

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Hajdu

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc.dr.sc. Ivica Garašić

Ivan Hajdu

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studiranja i navedenu literaturu.

Zahvaljujem docentu dr. sc. Ivici Garašiću i asistentici Maji Remenar mag. ing. koji su mi svojim stručnim znanjem pomogli u izradi ovog završnog rada. Također se želim zahvaliti gospodinu Franji Javoru dipl. ing. stroj. što mi je omogućio posjet tvornici TŽV Gredelj i ustupio podatke koji su mi bili potrebni za izradu ovog rada.

Ivan Hajdu

SADRŽAJ:

SADRŽAJ:.....	I
POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY.....	V
1. UVOD.....	1
2. POPRAVCI ZAVARIVANJEM.....	4
2.1 Uzroci oštećenja.....	4
2.2 Utvrđivanje stanja oštećenja.....	7
2.3 Utvrđivanje vrsta i analiza stanja materijala.....	8
2.4 Donošenje odluke o reparaturi.....	11
2.5 Izrada tehnoloških postupaka popravaka.....	12
2.5.1 Namjena i podjela tehnoloških postupaka u reparaturi.....	14
3. POSTUPCI ZAVARIVANJA KOJI SE KORISTE U REPARATURNOM ZAVARIVANJU.....	16
3.1 REL zavarivanje i navarivanje.....	16
3.1.1 Dodatni materijali za REL zavarivanje.....	18
3.2 TIG zavarivanje.....	18
3.2.1 Dodatni materijali za TIG zavarivanje.....	20
3.3 MIG/MAG zavarivanje i navarivanje.....	21
3.3.1 Dodatni materijali za MIG/MAG zavarivanje.....	22
3.4 Zavarivanje plinskim plamenom.....	23
3.5 Navarivanje.....	24
3.6 Naštrcavanje.....	24
4. PRIMJERI PRIMJENE REPARATURNOG ZAVARIVANJA U PROIZVODNJI.....	26

4.1 Primjer reparature kućišta ležaja.....	26
4.2 Reparturno zavarivanje posuda pod tlakom.....	28
4.3 Preporučena procedura za zavarivanje bloka motora	30
5. EKSPERIMENTALNI DIO	32
5.1 Uvod u eksperimentalni dio	32
5.2 Okretno postolje Y25 – BOGIE Y25.....	33
5.2.1 Tehničke karakteristike.....	33
5.2.2 Kriteriji pri pregledu okretnog postolja Y25	34
5.3 Opis konstrukcije rame okretnog postolja Y25	35
5.4 Remont i održavanje rame okretnog postolja Y25	36
5.5 Glavni dijelovi rame okretnog postolja.....	37
5.5.1 Opužna kliznica	37
5.5.2 Ogibljenje.....	38
5.5.3 Kliznica	40
5.6 Utvrđivanja stanja oštećenja	41
5.7 Utvrđivanje vrste materijala i njegova zavarljivost	44
5.7.1 Manganska pločica (klizač)	44
5.7.2 Kućište ležaja.....	45
5.8 Specifikacija postupka zavarivanja.....	45
5.9 Ekonomska analiza provedene sanacije.....	48
6. ZAKLJUČAK.....	50
7. LITERATURA	52
8. PRILOG	54

POPIS SLIKA

Slika 1. Lom aluminijske ručice uslijed zamora materijala	6
Slika 2. Ispitivanje sadržaja željeza u navaru pomoću XRF, InnovX DELTA uređaja	9
Slika 3. Izgled iskri, dobivenih brušenjem električnom brusilicom, kod pojedinih vrsta čelika	11
Slika 4. Položaj pištolja i žice kod ručnog TIG zavarivanja	20
Slika 5. Prikaz postotka miješanja osnovnog i dodatnog materijala kod različitih postupaka navarivanja	24
Slika 6. Kućišta osovinskih ležaja s oštećenim dosjedom	26
Slika 7. Kućište ležaja nakon strojne obrade i brušenja	27
Slika 8. Raspon gubitka materijala na izlazu iz mlaznica.....	28
Slika 9. Zavarivanje bloka motora	30
Slika 10. Okretno postolje Y25 (BOGIE Y25)	33
Slika 11. Opružna kliznica	37
Slika 12. Kliznica i kućište ležaja osovinskog sloga Y25	38
Slika 13. Kućište ležaja sa svojim glavnim dijelovima	39
Slika 14. Dijelovi kliznice s mjerama	40
Slika 15. Vertikalnost manganskih pločica za trenje	41
Slika 16. Kućište ležaja na kojem nedostaje manganska ploča (klizač).....	41
Slika 17. Puknuće zavara na manganskoj pločici (klizaču).....	43
Slika 18. Dijagram raspodjele cijene za reparaturu u odnosu na cijenu novog kućišta.....	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Izgled vrha elektrode s obzirom na osnovni materijal i vrsta polariteta	19
Tablica 2. Orjentacijski podaci za TIG zavarivanje nehrđajućeg čelika	20
Tablica 3. Kemijski sastav elektrode za zavarivanje bloka motora	31
Tablica 4. Podaci i odredebe koje je potrebno pratiti pri redovnom pregledu postolja	35
Tablica 5. Mjerne vrijednosti po crtežu i poslije remonta	40
Tablica 6. Kemijski sastav čelika X12oMn-N	44
Tablica 7. Kemijski sastav GJS-400-18-LT	45
Tablica 8. : Parametri za MAG zavarivanje središnje ploče.....	46
Tablica 9. Parametri za REL zavarivanje središnje ploče.....	46
Tablica 10. Parametri za MAG zavarivanje bočnih ploča	47

SAŽETAK

U radu je opisan koncept reparaturnog zavarivanja i navedeni su glavni postupci korišteni u reparaturi. U uvodnom dijelu opisane su sve operacije koje prethode zavarivanju i ukratko su opisani najčešći postupci zavarivanja. Na kraju uvodnog dijela navedena su tri primjera iz aktualne proizvodnje gdje se uspješno primjenjuje reparaturno zavarivanje.

U eksperimentalnom dijelu provedeno je reparaturno zavarivanje manganskih pločica na kućište ležaja okretnog postolja Y25. Na kućištu ležaja došlo je do otkinuća manganske pločice i do pucanja zavara na drugoj manganskoj pločici. Nove pločice su zavarene REL i MAG postupkom. Nakon zavarivanja vizualnom kontrolom nisu utvrđene nikakve pogreške u zavaru.

Ključne riječi : reparaturno zavarivanje, okretno postolje Y25, čelik s 12% Mn, nodularni lijev

SUMMARY

This paper describes the concept of repair welding and all the main methods used in repairing. The introductory chapter describes all operations that precede welding and briefly describes the most common welding processes. At the end of the introductory section three examples from modern production can be found, in which successful repair welding has been applied

In the experimental part of the paper repair welding of manganese plate on the bearing housing of bogie Y25 was carried out. On the bearing housing, one manganese plate was torn off and there was a weld crack on another manganese plate. New plates were welded by SMAW and GMAW process. Post welding visual inspection showed no defects in the weld..

Keywords: repair welding, bogie Y25, manganese steel with 12% Mn, cast iron

1. UVOD

Kod nastanka oštećenja nekog strojnog elementa, dijela procesa ili bilo kakve havarije često dolazi do obustave rada dijela sustava, a veliko oštećenje može imati za posljedicu i obustavu rada cijelog sustava te prekid isporuke proizvoda, energenata i raznih usluga u određenom vremenskom roku. Kod takvih problema pristupa se popravcima i tehnologiji zavarivanja, navarivanja, naštrcavanja i lemljenja. Popravci tim tehnikama koriste se gotovo svugdje u građevinarstvu, brodogradnji, elektranama, prehrambenoj ind., naftnoj industriji, tekstilnoj industriji, papirnoj industriji, industriji stakla, poljoprivredi i također mnogo u kućanstvima.

Kada dođe do oštećenja često nije moguća zamjena s odgovarajućim novim dijelom, tada se traži žurno i po mogućnosti što trajnije rješenje. Često se javlja problem da se zbog neznanja odbacuju skupi dijelovi koji se mogu kvalitetno popraviti i uz nižu cijenu od nabave novog, a kvalitetnog kao i novi dio. Kvalitetan popravak nemora biti samo privremeno rješenje, u nekim slučajevima ono može biti bolje od dosadašnjeg ili novog dijela. Popravci tehnologijama zavarivanja, navarivanja, naštrcavanja i lemljenja mogu se svrstati u tri skupine [1]:

- popravci pukotina i lomova te izmjena pojedinih oštećenih dijelova zavarivanjem;
- popravci istrošenih dijelova navarivanjem;
- popravci istrošenih dijelova naštrcavanjem površina.

Uz gore navedene tehnologije koje se koriste u popravcima i sanacijama neizostavno je spomenuti strojnu pripremu i obradu, toplinsku obradu, završnu obradu i antikorozivnu zaštitu. Postupci reparaturnog zavarivanja najviše se koriste kod tehnologije popravaka i sanacije oštećenih dijelova. Popravci i sanacije najčešće su na raznim oštećenim posudama, cijevnim sklopovima, mostovima, dizalicama i drugim konstrukcijama. Najčešće se radi o raznim napuknutim i polomljenim dijelovima kao što su : blokovi motora, osovine, postolja, alati i drugi strojni elementi. Popravci se vrše i na velikim konstrukcijama dizalicama, kranovima, mostovima ali i na posudama pod tlakom kao što su: kotlovski bubnjevi, kuglasti spremnici, cisterne i na raznim istrošenim mjestima kao npr. valjcima, raznim utorima, ležajnim mjestima, parnim, plinskim i vodenim turbinama.

Popravci istrošenih dijelova navarivanjem i naštrcavanjem također čine veliku grupu reparaturnog zavarivanja. Navarivanje obuhvaća dijelove: osovine, rukavci, klizne površine, tračnice, probijači, vodilice, klipovi, zupčanici, pužnice, rezni alati.

Naštrcavanje se koristi na dijelovima kada se iz bilo kojeg razloga ne smije koristiti navarivanje. Materijali koji se pojavljuju kod tih popravaka su čelici i čelični ljevovi, aluminij i aluminijske legure, bakar i bakrene legure, legure nikla, legure kroma, legure titana. No, najviše su zastupljeni čelici i sivi ljev.

Čelici koji se primjenjuju kod raznih konstrukcija mogu biti nelegirani, niskolegirani i visokolegirani i praktički su svi zavarljivi. Čelici koji se primjenjuju u izradi raznih strojnih dijelova: osovine, rukavci, ležajevi, čeljusti i dr. su nelegirani i niskolegirani i podobni su za zavarivanje. Visoko legirani čelici s povišenim udjelom ugljika koji se koriste za izradu strojnih dijelova slabo su zavarljivi, ali se mogu popravljati navarivanjem i naštrcavanjem.

Podjela metala najzastupljenijih u reparaturnom zavarivanju i njihova zavarljivost:

- Čelici koji se primjenjuju za izradu strojnih alata slabo su zavarljivi ali se mogu popravljati naštrcavanjem i navarivanjem.
- Sivi ljev, nodularni i temper ljev primjenjuju se uglavnom za izradu raznih postolja i kućišta i mogu se dobro zavarivati.
- Aluminij i njegove legure primjenjuju se izradu različitih posuda, konstrukcija, kućišta u lijevanoj izvedbi i mogu se dobro zavarivati.
- Bakar i njegove legure primjenjuju se najviše u elektroindustriji, cijevnim izvedbama, kućištima u lijevanoj izvedbi i mogu se dobro zavarivati.

Skoro svi postupci zavarivanja koji se koriste u uobičajnoj proizvodnji mogu se koristiti u reparaturi. Izbor postupka zavarivanja ovisi o vrsti materijala, dimenzijama, vrsti i veličini oštećenja, obliku i pristupačnosti radnom komadu, ekonomičnosti primjene i mogućnosti radionice ili pogona za popravak.

U reparaturnom zavarivanju i navarivanju najviše se koristi REL postupak i nekad davno neizostavan postupak zavarivanja plinskim plamenom. REL postupak ima najširu uporabu i može se primjeniti na gotovo sve materijale i strojne elemente. Također velika je upotreba

MIG/MAG i EPP postupka koji su svoju upotrebu pronašli u navarivanju valjaka, kotača željezničkih vagona i sl. i oni su za to najpovoljniji. TIG i MIG postupak su nezamjenjivi kada se radi o zavarivanju i navarivanju visokolegiranih čelika i obojenih metala. U reparaturnom zavarivanju koriste se i plazma postupak i laser.

Današnja bogata ponuda opreme i uređaja za zavarivanje, dodatnih materijala, mogućnosti brze i pouzdane analize značajki i svojstva osnovnih materijala, pružaju velike mogućnosti u odabiru optimalnog postupka reparaturnog zavarivanja i sanacije štete. Ključnu ulogu u svemu tome ima stručni kadar, čije stručno znanje treba imati potreban odgovor i rješenje na sva pitanja i zadatke koji se svakodnevno otvaraju u ovom području.

2. POPRAVCI ZAVARIVANJEM

Svako oštećenje na strojnom dijelu, postrojenju ili dijelu konstrukcije većinom je izazvano greškom u materijalu, greškama u zavarenom spoju, starenjem materijala, korozijom, preopterećenjem u eksploataciji i neadekvatnim rukovanjem. Oštećenje može izazvati kratkotrajni zastoj u proizvodnji ili ako je dio od velike važnosti za postrojenje vremenski zastoj do nabave novog dijela može biti dugotrajan. U takvim situacijama dolazi do panike i u većini slučajeva traži se brzo i makar privremeno rješenje što može izazvati još veći problem ako se popravku ne pristupa stručno i po određenim pravilima. Ukoliko oštećeni objekt ili dio podliježe nadzoru nekog službenog organa kao npr. Inspektoratu posuda pod pritiskom, oštećenja treba odmah prijaviti i postupati u suglasnosti sa zahtjevima te ustanove sve do puštanja objekta u rad. Pristup popravku može se podijeliti u četiri faze :

- utvrditi stanje i oštećenje, prikupiti i opisati sve poznate podatke o havariji, radnom komadu, materijalu i eksploatacijskim uvjetima;
- ocijeniti situaciju i donijeti odluku o popravku;
- odrediti i napisati tehnologiju popravka;
- izvršiti popravak i arhivirati dokumentaciju.

