=0.676$ [26]

$$G_r \cdot P_r = \frac{\beta \cdot g \cdot d^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{1}{293} \cdot 9.81 \cdot 0.205^3 \cdot 332 \\ = \frac{1}{(15.06 \cdot 10^{-6})^2} = 422231966.71$$

Za $G_r \cdot P_r < 1 \cdot 10^9$

$$c=0.5$$

$$n=0.25$$

$$N_u = c \cdot (G_r \cdot P_r)^n \cdot \left(\frac{P_r}{P_{rz}}\right)^{0.25}$$

$$N_u = 0.5 \cdot (422231966.71)^{0.25} \cdot \left(\frac{0.703}{0.676}\right)^{0.25}$$

$$N_u = 72.38$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{N}_u \cdot \lambda}{d} = \frac{72.38 \cdot 2.59 \cdot 10^{-2}}{0.205} = 9.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Q_o = \bar{\alpha} \cdot A \cdot (t - t_0) \tau$$

$$Q_o = 9.1 \cdot 1.307 \cdot (350 - 130) \cdot 18000$$

$$Q_o = 47099052 \text{ J}$$

$$Q_{uk} = 71823 - 47099$$

$$Q_{uk} = 24724 \text{ kJ}$$

$$Q = \bar{\alpha} \cdot A \cdot (t - t_0) \tau$$

$$t = 465^\circ\text{C}$$

Temperatura nakon navarivanja kompletnog točka dobijena proračunom je 465°C i ona se nešto malo razlikuje od temperature izmerene termovizijskom kamerom (slike 4.10-4.12)

Na slikama 4.2-4.12 prikazani su termovizijski snimci točka u nekoliko faza navarivanja. Snimci su izvedeni termovizijskom kamerom FLIR P640.

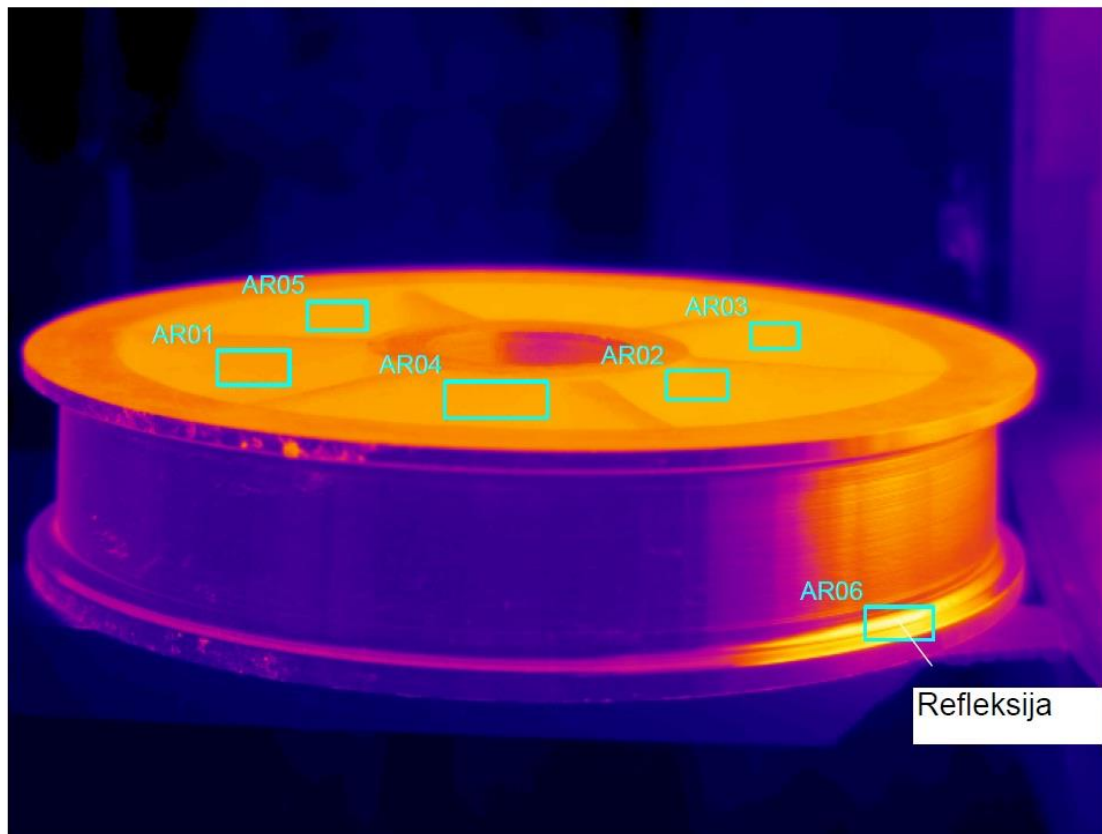
Karakteristike termovizijske kamere FLIR P640

Temperaturno područje: -40°C to +500°C, u 2. stepenu; + 2000°C

Tačnost merenja: ± 2 °C



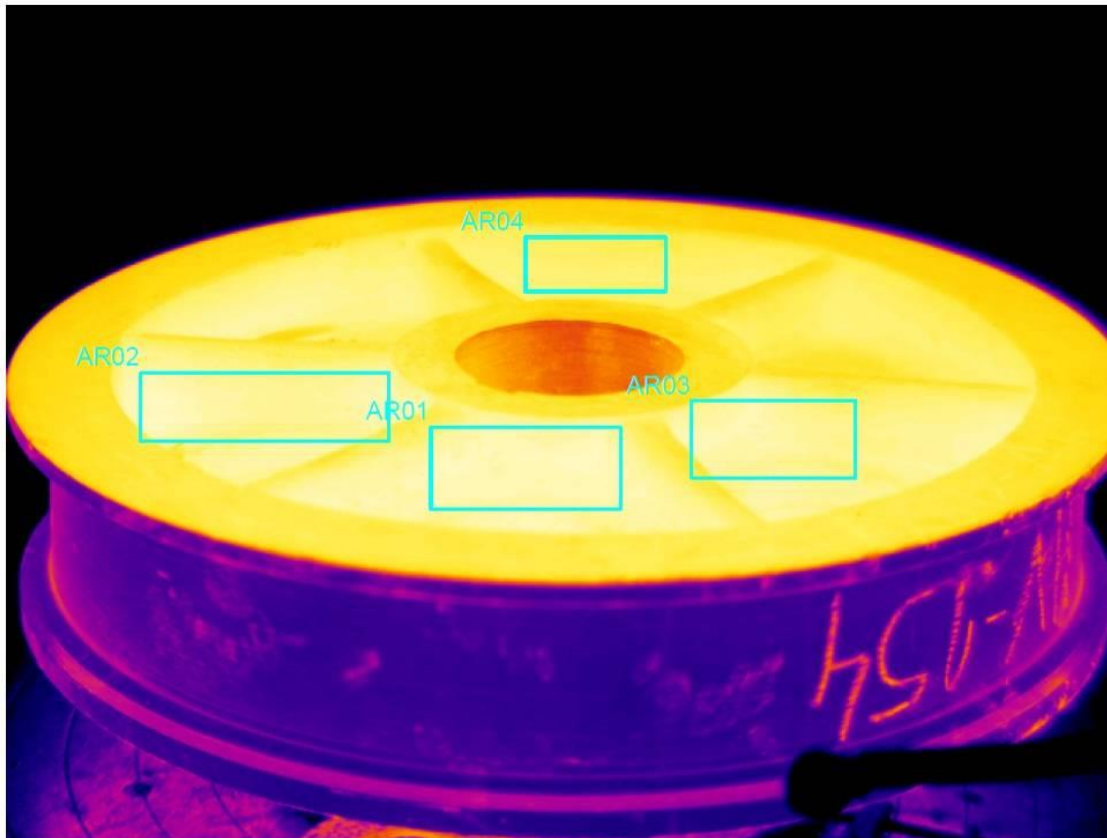
Slika 4.1 Kamera FLIR P640



Label	Value
AR02 : max	265.4°C
AR03 : max	267.5°C
AR04 : max	260.1°C
AR01 : max	253.1°C
AR05 : max	260.0°C
AR06 : max	337.8°C

Slika 4.2. Termovizijski snimak točka pri vađenju iz peći za predgrevanje

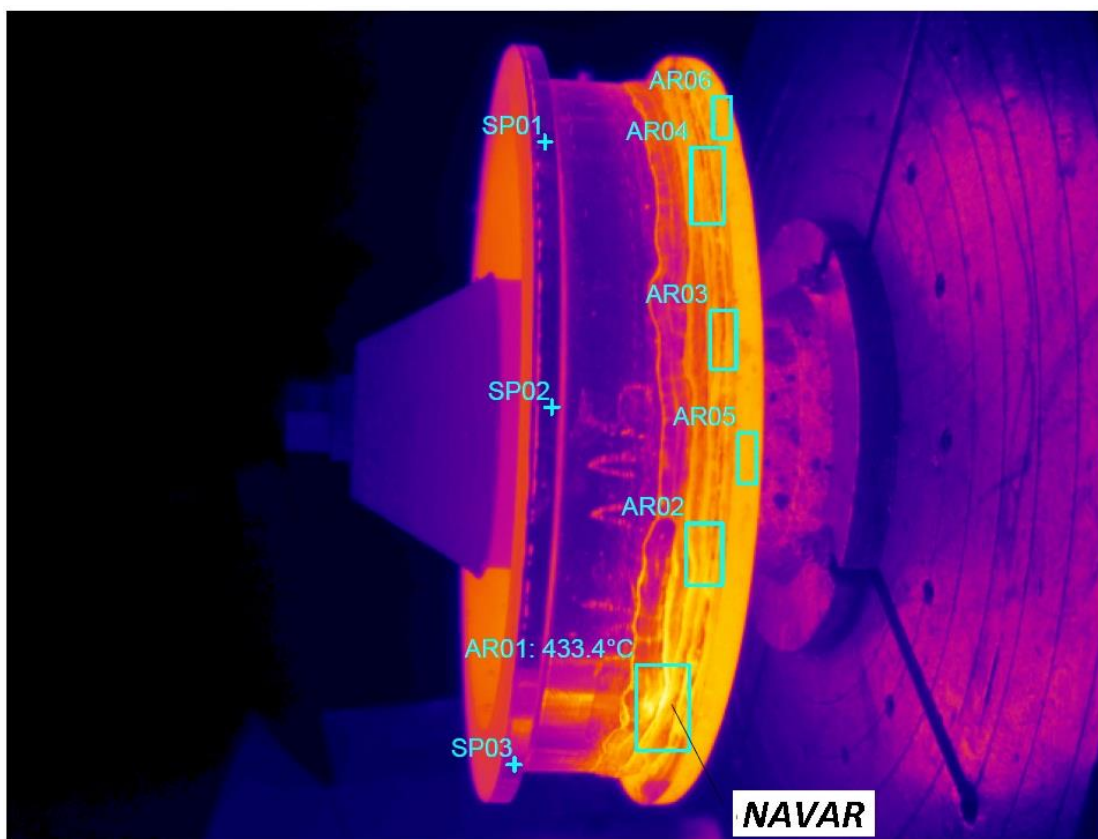
Točak $\phi 630$ se zagreva u peći za termičku obradu minimalno 4 sata na temperaturu 250 °C. Na slici 4.2 može se videti da usled refleksije uređaj za merenje temperature pokazuje znatno veću temperaturu, zato je neophodno da radnik koji koristi termovizijsku kameru bude dobro obučen (iskusan).



Label	Value
AR01 : max	249.4°C
AR02 : max	250.1°C
AR03 : max	248.0°C
AR04 : max	240.6°C

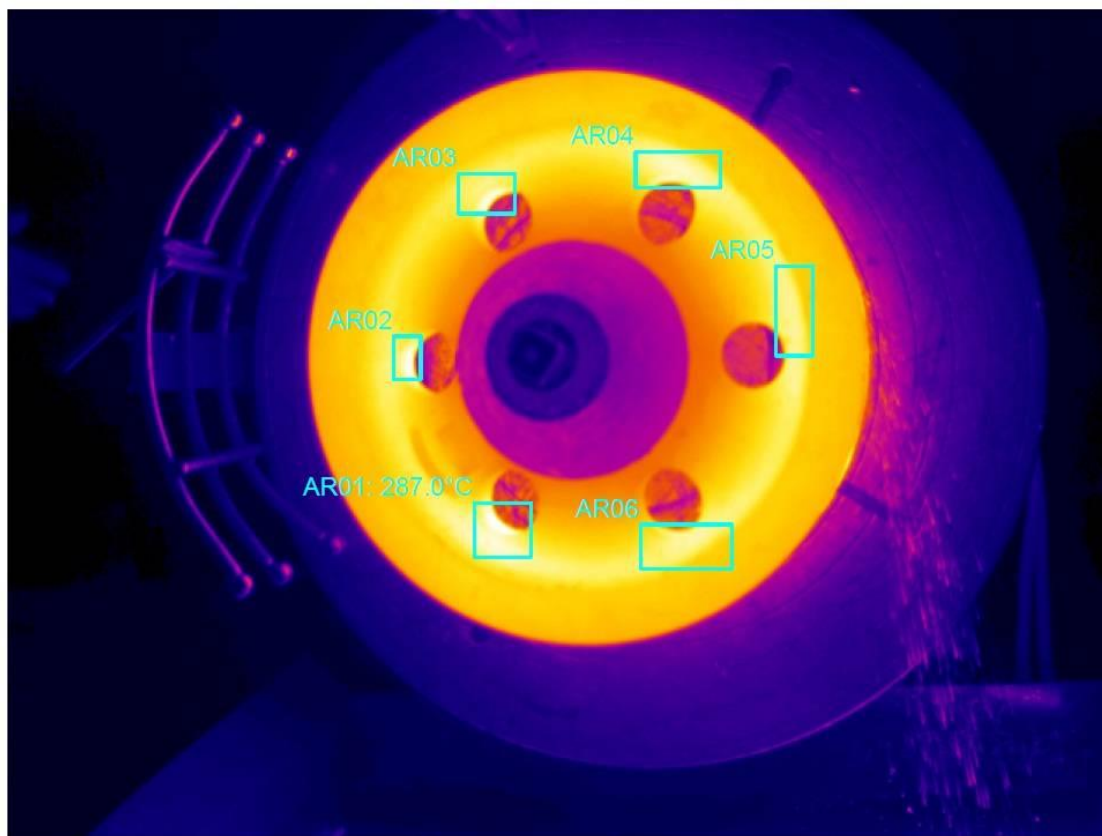
Slika 4.3. Termovizijski snimak točka pri postavljanju na pozicioner (alat)

I pored toga što se peć za predgrevanje točkova nalazi u neprednoj blizini uređaja za navarivanje, temperatura točka se smanji za 10-15 °C (sl. 4.3) dok se točak postavi na pozicioner i počne sa navarivanjem. Pad temperature može biti i veći u koliko se radi u zimskim uslovima kad je temperatura u pogonu niža.



