Aluminotermijsko zavarivanje

Grgurić, Mateo

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:231:668914

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

ZAVRŠNI RAD

Mateo Grgurić

Rijeka, 2018.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Student:

Prof. dr. sc. Marko Dunđer, dipl. ing. Mateo Grgurić

Rijeka, 2018.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
Studij Politehnike
Rijeka, Sveučilišna avenija 4.

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite

U Rijeci, 8.6.2018.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: **Mateo Grgurić**

Zadatak: **Aluminotermijsko zavarivanje**

Rješenjem zadatka potrebno je obuhvatiti sljedeće:

1. Uvodni dio - povijest zavarivanja.
2. Tračnice - podjela, te svojstva čelika za izradu tračnica.
3. Zavarivanje tračnica - pregled postupaka zavarivanja.
4. Aluminotermijski postupak zavarivanja - procedura zavarivanja tračnica.
5. Eksperimentalni dio.
6. Zaključak

U završnom se radu obvezno treba pridržavati **Pravilnika o Završnom radu i Uputa za izradu Završnog rada sveučilišnog dodiplomskog studija**.

Zadatak uručen pristupniku: **8.6.2018.**
Rok predaje završnog rada: **3. mjeseca**
Datum predaje završnog rada: _____

PREDSJEDNIK POVJERENSTVA ZA ZAVRŠNE I DIPLOMSKE ISPITE:

Doc.dr.sc. Damir Purković

ZADATAK ZADAO:

Prof.dr.sc. Marko Dunđer

IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad „Aluminotermijsko zavarivanje“ izradio samostalno primjenom vlastitog znanja stečenog tijekom studiranja i uz pomoć navedene literature.

Tijekom pisanja završnog rada svojim savjetima i uputama vodio me je mentor završnog rada, prof. dr. sc. Marko Dunđer, kome se prvenstveno zahvaljujem na pruženoj pomoći pri izradi ovog završnog rada.

Hvala gospođi Fedori koja je vodila brigu o nama studentima i uvijek nam bila spremna pomoći.

Također, zahvaljujem se svojim kolegama kao i prijateljima koji su svojom prisutnošću bili uvijek uz mene i uljepšali moje studentsko razdoblje.

Ovim putem iskrenu zahvalu iskazujem svojoj obitelji koja me podržavala cijelim putem mojeg obrazovanja i usmjerila na pravi put.

Veliko HVALA svima!

U Rijeci, rujna 2018.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA IV
POPIS KRATICA V
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VII
SUMMARY VIII
1 UVOD 1
1.1 Povijest zavarivanja 1
1.2 Kovačko zavarivanje 1
1.3 Ljevačko zavarivanje 1
1.4 Razvoj suvremenih postupaka zavarivanja 2
1.5 Prvo zavarivanje u svemiru 2
1.6 Zavarivanje pod vodom 2
1.7 Povijesni razvoj zavarivanja u Hrvatskoj 3
1.8 Zavarivanje 3
1.8.1 Glavne podjele postupka zavarivanja 4
1.8.2 Prednosti i nedostaci zavarivanja: 5
2 TRAČNICE 6
2.1 Definicija tračnica 6
2.2 Podjela tračnica 7
2.2.1 Podjela tračnica prema kvaliteti materijala 7
2.2.2 Podjela tračnica prema obliku 7
2.2.3 Podjela tračnica prema tipu (Vignolove tračnice) 9
2.3 Svojstva čelika za izradu tračnica 10
2.3.1 Perlitni čelici 10
2.3.2 Bainitni čelici- moderni čelici za tračnice 11
2.3.2.1 Gornji bainit 11
2.3.2.2 Donji bainit 12
2.3.2.3 Mehanička svojstva bainitnog čelika 12
2.4 Svojstva čelika prema svjetskim normama (UIC 860V) 12
3 PREGLED POSTUPAKA ZAVARIVANJA TRAČNICA 15
3.1 Elektrootporno zavarivanje 15
3.2 Aluminotermijsko zavarivanje tračnica (AT postupak) 17
3.3 Elektrolučno zavarivanje tračnica popunjavajućom elektrodom 18
3.4 Autogeno zavarivanje tračnica 19

4 ALUMINOTERMIJSKI POSTUPAK ZAVARIVANJA 20
4.1 Povijest aluminotermijskog zavarivanja 20
4.2 Kemijska reakcija i dobivanje termita 20
4.3 Potrebni materijali za aluminotermijsko zavarivanje 21
4.3.1 Brtveni dijelovi 22
4.3.2 Oblici vatrostalnog kalupa 22
4.3.3 Vatrostalne obloge 23
4.3.4 Čep lonca 23
4.3.5 Iskra za paljenja smjese 23
4.4 Glavna oprema 23
4.4.1 Pila ili disk za piljenje 23
4.4.2 Nosač lonca 24
4.4.3 Tradicionalni lonac 24
4.4.4 Lonac za jednokratnu upotrebu 24
4.4.5 Teglica troske 25
4.4.6 Plamenik za predgrijavanje 25
4.4.7 Ostala oprema 26
4.5 Procedura zavarivanja tračnica 26
4.5.1 Pripremni radovi prije zavarivanja 26
4.5.2 Radovi zavarivanja 28
4.5.3 Završni radovi 29
5 EKSPERIMENTALNI DIO 31
6 ZAKLJUČAK 38
7 LITERATURA 39

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Prikaz elektrolučnog zavarivanja [3] 4
Slika 2.1. Prikaz tračnica [7] 6
Slika 2.2 Razvoj tračnica [8] 6
Slika 2.3 Prikaz Vignolove tračnice [10] 8
Slika 2.4 Shematski prikaz PHOENIX tračnice (mjere iskazane u mm) [6] 8
Slika 2.5. Shematski prikaz kranske tračnice (mjere u mm) [6] 8
Slika 2.6. Profili tračnica za skretanje [8] 9
Slika 2.7. Fe-Fe_3C dijagram [13] 11
Slika 2.8.Opis oznaka na vratu tračnice [6] 14
Slika 3.1. Prikaz elektrootpornog zavarivanja [6] 17
Slika 3.2. Shematski prikaz aluminotermijskog zavarivanja [6] 17
Slika 3.3. CGEAW postupak zavarivanja [14] 18
Slika 3.4. Prikaz neutralnog plamena[4] 19
Slika 4.1. Prikaz vreća sa sadržajem za brtvljenje [15] 22
Slika 4.2. Oblici vatrostalnog kalupa [15] 22
Slika 4.3. Prikaz tradicionalnog lonca (zvanog tigl) [15] 24
Slika 4.4. Lonac za jednokratnu upotrebu sa zaštitnim uređajem [18] 25
Slika 4.5. Lonac za jednokratnu upotrebu [18] 25
Slika 4.6. Teglica za trosku [4] 25
Slika 4.7. Proces aluminotermijskog zavarivanja [4] 26
Slika 4.8. Poravnavanje tračnica prije zavarivanja sa standardnim razmakom [17] 27
Slika 4.9. Prikaz sastavljenog kalupa za ulijevanje [19] 28
Slika 4.10. Prikaz opreme s loncem za zavarivanje [9] 28
Slika 4.11. Reakcija zapaljenja termitne smjese [20] 29
Slika 4.12. Hidrulični trimer za skidanje viška materijala [17] 29
Slika 4.13. Brusilica za završnu obradu zavara [9] 30
Slika 4.14. Izgled završnog spoja tračnice [12] 30
Slika 5.1. Poravnavanje tračnica 31
Slika 5.2. Namještanje kalupa i nosača tigl lonca 31
Slika 5.3. Nanošenje gline na kalup 32
Slika 5.4. Izgled kalupa nakon završenog nanošenja gline 32
Slika 5.5. Postavljanje tigl lonca 33
Slika 5.6. Predgrijavanje kalupa plinskim plamenom 33
Slika 5.7. Prikaz paljenja termitne smjese 34
Slika 5.8. Aluminotermijska reakcija 34
Slika 5.9. Kalup popunjen talinom 35
Slika 5.10. Razbijanje kalupa 35
Slika 5.11. Uklanjanje viška materijala hidrauličnim trimerom 36
Slika 5.12. Tračnica nakon uklanjanja viška materijala 36
Slika 5.13. Završno brušenje zavarenog spoja 37
Slika 5.14. Izgled zavarene tračnice 37

POPIS TABLICA

Tablica 1.1. Podjela zavarivanja taljenjem [4].....4
Tablica 1.2. Podjela zavarivanja pritiskom [4].....5
Tablica 1.3. Prikaz prednosti i nedostataka zavarivanja [4, 5].....5
Tablica 2.1 Podjele prema kvaliteti tračnica [9].....7
Tablica 2.2. Prikaz oznaka tipova Vignolov-ih tračnica [9].....9
Tablica 2.3. Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika za izradu tračnica [12].....13
Tablica 2.4. Načini proizvodnje čelika [6].....14

POPIS KRATICA

KRATICA	OPIS KRATICA
C	Ugljik
TIG	Elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina
MAG	Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti neutralnog plina
REL	Ručno elektrolučno zavarivanje
EO	Elektrootporno zavarivanje
EPP	Zavarivanje pod praškom
MIG	Elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti neutralnog plina
CEN	Europski komitet za normiranje
HB	Tvrdoća po Brinellu
Mn	Mangan
Ti	Titan
V	Vanadij
Nb	Niobij
Cu	Bakar
Ni	Nikal
Mo	Molibden
UIC	Međunarodna željeznička unija
CGEAW	Elektrolučno zavarivanje popunjavajućom elektrodom

POPIS OZNAKA

Oznaka	Naziv	Mjerna jedinica
σ_M	vlačna čvrstoća	MPa - N/mm^2
s	razmak, udaljenost	mm
U	Napon	V
I	Struja	A
θ	Temperatura	°C
p	tlak	bar
Q	toplina	kJ
m	masa	kg
t	vrijeme	s, min

SAŽETAK

U radu je opisan aluminotermijski postupak zavarivanja tračnica. U uvodnom dijelu opisan je povijesni razvoj postupaka zavarivanja, opisuje se pojam i podjela zavarivanja.

U poglavljima koja slijede se obrađuje pojam tračnica. Ukratko je opisan tip tračnica koji se koristio tijekom godina, a zatim i njihova podjela. Razrađena su svojstva čelika koji se koristi za izradu tračnica. Napisan je i kratki pregled postupaka zavarivanja tračnica u kojem su detaljnije opisani parametri pojedinih postupaka. Na koncu je prikazan detaljan i slikoviti opis aluminotermijskog zavarivanja u realnim uvjetima s potrebnom opremom.

