

Упоредно ултразвучно и пенетрантско испитивање заварених спојева носеће челичне конструкције

Aleksandar Đurović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Упоредно ултразвучно и пенетрантско испитивање заварених спојева носеће челичне конструкције | Aleksandar Đurović | | 2023
||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007552>

Univerzitet u beogradu
Rudarsko-Geološki fakultet



MASTER RAD

**Uporedno ultrazvučno i penetrantsko ispitivanje
zavarenih spojeva noseće čelične konstrukcije**

Student:

Đurović Aleksandar
R559-22

Mentor:

Prof. dr Predrag Jovančić

Beograd, septembar 2023

Komisija:

1. Prof. dr Predrag Jovančić, mentor

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

2. Prof. dr Dragan Ignjatović, član

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

3. Doc. dr Stevan Đenadić, član

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Datum odbrane: _____

SADRŽAJ

1. OPŠTI DEO	1
1.1 UVOD	1
2. NOSEĆA ČELIČNA KONSTRUKCIJA RUDARSKIH MAŠINA.....	5
2.1 KONTINUALNA MEHANIZACIJA	8
2.2 DISKONTINUALNA MEHANIZACIJA	9
3. SPAJANJE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA	11
3.1 RAZDVOJIVI SPOJEVI	11
3.1.1 Zavrtnji	11
3.1.2 Klinovi	12
3.2 NERAZDVOJIVI SPOJEVI	12
3.2.1 Zavareni spojevi.....	12
3.2.2 Zakovani spojevi	13
4. ZAVARENI SPOJEVI.....	15
4.1 POSTUPCI ZAVARIVANJA.....	15
4.2 ELEMENTI ZAVARENIH SPOJEVA	17
4.3 PRIMERI ZAVARENIH SPOJEVA.....	21
5. NAPREDNE TEHNIKE DIJAGNOSTIČKOG ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA.....	23
5.1 OPŠTE.....	23
5.2 ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE.....	23
5.3 PENETRANTSKO ISPITIVANJE.....	35
6. ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA NOSEĆE ČELIČNE KONSTRUKCIJE	42
6.1 REZULTATI ULTRAZVUCNOG ISPITIVANJA	44
6.2 REZULTATI PENTRANTSKOG ISPITIVANJA	45
6.3 UPOREDNA ANALIZA	46
7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	49
8. LITERATURA	51

Rezime: Master rad će se bazirati na tehničkoj dijagnostici sistema koji se bavi određivanjem stanja zavarenih konstrukcija sa ciljem da se utvrdi moguća pojava neispravnosti. Za ispitivanje i utvrđivanje stanja zavarenih spojeva su korišćene dve metode a to su Ultrazvučna metoda kao i Penetrantska metoda. Pomenuto ispitivanje se vršilo u kompaniji "Cimolai" sa sedistem u Italiji u gradu Monfalcone nadomak Trsta. U nastavku rada biće prikazan ceo proces pronalaska nedostatka u zavarenom spoju, utrazvučnom metodom, zatim otkopavanje zavarenog spoja do mesta nedostatka i nakon toga otklanjanje greške i ponovno utvrđivanje njenog postojanja.

Ključne reči : tehnička dijagnostika, zavareni spojevi, ultrazvuk, penetracija

1. OPŠTI DEO

1.1 Uvod

Tehnička dijagnostika se može primeniti u skoro svim područjima industrije i tehnologije, kako bi se osigurao kvalitet proizvoda, ekonomičnost i efikasnost procesa, a prevashodno u cilju osiguranja sigurnosti i pouzdanosti.

Jedan od segmenata tehničke dijagnostike se bavi kontrolom bez razaranja, koja uključuje razradu tehnologije grešaka i procene uticaja gresaka na kvalitet materijala sastavnih delova sistema. Metode kontrole bez razaranja se baziraju na fizičkim svojstvima materijala koji se ispituju, i unutar svake postoji niz metoda zavisno od karaktera energetskog polja koje se koristi u metodi. U principu, sve metode tehničke dijagnostike koje su navedene u ovom radu su metode nedestruktivne kontrole. Uprkos potpuno različitim fizičkim osnovama, zajednički cilj je otkrivanje skrivenih defekata u materijalu, čime se blagovremenom zamenom ili opravkom da predupredi otkaz nekog dela ili celog sistema.

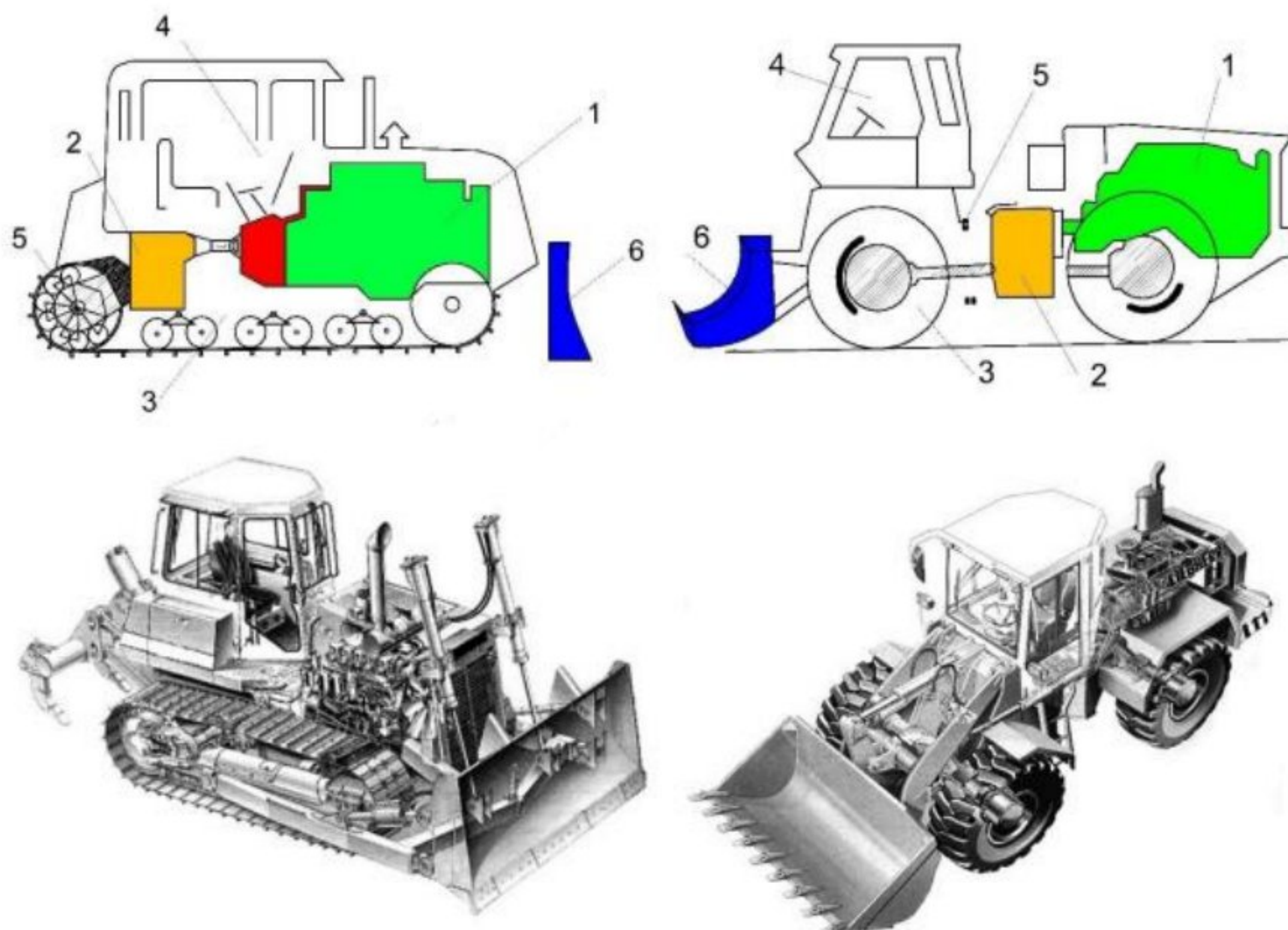
U ovom radu biće predstavljeno ispitivanje zavarenog spoja na čeličnoj konstrukciji sa Ultrazvučnom metodom i Pentrantskom metodom kao i njihovi rezultati.

U prvom delu rada je prikazana i opisana čelična konstrukcija diskontinualne i kontinualne mehanizacije kao i svi delovi koji je grade. Zatim prelazimo na postupke zavarivanja i dijagnostičke metode ispitivanja i baziramo se na diaganostičku metodu bez razaranja, kao i primerima na kojima je vršena kontrola.

Osnovni delovi rudarskih mašina

Svaka mašina se konstruktivno sastoji iz šest osnovnih grupa elemenata:

- **čelične konstrukcije mašine**, koja mašini daje prostornu čvrstoću i omogućavaju postavljanje mehanizama na mašinu
- **pogonskog uređaja — motora**, koji se javljaju kao izvori energije za pokretanje elemenata mašine,
- **prenosnih mehanizama (transmisije)** koji povezuju radni organ sa pogonskim motorom (vratila, zupčasti i drugi prenosi i sl.),
- **radnog organa**, tj. elemenata koji neposredno ostvaruju tehnološku operaciju (na primer, kašflce bagera i sl.),
- **sistema upravljanja**, kojim se obezbeđuje uključivanje i isključivanje pojedinih mehanizama mašina,
- **uređaja za transport**, odnosno kretanje masine (pneumatici, gusenice, koračajući uređaj i sl.), koji je kao sastavni deo uključen u opštu konstrukciju pokretnih mašina.



Slika 1. Osnovni delovi rudarskih mašina (dozera i utovarivača)

1 - pogonski agregat odnosno motor sa pomoćnim agregatima snage; 2 - transmisija; 3 - uređaj za transport sa vešanjem i kočnicama; 4 - kabina i elementi oslanjanja mašine; 5 - mehanizam upravljanja; 6 - radni organ.

Čelična konstrukcija rudarskih mašina

Čelična konstrukcija rudarskih mašina predstavlja kostur mašine koji je nosi i prima sve sile koje se javljaju u procesu rada i prenosi na vozni planum. Svi delovi noseće konstrukcije moraju obezbediti prenošenje sila i pri nepovoljnim kombinacijama opterećenja, a da pri tome ima zadovoljavajuću krutost. Čelična konstrukcija sastoji se od osnovne noseće i pomoćne konstrukcije. Osnovna noseća konstrukcija predstavlja konstrukciju koja prima osnovna opterećenja i nosi sve mehanizme, dok se pod pomoćnom konstrukcijom podrazumevaju gazišta, stepeništa, zaštitni limovi i dr.

Osnovna - noseća čelična konstrukcija Osnovna noseća konstrukcija predstavlja konstrukciju koja prima osnovna opterećenja i nosi sve mehanizme. Kod svih delova noseće konstrukcije se mora obezbediti prenošenje sila i pri nepovoljnim kombinacijama opterećenja i mora se starati da konstrukcija ima zadovoljavajuću krutost na uvijanje. Uležištenja mašinskih delova moraju biti takva da besprekorno prihvataju sile ležaja, a mora se voditi računa i o tome da u nepovoljnim okolnostima mogu da izdrže i povećane sile trenja u uležištenjima.

