



Društvo za tehniku  
zavarivanja Slavonski Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH  
KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.

# MEHANIZIRANO NAVARIVANJE U TERENSKIM UVJETIMA: IZAZOVI, ISKUSTVO I PERSPEKTIVE MECHANISED OVERLAYING IN SITU CONDITIONS: CHALLENGES, EXPERIENCE AND PERSPECTIVE

V. Starčević<sup>1,\*</sup>, I. Opačak<sup>2</sup>, I. Putnik<sup>3</sup>, B. Grizelj<sup>2</sup>, M. Bošnjak<sup>1</sup>, T. Marsenić<sup>1</sup>, M.  
Činkl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Andritz TEP d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>2</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište u Slavonskom Brodu, Hrvatska

<sup>3</sup>Sitolor d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

\* Corresponding Author. E-mail: valnea.starcevic@ddtep.hr

## Sažetak:

Spalionice komunalnog otpada su složeni industrijski sustavi koji se koriste za proizvodnju energije, tehničke pare i termičku obradu otpada. Kao i drugi industrijski sustavi, podložni su trošenju, oštećenjima i kvarovima zbog utjecaja raznih faktora poput temperature, tlaka i dimnih plinova tijekom eksploatacije. Izvođenje redovitih remonta je od iznimne važnosti za održavanje optimalne razine performansi i sigurnosti sustava. Takvi remontu mogu produžiti radni vijek opreme, smanjiti rizik od skupih popravaka i dugotrajnih zastoja postrojenja, te osigurati siguran i pouzdan rad. U radu je prikazan primjer mehaniziranog kladiranja površine segmenta ložišta, s naglaskom na probleme koji su redovito prisutni tijekom ovakvih radova te iskustva i perspektivu za daljnji rad.

**Ključne riječi:** spalionica otpada, navarivanje, CMT postupak zavarivanja, remont, rad u skučenom prostoru

## Abstract:

Waste-to-energy plants are complex industrial systems used for generating energy, technical steam, and thermal treatment of waste. Like other industrial systems, they are subjected to wear, tear, damage, and malfunctions due to various factors such as temperature, pressure, and flue gases during operation. Performing regular maintenance is of utmost importance to maintain optimal levels of



performance and system safety. Such maintenance can extend the equipment's lifespan, reduce the risk of costly repairs and long plant downtimes, and ensure safe and reliable operation. The article presents an example of the automated overlaying of a furnace segment surface, with a focus on the problems that are regularly present during such work, as well as experience and prospects for further work.

**Keywords:** waste incineration, overlaying, CMT welding process; overhaul, confined space work

## 1. Uvod

Porast broja stanovništva i gomilanje otpada kao popratna pojava predstavljaju ozbiljan ekološki problem koji se javlja diljem svijeta. Konstantan rast broja stanovnika, a smim time i potreba za hranom, energijom i drugim životno potrebnim resursima dovodi do povećanja količine otpada koji se proizvodi. S obzirom da se veliki dio otpada ne reciklira, odnosno ne obrađuje na pravi način, gomilanje otpada neizbježan je scenarij koji dovodi do stvaranja velikih odlagališta, koja su često nedovoljno regulirana i predstavljaju ozbiljnu ugrozu za okoliš i ljudsko zdravlje. Kako bi se smanjio broj odlagališta i reducirala količina otpada koja tamo neizbježno završava, sve veća pažnja se posvećuje alternativnim metodama obrade otpada poput recikliranja, kompostiranja te spaljivanja. Kotao za spaljivanje mješanog komunalnog otpada (eng. Municipal Waste to Energy – *MwtE*) jedna je od alternativnih metoda i predstavlja učinkovit način rješavanja problema velike količine otpada koji nije prikladan za reciklažu i kompostiranje uz dobivanje korisne energije.

