

# Zavarivanje sivog lijeva

---

Ujaković, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:631215>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ivan Ujaković

Preddiplomski stručni studij Mehanizacija u poljoprivredi

## **Zavarivanje sivog lijeva**

Završni rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Ivan Ujaković

Preddiplomski stručni studij Mehanizacija u poljoprivredi

**Zavarivanje sivog lijeva**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof. dr. sc. Goran Heffer, mentor
2. Dr. sc. Ivan Vidaković, član
3. Izv. prof. dr. sc. Vjekoslav Tadić, član

Osijek, 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Preddiplomski stručni studij Mehanizacija u poljoprivredi

Završni rad

Ivan Ujaković

### Zavarivanje sivog lijeva

**Sažetak:** U radu je opisana osnovna struktura, mehanička i tehnološka svojstva sivog lijeva, te područja primjene istog materijala. Posebno je analizirana tehnologija zavarivanja, u okviru čega su opisani tehnološki postupci koji se pritom primjenjuju, te specifična problematika koja je vezana uz zavarivanje sivog lijeva. Prikazani su primjeri primjene sivog lijeva i tehnologije zavarivanja istog materijala u poljoprivrednoj tehnici.

**Ključne riječi:** sivi lijev, zavarivanje, poljoprivredna tehnika

29 stranica, 22 slike, 2 tablice, 29 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
Professional study Mechanization in agriculture

Final work

Ivan Ujaković

### Welding of grey cast iron

**Summary:** The paper describes the basic structure, mechanical and technological properties of gray cast iron, and the areas of application of the same material. Specifically was analyzed the welding technology, within are described the technological procedures that thereat are applied, as well as the specific issues related to the welding of gray cast iron. Examples of the application of gray cast iron and welding technology of the same material in agricultural technique are presented.

**Key words:** gray cast iron, welding, agricultural techniques

29 pages, 22 figures, 2 tables, 29 references

Final work is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD  | 1  |
| 2. SIVI LIJEV  | 2  |
| 2.1. Kemijski sastav sastav sivog lijeva                     | 4  |
| 2.2. Mikrostruktura sivog lijeva                             | 7  |
| 2.3. Svojstva sivog lijeva                                   | 10 |
| 2.4. Primjena sivog lijeva                                   | 11 |
| 3. PROIZVODI OD SIVOG LIJEVA U POLJOPRIVREDI                 | 13 |
| 4. ZAVARIVANJE METALA  | 16 |
| 4.1. Definiranje pojmova u zavarivanju                       | 16 |
| 4.2. Podjela postupaka zavarivanja                           | 17 |
| 4.3. Reparturno zavarivanje                                  | 20 |
| 5. ZAVARIVANJE SIVOG LIJEVA                                  | 22 |
| 5.1. Zavarivanje sivog lijeva u toplom ili polutoplom stanju | 22 |
| 5.2. Zavarivanje sivog lijeva u hladnom stanju               | 23 |
| 5.3. Problemi zavarivanja sivog lijeva                       | 24 |
| 6. PRIMJERI ZAVARIVANJA SIVOG LIJEVA U POLJOPRIVREDI         | 26 |
| 7. ZAKLJUČAK   | 27 |
| 8. POPIS LITERATURE  | 28 |

## 1. UVOD

Novosel i Krumes (1997.) navode da pojam „lijev“ proizlazi iz tehnološkog postupka izrade dijelova (lijevanja) i usko je povezan s pojmom „odljevak“. Taljevina (lijev) se ulijeva u kalupe i poprima konačan oblik, čime se dobiva odljevak. Lijevom se smatra svaka metalna legura koja nakon ulijevanja u kalup i nakon skrućivanja (kristalizacije) nije bila podvrgnuta ni toplom ni hladnom oblikovanju deformiranjem (obradi bez odvajanja čestica materijala).

Prema Hrvatskoj enciklopediji (LZMK, 2021.), željezni ljevovi su željezne slitine (legure) namijenjene oblikovanju proizvoda lijevanjem. Talište im je razmjerno nisko, umjereno se stežu tijekom skrućivanja i daju kvalitetne odljevke. Najčešće se proizvode u kupolnim i lončastim indukcijskim pećima taljenjem uloška koji se sastoji od sivoga sirovoga željeza (proizvod visoke peći), čeličnog otpada, neiskorištenoga, tzv. kružnoga materijala unutar ljevaonice (neispravni odljevci i sl.) i feroslitina.

Sivi se lijev dobiva pretaljivanjem sivog sirovog željeza, starog lomljenog čelika i starog lomljenog lijeva u kupolci. Veći dio ugljika izdvaja se u obliku listića (lamela) grafita, a manji dio je u cementitu, tako da je prijelom presjeka sive boje (Golubić, 2019.).

S obzirom na njegovu raširenost i korisnost u industriji, sivi lijev se uvelike koristi i u poljoprivredi, posebice u izradi traktora i njegovih dijelova, kao što su blokovi motora, zamašnjaci, zupčanici, koloturnici za pojaseve (remenice), mjenjačke kutije, sjetveni noževi, itd. (Janješić, 2017.).

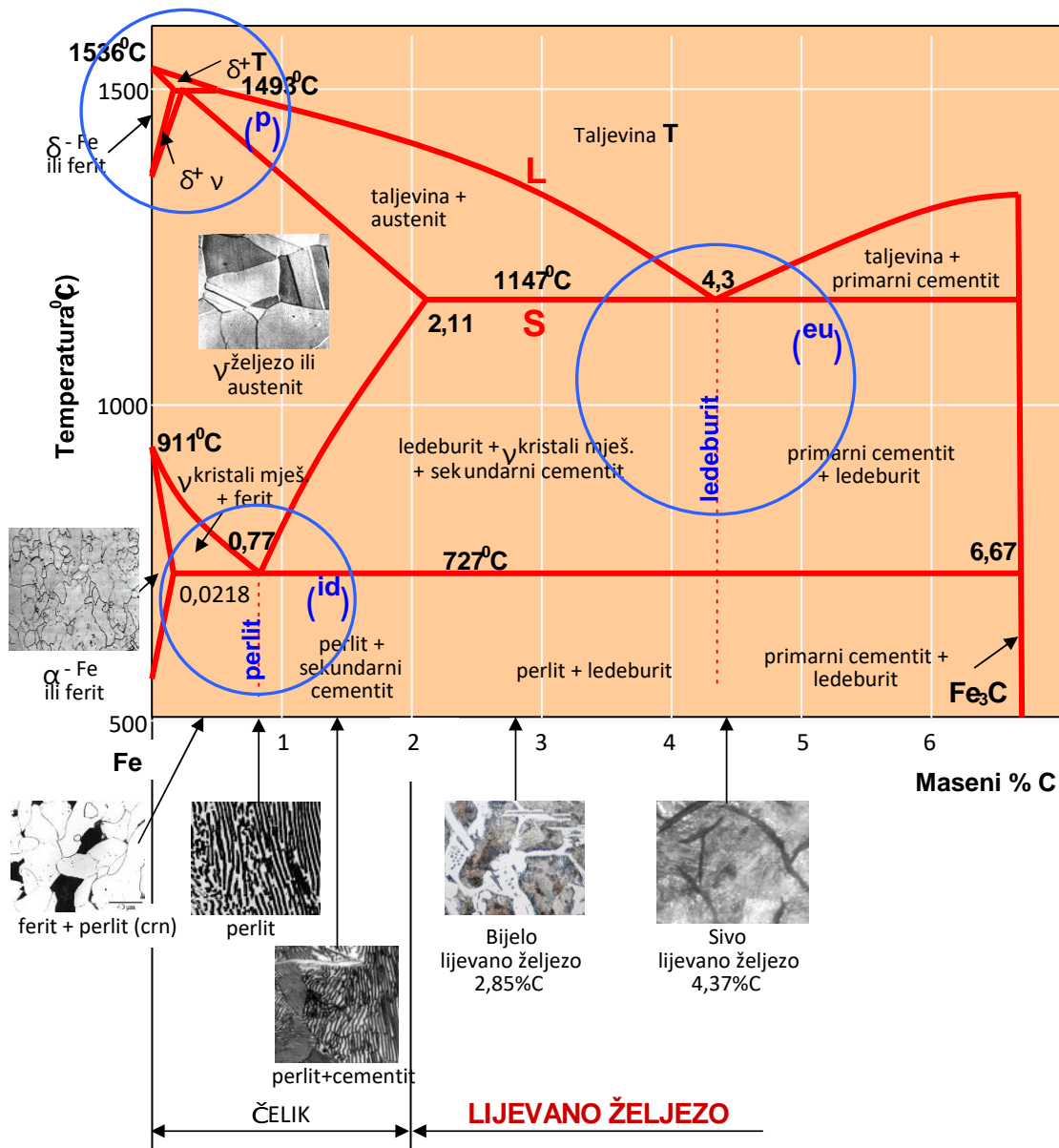
Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, s ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogen zavareni spoj. Zavarivanje je neizostavna tehnika spajanja materijala koji su u eksploataciji izloženi vrlo visokim ili vrlo niskim temperaturama, agresivnim medijima, udarnom i dinamičkom opterećenju, te različitim kombiniranim opterećenjima (Samardžić i sur., 2015.)

Cilj ovog završnog rada je prikazati i objasniti tehnologiju zavarivanja sivog lijeva, u okviru čega će se opisati tehnološki postupci koji se pritom primjenjuju, te specifična problematika koja je vezana uz zavarivanje sivog lijeva. Posebno će se prikazati odgovarajući primjeri primjene sivog lijeva i tehnologije zavarivanja sivog lijeva u poljoprivrednoj tehnici.