U zaključku rada, je kratki osvrt na aluminotermijsko zavarivanje.

Ključne riječi: tračnice, zavarivanje, aluminotermijski postupak zavarivanja, termitna smjesa, čelik

SUMMARY

This thesis describes the aluminothermic process of welding the rails. The introductory section describes the historical development of welding processes, describing the concept and division of welding.

The following chapters deal with the notion of rails. A brief description of the type of rails used over the years has been described and then their distribution. The properties of steel used to make rails have been elaborated. A brief overview of rail welding procedures was also prepared, in which the parameters of individual procedures are described in detail. Finally, a detailed and descriptive description of aluminothermic welding is presented in realistic conditions with the required equipment.

In conclusion of the paper, there is a brief overview of the aluminothermic welding.

Keywords: rails, welding, aluminothermic welding process, thermal mixture, steel

1 UVOD

1.1 Povijest zavarivanja

Postupci zavarivanja poput kovačkog zavarivanja, ljevačkog zavarivanja i lemljenja, korišteni su u vrijeme brončanog i željeznog doba. Današnji postupci zavarivanja otkriveni su u novije vrijeme. Prije 10000 godina započeto je korištenje bakra dok šire korištenje metala nije bilo moguće dok ljudi nisu naučili taljenjem ruda izdvajati metale. Pet tisuća godina prije Krista u Afganistanu i Perziji započeto je izdvajanje bakra iz rude i to taljenjem pomoću vatre. Zavarivanje se često koristilo pri izradi oružja, oruđa, nakita, posuda, mostova i dijelova građevina. [1]

1.2 Kovačko zavarivanje

U srednjem vijeku mačevi su izrađivani od niskougljičnog čelika, za dobivanje oštrica na rubove su se nanosile trake od visokougljičnog čelika (1-2.1 %C) koje su zavarivane u toplom stanju udarcima čekića. Zatim se izradak izlagao dodatnoj toplinskoj obradi kojom se dobivao mač s tvrdim, oštrim i čvrstim bridovima. Za postizanje dobrih svojstava za mačeve i puške često je korištena tehnika spajanja traka iz različitih vrsta željeznih materijala kovanjem koja se naziva damasciranje.

U današnje vrijeme se često koristi kovačko zavarivanje pri izradi dijelova iz kompozitnih materijala, tako što se dva kraja zavare, zagriju u kovačkoj vatri do bijelog usijanja te po potrebi pospu pijeskom za čišćenje. Udaranjem čekića po spoju istiskuju se s dodirnih površina rastaljeni oksidi ili troska. Djelovanjem međuatomskih sila dvaju zavarivanih dijelova dolazi do formiranja zavarenog spoja. [1]

1.3 Ljevačko zavarivanje

S razvijanjem tehnike lijevanja dolazi i do razvijanja ljevačkog zavarivanja. Postupak se zasniva da se već na odliveno tijelo nekog predmeta ili vaze naknadnim lijevanjem spoje razne figure, držači i oslonci. [1]

1.4 Razvoj suvremenih postupaka zavarivanja

Ruski znanstevnik Vasilij Petrov 1802. godine istražuje i predlaže primjenu električnog luka za zavarivanje, međutim 1882. znanstvenik Nikolaj Benardos koristi električni luk dobiven između metala i ugljene elektrode sa dodavanjem žice u metalnu kupku. Daljnjim razvojem zavarivanja 1895. godine koristi se zavarivanje plinskim plamenikom, a za zavarivanje tračnica upotrebljava se aluminotermijsko zavarivanje. Od 1907. godine koriste se obložene elektrode, a od 1936. godine obloga se nanosi ekstrudiranjem. Zavarivanja u zaštitnoj atmosferi vodika koriste se od 1925. godine a kasnije su se počeli koristi helij i argon. Automatsko zavarivanje pod praškom našlo je primjenu u izgradnji brodova u SAD-u, 1930-ih godina. Nakon Drugog svjetskog rata dolazi do razvoja TIG postupka (zavarivanje u zaštitnom plinu argona), a MAG postupak s ugljičnim dioksidom se prvi put koristi u Sovjetskom Savezu i to 1953.godine.
Najnovije metode počinju od 1950. godine, a u njih ubrajamo zavarivanja: plazmom, ultrazvukom, snopom elektrona, laserom, trenjem i pod troskom.

1.5 Prvo zavarivanje u svemiru

16.10.1969. god. u svemirskom brodu "Sojuz 6" astronauti G.Šonin i V.Kubasov izveli su prvo zavarivanje u svemiru plazmom, elektronskim snopom i taljivom elektrodom u električnom luku. Tijekom kasnijih svemirskih letova razvijen je uređaj koji omogućuje lemljenje, zavarivanje, rezanje te se može koristiti za prevlačenje raznih površina s metalnim prevlakama u svemiru. Zahvaljujući ovom uređaju za zavarivanje moguće je vršiti popravke na svemirskim letjelicama i svemirskim postajama.

1.6 Zavarivanje pod vodom

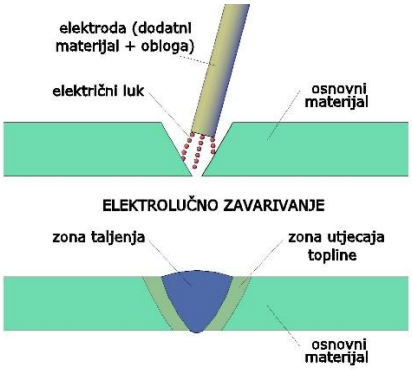
Drugo važno područje istraživanja je zavarivanje pod vodom suhim i vlažnim postupkom.
U današnje vrijeme ronioci na dubini od 300 metara koriste već spomenute automatizirane naprave za izgradnju platformi, podmorskih plinskih i naftnih cjevovoda. Ovaj postupak se naziva hiperbaričko zavarivanje. [1]

1.7 Povijesni razvoj zavarivanja u Hrvatskoj

Plinsko zavarivanje korišteno je u Hrvatskoj prije Drugog svjetskog rata kao i ručno elektrolučno zavarivanje (REL).
Konstrukcije su se u to doba izrađivale pomoću zakovica kao npr. mostovi, tlačne posude, vagoni, cilindrični rezervoari i nosive konstrukcije od čelika. Jedan on najvećih zavarenih mostova u to vrijeme je bio most preko rijeke Save, a izgradilo ga je poduzeće „Đuro Đaković“ iz Slavonskog Broda. Na most su zavarivani limovi čvrstoće 440 MPa i debljine 95 mm uz predgrijavanje. U vremenu od 1950. do 1960. se više ne koriste zakovne konstrukcije već se koriste TIG i MIG postupci. [1]

1.8 Zavarivanje

Zavarivanje (Slika 1.1) je spajanje taljenjem ili pritiskom dva ili više materijala na način da se dobije jednolični zavareni spoj s dodavanjem dodatnog materijala (žice) ili bez. Klasifikacija postupaka zavarivanja detaljnije je prikazana u Tablica 1. Podjela zavarivanja taljenjem i Tablica 2. Podjela zavarivanja pritiskom. Ovisno o primijenjenom postupku zavarivanja, vrsti materijala na koji se nanosi materijal u obliku žice i dodatnom materijalu ovise svojstva zavarenoga spoja. Zavarivanje spada u skupinu nerastavljivih postupaka spajanja. Pojavom lasera i elektronskog mlaza doprinijelo je pojavi novih metoda zavarivanja što je omogućilo lakše spajanje materijala koji se nisu mogli zavarivati konvencionalnim postupcima. Unatoč velikom broju razvijenih postupaka gotovo 90 % prerađenog materijala izvodi se s pet univerzalnih postupaka zavarivanja, to su: elektrootporno zavarivanje (EO), zavarivanje pod praškom (EPP), zavarivanje elektrodom od volframa sa zaštitnim plinom argona ili helija (TIG), zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina (MIG/MAG) i ručno elektrolučno zavarivanje (REL).Do razvoja velikog broja postupaka zavarivanja došlo je i zbog zamjene velike mase zakovičnih i lijevanih konstrukcija s lakšim tj. zavarenim konstrukcijama. [1, 2, 4]

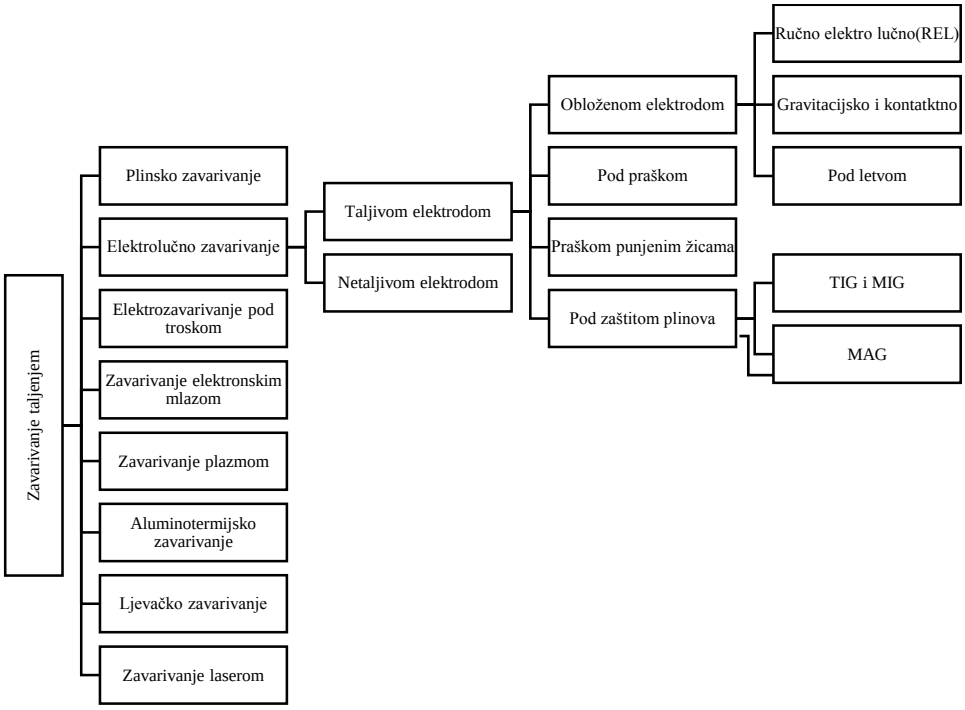


Slika 1.1. Prikaz elektrolučnog zavarivanja [3]