Label	Value
SP01	90.1°C
SP02	80.0°C
SP03	126.0°C
AR01 : max	433.4°C
AR02 : max	386.1°C
AR03 : max	340.5°C
AR04 : max	344.1°C
AR05 : max	348.9°C
AR06 : max	346.2°C

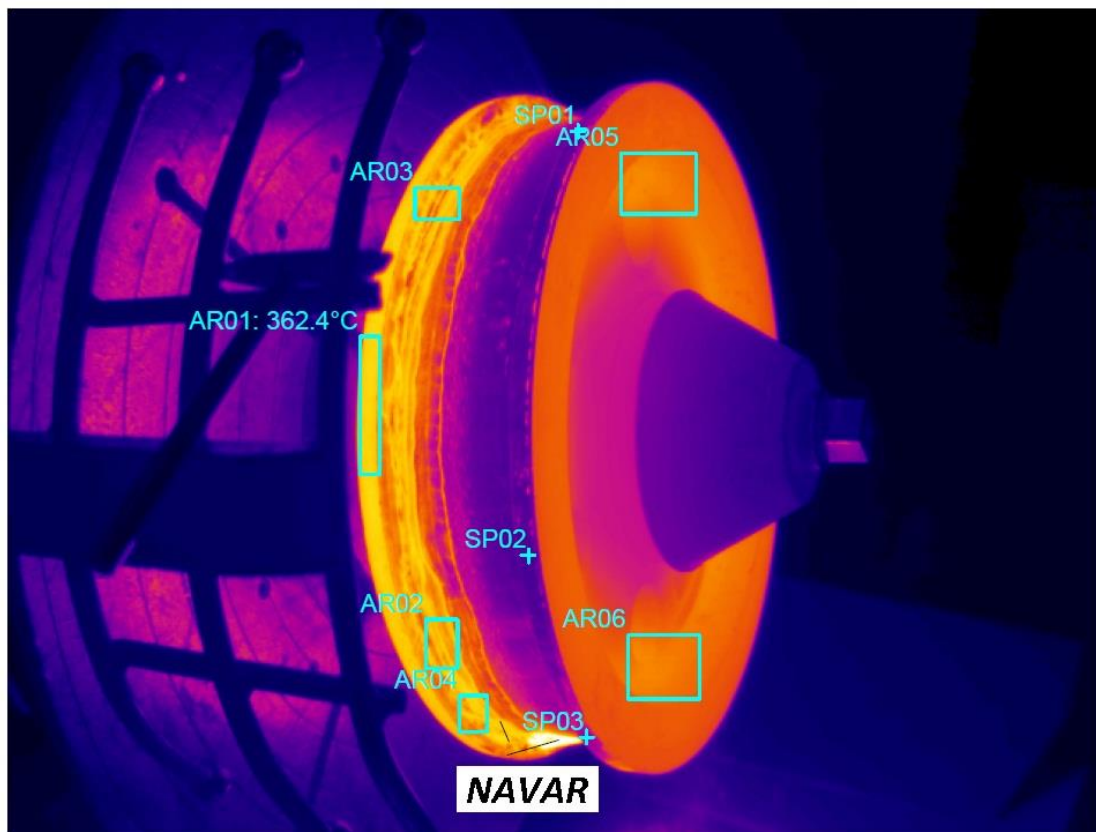
Slika 4.4. Termovizijski snimak točka 20 min nakon početka navarivanja
- strana suprotno od operatora -



AR01 : max	287.0°C
AR02 : max	276.4°C
AR03 : max	274.6°C
AR04 : max	268.2°C
AR05 : max	260.1°C
AR06 : max	262.2°C

Slika 4.5. Termovizijski snimak točka 20 min nakon početka navarivanja

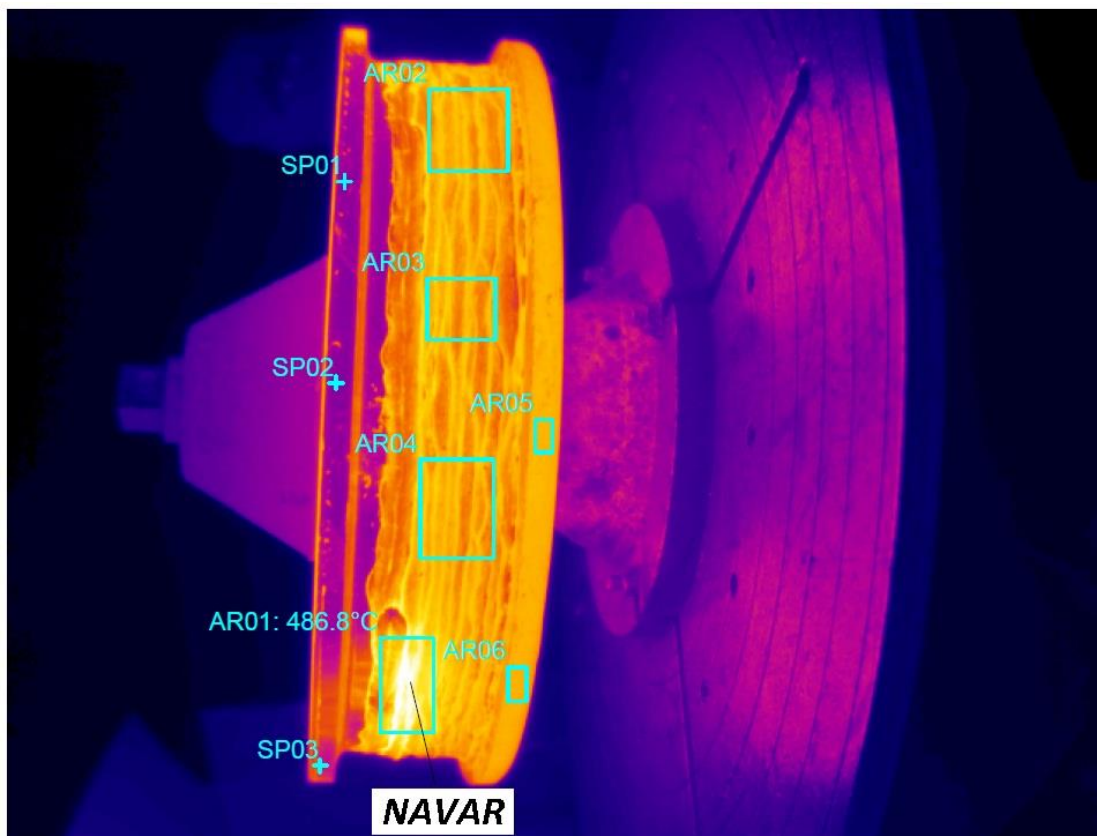
- čelna strana-



Label	Value
SP01	105.2°C
SP02	81.6°C
SP03	138.3°C
AR01 : max	362.4°C
AR02 : max	357.1°C
AR03 : max	352.8°C
AR04 : max	361.7°C
AR05 : max	289.7°C
AR06 : max	285.3°C

Slika 4.6. Termovizijski snimak točka 20 min nakon početka navarivanja
- strana operatora -

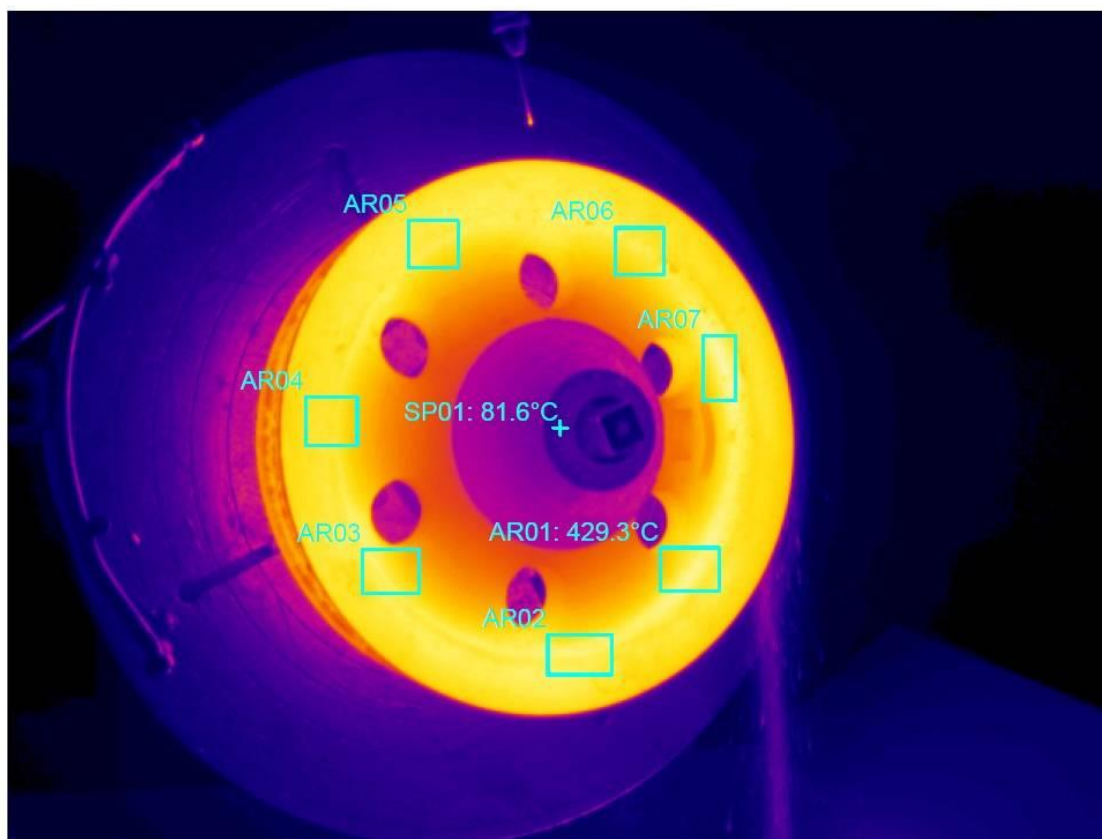
Na slikama 4.4, 4.5, i 4.6 vidi se da temperatura jako brzo raste i da u samoj zoni navarivanja dostiže temperaturu od preko 400 °C.



SP01	130.1°C
SP02	124.3°C
SP03	193.0°C
AR01 : max	486.8°C
AR02 : max	373.8°C
AR03 : max	382.4°C
AR04 : max	380.7°C
AR05 : max	349.3°C
AR06 : max	345.3°C

Slika 4.7. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja jednog prolaza (60 min)

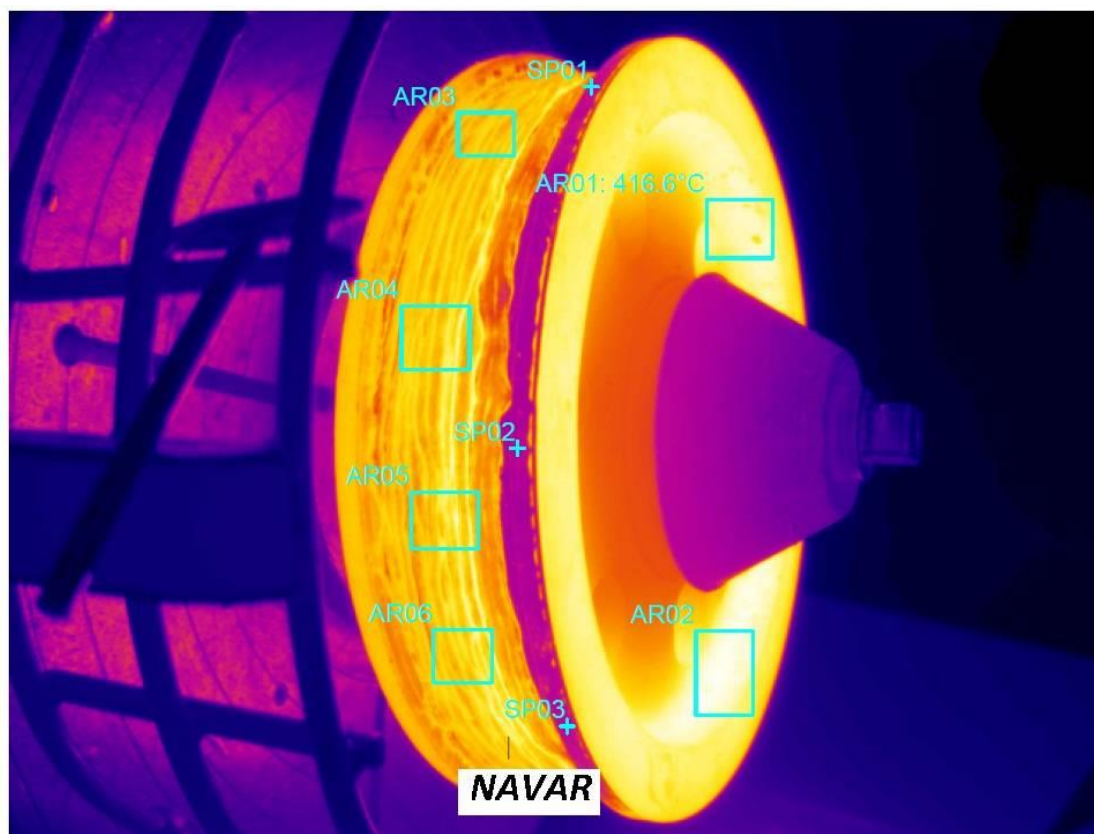
- strana suprotno od operatora -



Label	Value
AR01 : max	429.3°C
AR02 : max	423.4°C
AR03 : max	421.8°C
AR04 : max	405.9°C
AR05 : max	413.1°C
AR06 : max	414.7°C
AR07 : max	434.6°C

Slika 4.8. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja jednog prolaza (60 min)

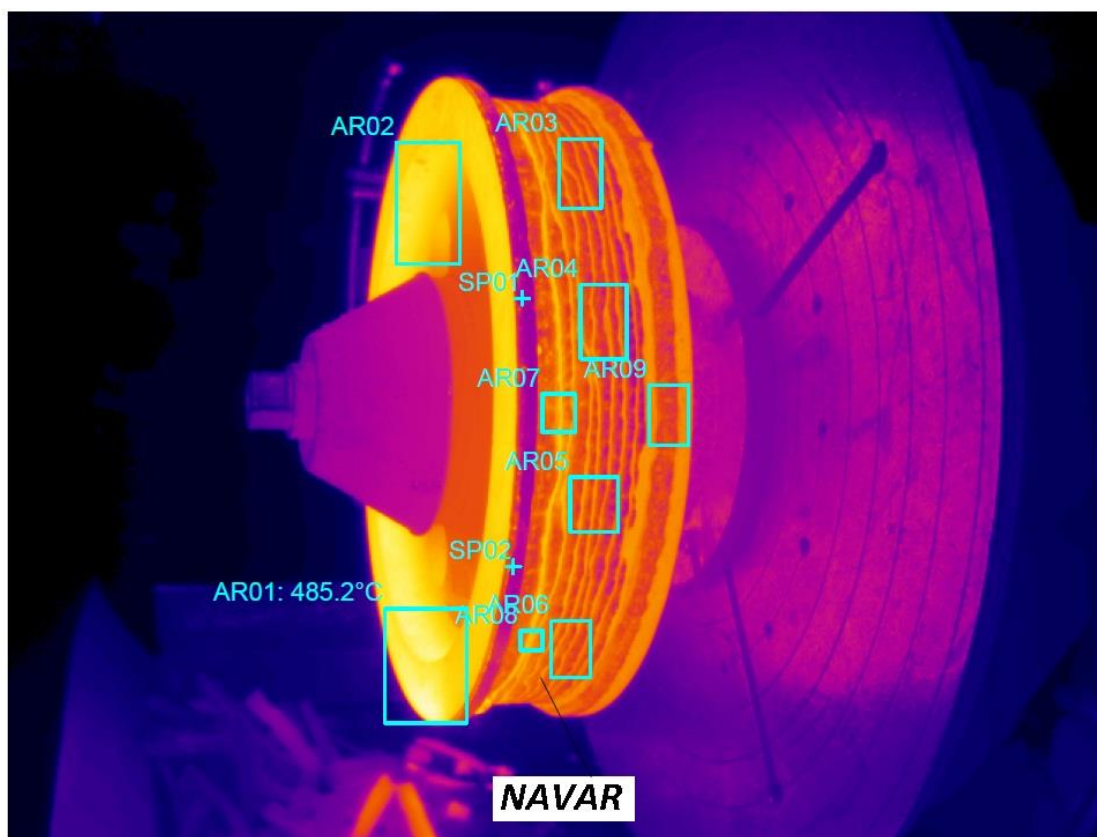
- čeona strana-



Label	Value
SP01	162.5°C
SP02	154.4°C
SP03	163.6°C
AR01 : max	416.6°C
AR02 : max	428.8°C
AR03 : max	375.3°C
AR04 : max	406.4°C
AR05 : max	415.2°C
AR06 : max	409.4°C

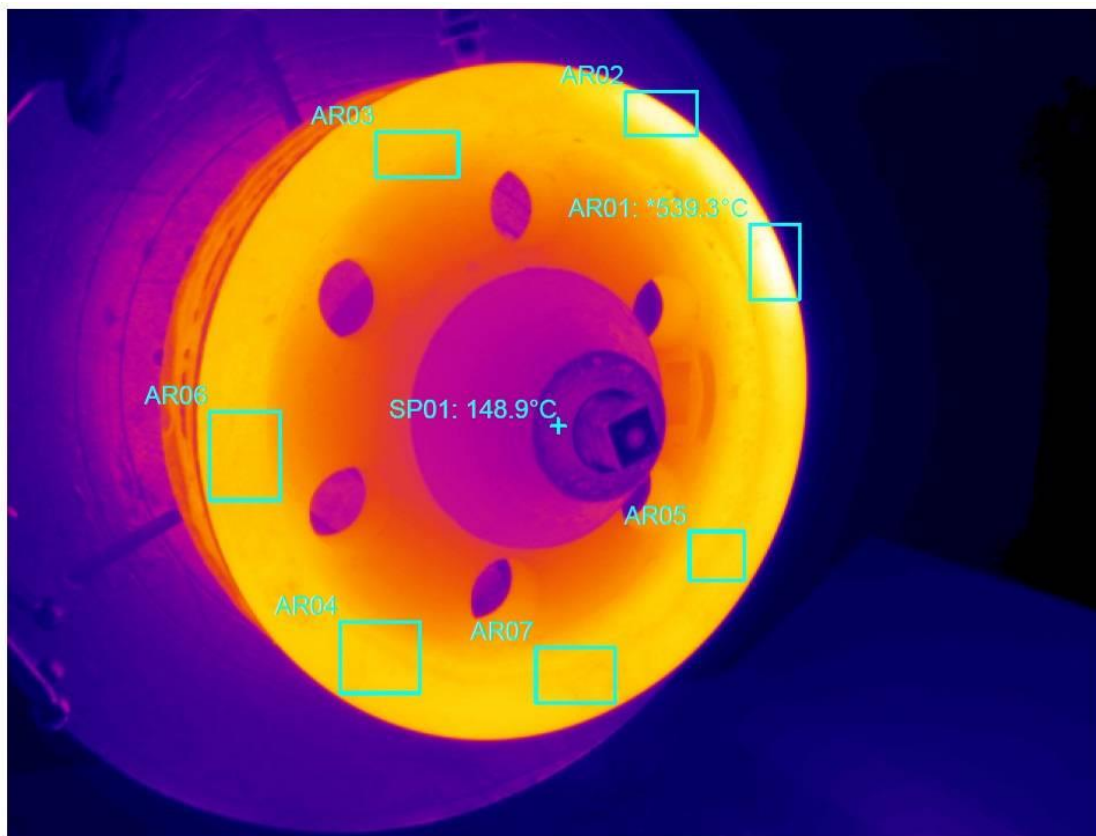
Slika 4.9. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja jednog prolaza (60 min)