Tijekom popravaka poželjno je pisati određenu dokumentaciju i voditi dnevnik rada i sve popratiti odgovarajućim fotografijama što značajno širi bazu podataka, dragocjenu za ovu djelatnost.[1]

2.1 Uzroci oštećenja

Trajnost i životni vijek proizvoda, kvaliteta u radu i pouzdanost u radu nekoga strojnog elementa zanimljivi su podaci za korisnika i uvijek su u fokusu njegovog zanimanja. Ti elementi se i često navode kao tehnički podaci koji se koriste kod planiranja i procjene financiranja i isplativosti daljnjih ulaganja te opravdanosti održavanja određene opreme. Sve navedeno su važni parametri tijekom održavanja i popravaka i odluke o investiciji.

Službe koje se bave održavanjem sustava moraju se uklopiti u sve grane industrije te pratiti današnje zahtjeve o sve kraćim zastojima u radu. U situacijama kada dođe do loma ili oštećenja, uz redovne upite o razlozima, postavljaju se i brojna druga pitanja. Najčešće su to dvojbe o porijeklu proizvoda, greškama u samim počecima projektiranja, starosti, načinu izradbe i drugim značajkama dijelova.

Već u definiranju projektnog zadatka mogu se nalaziti uzroci i razlozi kasnijih lomova i otkazivanja strojnih elemenata. Moguće greške su krivi podaci o veličini, vrsti i načinu opterećenja. Kod razrade projekta moguće su greške o krivim podacima za radne temperature, klimatskim uvjetima, svojstvima radnih medija, utjecaju okolne atmosfere i sl. U projektiranju su moguće pogreške pri odabiru materijala, njegovu dimenzioniranju, oblikovanju, toplinskoj obradi i slično.

U današnje doba od projektanata se često zahtijeva minimiziranje i racionalizacija troškova proizvodnje te se tako u proračun ulazi s donjim granicama sigurnosti, snižavanja težine konstrukcije, uštede na kvaliteti odabranih osnovnih materijala i smanjivanje svih mogućih tehnoloških operacija. Takve nesavjesne odluke pri projektiranju mogu dovesti do velikih havarija i do gubitka ljudskih života. Neke od većih havarija odnijele su mnogo ljudskih života kao što je davne 1948.god u Ludwigshafen-u došlo do eksplozije posude pod tlakom gdje je poginulo 200 ljudi i ozlijeđeno još 3800 ljudi.

Ponekad analizirajući podatke o projektiranju dolazi se do zaključka da je projektiranje provedeno korektno i optimalno ali moguća su odstupanja, tada je zanimljiv podatak o porijeklu proizvođača. U podacima o porijeklu moguće je otkriti uzroke zbog kojih je došlo do havarije. Najčešće su to odstupanja u odabiru i primjeni zadanih osnovnih materijala, propisanoj toplinskoj obradi, odabiru postupaka zavarivanja, dodatnih materijala za zavarivanje i slično. Današnje tvrtke u utrci za profitom sele tvornice u sredine i zemlje s malim proizvodnim troškovima, u loše organizirano i nekvalitetno ustrojenu proizvodnu sredinu. Podaci o zemlji porijekla mogu biti jedan zanimljiv pokazatelj vezan za kvalitetu i uzroke lomova i oštećenja. No, moguća je pojava grešaka i u dobro organiziranoj proizvodnji. Tako se na tržištu pojavljuju proizvodi kojima vijek trajanja i značajke ne zadovoljavaju ni minimalne tehničke i sigurnosne zahtjeve.

Neki strojni elementi zahtijevaju posebne načine odlaganja, pakiranja, prijevoza i skladištenja. Ovo se posebno odnosi na elemente izrađene od materijala osjetljivih na koroziju, dijelove koji su posebno brušeni i tretirane dijelove koji zahtijevaju posebne naprave i pomagala za prijevoz i skladištenje. Nedogovarajuća manipulacija materijalom može imati za posljedicu trajne dimenzionalne promjene i oštećenja obrađenih površina. Cr-Ni čelici su dobar primjer osnovnog materijala koji „pamti“ lošu manipulaciju od transporta i skladištenja do tehnološke nediscipline kod zavarivanja, ugradnje i proizvodnje. Česta je pojava

izostanaka kontrole, te se ugrađuju dijelovi koji su već oštećeni u bilo kojem obliku. Kada se takvi elementi ugrađuju, oni postaju potencijalni uzrok i razlog novog kvara i zastoja u radu.

Najgori pristup održavanju je ako se oprema uopće ne održava te ako se postrojenja i oprema koriste do donjih granica dok ne dođe do havarije i velike štete. Takvih primjera ima najviše na mostovima, iskopima, šljunčarama, kamenolomima i sl.

Životni vijek i uporabna svojstva su ograničeni, a vijek proizvoda proizlazi iz roka valjanosti proizvoda koji opet ovisi o ugrađenim dijelovima, vanjskim utjecajima, eksploataciji te nakon sveg navedenog u krajnjem slučaju moguća je pojava kvara. Kada dođe do kvara, on je općenito posljedica kombiniranih opterećenja bilo stalnih ili povremenih, opterećenja izazvanih promjenama temperature i ostalim djelovanjima kojima je materijal izložen. Vrlo česta pojava koja uzrokuje kvarove je zamor materijala. Zamor materijala je postupno oštećenje uslijed dugotrajnih periodičnih promijenjivih opterećenja. Zamor nastaje općenito kod dinamički napregnutih konstrukcija gdje do pojave loma može doći pri naprezanjima znatno manjima od onih pri maksimalnoj vlačnoj čvrstoći pa čak i granice razvlačenja. Proces inicijacije pukotine dijeli se u tri koraka [2] :

- inicijacija i rast pukotine;
- širenje ili rast pukotine;
- nasilni lom.

Na slici 1. prikazan je lom aluminijske ručice uslijed zamora materijala. Tamna područja prikazuju spori rast pukotine dok svijetla područja označuju brzi nasilni lom.



Slika 1. Lom aluminijske ručice uslijed zamora materijala [3]

2.2 Utvrđivanje stanja oštećenja

Kada dođe do havarije ili oštećenja na postrojenju ili stroju podrazumijeva se prikupljanje svih potrebnih podataka o oštećenju, radnom komadu, materijalu i eksploatacijskim uvjetima što znači sljedeće:

- za koga se obavlja popravak;
- naziv stroja i oštećenog dijela;
- opis radnog komada;
- oblik i dimenzije;
- radni vijek stroja ili radnog komada;
- opis rada stroja i događaja koji je uzrokovao oštećenje;
- opis oštećenja, vrsta, mjesto, veličina, uzrok;
- da li je mjesto bilo prethodno zavarivano ili na koji drugi način popravljano;
- vrsta i stanje radnog komada.

Ovih devet točaka su samo opće informacije. Podaci o oštećenom komadu moraju biti što je više moguće opširniji i time će se skratiti popravak. Bitna su saznanja da li se radni komad može demontirati, prenijeti i okretati, može li se pristupiti komadu nekom od tehnologija žljebljenja, može li se radni komad predgrijavati samo lokalno ili kao cijeli komad, može li se obaviti odžarivanje i na koji način će se provesti kontrola.

Kao svi metali tako i zavarene konstrukcije izložene su korozivnoj sredini. U korozivnoj sredini najbolje su postojani nehrđajući čelici. Nehrđajući čelici su postojani u korozivnim sredinama zahvaljujući pasivnom (oksidnom) sloju koji nastaje na površini metala.[1]

U slučajevima havarije korozijom treba utvrditi o kakvom obliku korozije je riječ, agresivnom mediju i eksploatacijskim uvjetima. Najčešće pojavljivani oblici korozije su:

- interkristalna korozija;
- rupičasta ili točkasta korozija (eng. „pitting“);
- erozijska korozija;
- napetosna korozija;
- kontaktna korozija;
- korozija u procijepu.

Posebno valja spomenuti pojavu rupičaste korozije (pittinga). Pojava pittinga je najčešća na nehrđajućim i visoko legiranim čelicima i pogotovo je opasna u područjima zavarenih spojeva. Proces rupičaste korozije je teško kontrolirati ali to ne znači da se na njega nemože utjecati. Zato se otpornost čelika ispituje u oksidativnoj kloridnoj sredini.

Pravilnim odabirom postupaka zavarivanja može se utjecati na veću ili manju pojavu rupičaste korozije, a pri strogo definiranim uvjetima zavarivanja te kasnijoj obradi površine mogu se dobiti prihvatljivi zavareni spojevi s gledišta otpornosti prema rupičastoj koroziji. Rupičasta korozija je lokalni oblik korozije te napada samo pojedine dijelove konstrukcije. U ovom slučaju često napada baš područje zavarenog spoja. Iz svega navedenog ovom tipu korozije treba posvetiti veliku pažnju i pokušati smanjiti nastanak rupičaste korozije na najmanju moguću mjeru.

Na dalje, kod površina oštećenih korozijom i površina kod kojih je površina istrošena nekim drugim sredstvom, treba utvrditi vrstu trošenja : klizno, kotrljajuće, udarno, izjedanjem, abrazijom, erozijom česticama, erozijom kapljevine, kavitacijom. Izgled površine već puno govori o mehanizmu trošenja i može se podijeliti na nekoliko točaka:

- umor površine (pukotine i udubine na površini)
- abrazija (razne ogrebotine i brazde na površini)
- adhezija (nalijepljene čestice, uljuštene listiće i plitke udubine na površini)
- tribokorozija (produkti reakcije u obliku filmova i čestica na površini)

Svi navedeni podaci ako su dostupni potrebni su kako bi se moglo ocijeniti stanje i donijeti odluka o popravku.

2.3 Utvrđivanje vrsta i analiza stanja materijala

Podaci o vrsti i stanju materijala oštećenog strojnog dijela imaju veliku važnost, ako se popravci planiraju obavljati tehnološkim postupcima zavarivanja. U prostorima gdje je sačuvana dokumentacija postoje podaci vezani za instaliranu opremu i strojeve, te podaci o vrsti materijala. Ovakvi podaci su uvijek dobrodošli iako njih treba uzimati s rezervom i treba ih provjeriti. Mogući problemi su npr. da je strojni dio bio duže u eksploataciji i moglo je doći do izmjene izvornih dijelova, a tako podaci više neće odgovarati deklariranom materijalu.

Za utvrđivanje vrste i stanja materijala uzimaju se uzorci s oštećenog dijela na osnovnom materijalu, postupcima koji ne utječe na promjenu svojstva materijala kao npr. bušenje ili mehaničko rezanje. Ako se pak uzorak izrezuje plinskim plamenom, toplinski utjecajnu zonu treba ukloniti mehaničkim putem.

Materijali se najčešće ispituju u laboratoriju ispitivanjem kemijskog sastava materijala. Ako je samo riječ o kemijskoj analizi tada su dovoljne male količine strugotine ili uzorci-pločice površine 20x20mm. Za utvrđivanje mehaničkih svojstva moraju se izrezati veći komadi, koji moraju biti dovoljno veliki da se iz njega daju izraditi ispitni uzorci. Prije je za ovakve uzorke trebalo izrezati ploču dimenzija 400x400mm dok se u novije vrijeme izvadi uzorak u obliku „čepa“ veličine promjera 65mm, koji se iz stijenke izrezuje mehaničkim postupkom šupljim svrdlom [1]. Uzorci moraju biti reprezentativni, odnosno odabrani na mjestima koja pouzdano odgovaraju stanju materijala i mjestu koje treba sanirati. Kemijsko-mehanički laboratorij koji obrađuje i analizira uzorke mora biti mora biti ekspeditivan i odgovarajuće opremljen. Za utvrđivanje mehaničkih svojstava materijala najčešće se ispituje vlačna čvrstoća, žilavost i tvrdoća. U mnogim radionicama ne postoje adekvatno opremljeni laboratoriji pa je poželjno koristiti usluge laboratorija koji postoje u svakom industrijskom središtu. Za približno utvrđivanje vrste materijala postoji više iskustvenih metoda:

- između metala općenito – po boji i težini metala te vrsti izradka ;
- između čelika – po tvrdoći, magnetičnosti, po boji i obliku dobivene iskre brušenjem, po strukturi prijeloma, po izradku;
- nerazornim metodama ispitivanja

Primjer neraznog ispitivanja vrste materijala može se vidjeti na slici 2.



Slika 2. Ispitivanje sadržaja željeza u navaru pomoću XRF, InnovX DELTA uređaja [26]

Na prvi pogled jednostavno je razlikovati čelik od aluminija ili bakra. Visokolegirani CrNi čelici razlikuju se od nelegiranih po boji površine zato jer se često nazivaju i „bijeli“ čelici. Bakar i njegove legure se prepoznaju po specifičnim nijansama boja. Sivi lijev se razlikuje od čelika po izgledu površine prijeloma. Magnetom se mogu vrlo lako razlikovati visokolegirani CrNi čelici koji nisu magnetični od magnetičnih martenzitnih i feritnih visokolegiranih čelika. Visokolegirani manganski čelik također nije magnetičan. Jedna od najjednostavnijih bi bila proba s turpijom koja razdvaja tvrde čelike koji su slabo zavarljivi od mekih, dobro zavarljivih čelika. Dobro ili uvjetno zavrjivi čelik može se utvrditi jednostavno probom navarivanja, a postupak je sljedeći: na površinu čelika kojeg se ispituje bazičnom elektrodom navari se jedan sloj bez prethodnog zagrijavanja. Prereže se navareno mjesto i površina presjeka turpija finom turpijom te ako zona ispod zavara nije tvrđa od osnovnog materijala, čelik se može zavariti bez predgrijavanja. Ako je zona ispod zavara tvrđa govori se o slabije zavarljivom čeliku, a poslije turpijanja postiže se svjetlucavi izgled tog područja.