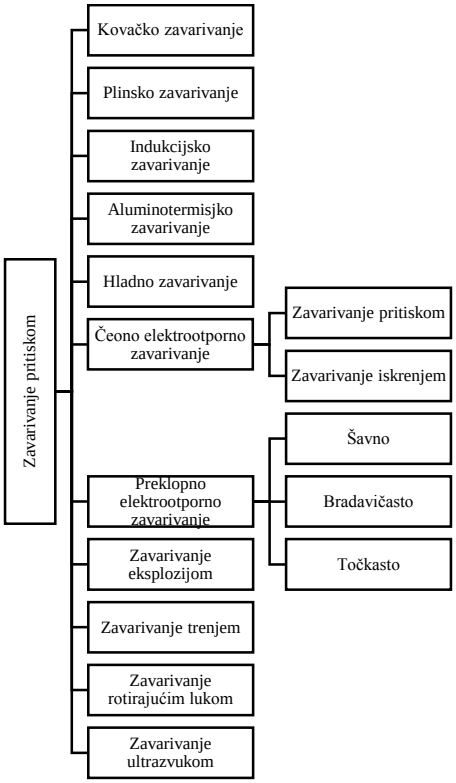
1.8.1 Glavne podjele postupka zavarivanja

Tablica 1.1. Podjela zavarivanja taljenjem i Tablica 1.2. Podjela zavarivanja pritiskom prikazuju podjelu zavarivanja.

Tablica 1.1. Podjela zavarivanja taljenjem [4]



Tablica 1.2. Podjela zavarivanja pritiskom [4]



1.8.2 Prednosti i nedostaci zavarivanja:

Prednosti i nedostaci prikazani su u Tablici 1.3.

Tablica 1.3. Prikaz prednosti i nedostataka zavarivanja [4, 5]

Prednosti	**Nedostaci**
Manja masa u odnosu na zakovične konstrukcije	Česta korozija zavarenog spoja
Postupak je primjenjiv na različite materijale	Visoka cijena - ne isplativo za velikoserijsku proizvodnju
Nije potrebna upotreba modela	Kvaliteta zavarenoga spoja ovisi o iskustvu zavarivača i o postupku zavarivanja
Masa proizvoda manja i do 50% od lijevanih	Potrebno je dobro pripremiti, očisti i oblikovati mjesto zavarivanja
Ekonomično za mali broj proizvoda	Mogu se međusobno zavarivati materijali koja imaju jednaka ili slična svojstva
Podjednaka nosivost zavarenog spoja i osnovnog materijala	Zaostala naprezanja su česta zbog zagrijavanja i nejednakog rastezanja te skupljanja tokom hlađenja, dodatnom toplinskom obradom tj. žarenjem zaostala naprezanja se donekle mogu eliminirati

2 TRAČNICE

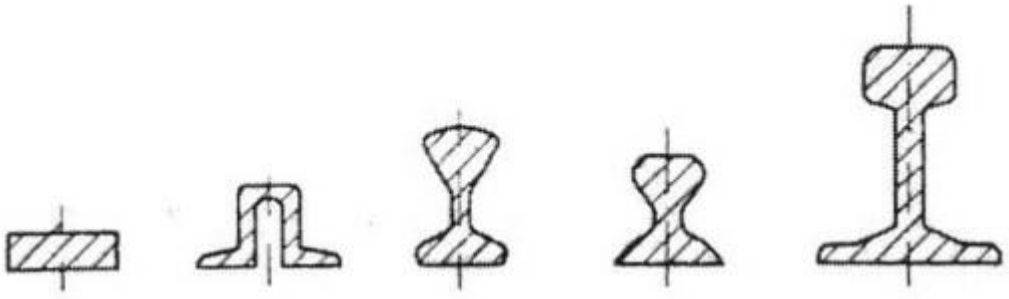
2.1 Definicija tračnica

Tračnica (Slika 2.1) je najvažniji dio kolosijeka čija je zadaća vođenje i nošenje željezničkih vozila, a opterećenja nastala uslijed djelovanja vozila na tračnicama se prenose na oslonac (prag), preuzimaju sile pokretanja i kočenja. Tračnice na električnim prugama rade kao električni provodnik i služe za provođenje signala struje. [6, 8, 9]



Slika 2.1. Prikaz tračnica [7]

Tijekom vremena razvoj tračnica je bio vrlo interesantan. Prve željeznice su upotrebljavale blok tračnice, a sljedeće su bile šeširastog i kruškastog oblika, a u kasnije doba razvijaju se tračnice s dvostrukom glavom i nožicom. Ovaj povijesni razvoj tračnica prikazuje (Slika 2.2.) [8]



Slika 2.2 Razvoj tračnica [8]

2.2 Podjela tračnica

2.2.1 Podjela tračnica prema kvaliteti materijala

Vlačna čvrstoća [MPa] definira kvalitetu tračnica. Vlačna čvrstoća značajna je za kvalitetu tračnice u pogledu bočnog i visinskog trošenja za vrijeme eksploatacije. U Tablici 2.1. prikazane su vrste kvalitete tračnica koje se danas proizvode: [6]

Tablica 2.1 Podjele prema kvaliteti tračnica [9]

KVALITETA	Minimalna zatezna čvrstoća [N/mm^2]	OZNAKA
Uobičajena (700)	680	ili bez oznake
Otporna na trošenje (900 A)	880	
Otporna na trošenje (900 B)	880	
Posebna kvaliteta (1000) SiMn (0.5 – 1.1 % Si)	980	
Posebna kvaliteta (1100) CrMn (0.8 – 1.3 % Cr)	1080 - 1400	

U kvalitetu tračnice podrazumijeva se jedinstvena kvaliteta u cijelom presjeku tračnice. Današnja istraživanja se usmjeravaju na poboljšanje glave tračnice na kojima je istrošenje najveće i najizraženije. Na ovaj način proizvode se tračnice posebne kvalitete čija glava ima vlačnu čvrstoću i do 1400 N/mm^2 . [6]

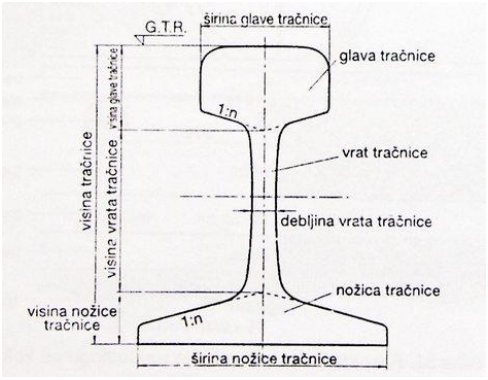
2.2.2 Podjela tračnica prema obliku

U ovu podjelu ubrajamo:

- VIGNOLOV-u tračnicu (Slika 2.3.) ,ona je jedna od najčešće korištenih tračnica u svijetu na željezničkim prugama. Dijeli se na tri dijela : glavu, vrat i nožicu.

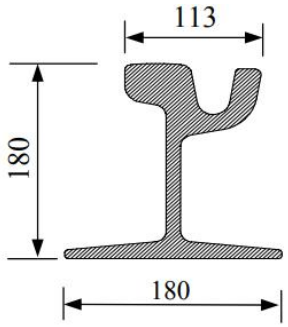
  Glava Vignolov-e tračnice je oblikovana na takav način da omogućuje dobar kontakt sa profilom kotača i kotrljanje. Odgovarajuća krutost potrebna za sprječavanje izvijanja i savijanja tračnice postiže se određenom debljinom vrata tračnice. Širinom nožice ostvaruje se stabilnost od prevrtanja i manji pritisci na oslonac.

  S49 , UIC60 su najčešći profili Vignolov-ih tračnica. Brojevi koji se nalaze uz tip tračnice odnose se na masu po metru dužine tračnice [kg/m']. [6, 8, 9]



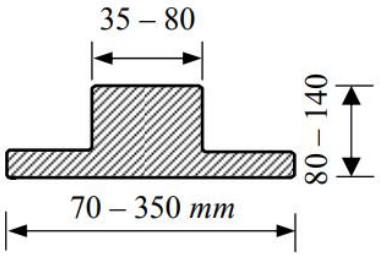
Slika 2.3 Prikaz Vignolove tračnice [10]

– PHOENIX ili žljebastu tračnicu (Slika 2.4.), najviše se koristi na tramvajskim prugama, ima glavu u obliku žlijeba po kojem prolazi kotač tramvaja. Glavni dijelovi Phoenix tračnice su nožice tračnice, vrat, vodilice i glave. [6]



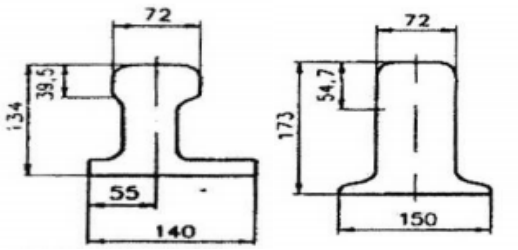
Slika 2.4 Shematski prikaz PHOENIX tračnice (mjere iskazane u mm) [6]

– Kransku tračnicu (Slika 2.5.), koja jednoliko naliježe na podlogu.



Slika 2.5. Shematski prikaz kranske tračnice (mjere u mm) [6]

– Profile tračnica za izradu skretnica, to su nestandarne tračnice sa debelim vratom prikazane na Slici 2.6. [8]



Slika 2.6. Profili tračnica za skretanje [8]

2.2.3 Podjela tračnica prema tipu (Vignolove tračnice)

Kod tipa tračnice veličina poprečnog presjeka i oblik su normirani.