- strana operatora -



Label	Value
SP01	157.9°C
SP02	176.9°C
AR01 : max	485.2°C
AR02 : max	449.8°C
AR03 : max	353.6°C
AR04 : max	377.3°C
AR05 : max	364.7°C
AR06 : max	356.8°C
AR07 : max	409.8°C
AR08 : max	396.5°C
AR09 : max	348.6°C

Slika 4.10. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja 4 prolaza, 5h
- strana suprotno od operatora -

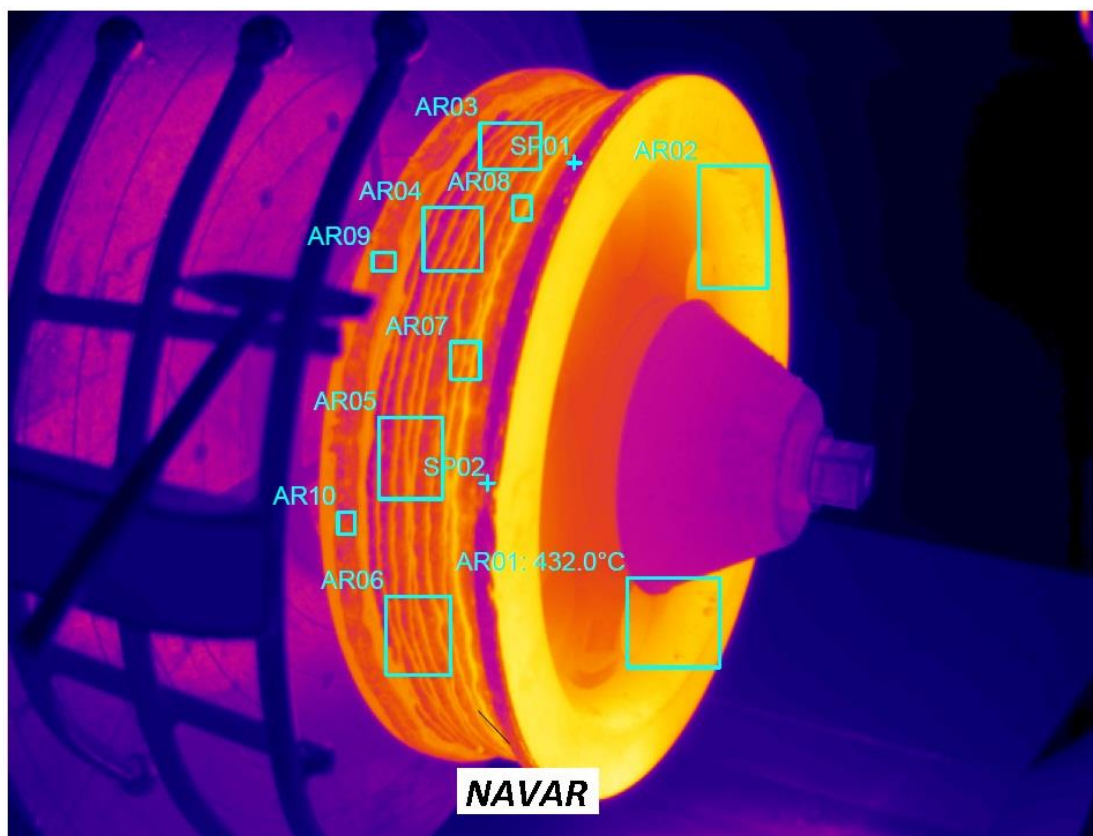


Label	Value
AR01 : max	*539.3°C
AR02 : max	*521.4°C
AR03 : max	424.0°C
AR04 : max	440.3°C
AR05 : max	446.1°C
AR06 : max	427.4°C
AR07 : max	441.5°C

Slika 4.11. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja 4 prolaza, 5h

- čeona strana-

Na slici 4.11 temperature označene „*” su nešto više usled refleksije i one se ne mogu koristiti za analizu.



Label	Value
SP01	186.0°C
SP02	207.8°C
AR01 : max	432.0°C
AR02 : max	442.2°C
AR03 : max	361.2°C
AR04 : max	351.2°C
AR05 : max	362.2°C
AR06 : max	386.8°C
AR07 : max	409.8°C
AR08 : max	396.9°C
AR09 : max	315.0°C
AR10 : max	292.4°C

Slika 4.12. Termovizijski snimak točka nakon navarivanja 4 prolaza, 5h
- strana operatora -

Može se primetiti da je maksimalna izmerena temperatura nešto niža od proračunski dobijene temperature (486°C na sl. 4.7, dobijena neposredno posle zavarivanja prvog sloja, i 540°C, temperature dobijena analitički). Svejedno, treba imati na umu da računске vrednosti predstavljaju prosečne vrednosti za ceo točak, dok izmerene vrednosti pokazuju lokalnu temperature, u maloj oblasti. Stoga, mnogo je realnije poređenje sa prosečnom vrednošću, koja ukazuje na značajnu razliku, najverovatnije prouzrokovanu zanemarivanjem uticaja radijacije i zavisnosti termomehaničkih svojstava materijala od promene temperature.

U svakom slučaju, s obzirom da je cilj ovog rada bio ne samo da se oceni tačnost, već i primenjivost analitičkog proračuna, takođe treba uočiti da se jednostavna analiza transfera toplote može iskoristiti kao prva aproksimacija, sa satnovišta temperature nakon navarivanja prvog sloja, koja je znatno iznad 250°C.

Točkovi koji su navarivani u periodu kada se nije kontrolisala temperatura u toku zavarivanja i kada je najvažnije bilo da se navarivanje izvede u što kraćem roku su redovno pucali po celoj širini (slika 4.13 i 4.14) i to neposredno nakon navarivanja. Razlog za pojavu prslina je previsoka temperatura navarivanja. Takođe, prslina se javljaju i slučaju nekontrolisanog hlađenja. Na slici 4.15 prikazana je fotografija točka na kome zbog kvara uređaja za navarivanje nije navaren 3 tvrdi sloj i ostavljen je da se hladi na mašini.



Slika 4.13. Prslina po celom preseku točka neposredno posle navarivanja



Slika 4.14. Prslina po celom preseku točka neposredno posle navarivanja II sloja



Slika 4.15. Prsline po celom obimu točka usled nekontrolisanog hlađenja

Na osnovu rezultata prikazanih u radu, može se zaključiti sledeće:

- Proračunata temperatura točka nakon navarivanja prvog sloja ima veću vrednost od izmerene, u koliko se poredе prosečne vrednosti (540°C naspram 486°C), verovatno usled uticaja radijacije i zavisnosti termomehaničkih svojstava materijala od temperature, koji su zanemareni.

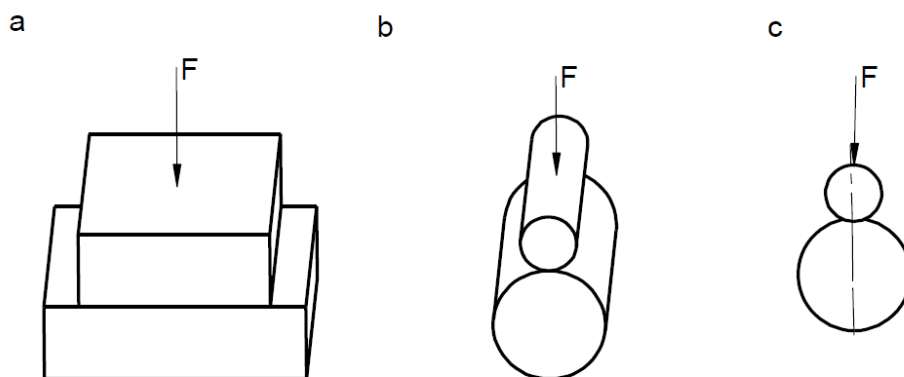
- Proračunata temperatura kompletno navarenog točka je skoro jednaka maksimalno izmerenim temperaturama (analitički 465°C , izmerena 440°C sl. 11), ali je veća je od prosečno izmerene iz istog razloga kao u slučaju navarivanja prvog sloja.
- Ovakav proračun nema veliku tačnost, ali je i dalje primenljiv u slučajevima vezanim za reparaturno navarivanje i procenu temperature predgrevanja.
- Analitički proračun bi trebalo poboljšati, uzimanjem u obzir radijacije, i ako bi to značajno zakomplikovalo proceduru. U svakom slučaju, zavisnost termomehaničkih svojstava od temperature se ne može uzeti u obzir, osim u slučaju numeričkih metoda, s obzirom da bi u tom slučaju jednačine postale nelinearne.

5 NUMERIČKA SIMULACIJA NAPONSKOG STANJA KRANSKOG TOČKA

5.1 Kontaktna naprežanja, Hercovi pritisci

U odnosu na zapreminska naprežanja površinska naprežanja su manje istražena, pa se i proračuni površinskih naprežanja mašinskih delova u izvesnom stepenu orijentacioni. Radni napon predstavlja površinski pritisak na dodiru mašinskih delova. Razlikuju se dva osnovna slucaja dodira mašinskih delova:

- Delovi se u neopterećenom stanju dodiruju po konačnim površinama (5.1a)
- Delovi se u neopterećenom stanju dodiruju duž linije ili u tački (5.1c).



Slika 5.1 Dodir mašinskih delova po konačnoj površini (a), po liniji (b), u tački (c)

Kod dodirivanja po konačnoj površini, proračun se najčešće izvodi sa srednjim površinskim pritiskom (5.1):

$$P_{sr} = \frac{F}{A} \quad (5.1)$$

Za slučaj dodira ispupčene i izdubljene cilindrične površine srednji površinski

pritisak iznosi (5.2):

$$P_{sr} = \frac{F}{d \cdot l} \quad (5.2)$$

Dodir mašinskih delova duž linije ili u tački u praksi nastaje pri dodiru dve svere ili sfere i ravne površine (dodir u tački) odnosno pri dodiru dva cilindra i ravne površine (dodir po liniji). Veličina dodirne površine zavisi od veličine deformacija u zoni kontakta. Dodirna naprezanja istraživao je Herc (Hertz), a proračun koji je dao, uz izvesne korekcije se i danas primenjuje. Proračun važi uz sledeće pretpostavke, [28]:

- materijali delova su homogeni i izostreni:
- opterećenje u zoni dodira izaziva samo elastične deformacije, koje sledi Hukov (Hooke) zakon:
- sila opterećenja delova deluje u pravcu zajedničke normale:
- dodirna površina posle deformisanja je konačna, ali ipak mala u poređenju sa površinama delovi koji se dodiruju.

Ako se dve sfere pritisnu jedna u odnosu na drugu silom F , onda će doći do deformacije u zoni kontakta, tako da dodir više neće biti u tački već po konačnoj dodirnoj površini. Dodirna površina je u obliku kruga poluprecnika r . Ako su sfere poluprecnika krivina ρ_1 i ρ_2 , izrađene od materijala sa modulima elastičnosti E_1 i E_2 , onda poluprečnik kruga površine dodira iznosi (5.3):

$$r_0 = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot F \cdot (1-\nu)^2 \cdot \frac{\rho}{E}} \quad (5.3)$$

ν - Pausonov (Poisson) koeficijent

$$E = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \text{ - Ekvivalentni modul elastičnosti}$$

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \text{ - Ekvivalentni radijus krivine}$$

S obzirom da je za većinu materijala $\nu=0.3$ dobija se:

$$r_0 = 1.109 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot \rho}{E}}$$

Srednji površinski pritisak na dodirnim površinama iznosi:

$$P_{sr} = \frac{F}{A} = \frac{F}{r_0^2 \cdot \pi} = 0.259 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot E^2}{\rho^2}}$$

Raspodela pritiska po dodirnoj površini nije ravnomerna. Prostorni dijagram površinskog pritiska je u obliku polovine obrtnog elipsoida, tako da je maksimalni površinski pritisak;

$$P_{\max} = \frac{3}{2} \cdot P_{sr} = 0.388 \cdot \sqrt[3]{\frac{F \cdot E^2}{\rho^2}}$$

Kod dodira dva cilindrična masinska dela sa paralelnim izvodnicama, površina dodira ima oblik uskog pravogaonika širine $2e$ i dužine l . Ako su poluprecnici krivine ovih cilindara ρ_1 i ρ_2 , i ako su izraženi od materijala sa Pausonovim koeficijentom $\nu = 0.3$ i modulom elastičnosti E_1 i E_2 , onda je širina pravogaonika dodirne površine:

$$2e = 3.04 \sqrt{\frac{F \cdot \rho}{E \cdot l}}$$

Srednji površinski pritisak na dodirnim površinama iznosi:

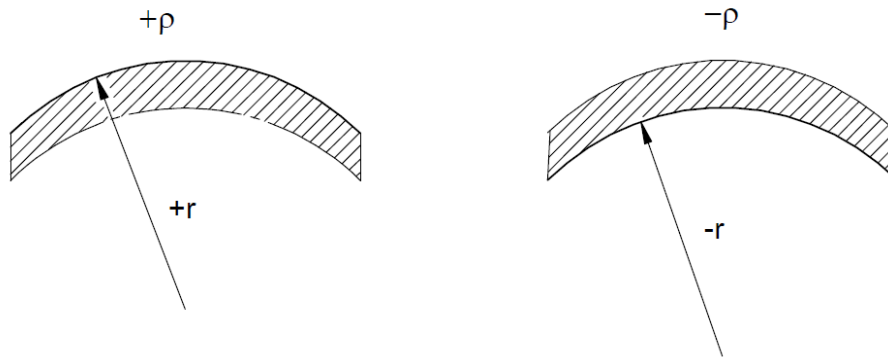
$$P_{sr} = \frac{F}{A} = \frac{F}{2e \cdot l} = 0.33 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot E}{\rho \cdot l}}$$

Raspodela pritiska po dodirnoj površini nije ravnomerna. Prostorni dijagram površinskog pritiska je u obliku polovine eliptičkog cilindra, tako da se maksimalni površinski pritisak određuje prema (5.4):

$$P_{\max} = \frac{4}{\pi} \cdot P_{sr} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot E}{\rho \cdot l}} \quad (5.4)$$

Kod dodirivanja sfere, odnosno cilindra sa ravnom površinom, u gornjim izrazima se uzima $\rho_2 = \infty$ tako daje redukovani poluprečnik krivine $\rho = \rho_1$. U slučaju dodira konveksne i konkavne površine, poluprečnik krivine konkavne površine uzima se

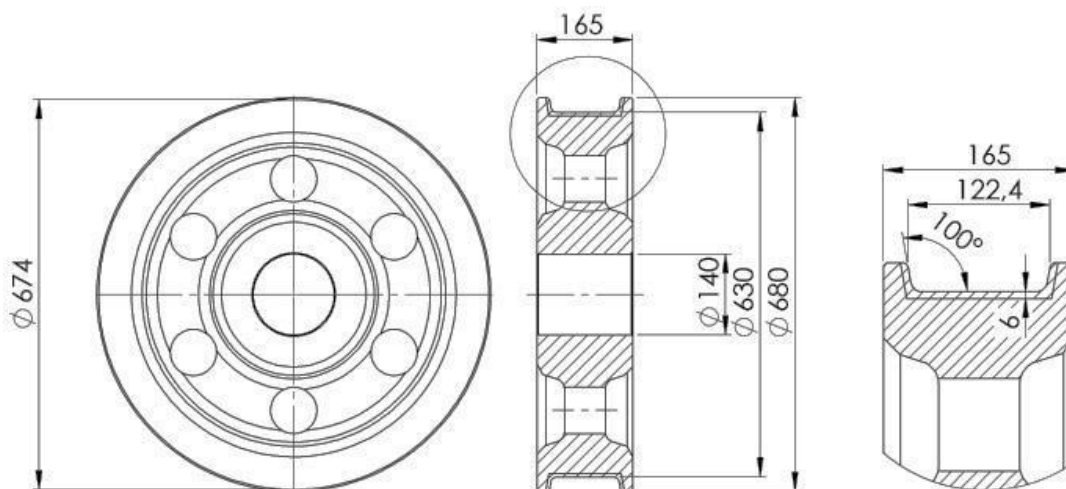
sa negativnim predznakom.