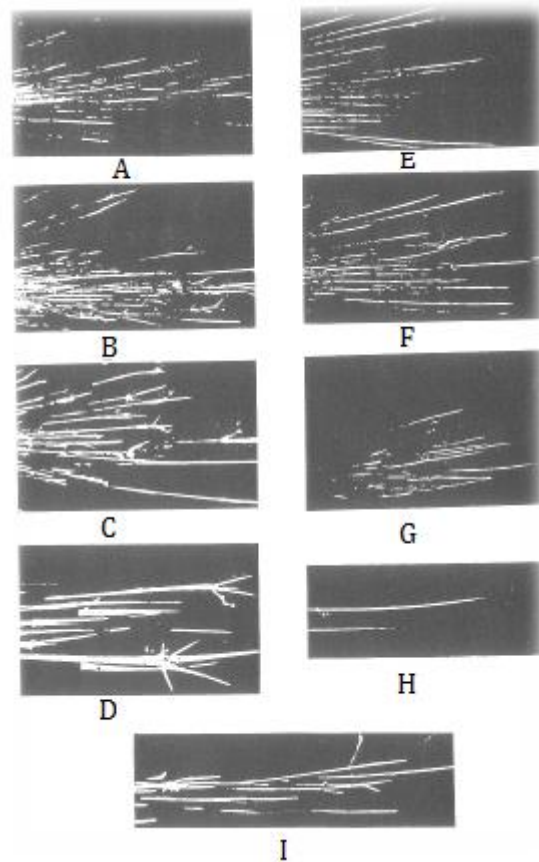
Po izmjerenim vrijednostima tvrdoće mogu se odrediti vrste čelika. Ako je tvrdoća iznad 350HV radi se o nelegiranim čelicima, za vrijednosti od 400HV o niskolegiranim čelicima. No kod mjerenja tvrdoće treba poznavati stanje površine čelika na nekom strojnom dijelu, jer austenitni i manganski čelici u eksploatacijskim uvjetima otvrdnu do 500HV, no skine li se taj sloj dolazi se do mekanog materijala, oko 200HV [1]. To se treba napraviti i kod dijelova koji su cementirani ili nitrirani, gdje se tek ispod skinutog površinskog sloja nalazi materijala koji ćemo ispitati. Iskusniji stručnjaci koji dobro poznaju materijale mogu vizualno po obliku iskre dobivene brušenjem razlikovati sivi lijev, nelegirani i niskolegirani lijev, prikazano na slici 3.

Na slici 3. je prikazan izgled iskri kod pojedinih vrsta čelika i to redom [1] :

- A-Nelegirani čelik s približno 0,1% C, boja iskre bijela;
- B-Nelegirani čelik s približno 0,30% C, boja iskre bijela;
- C-Nelegirani čelik s približno 0,5% C, boja iskre bijela;
- D-Nelegirani čelik s približno 0,30% C i 0,25% Si, boja iskre bijela;
- E- Niskolegirani čelik s Mo, boja iskre gotovo bijela, vrlo malo na žučkastu;
- F-Niskolegirani čelik s Cr, boja iskre narančasto žuta;
- G-Utjecaj wolframa u niskolegiranom čeliku, boja iskre tamno crvena;
- H-Karakteristična zraka iskre u obliku strijele, označava prisustvo Mn;

- I-Čelik sa 0,16% C, 0,25% Si 0,60% Mn, boja iskre bijela.

Ako je slabije iskustvo iskra se može usporediti s već onom na poznatom materijalu. [1]



Slika 3. Izgled iskri, dobivenih brušenjem električnom brusilicom, kod pojedinih vrsta čelika [1]

Vrstu materijala može se s dovoljnom sigurnošću odrediti i po tipu konstrukcije ili strojnog dijela. Zna se da se: osovine, vratila, rukavci, kardanska vratila, vretena i slično izrađuju od čelika koji su teško ili uvjetno zavarljivi kao što su čelici za poboljšanje i cementiranje. Npr. alati su izrađeni od alatnih, slabo ili uvjetno slabo završljivih čelika dok su dijelovi bagera i drobilica izrađeni od manganskih čelika.

2.4 Donošenje odluke o reparaturi

Ključne faze u donošenju odluka su definirani svi problemi, zadani ciljevi i sukladno tome odabrana rješenja koja su u praksi provediva i isplativa. Ispravan pristup može rezultirati nekom od sljedećih odluka:

- obustava daljnjih aktivnosti i odustajanje od radova na sanaciji;

- nastavak aktivnosti i izrada ponude za sanaciju;
- nastavak aktivnosti, razrada tehnologije i ponude za sanaciju;
- nastavak aktivnosti uz dodatne, dugotrajne analize, konzultacije i revidiranje; procedura i ciljeva sanacije.

Odustajanje od radova na sanaciji može biti usuglašeno od strane naručitelja i potencijalnog izvršitelja, a može nastati kao jednostrana odluka bilo koje strane uključene u rješavanje problema.

Nastavak aktivnosti na popravcima očekivana je procedura. Za daljnji rad potrebno je izraditi podlogu koja osim komercijalnih sadrži i tehničke podatke o planiranim aktivnostima. Nakon prihvaćanja ponude, brzo se ide u realizaciju i uz standardnu proceduru bilježenja svih aktivnosti obavlja se sanacija i primopredaja radova.

Kod zahtjevnijih slučajeva, gdje naručitelj zahtijeva ili gdje propisi nalažu, sastavni dio ponude je i detaljan tehnološki postupak kojim je propisan način sanacije. Tehnološki postupak usuglašava se i odobrava od nadležnih službi naručitelja. U sklopu ove dokumentacije moguća je izrada tehnoloških proba ili atesta postupka zavarivanja. U pojedinim situacijama donošenje brzih i konačnih odluka nije moguća. Kod nekih složenih sustava i procesa poštivanje procedura i pristup popravcima je specifičan. Potrebne su detaljne analize i konzultacije u koje se moraju uključiti mnogi stručnjaci, a ponekad to traži odziv i neke institucije npr. fakulteta.

Moguća su odluke u kojima se nakon svih analiza, zbog radova na popravcima, zaustavlja kompletno postrojenje ili se reduciraju neki parametri sustava (tlak, temperatura, protoci..), te se u tim okolnostima obavljaju reparature. Sve te procedure moraju se pismeno definirati i odobriti i da kao takve ulaze u postupak sanacije. Temelj realizacije kvalitetne reparature je da se odluke koje se definiraju moraju provesti savjesno i sistematično.[4]

2.5 Izrada tehnoloških postupaka popravaka

Tehnološki postupak je važan tehnički pisani dokument. Kod izrade tehnološkog postupka definiraju se samo podaci koji se mogu priložiti u pisanom obliku. Tehnološki postupak izrađuje osoba s iskustvom, obično je to tehnolog. Takav pisani dokument sastoji se od važnih i raznovrsnih informacija, kao što su: uzroci havarije, opis i posljedica šteta, utjecaj na

okoliš i radnu sredinu, opće značajke stroja i radnog komada, uvjeti eksploatacije, podaci o svojstvima osnovnih materijala, uvjeti izvedbe popravka, priprema i odabir postupka zavarivanja, dodatni materijali, provedba postupka, kontrola, toplinska obrada, završne i strojne obrade, operativni kadar, ispitivanja i kontrole, nadzorna tijela itd. Specifičnost ovakvog dokumenta je ta ako dođe do okončanja posla, u njega se mogu unijeti sve eventualne promjene zabilježene tijekom sanacije. Ovaj dokument se pohranjuje i kod izvođača i kod naručitelja radova, što nije slučaj kod klasične proizvodnje. Iznimno za manje popravke dovoljan je i usmeni dogovor ili kratak opis s jednostavnom skicom, ali potrebno je biti oprezan jer krajnji rezultat ovisi o znanju i iskustvu inženjera, zavarivača i ostalog osoblja. Složeniji popravci zahtijevaju i bolju razradu problema te angažman stručnih osoba. Naručitelj može imati specifične zahtjeve s obzirom na rokove, radnu sredinu, okoliš i slično pa se i ti podaci moraju obraditi i definirati u tehnološkom postupku sanacije.

U osnovi rad na izradbi tehnološkog postupka može se podijeliti u dva koraka:

a) Definiranje koncepcije popravaka propisuje uvjete i okolnosti u kojima će se radovi obavljati te se treba odrediti:

- mjesto na koje se obavljaju radovi
- evidentiranje i struktura radova, radnih operacija i njihov sadržaj, s naglaskom na međusobni utjecaj i slijed (ispitivanje osnovnog materijala, rezanje, zavarivanje, kontrola, toplinska obrada, ispitivanje, strojna obrada)
- definiranje i izbor opreme za odabrane radne operacije, vodeći računa o učinkovitosti, kvaliteti, točnosti, pouzdanosti i mogućnostima optimalne primjene
- odabir radnog i operativnog kadra s odgovarajućim iskustvom
- definiranje razine nadzora kvalitete radova, međufazna kontrola, završna kontrola, angažman nadzora ovlaštenih institucija
- definiranje okvira regulative (zakonske odredbe, norma, pravilnici) koje nalaže sredina, konkretni radovi popravaka, zaštita i sigurnost na radu
- definiranje rokova za realizaciju i način primopredaje, prateća dokumentacija
- definiranje jamstva i praćenja u radu
- zbirno definiranje vremena i troškova, koji u ovoj fazi mogu biti orijentacijski
- usporedba predloženih varijanti i rješenja, ako ih ima više
- odabir optimalnog tehnološkog procesa

b) Razrada tehnološkog postupka popravka propisuje detaljnu strukturu, aktivnosti i sredstva potrebnih za popravak. Proces zahtijeva da se utvrdi koja je ključna operacija o kojoj ovisi kvaliteta realizacije. Kada je riječ o sanacijama vezanim za reparaturu, u većini slučajeva ključna je operacija zavarivanja. Sadržaj tehnološkog postupka treba definirati sljedeće podatke:

- kako i kojim pomagalicama manipulirati radnim komadom
- pozicioniranje radnog komada u optimalan položaj kod pripreme, obrade i zavarivanja
- analiza osnovnih materijala
- odabir optimalnog postupka zavarivanja
- odabir odgovarajuće opreme za zavarivanje
- odabir dodatnih materijala za zavarivanje
- potrebni izvori energije
- definiranje parametara za zavarivanje
- odabir zavarivača s mogućnošću zamjene i odmora kod dugotrajnih poslova
- odabir bravara i pomoćne radne snage
- uklanjanje zaostalih naprezanja
- definiranje završnih ispitivanja
- osiguravanje udjela nadzornih tijela i priprema potrebne dokumentacije
- definiranje završnih strojnih obrada
- definiranje postupka završne montaže
- oblik i sadržaj primopredajne dokumentacije
- oblik i način praćenja saniranih dijelova tijekom rada i daljnje uporabe

Kod postupaka reparature važno je pratiti tijek događaja i sve zabilježiti. Stručnjaci koji vode cijeli postupak moraju dobro poznavati problem te se mora odabrati odgovarajuća tehnologija. Ako dođe do nepoštivanja tehnologije tj. tehničke nediscipline, dolazi do pojave štete koje može uzrokovati razne sporove s naručiteljem radova.[5]

2.5.1 Namjena i podjela tehnoloških postupaka u reparaturi

U ovom radu osnovni postupak reparature je zavarivanje ali i njemu srodni postupci. Time se ne želi umanjiti značaj ostalih tehnologija bez čije pravilne primjene nije moguće ostvariti optimalne rezultate. Uz uporabu odgovarajućih tehnoloških postupaka koji se koriste pri sanaciji i reparaturi moguće je, na temelju iskustava iz prakse razvrstati ih prema namjeni na:

- postupci ispitivanja i snimanja raznih stanja materijala;
- postupci demontaže i manipulacije;
- priprema zavarenih spojeva;
- tehnološki postupak zavarivanja, navarivanja, nataljivanja, naštrcavanja, lemljenja;
- toplinska obrada;
- završna obrada;
- postupci završne strojne obrade površina i dimenzija;
- postupci balansiranja;
- postupci završne kontrole i ispitivanja;
- postupci montaže i puštanja u rad.[6]

3. POSTUPCI ZAVARIVANJA KOJI SE KORISTE U REPARATURNOM ZAVARIVANJU

Postupci koji se koriste u reperaturama mogu se svrstati u četiri grupe :

1. postupci u pripremi
2. postupci zavarivanja i navarivanja
3. postupci naštrcavanja
4. prateće tehnike

Postupci u pripremi obuhvaćaju tehnologije toplinskog rezanja i žlijebljenja te mehaničku, ručnu i strojnu obradu.

Postupci zavarivanja koji se najviše koriste su redom :

- REL zavarivanje i navarivanje;
- TIG zavarivanje i navarivanje;
- MIG/MAG zavarivanje i navarivanje;
- zavarivanje i navarivanje plinskim plamenom.

Iako rjeđe koriste se i postupci EPP zavarivanja i navarivanja, plazma zavarivanje i navarivanje i lasersko zavarivanje.

Dosta se često u reperaturama koriste tehnologije lemljenja i tvrdog lemljenja. Toplinska obrada je također prateća tehnologija postupaka zavarivanja i navarivanja. Kontrola je sastavni dio svih navedenih postupaka. [7]

U daljnjem tekstu ukratko će biti opisani neki od najzastupljenijih postupaka reparaturnog zavarivanja.

3.1 REL zavarivanje i navarivanje

Ručno elektrolučno zavarivanje (REL) postupak je zavarivanja taljenjem, oznaka postupka je (111). Toplinska energija dobiva se iz električnog luka u kojem se električna energija pretvara u toplinsku i tali dodatni materijal i osnovni materijal. Postupak ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženim elektrodama jedan je od najzastupljenijih postupaka. Izvori struje su transformatori, ispravljači i generatori (rotacijski izvori). Izvori struje za REL zavarivanje mogu biti istosmjerni i izmjenični, s tim da kod istosmjernog izvora elektroda može biti spojena na (+) i na (-) pol, što ovisi od same elektrode. Obložena elektroda sastavljena je od

metalne jezgre i nemetalne obloge. Metalna žica ili šipka izrađena je iz materijala prema namjeni. Na metalnu jezgru nanese se obloga prešanjem ili umakanjem. Obloga elektrode u procesu zavarivanja vrši tri složene funkcije: električnu, fizikalnu i metaluršku[8].