Podjela Vignolovih tračnica prema tipu (Tablica 2.2.) :

– Linijska masa tračnice je iskazana tipom tračnice na m' [kg/m']
– Najčešći tipovi tračnica HŽ-a su UIC 60 (60 E1) i S49 (49 E1), međutim u svijetu se koriste i mnogi drugi tipovi tračnica
– Pomoću standardiziranih tračnica vrši se izbor tipa tračnice za novu prugu [6]

Tablica 2.2. Prikaz oznaka tipova Vignolov-ih tračnica [9]

TIP TRAČNICE		h	g	n	d	A	G
Ranije oznake	Oznake prema **prEN**	[*mm*]	[*mm*]	[*mm*]	[*mm*]	[cm^2]	[*kg/m'*]
22		100	46	90	10	28.18	22.12
35		125	58	110	12	45.20	35.48
45		142	67	125	14	57.64	45.25
S 49	**49 E1**	149	67	125	14	62.97	49.43
UIC 54E	**54 E2**	161	67	125	16	68.65	53.81
UIC 54	**54 E1**	159	70	140	16	69.34	54.43
UIC 60	**60 E1**	172	72	150	16.5	76.86	60.34

U Tablici 2.2. naznačene su sadašnje oznake Vingolov-ih tračnica, te nove oznake po prijedlogu europske norme za željeznice EN 13674-1, tu normu izradio je CEN[1]- Europski komitet za normiranje. [9]

2.3 Svojstva čelika za izradu tračnica

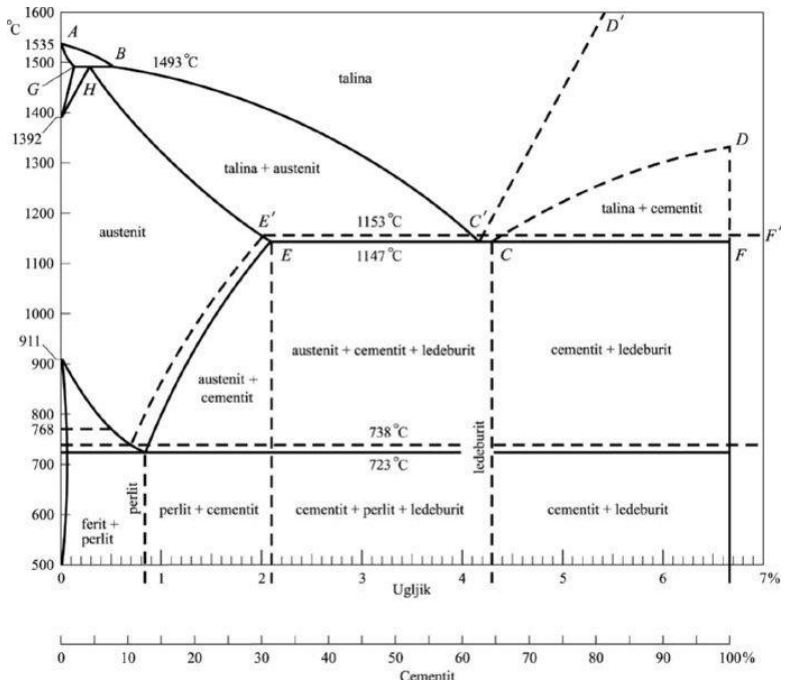
Sredinom 19. stoljeća počinje se koristiti čelik za izradu tračnica, a prvi puta se počeo koristiti 1857. godine u Engleskoj. Današnje tračnice se po mikrostrukturi ne razliku puno od strukture prvih tračnica - perlitna struktura čelika s manganskim i ugljičnim sastavom.
Suvremene željeznice su podvrgnute velikim opterećenjima i brzinama, pa je bitno da materijali od kojih su izrađeni dijelovi tračnica zadovoljavaju visokim zahtjevima i kriterijima. Najveći zahtjevi su u vidu same strukture materijala koja se narušava habanjem, manjkom otpornosti prema krhkom lomu i lokaliziranom plastičnošću.
Budući da je čelik materijala koji ima dobru čvrstoću, cijenu, otpornost i žilavost na trošenje te veliki modul elastičnosti masovno se koristi za izradu tračnica. U novije vrijeme pojavila se nova generacija niskougljične bainitne tračnice koje su boljih mehaničkih svojstava ali im je primjena ograničena. Kod jačeg željezničkog prometa i većih opterećenja perlitne tračnice zamjenjuju se bainitnim čelikom koji ima veću otpornost na trošenje, čvrstoću i tvrdoću (oko 450HB). [11]

2.3.1 Perlitni čelici

Perlit (Slika 2.7.) je eutektoid α-ferita i cementita lamenarnog oblika, povećanjem udjela cementita u perlitu raste tvrdoća čelika. Kombinacijom cementita i ferita dobiva se bolja otpornost na trošenje perlita. Hlađenjem tračnica prirodnim postupkom postiže se tvrdoća od oko 300 HB.
Perlitni čelici nisu žilavi zbog krhkih čestica cementita koje se nalaze u njegovom sastavu. Kontroliranjem brzine rasta perlita povisuje se vlačna čvrstoća smanjenjem razmaka između perlitnih lamela. U svrhu poboljšanja svojstava čelika dodaju se legirajući elementi (krom, nikl). Smanjenjem vremena difuzije brzina hlađenja se povećava. U današnjem doba koristi se fina perlitna mikrostruktura u glavi tračnice, dobivena kaljenjem u ulju, vodenim sprejom i prisilnim zračnim hlađenjem. Ovisno o primijenjenom postupku hlađenja dobivaju se različite mikrostrukture u glavi tračnice te različita raspodjela tvrdoće. Dodavanjem male

[1] CEN- Europen Committee for standardization

količine vanadija (0,05%) u nadeutektoidni čelik s 0,85% ugljika smanjuje se brzina habanja, a tvrdoća povećava. U većini slučajeva čelici za izradu tračnica u svom kemijskom sastavu sadrže 0,7% ugljika i perlitne su mikrostrukture.



Slika 2.7. Fe-Fe_3C dijagram [13]

2.3.2 Bainitni čelici- moderni čelici za tračnice

Tridesetih godina prošlog stoljeća počela se koristi bainitna mikrostruktura za povećanje tvrdoće čeličnih materijala (450HB), nije često korištena zbog loše otpornosti na habanje i velikog udjela ugljika (0,7 %) . Bainit sadrži finu nelamelarnu strukturu i po sastavu je sličan perlitu. Fina nelamelarna struktura doprinosi povećanju žilavosti i čvrstoće što zahtjeva suvremeni željeznički promet. Postoje dvije podjele bainita na: gornji i donji.

2.3.2.1 Gornji bainit

Gornji bainit ima nisku čvrstoću i žilavost zbog svoje krupno - igličaste strukture, sastoji se od pločica bainitnog ferita koje su međusobno paralelne i u snopovima, a između kojih se nalaze diskontinuirane čestice cementita. [11]

2.3.2.2 Donji bainit

Donji bainit se odlikuje visokom žilavošću i čvrstoćom, igličaste je strukture koja se sastoji paralelnih pločica ferita unutar kojih se nalaze čestice karbida pod kutom od 55-60^{o}.

2.3.2.3 Mehanička svojstva bainitnog čelika

Bainitni čelici dobro se zavaruju te se lako lijevaju, sadrže 0.5-3 % Cr, 0.15-0.2 %Si, 0.3-2 Mn, 0.15-0.45% C i sadrže jedan od elemenata: B ili Ti ,V , Nb ,Cu, Ni, Mo. Čvrstoća kod ovih čelika ovisi o dužini feritne pločice, udjelu uključaka karbida, ali i o područjima martenzita i austenita. Najbolja kombinacija žilavosti i čvrstoće postiže se s mikrostrukturom od pločice martenzita i donjeg bainita. Specijalnim postupkom hlađenja i pravilnim legiranjem postižu se odlična mehanička svojstva . [11]

2.4 Svojstva čelika prema svjetskim normama (UIC 860V)

Tablica 2.3. pobliže prikazuje mehanička svojstva i kemijski sastav čelika za tračnice prema svjetskim normama uzevši u obzir i UIC 860V[2]. Čelici su svrstani u tri grupe: normalni, otporni i vrlo otporni na trošenje.

[2] UIC 860V- norma izdana od strane Međunarodne željezničke unije koja je u skladu s trendovima u svijetu za proizvodnju željezničkih tračnica

Tablica 2.3. Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika za izradu tračnica [12]

Čelici za tračnice	Kemijski sastav elemenata u %						Vlačna čvrstoća	Istezanje, min.vr.	Vrijednosti tvrdoće
	C	Mn	Si	P_{max}	S_{max}	Cr	R_m, MPa	A_5, %	HB
Normalni:									**Približne:**
R700 UIC 860V/86	0,40-0,60	0,80-1,25	0,05-0,35	0,05	0,05	-	680-830	14	200-245
R700 BS 11/78	0,45-0,60	0,95-1,25	0,05-0,35	0,05	0,05	-	min. 710	9	≥ 210
R700 JIS E 1101/74	0,55-0,70	0,60-0,95	0,07-0,35	0,045	0,05	-	min. 687[1)]	9	≥ 203
R750 i JRS 01104	0,60-0,75	0,60-0,95	0,07-0,35	0,045	0,05	-	min. 736[2)]	9	≥ 218
R800 i JRS 01104	0,60-0,75	0,70-1,10	0,10-0,30	0,035	0,04	-	min. 785[3)]	8	≥ 233
R800 i JRS 01104	0,60-0,75	0,70-1,10	0,13-0,30	0,035	0,04	-	min. 785	10[4)]	≥ 233
Otporni na trošenje:									
R900A UIC 860V/86	0,60-0,80	0,80-1,30	0,10-0,50	0,04	0,04	-	880-1030	10	262-304
R900B UIC 860V/86	0,55-0,75	1,30-1,70	0,10-0,50	0,04	0,04	-	880-1030	10	262-304
A BS 11/78 (R900A)	0,65-0,78	0,80-1,30	0,05-0,50	0,05	0,05	-	min. 880	8	≥ 262
B BS 11/78 (R900B)	0,50-0,70	1,30-1,70	0,05-0,50	0,05	0,05	-	min. 880	8	≥ 262
									Propisane:
90-114 lb/yd AREA/84*	0,67-0,80	0,70-1,00	0,10-0,50	0,035	0,037	max.0,25	-	-	min. 248
≥115 lb/yd AREA/84**	0,72-0,82	0,80-1,10[5)]	0,10-0,50	0,035	0,037	max.0,25	-	-	min. 269 ili 286 gg
									Približne:
M71 GOST ili TU	0,64-0,77[6)]	0,60-0,90	0,13-0,28	0,040	0,050	-	-	-	-
M74 GOST 24182/80	0,69-0,80[7)]	0,75-1,05	0,18-0,40	0,035	0,045	-	min. 863	5 (A_{10})	≥ 256
M76 GOST 24182/80	0,71-0,82[8)]	0,75-1,05	0,18-0,40	0,035	0,045	-	min. 883	4 (A_{10})	≥ 263
Vrlo otporni na trošenje:									**Približne:**
R1100 UIC 860 V/86[9)]	0,60-0,82	0,90-1,30	0,30-0,90	0,03	0,030	0,80-1,30	min. 1080	9	≥ 319
									Propisane:
ASTM A1-84		bez	podataka						321-388 (TO)
M74 i M76 GOST 18267-82	sastava kao kod GOST 24182 (bez TO)						min. 1166	6 (A_{10})	341-388 (TO)
THS11 Thyssen [10)] (R1100)	0,60-0,80	0,80-1,30	max. 0,90	0,030	0,030	0,70-1,20	min. 1080 i min. 1140 gg	9	min. 340 (TO)
THS12 Thyssen [10)] (R1200)	0,70-0,80	0,80-1,30	0,80-1,20	0,030	0,030	0,80-1,20	min. 1200	8	min. 360 (TO)
Mn-Si Voest-Alpine (R1000)	0,71 [11)]	1,35	0,70	0,030	0,030		980	10	-
Cr-Mn Voest-Alpine (R1100)	0,68 [12)]	1,25	0,55	0,030	0,030	1,05	1080	10	-