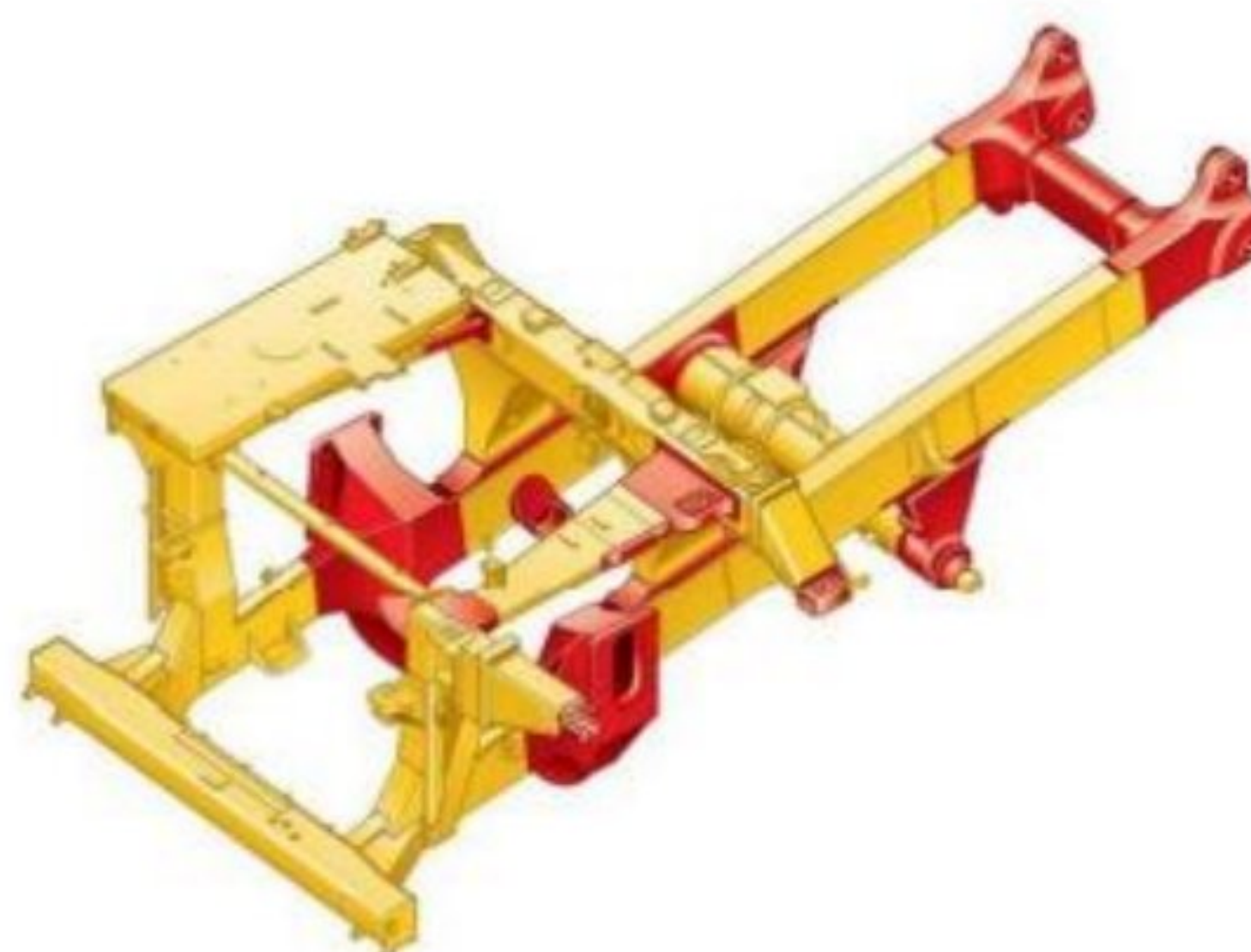
Opšta pravila za konstruisanje detalja čelične konstrukcije se ne mogu utvrditi, već se prilagođavaju karakteristikama koje su zadate za razmatranu mašinu. Kod manjih mašina prednost se daje konstrukcijama punih zidova, dok se kod mašina srednje veličine samo još poneki delovi izrađuju od punih zidova, a svi noseći delovi iznad obrtne platforme su rešetkaste konstrukcije. Svi delovi donje gradnje i vozni mehanizama, kao i obrtne platforme kod svih mašina se izrađuju od punih zidova. Na slici 2.2 prikazana je osnovna noseća konstrukcija rotornog bagera, dozera na pneumaticima i kamiona kipera velike nosivosti.

Pomoćna čelična konstrukcija

Pomoćna čelična konstrukcija obuhvata delove koji su potrebni za kretanje po mašini, za vođenje toka otkopanog materijala na presipnim mestima i one koje služe za zaštitu.



a)



b)



c)



d)

Slika 2. Osnovna noseća konstrukcija rudarskih mašina

a) rotorni bager (strela rotornog točka); b) kamion (damper); c) dozer na pneumaticima; d) dozer na gusenicama

2. NOSEĆA ČELIČNA KONSTRUKCIJA RUDARSKIH MAŠINA

Noseća čelična konstrukcija bagera povezuje sve radne uređaje i prenosi njihove mase i spoljne sile koje na njih deluju na mehanizam za kretanje mašine.

Svi delovi noseće konstrukcije moraju obezbediti prenošenje sila i pri nepovoljnim kombinacijama opterećenja, a da pri tome ima zadovoljavajuću krutost.

Osnovna noseća konstrukcija predstavlja konstrukciju koja prima osnovna opterećenja i nosi sve mehanizme, dok se pod pomoćnom konstrukcijom podrazumevaju gazišta, stepenista, zastitni limovi i drugo.

Statički sistem noseće konstrukcije mora da bude jasan, prednost se mora dati statički određenim sistemima. Pri tome se mora voditi računa o tome da sistem bude krut na uvijanje, jer svi delovi čelične konstrukcije moraju da prenose torzione momente. Da bi se postigla ova krutost na uvijanje, treba izbegavati više nosećih ravni nego što je to neophodno potrebno. Konstrukcija koja obezbeđuje krutost na uvijanje treba da ide do ležajeva koji mogu da prihvate torzione momente. Uležištenje mašinskih delova u čeličnoj konstrukciji mora da obezbedi prihvatanje sila, pri čemu, naročito konstrukcija za neposredno uležištenje mašinskih delova, mora da bude robusna i kruta, da bi se sprečile deformacije koje mogu da imaju štetne posledice za ležajeve mašinskih delova.

Težnje dobrom ponašanju konstrukcije u eksploataciji su:

- što veća razlika između najvećeg radnog napona i napona tečenja;
- što ravnomernija raspodela deformacija, napona i energije;
- što manje prisustvo koncentracije napona;
- što veća otpornost materijala na nastanak i rast prslina;
- što veća duktilnost i žilavost materijala, što dalji dinamički odzivi od pobude;
- što viša prva frekvenca i što više rastojanje između frekvenci; i
- što manji faktor dinamičkog pojačanja.

Materijali koji se koriste prema EN 10025-2:2004:

- za noseću konstrukciju S 355 J2+N
- za pomoćnu konstrukciju S 235 JR Proračun, projektovanje i proizvodnja su bazirani na standardu DIN 18800.

Izrada i montaža konstrukcije rudarskih mašina se odvija u više faza: – izrada elemenata od lima i profilisanih nosača u fabrici; – sklapanje pojedinih celina, vodeći računa o mogućnostima transporta tih elemenata; i – montaža sklopova na montažnom placu u blizini mesta eksploatacije

Spojevi i veze elemenata

Spajanje čvornih mesta se u velikoj meri obavlja zavarivanjem na samom gradilistu, a samo neki čvorni spojevi velikih montažnih sklopova, kao na primer čvorista teskih resetkastih konstrukcija, se sklapaju zavrtnjima.

Kod veza elemenata noseće konstrukcije se govori o svim vezama razdvojivim i nerazdvojivim. Konstrukcija rudarske masine se stvara spajanjem elemenata kao što su limovi, valjani profili, cevi itd, koji su predhodno, saglasno radionickoj dokumentaciji, obradeni na potrebnu meru. Razdvojivi spojevi se ostvaruju zavrtnjevima i cepovima, a nerazdvojive veze se ostvaruju zakivcima i šavovima. Primena zakivaka se u današnje vreme skoro i ne koristi zbog široke primene prednapregnutih zavrtnjeva, koji nemaju osobinu samoodvrtanja kao kod obicnih vijaka u slučaju dinamički opterećenih konstrukcija.

Posto je zavarivanje moguće u svim područjima konstrukcije, ona mora biti izradena od čelika pogodnog za zavarivanje.

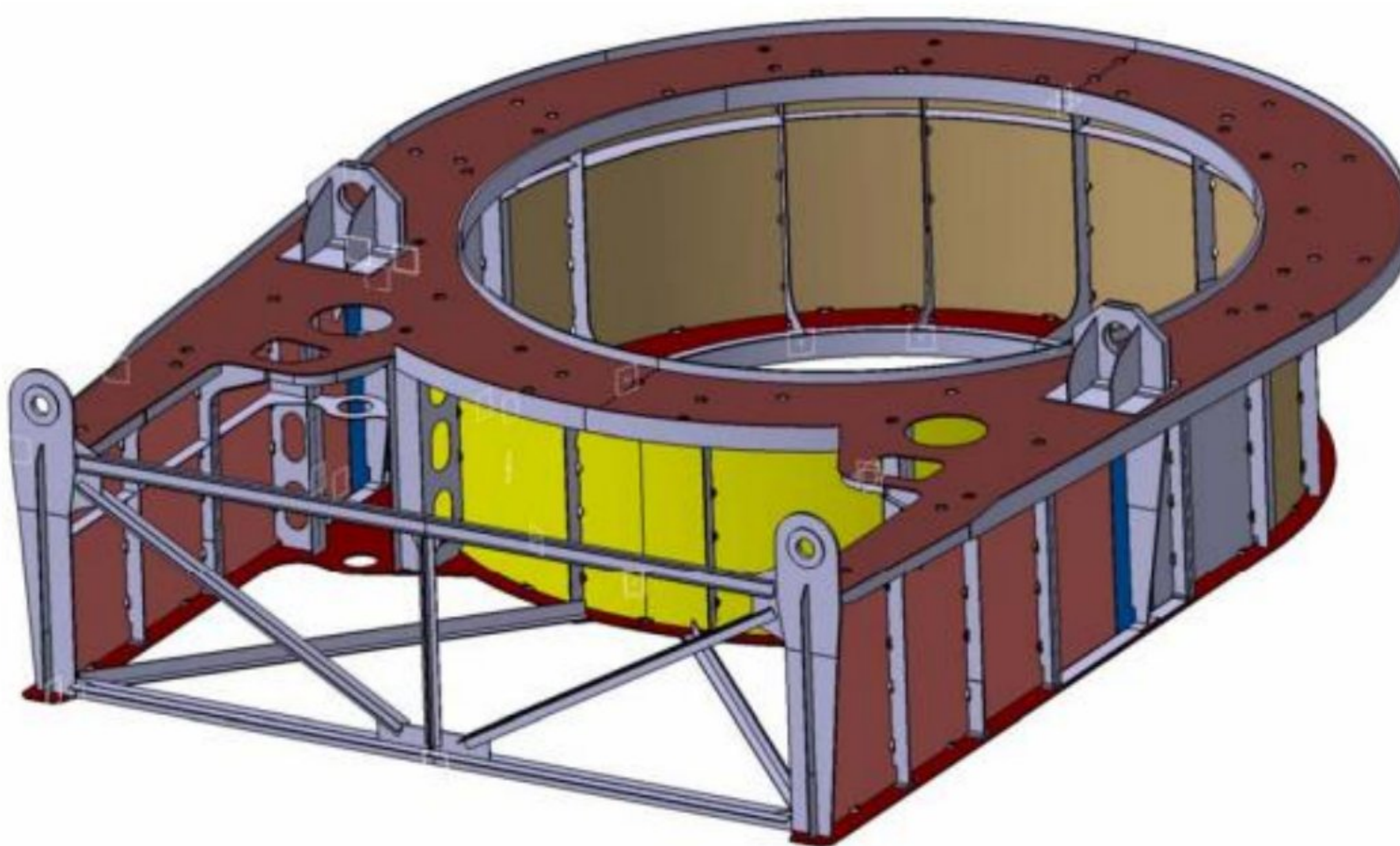
Kod svih delova noseće konstrukcije se mora obezbediti prenosenje sila i pri nepovoljnim kombinacijama opterećenja i mora se starati da konstrukcija ima zadovoljavajuću krutost na uvijanje.