Slika 5.2 Dodir konveksne i konkavne površine

5.2 Geometrija kranskog točka

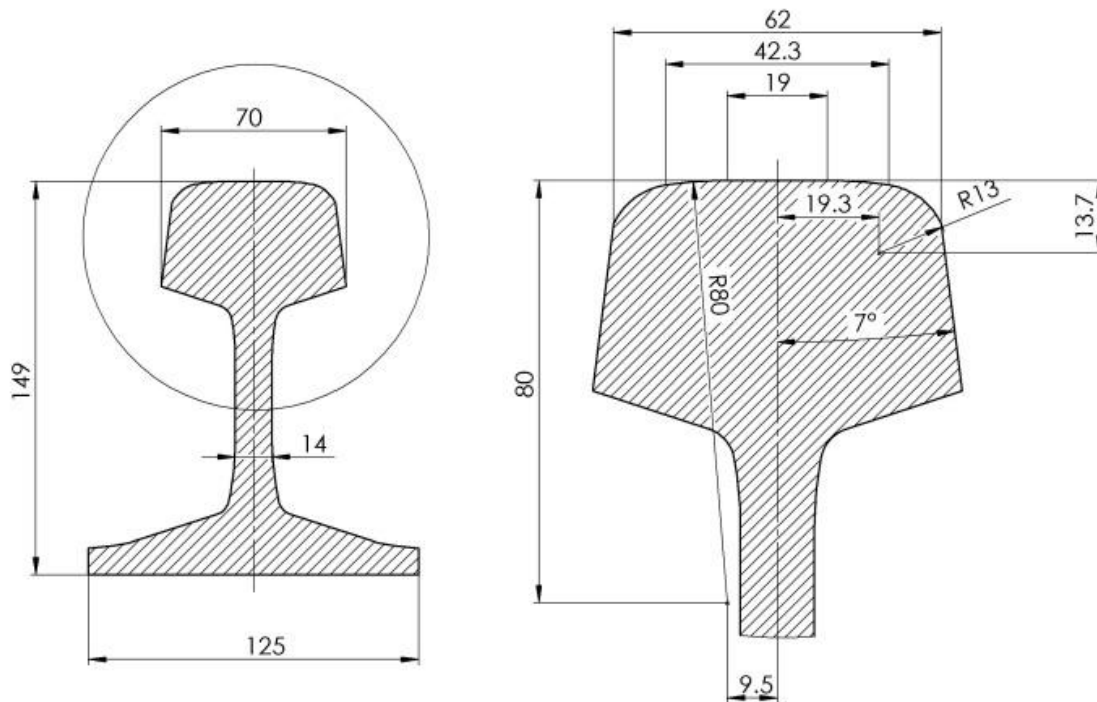
Najčešće upotrebljavan tip točka u fabrici Železara Smederevo je sa dva venca i cilindrične gazne površine, [29], kao što je prikazano na sl. 6.1. Testovi i simulacije prikazani u ovom dokumentu su rađeni na ovom tipu točka. Radnički crtež točka prikazan je u dodatku br.1.



Slika 5.3. Geometrija i najčešće upotrebljavan tip točka u Železari Smederevo

Gazna površina točka je $\varnothing 630$ mm bez spoljnog prečnika venca od $\varnothing 680$ mm. Venci su pod uglom od 100° . Širina točkova je 165 mm. Točkovi se prave sa šest simetrično udaljenih otvora radi redukovanja težine. Otvor za rukavac je prečnika 140

mm. Reparirani “tvrdo“ navareni sloj debljine 6 mm može se videti na gaznoj površini i vencu. Geometrija šine S49 (DIN 536 part 1, TU U 14-2-1230-99) sa uvećanom gaznom površinom se može videti na sl. 6.2.



Slika 5.4. Geometrija šine

Točkovi prečnika 630mm i ravne gazne površine koji se kotrljaju duž S49 šine imaju maksimalno dozvoljeno opterećenje od 200 kN [29]. Mora se napomenuti da se širina kranske staze (razmak između šina) kreće od 21.5 do 32m.

Prema Hercovoj teoriji kontaktnih napona, kontaktni napon između točka i šine (cilindar po ravnoj površini) je:

$$P_{\max} = \frac{4}{\pi} \cdot P_{sr} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot E}{\rho \cdot l}} \quad [28]$$

$$P_{\max} = 1082 \text{ N/mm}^2$$

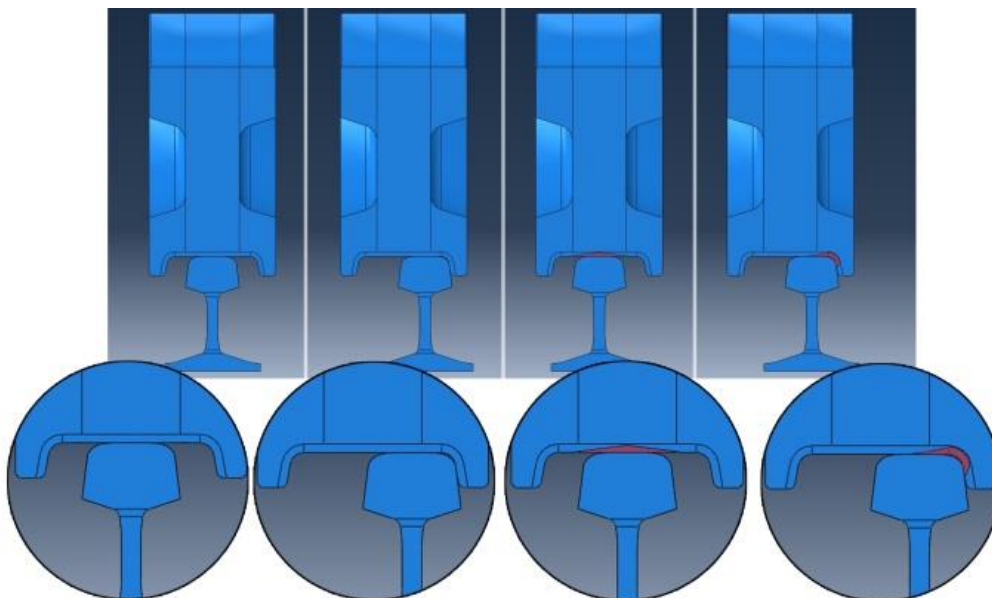
Kod dodirivanja sfere, odnosno cilindra sa ravnom površinom (točak po šini), u gornjim izrazima se uzima $\rho_2 = \infty$ tako daje redukovani poluprečnik krivine $\rho = \rho_1$.

Prema dosadašnjim istraživanjima maksimalni dozvoljeni pritisak na kontaktnim površinama sa tvrdoćom 35-39 HRC iznosi 1103 N/mm^2 , [1].

5.3 Numerička simulacija metodom konačnih elemenata.

Geometrija šina i točka je relativno jednostavna, ali kontakt između šine i točka predstavlja kompleksan deo za modelovanje zbog zakrivljenosti površina u različitim delovima materijala. Urađene su aproksimacije u smislu uklanjanja malih radijusa na oba modela, kao i uklanjanja otvora na bočnim stranama. Svi radijusi koji su zanemareni u modelu se nalaze daleko od kontaktne površine, i nemaju uticaj na ponašanje modela.

U cilju procene raspodele napona uzrokovanim kontaktom, razvijena su četiri odvojena modela, [31]. Prvi model je napravljen sa pretpostavkom da je kontakt idealan, odnosno da su u točak i šina simetrični, sl. 5.5a. Ovaj model je označen kao simetrično opterećenje bez prsline.



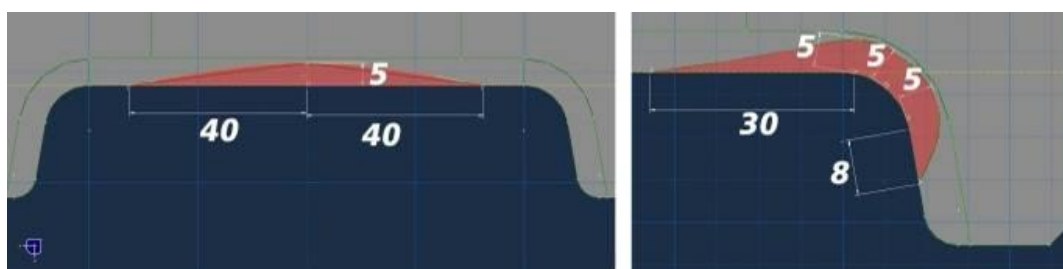
Slika 5.5. Različiti modeli korišćeni za simulaciju; a) simetrično opterećenje bez prsline; b) nesimetrično opterećenje bez prsline; c) simetrično opterećenje sa prslinom; d) nesimetrično opterećenje sa prslinom.

Drugi razvijeni model predstavlja slučaj kada je točak pomeren u stranu i kontakt je prisutan na bočnim površinama točka i šine. Kao rezultat ovog nesimetričnog položaja, i kontakta između venca točka i šine, ne postoji inicijalni kontakt između vrha šine i točka, odnosno, prisutan je zazor između gornje površine točka i šine. Ovaj model je označen kao nesimetrično opterećenje bez prslina i može se videti na sl. 5.5b.

Treći model korišćen za procenu je postavljen kao simetrično opterećenje ali sa simetrično postavljenom prslinom u kontaktnoj zoni. Ovaj model je označen kao simetrično opterećenje sa prslinom i može se videti na sl. 5.5c.

Četvrti model razvijen je na osnovu nesimetričnog opterećenja sa nesimetrično postavljenom prslinom u prelaznoj zoni između venca i gazne površine. Ovaj model je označen kao nesimetrično opterećenje sa prslinom i prikazan je na sl. 5.5d.

Detaljne dimenzije i skice definisanih prslina na modelima sa simetričnim i nesimetričnim opterećenjem sa prslinama, može se videti na sl. 5.6.

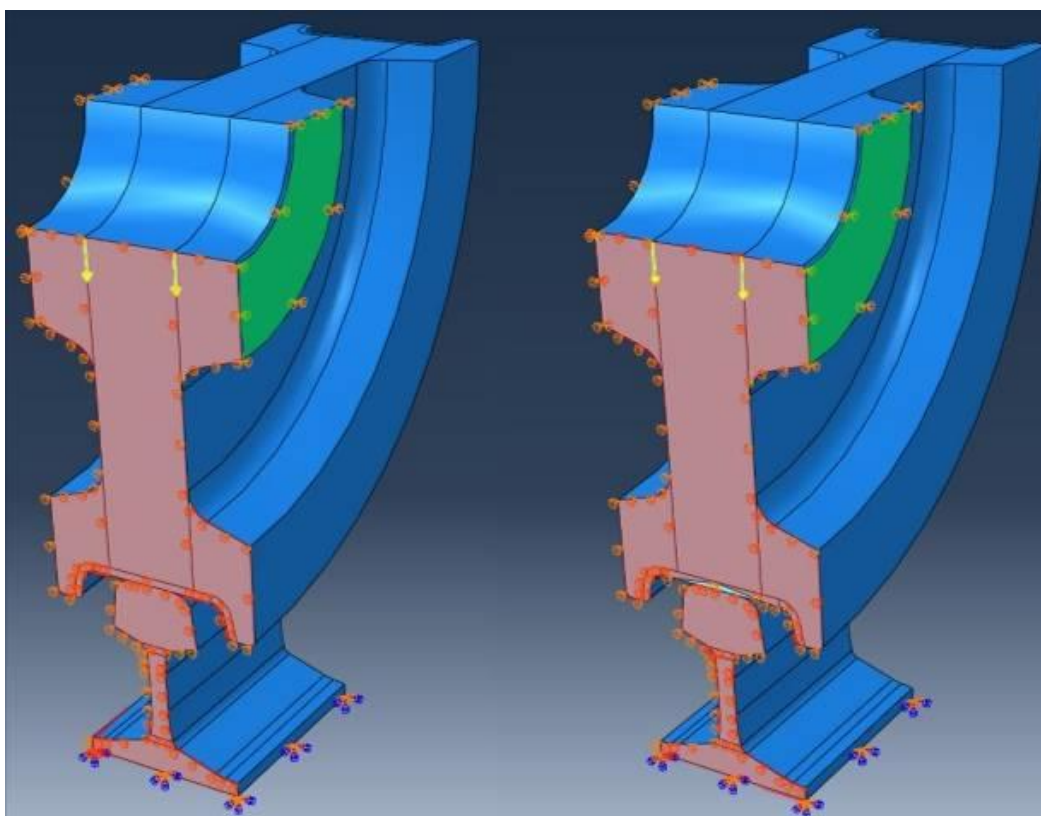


Slika 5.6 Skice upotrebljene za definisanje geometrije prslina

Svi modeli su napravljeni kao četvrtina točka, pošto se raspodela napona očekuje samo u zoni između ose i kontakta sa šinom. Dužina šine je smanjena na 150 mm što obezbeđuje dovoljno dužinu za adekvatne rezultate van kontaktne zone. Opterećenje točka je definisano koncentrisanom silom. U cilju obezbeđenja jednake raspodele, dve jednake sile intenziteta po 100 kN su primenjene. Sile su postavljene duž donje linije otvora ose na rastojanju od 47.5 mm od boka točka.

Opterećenja i granični uslovi primenjeni na svim modelima prikazani su na slici 6.5. Oslonci bočnih strana šine su upotrebljeni za ograničavanje položaja celog sklopa i u simulaciji radnih uslova. Dodatna ograničenja transverzalnog kretanja i rotacije su dodati na bočnu površinu otvora (zelena zona). Ograničenja u aksijalnom pravcu šine su

takođe uneta (crvena zona). Može se primetiti da iako su granični uslovi i opterećenja ista za sve modele, sa samo razlikom u zajedničkom položaju točka i šine i geometriji prsline, na sl. 5.7 je prikazano samo simetrično opterećenje bez prsline i simetrično opterećenje sa prslinom. U slučaju svih modela sa prslinom, pomeranje zone prsline nije ograničeno u aksijalnom pravcu.

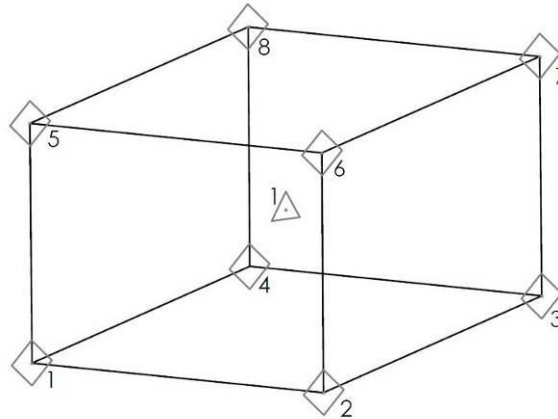


Slika 5.7 Levo: Sile i granični uslovi simetričnog opterećenja bez prsline;
Desno: Sile i granični uslovi simetrično opterećenja sa prslinom.

Simetrični modeli su definisani sa kontaktom samo između vrha šine i gazne površine točka, dok su nesimetrični modeli definisani sa inicijalnim kontaktom između bočnih strana venca i šine a kontakt između vrha šine i gazne površine točka je posledica primenjenog opterećenja. Analiza je urađena u Abaqusu 2.12. Svi modeli su sa C3D8R elementima, 8-tačkastih linearnih elemenata. Numerička integracija se temelji na sabiranju vrednosti podintegralnih funkcija u odgovarajućim tačkama u području integracije, pri čemu se izračunata vrednosti podintegralnih funkcija množe s odgovarajućim težinskim faktorima. Šeme numeričke integracije heksaedarskih

elementa C3D8R u programskom paketu ABAQUS prikazana je na slici 5.8. gde je tačka integracija prikazane trouglom [30, 32].

Veličine elemenata su smanjivane bliže kontaktnoj zoni i na točku i na šini u cilju dobijanja adekvatnih rezultata. Primer mreže se može videti na sl. 5.9.



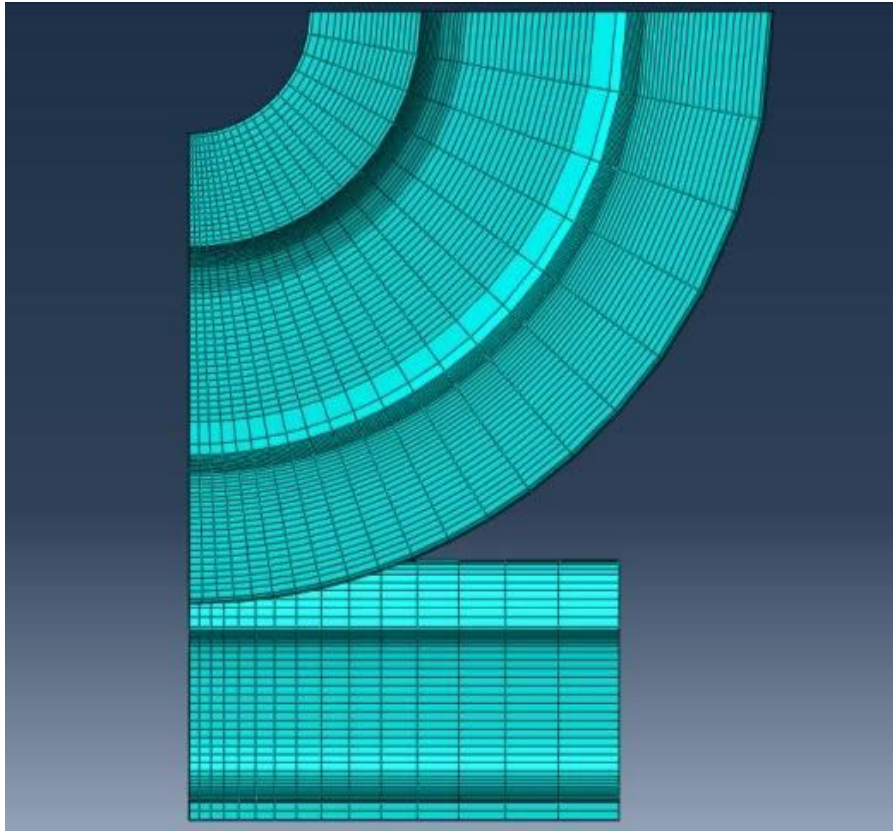
Slika 5.8. C3D8R -8-tačkasti linearni element sa redukovanom integracijom

Prednosti primene software-a (Abaqus):

- Izuzetno lako modeliranje različitih konstrukcionih modela;
- Vizuelizacija celokupnog polja napon-deformacija u okolini vrha prsline.