Glavna prednost ovog postupka je što se mogu zavarivati gotovo svi materijali, oprema je jeftina, prilagodljiv je u svim položajima zavarivanja i rukovanje je jednostavno. Nedostatak postupka je slabija produktivnost uz znatniji otpad obloge elektrode, iskoristivost je oko 60%, stvaraju se znatne količine plinova. Vrsta električne struje i polaritet bira se prema vrsti elektroda. Jakost struje zavarivanja mora biti definirana i mora se pažljivo odabrati. Prejaka električna struja daje loš izgled zavara, širok je i narebren, pojavljuje se poroznost, sitni uključci te grubozrnata struktura materijala zavara i osnovnog materijala u ZUT-u. Premala jakost struje zavarivanja uzrokuje preslabu povezanost osnovnog i dodatnog materijala. Gore navedene činjenice mogu biti glavni uzrok havarije strojnog dijela. Ispravno odabrana jakost struje kao i drugi parametri zavarivanja daju lijep izgled površine i ostvaruju se dobra mehanička svojstva. Jakost struje bira se prema promjeru elektrode, a ona iznosi 30-40 A po mm elektrode. Kod zavarivanja visokolegiranih čelika i naročito navarivanja zahtijeva se manja jakost struje zavarivanja. Važan parametar kod REL zavarivanja je dužina električnog luka. Kod zavarivanja elektrodom s kiselom oblogom duljina električnog luka iznosi otprilike promjeru elektrode, a kod bazičnih elektroda ona je nešto manja. Brzina zavarivanja ovisi o obliku i dimenzijama spoja, vrsti materijala, položaju zavarivanja i vrsti elektrode. Veća ili manja brzina zavarivanja bitno utječe na kvalitetu spoja. Kod sitnozrnatih, niskolegiranih i visokolegiranih (CrNi) su veće brzine radi manjeg unosa topline i manje penetracije. Njihanje vrha elektrode regulira širinu zavara, ne smije biti preširoko. Šire njihanje ima isti efekt kao i veća brzina.

Važno je napomenuti tehniku uspostavljanja električnog luka, to su mjesta potencijalnih pogrešaka u zavaru. Osobito treba paziti kod uspostavljanja električnog luka bazičnom elektrodom, gdje se luk uspostavlja neposredno ispred zavara te se vraća unazad i još jednom pretali početak zavarivanja. Obložene elektrode dijele se prema vrsti obloge na: kisele, kiselo rutilne, rutilno – bazične, bazične, oksidne, rutilne i celulozne. [1]

3.1.1 Dodatni materijali za REL zavarivanje

Dodatni materijali za REL zavarivanje su elektrode, mogu se podijeliti u nekoliko skupina prema literaturi [16] :


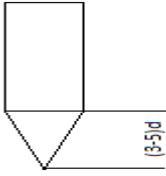




- elektrode za zavarivanje nelegiranih čelika;
- elektrode za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika;
- elektrode za zavarivanje čelika postojenih pri povišenim temperaturama;
- elektrode za zavarivanje visokolegiranih čelika;
- elektrode za zavarivanje sivog lijeva
- elektrode za zavarivanje obojenih metala
- elektrode za žljebljenje

3.2 TIG zavarivanje

TIG zavarivanje je elektrolučni postupak zavarivanja netaljivom Volframovom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina ili mješavine inertnog plina. Ručni TIG postupak odlikuje vrlo mali depozit, svega 0,4 – 0,7 kg/h. Tako mali depozit ima za posljedicu vrlo dobru kvalitetu zavarenog spoja. Oznaka TIG postupka je (141), a može se podijeliti u dvije skupine: s dodatnim materijalom i to na ručno i automatizirano (vruće i hladno), te na TIG zavarivanje bez dodatnog materijala. Zavarivati se mogu raznovrsni materijali, neki od najviše prisutnih su čelici, nehrđajući čelici (Cr-Ni), aluminij, magnezij, bakar. Vrsta materijala određuje vrstu polariteta (Tablica 1) kao i oblikovanje elektrode.

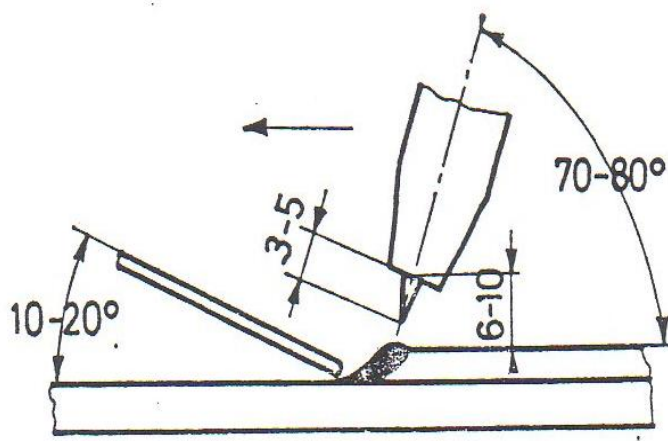
Vrh elektrode prije zavarivanja mora biti brušenjem pripremljen na pravilan oblik koji ovisi o vrsti struje, što je i prikazano u tablici 1. Kod izmjenične struje dolazi do „zaobljenja“ elektrode , ono je posljedica čišćenja oksida na kada je elektroda spojena na + polu .

Tablica 1. Izgled vrha elektrode s obzirom na osnovni materijal i vrstu polariteta [9]

Vrsta materijala	Vrsta strujnog polariteta	Oblikovanje elektrode
Cr- Ni čelici	DC 	
Aluminij (Al) Magnezij (Mg)	AC 	
Bakar (Cu)	DC 	

Električni luk u TIG zavarivanju je trajno i snažno električno pražnjenje u inertnom plinu, na prostoru između vrha volframove elektrode i mjesta zavarivanja u strujnom krugu. Uspostava luka vrši se s i bez dodira vrha volframove elektrode s radnim komadom. Uglavnom se koristi tehnika bez dodira highfrequency TIG (HF TIG) ili uspostavljanje električnog luka pomoću visoko frekventne struje.

Tehnika rada kod TIG zavarivanja slična je onoj kao kod plinskog zavarivanja. Slika 4. prikazuje položaj pištolja i žice kod ručnog TIG zavarivanja. Tehnika rada se može opisati na sljedeći način: najprije se uspostavi električni luk i njime se zagrijava osnovni metal sve do stvaranja taline i u tom se trenutku pištolj povuče unazad ali ne previše jer cijelo vrijeme talina mora biti zaštićena plinom. Istodobno s povlačenjem pištolja unazad do taline se dovodi vrh žice, potom se žica povlači malo unazad izvan taline i električnog luka ali ne iz zone djelovanja plina te tako istodobno s povlačenjem žice kreće se s pištoljem naprijed u daljnje zagrijavanje i protaljivanje.[10]



Slika 4. Položaj pištolja i žice kod ručnog TIG zavarivanja [8]

Električni luk se najpovoljnije prekida postupnim gašenjem. Uređaji su tako projektirani da se luk postupno smanjuje-gasi. Početak zavora valja uvijek promatrati kao mjesto gdje je moguća greška naljepljivanja, a završetak kao mjesto gdje su moguće sitne pukotine. Orijentacijski parametri zavarivanja dani su u tablici 2.

Tablica 2. Orijentacijski podaci za TIG zavarivanje nehrđajućeg čelika [1]

Debljina lima mm	Oblik spoja	W-elektroda ϕ mm	Dodatni materijal-žica ϕ mm	Jakost struje A	Argon l/min
1,5	I-spoj Preklopni spoj Kutni spoj	1,6	1,6	40-60 50-70 50-70	7
3,0	I-spoj Preklopni spoj Kutni spoj	2,4	2,5	65-85 90-110 90-110	7
5,0	I-spoj Preklopni spoj Kutni spoj	3,2	3,0	100-125 125-150 125-150	10
6,0	I-spoj Preklopni spoj Kutni spoj	3,2	3,0	135-160 160-180 160-180	10

3.2.1 Dodatni materijali za TIG zavarivanje

Dodatni materijali za TIG zavarivanje mogu se podijeliti na [17] :

- Žice za zavarivanje niskolegiranih čelika – pobakrena, niskolegirana žica za zavarivanje kotlovskog čelika, cijevi i posuda pod tlakom. Zavareni spojevi su otporni na puzanje do radne temperature od 500 °C. Kao zaštitni plin koristi se čisti argon.

- Žice za zavarivanje visokolegiranih čelika – žica sadrži mali udio ugljika, koristi se za zavarivanje visokolegiranih CrNi čelika. Pogodna je za zavarivanje opreme u kemijskoj, farmaceutskoj i industriji celuloze. Kao zaštitni plin preporučuje argon s 1-3% O₂.
- Žice za zavarivanje aluminija – žice su legirane silicijem, spojevi su veoma otporni na koroziju i vrlo su sjajni ali nisu predvidivi za naknadnu toplinsku obradu. Kao zaštitni plin koristi se čisti argon.

3.3 MIG/MAG zavarivanje i navarivanje

Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u atmosferi zaštitnog plina ili MIG/MAG je postupak kod kojeg se metalna elektroda (žica) i osnovni materijal tale toplinom električnog luka. MIG je postupak gdje se primjenjuje inertni zaštitni plin argon ili helij, oznaka postupka je (131). Tim postupkom se zavaruju visokolegirani čelici, aluminij i Al-legure, bakar i Cu-legure, titan i Ti-legure. Dodatni materijal odgovara osnovnom metalu. MAG je postupak gdje se primjenjuje zaštitni plin ugljični dioksid ili mješavine pretežito s ugljičnim dioksidom, oznaka postupka je (135). Tim se postupkom zavaruju nelegirani, niskolegirani čelici i CrNi čelici.

Dodatni materijali su žice koje odgovaraju kvaliteti čelika. MIG/MAG zavarivanje često se primjenjuje u reparaturama. U ovaj postupak se može svrstati i praškom punjena žica sa i bez zaštitnog plina. Postupci su visoko produktivni, mogu biti automatizirani, poluautomatizirani i robotizirani. U reparaturama se koristi najviše poluautomatski postupak [7].

Metode prijenosa dodatnog materijala kod MAG zavarivanja su : kratkim spojevima, prijelazni luk i štrcajući luk. Područje napona luka i jakosti električne struje za kratki spoj je 13-21 V i 50-170 A, za prijelazni luk 22-25 V i 170-235 A, a za štrcajući luk 25-40 V i 200-600 A [1] . Osim tih oblika prijenosa metala u električnom luku koristi se prijenos metala upravljanim djelovanjem impulsnih električnih struja, takav se luk naziva impulsni luk. Parametri zavarivanja koji utječu na kvalitetu zavarenog spoja su jakost struje, napon, induktivitet, brzina zavarivanja i protok zaštitnog plina, a kod impulsnog zavarivanja to su još: osnovna , impulsna te srednja struja zavarivanja kao trajanje i učestalost impulsa.

Jakost struje zavarivanja bira se prema vrsti i debljini materijala, obliku spoja, položaju zavarivanja i promjeru žice. Jakost struje regulira se brzinom dodavanja žice preko mehanizma za dovod žice.

MIG/MAG postupak je vrlo produktivan i ekonomičan, te zbog svoje univerzalnosti čest je odabir kod reparature. Postupak omogućava kratku i kvalitetnu obuku zavarivača. Može se koristiti za reparature svih konstrukcijskih čelika, visokolegiranih čelika i drugih vrsta čelika, aluminijskih legura i drugih obojenih metala. Ako se rad odvija na otvorenom, prednost ima postupak praškom punjene žice koji omogućuje još veću produktivnost i ekonomičnost u radu. Postupak praškom punjene žice proširuje područje primjene na teže zavarljive i kemijski složenije metale.[9]

3.3.1 Dodatni materijali za MIG/MAG zavarivanje

Dodatni materijali za MIG/MAG zavarivanje mogu se podijeliti na [17] :

- Žice za MIG/MAG zavarivanje konstrukcijskih čelika – žica je klasična pobakrena, koja se koristi za zavarivanje nelegiranih konstrukcijskih čelika, brodskog i kotlovskog lima u zaštiti CO₂ ili mješavine Ar/ CO₂. Ovdje se može smjestiti žica koja nije pobakrena, praškom punjena žica rutilnog tipa i punjena žica na bazi feritnog praha.
- Žice za MIG zavarivanje niskolegiranih čelika – je pobakrena, niskolegirana žica za zavarivanje kotlovskog čelika, cijevi i posuda pod tlakom. Zavareni spojevi su otporni na puzanje do radne temperature od 500 °C. Kao zaštitni plin koristi se argon.
- Žice za MIG zavarivanje visokolegiranih čelika - žica sadrži mali udio ugljika, koristi se za zavarivanje visokolegiranih CrNi čelika. Pogodna je za zavarivanje opreme u kemijskoj, farmaceutskoj i industriji celuloze. Kao zaštitni plin preporučuje mješavina argona i 2% O₂.
- Žice za MIG zavarivanje aluminijske – žice su legirane silicijem, spojevi su veoma otporni na koroziju i vrlo su sjajni ali nisu predvidivi za naknadnu toplinsku obradu. Kao zaštitni plin koristi se čisti argon.

3.4 Zavarivanje plinskim plamenom

Zavarivanje plinskim plamenom je relativno jednostavan postupak i ne traži dugotrajnu obuku kao što je slučaj kod TIG zavarivanja. Najveća primjena plinskog postupka je na terenima gdje nema električne energije. U današnje vrijeme postupak je zapostavljen sve većim razvojem MIG/MAG, REL i TIG postupka koji su daleko produktivniji. Ali postupak je učinkovit i primjenjiv u nekim drugim sanacijama kao što su lemljenje, grijanje, rezanje, žlijebljenje i ravnanje. Jedan od nedostataka je taj što je postupak relativno spor a prekomjerni unos topline u zavareni spoj uzrokuje deformacije nakon zavarivanja [11].

Osnovna oprema za plinsko zavarivanje su plamenici, boce s kisikom i acetilenom, manometri, gumena crijeva i osigurači povratnoga plamena. Koriste se dvije tehnike rada : lijeva i desna. Tehnika zavarivanja u lijevo koristi se kod tankih materijala, a tehnika zavarivanja u desno kod debljih materijala. Prednost zavarivanja plinskim plamenom je taj što se mogu zavariti praktički svi metali.