Svi delovi donje gradnje i voznih mehanizama, kao i obrine platforme kod svih mašina se izrađuju od punih zidova.

Svi noseći delovi iznad obrtne platforme su rešetkaste konstrukcije kod mašina srednje veličine, poneki delovi se izrađuju od punih zidova.

Uležištenja mašinskih delova moraju biti takva da besprekorno prihvataju sile ležaja, a mora se voditi računa i o tome da u nepovoljnim okolnostima mogu da izdrže i povećane sile trenja u uležištenjima.

Svi delovi donje gradnje i voznih mehanizama, kao i obrtne platforme kod svih mašina se izrađuju od punih zidova.



Slika 3. Konstrukcija obrtne platforme

Obrtna platforma predstavlja osnovnu metalnu konstrukciju bagera, na koju su postavljeni radni uređaj, hidraulični pogon, kabina sa sistemom za upravljanje i mehanizam obrtanja.

Osnovni cilj razmeštaja uređaja na obrtnoj platformi je ostvarivanje najboljeg statičkog momenta, kojim se sprečava prevrtanje bagera. Radi toga, na obrtnoj platformi se postavlja protivteg. Obrtna platforma oslono-obrtnim krugom se spaja sa uređajem za transport, preko kojeg opterećenja, koja dejstvuju na radni organ pri radu, a takođe i sila težine obrtnog dela mašine, se prenose na transportni uređaj.

2.1 Kontinualna mehanizacija

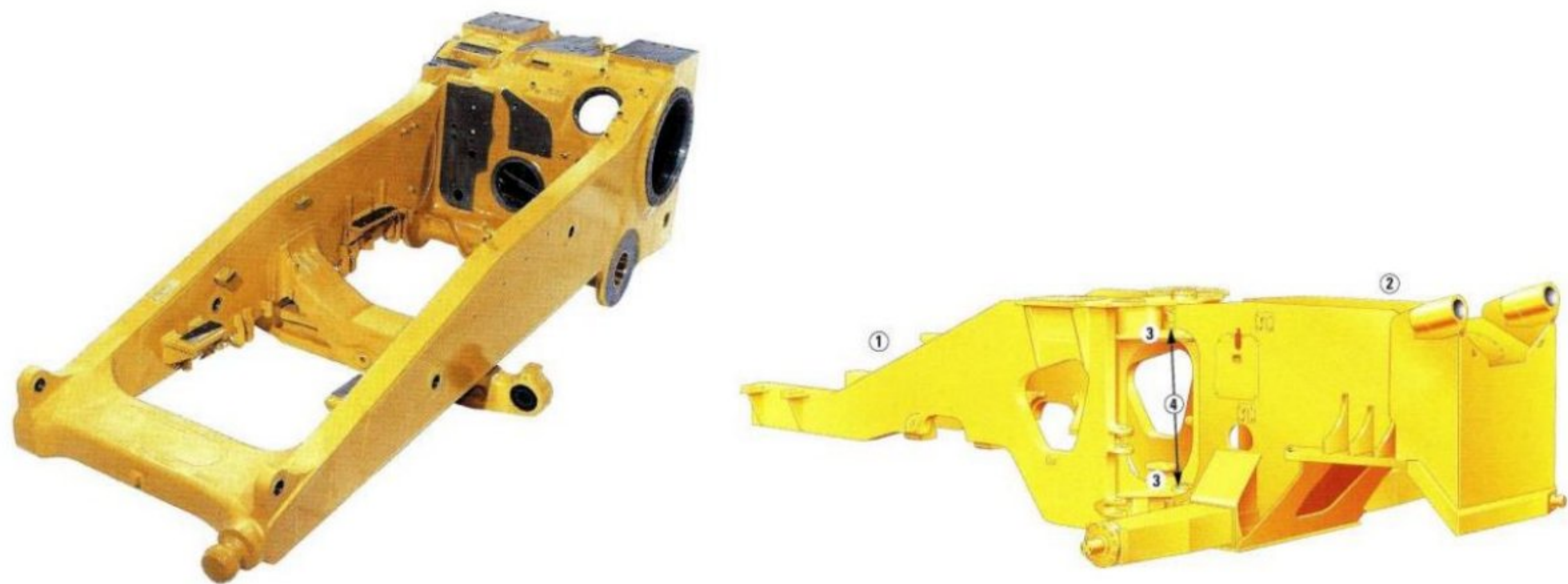
Kod velikih rotornih bagera primenjuje se sistem konstrukcije sa konzolnom katarkom. Sa obrtnom platformom kruto je povezana konstrukcija strele protivtega, dok je konstrukcija strele za kopanje i konzolne katarke sa njom povezana zglobno. Odstojanje između tih konstrukcija održava se pomoću sistema užadi. Spuštanje strele postiže se izmenom dužine sistema užadi koji povezuje konzolnu kataraku sa konstrukcijom strele protivtega, na kojoj se nalaze vitlovi. Kod svih rotornih bagera strela za kopanje povezana je sa nosećom konstrukcijom zglobnom vezom, sa horizontalnom osovinom, koja omogućuje podizanje i spuštanje strele. Obrtanje gornje konstrukcije bagera koja je postavljena na obrtnu platformu postiže se mehanizmom za obrtanje. Staze za obrtanje mogu biti sa kuglama i sa točkovima. Strela za utovar locirana je na sopstvenoj bočnoj stazi za obrtanje. Donji stroj bagera preko osnovne konstrukcije prenosi masu na mehanizam za kretanje. Gornji stroj je povezan sa donjim preko obrtne platforme, a obuhvata radni organ koga čini nosač rotornog točka i sam rotorni točak, sistem za unutrašnji transport, kabinu rukovaoca i noseću konstrukciju.



Slika 4. Obrtna platforma rotornog bagera

2.2 Diskontinualna mehanizacija

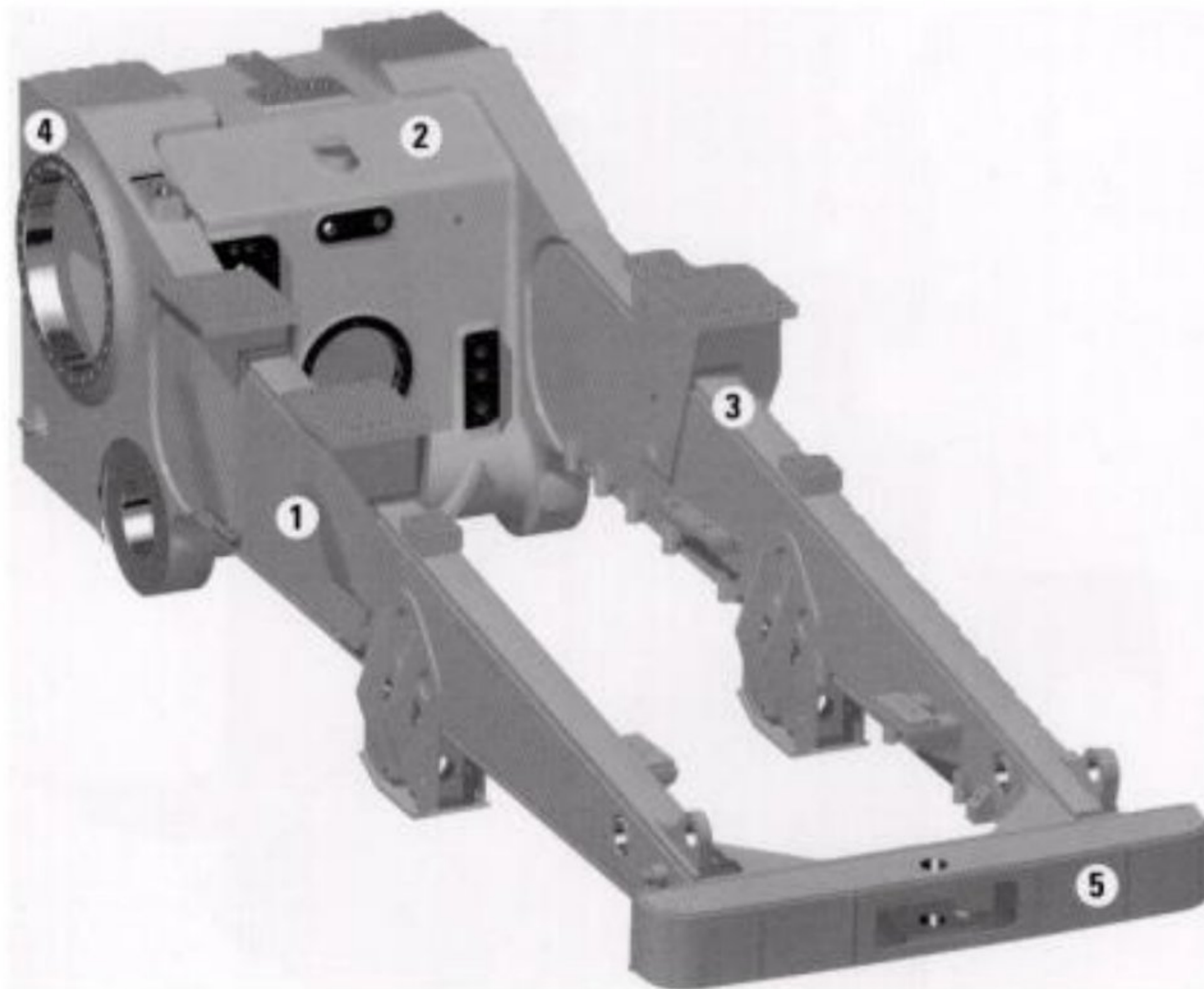
Osnovna noseća konstrukcija dozera (Slika 3) predstavlja konstrukciju koja prima osnovna opterećenja i nosi sve mehanizme. Kod svih delova noseće konstrukcije se mora obezbediti prenošenje sila i pri nepovoljnim kombinacijama opterećenja i mora se starati da konstrukcija ima zadovoljavajuću krutost na uvijanje. Uležištenja mašinskih delova moraju biti takva da besprekorno prihvataju sile ležaja, a mora se voditi računa i o tome da u nepovoljnim okolnostima mogu da izdrže i povećane sile trenja u uležištenjima. Na slici prikazana je osnovna čelična konstrukcija dozera na pneumaticima i gusenicama



b)

Slika 5. Osnovna noseća konstrukcija a) dozera na gusenicama, b) dozera na pneumaticima

Osnovna čelična konstrukcija (Slika 6) je namenjena povezivanju svih elemenata konstrukcije u jednu funkcionalnu celinu. To je masivna konstrukcija izrađena livenjem



Slika 6. Osnovna čelična konstrukcija

3. SPAJANJE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Elementima za spajanje vrši se povezivanje delova konstrukcija u jednu zajedničku celinu. Prvenstveno treba reći da postoje dva tipa spajanja čeličnih konstrukcija, a to su Nerazdvojivi i Razdvojivi spojevi.