Kotlovi za spaljivanje komunalnog otpada vrlo su učinkoviti u proizvodnji energije, naročito u urbanim sredinama gdje postoji velika potražnja za energijom. Spaljivanje otpada u kotlu omogućava opskrbu električnom energijom i grijanjem, čime se smanjuje potreba za fosilnim gorivima te reducira ukupni ugljični otisak i emisija stakleničkih plinova. Međutim, uporaba kotlova za spaljivanje otpada ima i svoje negativne strane. Premda spaljivanje otpada nije idealna opcija obrade otpada, moderni kotlovi za spaljivanje otpada projektirani su tako da njihov utjecaj na okoliš u vidu emisije ispušnih plinova, ostataka od spaljivanja i sl. bude sveden na minimum. Kako bi se ostvarila održivost ove opcije, potrebno je pratiti stroge propise o emisijama dimnih plinova koji se ispuštaju u atmosferu i zaštiti okoliša. Projektiranjem kotla s visokim stupnjem učinkovitosti, edukacijom operatera o pravilnom upravljanju te redovitim održavanjem i provjerom ispravnosti ugrađene opreme svesti će negativni utjecaj na okoliš na minimum.

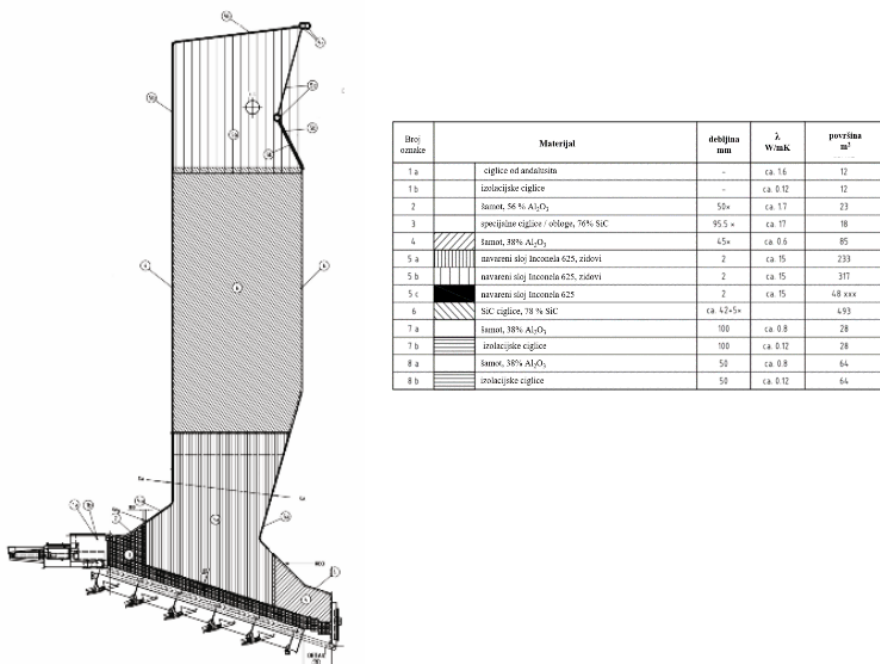
## 2. Održavanje i nadzor rada kotlovskih postrojenja

Spaljivanje komunalnog otpada predstavlja veliki izazov za održavanje kotla, s obzirom na štetan utjecaj koji može imati na sam kotao, ali i na okoliš. Visoke temperature te agresivni dimni plinovi koje se razvijaju prilikom spaljivanja otpada mogu uzrokovati deformacije i oštećenje materijala, što dovodi do smanjenja radnog vijeka kotlovskog postrojenja. Radni vijek kotla usko je povezan s

pravilnim upravljanjem kotlom, redovnim održavanjem, pregledima te pravovremeno organiziranim remontom. Redovni remont ključni su u osiguravanju maksimalne funkcionalnosti kotla s obzirom da omogućavaju detektiranje i rješavanje problema prije nego što postanu ozbiljni i skupi za popravak, odnosno eskaliraju i dovedu do gubitka prihoda, oštećenja opreme i sl. Dugotrajni remont i neispravnost mogu rezultirati visokim troškovima popravaka i gubitkom prihoda zbog nedostupnosti kotla za proizvodnju energije. Stoga je važno da se kontinuirano vodi briga o stanju kotla te da se detektiraju i popravljaju manji kvarovi prije nego što postanu zahtjevniji za popravak i traže dugotrajniji zastoj.