Potrošnja kisika kod plinskog zavarivanja je u prosjeku 10-20% veća od potrošnje acetilena. Izbor veličine i jakosti plamenika provodi se prema vrsti i debljini materijalakoji se zavaruje, uglavnom iskustveno. Prema potrošnji acetilena na milimetar debljine materijala, orijentacijski podaci za izbor plamenika su:

- za nelegirane čelike 100-120 l/h po mm debljine materijala;
- za CrNi čelike i sivi lijev 75-100 l/h po mm debljine materijala;
- za Al i Al legure 100-150 l/h po mm debljine materijala;
- za Cu Cu legure 150-200 l/h po mm debljine materijala;

Dodatni materijali koji se primjenjuju su žice i šipke, a biraju se na osnovu debljine i vrste materijala koje se zavaruje. Prilikom zavarivanja čelika promjer žice orijentacijski iznosi pola debljine materijala. Kod zavarivanja bakra i aluminijske žice su veće nego kod zavarivanja čelika. Kod zavarivanja sivog lijeva promjeri šipki još su veći. [1]

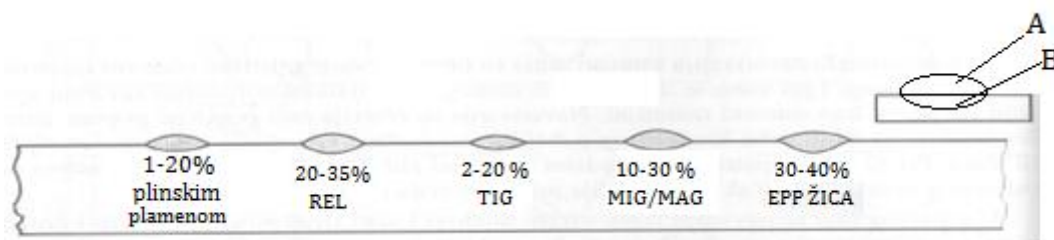
3.5 Navarivanje

Navarivanje je postupak nanošenja dodatnog materijala na osnovni materijal. U reparaturama se najviše koriste kod istrošenosti površine strojnog dijela ili alata. Navarivanje se također koristi kod izrade novog proizvoda radi poboljšanja njegovih svojstava bilo u antikorozivne svrhe ili svrhe poboljšanja mehaničkih svojstava. U reparaturama se navaruju razni strojni dijelovi i alati izrađeni od čelika ali i drugih metala u svrhu popravka površina, poboljšanja otpornosti površina trošenju, izjedanju, udarcima, pritiscima i koroziji. Kod navarivanja pojavljuje se nekoliko problema:

- utjecaj miješanja osnovnog i dodatnog materijala u strukturi navara
- utjecaj različitog koeficijenta istezanja materijala kod navarivanja raznorodnim materijalima
- izbor dodatnog materijala u odnosu na zahtjeve navarene površine
- izbor osnovnih materijala koji se mogu navarivati

Kvaliteta zavarenog spoja pogoršava se pojavom miješanja osnovnog i dodatnog materijala. Na slici 5. prikazan je postotak miješanja osnovnog i dodatnog materijala kod različitih postupaka zavarivanja. Postotak miješanja se izračunava izrazom:

$$\frac{A}{A+B} \cdot 100 = \text{postotak miješanja} .$$



Slika 5. Prikaz postotka miješanja osnovnog i dodatnog materijala kod različitih postupaka navarivanja [1]

3.6 Naštrcavanje

Naštrcavanje je postupak nanošenja dodatnog materijala na površinu osnovnog materijala. Kod naštrcavanja osnovni materijal se ne tali kao u navarivanju nego se zagrijava do određene temperature. Postupak se koristi za zaštitu od korozije ili poboljšanja svojstava površine materijala kao: otpornost na trošenje, otpornost na kiseline, otpornost na visoke temperature. Posebno se koristi u reparaturama oštećenih površina. Prednost naštrcavanja u odnosu na navarivanje su nanošenje tankih slojeva, manje su deformacije radnog komada, nema

miješanja osnovnog s dodatnim materijalom, mogu se naštrcavati materijali koji inače nisu zavarljivi. Najčešće korišteni postupci naštrcavanja su sljedeći:

- naštrcavanje plinskim plamenom – žicom;
- naštrcavanje električnim lukom – žicom;
- naštrcavanje plinskim plamenom – praškom;
- naštrcavanje plazmom – praškom.[1]

4. PRIMJERI PRIMJENE REPARATURNOG ZAVARIVANJA U PROIZVODNJI

4.1 Primjer reparature kućišta ležaja

U ovom primjeru se razmatraju pojave istrošenja i oštećenja dosjeda u kućištima ležaja te neke od mogućnosti sanacija tako oštećenih kućišta.

Preko kotrljajućih ležajeva koji su navučeni na dosjede ostvaruje se funkcionalna veza u strojevima, vozilima ili nekim postrojenjima za prijenos sile ili gibanja. Sva opterećenja i udari prenose se preko vanjskog prstena ležaja na dosjedno mjesto. Ležajevi imaju svoj vijek trajanja i oni su zamjenjivi, ako i dođe do oštećenja ležaja to neće stvoriti veliki problem jer cijena ležaja je relativno niska. Za razliku od ležajeva, kućišta u koja se ugrađuju ti ležajevi nisu lako i jednostavno zamjenjiva.

Na slici 6. prikazana je skupina kućišta osovinskih ležaja kojima su tijekom eksploatacije oštećeni provrti dosjeda.



Slika 6. Kućišta osovinskih ležaja s oštećenim dosjedom [12]

U prikazanom kućištu nalaze se dva ležaja, s nazivnom mjerom dosjeda ϕ 310G7, u dubini od 150mm. Tijekom rada dosjedi su istrošeni i povećani od 0,1 do 0,5 mm u promjeru, gdje su ta

kućišta izgubila prijeko potrebne značajke te su izdvojena kao neupotrebljiva. Nabavna cijena takvih kućišta je stavka zbog koje se treba ozbiljno razmotriti mogućnost popravka kućišta.

Analizom strukture i kemijskog sastava uzoraka osnovnog materijala kućišta ležaja pokazalo se da se radi o nodularnom lijevu. Očito je proizvođač odabrao nodularni lijev zbog njegove relativno visoke vlačne čvrstoće kao i dobre žilavosti.

Priprema kućišta za sanaciju sastojala se od skidanja sloja oštećene i istrošene dosjedne površine tokarenjem u dubinu oko 1,5 mm. Nakon tokarenja kućišta su temeljito očišćena i odmašćena i kao takva spremna za popravak. Popravak je obavljen MAG postupkom navarivanja, gdje je korištena praškom punjena žica 1.2 mm. Praškom punjena žica je na bazi nikla.

Za navarivanje korišten je odgovarajući MIG/MAG uređaj s mikroprocesorskim sinergijskim upravljanjem podešenim za zavarivanje dodatnim materijalom, praškom punjenom žicom na bazi nikla. Postupak navarivanja se provodi uz prethodno predgrijavanje kućišta, a brzina zavarivanja je određena rotacijom kućišta koje je upravljano pomoću pozicionera. Za navarivanje korištena je mješavina plina Ar/CO₂.

Tijekom provjere i usvajanja postupka sanacije kućišta ležaja provedena su opsežna ispitivanja i provjere na više uzoraka kućišta. Nakon svih provedenih ispitivanja i verifikacije, postupak sanacije dosjeda kućišta uveden je u redovnu proceduru. Nakon predviđenog roka eksploatacije i demontaže ležaja radi njegove zamjene, kontrola pokazuje stabilnost dimenzija provrta dosjeda na kućištu. Slika 7. prikazuje detalj kućišta ležaja s obrađenom i brušenom dosjednom površinom na kojoj je proveden postupak navarivanja. [12]



Slika 7. Kućište ležaja nakon strojne obrade i brušenja [12]

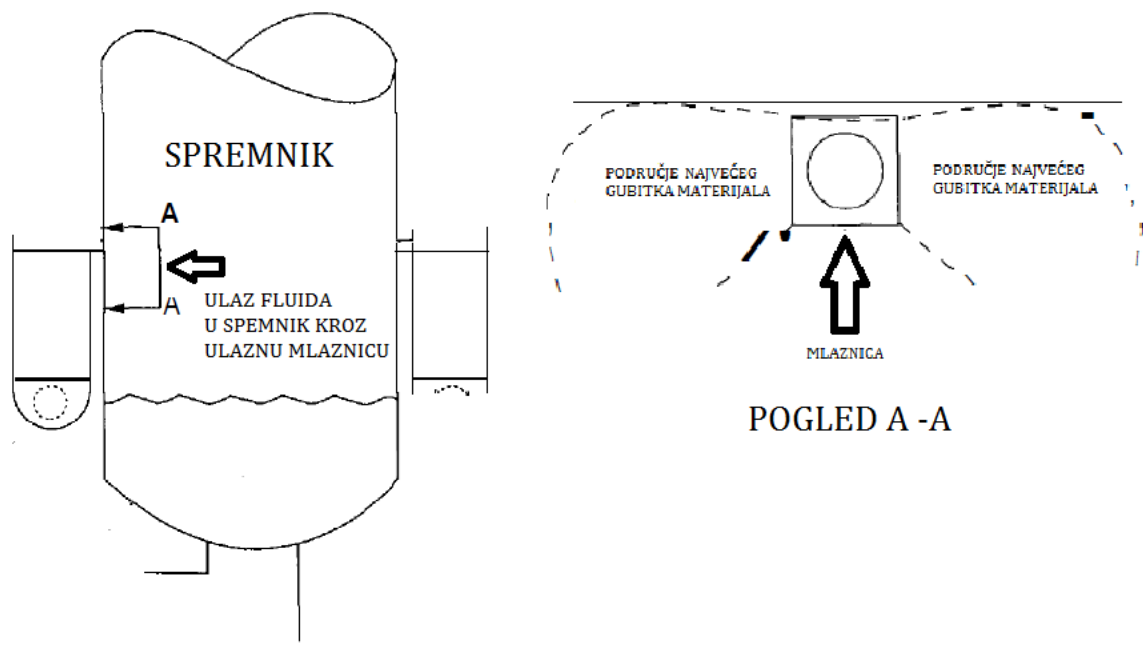
4.2 Reparativno zavarivanje posuda pod tlakom

Posude pod tlakom, spremnici korišteni u petrokemijskoj industriji izloženi su agresivnom mediju pri kojem može doći do pojave lokalne korozije ali i do pojave erozije. Postrojenje se sastoji od dva tornja, svaki toranj ima po dva izmjenjivača. Posude su pretrpjele znatan gubitak materijala uslijed povrata fluida iz izmjenjivača.

Posude su visoke 24 m i promjera 3,5 m. Napravljene su iz ploče 10 mm debljine, materijala ASME SA516-60. Popravak se izvodi u samom postrojenju. S obzirom da oko mlaznica dolazi do trošenja materijala, potreba za popravkom je opravdana.

Prije samog popravka izvršeno je ultrazvučno ispitivanje oštećenih dijelova posude, a nakon toga obavljena je i vizualna kontrola. Ultrazvučno ispitivanje pokazalo je uzorak trošenja materijala u obliku riječne delte.

Korijen zavora prouzročio je turbulencije u fluidu koje su potaknule eroziju. Ispitivanjem su otkrivena znatna oštećenja uz sam zavar, gdje je osnovni materijal vidno potrošen. Na samom ulazu mlaznica iz izmjenjivača osnovni materijal je potrošen u visinu od 1,2 do 2,4 m, gledano odozdo prema mlaznici (slika 8. POGLED A-A). Na slici 8. prikazan je raspon potrošnje materijala na izlazu iz mlaznica.



Slika 8. Raspon gubitka materijala na izlazu iz mlaznica [13]

Razvijeno je nekoliko opcija zamjene osnovnog metala, a odabrana je opcija zamjene oštećenog dijela pločom od nehrđajućeg čelika. Ta opcija je odabrana iz razloga što je najbrže

izvediva, dok istovremeno osigurava siguran rad spremnika. Ploča je debljine 12mm , materijal je ASME SA5 16-70.

Zavarivanje je izvedeno ručnim REL postupkom. Dodatni materijal je bazična elektroda čija je metalna jezgra od materijala E309L. Ovaj tip elektrode je odabran iz razloga što se dobiva malo miješanje osnovnog i dodatnog materijala.

Nakon zavarivanja provedena je toplinska obrada s ciljem minimiziranja mogućnosti pojave loma tj. redukcije zaostalih naprezanja. Poslije toplinske obrade izvršen je hidrostatski test na kojem nije došlo do pojave pukotina. [13]

4.3 Preporučena procedura za zavarivanje bloka motora

Kućište bloka motora izrađeno je od sivog lijeva. Zavarivanje se izvodi ručnim REL postupkom. Reparaturno zavarivanje provodi se bez predgrijavanja. Preporučena je tehnika zavarivanja kratkim zavarima, po mogućnosti ravnih zavara, uz prekidanje i otkivanje još toplog zavara. Na slici 9. prikazano je zavarivanje bloka motora ručnim REL postupkom.



Slika 9. Zavarivanje bloka motora [14]

Na dalje, potrebno je što više moguće smanjiti unos topline u osnovni materijal, po mogućnosti uz upotrebu komprimiranog zraka. Prema tome poželjna je primjena dodatnog materijala što manjeg promjera uz što manju struju zavarivanja. Preporuča se zavarivanje od sredine prema rubu i od tanjeg materijala prema debljem. Također je poželjno primijeniti silaznu tehniku zavarivanja.

Dodatni materijal za zavarivanje je obložena elektroda od čistog nikla. Prema literaturi [15] , preporuča se elektroda na bazi nikla, kemijski sastav elektrode naveden je u tablici 3.

Tablica 3. Kemijski sastav elektrode za zavarivanje bloka motora [15]

Kemijski sastav %				
C	Si	Mn	Ni	Fe
0,9	0,7	0,6	92	3,5

5. EKSPERIMENTALNI DIO

5.1 Uvod u eksperimentalni dio

Za potrebe eksperimentalnog dijela, obavljen je posjet tvornici TŽV Gredelj. TŽV Gredelj posjeduje već 119 godina dugu tradiciju u projektiranju i proizvodnji tračničkih vozila. Tvornica se bavi projektiranjem novih vozila (lokomotiva, tramvaja, metalnih konstrukcija, postolja vagona, okretnih postolja itd.) ali i remontom i održavanjem već postojeće infrastrukture i vozila. U ovom radu razmatraju se neki elementi na okretnim postoljima teretnih vagona. Tip okretnog postolja je Y25 (BOGIE Y25). Okretno postolje Y25 ugrađuje se na razne tipove vagona od onih za prijevoz žitarica, kamena, ugljena, koksa do raznih cisterni za gorivo i kemikalije.