3.1 Razdvojivi spojevi

Predstavljaju čvrste spojeve mašinskih delova koji se po potrebi mogu odvojiti i ponovo sastaviti bez oštećenja delova spoja. Navojni parovi, profilisani spojevi, klinovi i zakovice koriste se za spajanje delova u rastavljivi spoj. Odvojivi spojevi mogu biti fiksni ili pomični. Fiksni delovi zglobova se ne pomeraju tokom rada, dok delovi pokretnih zglobova mogu. Navojni parovi, užljebljeni delovi i klinovi mogu postići fiksnu ili pokretnu vezu.

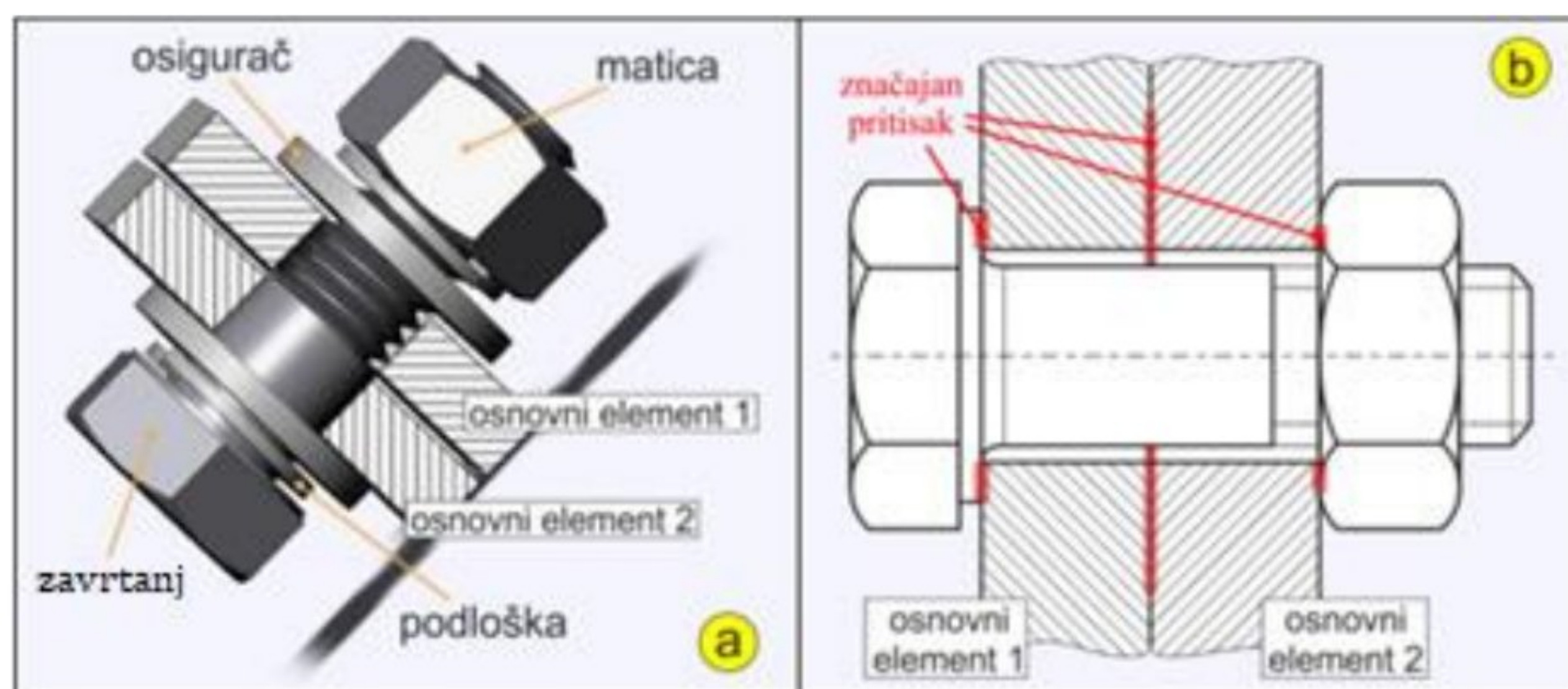
3.1.1 Zavrtnji

Služe za razdvojive veze sa zazorom, razdvojive veze pod pritiskom, zatvanje otvora, fina merenja, pretvaranje obrtnog u pravolinijsko kretanje...

Sastoji se od: Stablo sa zavojnim delom, glava i navrtka.

Prema obliku glave sa: kvadratnom, pravougaonom, šestougaonom, cilindričnom (sa prorezom za odvrtlač), poluloptastom (sa prorezom za odvrtlač) i dr.

Prema konstrukcionom obliku: sa navrtkom, bez navrtke i itd.



Slika 7. 3D prikaz zavrtnja

3.1.2 Klinovi

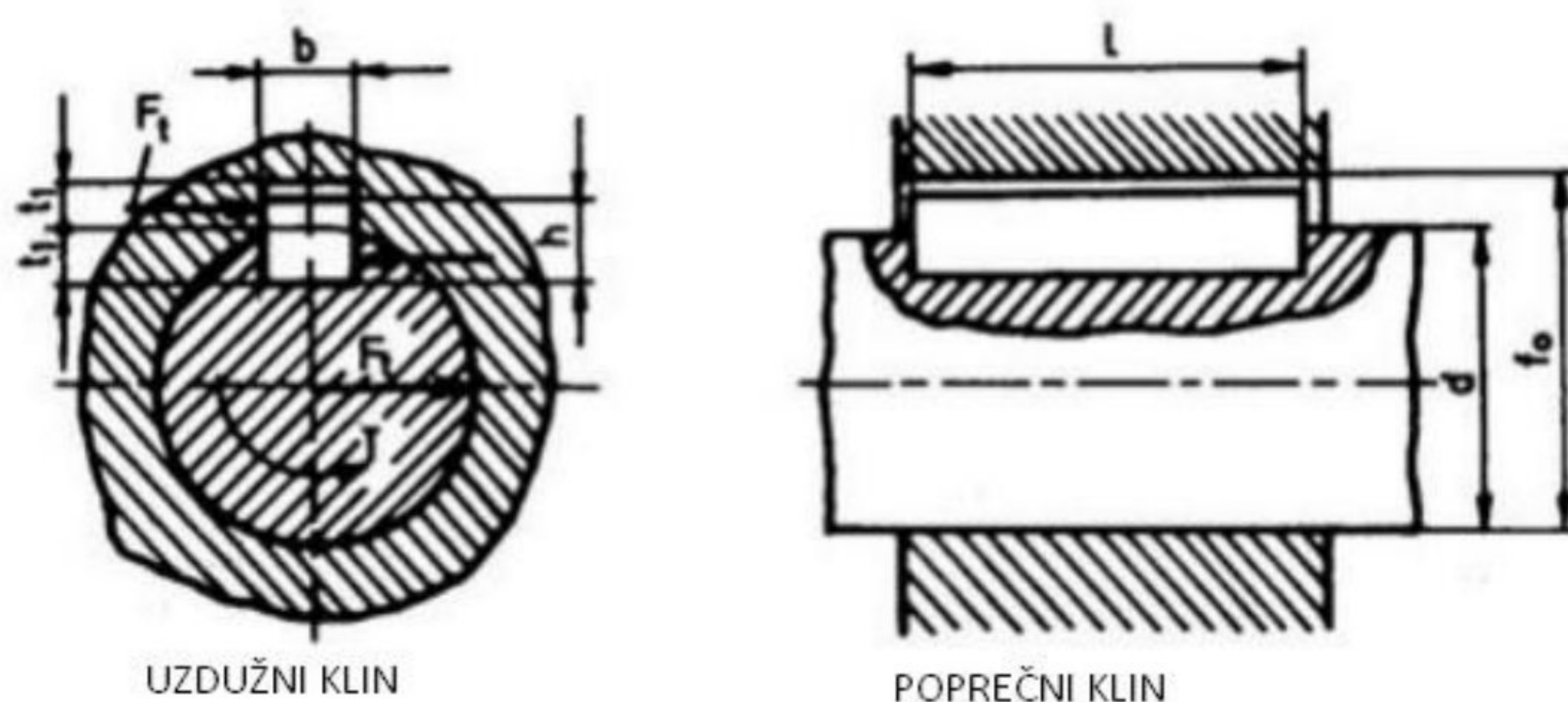
Dele se na uzdužne i poprečne klinove.

Uzdužni klinovi: Razdvojiva veza vratila sa glavčinom zupčanika, kaišnika i dr.

Klinovi sa kukom, klin bez kuke, zaobljeni klin, segmentni klin

Klin sa nagibom i bez nagiba

Poprečni klinovi: Nastavljanje dva mašinska dela koji prenose aksijalna opterećenja



Slika 8. Uzdužni i poprečni klin

3.2 Nerazdvojivi spojevi

Predstavljaju čvrste, nepokretne spojeve koji se, kada se spoje, ne mogu razdvojiti bez razaranja, a obuhvataju: zakivne i zavarene spojeve.

3.2.1 Zavareni spojevi

Zavarivanje je proces spajanja dva ili više metalnih delova istog ili približno istog hemijskog sastava. Spajanjem se dobija neraskidiva veza. Zavarivanje se izvodi pod uticajem toplote, sa ili ponekad bez dodavanja dodatnog materijala i sa ili bez pritiska. Prilikom zavarivanja ivica metalnih delova koji se spajaju (zavaruju) se lokalno zagreva.

Zagrevanje se vrši do temperature na kojoj metal prelazi iz čvrstog u pastozno ili tekuće stanje, što zavisi o vrsti i načinu zavarivanja.

Zavaruju se noseće konstrukcije (grede, stubovi, rešetke), konstrukcije od limova (sudovi, cevi, kutijasti nosači i druge konstrukcije), kao i kućišta, postolja, oslonci i drugi namenski mašinski elementi.