## 2. SIVI LIJEV

Sivi lijev je željezna legura (Fe-legura), kojoj je osnova sivo sirovo željezo, koje se legira s više od 2,03 %, a manje od 4,5 % ugljika (C). Sivo sirovo željezo dobiva se taljenjem željezne rudače u visokim pećima i služi kao osnova svim Fe-legurama. Sivi lijev dobiva se pretaljivanjem sivog sirovog željeza i strugotine čelika u kupolnim ili indukcijskim pećima (Janješić, 2017.).

Na slici 1. prikazano je nastajanje sivog lijeva u dijagramu željezo-ugljik (Fe-C). Osim sivog lijeva, pomoću ovog dijagrama moguće je pratiti i nastanak drugih legura željeza i ugljika koje se pojavljuju u metalurgiji.



Slika 1: Dijagram željezo-ugljik (Izvor: Jeftinija, 2007.)

U primarnoj i u početku sekundarne kristalizacije sivi lijev kristalizira stabilno, dok se u drugom dijelu sekundarne kristalizacije vrši metastabilna kristalizacija. Može se reći da sivi lijevi kristalizira mješovito. Stabilna se kristalizacija postiže sporim beskonačnim ohlađivanjem kod čistih legura. Za tehničke potrebe stabilna kristalna struktura je nužna. Iz razloga, što je nemoguće postići sporo beskonačno ohlađivanje, leguri se pridodaju fosfor i silicij koji potiču grafitizaciju. Ovaj proces se odvija kako bi se implementacija grafita u rešetku postigla i tijekom sporog hlađenja (Filetin i sur., 2002.).

Odlika sivog lijeva je visoka tlačna čvrstoća, karakteristična siva boja te umjerena tvrdoća. Uz navedene odlike sivog lijeva, potrebno je dodati da je sivi lijev jako krhak materijal. Velika je primjena sivog lijeva u praksi zbog njegove visoke otpornosti na koroziju i trošenje, te jednostavnog načina lijevanja. No, ovaj materijal nije prikladan za kovanje (Živčić i Remenar, 1972.)

Postoje različite vrste sivog lijeva, a neke od njih su: sivi lijev visoke i srednje čvrstoće te obični sivi lijev. Brzina hlađenja lijeva i kemijski sastav utječu na strukturu sivog lijeva. Kvaliteta i mehanička svojstva ovisna su o debljini stijenke, rasporedu i obliku grafita, strukturi metalne osnove te o veličini izlučenih grafitnih lamela. Primjena mu je široka i upotrebljava se u raznim izradama kao što su: kotači, ventili, blokovi motora, grijaća tijela, kućišta za pumpe, kanalizacijske cijevi i slično (<https://strojopromet.com/sivi-lijev/>).

Od sivog lijeva izrađuju se svakodnevni proizvodi, kao što su prikazani na slici 2.



Slika 2: Svakodnevni proizvodi od sivog lijeva

(Izvor: Jurković, 2016.)



## 2.1. Kemijski sastav sastav sivog lijeva

Sivi lijev je legura željeza negarantiranog kemijskog sastava, odnosno samo su mu garantirana mehanička svojstva. Uobičajeni kemijski sastav elemenata, koji su osim željeza sadržani u sivom lijevu, je sljedeći (Jeftinija, 2007.):

- Ugljik: 2,5 – 4,5 %
- Silicij: 1,0 – 4,0 %
- Mangan: 0,3 – 1,0 %
- Fosfor: 0,1 – 1,5 %
- Sumpor: < 0,1 %

Moguće je da pri proizvodnji sivog lijeva da sastav nekog elementa izađe iz granica, a pogotovo ako je riječ o vrlo malim ili velikim dimenzijama odljevaka. Eventualno dodavanje nikla, kroma, molibdena i slično bi učinilo lijev legiranim.

Uz željezo, kao osnovni element, najvažniji sastojak sivog lijeva je ugljik. Ugljik velikim dijelom dolazi u obliku grafita ( $C_g$ ), dok u obliku cementita ( $Fe_3C$ ) dolazi u manjem dijelu. Grafit obuhvaća otprilike 10 % ukupno volumena u prosječnom odljevku sivog lijeva.

Glavne prednosti utjecaja ugljika u oblika grafita su sljedeće:

- a) Titraji se prigušuju grafitom vrlo efikasno, što je iznimno važno za dijelove kao što su kućišta raznih strojeva.
- b) Sposobnost „razmazivanja“: Grafit ima mogućnost „razmazivanja“, kao heksagonski kristalizirana tvar, smanji koeficijent trenja. Ovo svojstvo omogućava spriječavanje trošenje dijelova sustava i da za kraće vrijeme spriječi „zaribavanje“ ako bi se dogodio manjak maziva u mehaničkom sustavu (Jeftinija, 2007.).

Sastav taljevine sivog lijeva je potrebno poznavati jer ima veliki utjecaj na tijek kristalizacije, a s time i na svojstva. Sivi lijev ovog sastava nije legiran. Silicij, mangan, fosfor i sumpor smatraju se primjesama koje se dodavaju prilikom proizvodnje sivog lijeva. Navedeni elementi su neophodni za proizvodnju sivog lijeva te se iz tog razloga ne ubrajaju u legirajuće elemente, nego kao obični dodaci. Dodavanjem primjesa dobivaju se svojstva koja su važna u strukturi sivog lijeva te su zbog toga neizbježan dodatak (Janješić, 2017.).

U tablici 1. prikazan je utjecaj primjesa na svojstva sivog lijeva.

Tablica 1: Utjecaj primjesa na svojstva sivog lijeva

| Element      | Utjecaj elementa na svojstvo legure  |
|--------------|--|
| Si (Silicij) | Jak grafitizator koji omogućava stvaranje grafita iako ohlađivanje nije beskonačno sporo. Važan je omjer udjela Si i C.  |
| Mn (Mangan)  | Jak cementator koji je koristan jer stvara neškodljivi MnS (manganov(II) sulfid), a ne štetan FeS (željezov(II) sulfid).   |
| P (Fosfor)   | Grafitizator koji većim udjelom poboljšava livljivost i bolje popunjavanje kalupa kod tankostjenih odljevaka. Općenito P je štetan jer smanjuje žilavost.                        |
| S (Sumpor)   | Cementator, kao štetna primjesa dolazi nužno iz koksa i sirovine. SO <sub>2</sub> (sumporov(IV) oksid) stvara plinske mjehuriće, a FeS FeS (željezov(II) sulfid) tvrde uključke. |

(Izvor: Živčić i Remenar, 1972.)

Elementi s udjelom većim od 10 % u sivom lijevu se smatraju legirnim elementima. Bor i dušik su iznimka jer se smatraju legirnim ukoliko je udio elemenata veći od 0,001 % (Janješić, 2017.).

U tablici 2. prikazan je utjecaj legirnih elemenata na svojstvo legure sivog lijeva.

Tablica 2: Utjecaj legiranih elemenata na svojstva sivog lijeva

| Element       | Utjecaj elementa na svojstvo legure  |
|---------------|--|
| Al (Aluminij) | Jak grafitizator koji potpomaže nastajanje ferita i grafita  |
| Sb (Antimon)  | Ima mali utjecaj kao stabilizator perlita  |
| Bi (Bizmut)   | Potpomaže nastajanje karbida i nebitno kao stabilizator perlita  |
| B (Bor)       | Ako ga ima manje od 0,015 % koristan je kao jak grafitizator, ako ga ima više od 0,015% tada je stabilizator karbida i jak zadrživač perlita |
| Cr (Krom)     | Jak karbidotvorac i jaki tvorac perlita  |
| Cu (Bakar)    | Umjereni grafitizator i potpomaže nastajanje perlita   |
| Mo (Molidben) | Umjereni karbidotvorac. Potpomaže nastajanje perlita i bainita   |
| Ni (Nikl)     | Grafitizator. Umjereni pomagač u nastajanju perlita  |
| Te (Telurij)  | Vrlo jaki pomagač nastajanja karbida. Nebitan stabilizator perlita   |
| Sn (Kositar)  | Jaki pomagač u nastajanju i zadržavanju perlita  |
| Ti (Titan)    | U količinama manjim od 0,25 % koristi se kao grafitizator  |
| V (Vanadij)   | Jak karbidotvorac i jaki pomagač u nastajanju perlita  |

(Izvor: Živčić i Remenar, 1972.)

O mikrostrukturi i svojstvima sivog lijeva govori stupanj zasićenja ( $S_z$ ) koji je povezan s određenim sastavom lijeva. Vrstu sivog lijeva, kao i stupanj zasićenja može se dobiti pomoću formule:

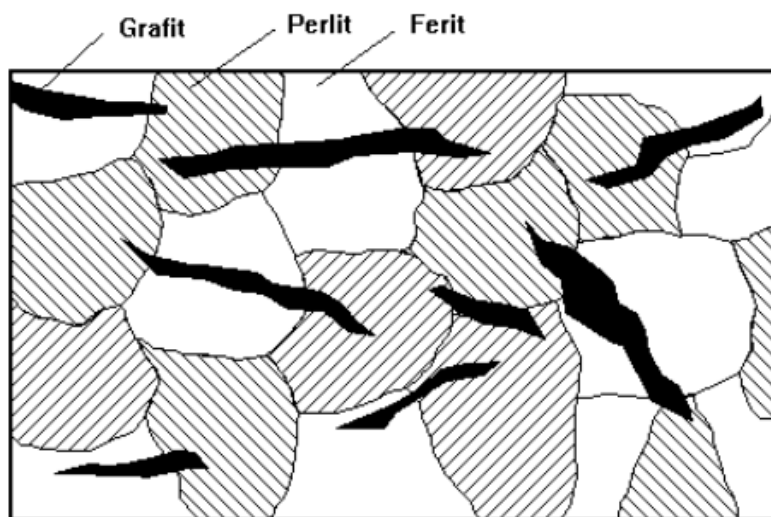
$$S_z = \frac{\%C}{\%C_e} = \frac{\%C}{4,26 - \left(\frac{1}{3} \times (\%Si + \%P)\right)}$$

U području niže vrijednosti pokazuju se pomak eutektičke koncentracije ugljika pomoću vrijednosti  $C_e$ .  $S_z$  se razlikuje prema idućim vrijednostima: (Budić, 2006.)