Svaka konstrukcija u svojoj eksploataciji trpi određene deformacije, tako i na ovo postolje djeluju velike sile tereta koje konstrukcija trpi i svaka nepravilnost može dovesti do havarije i puknuća nekih od vitalnih dijelova vagona na tračnicama.

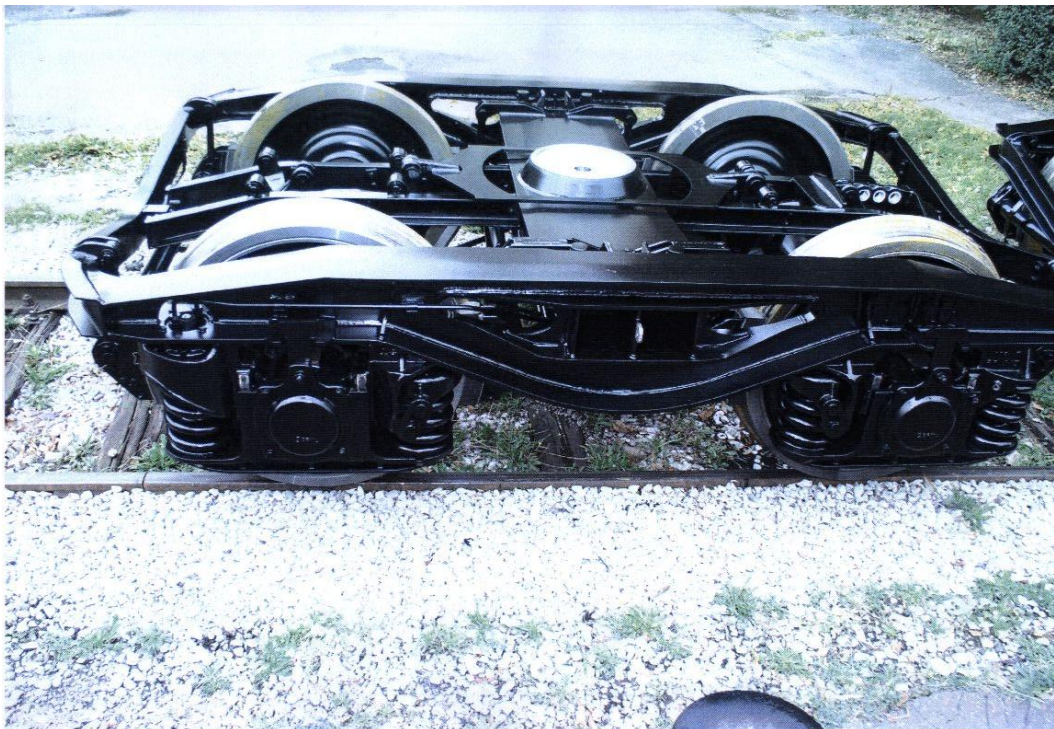
U vidu eksperimentalnog dijela obavljena je vizualna kontrola okretnog postolja. Cilj pregleda i kontrole je utvrđivanje habanja, pukotina i deformacija na dotičnoj konstrukciji. Ono na što se obraća najveća pozornost je stanje zavara na bočnim i čeonim manganskim pločicama. Prilikom pregleda utvrđena su puknuća zavara na manganskim klizačima.

U prvom dijelu eksperimentalnog rada prikazan je kratak opis okretnog postolja, tehničke i konstrukcijske karakteristike i prikazani će biti podaci koje je potrebno pratiti prilikom redovite kontrole okretnog postolja u kolodvorima i na redovnim remontima. U drugom dijelu eksperimentalnog rada opisana će biti tehnologija kojom se saniraju gore navedena i utvrđena oštećenja, parametri zavarivanja, dodatni materijal, potrebna oprema, metode kontrole i ekonomska analiza.

5.2 Okretno postolje Y25 – BOGIE Y25

5.2.1 Tehničke karakteristike

Okretno postolje Y25 je sposobno kretati se brzinama do 100km/h. Postolje je konstruirano za širinu kolosjeka 1435mm. Potreban razmak osovina je 1800mm, promjer kotača je 920mm, promjer rukavca osovine je 130mm, dužina okretnog postolja je 3250mm, a širina 2341mm. Maximalno opterećenje po osovini pri brzini od 100 km/h je 22,5 t . Težina okretnog postolja je 4,7 t \pm 5% . Okretno postolje Y25 je prikazano na slici 10. [18]



Slika 10. Okretno postolje Y25 (BOGIE Y25) [19]

5.2.2 Kriteriji pri pregledu okretnog postolja Y25

Pri pregledu okretnog postolja treba obratiti pažnju na sljedeće [20] :

a) okvir ne smije imati:

- deformacije i pukotine;
- labave i otpuštene spojeve;
- svježije tragove dodirivanja ili zadiranja gibnja.

b) vodilice mazalica ne smiju imati :

- deformaciju, lom ili pukotinu;
- prekomjerno istršenje klizača;
- labavost ili nedostatak klizača.

c) rama (kolijevka) nesmije imati:

- deformacije ili pukotine.

d) vješalice i nosači kolijevke ili gibnjeva ne smiju biti prekinute niti imati pukotine i istrošenja veća od 3mm

e) kočno polužje okretnog postolja s držačima kočnih umetaka i kočni umeci moraju u svemu odgovarati odredbama u donesenim pravilnicima (uputstvima)

f) pridrške, stremeni i dijelovi za osiguranje kolijevke i nosača ogibljenja od poda na kolosijek, u slučaju trganja elemenata za vješanje ne smiju nedostajati ili biti prekinuti

g) uzdužni nosači postolja vagona s okretnim postoljima ne smiju biti iskrivljeni u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini preko 10mm.

U tablici 4. navedene su neke od neispravnosti koje je bitno promatrati tijekom redovnog pregleda.

Tablica 4. Podaci i odredbe koje je potrebno pratiti pri redovnom pregledu postolja [20]

Dio vagona	Neispravnost	Postupak
Okretno postolje	Tipovi okretnih postolja različiti	Isključenje
Okvir okretnog postolja	Polomljen ili ima pukotinu ili vidljivo deformiran	Isključenje
Okretno postolje	Spoj, veza-zavar glavnog poprečnog i glavnog uzdužnog nosača okretnog postolja pukao ili napukao	Isključenje
Okretno postolje	Spoj, veza-zavar čeonog nosača s ostalim dijelovima pukao ili napukao	Isključenje
Okretno postolje	Dijelovi okretnog postolja taru-dodiruju osovinski sklop	Isključenje
Okretno postolje	Zavari okretnog postolja pukli, napukli, ishaban ili savijeni	Isključenje
Bočni klizač okretnog postolja	Polomljen: <ul style="list-style-type: none"> - bez nedostataka dijelova - s nedostatkom dijelova - izlomljena opruga 	Zadržati u prometu do krajnje stanice Isključenje Isključenje
Bočni klizač	Bočni fiksni klizač ishaban preko mjere, pukao, napukao, nedostaje	Isključenje
Bočni klizač	Vagon naliježe na oba fiksna bočna klizača istog okretnog postolja	Isključenje
Bočni klizač	Plastika bočnog ogibljenja klizača pukla ili nedostaje	Isključenje
Bočni klizač	Opruga bočnog ogibljenog klizača pukla ili nedostaje	Isključenje
Okretno postolje	Iskliznuće iz kolosijeka, nalet ili oštećenje kola u izvanrednom događaju	Isključenje
Okretno postolje	Ostale neispravnosti	Prema procjeni pregleda

5.3 Opis konstrukcije rame okretnog postolja Y25

Rama okretnog postolja je standardne izvedbe po UIC, ORE i TSI normama, projektirana je za teretne vagona za brzine do 100km/h i osovinsko opterećenje 22,5t, ili za brzine do 120 km/h i osovinsko opterećenje od 20t. Rama je izrađena zavarivanjem valjanih limova, profila i čeličnih odljevaka.

Rama okretnog postolja se sastoji od uzdužnih nosača, glavnog poprečnog nosača i čeonog nosača. Svi dijelovi su zavareni i sačinjavaju jednu cjelinu. Materijal čeličnih limova je S355J2+N. Čelični odljevci za vodilice kućišta ležaja zavareni su na ramu i na sebi imaju

privarene klizače od manganskog čelika, oznaka materijala je X12oMn12-N. Taj materijal je je vrlo otporan na abrazijsko trošenje.

Na poprečnom nosaču zavarena je okretna zdjela. Okretna zdjela je opremljena specijalnom oblogom od samopodmazujućeg plastičnog materijala [21].

5.4 Remont i održavanje rame okretnog postolja Y25

Redoviti remont rame okretnog postolja se odvija nakon isteka revizije određenog perioda vagona, nakon iskakanja vagona iz tračnica ili uočenih grešaka u redovnoj kontroli. Vijek trajanja dijelova rame je oko 33 godine, no to se ne odnosi na nasilno oštećenje.

Pri remontu-kontroli okretnih postolja izvršava se:

- čišćenje;
- demontaža;
- pregled-kontrola;
- remont;
- kontrola;
- provjera natpisa na postolju.

Važno je napomenuti da se pri remontu-kontroli potrebno pridržavati svih propisa i uputstva o sigurnosti na radu.

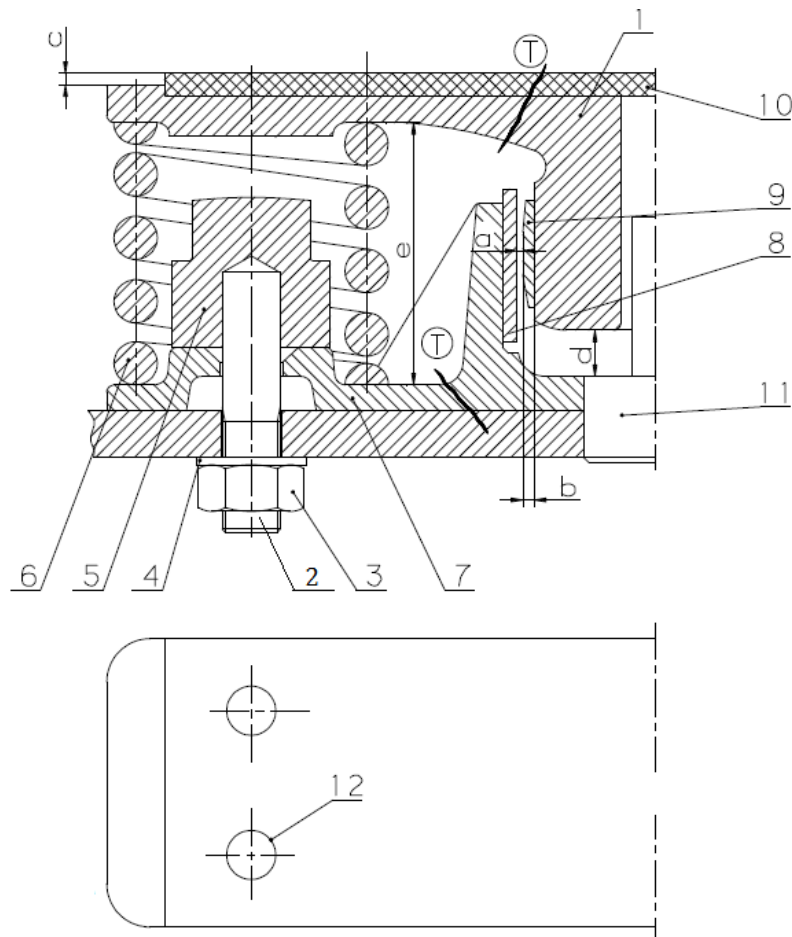
Rama okretnog postolja mora prije same demontaže biti očišćena od grubih nečistoća, a pojedine dijelove rame je potrebno očistiti tako da je moguće utvrditi oštećenja (pukotine), koje je potrebno popraviti. Pojedini dijelovi rame okretnog postolja se čiste u strojevima za čišćenje i odmašćivanje. Za čišćenje se koristi odobreno sredstvo za čišćenje. Ostatke nečistoća, slojeve hrđe i oštećene boje potrebno je mehanički odstraniti.

Demontaža dijelova rame postolja se odvija pomoću alata i opreme koji ispunjavaju uvjete održavanja sigurnosti i kvalitete rada. Demontaža mora biti izvršena tako da ne dolazi do oštećenja korištenih dijelova. Svi radovi obavljaju se u ovlaštenim i certificiranim radionicama[21].

5.5 Glavni dijelovi rame okretnog postolja

5.5.1 Opružna kliznica

Na slici 11. prikazani su glavni dijelovi opružne kliznice.