1) Tračnice tipa 37 kg/m, 2) Tračnice tipa 50 kg/m, 3) Tračnice tipova 40N i 50N, 4) Tračnice tipa 60 kg/m, 5) Gornja granica (gg) mangana može biti do 1,25%, 6) Tračnice tipova R38 i R43, 7) Tračnice tipa R50, 8) Tračnice tipova R65 i R75, 9) Drugi legirajući elementi kao npr. V ili Mo dogovaraju se između proizvođača i kupca, 10) Sadržaj vanadija ≤ 0,20%, 11) Srednje vrijednosti rezultata ispitivanja, 12) Orijentacijske vrijednosti s specijalnom dezoksidacijom,
* Tračnice tipova 44,6 do 56,6 kg/m, ** Tračnice tipova ≥57,0 kg/ m

Iz prethodne tablice vidljivo je da je udio ugljika u čeliku korištenom za tračnice visok, što indicira na moguće probleme tijekom postupka zavarivanja. Tvrdoća čelika se povećava s većim udjelom ugljika, a vlačna čvrstoća raste s dodavanjem slitine kroma, magnezija i silicija.

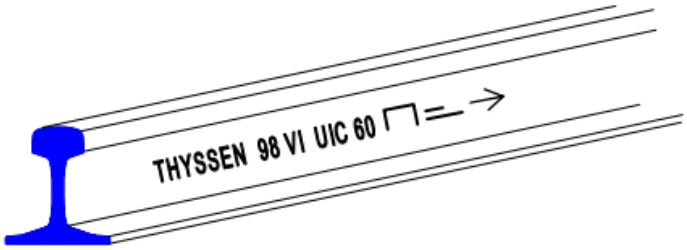
Prednost zavarivanjem čelika s povećanim udjelom ugljika koji se i koristi za zavarivanje tračnica nalazi se u postupcima zavarivanja koji unose veliku količinu toplinske energije na mjesto gdje će se formirati zavareni spoj. Ti postupci smanjuju brzinu hlađenja i nastanak pukotina. [12]

Po UIC normama za izradu tračnica koristi se valjani čelici dobiveni upotrebom visokih peći u željezarama sljedećim postupcima:

Tablica 2.4. Načini proizvodnje čelika [6]

Postupak proizvodnje čelika	Propuhivanje kisikom	Elektro postupak	Siemens-Martinov postupak	Tomasov postupak
Simbol za postupak proizvodnje čelika	□	[	⊓	T

Nakon prolaska čelika kroz valjke dobiva se završni oblik tračnice, te se na vratu tračnice dobivaju oznake koje su ispupčene te označavaju sljedeće, (Slika 2.8.)



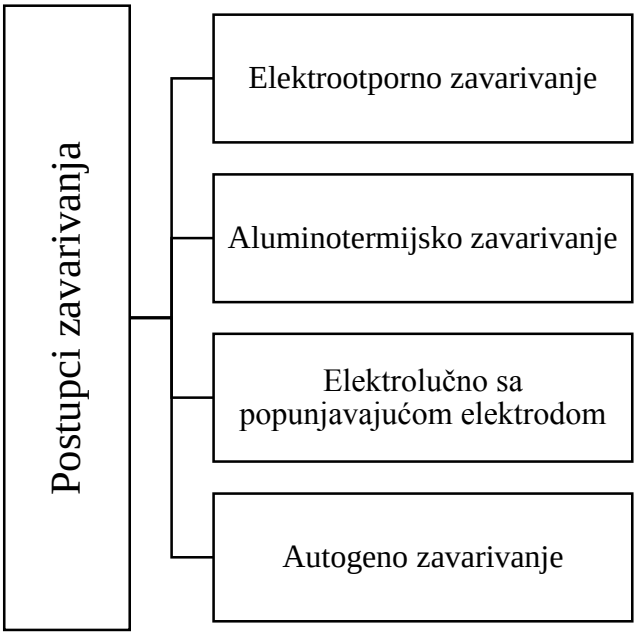
Slika 2.8.Opis oznaka na vratu tračnice [6]

1) oznaka tvornice
2) godina i mjesec proizvodnje tračnice
3) tip tračnice
4) postupak proizvodnje čelika
5) kvaliteta čelika
6) smjer valjanja čelika [6]

3 PREGLED POSTUPAKA ZAVARIVANJA TRAČNICA

Postupak spajanja tračnica prije ili nakon ugradbe u kolosijek s nanošenjem dodatnog materijala jednim od postupaka (Tablica 3.1.) naziva se zavarivanje tračnica. Ovisno o tome koji će se postupak zavarivanja upotrijebiti ovisi o mogućnostima željezničke uprave. [6]

Tablica 3.1. Postupci zavarivanja tračnica [8]



3.1 Elektrootporno zavarivanje

Elektrootporno zavarivanje se izvodi u radionicama ili u kolosijeku uz pomoć pokretnih strojeva. Osim novih tračnica mogu se zavarivati i one koje su određeno vrijeme bile korištene, kao i one razne kvalitete materijala, istrošenosti i profila. Krajevi tračnica koji se spajaju moraju biti očišćeni od masti, hrđe i raznih nečistoća tek se tada može početi sa zavarivanje tračnica. Tračnice koje su već prethodno bile ugrađivane ispituju se sa defektoskopom radi uočavanja mogućih oštećenja tijekom njihove eksploatacije, a glava tračnice se brušenjem i blanjanjem profilira. Automatski strojevi koji obavljaju postupak zavarivanja sastoje se od pomičnog kraka i od nepomičnog kraka. [6, 8, 9]

Postupak se temelji na Joulovom zakonu, a matematički se može izraziti formulom (1):

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \tag{3.1}$$

gdje je:

Q = generirana toplina (J),

R = otpor vodiča (Ω),

I = struja koja teče kroz vodič (A),

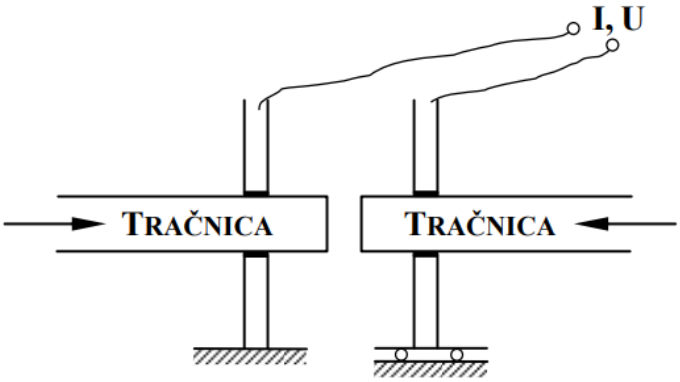
t = vrijeme (s).

Kroz stezaljke se dovodi struja napona od 6 do 15 V i jakosti 1000 A koja je potrebna za zavarivanje. Nakon čišćenja tračnica, stežu se stezaljkama, a sila potrebna za stezanje mora biti najmanje 1,5 puta veća od sile sabijanja kako ne bi došlo do proklizavanja tijekom zavarivanja. Parametri zavarivanja definiraju se prije početka zavarivanja na stroju. Faze zavarivanju su sljedeće:

- paljenje kako bi krajevi tračnica nalijegali po cijeloj svojoj površini što se ostvaruje puštanjem velike struje na tračnice, njihovim spajanjem i razdvajanjem sve dok krajevi ne krenu nalijegati jedan na drugoga.
- kontaktno predgrijavanje kojim se krajevi tračnica po čitavom presjeku jednoliko zagrijavaju
- iskrenjem se površine dovode na odgovarajuću temperaturu za zagrijavanje
- osim topline potrebne su: sila sabijanja (ovisi o presjeku tračnice) i određena brzina kako bi se tračnice zavarile
- za izbjegavanje martenzitne (nepoželjne) strukture čelika potrebno je izvršiti dodatno zagrijavanje i sabijanje kojim se ostvaruje kristalna struktura materijala ukoliko je riječ o tračnicama specijalne kvalitete [9]

Nakon završenog zavarivanja tračnica obrađuje se zavar (opsijecanjem užarenog zavara i brušenjem hladnog zavara) i ispituje. [9]

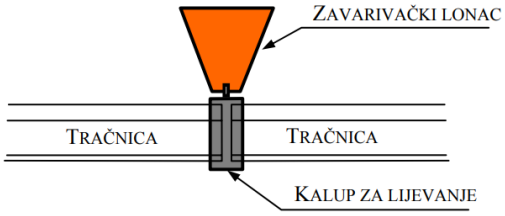
Na Slici 3.1. je pojednostavljeni prikaz elektrootpornog zavarivanja.