Nedostaci primene software-a (Abaqus) su sledeći:

- Tačnost dobijenih rezultata je u tesnoj vezi sa karakterom formirane konačno-elementne mreže. Dakle, tip elementa (tetraedarski ili heksaedarski) dimenzije konačnog elementa, kao i gustina mreže u određenim regionima konstrukcije u značajnoj meri utiče na realizaciju proračuna. Upravo to zahteva visok nivo iskustvenog znanja iz oblasti generisanja konačno-elementne mreže;
- Zahtevi po pitanju PC-ja su visoki: višejezgarni procesor, sa većim kapacitetom RAM memorije.



Slika 5.9. Mreža u sklopu

5.4. Rezultati

Numerička simulacija pokazala je u ovom dokumentu da je napon koncentrisan oko kontaktne zone za sve modele, što je i očekivano, [33]. Različite vrednosti napona mogu se posmatrati kroz različite preseke materijala. Slika 5.10 prikazuje Von Misesovo polje napona za simetrično opterećenje bez prsline. Von Misesov napon izračunava se po formuli:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (5.1)$$

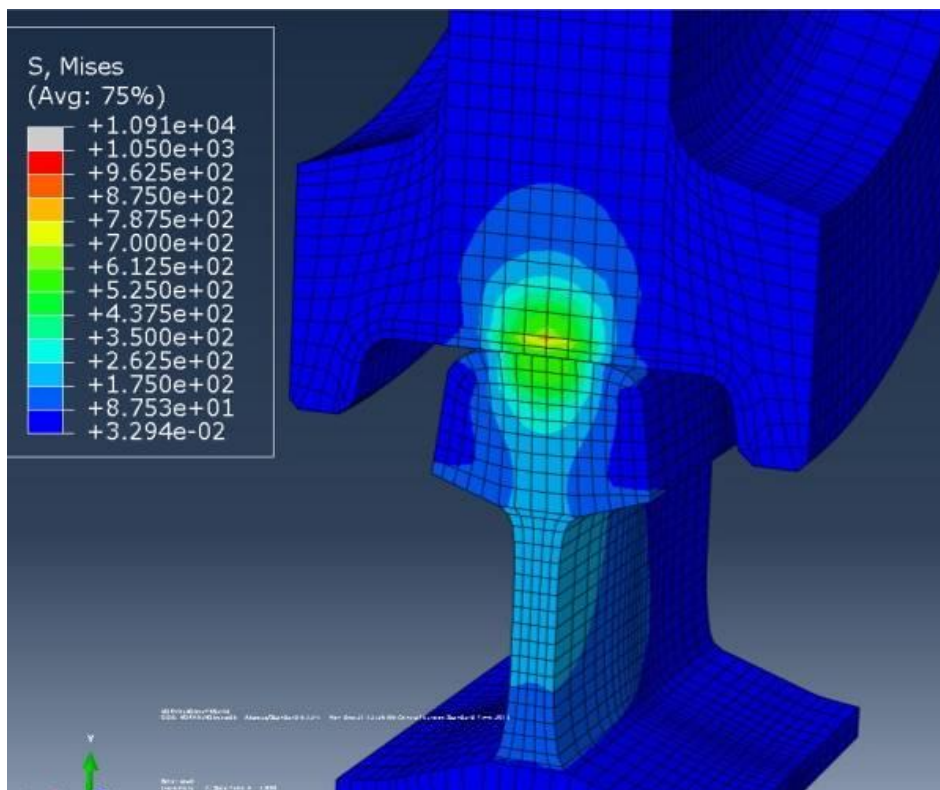
Vrednost napona u kontaktnoj zoni za simetrično opterećenje bez prsline je u intervalu između 525 MPa do 612,5 MPa, dok u navarenoj sloju dostiže vrednost od 849 MPa, registrovane u dnu navarenog sloja.

U slučaju simetričnog opterećenja sa prslinom, prikazano na sl. 5.11, može se primetiti povećanje napona u navarenoj zoni. Prisustvo prsline u modelu ima za

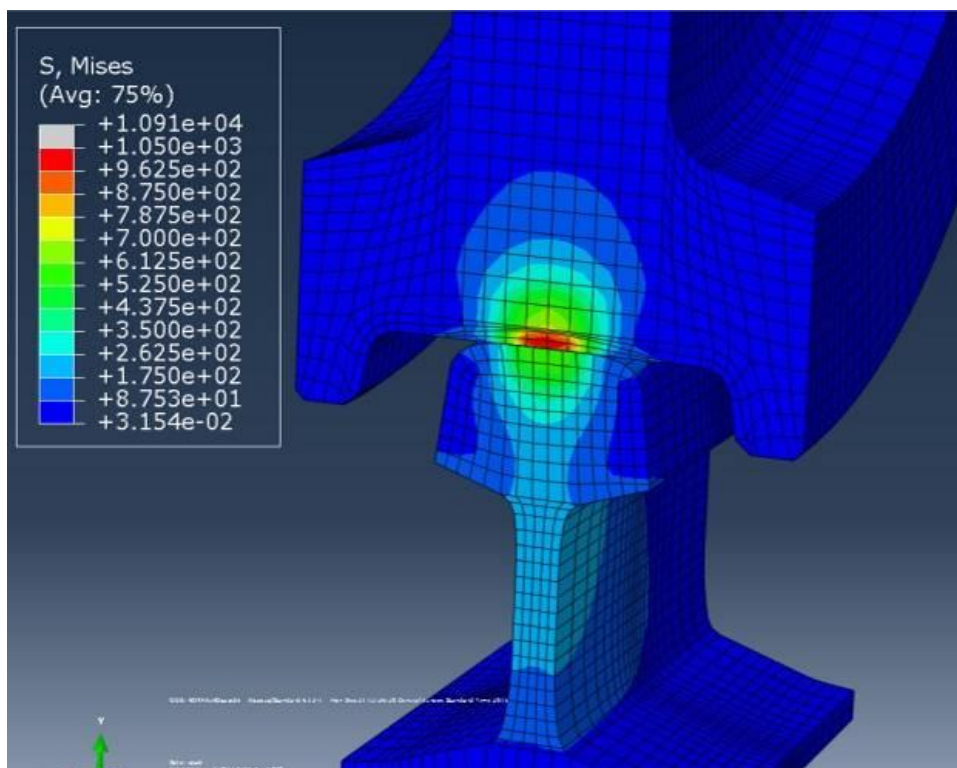
posledicu porast napona u kontaktnoj zoni na vrednosti u intervalu između 612,5 MPa do 700 MPa (šina), odnosno 787,5-875 MPa (točak).

Raspodela napona za nesimetrično opterećenje bez prsline prikazano je na slici 5.12. Nesimetričan položaj točka i šine rezultira pojavom bočnih sila koje uzrokuju povećanje napona do nivoa 875-962,5 MPa (šina), odnosno 962,5-1050 MPa (točak, navarena zona), u navarenom sloju, što pokazuje da je uticaj opterećenja veći od uticaja prsline.

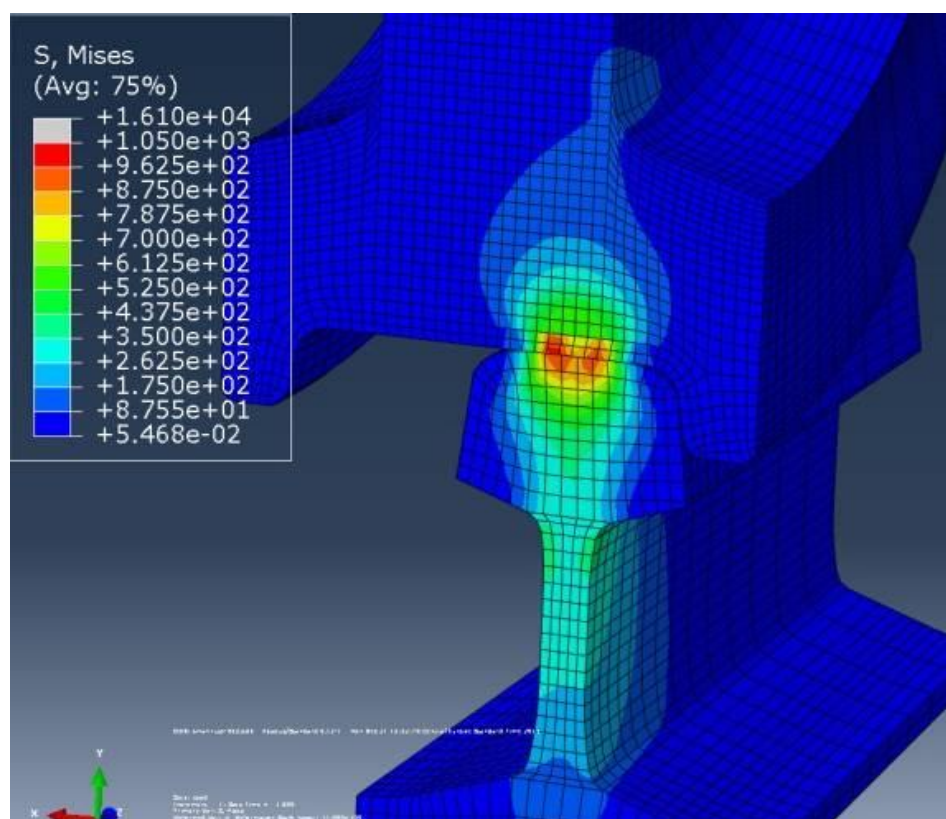
Slučaj nesimetričnog opterećenja sa prslinom je prikazan na 5.13. Uticaj prsline na kontaktnu zonu je rezultirao rasipanjem napona na veću zonu, a kombinacija uticaja prsline i nesimetričnog opterećenja je usloвила preraspodelu napona, tako da je napon na površini šina porastao do maksimalne vrednosti 1050 MPa, odnosno do intervala 962,5-1050 MPa, dok je najveći napon u točku u intervalu 700-787,5 MPa.



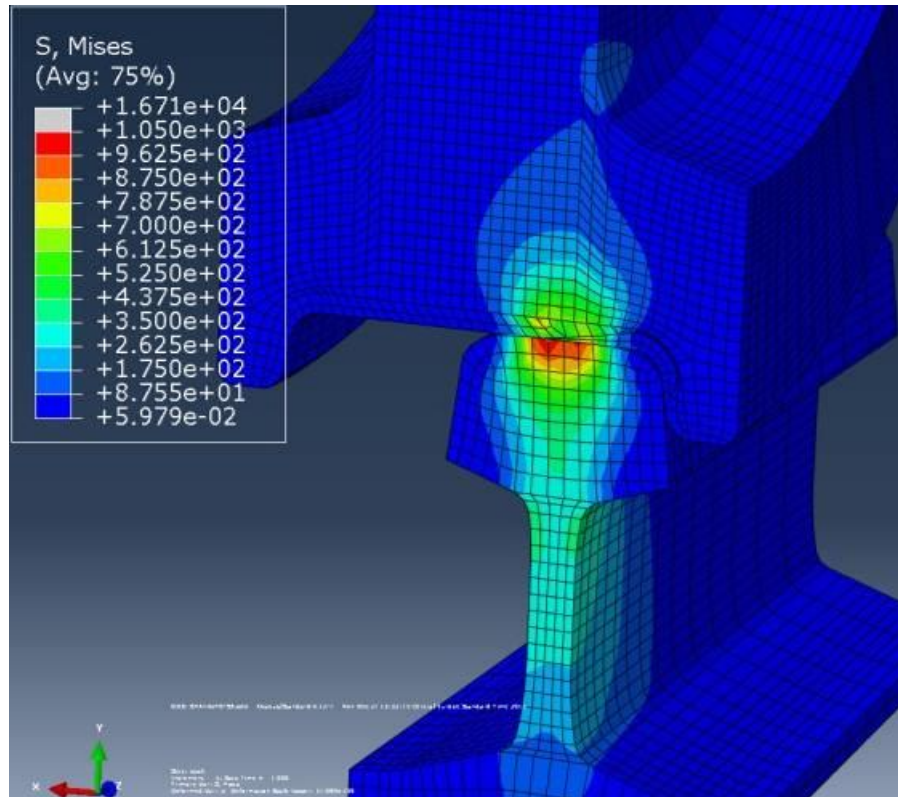
Slika 5.10. Von Misesov napon za simetrično opterećenje bez prsline



Slika 5.11. Von Mizesov napon za simetrično opterećenje sa prslinom



Slika 5.12. Von Mizesov napon za nesimetrično opterećenje bez prsline



Slika 5.13. Von Misesov napon za nesimetrično opterećenje sa prslinom

Rezultati dobijeni numeričkom simulacijom, odnosno primenom metode konačnih elemenata, pokazuju da je uticaj nesimetrije opterećenja značajniji od uticaja prsline. Naime, poređenjem rezultata za napone u slučaju u kome nema prsline (simetrično opterećenje, sl. 5.10 i nesimetrično opterećenje, sl. 5.12), vidi se da je napon pri nesimetričnom opterećenju bitno veći i u točku (cca 18%) i u šini (cca 50%), dok je u slučaju točka sa prslinom napon od nesimetričnog opterećenja u šini bitno bitno veći (takođe cca 50%), ali je napon u točku manji (cca 10%), što je posledica preraspodele deformacije i napona, usled kombinovanog dejstva opterećenja i prsline.

6. TEHNOEKONOMSKA ANALIZA

Za tehnoekonomsku analizu reparaturnog navarivanja točka kranske dizalice potrebno je razmotriti veći broj međusobno zavisnih aktivnosti: procenu uslova rada, identifikaciju oštećenja, procenu mogućnosti navarivanja, ekonomičnost postupka navarivanja, cenu dodatnog materijala, cenu reparacije, troškove termičke obrade, troškove predobrade i završne mašinske obrade, troškove ispitivanja/kontrole.

Sa ekonomskog stanovišta, zahtevi pri reparaturnom navarivanju su:

- minimalna mehanička obrada za pripremu za navarivanje,
- postizanje geometrije navara za koju je potrebna minimalna obrada,
- postizanje potrebne debljine navara u što manjem broju slojeva,
- svođenje toplotne obrade, pre i posle navarivanja na minimalnu meru,
- minimalni utrošak dodatnog materijala,
- minimalni utrošak radnog vremena za izvođenje navarivanja,
- mogućnost mehanizacije postupka i
- mogućnost realizacije sa raspoloživom opremom i alatima.