- a)  $S_z < 1$ : Podutektička vrsta sivog lijeva
- b)  $S_z = 1$ : Eutektička vrsta sivog lijeva
- c)  $S_z > 1$ : Nadeutektička vrsta sivog lijeva

## 2.2. Mikrostruktura sivog lijeva

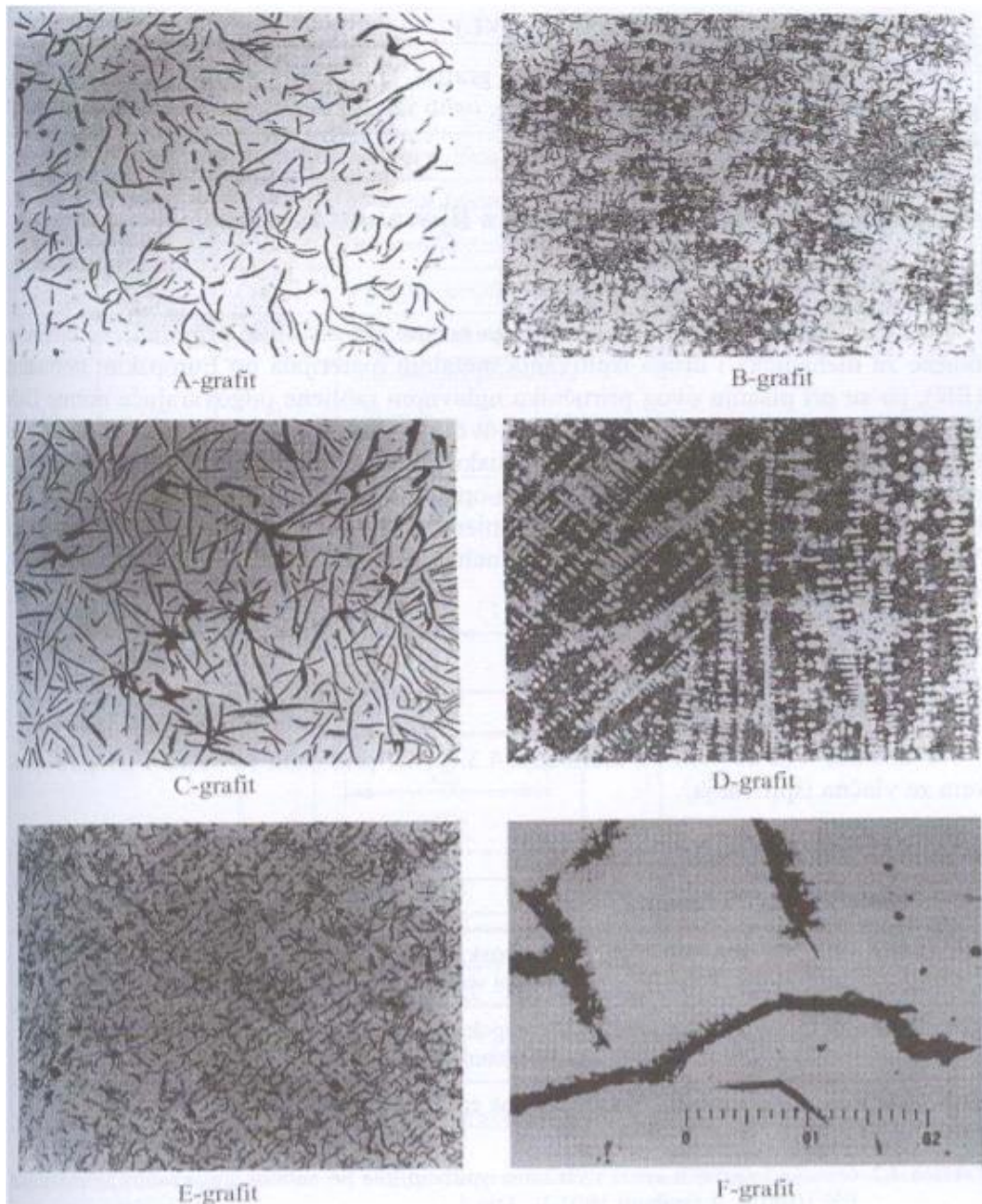
Sivi lijev kristalizira stabilno i metastabilno pa je iz tog razloga mikrostrukturalno divarijantan. Struktura je dvojna te je sastavljena od nakupina listića grafit (primarna mikrostruktura) te od željezne osnove koja može biti perlitna, feritna ili feritno-perlitna, koja je shematski prikazana na slici 3. Uz navedeno može se pojaviti još i slobodni cementit (Budić, 2006.).



Slika 3: Shematski prikaz strukture feritno-perlitne mikrostrukture  
(Izvor: Jurković, 2016.)

Prema veličini, obliku i rasporedu se razvrstava grafit. Može biti lisnatog, odnosno lamelarnog, čvorastog te kugličastog oblika. O uvjetima kristalizacije u strukturi sivog lijeva ovise veličina i oblik listića grafit. Sa većim udjelom ugljika i višom temperaturom taljevine, grafit će biti grublji (Jurković, 2016.).

Listićasti oblici grafit svrstani su u šest klasa, koje su prikazane na slici 4.



Slika 4: Klase listićastih grafita u sivom lijevu (Izvor: Budić, 2006.)

Slikom 4. su prikazani svi mogući tipovi listića grafita koji se mogu pojaviti u sivom lijevu. Karakterističan i uobičajen grafit sivog lijeva je A-grafit. Grafitni listići su mu ravnomjerno raspoređeni, a dobiva se tijekom eutektičkog skrućivanja. Omogućuje dobra fizička i mehanička svojstva pa je iz tog razloga najpoželjniji oblik grafita u sivom lijevu.

B-grafit je oblika rozete, a nastaje ako je nedovoljna nukleacija eutektika. Pri nižim temperaturama od ravnotežne temperature skrućivanja odvija se skrućivanje.

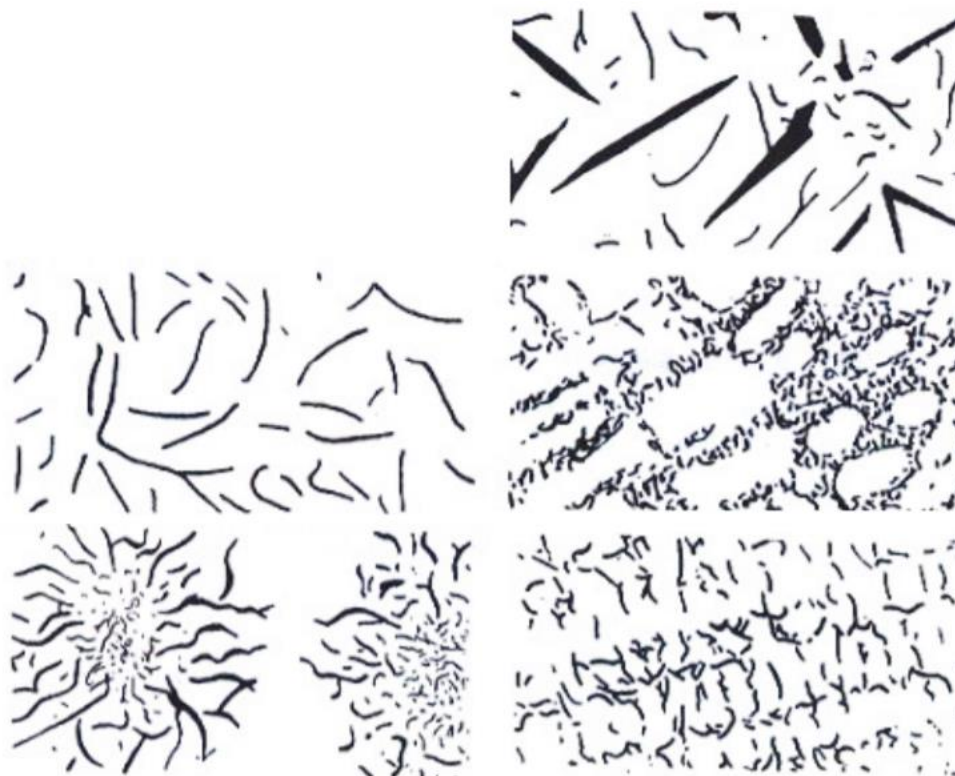
Nastajanje C-grafita je posljedično uzrokovano velikim količinama ugljika u talini i nastaje nadeutektičkim skrućivanjem. Neophodno o nastajanju austenita grafit u tom slučaju nastaje

već u talini. Kasnije u nastavku skrućivanja, grafit može biti obuhvaćen talinom, a također može plutati površinom taline te na kraju ostati na površini odljevka. Tvrdoća i čvrstoća su smanjene C-grafitom, dok su povećana sposobnost prigušivanja vibracija i udarni rad loma. Također se još naziva pjenasti grafit.

U sivom lijevu na mjestima gdje ima previše silicija, pa nije moguće nastajanje eutektičkog karbida, nego lijeva s perlitnom strukturom nastaju D- i E-grafiti. Ova skruktura je karakterična prilikom lijevanja sivog lijeva u kokile. U navedenoj strukturi dolazi do bolje i kvalitetnije strojne obradivosti, ali i do pada vlačne čvrstoće.