### 3. Prevencija korozije ložišnog prostora kotla

Kotlovi za spaljivanje komunalnog otpada predstavljaju složene sisteme koji se sastoje od više dijelova, uključujući ložište kotla, koje je jedan od ključnih elemenata tijekom procesa sagorijevanja. Ložište kotla predstavlja centralno mjesto gdje otpad sagorijeva i gdje se generira toplinska energija koja se koristi za daljnje procese. Korozija zidova kotla uzrokovana djelovanjem visokih temperatura i agresivnih dimnih plinova može značajno utjecati na efikasnost i radni vijek kotla, pravilan izbor načina zaštite zidova ložišta od teških radnih uvjeta, zbog toga je od vitalne je važnosti za pouzdano funkcioniranje kotla. Najčešći oblik zaštite zidova kotla u zoni ložišta je oblaganje slojevima vatrostalnog ozida i izolacijskog materijala. Uz zaštitu od korozije, ozid sprječava prodiranje vanjskog zraka u ložište te izolira kotao od gubitaka topline. Na slici 1 prikazan je raspored zona zaštite membranskih zidova ložišta od djelovanja visokih temperatura i dimnih plinova.



Slika 1. Raspored izolacije zidova ložišta kotlova za spaljivanje komunalnog otpada [1]

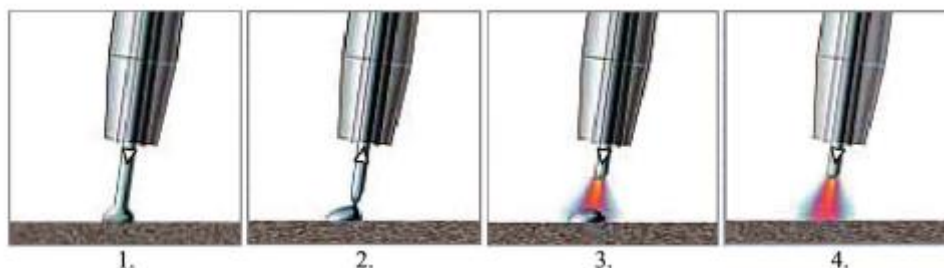
Vatrostalni ozid primjenjuje se na nižim dijelovima kotla zbog otpornosti na visoke temperature i abraziju, stoga se primjenjuje na mjestima gdje su temperature najviše.

S druge strane, Cr-Ni legura Inconel 625 ima visoku otpornost na korozijsko djelovanje i oksidaciju pri visokim temperaturama, pa se koristi na dijelovima kotla gdje temperatura nije toliko visoka kao na dnu ložišta, no svejedno su dovoljno visoke da zahtijevaju materijal koji je otporan na toplinski i kemijski utjecaj.

### 3.1. Navarivanje primjenom CMT postupka

Navarivanje (eng. *Overlaying*) predstavlja postupak dodavanja sloja materijala na površinu metalne konstrukcije radi povećanja njene otpornosti na različite vrste korozije, trošenja te visokih temperatura. Navarivanje vrlo često svoju primjenu nalazi u industriji na dijelovima i površinama koje su izložene teškim radnim uvjetima, a koji bi utjecali na njihovu funkcionalnost, odnosno skratili njihov životni vijek. Navarivanje se obično provodi pomoću lasera te električnog luka. Za potrebe članka biti će opisano navarivanje primjenom CMT postupka.

CMT postupak (eng. *Cold Metal Transfer*) predstavlja unaprijeđeni postupak MIG/MAG zavarivanja u kojoj dodatni materijal vibrira visokom frekvencijom. CMT proces zavarivanja se sastoji od 4 koraka, koji su shematski prikazani na slici 2.