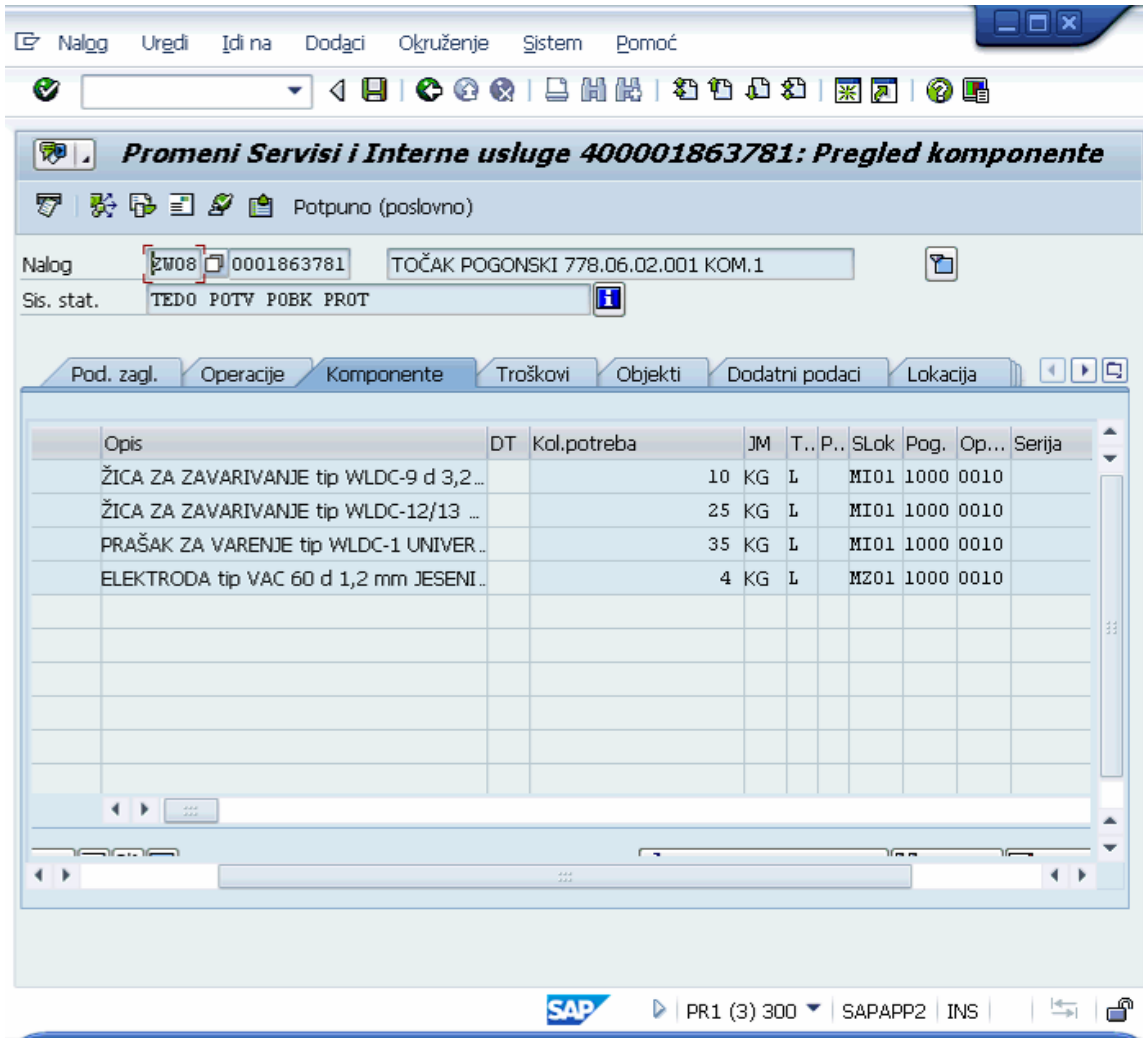
S obzirom na složenost procesa potrebno je utvrditi najpovoljnija tehničko-tehnološka rešenja, da bi se proces reparaturnog navarivanja doveo do nivoa kada je moguće doneti konačnu odluku, kupiti novi deo ili reparirati stari.

Da bi se uporedio nov sa reparaturno navarenim točkom potrebno je približno odrediti radni vek repariranog točka u odnosu na nov točak.

Kroz višegodišnju praksu se pokazalo da je vek repariranog točka izvedenog navarivanjem EPP postupkom žicom WLDC12 identičan veku novog točka.

6.1. Troškovi dodatnog materijala i radne snage

Troškovi dodatnog materijala i radne snage su prikazani na sl. 6.1-6.2, kao i u tab. 6.1-6.2. Troškovi materijala su prikazani na sl. 6.3.



The screenshot displays the SAP interface for 'Promeni Servisi i Interne usluge 400001863781: Pregled komponente'. The 'Troškovi' (Costs) tab is active, showing a table of materials used for the component. The table columns include Opis (Description), DT (Material Type), Kol.potreba (Quantity Required), JM (Unit of Measure), T..P.. (Material Group), SLok (Location), Pog. (Plant), Op... (Operation), and Serija (Serial). The data shows four rows of materials: welding rods (ŽICA ZA ZAVARIVANJE) and electrodes (ELEKTRODA).

Opis	DT	Kol.potreba	JM	T..P..	SLok	Pog.	Op...	Serija
ŽICA ZA ZAVARIVANJE tip WLDC-9 d 3,2...			10 KG	L	MI01	1000	0010	
ŽICA ZA ZAVARIVANJE tip WLDC-12/13 ...			25 KG	L	MI01	1000	0010	
PRAŠAK ZA VARENJE tip WLDC-1 UNIVER...			35 KG	L	MI01	1000	0010	
ELEKTRODA tip VAC 60 d 1,2 mm JESENI...			4 KG	L	MZ01	1000	0010	

Slika 6.1. Utrošene količine dodatnog materijala [34]

Prikaži Servisi i Interne usluge 40001863781: Pregled operacije

Nalog: ZW08 0001863781 TOČAK POGONSKI 778.06.02.001 KOM.1
 Sis. stat.: TEDO POTV POBK PROT

Pod. zagl. Operacije Komponente Troškovi Objekti Dodatni podaci Lokacija Planiranje Kontrola Proširenje

Op...	Krat.tekst operacije	DT	Stvarni rad	Rad	Jd	Broj	Traj.	Jd	Kljiz	TipAkt	Primalac	Tac
0010	BRAVARSKI RADOVI		0,700	0,7H	1		0,7H	2	Izračunaj ...	101001		
0020	VARILACKI RADOVI		0,500	0,5H	1		0,5H	2	Izračunaj ...	101001		
0030	POBOLJŠANJE		9	9H	1		9H	2	Izračunaj ...	101001		
0040	STRUGARSKI RADOVI		9	9H	1		9H	2	Izračunaj ...	101001		
0050	STRUGARSKI RADOVI		2	2H	1		2H	2	Izračunaj ...	101001		
0060	KONTROLA		0	0H	1		0H	2	Izračunaj ...	101001		
0070	VARILACKI RADOVI		16	16H	1		16H	2	Izračunaj ...	101001		
0080	VARILACKI RADOVI		10	10H	1		10H	2	Izračunaj ...	101001		
0090	POBOLJŠANJE		8	8H	1		8H	2	Izračunaj ...	101001		
0100	STRUGARSKI RADOVI		19	19H	1		19H	2	Izračunaj ...	101001		
0110	STRUGARSKI RADOVI		2,500	2,5H	1		2,5H	2	Izračunaj ...	101001		
0120	BRAVARSKI RADOVI		1	1H	1		1H	2	Izračunaj ...	101001		
0130	DUBILICA		2,500	2,5H	1		2,5H	2	Izračunaj ...	101001		
0140	BRAVARSKI RADOVI		1,500	1,5H	1		1,5H	2	Izračunaj ...	101001		

Opšte Interno Eksterno Dat. Stv.pod. Proširenje Katalog

SAP PR1 (2) 300 SAPAPP1 INS

Slika 6.2. Utrošeno vreme radne snage [34]

Tabela 6.1 Troškovi dodatnog materijala

Materijal	Cena Din/kg		količina kg	Ukupno, dinara
WLDC - 9	877		10	8770
WLDC -12	883		25	22075
WLDC - 1	300		35	10500
VAC 60	146		4	584
UKUPNO				41929

Ukupno utrošeno vreme za reparaciju točka je 81.7 sati. Cena norma sata za radnike PORD a je 550 Din/h, ukupno za rad 44935 Din.

Tabela 6.2 Troškovi radne snage (pruzeto iz [34] i doradeno)

Šifra radnog mesta.	Br radnika	Normiran Rad	Utrošeni rad	Jed	Kratki tekst operacije
DM51MB02	1	0,7	0,7	H	BRAVARSKI RADOVI
DM518904	1	0,5	0,5	H	ZAVARIVAČKI RADOVI
DM519102	1	9	9	H	TERMIČKA OBRADA
DM512301	1	9	9	H	STRUGARSKI RADOVI
DM512301	1	2	2	H	STRUGARSKI RADOVI
DM519601	1	0	0	H	KONTROLA
DM518704	1	16	16	H	ZAVARIVAČKI RADOVI
DM518904	1	10	10	H	ZAVARIVAČKI RADOVI
DM519102	1	8	8	H	TERMIČKA OBRADA
DM512301	1	19	19	H	STRUGARSKI RADOVI
DM512301	1	2,5	2,5	H	STRUGARSKI RADOVI
DM51MB02	1	1	1	H	BRAVARSKI RADOVI
DM515401	1	2,5	2,5	H	OBRADA NA DUBILICI
DM51MB02	1	1,5	1,5	H	BRAVARSKI RADOVI
UKUPNO:		81.7	81.7	H	
Norma sat Din.		550.00	UKUPNO Radna snaga		44935 Din.

Na slici 6.3. prikazani su ekrani iz SAP-a na kojima se vidi trošak ostvaren u PORD-u koji ide na teret proizvodnih pogona (a -Topla valjaonica, b -Hladna valjanonica). Može se videti da pri reparaciji točka TV nije prikazan utrošeni materijal, a da je pri reparaciji točka HV prikazan manji trošak materijala od planiranog. To predstavlja jedan od problema u SAP-u, a dešava se jer se prilikom nabavke dodatnog materijala-žice, koja je u pakovanju od 300kg, trošakovi knjiže odmah na pogon. U PORD-u se vodi evidencija o utrošku materijala za svaki pogon posebno (tehnolog u excel tabeli upisuje utrošen i istrebovan materijal). U slučajevima kada je istrebovan materijal za jedan pogon, a navaruje se točak za pogon koji nije kupio/nabavio dodatni materija, onda se u SAP-u prikazuje i trošak dodatnog materijal (na slici 6.3 b prikazan je delimični trošak materijala, jer je deo „pozajmljen“ od nekog drugog pogona).

Elem.troš.	Element troška (Tekst)	Σ Ukupni plan.troškovi	Σ Ukup.stv.trošk.	Σ Plan./stv.odstupanje	P/Stv(%)	Valuta
511100	Materijali -ostali	41.930,94	0,00	41.930,94-	100,00-	RSD
S43200001	Čas rada radnika-centralno održavanje	45.132,21	50.073,93	4.941,72	10,95	RSD
Zaduženje		87.063,15	50.073,93	36.989,22-		RSD
S43200001	Čas rada radnika-centralno održavanje	0,00	50.073,93-	50.073,93-		RSD
Obračun		0,00	50.073,93-	50.073,93-		RSD
		** 87.063,15 **	** 0,00 **	** 87.063,15-		RSD

a)

Slika 6.3. Troškovi radne snage i materijala za reparaciju točka $\phi 630$ [34]

Planirano/stvarno poređenje

Nalog 400002061849 TOČAK D630 778.06.16.001/R1 HV-198 KOM.1
 Tip naloga ZW11 Reparacija rezervnog dela
 Pogon 1000 Pogon Smederevo
 Verz.plana 0

Kumulativni podaci
 Pravno vrednovanje
 Valuta šifre kompanije/valuta objekta

Elem.troš.	Element troška (Tekst)	Σ Ukupni plan.troškovi	Σ Ukup.stv.trošk.	Σ Plan./stv.odstupanje	Pj/Stv(%)	Valuta
511100	Materijali -ostali	42.159,15	22.079,03	20.080,12-	47,63-	RSD
S43200001	Čas rada radnika-centralno održavanje	40.451,40	40.451,40	0,00		RSD
	Zaduženje	82.610,55	62.530,43	20.080,12-		RSD
S43200001	Čas rada radnika-centralno održavanje	0,00	40.451,40-	40.451,40-		RSD
S51110DSP	Materijali - održavanje	0,00	22.079,03-	22.079,03-		RSD
	Obračun	0,00	62.530,43-	62.530,43-		RSD
		82.610,55	0,00	82.610,55-		RSD

b)

Slika 6.3. Troškovi radne snage i materijala za reparaciju točka $\phi 630$ [34]

6.2. Troškovi energije

Električna energija se pri reparaturi točka kranske dizalice troši najpre za žarenje, predobradu, predgrevanje, navarivanje, naknadnu termičku obradu i najzad za završnu mašinsku obradu. U tabeli 6.3 se može videti ukupna potrošnja električne energije po operacijama za reparaciju jednog točka prečnika $\phi 630$.

Cena električne energije je 6.17 Din/kW.

Tabela 6.3. Trošak električne energije za reparaciju točka

Uređaj / mašina	Instalisana snaga kW	Vreme rada h	Ukupno kW	Ukupno Din
Peć za TO KP-90 (istovremeno 2 kom.)	63,00	12,00	756,00	4664,52
Strug M165	24,00	20,00	480,00	2961,60
Vertikalna glodalica 7D450	3,50	1,00	3,50	21,60
Aparat za EPP navarivawe Lincoln	16,00	8,00	128,00	789,76
Uređaj za navarivanje otvora (ID weld)	2,00	1,00	2,00	12,34
			UKUPNO	8450

6.3. Ukupni troškovi

Ukupni troškovi reparacije točka u koje nije uračunata cena alata i cena kontrole/ispitivanja (jer je ona zanemarljiva u odnosu na ukupne troškove), kao i cena amortizacije opreme (radi se sa raspoloživom opremom starom preko 20 god) iznose 95511Din. Treba napomenuti da je ova cena u stvarnosti niža jer se troškovi radne snage za termičku obradu umanjuju 3 do 4 puta. Istovremeno radnik u odelenju termičke obrade opslužuje 4 peći u kojima se termički obrađuje više različitih delova (moguće je istovremeno u pećima imati i 4 točka). Takođe, planirana vremena za operacije su data za maksimalno predobrađen točak, a stvarno utrošeno vreme u SAP je uvek identično ovom vremenu, što je jedan od većih nedostataka ovog sistema.

Tabela 6.4. Ukupni troškovi za reparaciju točka

Trošak	Din.
Materijal	41929
Radna snaga	44935
Električna energija	8450
UKUPNO	95314

Troškovi novog točka po poslednjoj nabavci iz 2011. godine je 220.000,00 Din

LISTA_ZAHTEVA	D_O_AWM_CODE	ZAHTEVANA_KOLICINA	VREDNOST
4R2B2155	Ko	8	1.760.000,00

Slika 6.4. Cena novog točka

Kao što se može videti cena reparacije točka iznosi 43% cene novog točka, a kroz praksu se pokazalo da je radni vek identčan.

U tabeli 6.5. može se videteti u kojim operacijama je razlika između reparacije i izrade novog točka.

Tabela 6.5. Redosled operacija pri reparaciji i izradi novog točka

Operacija	Popravka	Otkivak (Č.1531)
Izrada odlivka/otkivka	-	+
Postaviti zabarivaču da privari pločicu sa brojem točka.	+	+
Privariti pločicu sa brojem na telo točka, po uputu bravara.	+	+
Gruba obrada	-	+
Termička obrada (Normalizacija točka/poboljšanje)	+	+
Predobrada točka	+	-
Predgrejati točak na temperaturu od 230 do 250 stepeni.	+	-
Navarivanje točka	+	-
Žarenje točka.	+	-
Obrada gazeće površine i venaca točka na mere sa crteža.	+	+
Obrada otvora točka na mere sa crteža.	+	+
Obeležiti položaj žljeb(ov)a za klin.	+	+
Obrada žljeb(ov)a za klin, po obeleženom i prema crtežu	+	+
Obraditi ivice i prorezati navoje sa oba čela točka.	+	+
Plameno kaljenje točka	-	+
Trošak	95511	220000,00

U tabeli br.6.6. prikazani su troškovi izrade točka u radionici Železare u koliko bi otkivak i plameno kaljenje radili u „eksternim“ firmama. Troškovi obrade su dobijeni tako što se od ukupnog troška reparacije oduzmu troškovi operacije navarivanja, dodatnog materijala, troškovi predgrevanja i žarenja nakon navarivanja (troškovi operacija koje nemamo kod izrade novog točka).

Tabela 6.6. Troškovi izrade točka u radionici Železare

Trošak	Din.
Otkivak	131850
Troškovi obrade	40000
Troškovi plamenog kaljenja	25000
UKUPNO	196850

Na godišnjme nivou potrebno je 200 do 250 točkova. Ušteda koja se ostvaruje reparacijom je 25 do 31 milion Din. (208-258 hiljada €).

Na osnovu gore navedenog, jasno se vidi da je reparacija točkova više nego opravdana. Ovde treba reći i to da je period nabavke novih točkova 6-10 nedjenja, a da se reparacija može izvesti za manje od 3 dana.

Reparaturno navarivanje istog točka se ne može beskonačno izvoditi, [35, 36, 37]. U praksi se pokazalo da posle 3 reparacije točak nije preporučljivo navarivati, jer se još u fazi normalizacije točka javljaju prsline u osnovnom materijalu. Ovo je posebno izraženo na točkovima izrađenim livenjem, dok su točkovi dobijeni kovanjem nešto otporniji, ali i na njih nije preporučljivo reparirati više od 4 puta.

Da bi se imala evidencija o „istorijatu“ točka, uveden je pasoš točka u kome su upisani podaci o načinu izrade točka, i izvedenim reparacijama (Dodatak br. 3).

7. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U ovoj disertaciji je pokazano da je primena savremenih eksperimentalnih i numeričkih metoda neophodna za sveobuhvatnu analizu multidisciplinarnih problema, kao što je uticaj specifičnog i kompleksnog mehaničkog opterećenja na integritet i vek kranskih točkova, [38, 39]. Ovakav pristup je već verifikovan u mnogobrojnim radovima, čime je postao nezaobilazni alat u rešavanju kompleksnih termomehaničkih problema, [40].

U disertaciji su primenjene savremene metode istraživanja na original način, kombinovane i upoređene sa klasičnim metodama, u cilju verifikacije. Tako je za određivanje temperature predgrevanja korišćena savremena eksperimentalna metoda, tremovizija, a rezultati upoređeni sa iskustvenim izrazima za razmenu toplote, na osnovu kojih je analitički određena vrednost temperature predgrevanja. Slično tome, za procenu kontaktnih napona (Herzov pritisak), osim analitičkih izraza, korišćena je savremena numerička metoda, metoda konačnih elementa, sa originalnim pristupom u analizu uticaja prslina.