Posljedica velikog udjela u sivom lijevu olova ( $Pb > 0,005 \%$ ) i ponekad velikog udjela fosora u sivom lijevu ( $P > 20 \%$ ) nastaje F-grafit, poznat i po imenu Widmannstättenow grafit (Budić, 2006.).

Pod različitim uvjetima kristalizacije mogu nastati različiti listići grafita, prikazani slikom 5.



Slika 5: Listići grafita pod različitim uvjetima kristalizacije (Izvor: Jeftinija, 2007.)

Istezljivost, odnosno duktilnost sivog lijeva je vrlo mala. Razlog tomu je lučenje grafita u sivom lijevu oblika listića (lamela), koji su nemetalni uključci, i zato predstavljaju diskontinuitete u strukturi, kao i koncentratore naprezanja u osnovnoj perlitnoj ili perlitno-feritnoj matrici. Glavni nedostatak sivog lijeva je upravo njegova krhkost.

Postupcima modifikacije može se poboljšati krhkost sivog lijeva, odnosno nedostatak istežljivosti. Postupcima modifikacije struktura sivog lijeva se s lamelarnim grafitom prenosi u druge strukturne oblike, koji osiguravaju bolju istežljivost.

Žilavi (sferoidni, nodularni) i kovkasti (temper) su najčešće primjenjivane vrste modificiranih lijevova. Posebno obradom taljevine s globulatorima nastaje žilavi lijev koji sadrži tzv. kuglasti grafit. Žarenjem odljevaka, odnosno temperiranjem nastaje kovkasti lijev koji sadrži tzv. čvorasti grafit (Budić, 2006.).

### **2.3. Svojstva sivog lijeva**

Zbog svoje sive boje lističastog grafita ime je dobio sivi lijev. Posebna svojstva sivog lijevu daje lističasti grafit. Mogućnost izrade složenih oblika, uz relativno nisku cijenu je prednost sivog lijeva u odnosu na druge lijevove.

Fizička i mehanička svojstva mogu biti različita kod sivog lijeva pri jednakom udjelu grafita te pri istoj količini ugljika. Zbog različitog oblika grafita, veličine i njegove raspodjele dolazi do tih razlika. Tlačna čvrstoća koja je uglavnom tri do šest puta veća od vlačne čvrstoće je jedna od najvažnijih odlika sivog lijeva. Na mjestima gdje su velika opterećena na tlak se koristi sivi lijev, ali se ne smije opteretiti na savijanje (Maroević, 2007.).

Sposobnost sivog lijeva prema obradi tehnologijom lijevanja je prikazana tehnološkim svojstima. Tehnološka svojstva sivog lijeva su sljedeća (Galić, 2008.):

- mogućnost lijevanja odljevaka svih masivnosti
- u odnosu na druge lijevove jeftinija i jednostavnija proizvodnja
- jako dobra livljivost
- nisko talište
- dobra rezljivost
- obradljivost odvajanjem čestica
- otpornost na koroziju i trošenje
- slaba zavarljivost
- linearno skupljanje približno je 1 %.

Osnovna svojstva svakog mogućeg materijala su mehanička svojstva. Mehanička svojstva sivog lijeva su sljedeća (Galić, 2008.):

- jako visoka tlačna čvrstoća
- niska vlačna čvrstoća
- niska istežljivost

- modul elastičnosti promjenjiv te iznosi između 60000 i 155000 N/mm<sup>2</sup>
- slaba žilavost.

Ostala svojstva koja se ne mogu ni u jednu od navedenih skupina su sljedeća (Galić, 2008.):

- dobra sposobnost prigušivanja vibracije
- dobra antifriksijska svojstva
- povećanje volumena kod temperatura viših od 400 °C
- otpornost na atmosferske uvjete.

Debljina stijenke utječe na čvrstoću odljevka, pa je preporučeno ispitivanje savojne i vlačne čvrstoće na ispitnim tijelima u cilju karakterizacije. Ispitne epruvete su posebno lijevane ili su dio odljevka.

Oblik grafita malim dijelom utječe na tvrdoću sivog lijeva, dok raspodjela grafita i kemijski sastav utječu većim dijelom. Povećanjem udjela cementita povećava se i tvrdoća sivog lijeva. Granice tvrdoće sivog lijeva kreću se od 120 do 200 HB, dok za kvalitetnije lijeve tvrdoća iznosi do 250 HB (Jurković, 2016.)

#### **2.4. Primjena sivog lijeva**

S obzirom da sivi lijev nije jedan od najkvalitetnijih materijala, vrlo je često jedan od najekonomičnijih, pa iz tog razloga ima optimalni kompromis između svojstava i cijene. Troškovi proizvodnje su niski kod sivog lijeva, krenuvši od sirovine, malog utroška energije za taljenje, kalupljenje, pa sve do obrađivanja odvajanjem česticama.

Primjena sivog lijeva je izuzetno raširena u strojogradnji: strojni dijelovi u procesnoj i metalnoj industriji, poljoprivrednoj tehnici, elektrotehnici te postolja i kućišta strojeva.

Konkretna primjena sivog lijeva je sljedeća (Galić, 2008.):

- kućišta, reduktori i blokovi motora
- postolja alatnih strojeva
- dijelovi poljoprivrednih strojeva
- bubnjevi kočnica
- radijatorski članci
- klizni ležajevi
- papuče vagonских kočnica

Na slikama 6. i 7. prikazani su primjeri primjene sivog lijeva u strojogradnji.





Slika 6: Zasun za vodovod (Izvor: <https://miv.hr/proizvodi/zasuni/zasuni-s-metalnim-brtvljenjem/zasuni-s-nepodizucim-vretenom/ovalni-zasun-30/>)



Slika 7: Kućište zupčaste pumpe (Izvor: <https://www.mpd-pumpe.hr/media/KATALOZI/ZupastepumpetipZOL-GearPumpstypZOL.pdf>)

### 3. PROIZVODI OD SIVOG LIJEVA U POLJOPRIVREDI

U raznim industrijskim granama zbog čvrstoće, izdržljivosti te zbog jeftine izrade koristi se sivi lijev. Upravo su to razlozi zbog kojih se sivi lijev često primjenjuje i u poljoprivredi. Najvažniji dijelovi poljoprivrednih strojeva koji se izrađuju od sivog lijeva su kućišta mjenjača brzina traktora, zupčanci mjenjača, zamašnjaci, remenice, bubnjevi kočnica, dijelovi sjetvenih aparata, te različiti manji dijelovi poljoprivrednih strojeva i uređaja.

**Kućište mjenjača brzina traktora** osigurava središnju centričnost i podupiranje pogonskog vratila te njegovo pravilno spajanje s drugim dijelovima mjenjača. Sa strukturnog stajališta tehnološke značajke kućišta su sljedeće: teškoće lijevanja, šuplje stjenke kompliciranih oblika, slaba krutost, visoka preciznost obrade te deformacije. Glavni tehnički zahtjevi koje treba ispuniti traktorska mjenjačka kutija su sljedeći: preciznost točnosti geometrije i veličina provrta ležajeva. Razlozi zbog kojeg se sivi lijev upotrebljava za proizvodnju mjenjačkih kutija su sljedeći:

- zbog visoke tlačne čvrstoće sivi lijev može apsorbirati razna opterećenja velike magnitude.
- zbog postojanja ugljika i ostalih legirajućih elemenata poput mangana, nikla te kroma sivi lijev ima veliku vlačnu čvrstoću. Zbog ove specifikacije rijetko dolazi do pukotina i lomova jer ova specifikacija ima utjecaj na različita opterećenja (<http://www.iron-foundry.com/tractor-gearbox.html>).

Slika 8. prikazuje primjer kućišta mjenjača brzina traktora Fendt Farmer 300.



Slika 8. Kućište mjenjača brzina traktora Fendt Farmer 300 (Izvor: <https://autoline.info/-/sale/gearbox-housings/tractor/--21080816534759703200>)

**Zamašnjak** je mehanički uređaj koji se upotrebljava za pohranjivanje rotacijske kinetičke energije. Glavna mu je primjena osiguravanje kinetičke energije za vrijeme kad je okretni moment veći od pogonskog momenta. O geometriji zamašnjaka, gustoći upotreljenog materijala i kutnoj brzini ovisi količina pohranjene energije u zamašnjaku. Jedan od najvažnijih segmenata proizvodnje zamašnjaka je odabir materijala. Kvalitetne ljevačke sposobnosti, kao i velika otpornost na nošenje su kvalitete zamašnjaka od sivog lijeva. Usporedno s drugim načinima izrade, izrada od sivog lijeva je jeftinija, a kvaliteta je jednako dobra. Pogreške u lijevanju željeza, poput pukotina, pješćanih rupa i skupljanja ne bi trebao imati zamašnjak. Ukoliko je tolerancija ravnosti  $< 0,1$  mm zamašnjak je potrebno popraviti ili zamijeniti (<http://www.iron-foundry.com/flywheel-castings.html>).

Slika 9. prikazuje primjer zamašnjaka traktora.



Slika 9: Zamašnjak traktora

(Izvor: <https://autoline.hr/-/prodaja/zamasnjaci/za-traktora/--20042412411751576700>)

**Remenice** su dijelovi mehaničkog sustava koji se sastoji se od dvije ili više remenica i remena. On omogućuje prijenos mehaničke snage, brzine i okretnog momenta preko radnih vratila. Remenice se proizvode od sivog lijeva koji ima velike tehničke zahtjeve, a tvrdoća lijevanog tijela iznosi od 170 do 210 po Brinellu (HB). Za rješavanje tih problema upotrebljavaju se unaprijeđeni procesi lijevanja koji omogućuju vrlo kvalitetne odljevke (<http://www.iron-foundry.com/grey-iron-belt-pulley.html>).

Slika 10. prikazuje remenicu hedera kombajna Claas (tip Commandor, Dominator, Medion).