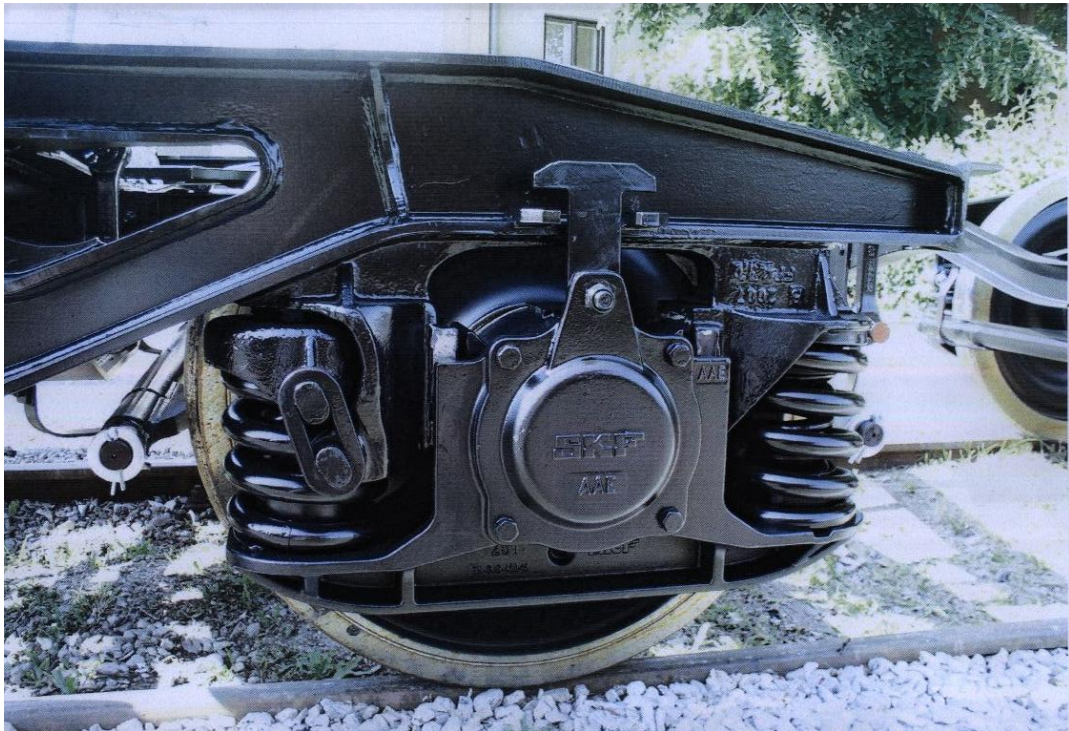
Slika 11. Opružna kliznica [21]

Objašnjenje dijelova opružne kliznice:

- | | |
|---|--|
| 1. Tijelo kliznice – gornje | 9. Manganska ploča gornjeg tijela kliznice |
| 2. Vijak | 10. Klizni umetak |
| 3. Matica M20 5 | 11. Vodicica |
| 4. Podložna pločica A21 | 12. Zakovica 8x8 |
| 5. Graničnik | |
| 6. Opruga kliznice | |
| 7. Tijelo kliznice | |
| 8. Manganska ploča donjeg tijela kliznice | |

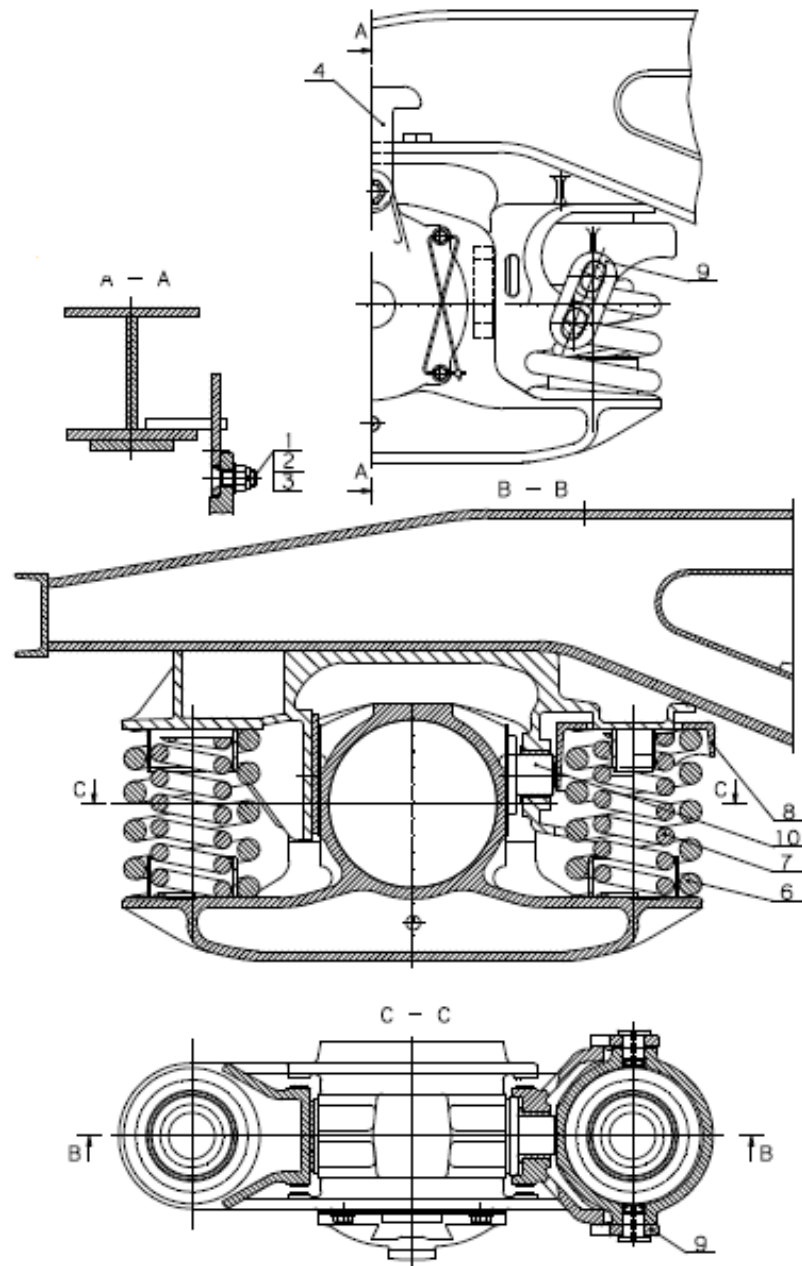
5.5.2 Ogibljenje

Ogibljenje je dio rame koji se sastoji od glavnih dijelova koji se razmatraju u ovom eksperimentalnom radu. To su kliznica i kućište ležaja(Slika 12.)



Slika 12. Kliznica i kućište ležaja osovinskog sloga Y25 [19]

Slika 13. prikazuje kućište ležaja i dijelove koji se trebaju demontirati.



Slika 13. Kućište ležaja sa svojim glavnim dijelovima [21]

Objašnjenje dijelova gibnja sa slike 5. :

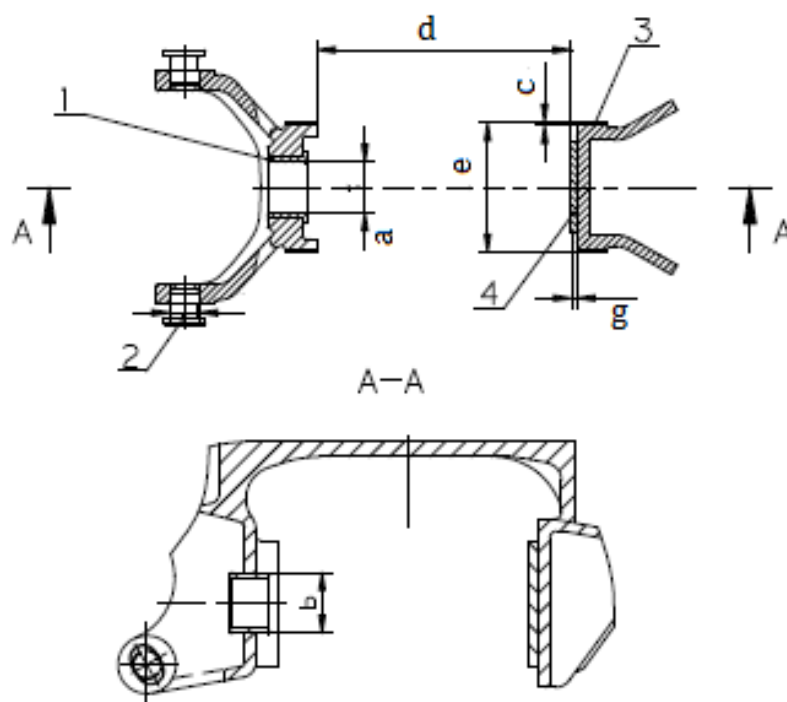
- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1. Rascjepka 4 x 40 | 7. Unutrašnja opruga |
| 2. Matica M 20 | 8. Tanjur opruge |
| 3. Navrtka M 20 x 65 | 9. Vješalica |
| 4. Podloška 21 | 10. Klin amortizera |
| 5. Vješalica osovinskog sklopa | |
| 6. Spojna opruga | |

5.5.3 Kliznica

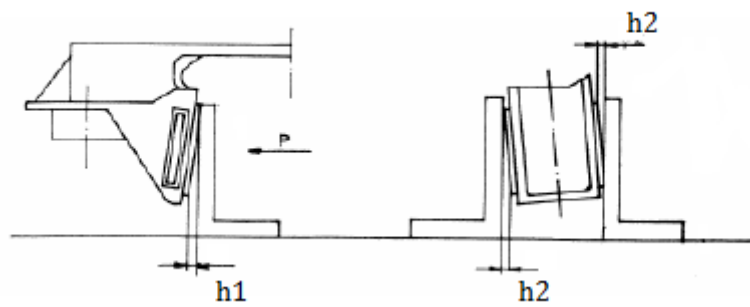
Tablica 5. prikazuje mjere koje se ocjenjuju kod kliznica tj. kliznih ploča. Tablica je napravljena za tumačenje slika 14. i 15.

Tablica 5. Mjerne vrijednosti po crtežu i poslije remonta [21]

Mjera	Oznaka	Mjera po crtežu	Mjera poslije remonta
Čahura	a, b	$\varnothing 55$ $D8^{(+0,146)}$ $+0,1$	$\varnothing 55^{+0,146}$ $+1$
Debljina	c	$3 \pm 0,1$	$3^{+0,1}$ $-1,5$
Udaljenost između bočnih pločica	e	$143 \pm 0,7$	$143^{+0,7}$ $-2,5$
Debljina čeone pločice	g	$7^{+0,2}$ $-0,1$	$7^{+0,2}$ $-1,5$
Udaljenost čeone pločice	d	290 ± 1	$290^{+2,5}$ -1
Prečnik čepova	f	$\varnothing 30^0$ $-0,4$	$\varnothing 30^0$ $-1,5$
Vertikalnost pločice	h_1, h_2	1	2



Slika 14. Dijelovi kliznice s mjerama [21]



Slika 15. Vertikalnost manganskih pločica za trenje [21]

5.6 Utvrđivanja stanja oštećenja

Prilikom redovne kontrole okretnog postolja utvrđena su oštećenja manganskog klizača opružne kliznice (pogledati slika 11. , pozicija 8 i 9).

Slika 16. prikazuje detalj kućišta ležaja na kojem je središnja mangaska ploča (klizač) bila zavarena te je doslovno otkinuta.



Slika 16. Kućište ležaja na kojem nedostaje manganska ploča (klizač)

Slika 17. prikazuje pločicu manganskog klizača na kojoj je došlo do puknuća zavara. Osim puknuća vidljivo je i prekomjerno trošenje manganske pločice.

Da bi pristupili popravku potrebno je znati uzrok zbog kojeg je došlo do otkinuća pločica na slici 16. i puknuća zavara na slici 17.

Prije svega potrebno je prikupiti podatke o radnom komadu :

- naziv oštećenog dijela;
- opis radnog komada, oblik, dimenzije;
- radni vijek radnog komada;
- opis radnog komada i događaja koji je uslijedio puknuću pločica;
- da li je mjesto već prije bilo zavarivano, li na koji drugi način popravljano;
- vrsta i stanje materijala radnog komada

U ovom slučaju utvrđena su oštećenja na zavarima vidljivim na slikama 16. i 17. Uzrok puknuća zavara i otkinuća pločice (klizača) je neadekvatna tehnika rada od strane prijašnjih izvođača radova (to se misli na proizvođača koji nije propisao dobru tehnologiju zavarivanja). No, mogući uzroci su i nepažnja zavarivača, zbog čega je došlo do nedovoljne penetracije zavara u osnovni materijal.



Slika 17. Puknuće zavora na manganskoj pločici (klizaču)

Drugi pak mogući problem je zavarivanje dva raznorodna materijala, ali to opet povlači već rečeno (loše propisana tehnologija zavarivanja).

Nakon što je utvrđeno stanje oštećenja tj. prikupljeni svi gore navedeni podaci pristupa se sanaciji. Definira se tehnologija popravka u pisanom obliku od strane ovlaštene osobe (IWE/EWE inženjera). Popravak se provodi pod nadzorom, a samo zavarivanje obavlja atestirani zavarivač za takvu grupu materijala i vrstu zavarenog spoja.

Pločica (klizač) napravljena je iz manganskog čelika, oznaka pločice X12oMn12-N.

Postolje je Nodularni lijev oznake GJS-400-18-LT.

U daljnjem tekstu bit će ukratko opisana ova dva materijala i njihova zavarljivost.

5.7 Utvrđivanje vrste materijala i njegova zavarljivost

5.7.1 Manganska pločica (klizač)

Klizač je izrađen iz manganskog čelika sa 12% Mn koji se još naziva Hadfieldov čelik. Oznaka čelika je X12oMn12-N. Taj materijal ima visoku tvrdoću i posjeduje veliku otpornost abrazijskom trošenju. Iz navedenog se vidi razlog umetanja pločice na klizače i kućište ležaja. Na tom mjestu potrebno je ostvariti veliku otpornost trošenju pri radu i opterećenju okretnog postolja.

Kemijski sastav čelika X12oMn12-N naveden je u tablici 6. :

Tablica 6. Kemijski sastav čelika X12oMn-N [22]

Kemijski sastav [%]					
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
1.10 – 1.30	0.30 – 0.50	12.0 – 13.0	0.1000	0.040	1.5

Ovaj čelik u svom sastavu sadrži približno 1,2 % C i 12% Mn, te po najjednostavnijoj formuli možemo izračunati C_{ekv} (koji će pokazati da li je ovaj čelik dobro zavarljiv) :

$$C_{ekv} = \%C + \%Mn/6 = 1,2 + 12/6 = 3,2$$

Iz uvjeta dobre zavarljivosti ($C_{ekv} = 0,4$) može se vidjeti da je ovaj čelik slabo zavarljiv. Međutim, kako ne postoji apsolutno zavarljivi čelik, tako ne postoje niti čelici koji se ne mogu zavariti. Uz neke potrebne predradnje i zadovoljavanje određenih uvjeta, manganski se čelici mogu zavarivati.

Najvažniji uvjet kod zavarivanja manganskog čelika je što manji unos topline, a to se ostvaruje većom brzinom zavarivanja i hlađenjem vodom.

5.7.2 Kućište ležaja

Kućište ležaja izrađeno je iz nodularnog lijeva. Oznaka lijeva je GJS-400-18-LT. Nodularni lijev posjeduje veliku žilavost što može zahvaliti svojoj strukturi koja je u osnovi izrađena od kuglastog grafita. Zbog same žilavosti opravdana je i uporaba nodularnog lijeva za izradu kućišta ležaja. Kućište u eksploataciji trpi velike sile i velike temperaturne promjene. Odlika nodularnog lijeva je rad pri niskim temperaturama.