Prednosti zavarenih spojeva u odnosu na zakovane su:

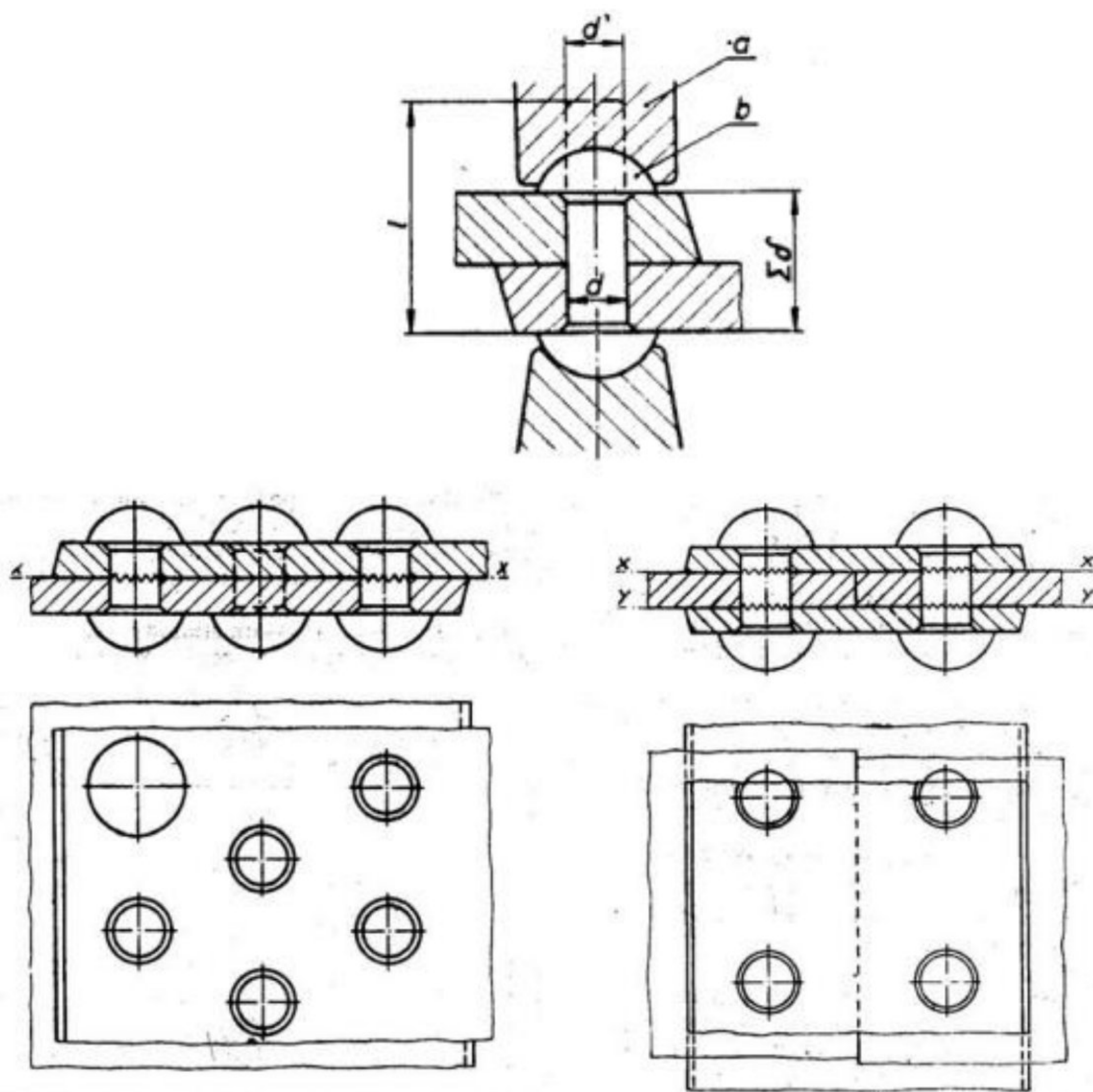
Jednostavniji su, imaju manju težinu, jeftinija i brža izrada.

Nedostaci zavarenih spojeva u odnosu na zakovane spojeve su:

Javljaju se zaostali naponi i deformacije, zbog visokih temperatura dolazi do slabljenja mehaničkih osobina materijala na spojenom mjestu.

3.2.2 Zakovani spojevi

Zakovani spojevi Predstavlja tzv. diskontinualno prenošenje opterećenja, odnosno prenošenje opterećenja lokalnog karaktera. Slično, poprečno opterećenim zavrtnjima ili tačkasto zavrarenim spojevima. Zbog velike koncentracije napona, procenjuje se da se nosivost spojenih delova zakivcima umanjuje i do 15 %. Za razliku od drugih načina spajanja, kod zakovanih veza, ovo slabljenje se ne može nadomestiti odgovarajućim konstrukcijskim merama. Prednost zakovanih spojeva u odnosu na druge je mogućnost prigušenja vibracija spojenih delova kao i odsustvo krtog loma u odnosu na zavarene konstrukcije.



Slika 9. Prikaz zakovanih spojeva

4. ZAVARENI SPOJEVI

4.1 Postupci zavarivanja

Zavarivanje je proces spajanja dva ili više metalnih delova istog ili približno istog hemijskog sastava. Spajanjem se dobija neraskidiva veza.

Tehnologija zavarivanja je skup radnji koje je potrebno izvršiti da bi se dobio zavareni spoj a to su izbor osnovnog i dodatnog materijala, priprema osnovnog materijala, izbor postupka i parametara zavarivanja itd..

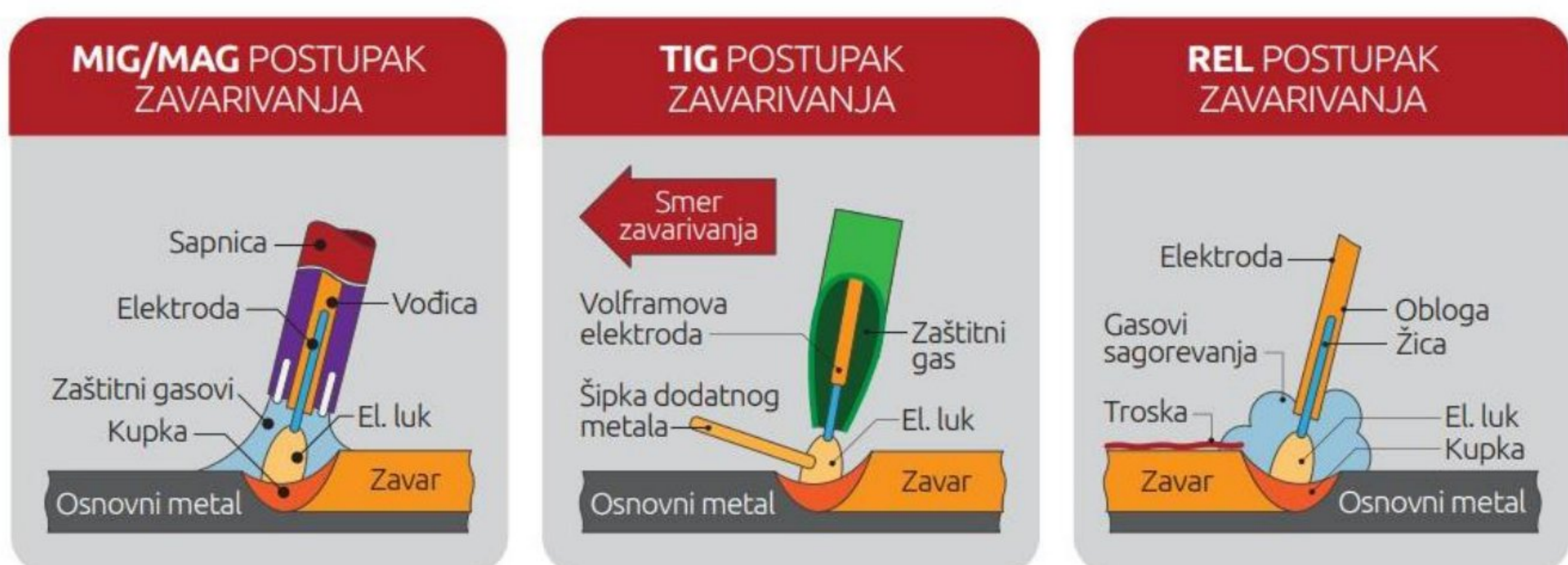
Kvaliteta i svojstvo zavarenog spoja zavisi od brzine zavarivanja, količini i gibanju, mešanju osnovnog i dodatnog materijala, gasovima koji pri višim temperaturama ulaze u rastaljeni materijal, raspodeli temperature na mestu zavarivanja i dr.

Cilj zavarivanja je da se dobije homogen zavareni spoj, bez grešaka sa zahtevanim mehaničkm i ostalim zadatim svojstvima.

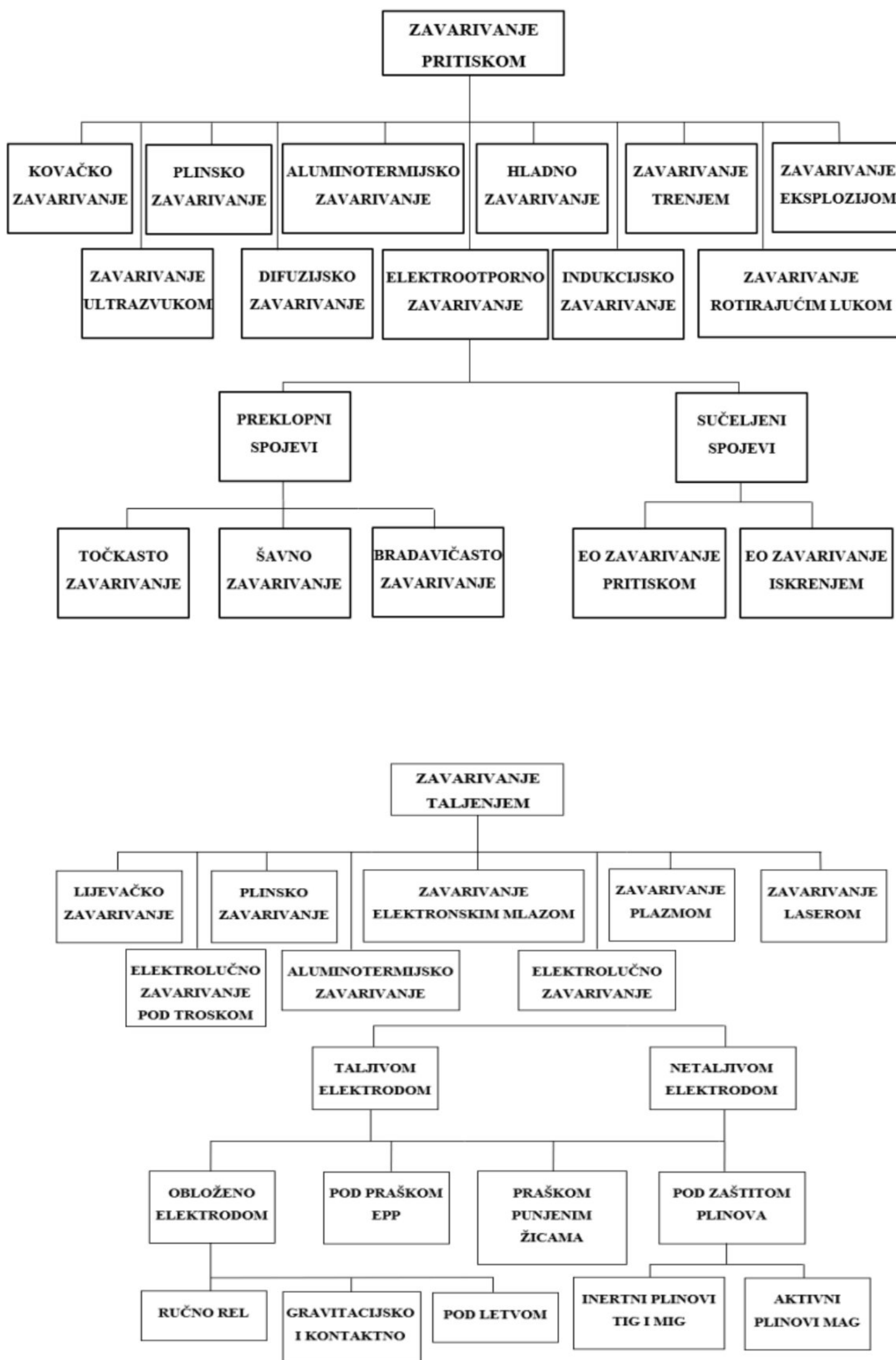
Prema načinu spajanja metode zavarivanja se dijele u dvije velike grupe:

- Zavarivanje taljenjem, zavarivanje materijala u rastaljenom stanju na mestu spoja, uz dodatni materijal ili bez njega.