Slika 2. Faze CMT procesa zavarivanja [2]

Dodavanjem i izuzimanjem žice dodatnog materijala prilikom kontakta s osnovnim materijalom (prekidanje električnog luka) ostvaruje se velika stabilnost procesa zavarivanja te kontrolirano odvajanje kapljica metala pri zavarivanju / kladiranju. Ovim načinom rada na kontrolirani način unosi se toplina u zavareni spoj, a smanjuje nastanak plinova i prskanje rastaljenog metala [3].

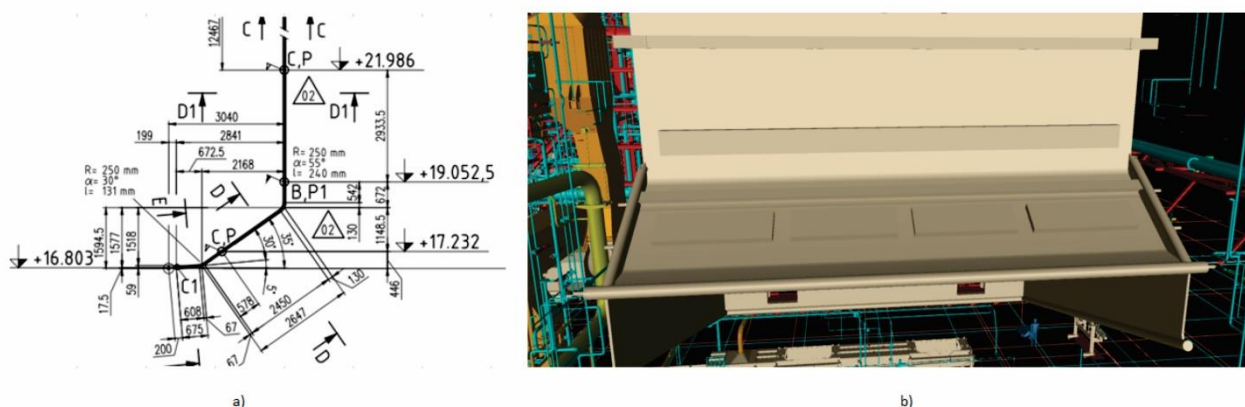
## 4. Praktični dio rada

### 4.1. Projektni zadatak

U praktičnom dijelu članka opisan je postupak mehaniziranog navarivanja Ni 625 legure (W.Nr. 2.4831) na segment membranskog zida koji se kolokvijalno naziva „nos ložišta“ (eng. *Bullnose arch*).

Tijekom izgaranja miješanog komunalnog otpada, unutar ložišta razvijaju se temperature u rasponu  $850^{\circ}$  -  $1200^{\circ}\text{C}$  (kako bi se osiguralo što potpunije izgaranje goriva na rešetci) te agresivni dimni plinovi. Zbor raznovrsnog sastava i stanja u kojem se nalazi komunalni otpad, još uvijek u potpunosti nisu poznate kemijske reakcije koje se odvijaju unutar ložišta prilikom njegovog spaljivanja, ekonomski najprihvatljiviji oblik zaštite zidova ložišta od visoko temperaturne korozije i visokih temperatura predstavlja zaštićivanje vatrostalnim ozidom.

„Nos ložišta“ naziv je strukturnog elementa savijenog u obliku luka na donjem dijelu prednjeg zida ložišta. Zbog svog smještaja i specifične geometrije predstavlja mjesto gdje dolazi do sužavanja kotla, a zbog blizine rešetke izložen je djelovanju izuzetno visokih temperatura i dimnih plinova. Pravilno konstruiran, postavljen i izoliran nos u ložištu pomaže u pravilnoj raspodjeli topline, zaštićujući pregrijače od direktnog utjecaja topline iz ložišta, dok istovremeno usporava i usmjerava struju dimnih plinova prema prema dimovodnom kanalu, kako bi se osigurala što ravnomjernija distribucija dimnih plinova iz ložišta na ogrjevnim površinama pregrijačkih i ispitivačkih površina, (slika 3.)