Slika 10: Remenica hедера kombajna Claas

(Izvor: <https://agrodoctor.eu/en/header/131016-header-v-belt-pulley-675909-claas.html>)

Sivi lijev je materijal od kojega se izrađuju brojne sitnije komponente poljoprivrednih strojeva i uređaja (traktora, kombajna, priključnih oruđa, itd.), koje imaju zadatak da osiguraju stabilan rad sustava čiji su sastavni dijelovi, a da pritom nisu skupe za izradu. Primjeri takvih komponenti manjih dimenzija su različiti nosači, držači, spojni elementi, itd. prikazani su na slici 11.



Slika 11. Različite sitnije komponente poljoprivrednih strojeva i uređaja

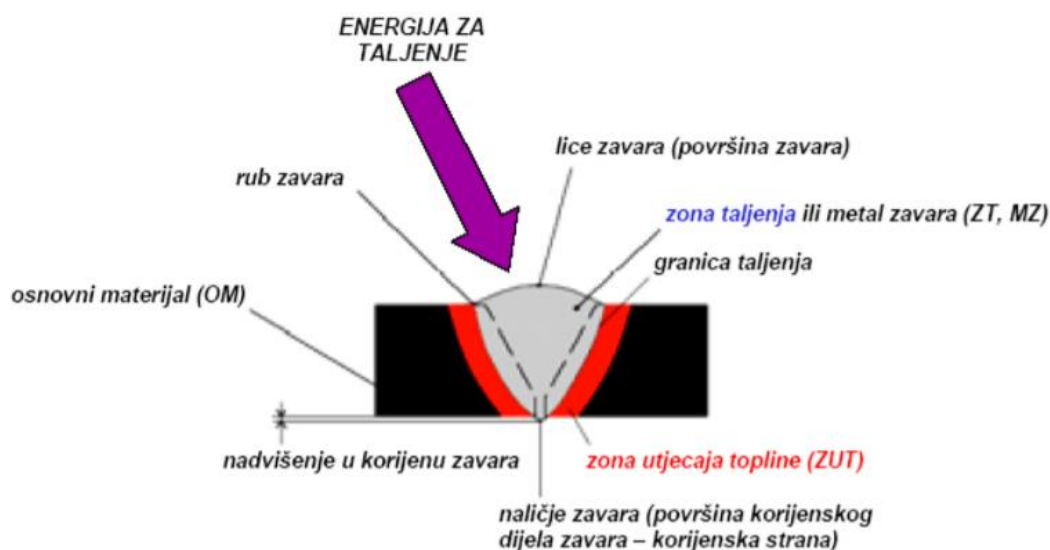
(Izvor: <https://www.ferroloyinc.com/agricultural-machinery/>)

## 4. ZAVARIVANJE METALA

### 4.1. Definiranje pojmova u zavarivanju

Postupak spajanja dvaju ili više, raznovrsnih ili istovrsnih materijala, pritiskom ili taljenjem, bez ili sa dodavanjem materijala, na način kako bi se dobio homogen zavareni spoj naziva se zavarivanje. Također bi se moglo reći da je spajanje materijala pri kojemu se dijelovi na spojnome mjestu zagriju do omekšanja, odnosno plastičnosti ili se rastale, a spajaju se bez dodavanja dodatnog materijala ili uz dodavanje materijala naziva se zavarivanje. Uz zagrijavanje često se primjenjuje povećani tlak, a zavarivanje bez djelovanja topline nije učestalo (Lukačević, 1998.).

Na slici 12. prikazan je zavareni spoj. Zavareni spoj čini cjelinu, realiziranu zavarivanjem, koja objedinjuje dodirne dijelove zavarenih komada. Međusobnim položajem zavarenih dijelova i njihovim oblikom zavarenih krajeva je određena (Samardžić i sur., 2015.).



Slika 12: Shema zavarenog spoja (Izvor: Jeftinija, 2007.)

Dio materijala koji prilikom zavarivanja bio rastaljen naziva se zavar, a zavareni spoj se sastoji od zavora i susjedne zone u kojoj nastaju strukturne promjene zbog povišene temperature. Svojstvo i kvaliteta zavarenog spoja ovise o količini i gibanju taline, brzini zavarivanja, raspodjeli temperature na mjestu zavarivanja, miješanju osnovnoga i dodatnoga materijala i dr. (<https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=66965>).

Zavarivanje je interdisciplinarna tehnologija. Za korištenje i razumijevanje ove vrste tehnologije potrebna su znanja iz raznih područja: termodinamika, znanost o materijalima, elektrotehnika, znanost o metalurgiji, kemija i sl. (Jeftinija, 2007.).

Za popravak oštećenih dijelova primjenjuje se zavarivanje i navarivanje dijelova. U ljevaonicama sivog lijeva se u slične svrhe koristi zavarivanje i navarivanje za popravak defektnih novih odljevaka. U proizvodnji novih dijelova ne primjenjuje se zavarivanje sivog lijeva (Janješić, 2017.).

Zavarljivost je sposobnost materijala da se pri određenim povoljnim uvjetima ostvari kontinuirani zavareni spoj koji će svojstvima udovoljavati budućim uvjetima i vijeku eksploatacije (Ćosić, 2016.).

Zavarljivost može biti (Jeftinija, 2007.):

- a) Jako slaba: ako nije moguće izvesti zavarivanje koje je ekonomski prihvatljivo
- b) Slaba: potrebne su specijalne predrađnje i mjere opreza
- c) Dobra: zavarivanje bez specijalnih predrađnji i mjera opreza.

Zahtjevi za kvalitetu zavarljivost (Lukačević, 1998.):

- a) nakon zavarivanja zadovoljavajuća žilavost materijala
- b) što manji udio ugljika jer utječe na rast zakaljivosti, krhkosti i tvrdoće
- c) zadovoljavajuća krhkost.

Zahtjevi koji se postavljaju za zavareni spoj ili zavar su sljedeći (Janješić, 2017.):

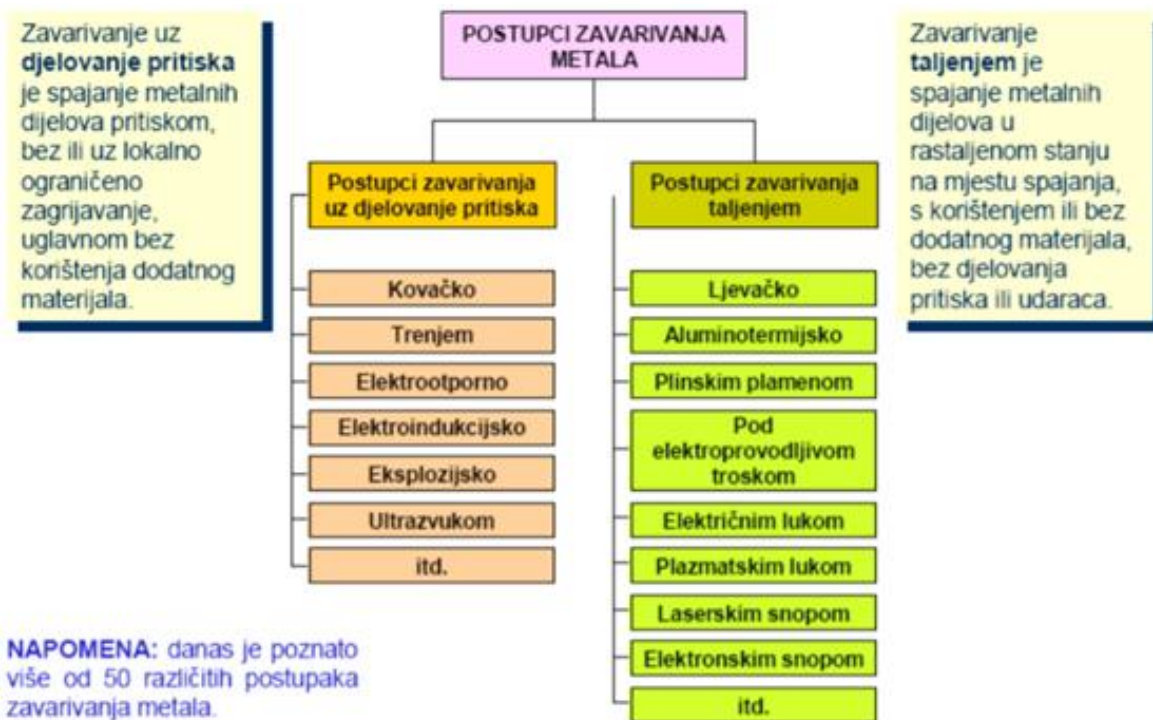
- mehanička nosivost
- nepropusnost
- kvalitetna mogućnost strojne obrade
- kombinacije gornjih zahtjeva.

## **4.2. Podjela postupaka zavarivanja**

Postupci zavarivanja ovisno o izvoru topline, načelno se mogu podijeliti u dvije skupine:

- a) postupci plinskog zavarivanja – izgaranjem smjese plinova nastaje toplina za zavarivanje, a dodatni materijala se dostavlja u obliku žice pri zavarivanju,
- b) postupci električnog zavarivanja – zbog uspostavljanja električnog luka između osnovnog materijala i elektrode nastaje toplina za zavarivanje.

U praksi postoji više od 50 postupaka zavarivanja metala, kao što je prikazano shemom na slici 13. Svi prikazani postupci zavarivanja primjenjivi su za konstrukcijske čelike, dok se za druge metale mogu se primijeniti samo određeni postupci (Jeftinija, 2007.).



Slika 13: Postupci zavarivanja metala (Izvor: Jeftinija, 2007.)

Od prikazanih brojnih primjera postupaka zavarivanja, pobliže će biti objašnjeni samo postupci koji se koriste za zavarivanje sivog lijeva, a to su:

- zavarivanje plinskim plamenom,
- zavarivanje električnim lukom.