- Zavarivanje pritiskom, zavarivanje materijala u čvrstom ili omekšanom stanju na mestu spoja s pomoću pritiska ili udarca.



Slika 10. Postupci zavarivanja

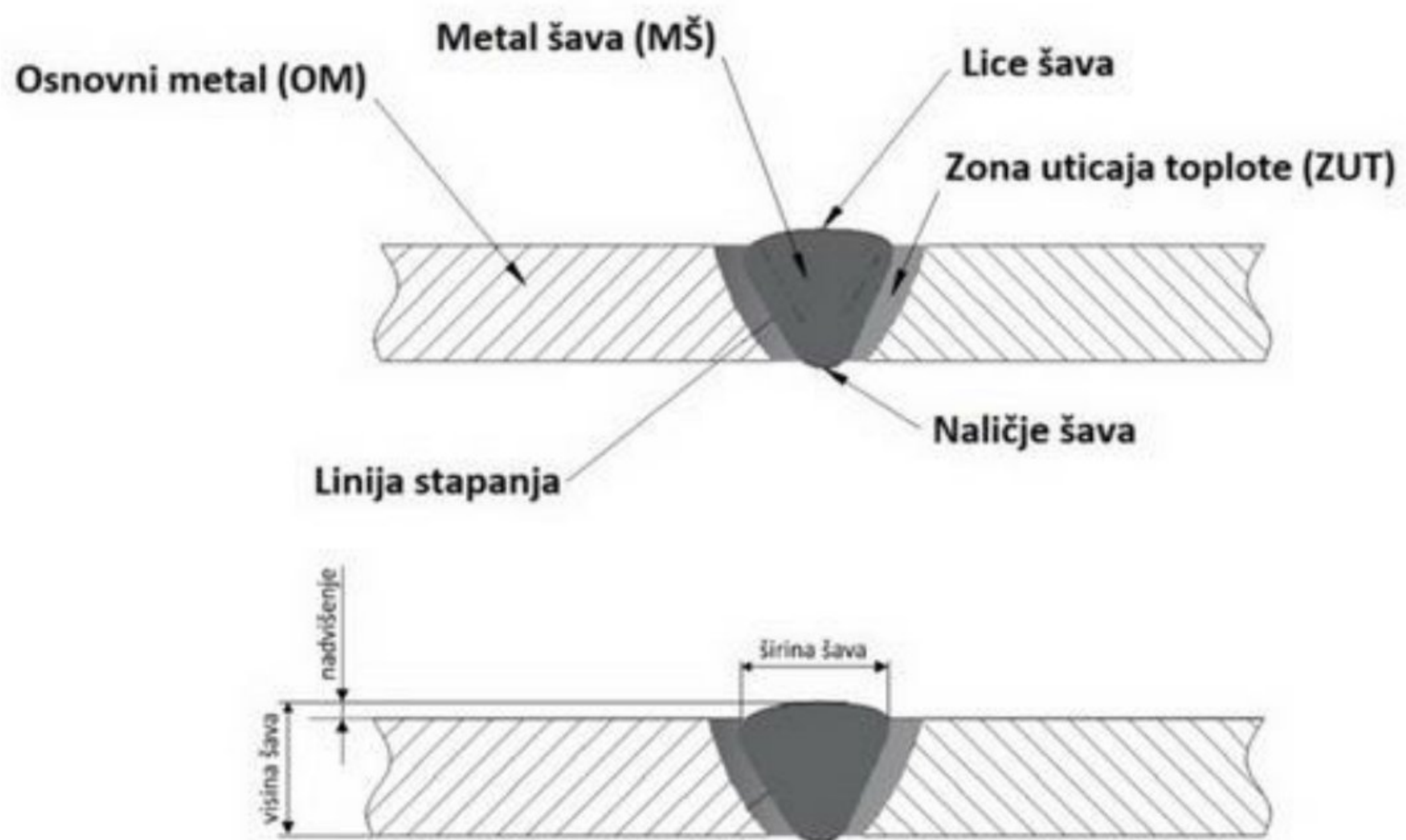


Slika 11. Vrste zavarivanja pritiskom i topljenjem

4.2 Elementi zavarenih spojeva

Osnovni elementi zavarenog spoja čine

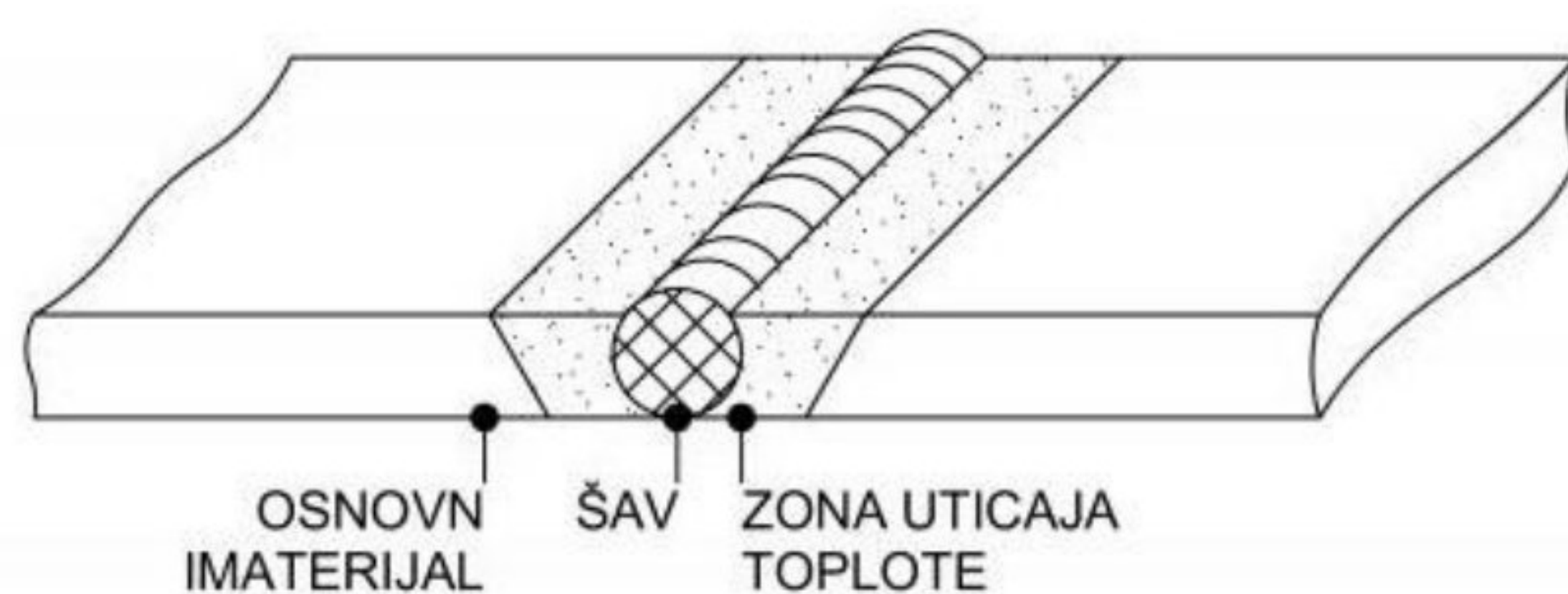
- Osnovni metal
- Metal šava
- Lice šava
- Zona uticaja toplote (ZUT)
- Koren šava
- Linija stapanja



Slika 12. Prikaz elemenata zavarenog spoja

Linija stapanja je granična površina između šava u zut-a.

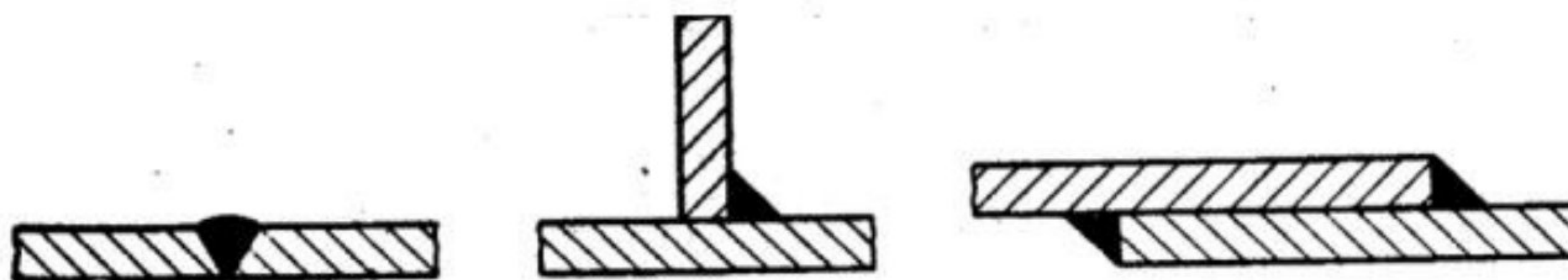
Zona uticaja toplote (ZUT) je deo osnovnog materijala koji je pretrpeo strukturne i promene kao i promene mehaničkih svojstava usled unosa toplote pri zavarivanju. Na slici 13 prikazani elementi zavarenog spoja gde se mogu videti delovi zavarenog spoja kao što su osnovni materijal, šav, zona uticaja toplote.



Slika 13. Prikaz zavarenog spoja sa zonom uticaja toplote

Osnovne vrste spojeva su: Sučeoni, Ugaoni i Preklopni. Na slici 14 prikazani su ovi spojevi.

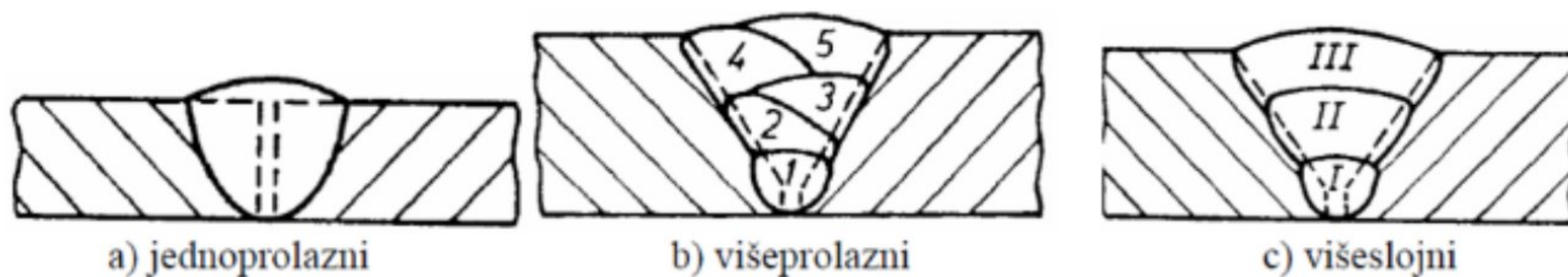
Vrste spojeva



Slika 14. Vrste zavarenih spojeva

Vrste šavova

Pripremljeni žleb u procesu fuzionog zavarivanja može se ispuniti u jednom ili više prolaza, ili u više slojeva, što prvenstveno zavisi od debljine osnovnog materijala.