Slika 3. a) detalj izrade nosa ložišta - a, b) shematski prikaz nosa ložišta

Prilikom spaljivanja komunalnog otpada nastaju izuzetno visoke temperature i struje dimnih plinova agresivnog karaktera. Kako bi se izbjegla degradacija zidova ložišta tijekom perioda eksploatacije i produžio njegov radni vijek potrebno je stvoriti barijeru između unutrašnjosti kotla, gdje se nalazi plamen i pepeo te zidova ložišta. Vatrostalni materijali imaju visoke točke taljenja i izvrsna svojstva toplinske izolacije, što ih, uz relativno nisku cijenu čini optimalnim načinom zaštite donjih dijelova ložišta.

Premda nos ložišta može smanjiti temperaturu u gornjim slojevima ložišta, ona je i dalje izuzetno visoka te može oštetiti zidove ukoliko nisu adekvatno zaštićeni. Zaštita gornjih dijelova ložišta osigurava se slojem Inconel 625 na kladiranim zidovima ložišta tijekom procesa proizvodnje.

Kako bi dodatno osigurala trajnost i funkcionalnost prostora ložišta, Investitor je donio odluku o produžavanju kladirane zone zidova ispod linije ozida te izmjenu postojećeg sloja betona na zidovima ložišta kotla, (slika 4.)



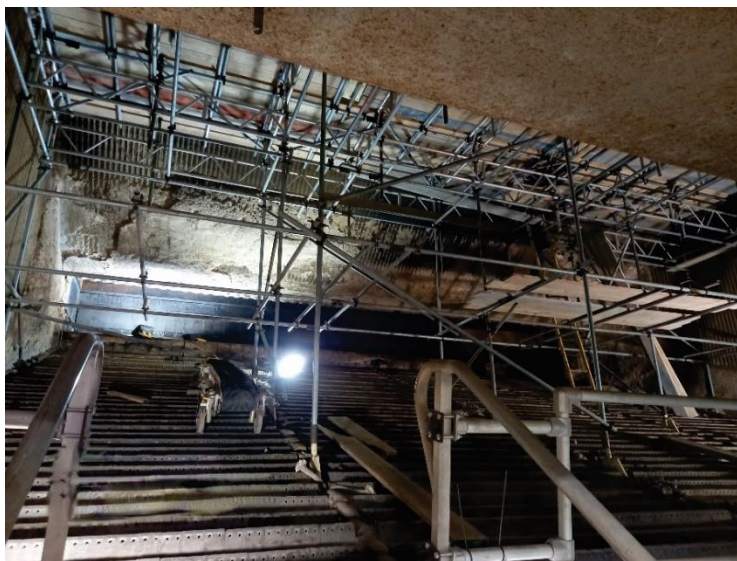


**Slika 4.** Pogled na stanje izolacije zidova ložišta prije izvođenja radova

#### 4.2. Priprema površine za navarivanje

Za postizanje kladiranog sloja visoke kvalitete bitno je voditi računa o nekoliko ključnih čimbenika procesa. Potrebno je osigurati čistoću radnog mjesta, kvalitetnu pripremu radne površine, položaj zavarivanja, tehnike rada gorionika i sl. Važno je naglasiti da ovi čimbenici imaju ključnu ulogu u postizanju zahtijevane kvalitete kladiranog sloja, posebno kada se uzme u obzir da se proces izvodi u zahtjevnim uvjetima.

Radna lokacija smještena je na elevaciji od +16,8 m unutar ložišta, koje je nagnuto pod kutom od 18°. Radi osiguranja pristupa radnom mjestu, potrebno je postaviti skelu i pripadnu platformu, kao što je prikazano na slici 5.