**Zavarivanje plinskim plamenom** jedan je od najstarijih i najsvestranijih postupaka zavarivanja. Prilikom ovog postupka izgaranjem gorivih plinova dobiva se toplinska energija. Plamen koji nastane omekšava rubove metala i dodatnog šipkastog materijala. Osim acetilen ( $C_2H_2$ ) koji se najčešće koristi kao gorivi plin, još se koriste: vodik, gradski plin, metan, propan, butan i drugi (RAM, 2011.).

Najveću primjenu plinsko zavarivanje nalazi u spajanju materijala malih debljina (tankostjeni profili, limovi). Također, primjenu nalazi i u uvjetima nedostatka izvora električne struje (Lukačević, 1998.).

Slika 14. prikazuje način izvođenja zavarivanja plinskim plamenom.



Slika 14: Zavarivanje plinskim plamenom (Izvor: Kopic, 2007.)

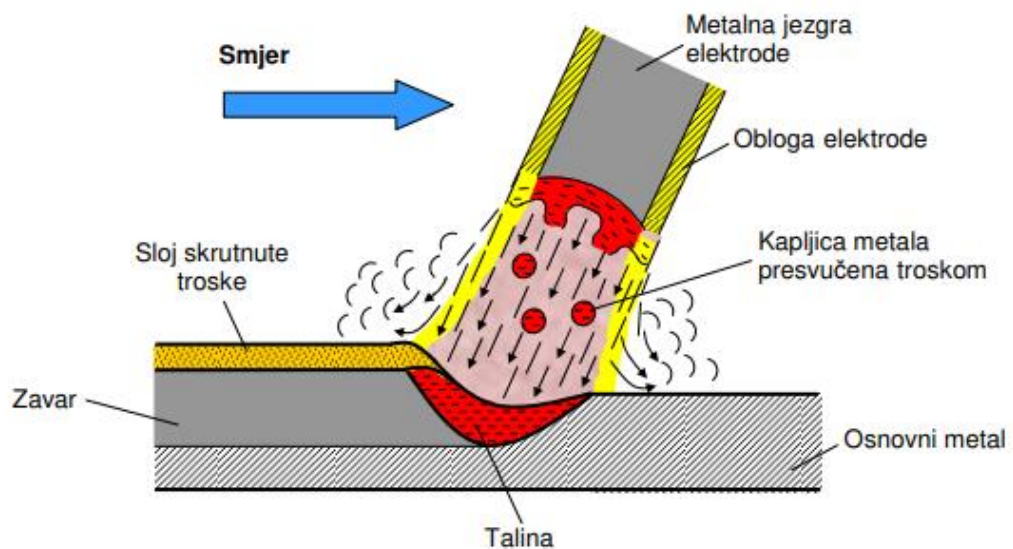
Mješavina gorivog plina i kisika je najčešće u omjeru 1:1, ali postoji mogućnost i drugom omjera. U opremu za zavarivanje plinskim plamenom spadaju: dvije boce plina, cijevi za zavarivanje, plamenik, redukcijski ventil i dodatni materijal. Plamenik je najvažniji dio opreme. Zavarivanje plinskim plamenom upotrebljava se za zavarivanje sivog lijeva, čelika, aluminijska, bakra i njihovih legura (Jeftinija, 2007.).

Oprema za plinsko zavarivanje je jeftina, brzina zavarivanja je mala, postupak je jednostavan, a eksplozivnost i zapaljivost plina su povećane pri radu. Za ovaj postupak zavarivanja potrebna je kvalitetna osposobljenost zavarivača. Prije se ova metoda koristila puno češće, za različite zadatke, ali su nove i brže metode zavarivanja preuzele većinu poslova (RAM, 2011.).

**Zavarivanje električnim lukom** zbog uspostavljanja električnog luka između osnovnog materijala i elektrode nastaje toplina za zavarivanje. Elektroda može biti taljiva i tada predstavlja izvor dodatnog materijala, a kada je netaljiva tada se dodatni materijal dobavlja iz nekog drugog izvora. Moguće je korištenje obložene ili neobložene elektrode, ovisno koji je postupak zavarivanja. Kruti zaštitni sloj se stvara taljenjem materijala obloge elektrode te on zavareno mjesto štiti od štetnog utjecaja okoline. Ovaj način zavarivanja koristi se uglavnom kod običnog ručnog elektrolučnog zavarivanja – REL (Lukačević, 1998.).

Slika 15. prikazuje shemu elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom.





Slika 15. Shema elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom  
(Izvor: Jeftinija, 2007.)

### 4.3. Reparturno zavarivanje

Tehnološki kompleksna disciplina, koja nalaže određene vještine i specifična znanja, naziva se reparturno zavarivanje. U većini industrijskih grana kao što su kemijska i petrokemijska industrija, građevinarstvo, strojogradnja, naftna industrija, valjaonice i slično provode se reparature. Pojam „reparturno zavarivanje“ obuhvaća postupke zavarivanja koji su izvođeni nakon utvrđenog oštećenja ili kvara u okviru uređaja u procesu eksploatacije ili popravaka dijelova određenog stroja (Juraga i sur., 1994.).

Primjer reparturnog zavarivanja u radionici prikazan je na slici 16.

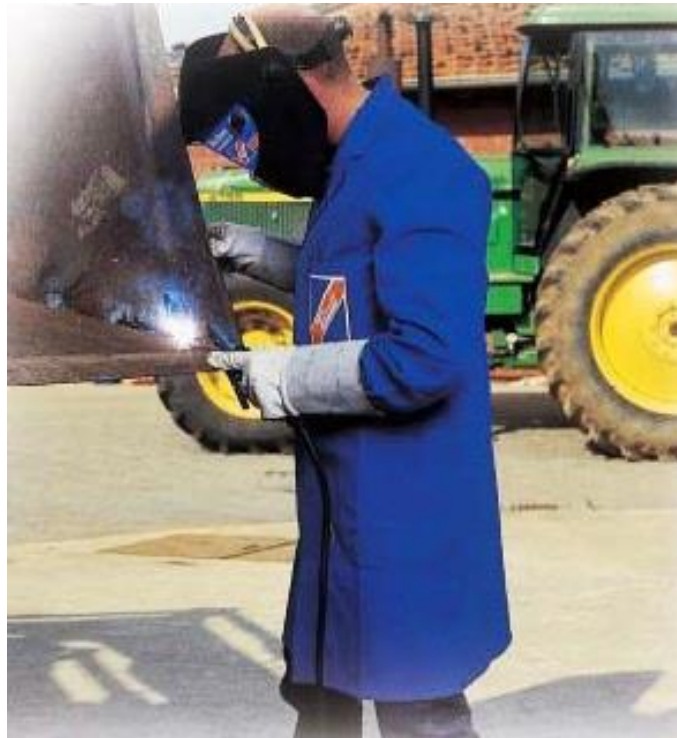


Slika 16: Reparturno zavarivanje

(<https://www.bigagroup.com/images/ships/specijalna-zavarivanja/specijalna-reparturna-zavarivanja-navarivanja/srz4.png>)

Nastavak eksploatacije radnih strojeva omogućuje se vraćanjem repariranih, odnosno obnovljenih ili popravljenih dijelova u uređaj ili sastav stroja, s funkcijom kao novi dijelovi. Najčešće izvođenje reparaturnog zavarivanja radi se na terenu, odnosno ne obavlja se unutar posebno specijalizirane radionice za zavarivanje (Juraga i sur., 1994.).

Slika 17. prikazuje primjer izvođenja reparaturnog zavarivanja oštećenog dijela traktorskog utovarivača na terenu.



Slika 17: Reparaturno zavarivanje na terenu (Izvor: Jeftinija, 2007.)

Pristup postupku reparaturnog zavarivanja određenog strojnog dijela moguće je podijeliti u četiti faze (Juraga i sur., 1994.):

- utvrđivanje stane oštećenja: prikupljanje poznatih podataka o materijalu, oštećenju te uvjetima eksploatacije
- procjena situacije i donešenje odluke o reparaturi zavarivanje ili nekom drugom srodnom tehnologijom
- propisivanje (plan u pisanom obliku) tehnologije popravka
- obavljanje popravka te arhiviranje dokumentacije.

Provođenjem reparaturnog zavarivanja oštećenih dijelova strojeva na terenu omogućuju se minimalni tehnološki zastoji, što je posebno važno za proizvodnje koje su sezonskog karaktera ili ovise o vremenskim uvjetima, kao što je slučaj u poljoprivrednoj proizvodnji.

## 5. ZAVARIVANJE SIVOG LIJEVA

Izbor postupka zavarivanja ovisi o mogućnostima realizacije i postavljenim zahtjevima. Podjela postupaka je sljedeća (Janješić):

1. Toplo ili polutoplo stanje – predmet se zagrijava na temperaturu između 580 i 600 °C, a nekad i do 800 °C pa se izvodi zavarivanje. Kod polutoplog zavarivanja predgrijavanje je na 300 do 400 °C i zagrijava se samo dio koji je uz zavareni spoj.
2. Hladno stanje – predmet se ne predgrijava, nego se odmah kreće sa zavarivanjem.