Kemijski sastav nodularnog lijeva GJS-400-18-LT naveden je u tablici 7. :

Tablica 7. Kemijski sastav GJS-400-18-LT [23]

Kemijski sastav [%]					
%C	%Mn	%Si	%P	%S	Ostalo
3.00-3.80	0.10-0.20	2.0-2.70	0.04 max	0.02 max	0.02-0.05

Općenito se zavarivanje lijevanog željeza provodi hladno i toplo.

Zavarivanje lijevanog željeza dijeli se na [24]:

- hladno zavarivanje, bez predgrijavanja,
- polutoplo zavarivanje, zavarivanje s lokalnim predgrijavanjem provodi se pri temperaturi od 200 do 300 °C,
- toplo zavarivanje, zagrijavanje cijelog radnog komada na temperaturu od 550 – 700 °C

U slučaju kućišta ležaja zavarivanje se izvodi bez predgrijavanja. Razlog tome je što manji unos topline u mangansku pločicu.

5.8 Specifikacija postupka zavarivanja

Nakon što je utvrđeno stanje oštećenja materijala i prikupljeni svi potrebni podaci o materijalu može se pristupiti sanaciji. Tehnologiju zavarivanja izdaje ovlaštena osoba (EWE/IWE inženjer).

U ovom radu opisano je zavarivanje manganske središnje ploče na kućište ležaja REL i MAG postupkom. Zavarivanje je izvedeno u položaju PB, dodatni materijal za MAG postupak je

žica 1.2 mm, vrsta dodatnog materijala za zavarivanje je G18 8, tvornički naziv dodatnog materijala je Inertfil 1886, MIG 1886 Bohler 1A7-IG.

Parametri zavarivanja središnje ploče na kućište ležaja za MAG postupak dani su u tablici 8.

Tablica 8. : Parametri za MAG zavarivanje središnje ploče [25]

Parametar	Vrijednost
Promjer dodatnog materijala (mm)	1.2
Postupak zavarivanja	135
Jakost struje (A)	230 - 240
Napon (V)	25
Vrsta struje	DC (+)
Brzina žice (m/min)	7.1 - 7.4
Protok plina (l/min)	12

REL zavarivanje izvedeno je obloženom elektrodom promjera 3,2 mm , tvornički naziv dodatnog materijala je EZ-KROM20. Ova elektroda se koristi za zavarivanje čelika slabe zavarljivosti, nelegiranih i niskolegiranih čelika, manganskih čelika. Struktura zavara je austenitna.

Parametri za zavarivanje središnje ploče na kućište ležaja za REL postupak dani su u tablici 9. :

Tablica 9. Parametri za REL zavarivanje središnje ploče [25]

Parametar	Vrijednost
Promjer dodatnog materijala (mm)	3.2
Postupak zavarivanja	111
Jakost struje (A)	90 - 110
Vrsta struje	DC (+)

Zavarivanje bočnih kliznih manganskih ploča na kućište ležaja moguće je izvesti s REL i MAG postupkom. Parametri za REL postupak su isti kao u tablici 9.

Zavarinje MAG postupkom izvedeno je u PB položaju, dodatni materijal za MAG postupak je žica 1 mm, vrsta dodatnog materijala za zavarivanje je G18 8, tvornički naziv dodatnog materijala je Inertfil 1886, MIG 1886 Bohler 1A7-IG.

Parametri za zavarivanja bočnih ploča na kućište ležaja za MAG postupak dani su u tablici 10. :

Tablica 10. Parametri za MAG zavarivanje bočnih ploča [25]

Parametar	Vrijednost
Promjer dodatnog materijala (mm)	1.1
Postupak zavarivanja	135
Jakost struje (A)	130
Napon (V)	20
Vrsta struje	DC (+)
Brzina žice (m/min)	4.7
Protok plina (l/min)	10

Nakon zavarivanja izvršena je vizualna kontrola zavarenih spojeva. Vizualnom kontrolu nisu utvrđene nikakve značajne pogreške u zavaru, nisu primjećene pore (jedan od glavnih problema). U konačnici zavar je uredan i kao takav može ići u daljnju eksploataciju. Središnja ploča nakon zavarivanja prikazana je na slici 18.



Slika 18. Zavarena središnja ploča za kućište ležaja

5.9 Ekonomska analiza provedene sanacije

Na kućištu ležaja okretnog postolja Y25 pronađene su pukotine na zavarima bočnih kliznih manganskih ploča i središnja manganska ploča je bila otkinuta. Ploče su se trebale odstraniti te je bilo potrebno staviti nove.

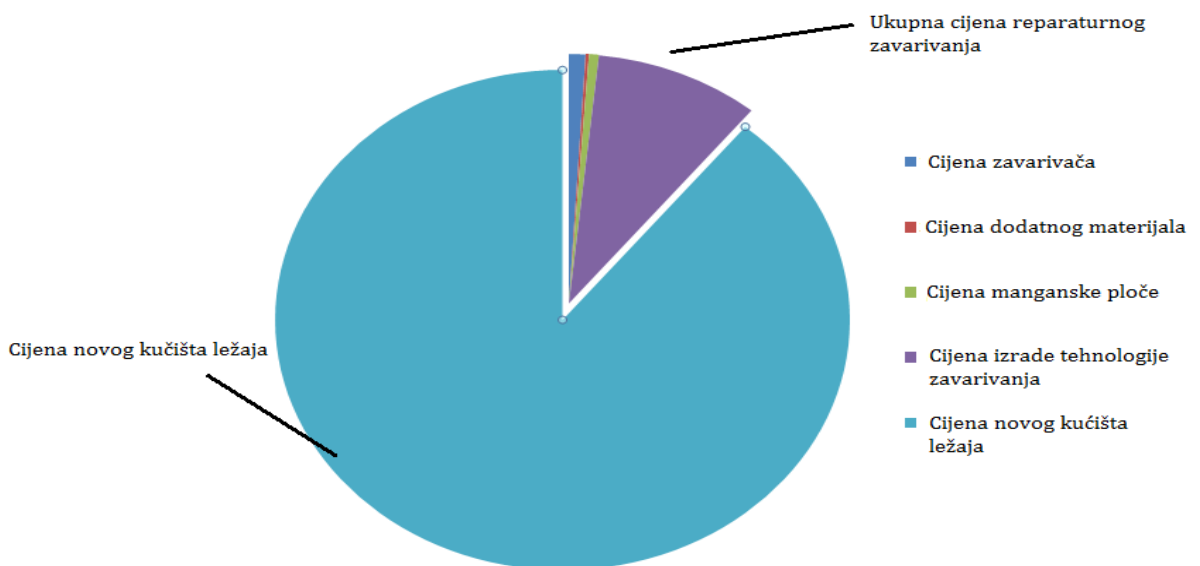
Odlučeno je da će se popravak izvršiti zavarivanjem. Postupak sanacije (popravak) je opravdan iz razloga što novo kućište ležaja ima cijenu oko 4.800,00 Kn .

Cijena popravka je:

- Zavarivač : 170 – 200 kn/h
- dodatni materijal; žica 100,00 kn/kg + PDV
- dodatni materijal; elektrode 80,00 kn/kg + PDV
- Manganska ploča 25 kn/kg
- EWE inženjer : 200 – 250 kn /h

Prema gore navedenim cijenama može se izvesti jednostavan račun za popravka jednog kućišta ležaja, vrijeme potrošeno za zavarivanje je oko 15 min za što je potrebno:

- Zavarivač : 50 kn
- dodatni materijal; utrošeno 0,10kg : 10 kn
- Manganska ploča ; potrebno oko 0,3 kg : 30 kn
- Izrada tehnologije zavarivanja (EWE inženjer) 2-3 sata : 600 kn



Slika 18. Dijagram raspodjele cijene za reparaturu u odnosu na cijenu novog kućišta

Jednom izrađena tehnologija zavarivanja vrijedi za zavarivanje svih kućišta koja je potrebno popraviti, računajući da se ne radi samo o jednom kućištu već da takvih kućišta ima mnogo. Izrade tehnologije zavarivanja za samo jedno kućište bila bi neisplativa, zato je i gore navedena cijena izrade tehnologije u iznosu 600 kn što je otprilike proporcionalno broju kućišta koje je potrebno poraviti. Iz navedenih cijena koje je potrebno izdvojiti za popravak jednog kućišta izračunata je suma koja iznosi približno 700kn. Može se zaključiti da je popravak opravdan jer cijena novog kućišta daleko premašuje cijenu popravka, što je i vidljivo na slici 18.

6. ZAKLJUČAK

Reparaturno zavarivanje se primjenjuje u svim granama industrije, zbog čega je od velike važnosti za cjelokupno gospodarstvo. Svoju primjenu najviše pokazuje u granama industrije gdje strojne komponente, dijelovi i uređaji nisu kvalitetno održavani. Zbog toga tijekom cijele ljudske povijesti postoji potreba za popravcima i obnavljanjem uporabnih sredstava kojima se čovjek služi.

Tehnologije zavarivanja, navarivanja i naštrcavanja se primjenjuju gotovo svugdje. U same začetke reparature mogu se smjestiti stare kovačnice u kojima su se proizvodili, održavali i popravljali mnogi metalni predmeti koji su imali značajnu ulogu u svakidašnjem životu. Već od davnina ljudi su došli do spoznaje da se metalni predmeti mogu popraviti i tako ponovno upotrijebiti, a da njihova mehanička i uporabna svojstva ostanu nepromijenjeni. Tako se radi i u modernoj industriji, gdje se upravo popravcima zavarivanjem mogu uštediti velika novčana sredstva, a time i vrijeme do nabave zamjenskog dijela. Poznata je činjenica da upravo popravljani dio zavarivanjem ponekad može biti i trajno, a time i bolje rješenje nego nabava novog dijela.

Jedan od primjera reparaturnog zavarivanja naveden je u eksperimentalnom dijelu ovoga rada. Taj primjer može poslužiti kao odličan pokazatelj neadekvatne tehnologije rada i lošeg održavanja zbog kojeg je došlo do otkinuća manganske ploče i pucanja zavora na kućištu ležaja osovinskog sloga. Manganske ploče imaju tendenciju da se troše, ali kada dođe do otkidanja ploče to predstavlja veći problem koji u krajnjem slučaju rezultira isključenjem vagona iz prometa dok problem nije riješen. Popravak je izveden zavarivanjem novih manganskih ploča dvjema različitim tehnologijama REL i MAG. U konačnici obje tehnologije su dale pozitivne rezultate i obje su primjenjive za ovaj tip reparaturnog popravka. Kućište ležaja traži redovitu kontrolu i održavanje. Gledajući cijenu novog kućišta koja je otprilike 4500 kuna, potreba za popravkom je opravdana u vidu uštede velikih novčanih sredstava za nabavu novoga kućišta.

Valja napomenuti da su popravci zavarivanjem vrlo složeni i komplicirani. Popravci zahtijevaju mnoga znanja iz sveukupne prakse, a to se smatra dobrim poznavanjem materijala,

postupaka zavarivanja, strojnih dijelova i mnogih drugih problema. Neznanje može dovesti do još većih katastrofa i kvarova. Na temelju svega može se donijeti zaključak da reparaturno zavarivanje treba smatrati ozbiljnom tehnologijom kojoj treba pristupati vrlo profesionalno, jer samo kvalitetan popravak rezultira uspjehom, a time i mogućnošću ponovne upotrebe određenog dijela.

7. LITERATURA

- [1] Juraga, I., Živčić, M., Gracin, M. ; *Reparaturno zavarivanje*, Vlastita naklada, Zagreb, 1994
- [2] Javor, F. ; *Reparatura – primjena tehnologije zavarivanja i srodnih postupaka* (drugi dio), Zavarivanje 53, 2010, 3/4
- [3] http://hr.wikipedia.org/wiki/Umor_materijala
- [4] Javor, F. ; *Reparatura – primjena tehnologije zavarivanja i srodnih postupaka* (treći dio), Zavarivanje 53, 2010, 5/6
- [5] Javor, F.; *Reparatura – primjena tehnologije zavarivanja i srodnih postupaka* (četvrti dio) Zavarivanje 54, 2011, 1/2
- [6] Javor, F. ; *Reparatura – primjena tehnologije zavarivanja i srodnih postupaka* (peti dio), Zavarivanje 54,2011, 3/4
- [7] Živčić, M., Juraga, I. ; *Reparaturno zavarivanje*, Zavarivanje 35, 1992/1
- [8] Kralj, S., Andrić, Š. ; *Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992
- [9] Garašić, I. ; Radni materijali iz predmeta „ *Postupci zavarivanja*“
- [10] Živčić, M.; *Tig zavarivanje – osnovne karakteristike*, 1. nastavak, Zavarivanje 28, Zagreb, 1985/2
- [11] Javor, F. ; *Reparatura – primjena tehnologije zavarivanja i srodnih postupaka* (šesti dio), Zavarivanje 54, 2011 5/6
- [12] Javor, F. ; *Reparatura – primjena tehnologije zavarivanja i srodnih postupaka* (dvanaesti dio), Zavarivanje 56, 2013 5/6
- [13] *Welding handbook*, eight edition , materials and application part 1 , Miami 1996.
- [14] *Repair and Maintenance Welding Handbook*, Esab AB, Goteborg, Sweden
- [15] <http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=2555>
- [16] <http://www.elektroda-zagreb.hr/proizvodi/>
- [17] <http://galeb.com/wp-content/uploads/downloads/2011/04/ESAB.pdf>
- [18] <http://www.tzv-gredelj.hr/proizvodni-program/sklopovi.html>
- [19] Slike iz arhive „TŽV Gredelj“
- [20] Zajednica Jugoslavenskih željeznica; *uputstvo za pregledača kola*, Beograd, 1990
- [21] *Uputstvo za korištenje i remont rame obrtnog postolja Y25*, Đuro Daković, Sl. Brod, 2011
- [22] <http://www.steel-grades.com/Steel-grades/Carbon-steel/x120mn12.html>

[23] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=1517

[24] Gojić, M. ; *Tehnike spajanja i razdvajanja*, Metalurški fakultet, Sisak, 2003

[25] Specifikacija postupka zavarivanja

[26] Slike iz vlastite arhive

8. PRILOG