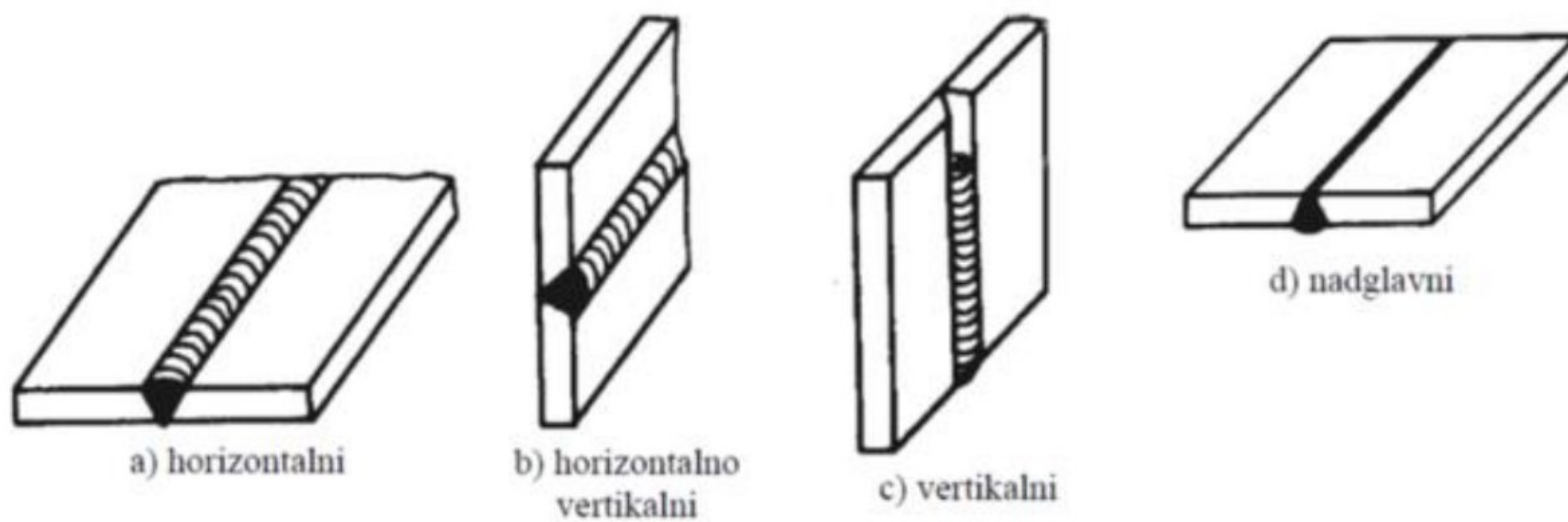
Slika 15. Vrste šavova

Oblici najčešće korištenih žlebova i odgovarajućih šavova

Naziv	izgled žleba	izgled šava	Naziv	izgled žleba	izgled šava
Rubni			U		
I			J		
V			X		
HV			K		
Y			duplo U		

Slika 16. Oblici najčešće korištenih žlebova i šavova

U zavisnosti od položaja, zavarivanje može biti u horizontalnom, horizontalno-vertikalno, okomitom i nadzemnom položaju



Slika 17. a) horizontalno b) horizontalno vertikalno c) vertikalno d) nadglavno zavarivanje

4.3 Primeri zavarenih spojeva

Izvedeni zavareni spojevi su urađeni u specijalizovanoj radionici kompanije Cimolai SpA. Na slici 18 i slici 19 je prikazan frontalno horizontalni (bocni) zavar, x šava sa punom penetracijom. Zazor materijala je 4mm. Postupak se vrše sa postavljanjem podložne kramičke trake. Osnovni materijal je debljine 25mm sa dodatnim materijalom od 20mm. Parametri koji su se koristili pri varenju su 180A do 220A i 24V do 25,5V, brzina zavarivanja se kreće od 380mm do 430mm u minuti, predgrevanje se vrši na temperaturi od 120 stepeni celzijusa zbog mogućnosti pucanja korena vara i unošenja velike temperature u datom trenutku a ujedno i neutralisanje vodonika iz materijala.



Slika 18. Primer zavarenog spoja



Slika 19. Primer zavarenog spoja



Slika 20. Primer ugaonog vara

Na slici 20 je prikazan Ugaoni var horizontalno-vertikalni širine 7mm i visine 7mm ,debljina osnovnog materijala je 18mm i materijala koji se spaja debljine 10mm. Materijal koji se koristi za zavarivanje je punjena zica prahom debljine 1,2mm uz gas mešavine 80%Ar+20%CO₂ uz predgrevanje od 80 stepeni celzijusa radi neutralisanja vodonika iz materijala. Parametri koji su se koristili pri varenju su 180 do 200A i 24V do 25V, brzina zavarivanja od 170mm do 220mm u minuti.



Slika 21. Primer vertikalnog zavara pod uglom

Na slici 21 je prikazan Vertikalni zavar pod uglom širine 8,5 mm i visine 8,5mm ,debljina osnovnog materijala je 20mm i materijala koji se spaja debljine 6mm. Materijal koji se koristi za zavarivanje je punjena zica prahom debljine 1,2mm uz gas mešavine 80%Ar+20%CO₂ uz predgrevanje od 80 stepeni celzijusa radi neutralisanja vodonika iz materijala. Parametri koji su se koristili pri varenju su 190 do 210A i 25V do 25,5V, brzina zavarivanja od 180mm do 230mm u minuti.

5. NAPREDNE TEHNIKE DIJAGNOSTIČKOG ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA

5.1 Opšte

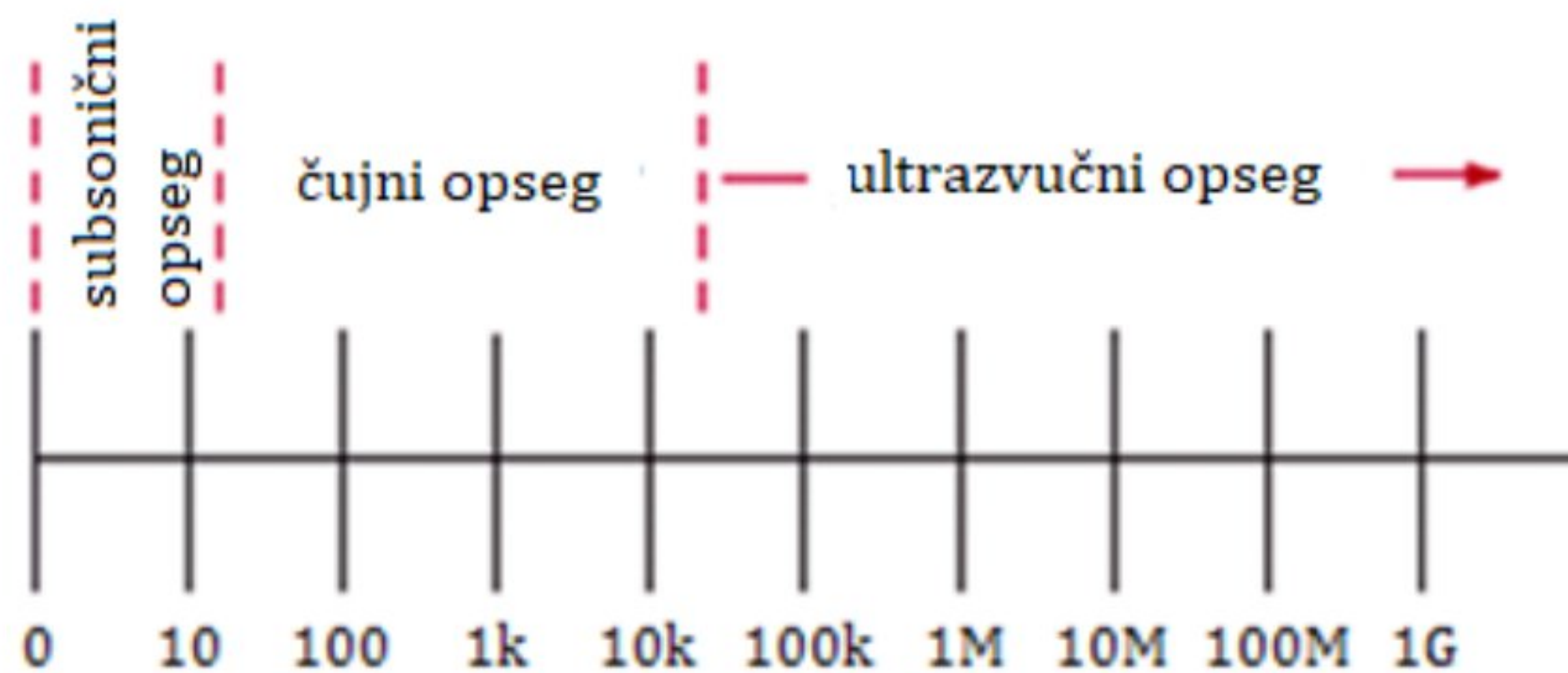
U osnovi, postoje subjektivni, objektivni i drugi postupci (opšti, lokalni, specijalni, laboratorijski itd.). Drugim rečima, ovi postupci se mogu podeliti na sledeći način: ispitivanje buke, vizualne kontrole, kontrola termičkog stanja, kontrola habanja delova sistema (ferografija), kontrola korozije, nedestruktivni postupci (magnetnih metoda, penetranti, ultrazvuk, radiografija), kontrola vibracija i buke i dr.

U master radu ćemo se bazirati na Ultrazvučnu i penetrantsku metodu. Ove dve metode zapravo u potpunjuju kompletan pregled zavarenog spoja u smislu provere i pronalaska nedostataka(defekata).