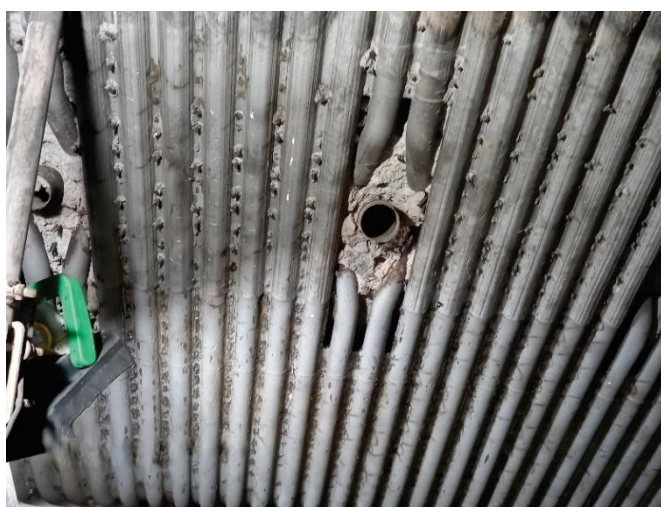
**Slika 5.** Montaža skele i osiguravanje uvjeta za rad

Za postizanje visokokvalitetnog navarene površine, ključan je pravilan postupak pripreme radne površine. Pristup membranskom zidu zahtijeva uklanjanje sloja postojećeg betona, nakon čega slijedi pjeskarenje površine kako bi se postigao visok metalni sjaj (Sa 2,5 - Sa 3). Nakon toga, potrebno je ukloniti nosače za izolaciju V- tipa koje su zavarene za netlačni dio zida (traku). Prilikom odrezivanja nosača za izolaciju koristi se brusilica, pri čemu je potrebno paziti da se ne zareže u cijevi (slika 6.).



**Slika 6.** Odrezivanje nosača izolacije V- tipa sa zida ložišta

Nakon uklanjanja nosača za izolaciju sa zida, potrebno je provesti detaljnu vizualnu inspekciju područja gdje se provodi navarivanje. Uklanjanje ozida sa zida ponekad može uzrokovati oštećenja na traci membranskog zida, koje je potrebno sanirati prije početka procesa kladiranja. Za ovaj postupak može biti potrebna upotreba pneumatskog čekića, a oštećena područja se moraju pažljivo popraviti kako bi se osigurala kvalitetna priprema površine za navarivanje, (slika 7.)



**Slika 7.** Vizualni aspekt membranskog zida nakon uklanjanja nosača izolacije i ozida

Svaka nesanirana brazda i ostatak od odrezanog nosača izolacije potencijalna su mjesta zastoja rada automata za navarivanje. Kako bi se to izbjeglo, prije pristupanja mehaniziranom kladiranju zidova potrebno je manualnim MIG/MAG zavarivanjem popuniti brazde te ukloniti ostatke nosača laganim brušenjem na zidu ložišta, (slika 8).



**Slika 8.** Pripremljena površina zida za navarivanje

#### 4.3. Simulacija terenskih uvjeta kladiranja u radionici

Obzirom da se remontni radovi odvijaju na postrojenju za zbrinjavanje velikog volumena komunalnog otpada (oko 600 000 tona godišnje) koje opskrbljuje električnom energijom oko 80 000 kućanstava, svaki prekid rada znači značajan financijski gubitak.

U periodu od 7 radnih dana, koliko je planiran zastoj rada linije za spaljivanje, jedna od aktivnosti remonta uključivala je produžavanje linije kladiranog sloja na donjem dijelu ložišta (Nos ložišta) na površini od 27,3 m<sup>2</sup>. Investitor je za projekt postavio vrlo stroge tehnološke zahtjeve (udio Fe u navarenom sloju mora biti ispod 5 % neovisno o izabranom načinu kladiranja, debljina sloja Inconela mora se kretati u rasponu od 2,0 – 4,0 mm po cijeloj površini, te broj grešaka na sloju ne smije prelaziti 5 grešaka po m<sup>2</sup>).