Na osnovu prikazanih rezultata i njihove diskusije, mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- Optimizacijom procesa navarivanja, napravljen je novi sloj materijala preko kontaktne površine. Spoljašnja dva sloja imaju martežitnu strukturu, koje karakterišu visoka tvrdoća otpornost na habanje. Treći sloj ima drugačija svojstva, i glavna uloga mu je premošćavanje razlike osobina osnovnog materijala točka i navarenog sloja. Ovakva kombinacija slojeva omogućava dovoljnu otpornost na habanje radnih površina, i dovoljnu otpornost na prsline, u celini gledano.
- Simetrično opterećenje bez prsline ima najmanje vrednosti napona i najbolju raspodelu u poređenju sa ostalim modelima. U slučaju simetričnog opterećenja sa prslinom može se primetiti da je napon povećan u šini, ali smanjen u točku, što je

posledica preraspodele deformacije i napona. Prisustvo prslina je obezbedilo veće deformacije u kontaktnoj zoni, i rasipanje napona u osnovnom materijalu na veću zonu.

- U slučaju nesimetričnog opterećenja bez prslina, vrednosti napona u točku i šini su slične, ali u svakom slučaju bitno veće nego u slučaju simetričnog opterećenja, tako da je uticaj nesimetričnog opterećenja značajno veći od uticaja prslina, posebno za naposnko stanje u točku. Simulacija nesimetričnog opterećenja sa prslinom je pokazalo da prslina ima značajan uticaj na smanjenj vrednosti napona u navarenom sloju točka. Zbog nesimetričnog položaja, kontakt je ostvaren i na vencu i na gaznoj površini, pa položaj prslina ima uticaj na preraspodelu deformacije i napona.
- Vrednosti napona kod svih modela su relativno bliske vrednosti koju daje Hercova teorija kontaktnog napona (1082 MPa). Prslina ima značajan uticaj na lokalnom nivou, ali globalno se njen uticaj gubi, jer materijal ima dovoljnu otpornost na rast prslina, što je postignuto optimalnom mikrostrukturom. Točkovi koji nakon reperature imaju prslinu samo na gaznoj površini (ne zalazi u zonu radijusa) mogu se ugrađivati na dizalice bez opasnosti da će doći do njihovog loma.

U daljem radu treba posvetiti posebnu pažnju uticaju dodatnih transverzalnih opterećenja na točak, koji treba ispitati detaljno, pošto je praksa pokazala da značajan broj prslina može da se pojavi u prelaznoj zoni između gazne površine i venca. Osim toga, dalja istraživanja treba da se fokusiraju na problem zamora, odnosno rasta zamorne prslina.

8. LITERATURA

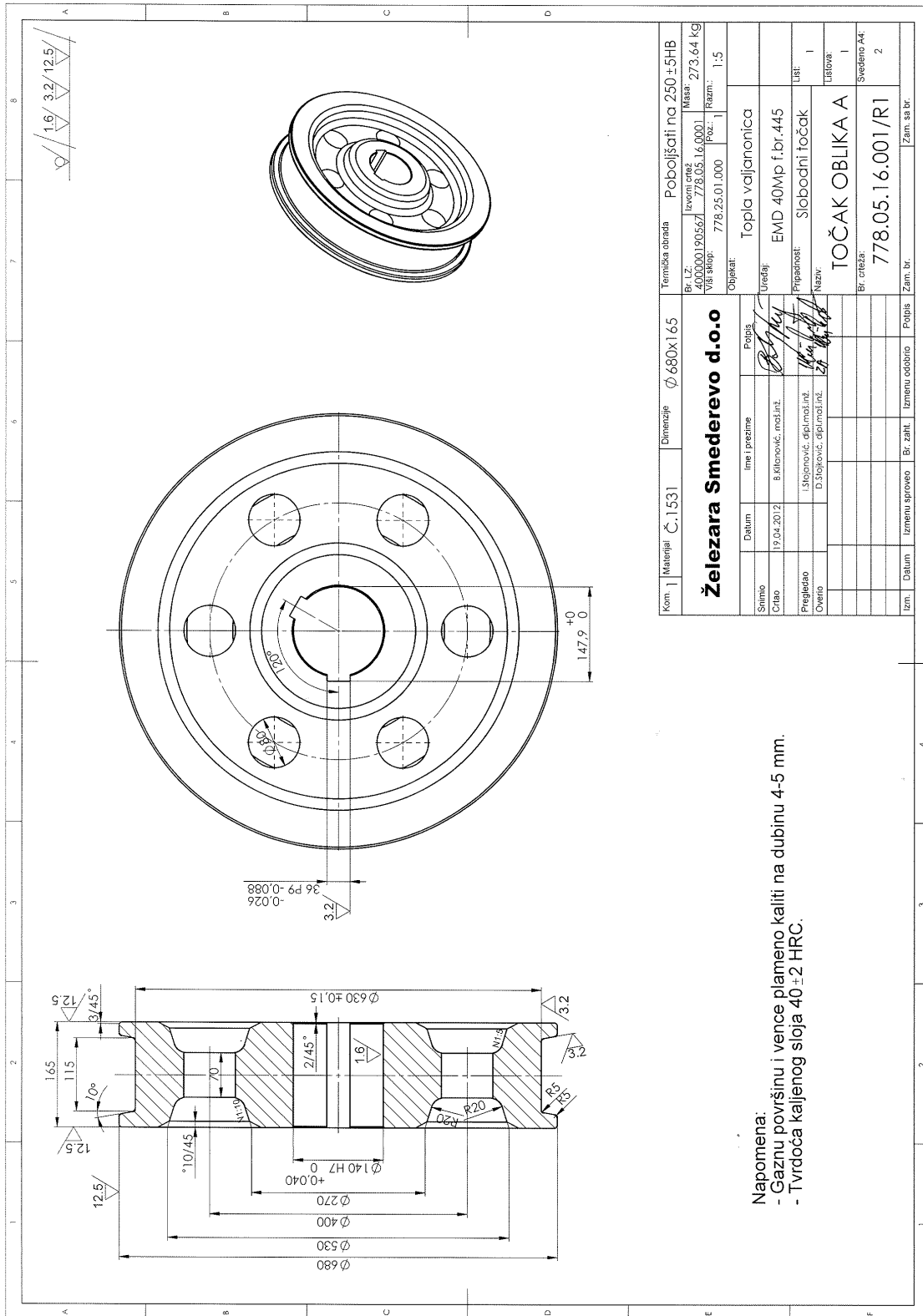
1. XTEC Wheel Products Brochure
2. Aleksandar Sedmak, Primena mehanike loma na integritet konstrukcija, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
3. D. Tanasković, U. Tatić, S. Sedmak, B. Djordjević, J. Lozanović, A. Sedmak, Integrity and life of wheels repaired by welding, 7th International Conference TEAM 2015, Belgrade, p. 1-6
4. I. Čamagić, Z. Burzić, A. Sedmak, N. Vasić, B. Ćirković, M.M. Algoal, Influence of Mechanical Properties and Microstructural Heterogeneity of Welded Joint Constituents on Tensile Properties and Fracture Toughness at Plane Strain, *KIc, Structural Integrity and Life* 14, No. 1, p. 45-49, 2014
5. Radomir Jovičić, Simon Sedmak, Uroš Tatić, Uroš Lukć, Musraty Walid, Stress state around imperfections in welded joints, *Structural Integrity and Life*, Vol. 15, No.1, 2015, pp.27–29
6. McKees Rocks Forgings Crane Wheels Products Brochure
7. Katalog dodarnih matrijla za navarivawe HOBART
8. Katalog dodarnih matrijla za navarivawe Weldclad
9. Katalog dodatnih materijala za zavarivawe BÖHLER
10. Katalog dodatnih materijala za zavarivawe FEP Plužine
11. Katalog dodatnih materijala za zavarivawe SŽ Elektrode Jasenice
12. Katalog dodatnih materijala za zavarivawe UTP
13. Katalog proizvoda železare Ravne
14. J. Cankar, M. Bregant, M. Šolar : Novine kod zavarivanja i navarivanja pod praškom, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije* (3/2010), str. 97-100

15. Murariu, A.C., Crâsteți, S, Bîrdeanu, A.V., Sedmak, A., Active Infrared Thermography Method for Non-Destructive Examination of Coating Layers, *Structural integrity and Life*, 16 (2016), 1, p. 3-7
16. Voronjec D. Đorđević R. Vasiljević B. Kozić Đ. Bekavac V: Rešeni zadaci iz termodinamike sa izvodima iz teorije, Beograd 1990.
17. Lazic V., Ivanovic I., Sedmak A., Rudolf R., Lazic M., Radakovic Z., Numerical Analysis of Temperature Field During Hardfacing Process and Comparison with Experimental Results, *Thermal science*, 18 (2014), S113-S120
18. Cvetkovski, S., Karjalainen, L.P., Kujanpää, V., Ahmad, A., Welding Heat Input Determination in TIG and Laser Welding of LDX 2101 Steel by Implementing the Adams Equation for 2-D Heat Distribution *Structural integrity and Life*, 10 (2010), 2, p. 103-109
19. Sedmak, A. et al, *Masinski materijali II deo* (in Serbian), Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 2001
20. Berković, M., Maksimović, S., Sedmak, A., Analysis of Welded Joints by Applying the Finite Element Method, *Structural integrity and Life*, 4 (2004), 2, p. 75-83
21. Lazic V., Ivanovic I., Sedmak A., Rudolf R., Lazic M., Radakovic Z., Numerical Analysis of Temperature Field During Hardfacing Process and Comparison with Experimental Results, *Thermal science*, 18 (2014), S113-S120
22. Veljic, D., Sedmak S., Rakin M., Bajic N., Medjo B., Bajic D., Grabulov V., Experimental and Numerical Thermo-Mechanical Analysis of Friction Stir Welding of High-Strength Aluminium Alloy, *Thermal science* 18 (2014), S29-S38
23. Aleksandar S. Sedmak, Drakče R. Tanasković, Alin C. Murariu, Experimental and analytical evaluation of preheating temperature during multipass repair welding. *Thermal Science*, Vol. XX, 2016, p.xx
24. Murariu, A.C., Crâsteți, S, Bîrdeanu, A.V., Sedmak, A., Active Infrared Thermography Method for Non-Destructive Examination of Coating Layers, *Structural integrity and Life*, 16 (2016), 1, p. 3-7

25. Voronjec D. Đorđević R. Kozić Đ. Bekavac V: Termodinamika praktikum za laboratorijske vežbe, Beograd 1987.
26. Kozić Đ. Vasiljević B. Bekavac V: Priručnik za termodinamiku, Beograd 1990.
27. Kozić, Đ., Vasiljević, B., Bekavac, V. Thermodynamics handbook (in serbian), Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 1990
28. Vojislav Miltenović :Mašinski elementi, Niš 2009
29. Matične knjige dizalica Železare Smederevo
30. ABAQUS User Manual. Version 6.12. Providence, RI, USA: DS SIMULIA Corp; 2012.
31. Drakče Tanasković, Uroš Tatić, Branislav Djordjević, Simon Sedmak, Aleksandar Sedmak,, The effect of cracks on stress state in crane wheel hard-surface under contact loading, Technical Gazette, accepted for publishing, 2017
32. Danijela D. Živojinović: PRIMENA MEHANIKE LOMA NA PROCENU INTEGRITETA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA OD LEGURA ALUMINIJUMA, doktorska disertacija, Beograd, 2013.
33. Dušan Arsić, Vukić Lazić, Srbislav Aleksandrović, Ružica Nikolić, Petar Marinković, Milan Đorđević, Nada Ratković, Theoretical-experimental fracture analysis of responsible machine part, Structural Integrity and Life, Vol.14, No.2, 2014, str. 141–146
34. SAP-Informacioni sistem železare Smederevo
35. Galatanu, S.V., Faur, N., Pascu, D.R.,Mechanical Properties of Heat Affected Zones at Macro-Microstructural Level, Using Thermal Cycle Simulation, Structural integrity and Life, 14 (2014), 2, p. 63-67.
36. S. Marković, Lj. Milović, A. Marinković, T. Lazović, Tribological Aspect of Selecting Filler Metal for Repair Surfacing of Gears by Hardfacing, Structural Integrity and Life, Vol.11, No.2, 2011, p. 127–130
37. SARTID-Institut: Idejno rešenje reparature mašinskih rezervnih delova metom navarivanja i tehnookonomska opravdanost rešenja, Smederevo 2000.

38. Rakin M., Gubeljak N., Dobrojevic M., Sedmak A.: „, Modelling of ductile fracture initiation in strength mismatched welded joint, Engineering Fracture Mechanics, vol.75, 2008, p. 3499-3510
39. Šumarac D., Krajčinović D.: Osnovi mehanike loma, Naucna kwiga, GFB, Beograd 1990
40. Sedmak, A. i dr.: Mašinski materijali-drugi deo, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.

Dodatak br. 1 – Crtež točka



Slika D.1.1. Radionički crtež točka φ630

Dodatak br. 2 - Izveštaji kontrole repariranog točka

QMS.RU.CO.TD-03-02

Železara Smederevo d.o.o. Centralno održavanje AMR		DIJAGNOSTIKA Defektoskopija	
Izveštaj o ultrazvučnom ispitivanju DD 28 -14			
1. Podaci o naručiocu			
POGON / SEKTOR:	<u>PORD</u>	RADNI NALOG (POGONA):	<u>400001905212</u>
2. Podaci o ispitanim delovima			
SKLOP/DEO:	<u>Točak TV-166</u>	CR.BROJ:	<u>778.66.02.001</u>
DIMENZIJE:	<u>Ø 630 mm</u>	MATERIJAL:	<u>ČI 4732</u>
RADNI FLUID:	<u>/</u>	RADNI PRITISAK:	<u>/</u>
STANDARD:	<u>/</u>	TIP ŽLJEBA:	<u>/</u>
3. Podaci o mornoj opremi i načinu ispitivanja			
INSTRUMENT:	<u>KRAUTKRAMER</u>	TIP	<u>USM-35</u>
PRIBOR:	<u>B2S-N i MWB-70/4</u>		
OSETLJIVOST:	<u>2 i 4 MHz</u>	VRSTA ULTRAZVUČNOG TALASA:	<u>LONG. I TRANSFERZALNI</u>
ETALON:	<u>K-1</u>	DUŽINA BAŽDARENJA:	<u>100 mm</u>
STANJE ISPITANE POVRŠINE:	<u>OBRADENA</u>	KONTAKTNO SREDSTVO:	<u>ULJE</u>
TEMPERATURA ISPITANOG DELA:	<u>sobna</u>	OBIM KONTROLE:	<u>100% radna površina</u>
4. Kriterijum za ocenu: _____			
5. Ocena rezultata ispitivanja			
Na pregledanoj gazećoj površini točka (posle navarivanja), otkrivena je prslina dužine cca 45 mm, a dubina prsline je do 5 mm.			
PRIMEDBA:			
PRILOZI:			
DATUM	ISPITAO	DATUM	OVERIO
25.07.2014	inspektor defektoskopičar I ili II grupe Miličević Bojan	25.07.2014	vodeći tehnolog pouzdanosti STEVANOVIĆ NEBOJŠA

Page 1 of 1

Slika D.2.1. Izveštaj kontrole o ultrazvučnom ispitivanju točka sa prslinom

QMS.RU.CO.TD-03-01

Železara Smederevo d.o.o. Centralno održavanje AMR		DIJAGNOSTIKA Defektoskopija	
Izveštaj o magnetofluksnom ispitivanju DD 27 -14			
1. Podaci o naručiocu			
POGON / SEKTOR:	<u>PORD</u>	RADNI NALOG (POGONA):	<u>400001905212</u>
2. Podaci o ispitanim delovima			
SKLOP/DEO:	<u>Točak TV-166</u>	CR. BROJ:	<u>778.66.02.001</u>
DIMENZIJE:	<u>Ø 630 mm</u>	MATERIJAL:	<u>ČI 4732</u>
RADNI FLUID:	<u>/</u>	RADNI PRITISAK:	<u>/</u>
STANDARD:	<u>/</u>	TIP ŽLJEBA:	<u>/</u>
3. Podaci o mernoj opremi i načinu ispitivanja			
INSTRUMENT:	<u>TIEDE</u>	TIP:	<u>TWM-220</u>
NAČIN MAGNETISANJA:	<u>JARAM</u>		
MAGNETNE ČESTICE:	<u>MR Chemie</u>	TIP:	<u>MR 158</u>
VRSTA POSTUPKA:	<u>MOKRI</u>	VELIČINA ČESTICE:	<u>3 µm</u>
RASTOJANJE POLOVA:	<u>175 mm</u>	JAČINA MAGNETNOG POLJA:	<u>3 KA/m</u>
STANJE ISPITNE POVRŠINE:	<u>Predobrađeno</u>	OBIM KONTROLE:	<u>100% gazeća površina</u>
4. Kriterijum za ocenu: <u>JUS ISO 5817.</u>			
5. Ocena rezultata ispitivanja			
Na pregledanoj gazećoj površini točka (posle navarivanja), otkrivena je prslina dužine cca 45 mm.			
PRIMEDBA:			
		PRIHVAĆENO: <input type="checkbox"/>	ODBIJENO: <input checked="" type="checkbox"/>
PRILOZI:			
DATUM	ISPITAO	DATUM	OVERIO
	inspektor defektoskopičar I ili II grupe		vodeći tehnolog pouzdanosti
25.7.2014	Miličević Bojan Vranješević Goran	25.7.2014	STEVANOVIĆ NEBOJŠA