Slika 3.1. Prikaz elektrootpornog zavarivanja [6]

3.2 Aluminotermijsko zavarivanje tračnica (AT postupak)

Aluminotermijsko zavarivanje (Slika 3.2) je postupak koji se zasniva na korištenju egzotermne reakcije redukcije željezo-oksida aluminijem. Aluminij oduzima kisik željezo oksidima pri čemu nastaje željezo koje služi kao dodatni materijal. Termitna smjesa (aluminijskog praha, željeza i smjesa oksida) se pali magnezijevim praškom ili barijevim super-oksidom jer smjesa termita reagira na temperaturi tek iznad 1300 °C. Plinskim plamenom se vrši predgrijavanje kalupa na temperaturi od 800 °C prije samog zavarivanja. [4]



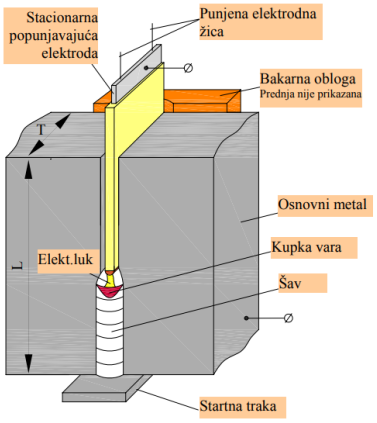
Slika 3.2. Shematski prikaz aluminotermijskog zavarivanja [6]

U kalup teče talina čelika temperature oko 2500 °C, čep na dnu lonca se otvara tek nakon što se zagrije cijela talina. Zavareni spoj se formira popunjavanjem zazora talinom, a zbog visoke temperature rubovi materijala tračnice se tale. Ovaj postupak zavarivanja spada u grupu jednokratnih kalupa gdje se tokom hlađenja kalup razbija i uljevci kalupa odstranjuju.
Aluminotermijski postupak zavarivanja je najrasprostranjeniji postupak zavarivanja tračnica u kolosijeku, izvodi se na terenu. [4]

3.3 Elektrolučno zavarivanje tračnica popunjavajućom elektrodom

Novi način zavarivanja debelozidnih čeličnih materijala koji je prvi put predstavljen od strane Nacionalne akademije znanosti u Ukrajini naziva se skraćeno CGEAW[3].

Kod CGEAW postupka (Slika 3.3.) prvi korak je postaviti tračnice na razmaku od 14-16 mm, za uspostavu luka postavlja se donji dio kalupa koji sadrži traku lima. Između glava tračnica se stavlja izolirana elektroda kroz koju se dovodi punjena žičana elektroda, a uspostavom električnog luka ona se tali te služi kao dodatni materijal tokom zavarivanja. Bakrene obloge se pomoću poluge pritežu zbog sprečavanja curenja tekućeg metala te se navedeni postupak ponavlja. [14]



Slika 3.3. CGEAW postupak zavarivanja [14]

Elektrolučno zavarivanje tračnica popunjavajućom elektrodom je efikasno automatsko zavarivanje s velikom količinom deponiranog zavarenog materijala (više od 20 kg/h). Mogu se zavarivati materijali sa širinom od 300 mm u vertikalnom položaju i s malim razmakom između dva komada koji se zavaruju. Pri ovom postupku može se koristiti ARS-4 uređaj za zavarivanje tračnica. [14]

[3] CGEAW- Consumable Guide Enclosed Arc Welding (Elektrolučno zavarivanje popunjavajućom elektrodom)

3.4 Autogeno zavarivanje tračnica

Autogeno zavarivanje se još naziva plinsko zavarivanje. Izgaranjem acetilena u kisiku dobiva se plamen temperature iznad 3000 °C, važnu ulogu kod zavarivanja ima pravilno reguliranje plinskog plamena. Neutralni plamen primjenjuje se kod zavarivanja čelika, aluminija, nikla, bakra i njihovih legura (Slika 3.4) . [4]



Slika 3.4. Prikaz neutralnog plamena[4]

Predmet zavarivanja prethodno se acetilenskim plamenikom zagrije na odgovarajuću temperaturu te se tim istim plamenikom žica od čelika tali na mjesto zavara. Kao i kod elektrootpornog zavarivanja i tu se vrši sabijanje nasuprotnih presjeka. Kvaliteta zavara ovisi o iskustvu samog zavarivača. [2, 4]

Kisik za zavarivanje se isporučuje u plavim bocama pod tlakom od 150 bara. Prilikom rukovanja bocom kisika oko regulacijskom ventila ne smije biti masti i nečistoća , isto tako otvaranje i zatvaranje boce treba biti pažljivo. [4]

Acetilen se za razliku od kisika isporučuje u bijelim bocama pod tlakom od 15 bara i eksplozivan je u smjesi sa zrakom ili kisikom. Eksplozivnost acetilena raste s povećanjem tlaka. [4]

Prednosti ovog postupka očituju se jednostavnijom i jeftinijom opremom za zavarivanje, mogućnost prilagodbe svim položajima i uvjetima zavarivanja te u lakšoj opremi (samo boce s plinom) . [1 ,2, 4]

4 ALUMINOTERMIJSKI POSTUPAK ZAVARIVANJA

Aluminotermijsko zavarivanje je jedan od najčešće korištenih procesa zavarivanja na tračnicama kojim se postiže kontinuitet između različitih dijelova tračnica, stvara homogen spoj te otpornost kretanja vlakova po tračnicama. Postoje dva načina alumiotermijskog zavarivanja sa zagrijavanjem i bez zagrijavanja kalupa. Ovisno o predgrijavanju razlikuju se kratko i dugo predgrijavanje. [8 ,15, 16]

4.1 Povijest aluminotermijskog zavarivanja

Njemački kemičar Hans Goldschmidt je 1893. godine otkrio reakciju termitne smjese koja ima sposobnost osloboditi znatnu količinu topline i eksplodirati. 1895. godine Goldschmit je patentirao termit, a u isto vrijeme daje ime tom procesu. Prva primjena termitne mješavine provedena je 1899. godine u Essenu (Njemačka), radi zavarivanja tračnica. Brzo širenje otkrića termita dovelo je do osnivanja tvrtke Goldschmidt Thermit GmbH (1919.god.) te velikom razvoju u industriji i vojnom sektoru, ali najraširenija primjena termita je bila u sektoru zavarivanja. Thermit GmbH danas sadrži industrijsku skupinu koja je prisutna u dvadeset zemalja svijeta te proizvodi ne samo sirovinu već i različite uređaje i opremu za zavarivanje. [15]

4.2 Kemijska reakcija i dobivanje termita

Termit se može proizvesti miješanjem različitih oksida metala:

- željeznog oksida Fe_2O_3 (rasprostranjen u željezničkom sektoru)
- bakrenog oksida (korišten za visoko specijalizirane svrhe u elektrotehničkom području)
- mangan oksida MnO_2

Aluminotermijska reakcije je redukcija oksidacije ili redoks reakcija i kao takva zahtjeva dva osnovna elementa , oksidacijsko sredstvo i gorivo (Tablica 4.1.) .

Tablica 4.1. Redoks reakcijski reagensi [15]

Gorivo (redukcijsko sredstvo)	Oksidacijsko sredstvo
aluminij	Bor trioksid B_2O_3
magnezij	Krom trioksid Cr_2O_3
titan	Mangan dioksid MnO_2
kalcij	Željezo trioksid Fe_2O_3

Najčešće korištena kombinacija oksidacijskog sredstva u željezničkom sektoru je od željezo trioksida (Fe_2O_3) i od aluminijevog praška, s kojima se dobiva sljedeća transformacija (4.1) [15]:

$$2\ Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2\ Fe = 850\ kJ\ topline \quad (4.1)$$

Ukoliko je sklonost kisika gorivog sredstva (aluminija) veća od sklonosti kisika metalnog oksida tada se reakcija može ostvariti i dovršiti. Toplina koju stvara termitna smjesa daje tekući proizvod, a to je spoj aluminijevog oksida i metala. Do razdvajanja dolazi ako je gustoća troske manja od metala (čelika i aluminijevog oksida), šljaka ili troska se odvaja na površini rastaljenog čelika i kapa u praznine koje se zavaruju. [16]

Prije aktivacije termita potrebno je izvršiti predgrijavanje glave tračnica. Početkom reakcije, temperatura se brzo podiže i odvajanje kisika iz željeza počinje na temperaturi oko 2400 °C. Maksimalna temperatura koja je postignuta reakcijom je oko 2960 °C, gotovo dvostruko veća u usporedbi s temperaturom taljenja čistoga željeza (1535°C). Budući da je proces jaka egzotermna reakcija oslobađa se velika toplina s kojom bi se moglo postići autogeno zavarivanje. U ovom procesu osnovi metal sudjeluje fuzijom, aktivno i kristalizacijom sve dok se ne uspostave kristalne rešetke površine spoja. Gubici topline su povezani s količinom mase termita koja je reagirala. S velikim količinama termitne smjese, gubitak topline po kilogramu termita je znatno niži od reakcija u usporedbi s malim količinama termita. Kako bi termitna smjesa po kemijskom sastavu odgovarala elementima spajanja dodaju se legirajući elementi u obliku ferolegura, zbog snižavanja temperature i povećanja fluidnosti šljake koriste se dodaci. Za dovršavanje reakcije potrebno je manje od minute i sama po sebi reakcija nije eksplozivna (termitna reakcija). Zapaljivi štap ili prašak služe za pokretanje zapaljive reakcije, tek kada se prašak ili zapaljivi štap zagriju na temperaturu od 1200 °C. [16]

4.3 Potrebni materijali za aluminotermijsko zavarivanje

Pod potrebne materijale podrazumijevamo sve elemente, koji su postavljeni i koji zajedno s specifičnom opremom omogućuju kemijsku reakciju, ostvarenje ispravnog profila tračnice kao i sigurnost radnika na željeznici. [15]

4.3.1 Brtveni dijelovi

Brtveni dijelovi su napravljeni od osnovnih elemenata (željeznog oksida, aluminija s dodatkom ugljika, silicija i mangana). Ponekad se dijelovi pakiraju s komadićima usitnjenog čelika (s postotkom ugljika manjim od 0.25%) da bi se smanjila temperatura reakcije do 2100°C. Brtveni dijelovi se prodaju u posebnim plastičnim vrećama (Slika 4.1.) koje sprečavaju apsorpciju vlage, a težina im varira između 7 i 17 kg. [15]



Slika 4.1. Prikaz vreća sa sadržajem za brtvljenje [15]

4.3.2 Oblici vatrostalnog kalupa

Oblici vatrostalnog kalupa su elementi koji obuhvaćaju tračnice koje će se zavarivati i unutar kojeg je brtveni dio položen sa žarnom niti (Slika 4.2.). Kalupi se proizvode od silicijevog dioksida različitih oblika i profila, te moraju sadržavati određena svojstva:

- poroznost: porozna struktura koja osigurava izlazak plinova tokom lijevanja
- vatrostalnost: moraju izdržati visoke temperature bez oštećenja
- otpornost: ne smiju omekšavati djelovanjem plamenika za predgrijavanje [15, 17]



Slika 4.2. Oblici vatrostalnog kalupa [15]

4.3.3 Vatrostalne obloge

Podstava je bitan element pokrivanja kotla kalupa i služi za zaštitu lonca od termitne reakcije. Proizvodi se obično od magnezita, otporna je na visoke temperature i nakon 20-25 zavarivanja se zamjenjuju. [15, 17]

4.3.4 Čep lonca

Čep je umetnut na dnu lonca prije nego što se ulije dio za zavarivanje. Sastoji se od silikatnog pijeska, ima središnji metali dio koji se topi na određenoj temperaturi, točnije po završetku reakcije unutar lonca, ispuštajući čelik u vatrostalni oblik. Samopropuštajući čep uveden je tek kasnije i uklanja potrebu ručnog otvaranja lonca kako bi se izbjegle moguće pogreške operatora. [15, 17]

4.3.5 Iskra za paljenja smjese

Za pokretanje aluminotermijske reakcije koristi se štap u obliku prskalice, koji se sastoji od barij peroksida ili magnezij peroksida. U već ulivenu termitnu smjesu postavljaju se štapne prskalice na dubinu od 4-5 cm, a zatim se upale. [15, 17]

4.4 Glavna oprema

Pod glavnom opremom ubraja se samo najvažnije i neophodno od opreme. To su: abrazivni disk ili pila za piljenje, nosač lonca, lonac, plinski gorionik, teglica troske, plinske boce i ostala oprema (sat, termometar i čelično uže) . [15, 17]

4.4.1 Pila ili disk za piljenje

Tračnice se najčešće režu pomoću pile, rez se izvodi ortogonalno[4] na os tračnice. Karakteristike su glatke površine rezanja bez neravnina. Postoji mogućnost rezanja tračnica s abrazivnim diskom, ali disk mora biti hlađen rashladnim sredstvom koje stalno teče po oštrici tijekom rezanja. Rez pomoću abrazivnog diska za rezanje može se zamijeniti s plinskim plamenom u slučaju kada je primijenjena stezaljka za napinjanje tračnica. U takvom slučaju nije moguće postaviti pilu na tračnice zbog prisutnosti napetosti. Stoga se rezanje može izvesti s plinskim plamenom. [15, 17]

[4] Ortogonalno rezanje – specijalan slučaj kosog rezanja kada je pravac relativnog kretanja između alata i obratka normalan na vrh reznog alata.

4.4.2 Nosač lonca

Nosač je konstrukcijski element potreban za podupiranje lončanog lima iznad spoja zavara. Može se podesiti po visini pomoću prstena da bi se dovodilo što je moguće bliže vatrostalnom kalupu bez kontakta. [15]

4.4.3 Tradicionalni lonac

Tradicionalni lonac (Slika 4.3.) je specijalni kontejner gdje se odvija aluminotermijska reakcija, i u kojem se formira čelik i troska koje treba ukloniti. Sastoji se od tri osnovna dijela: donjeg dijela konusnog oblika koji djeluje kao lijevak za izlijevanje u kalup, prstena za povećavanje volumena lonca i perforiranog pokrova koji sprječava izlazak užarenog materijala van. Osim ovog lonca postoje i lonci za jednokratnu upotrebu. [15]



Slika 4.3. Prikaz tradicionalnog lonca (zvanog tigl) [15]

4.4.4 Lonac za jednokratnu upotrebu

Osim tradicionalnih lonaca, nedavno su uvedene jednokratne posude (Slika 4.4.) opremljene za lakše rukovanje i transport. Goldschmidt tvrtka proizvodi različitu vrstu jednokratnih lonaca koji su prikladni za sve vrste željeznica i čelika tračnica. Za ograničenje emisije štetnih plinova i zaštitu operatera Thermit je osmislio dodatni uređaj koji se postavlja iznad lonca, a služi kao filter. Ovaj uređaj je prikazan na Slici 4.5. [18]



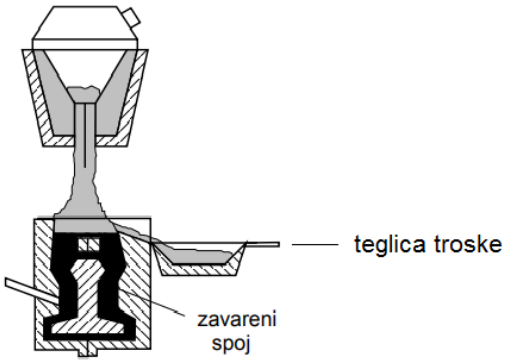
Slika 4.4. Lonac za jednokratnu upotrebu [18]



Slika 4.5. Lonac za jednokratnu upotrebu sa zaštitnim uređajem [18]

4.4.5 Teglica troske

Teglice troske (Slika 4.6.), su otvorene male posude koje treba postaviti na nosače i na taj način približiti otvoru iz kojeg otpada višak reakcijskog materijala.



Slika 4.6. Teglica za trosku [4]

4.4.6 Plamenik za predgrijavanje

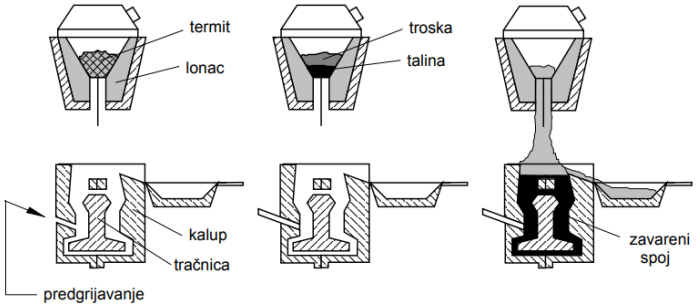
Plamenik se sastoji od dva osnovna dijela: prednji dio naziva se koplje s perforiranim vrhom iz kojega izlazi plamen i stražnji dio rukohvat. Vrhom koplja koji može imati 22 ili 32 rupe obavlja se predgrijavanje. Plamenik je posebno dizajniran za prijenos mješavine kisika i propana do točke grijanja, pomoću fleksibilnih cijevi dovode se plinovi potrebni za izgaranje. U cijevi za dovod kisika sadržani kisik mora biti 99% čist jer sadržaj nečistoća dovodi do lošeg predgrijavanja plamenom. Plamen kisika i propana sastoji se od 75% kisika i 25% propana, a dostiže temperaturu od 2720°C. [17]

4.4.7 Ostala oprema

Uz prethodno opisanu opremu za ispravno aluminotermijsko zavarivanje nužni su i drugi uređaji, korisni za kontrolu u različitim fazama:

- **sat** se koristi za provjeru vremena predgrijavanja
- **termometar** je neophodan za mjerenje temperature prije obrade (prije izvođenja rezova i tijekom predgrijavanja)
- **čelično uže** koje je potrebno radi poravnavanja dviju glava tračnica u fazi pripreme spoja zavara [15]

Na Slici 4.7. shematski su prikazani bitni dijelovi opreme koji su prethodno opisani.



Slika 4.7. Proces aluminotermijskog zavarivanja [4]

4.5 Procedura zavarivanja tračnica

Procedura zavarivanja tračnica obuhvaća: pripremne radove, radove zavarivanja i završne radove (brušenje zavara). [9]

4.5.1 Pripremni radovi prije zavarivanja

Prije početka zavarivanja od mjesta zavara sa svake strane na udaljenosti od 10 m provjerava se poravnatost tračnica, ako tračnice nisu prije početka zavarivanja dobro poravnate teško će se kasnije dobiti točna tolerancija nakon formiranja zavara. Nakon vizualne provjere stanja tračnica pristupa se rezanju ako se vrši reperaturno aluminotermijsko zavarivanje. Tračnice s većim sadržajem ugljika više su osjetljive na termički šok, javljaju se pukotine zbog velike temperature rezanja i hlađenja. Sve tračnice moraju biti predgrijane na temperaturu od 150°C prije rezanja plinskim plamenom kako bi se izbjegao termički šok. Mjesto reza potrebno je označiti na oštećenoj glavi tračnice koja se želi popraviti ili na oštećenom kraju tračnica.

Rezanje se izvodi okomito na glavu tračnice s pilom ili plinskim plamenom (kisik i propan). Oba kraja tračnice moraju biti rezana na isti način plamen/plamen ili pila/pila. Ovo je vrlo bitan korak jer o kvaliteti reza ovisi i kvaliteta završnog zavara, on mora biti čist i sva šljaka mora biti uklonjena. Dobar rez se prepoznaje po glatkoj i nenaboranoj površini bez udubina, takva površina daje dobar prijenos topline. Naborana površina uzrokuje duže vrijeme predgrijavanja, i nejednoliku penetraciju metala vara. [17]

Ukoliko se izrađuje nova pruga, tračnice su već izrezane na određenu dužinu i vrši se njihovo poravnavanje. Mjesta tračnica koji će se zavariti čiste se od hrđe, masti, prljavštine i ulja. Danas se puštaju dilatacijski razmaci između tračnica od 16 – 22 mm (Slika 4.8.) , a u suvremenijim postupcima razmak se kreće od 20 – 22 mm. Tračnice se namještaju po rubu i površini po kojoj se kreće kotač željezničkog prometa obraćajući pozornost na sukladnost osi tračnica. Kako bi to bilo moguće izvesti potrebno je tračnice osloboditi od njihovih pragova. Broj pragova koje treba ukloniti ovisi o tipu tračnice. [9]



Slika 4.8. Poravnavanje tračnica prije zavarivanja sa standardnim razmakom [17]

Univerzalnim stezaljkama pričvršćuju se krajevi tračnica koje ujedno služe za postavljanje opreme potrebne za zavarivanje. Slijedi postavljanje kalupa (Slika 4.9.) u koje će se uliti talina čelika te će se njome popuniti dilatacijski prostor između tračnica. Pečaćenje kalupa glinom je veoma važno jer u slučajevima istjecanja taline dolazi do oštećenja opreme i tračnica. [9]



Slika 4.9. Prikaz sastavljenog kalupa za ulijevanje [19]