Ručno navarivanje u ovako ograničenom vremenskom roku, skučenom radnom prostoru te strogim zahtjevima predstavlja vrlo težak i fizički neizvodiv zadatak. Za najbolje rješenje odabrana je kombinacija automatskog MIG/MAG i ručnog zavarivanja.

Budući da je posao specifičan i odvija se u terenskim uvjetima, nužno je simulirati uvjete rada u radionici kako bi se olakšao i ubrzao proces rada na gradilištu. Za potrebe proizvodnje, proces kladiranja uglavnom se izvodi u horizontalnom (PC) i vertikalnom (PA) položaju, dok su ostali položaji manje zastupljeni. Na slici 9 prikazana je simulacija procesa kladiranja primjenom CMT postupka zavarivanja u naglavnom položaju (PE).

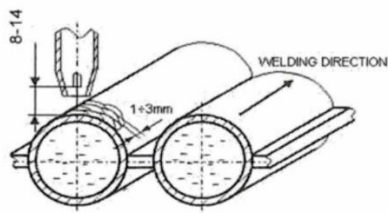




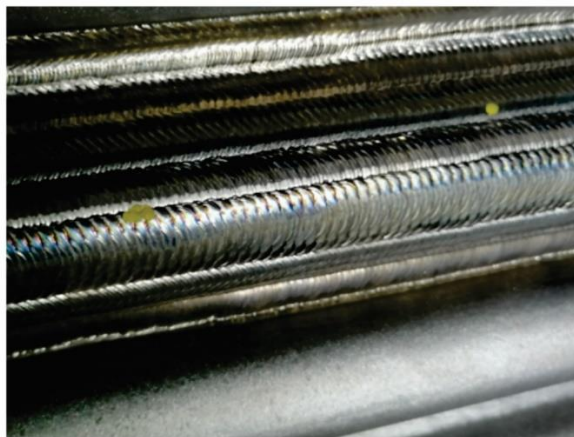
**Slika 9.** Simulacija terenskih uvjeta navarivanja u naglavnom položaju

Na probni panel (sličnih karakteristika kao i površina na kojoj će se izvoditi navarivanje na terenu) pomoću magnetskog mosta postavljena je klizna staza - duga ravna površina po kojoj traktor za zavarivanje kontinuirano vodi gorionik CMT uređaja za zavarivanje. Radi izbjegavanja pregrijavanja gorionika i oštećivanja materijala zbog visokog toplinskog inputa, kroz gorionik cirkulira hladna voda. Prolaskom vode, gorionik se hladi i omogućava da ostane u stabilnom radnom stanju tijekom duljih perioda rada, što povećava trajnost i pouzdanost opreme.

Prilikom izvođenja probnog kladiranja na pripremljenom panelu potrebno je ostvariti minimalnu debljinu sloja Inconela od 2 mm; to je naročito važno kod savijenog dijela, pošto je zbog svoje izbočenosti u ložištu prvi na udaru dimnih plinova. Također, korištena je žica na bazi Ni legure 625 u zaštiti četvero komponentne plinske mješavine trgovačkog naziva Cronigon 10 kako bi se osigurala kvalitetna zavarena površina. Probno navarivanje na testnom panelu dalo je zadovoljavajuće rezultate, što znači da je metoda kladiranja primjenjiva u terenskim uvjetima, slika 10.



a)



b)

**Slika 10.** a) smjer i visina gorionika pri kladiranju [1], b) testni kladirani uzorak

Na magnetski most pričvršćuje se traktor za zavarivanje /navarivanje za uređaj i gorionik koji se kreću po kliznim stazama postavljenima na pripremljenoj površini ložišta. Kako bi se postigao optimalni učinak u određenom vremenskom roku, klizne staze s tri flaxtrack uređaja postavljene su po cijeloj dužini zida, svaki na zasebnoj stazi, (slika 11). Svaki traktor za navarivanje zahtijeva jednog operatera - poslužitelja koji upravlja uređajem i nadzire kvalitetu procesa kladiranja, dok ručni zavarivači preuzimaju područja koja su automatima teško dostupna te rade popravke eventualnih grešaka nastalih strojnim zavarivanjem.