### 5.1. Zavarivanje sivog lijeva u toplom ili polutoplom stanju

Pri zagrijavanju predmeta na temperaturu od 580 do 600 °C postiže se najbolji rezultat zavarivanja sivog lijeva. Održavanje temperature predgrijavanja za vrijeme zavarivanja se izvodi u peći gdje se izvršava zagrijavanje. Zagrijavanje predmeta treba biti dovoljno sporo na temperaturu predgrijavanja kako bi se izbjegle razlike u temperaturama određenih mjesta odljevka. Temperaturna naprezanja su uzrokovana zbog razlike u temperaturi, a lom po cijelom presjku komada ili pukotine mogu biti posljedice. Dozvoljena brzina zagrijavanja ovisi o složenosti odljevka. Optimalna brzina zagrijavanja za složene odljevke poput blokova motora sa debelim i tankim stjenkama treba biti od 10 do 15 °C/h, što uzrokuje duže vrijeme zagrijavanja na 600 °C, do čak 39 h. Za jednostavne odljevke brzina zagrijavanja može biti veća, ali ne može iznositi više od 40 °C/h. U slučaju da nema mogućnosti zagrijavanja u peći, moguće je zagrijavanje predmeta plinskim plamenom. Predmet se pokriva izolacijom kada je predgrijan na 600 °C. Jedino je mjesto zavarivanja potrebno ostaviti dostupnim iz razloga što predmet isijava toplinu i u tom stanju bi zavarivač teško radio. Poslije završetka zavarivanja, predmet treba što sporije hladiti, to jest jednakom brzinom kao i za vrijeme zagrijavanja, a to se ostvaruje pokrivanjem zavara (npr. suhim zagrijanim pijeskom), da bi se održala mala brzina hlađenja. (Janješić, 2017.)

Ukoliko u toku zavarivanja predmet nije ravnomjerno zagrijavan, tada ga se poslije završetka zagrijavanja mora ravnomjerno zagrijati na temperaturu popuštanja zaostalih napetosti (iznosi 650 °C) te sporo ohladiti, naprimjer brzinom 15 °C/h. Ukoliko su mase predmeta, odnosno peći dovoljno velike sporo hlađenje može se postići hlađenjem u peći. Hlađenje predmeta koji nisu kompliciranog i složenog oblika može biti puno brže. Ukoliko je odljevak kontinuiranog presjeka i jednostavnog oblika (npr. cijev), tada postoji mogućnosti da se samo lokalno zagrije mjesto zavarivanja ili navarivanja iz razloga što će biti omogućeno

stezanje i širenje pri zagrijavanju, zavarivanju te hlađenju. Odljevak je u ovom slučaju moguće predgrijati samo lokalno, to jest po opsegu, pa se ova vrsta postupka naziva zavarivanje u polutoplom stanju (Jeftinija, 2007.).

Dodatni materijal za zavarivanje sivog lijeva u toplom ili polutoplom stanju također je sivi lijev sastava: 3,0 – 3,6 % C, više od 3,0 % Si, 0,5 – 0,8 % Mn, maksimalno 0,6 % P te maksimalno 0,1 % S. Vidljivo je da je u odnosu na temeljni materijal visok sadržaj silicija. Za plinsko zavarivanje debljina šipke dodatnog materijala iznosi od 4 do 12 mm, dok je za elektrolučno zavarivanje debljina šipke do 20 mm. Presjek može biti kvadratni, pravokutni, trapezni ili okrugli. Šipke su pune ili sadrže žljebove s topiteljima, koji imaju svrhu olakšavanja prečišćavanja kupke ili kako bi stabilizirali električni luk kod elektrolučnog zavarivanja (<https://dokumen.tips/documents/sivi-lijev-zavarivanje.html>).

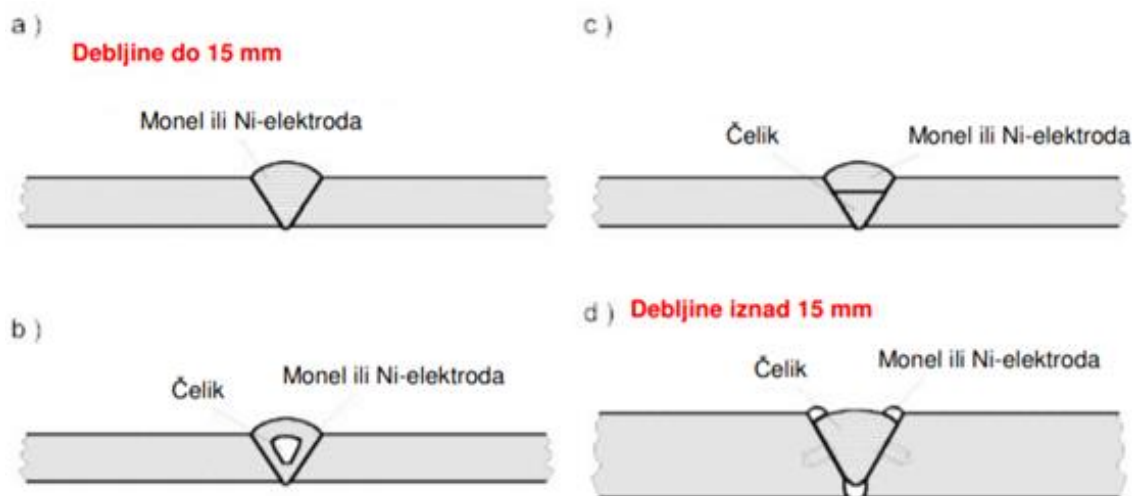
Kod zavarivanja sivog lijeva iste šipke se mogu koristiti i za plinsko i za elektrolučno zavarivanje. REL zavarivanje se može izvoditi i ugljenim elektrodama uz dodatni materijal. Za automatsko i poluautomatsko zavarivanje, odnosno navarivanje, u zaštiti ugljičnog dioksida (MAG) također se primjenjuju i elektrodne žice s jezgrom. Toplo zavarivanje uz visoko predgrijavanje, kada sivi lijev može izdržati deformacije, omogućuje postizanje kvalitetnog homogenog spoja bez pukotina. Veličine sapnica (dizni) za plinsko zavarivanje ovisi o debljini šipke dodatnog materijala, te se kreće od malih za tanje šipke do najvećih za debele šipke (Jeftinija, 2007.).

## **5.2. Zavarivanje sivog lijeva u hladnom stanju**

Sivi lijev obično, zbog raznih razloga, nije moguće zavarivati u toplom stanju. Razlozi su sljedeći: veličina predmeta (uobičajeno je prevelik), veliki troškovi, kvalitetno obrađene površine s tolerancijama. Zbog navedenih razloga zavarivanje se vrši samo elektrolučnim postupkom zavarivanja u hladnom stanju. Cilj je osigurati da predmet ostane što više hladan te da se ne nakupljaju zaostale napetosti kod hladnog zavarivanja. Preporučeni su kratki zavari za Monel elektrodu od 15 do 20 mm, dok su za obične nelegirane elektrode preporučene dulje od 40 do 60 mm. Pomoću toga može se udovoljiti zahtjevu da poslije ohlađivanja dijela zavara temperatura mjesta ne smije biti veća od 70 °C na mjestu na kojem se nastavlja zavar. Držanje ruke na mjestu kontrole je jednostavno kontrola ove temperature. Ruka može izdržati tu temperaturu bez bilo kakvih problema i posljedica po zavarivača. Potrebno je zavarivanje kratkih zavara kako bi se izbjegla visoka zaostala naprezanja te

lokalno zavarivanje, kao što je i potrebno primjenjivanje rakovog koraka, mijenjanje mjesta zavarivanja te zavarivanje na preskok (Janješić, 2017.).

Primjeri različitih izvedbi hladnog zavarivanja sivog lijeva prikazani su na slici 18.



Slika 18. Različite izvedbe hladnog zavarivanja sivog lijeva (Izvor: Jurković, 2016.)

U pojedinim slučajevima moguće je zavarivanje sivog lijeva plinskim plamenom u hladnom stanju. Tijekom postupka rubove materijala je potrebno omekšavati, pa zavarivanje ima sličnosti s tvrdim lemljenjem. Dodatni materijal je šipka na bazi nikla (Jeftinija, 2007.)

Kod zavarivanja odljevaka u hladnom stanju dodatni materijal (elektrode) su drugačije od sastava sivog lijeva. Obložene elektrode za zavarivanje sivog lijeva na hladno REL postupkom po sastavu podijeljene su u tri skupine (Jurković, 2016.):

- Obložene elektrode od čistog nikla (96 – 98 % Ni, ostatak Fe) - elektrodama od čistog nikla postiže se najbolji rezultat kod zavarivanja;
- Obložene elektrode nikal-željezo (Ni-Fe) s oko 55 % Ni i oko 45 % Fe;
- Obložene Monel elektrode s oko 70 % Ni i oko 30 % Cu.

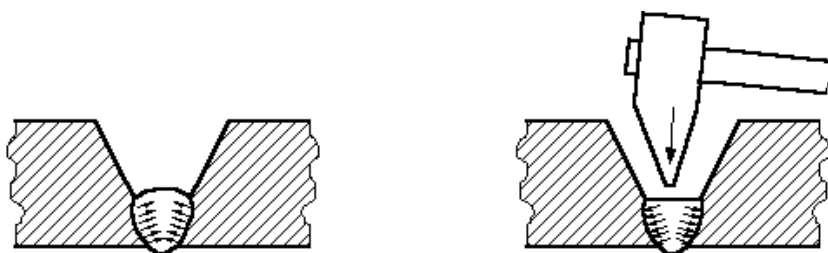
### 5.3. Problemi zavarivanja sivog lijeva

Osnovni problem zavarivanja sivog lijeva je njegova mala istezljivost. Sivi lijev ne podnosi plastične deformacije koje nastaju pri grijanju i hlađenju kod zavarivanja (RAM, 2011.).