Na nosače se postavlja odabrani lonac (tradicionalni-tigl ili lonac za jednokratnu upotrebu). Lonac se postavlja na šipku i učvršćuje se čavlima. Kalup se predgrijava plinskim plamenom na temperaturu od 800°C kako ne bi došlo do puknuća zbog vruće taline. Prije prvog zavarivanja tigl lonac potrebno je očistiti i prethodno zagrijati oko 20 minuta da bi se uklonila vlaga i smanjio termički šok materijala lonca tijekom termitne reakcije. Ovo se izvodi usmjeravanjem plamena predgrijača iznad otvora lonca ili rukohvat uređaja za predgrijavanje leži na tlu, a lonac je otvorom okrenut prema plamenu (obrnuto). Za pravilnu kemijsku reakciju lonac se zagrijava na 100°C, nakon čega se sipa termitna smjesa u lonac (Slika 4.10.). U termitnu smjesu umeće se štapna prskalica na dubinu od 4 – 5 cm. [17]



Slika 4.10. Prikaz opreme s loncem za zavarivanje [9]

4.5.2 Radovi zavarivanja

Prije zavarivanja predgrijavaja se mjesto spoja (krajevi tračnica) koje se može provesti na više načina. Jedan (rjeđe korišten) je upotreba djela taline čelika za predgrijavanje krajeva tračnica, a drugi dio koristi se za aluminotermijsko zavarivanje. U Hrvatskoj se koristi

predgrijavanje primjenom plamena pri temperaturi od 950 do 1000°C. Trajanje predgrijavanja ovisi o materijalu i profilu tračnica. Po završetku predgrijavanja lonac se dovodi iznad kalupa i termitna smjesa se zapaljuje specijalnim šibicama, jaka termitna reakcija traje desetak sekundi (Slika 4.11.). Čelik iz lonca se izlijeva u kalupe prilikom otvaranja čepa na dnu lonca. [9]



Slika 4.11. Reakcija zapaljenja termitne smjese [20]

4.5.3 Završni radovi

Nakon završene aluminotermijske reakcije, poslije 3 – 4 minute kalup se razbija. Višak vrućeg materijala na mjestu zavara uklanja se specijalnim uređajem za skidanje viška materijala (Slika 4.12.) . [17]



Slika 4.12. Hidraulični trimer za skidanje viška materijala [17]

U slučajevima kada nije moguće koristi prethodno navedeni uređaj koriste se kutne brusilice (Slika 4.13.) sa abrazivnim diskovima nakon što se mjesto zavarenoga spoja u potpunosti ohladi. [17]



Slika 4.13. Brusilica za završnu obradu zavara [9]

Prikaz zavarenog spoja (Slika 4.14.) dobivenog aluminotermijskim zavarivanjem nakon obrade brušenja.



Slika 4.14. Izgled završnog spoja tračnice [12]

5 EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio obavljen je na željezničkoj pruzi u okolici Ogulina. Zadatak je bio pobliže upoznati proceduru aluminotermijskog zavarivanja tračnica koje je provedeno od strane radnika Hrvatskih željeznica. Postupci zavarivanja termitnom smjesom prikazani su sljedećim slikama:

Slikom 5.1. prikazano je izvršeno rezanje tračnica s plinskim plamenom te njihovo poravnavanje na pragovima sa dozvoljenim razmakom.



Slika 5.1. Poravnavanje tračnica

Slijedi namještanje vatrostalnog kalupa s nosačima za nošenje lonca u kojem će se odvijati termitna reakcija (Slika 5.2.) .



Slika 5.2. Namještanje kalupa i nosača tigl lonca

Slika 5.3. prikazuje početak nanošenja gline na kalup kako ne bi došlo do istjecanja taline.



Slika 5.3. Nanošenje gline na kalup

Završni izgled kalupa nakon pečaćenja glinom i već postavljenom posudom za trosku prikazuje Slika 5.4.



Slika 5.4. Izgled kalupa nakon završenog nanošenja gline

Nakon završenog pečaćenja kalupa slijedi montiranje lonca na nosače iznad kalupa (Slika 5.5)



Slika 5.5. Postavljanje tigl lonca

Predgrijavanje kalupa s plinskim plamenom zbog sprječavanja puknuća kalupa prilikom ulijevanja termitne smjese vidljivo je na Slici 5.6.



Slika 5.6. Predgrijavanje kalupa plinskim plamenom

Paljenje termitne smjese, Slika 5.7.



Slika 5.7. Prikaz paljenja termitne smjese

Odvijanje aluminotermijske reakcije u loncu prikazuje Slika 5.8.



Slika 5.8. Aluminotermijska reakcija

Po završetku reakcije talina se ulijeva u kalup, a lonac se nakon tri do pet minuta uklanja. Ovo je prikazano Slikom 5.9.



Slika 5.9. Kalup popunjen talinom

Slijedi razbijanje kalupa kako bi se moglo pristupiti završnoj obradi mjesta zavarenog spoja tračnice. (Slika 5.10.)



Slika 5.10. Razbijanje kalupa

Nakon razbijanja kalupa dok je mjesto zavara još uvijek toplo pomoću hidrauličnog trimera skida se višak materijala (Slika 5.11.) .



Slika 5.11. Uklanjanje viška materijala hidrauličnim trimerom

Izgled tračnice nakon obrade hidrauličnim trimerom (Slika 5.12.) .



Slika 5.12. Tračnica nakon uklanjanja viška materijala

Nakon što se mjesto spoja u potpunosti ohladi pomoću specijalne brusilice (Slika 5.13.) pobruse se vozne površine (tračnica).



Slika 5.13. Završno brušenje zavarenog spoja

Slika 5.14. Prikazuje izgled tračnice nakon završenog postupka aluminotermijskog zavarivanja.



Slika 5.14. Izgled zavarene tračnice

6 ZAKLJUČAK

Željeznički promet bitan je za gospodarski razvoj zemlje, omogućuje prijevoz masivnih i teških tereta, daje veliku raznolikost u vidu sredstava koja se prevoze uz veliku razinu sigurnosti. Zbog velikih količina tereta koji se prevoze željeznicom najviše se oštećuju i troše tračnice, one su ključne za ostvarenje transporta. Veliki faktor koji utječe na stanje tračnica su i vremenski uvjeti, uslijed djelovanja topline i hladnoće dolazi do dilatacije odnosno skrućivanja čije su posljedice deformacije i pukotine. Zbog navedenih utjecaja treba voditi brigu o stanju pruga i njihovom popravku. Ovo nam omogućuje aluminotermijski postupak zavarivanja koji se koristi za popravke tračnica ali i za postavljanje novih željezničkih infrastruktura. Ovaj postupak je najrasprostranjeniji za zavarivanje tračnica u kolosijeku, a ostvariv je zbog otkrića termitne reakcije od strane kemičara Hansa Goldschmidta 1896. godine.

Suvremeni postupci ovoga zavarivanje nastoje dobiti što kvalitetniji zavar uz što lakšu i jednostavniju opremu. Standardni lonci u kojima se odvija termitna reakcija se polako napuštaju, a uvode se lakši jednokratni lonci s filterom koji ne samo da su jednostavniji za rukovanje već i pružaju zaštitu od toksičnih plinova oslobođenih tijekom reakcije. Tvrtka Goldschmidt osim što proizvodi termitnu smjesu ona i razvija razne moderne uređaje koji služe za rezanje, stezanje, zavarivanje, poravnavanje tračnica i brušenje s čime se olakšava rad na terenu. Niska cijena postupka i opreme osigurava veće korištenje aluminotermijskog postupka u budućnosti, koje će s daljnim razvitkom tehnologije postajati sve sigurnije,brže i jednostavnije.

7 LITERATURA

[1] Lukačević, Z.: Zavarivanje, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 1998.

[2] Kralj.S, Andrić.Š: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Zagreb, 1992.

[3] Internet stranica: http://www.wikiwand.com/sh/Zavarivanje, preuzeto: 26.06.2018.

[4] Dunđer, M.: Proizvodni postupci, Predavanje za studente 3. godine prediplomskog studija, Sveučilište u Rijeci, Odsjek za Politehniku, Rijeka

[5] Dunđer, M.: Zavareni i zalemljeni spojevi, Predavanje za studente 2. godine prediplomskog studija, Sveučilište u Rijeci, Odsjek za Politehniku, Rijeka

[6] Lakušić, S.: Željeznice, Predavanje za studente III. Godine Građevinskog fakulteta, Zagreb, 2005.

[7] Internet stranica: http://www.zeljeznice.net/forum/index.php?/topic/6190-industrijska-pruga-prema-toplani-jako-puno-slika/, preuzeto: 27.6.2018.

[8] Ružić, D.; Kobaš, A.; Kovčić O.: Željeznice (Skripta predavanja iz predmeta Željeznice), Tuzla, 2006.

[9] Marušić, D.: Gornji ustroj željeznica, Predavanja za studente 1. godine diplomskog studija, Mostar, 2009.

[10] Internet stranica: https://www.prometna-zona.com/tracnice/, preuzeto 27.6.2018.

[11] Popović, O.; Cvetković, R.; Jovičić, R.: Razvoj čelika za izradu šina, IMK-14, 41, 25-32 2011.

[12] Samardžić, I.; Dunđer, M.; Stojić, A.; Starčević, V.; Marić, D.; Duspara, M.: Weldig of rails, CIM 2017 Computer integrated manufacturing and high speed machining / Abele, Eberhard; Udiljak, Toma; Ciglar, Damir(ur.). Zadar: Croatian Association of Production Engineering, 2017. 217-222.

[13] Hrvatska enciklopedija: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=67686, preuzeto 28.6.2018.

[14] Kuzmenko, G.; Bajić, D.: Elektrolučno zavarivanje popunjavajućom elektrodom, Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, 2-6, Podgorica

[15] Benedetti, A.: La tecnologia delle saldature alluminotermiche, Politecnico Milano

[16] O'Brien R. L.: WELDING Handbook, Eight edition, Volume 2, AWS, Miami, 1997

[17] Australian Rail Track Corporation: Aluminothermic Welding Manual (Engineering Practies Manual – Civil Engineering), Australia , 2007.

[18] Goldschdmit - Thermit Groupe: EuroTIEGEL – Single Use Crugible, http://www.goldschmidt-thermit.com/en/portfolio/rail-joining/thermitrwelding-processes-incl-all-consumables/, preuzeto 4.7.2018

[19] Internet stranica: http://www.ncc-1701a.net/BNSFRailWelding.html , preuzeto 5.7.2018.

[20] Internet stranica: https://hr.wikipedia.org/wiki/Termitno_zavarivanje, preuzeto 6.7.2018.