**Slika 11.** Klizna staza za postavljanje pristroja za kladiranja

Tijekom izvođenja kladiranja, velika količina topline unosi se u strukturu materijala, što može uzrokovati eventualni nastanak deformacija i oštećenja materijala. Kako bi se izbjegao takav scenarij, potrebno je osigurati kontinuirano hlađenje zone navarivanja vodom. U kotlovskom postrojenju, voda cirkulira kroz zidove ložišta, dok se otpad sagorijeva na rešetki te služi kao medij za odvođenje prekomjerne topline.

Kada je linija za spaljivanje otpada prestala sa radom, voda iz sustava izdrenirana je do visine + 22 m kako bi se osiguralo hlađenje zone kladiranja, uz omogućavanje rada ostalim pod izvoditeljima na višim elevacijama kotla.

Primjenom CMT postupka kladiranja u kombinaciji sa iskusnim operaterom omogućeno je zavarivanje dugih longitudinalnih zavara te raniji završetak kladiranja (1 smjena ranije) u odnosu na



Društvo za tehniku  
zavarivanja Slavonski Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

**„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH  
KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“**

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.

ugovoreni rok bez kompromisa vezanog za kvalitetu nakladiranog sloja. Mehanizirano zavarivanje maknulo je operatera iz zone zavarivanja i jakog blijeskanja, te rad stroja nadzire cijeli proces te intervenira kada ocjeni da je potrebno, čime se broj grešaka na kladiranom sloju sveo na minimum. Nakon izvršenog rada, predstavnik odjela kvalitete Investitora izvršio je pregled te ispitivanje sloja Inconela na zidovima, koji su potvrdili da izvršeni rad svojom kvalitetom i karakteristikama u potpunosti zadovoljili postavljene kriterije.

## 5. Zaključak

Spalionice komunalnog otpada kompleksni su industrijski sustavi koji zahtijevaju redovito održavanje i remont kako bi se osigurao kontinuiran i siguran rad. Radovi na postrojenjima gdje je zahtijevano gašenje sustava (kotla u ovom slučaju) vremenski su svedeni na minimum, uz rad većeg broja podizvođača u isto vrijeme. Manualno zavarivanje i navarivanje uzdužnih zavara na dugim segmentima MIG/MAG postupkom u skućenim prostorima poput ovog znači zauzimanje prisilnog položaja predstavlja napor za mišićno – koštani sustav u tijelu, a ima i utjecaj na kvalitetu i učinkovitost zavarivanja. U sklopu rada opisan je postupak kladiranja segmenta ložišta kombinacijom mehaniziranog te ručnog kladiranja CMT postupkom.

Primjena mehaniziranog CMT postupka kladiranja na gradilištu donosi brojne prednosti u odnosu na ručno navarivanje: visokokvalitetno zavarivanje i ponavljanje identičnih spojeva bez potrebe za stalnom intervencijom zavarivača, precizno kontroliranje uvjeta procesa i osiguranje optimalne kvalitete zavara, duže efektivno vrijeme gorenja električnog luka te učinkovitost.

## 6. Literatura

- [1] Interna dokumentacija tvrtke ĐĐ TEP d.o.o., Slavonski Brod, 2015.
- [2] <http://www.scribd.com/doc/26544439/Davor-Kolar-Cold-Metal-Transfer>,  
[http://milexdoo.com/FRONIUS\\_CMT.html](http://milexdoo.com/FRONIUS_CMT.html) (08.04.2023.)
- [3] Rajković, V., Despotović, B., Žubrinić, D.: Primjena „CMT“ procesa pri navarivanju cijevnih zidova; DTZSB 2011., Slavonski Brod, 2011.