Iz strukturne građe sivog lijevog proizlazi problematika zavarivanja sivog lijeva. Grafitna struktura koja je u oblika lamela je ponajveći problem kod zavarivanja sivog lijeva. Grafitna struktura zbog svog oblika povećava krhkost, a smanjuje čvrstoću. Unutarnje napetosti nastale kod zagrijavanja i hlađenja sivi lijev nikako ne podnosi. Česta pojava do koje dolazi

su pukotine koje nastaju ako unutarnje napetosti prerastu lomnu čvrstoću. Potrebno je paziti da se hlađenje provodi kontroliranom brzinom, posebice ako nije bilo predgrijavanja. Moguće je zavarivanje svih standardnih vrsta sivog lijeva, ali se zbog brojnih vanjskih utjecaja ova sposobnost može izgubiti kod odljevaka koji se mogu zavarivati u normalnom stanju. To se može dogoditi ako su odljevci duže vrijeme izloženi visokim temperaturama, djelovanju pregrijane pare te kiselinama. Tada zavarivanje više nije moguće zato što materijal promijeni stukturu. To se primjećuje kod zavarivanja tako što se osnovni materijal ne spaja kvalitetno s dodatnim („bježi“ i „kipi“) (Maroević, 2007.).

Janješić (2017.) navodi da se plinskim postupkom na toplo zavaruju se manji strojni dijelovi od sivog lijeva, zbog toga što je postupak ekonomičan, a zavarivanje je jednostavno i jeftino. Najjednostavnije zavarivanje REL postupkom je na hladno kod dijelova srednjih veličina kao što su blokovi motora, dijelovi crkpa, postolja strojeva i slično, ali samo u slučajevima kada nema mogućnosti demontaže ni deformacija. Preporučena je primjena čekićanja zavara za smanjenje sila stezanja. Shema čekićanja zavara prikazana je na slici 19.



Slika 19. Shema čekićanja zavara zbog smanjenja napetosti (Izvor: Jeftinija, 2007.)

Kod zavara koji prenose veće mehaničke sile preporuča se na spojevima predvidjeti ojačanja koja se izvode uvrtnim vijcima. Rupe s navojima se ubušuju u spojne površine i u njih se uvrću vijci, kao na slici 20. te se zavarivanjem preko vijaka postiže bolja međusobna mehanička veza. Ukoliko se pojave pukotine u zoni zavara, sile će prenositi spoj vijaka.



Slika 20. Primjer ugradnje uvrtnih vijaka u spojne površine odljevka  
(Izvor: <https://www.mig-welding.co.uk/cast-iron/studding.jpg>)

## 6. PRIMJERI ZAVARIVANJA SIVOG LIJEVA U POLJOPRIVREDI

Brojni su primjeri zavarivanja zavarivanja u popravcima dijelova poljoprivrednih strojeva (reparaturi). Uglavnom je riječ o popravcima dijelova čija bi zamjena novima predstavljala značajan financijski trošak ili bi vrijeme nabavke i zamjene novim dijelom bilo vremenski predugo, što bi moglo utjecati na dinamiku proizvodnje.

Slika 21. prikazuje primjer reparaturnog zavarivanja glave motora traktora



Slika 21. Reparaturno zavarivanje glave motora traktora

(Izvor: <https://www.gardentractortalk.com/threads/repairing-a-kubota-d600-engine-with-a-cracked-head.80660/>)

Slika 22. prikazuje primjer reparaturnog zavarivanja razvodne grane ispuha traktora



Slika 22. prikazuje primjer reparaturnog zavarivanja razvodne grane ispuha traktora

(Izvor: <https://www.therestorationshoponline.com/casting-repair.html>)

## 7. ZAKLJUČAK

Sivi lijev je krhak materijal, koji ima odličnu otpornost na koroziju i trošenje, kvalitetno se obrađuje rezanjem te izvrsno prigušuje vibracije. U usporedbi s drugim ljevovima i čelicima puno je ekonomičniji za izradu određenih strojnih dijelova. Kućišta traktorskih mjenjača brzina, zupčanici mjenjača, zamašnjaci, remenice, bubnjevi kočnica, dijelovi sjetvenih aparata i drugi dijelovi poljoprivrednih strojeva i uređaja izrađuju se od sivog lijeva.

Zavarivanje sivog lijeva iznimno je bitno poznavanje sivog lijeva u pogledu njegove strukture, svojstava i kemijskog sastava. Grafitna struktura u obliku lamela predstavlja najveći problem kod zavarivanja iz razloga što se uslijed porasta temperature povećava krhkost i smanjuje čvrstoća.

Zavarivanje sivog lijeva moguće je provoditi na toplo/polutoplo i hladno. Izvođenje zavarivanja na toplo moguće je elektrolučnim ili plinskim postupkom, dok se zavarivanje na hladno izvodi ručnim elektrolučnim (REL) postupkom.

U brojnim industrijskim granama reparaturno zavarivanje sivog lijeva se primjenjuje zbog jefitnog izvođenja, te izdržljivosti i čvrstoće zavarenih dijelova. Upravo to su razlozi velike primjene u poljoprivredi.

Kako bi se ostvarili svi pozitivni efekti reparaturnog zavarivanja sivog lijeva, potrebno je zadovoljiti određene uvjete, poput kvalitetne i pažljive pripreme, vrlo dobrog poznavanja osnovnih i dodatnih materijala, te dosljednog poštivanja procedure izvođenja postupka zavarivanja. Kada su navedeni uvjeti zadovoljeni, može se očekivati kvalitetan rezultat reparaturnog zavarivanja i potpuna sigurnost repariranog dijela tijekom eksploatacije.



## 8. POPIS LITERATURE

Budić I. (2006.): Posebni ljevački postupci 1. dio. Udžbenik, Strojarski fakultet Slavonski Brod.

Ćosić, S. (2016.): Osiguranje kvalitete zavarenih spojeva u brodograđevnom proizvodnom procesu. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.

Filetin T.; Kovačiček F.; Indof J. (2002.): Svojstva i primjena materijala, Sveučilišni udžbenik, FSB Zagreb.

Gabrić, I.; Šitić, S. (2012.): Materijali I. Udžbenik, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split. [https://www.bib.irb.hr/665498/download/665498.MATERIJALI\\_1\\_skripta\\_listopad\\_2013.pdf](https://www.bib.irb.hr/665498/download/665498.MATERIJALI_1_skripta_listopad_2013.pdf) (20.06.2021.)

Galić M. (2008.): Proizvodnja metalnih odljevaka. Priručnik, Hrvatsko udruženje za ljevarstvo, Zagreb.

Golubić, S. (2019.): Tehnički materijali I dio. Udžbenik, Veleučilište u Bjelovaru. [https://vub.hr/images/uploads/5816/tehnicki\\_materijali\\_-\\_i.\\_dio\\_-\\_metalni\\_materijali.pdf](https://vub.hr/images/uploads/5816/tehnicki_materijali_-_i._dio_-_metalni_materijali.pdf) (17.06.2021.)

Janješić, F. (2017.): Svojstva i primjena sivog lijeva pri izradi dijelova poljoprivredne tehnike, Završni rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

Jeftinija, S. (2007.): Primjena reparaturnog zavarivanja sivog lijeva u poljoprivrednoj mehanizaciji. Diplomski rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.

Juraga I.; Živčić M.; Gracin M. (1994.): Reparturno zavarivanje. Tehnička knjiga Zagreb.

Jurković, K. (2016.): Reparturno zavarivanje sivog lijeva. Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb.

Kopić, I. (2007.): Reparturno zavarivanje aluminijskih materijala u poljoprivrednoj tehnici. Diplomski rad, Veleučilište u Požegi, Poljoprivredni odjel u Vinkovcima.

Leksikografski zavod Miroslav Krleža, LZMK (2021.): Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=67682> (20.6.2021.)

Lukačević Z. (1998.): Zavarivanje. Udžbenik, Strojarski fakultet Slavonski Brod (SFSB).

Maroević F. (2007.): Problematika zavarivanja sivog lijeva. Tehnički glasnik 1(1-2): 20-23.

Novosel, M.; Krumes, D. (1997.): Željezni materijali, Udžbenik, SFSB, Slavonski Brod,

RAM Rijeka (2011.): Osnovni postupci zavarivanja. <https://www.ram-rijeka.com/Repository/Dokumenti/Osnovni-postupci-zavarivanja.pdf> (28.6.2021.)

Samardžić, I.; Bogovac, D.; Jorgić, T.; Kovačić, K. (2015.): Primjena TIG postupka zavarivanja u spajanju pozicija. Tehnički vjesnik 9 (2): 202-208

Živčić M.; Remenar I. (1972.): Zavarivanje: Tehnološke podloge i unapređenje. Društvo za tehniku zavarivanja Hrvatske, Zagreb.

<https://agrodoctor.eu/en/header/131016-header-v-belt-pulley-675909-claas.html> (5.7.2021.)

<https://autoline.hr/-/prodaja/zamasnjaci/za-traktora/--20042412411751576700> (3.7.2021.)

<https://miv.hr/proizvodi/zasuni/zasuni-s-metalnim-brtvljenjem/zasuni-s-nepodizucim-vretenom/ovalni-zasun-30/> (2.7.2021.)

<https://www.bigagroup.com/images/ships/specijalna-zavarivanja/specijalna-reparatura-zavarivanja-navarivanja/srz4.png> (27.6.2021.)

<https://www.mpd-pumpe.hr/media/KATALOZI/ZupastepumpetipZOL-GearPumpstypeZOL.pdf> (2.7.2021.)

<https://www.njuskalo.hr/dijelovi-za-traktore/dobos-bubanj-kocnica-zetor-oglas-30316906> (3.7.2021.)

<https://strojopromet.com/sivi-lijev/> (24.6.2021.)

<https://dokumen.tips/documents/sivi-lijev-zavarivanje.html> (25.6.2021.)

<http://www.iron-foundry.com/flywheel-castings.html> (10.7.2021.)

<http://www.iron-foundry.com/grey-iron-belt-pulley.html> (10.7.2021.)

<http://www.iron-foundry.com/tractor-gearbox.html> (10.7.2021.)