Page 1 of 1

Slika D.2.2. Izveštaj kontrole o ispitivanju penetrantima točka sa prslinom

QMS.RU.CO.TD-03-01

Železara Smederevo d.o.o. Centralno održavanje AMR		DIJAGNOSTIKA Defektoskopija	
Izveštaj o magnetofluksnom ispitivanju DD 118 -16			
1. Podaci o naručiocu			
POGON / SEKTOR:	<u> PORD </u>	RADNI NALOG (POGONA):	<u> 400001864111 </u>
2. Podaci o ispitanim delovima			
SKLOP/DEO:	<u> Točak TV-069 </u>	CR. BROJ:	<u> 778.66.02.001 </u>
DIMENZIJE:	<u> ø 630 mm </u>	MATERIJAL:	<u> ČI 4732 </u>
RADNI FLUID:	<u> / </u>	RADNI PRITISAK:	<u> / </u>
STANDARD:	<u> / </u>	TIP ŽLJEBA:	<u> / </u>
3. Podaci o mernoj opremi i načinu ispitivanja			
INSTRUMENT:	<u> TIEDE </u>	TIP:	<u> TWM-220 </u>
NAČIN MAGNETISANJA:	<u> JARAM </u>		
MAGNETNE ČESTICE:	<u> MR Chemie </u>	TIP:	<u> MR 158 </u>
VRSTA POSTUPKA:	<u> MOKRI </u>	VELIČINA ČESTICE:	<u> 3 µm </u>
RASTOJANJE POLOVA:	<u> 175 mm </u>	JACINA MAGNETNOG POLJA:	<u> 3 KA/m </u>
STANJE ISPITNE POVRŠINE:	<u> Predobrađeno </u>	OBIM KONTROLE:	<u> 100% gazeća površina </u>
4. Kriterijum za ocenu: <u> JUS ISO 5817. </u>			
5. Ocena rezultata ispitivanja			
Na pregledanoj gazećoj površini točka (pre navarivanja), nisu otkrivene greške površinskih prskotina.			
PRIHVAĆENO: <input checked="" type="checkbox"/> ODBIJENO: <input type="checkbox"/>			
PRIMEDBA:			
PRILOZI:			
DATUM	ISPITAO	DATUM	OVERIO
	inspektor defektoskopija I ili II grupe		vodeći tehnolog pouzdanosti
1.2.2016	Miličević Bojan Vranješević Goran	1.2.2016	STEVANOVIĆ NEBOJŠA

Page 1 of 1

Slika D.2.3. Izveštaj kontrole o ispitivanju penetrantima točka pre navarivanja

QMS.RU.CO.TD-03-02

Železara Smederevo d.o.o. Centralno održavanje AMR	DIJAGNOSTIKA Defektoskopija		
Izveštaj o ultrazvučnom ispitivanju DD 119 -16			
1. Podaci o naručiocu POGON / SEKTOR: <u> PORD </u> RADNI NALOG (POGONA): <u> 400001864111 </u>			
2. Podaci o ispitanim delovima SKLOP/DEO: <u> Točak TV-069 </u> CR. BROJ: <u> 778.66.02.001 </u> DIMENZIJE: <u> Ø 630 mm </u> MATERIJAL: <u> ČI 4732 </u> RADNI FLUID: <u> / </u> RADNI PRITISAK: <u> / </u> RADNA TEMPERATURA: <u> / </u> STANDARD: <u> / </u> TIP ŽLJEBA: <u> / </u>			
3. Podaci o mernoj opremi i načinu ispitivanja INSTRUMENT: <u> KRAUTKRAMER </u> TIP <u> USM-35 </u> PRIBOR: <u> B2S-N i MWB-70/4 </u> OSETLJIVOST: <u> 2 i 4 MHz </u> VRSTA ULTRAZVUČNOG TALASA: <u> LONG. I TRANSVERZALNI </u> ETALON: <u> K-1 </u> DUŽINA BAŽDARENJA: <u> 100 mm </u> STANJE ISPITANE POVRŠINE: <u> OBRADENA </u> KONTAKTNO SREDSTVO: <u> ULJE </u> TEMPERATURA ISPITANOG DELA: <u> sobna </u> OBIM KONTROLE: <u> 100% gazeća površina </u>			
4. Kriterijum za ocenu: _____			
5. Ocena rezultata ispitivanja Na pregledanoj gazećoj površini točka (pre navarivanja), nisu otkrivene greške unutrašnjih nehomogenosti.			
PRIMEDBA: _____			
PRILOZI: _____			
DATUM 01.02.2016	ISPITAO inspektor defektoskopičar I ili II grupe Miličević Bojan	DATUM 01.02.2016	OVERIO vodeći tehnolog pouzdanosti STEVANOVIĆ NEBOJŠA

Page 1 of 1

Slika D.2.4. Izveštaj kontrole o ultrazvučnom ispitivanju točka pre navarivanja

QMS.RU.CO.TD-03-01

Železara Smederevo d.o.o. Centralno održavanje AMR		DIJAGNOSTIKA Defektoskopija	
Izveštaj o magnetofluksnom ispitivanju DD 130 -16			
1. Podaci o naručiocu			
POGON / SEKTOR:	<u>PORD</u>	RADNI NALOG (POGONA):	<u>400001864111</u>
2. Podaci o ispitanim delovima			
SKLOP/DEO:	<u>Točak TV-069</u>	CR BROJ:	<u>778.66.02.001</u>
DIMENZIJE:	<u>Ø 630 mm</u>	MATERIJAL:	<u>ČI 4732</u>
RADNI FLUID:	<u>/</u>	RADNI PRITISAK:	<u>/</u>
STANDARD:	<u>/</u>	TIP ŽLJEBA:	<u>/</u>
3. Podaci o mernoj opremi i načinu ispitivanja			
INSTRUMENT:	<u>TIEDE</u>	TIP:	<u>TWM-220</u>
NAČIN MAGNETISANJA:	<u>JARAM</u>		
MAGNETNE ČESTICE:	<u>MR Chemie</u>	TIP:	<u>MR 158</u>
VRSTA POSTUPKA:	<u>MOKRI</u>	VELIČINA ČESTICE:	<u>3 µm</u>
RASTOJANJE POLOVA:	<u>175 mm</u>	JACINA MAGNETNOG POLJA:	<u>3 KA/m</u>
STANJE ISPITNE POVRŠINE:	<u>obrađeno</u>	OBIM KONTROLE:	<u>100% gazeća površina</u>
4. Kriterijum za ocenu: <u>JUS ISO 5817.</u>			
5. Ocena rezultata ispitivanja			
Na pregledanoj gazećoj površini točka (nakon navarivanja), nisu otkrivene greške površinskih prskotina.			
PRIMEDBA:			
PRIHVAĆENO: <input checked="" type="checkbox"/> ODBIJENO: <input type="checkbox"/>			
PRILOZI:			
DATUM	ISPITAO	DATUM	OVERIO
	inspektor defektoskopičar I ili II grupe		vodeći tehnolog pouzdanosti
17.2.2016	Miličević Bojan Vranješević Goran	17.2.2016	STEVANOVIĆ NEBOJŠA

Page 1 of 1

Slika D.2.5. Izveštaj kontrole o ispitivanju penetrantima navarenog točka

QMS.RU.CO.TD-03-02

Železara Smederevo d.o.o. Centralno održavanje AMR		DIJAGNOSTIKA Defektoskopija	
Izveštaj o ultrazvučnom ispitivanju DD 131 -16			
1. Podaci o naručiocu			
POGON / SEKTOR:	<u> PORD </u>	RADNI NALOG (POGONA):	<u> 400001864111 </u>
2. Podaci o ispitanim delovima			
SKLOP/DEO:	<u> Točak TV-069 </u>	CR. BROJ:	<u> 778.66.02.001 </u>
DIMENZIJE:	<u> Ø 630 mm </u>	MATERIJAL:	<u> Č 4732 </u>
RADNI FLUID:	<u> / </u>	RADNI PRITISAK:	<u> / </u>
STANDARD:	<u> / </u>	TIP ŽLJEBA:	<u> / </u>
3. Podaci o mernoj opremi i načinu ispitivanja			
INSTRUMENT:	<u> KRAUTKRAMER </u>	TIP	<u> USM-35 </u>
OSETLJIVOST:	<u> 2 i 4 MHz </u>	VRSTA ULTRAZVUČNOG TALASA:	<u> LONG. I TRANSVERZALNI </u>
ETALON:	<u> K-1 </u>	DUŽINA BAŽDARENJA:	<u> 100 mm </u>
STANJE ISPITANE POVRŠINE:	<u> OBRAĐENA </u>	KONTAKTNO SREDSTVO:	<u> ULJE </u>
TEMPERATURA ISPITANOG DELA:	<u> sobna </u>	OBIM KONTROLE:	<u> 100% gazeća površina </u>
4. Kriterijum za ocenu: _____			
5. Ocena rezultata ispitivanja			
Na pregledanoj gazećoj površini točka (nakon navarivanja), nisu otkrivene greške unutrašnjih nehomogenosti.			
PRIMEDBA:			
PRILOZI:			
DATUM	ISPITAO	DATUM	OVERIO
17.02.2016	inspektor defektoskopičar I ili II grupe Miličević Bojan	17.02.2016	vodeći tehnolog pouzdanosti STEVANOVIĆ NEBOJŠA

Page 1 of 1

Slika D.2.6. Izveštaj kontrole o ultrazvučnom ispitivanju navarenog točka

Dodatak br. 3- Pasport točka

ПАСОШ ТОЧКА КРАНСКИХ ДИЗАЛИЦА бр. _____					
Пречник точка		Бр. цртежа точка		Датум уградње	
Основни материјал		Тврдоћа		Датум издрадње	
I репарација					
Врста оштећења					
Димензије предобрађеног точка			Додатни материја I слоја		
A			Додатни материја II-III слоја		
B			Термичка обрада		
C			Трвдоћа газне површине		
D			Бр. извештаје КБР-а		
E			Датум репарације		
F			Контролор:		
		Датум уградње			
		Датум издрадње			
II репарација					
Врста оштећења					
Димензије предобрађеног точка			Додатни материја I слоја		
A			Додатни материја II-III слоја		
B			Термичка обрада		
C			Трвдоћа газне површине		
D			Бр. извештаје КБР-а		
E			Датум репарације		
F			Контролор:		
		Датум уградње			
		Датум издрадње			
III репарација					
Врста оштећења					
Димензије предобрађеног точка			Додатни материја I слоја		
A			Додатни материја II-III слоја		
B			Термичка обрада		
C			Трвдоћа газне површине		
D			Бр. извештаје КБР-а		
E			Датум репарације		
F			Контролор:		
		Датум уградње			
		Датум издрадње			
IV репарација					
Врста оштећења					
Димензије предобрађеног точка			Додатни материја I слоја		
A			Додатни материја II-III слоја		
B			Термичка обрада		
C			Трвдоћа газне површине		
D			Бр. извештаје КБР-а		
E			Датум репарације		
F			Контролор:		
		Датум уградње			
		Датум издрадње			

Dodatak br. 4 - Softver za reparaturno navrivanje točkova

Softver za izradu tehnologije navarivanja točkova dizalica (sl. D.4.1) u sebi sadrži bazu svih točkova koji se koriste u Železari Smederevo sa dimenzijama i brojevima crteža.

Na osnovu broja crteža/prečnika točka (sl. D.4.2). i mera predobrađenog točka za navarivanje (sl. D.4.3), softver izračunava potrebne količine dodatnih materijala (sl. D.4.4) i propisuje tehnologiju navarivanja-uputstvo za navarivanje (sl. D.4.5). Štampani izveštaji o količini dodatnih materijala i uputstvo za navarivanje prikazani su u poglavlju 3 na sl. 3.24 i sl. 3.25.

Program je urađen u Visual Basicu 6.0.



Slika D.4.1. Uvodni ekran sa podacima o programu i autoru

REPARATURNO NAVARIVANJE TOČKOVA DIZALICA

Izaberite crtež točka:

NAZIVNE MERE TOČKA:

Prečnik gazne površine (An)	<input type="text" value="630"/>	mm
Prečnik venca (Bn)	<input type="text" value="690"/>	mm
Prečnik otvora (Cn)	<input type="text" value="135"/>	mm
Širina gazne površine (Dn)	<input type="text" value="100"/>	mm
Širina točka (En)	<input type="text" value="150"/>	mm
Širina venca (Fn)	<input type="text" value="25"/>	mm



Slika D.4.2. Ekran za izbor točka na osnovu broja crteža

REPARATURNO NAVARIVANJE TOČKOVA DIZALICA

UNESITE MERE PREDOBRAĐENOG TOČKA

Prečnik gazne površine (An)	<input type="text" value="606"/>	mm
Prečnik venca (Bn)	<input type="text" value="690"/>	mm
Prečnik otvora (Cn)	<input type="text" value="140"/>	mm
Širina gazne površine (Dn)	<input type="text" value="110"/>	mm
Širina točka (En)	<input type="text" value="150"/>	mm
Širina venca (Fn)	<input type="text" value="20"/>	mm



Slika D.4.3. Ekran za unos mera predobrađenog točka



Slika D.4.4. Ekran sa prikazom potrebne količine dodatnog materijala



Slika D.4.5. Ekran sa prikazom tehnologije navarivanja-uputstva za zavarivača

BIOGRAFSKI PODACI AUTORA

Drakče Tanasković je rođen 19.07.1969. godine u Smederevu. Osnovnu školu Radica Ranković završio je u Lozoviku. III i IV stepen stručne spreme zanimanja Elektrozavarivač i Tehnolog tehničar stiče u Tehničkoj školi Milentije Popović u Smederevu. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu upisuje 1989. godine. Diplomirao je na Katedri za proizvodno mašinstvo 1995. godine. Poslediplomske specijalističke studije upisuje na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu na Katedri za tehnologiju materijala 1995. Specijalistički rad na temu „Elektrootporno šavno zavarivanje oplata krova vagona“ odbranio je 1997. godine, a Magistarsku tezu ”Reparaturno navarivanje delova mašinske opreme izloženih habanju” odbranio je 2002. godine na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Doktorsku disertaciju prijavljuje 2012 godine.

Zaposlen je od 1994 godine . Obavljao je poslove: Inženjera održavanja Tople valjaonice SARTIDA 1913, Glavnog tehnologa za zavarivanje Šinskih vozila GOŠA – Smederevska Palanka; Rukovodioca pogona za remont tehnološke opreme i Rukovodioca laboratorije za naučno istraživački rad SARTID 1913; Zamenika rukovodioca i Rukovodioca sektora za proizvodnju rezervnih delova USS Smederevo; Glavnog inženjera konstruktora i Rukovodioca tehničkog sektora u Železari Smederevo.

Odlično poznaje: tehnologiju zavarivanja/navarivanja, metalaih materijala i mašinske obrade. Takođe, programske pakete ACAD, SolidWorks, Visual basic. Tokom dosadašnjeg rada ovladao je korišćenjem modula u SolidWorksu za simulaciju napona i deformacija. Član je Društva za integritet i vek konstrukcija. Posедуje licencu odgovornog projektanta Inženjerske komore Srbije. Služi se ruskim i engleskim jezikom.

Oženjen je, supruga Violeta 1972 god. (nastavnik razredne nastave); siniovi; Filip 2001. god. i Vuk 2008. god.

Autor je i koautor više stručnih i naučnih radova, koji su saopšteni na naučnim skupovima ili objavljeni u časopisima različitih kategorija, a od toga dva rada su štampana u međunarodnim časopisima koji imaju impact factor na SCI listi.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Дракче Р. Танасковић

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ОТПОРНОСТ ПРЕМА ХАБАЊУ И ЛОМУ РЕПАРАТУРНО НАВАРЕНИХ
ТОЧКОВА КРАНСКИХ ДИЗАЛИЦА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанта

У Београду, 26.09.2016.

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Дракче Р. Танасковић

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада ОТПОРНОСТ ПРЕМА ХАБАЊУ И ЛОМУ РЕПАРАТУРНО
НАВАРЕНИХ ТОЧКОВА КРАНСКИХ ДИЗАЛИЦА

Ментор Др Александар Седмак, редовни професор и
Др Марко Ракин, редовни професор

Потписани/а Дракче Р. Танасковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанта

У Београду, 26.09.2016.



Прилог 3.**Изјава о коришћењу**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ОТПОРНОСТ ПРЕМА ХАБАЊУ И ЛОМУ РЕПАРАТУРНО НАВАРЕНИХ
ТОЧКОВА КРАНСКИХ ДИЗАЛИЦА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанта

У Београду, 26.09.2016.



1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.