5.2 Ultrazvučno ispitivanje

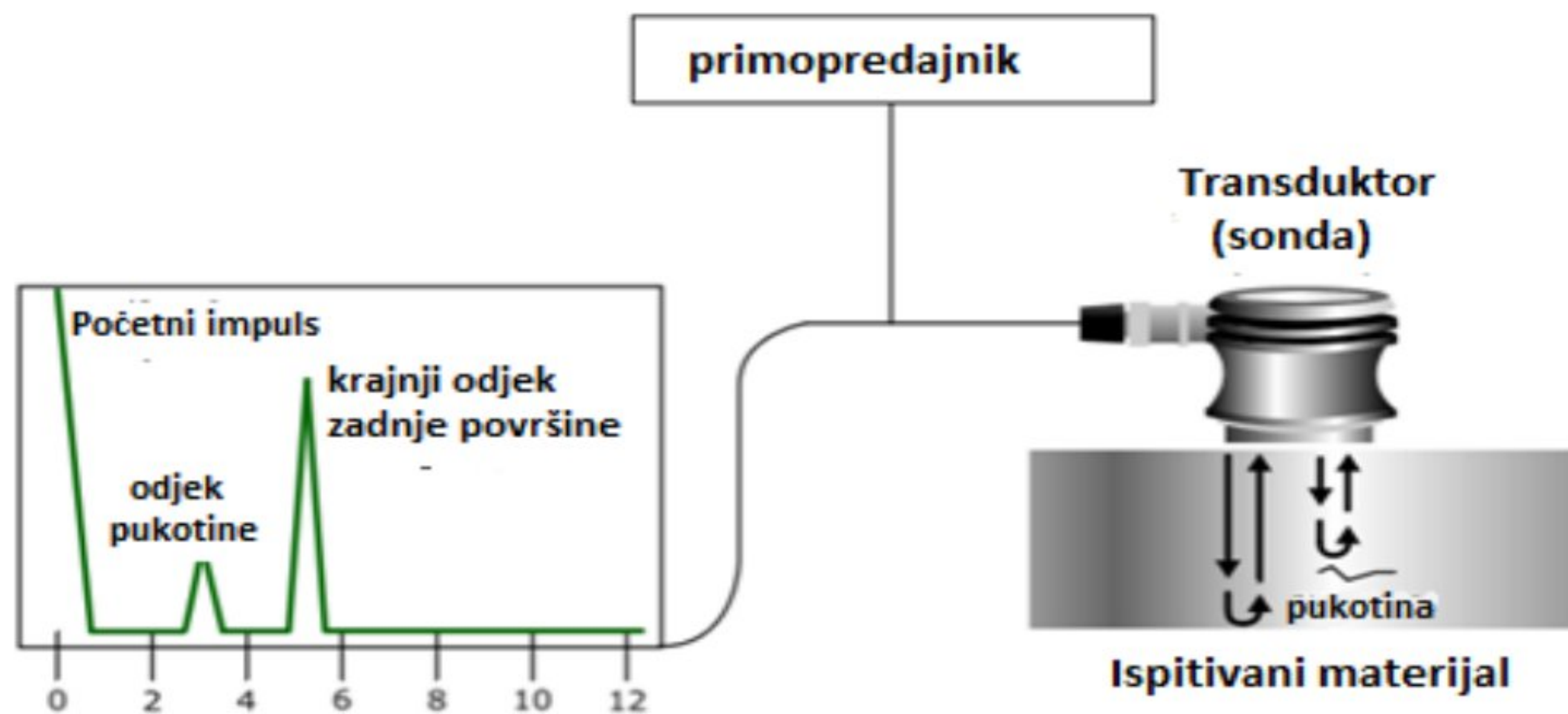
Ultrazvučno ispitivanje materijala zasniva se na upotrebi ultrazvuka, odnosno zvuka čija je frekvencija iznad gornje granice čujnosti normalnog ljudskog uha. Metoda radi na principu odbijanja ultrazvučnog talasa od defekta u materijalu i prikazivanja te emitovane energije u odnosu na vrijeme. Na osnovu toga se određuje dubina na kojoj se talas emituje, odnosno položaj defekta u materijalu. Međutim, opseg frekvencija koji se koristi u nedestruktivnom ultrazvučnom ispitivanju i merenju debljine kreće se od 100 kHz do 50 MHz. Zvuk koji se generisan iznad opsega ljudskog sluha obično je iznad 20 kHz. Ultrazvuk ima kratke talasne dužine i koristi se za otkrivanje nedostataka unutar materijala, na malim površinama. Drugim rečima, ultrazvučna metoda je emisija zvučnih valova kroz materijal.

Na sledećoj fotografiji ce biti prikazan ultrazvučni frekventni opseg.



Slika 22. Frekventni oseg ultrazvuka

Tipičan sistem za ultrazvučni pregled sastoji se od nekoliko funkcionalnih delova, kao što su primopredajnik zvučnih impulsa, sonda i uređaj za prikaz. Primopredajnik zvučnih impulsa je uređaj koji može proizvesti električni impuls visokog napona. Pobuđena primopredajnikom, sonda generiše visokofrekventnu zvučnu energiju. Zvučna energija se širi kroz materijal u obliku talasa. Kada talas naiđe na diskontinuitet (kao što je pukotina) na svom putu, deo energije će se reflektovati nazad od površine defekta. Reflektovani talasni signal se zatim transformiše pomoću sonde u električni signal i kao takav se prikazuje na ekranu. Na slici 22 prikazan je reflektujući signal u odnosu na vreme od generisanja signala do njegovog eha (eha). Vreme putovanja signala može biti direktno povezano sa razdaljinom koju pređe talas. Ponekad se na osnovu signala mogu dobiti informacije o lokaciji, veličini i orijentaciji defekta (objekta od kojeg se signal reflektuje).



Slika 23. Princip ultrazvučnog ispitivanja

Ultrazvučno ispitivanje je veoma korisna i svestrana metoda nedestruktivnog ispitivanja.

Neke prednosti metode uključuju:

- osetljiva je na detekciju površinskih i podzemnih defekata,
- dubina prodiranja je superiornija u odnosu na druge nedestruktivne metode,
- kada se koristi puls-eho tehnika dovoljan je samo jednostrani pristup ispitivanom delu,
- veoma je pouzdan i precizan u otkrivanju položaja i veličine greške,
- potrebna je minimalna priprema ispitivanog materijala i
- elektronska oprema daje trenutne rezultate.

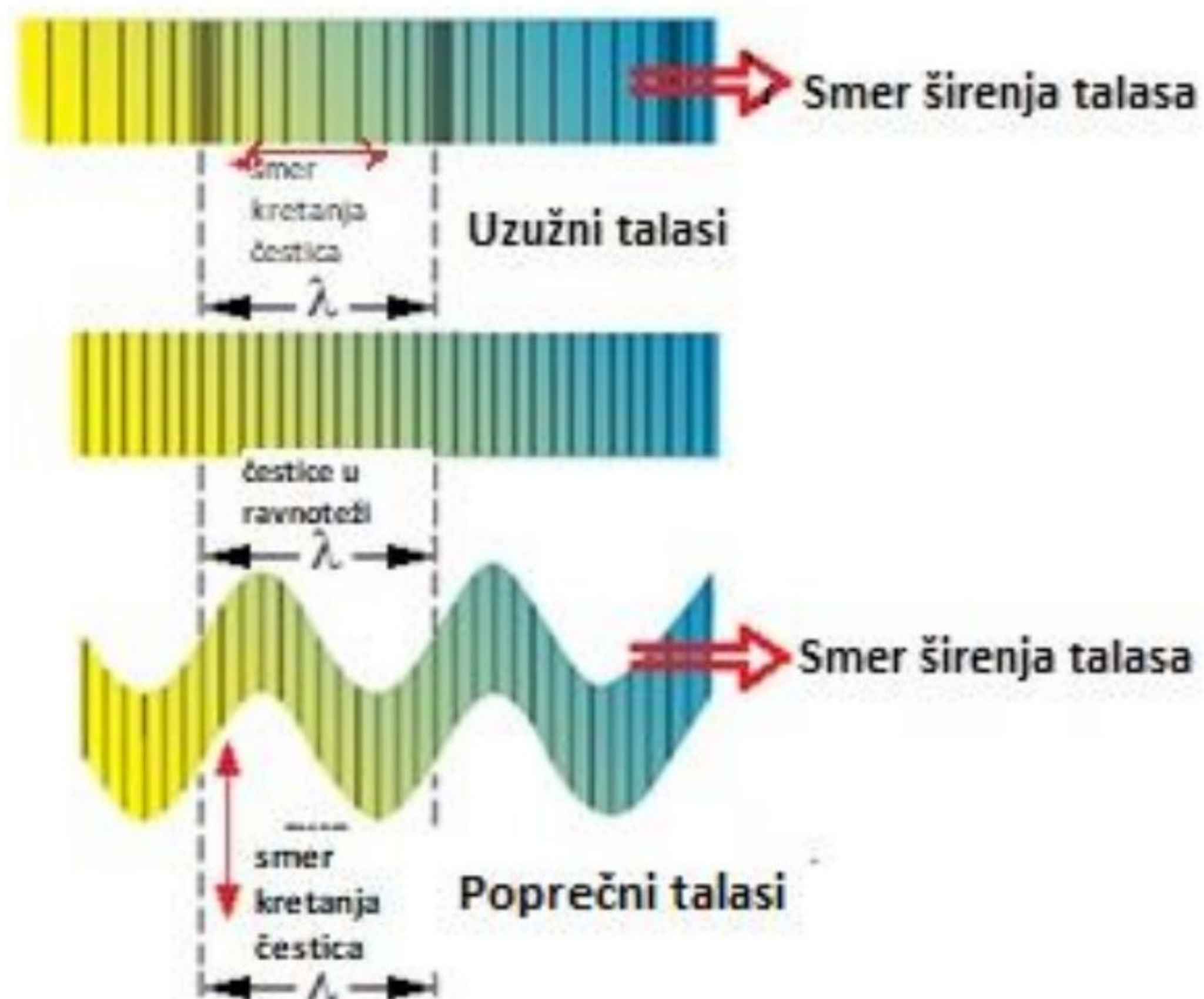
Pored navedenih prednosti, ultrazvučni pregled ima i svoje nedostatke, kao što su:

- površina mora biti dostupna za prenos ultrazvuka,
- veština i obučenosť ispitivača je obimnija u odnosu na neke druge metode,
- obično zahteva srednje sredstvo koje prenosi zvuk do testiranog dela,
- grubi, nepravilni, veoma mali, izuzetno tanki ili nehomogeni materijali su veoma zahtevni za ispitivanje,
- Liveni čelik i druge grubo zrnaste materijale je teško testirati zbog loše provodljivosti zvuka i visokog signala buke i
- referentni standardi su potrebni i za kalibraciju opreme i za karakterizaciju kvara.

TALASI

Svi materijali su sastavljeni od atoma koji mogu da se kreću oscilatorno (vibraciono) usled opterećenja. Na atomskom nivou postoji mnogo različitih uzroka vibracionog kretanja/kretanja, a jedan od uzroka može biti i zvučni talas. U prirodi postoji nekoliko vrsta talasa: mehanički, elektromagnetni i talasi materije. Talasi materije su talasi povezani sa česticama, kao što su molekuli, atomi, protoni, elektroni. Elektromagnetnim talasima nije potreban medijum (čvrsta materija, tečnost, gas) za njihovo širenje, odnosno mogu da se šire u vakuumu brzinom svetlosti (radio i TV talasi, mikrotalasi, rendgenski zraci).

Talas predstavlja poremećaj objekta u kome se talas kreće, putuje. Akustika je disciplina koja se bavi ovim vremenski promenljivim deformacijama ili vibracijama materijala. Fokusiran je na čestice koje sadrže mnogo atoma koji se kreću unisono, stvarajući mehanički talas koji stvara elastične oscilacije u medijumu. Zvuk je mehanički talas čija su osnovna svojstva ponašanje po Njutnovim zakonima i može postojati, tj. šire se isključivo u medijumu (voda, vazduh, razni čvrsti materijali). Pored zvučnih, mehanički talasi su i seizmički i vodeni talasi. U čvrstim materijalima, zvučni talasi mogu da se šire na osnovu četiri osnovna principa koji se zasnivaju na načinu na koji čestice osciluju. Zvuk se može širiti uzdužnim (longitudinalnim) talasima, poprečnim (poprečnim) talasima, površinskim talasima (Raileighs) i u tankim materijalima pločastim (treperavim) talasima. Uzdužni i poprečni talasi su dve najčešće korišćene metode propagacije u ultrazvučnom pregledu. Na slici 24 prikazan je izgled uzdužnih i poprečnih talasa.



Slika 24. Smerovi širenja talasa

Longitudinalni talasi mogu nastati u tečnostima kao i u čvrstim materijalima jer energija putuje atomskom strukturom u serijama poput kompresovanih i ekspanzijskih pokreta. Transverzalni talasi osciluju pod pravim uglom (transverzalnim) u odnosu na smer širenja. Oni se samo efektivno šire kroz čvrsti materijal, odnosno tečnosti i stakla ne provode dobro transverzalne talase. Ovi su talasi relativno slabi u odnosu na longitudinalne.

FIZIČKA SVOJSTVA ZVUKA

Zvučni talas je određen amplitudom i frekvencijom, talasnom dužinom, intenzitetom, brzinom zvuka, smerom, od kojih su najvažnije amplituda i frekvencija.

Amplituda zvučnog talasa (titraja) odnosi se na amplitudu vazdušnog pritiska u talasu, tj. označava udaljenost najvišeg i najnižeg nivoa talasa. Drugim rečima, amplituda označava jačinu zvuka, odnosno sa povećanjem amplitude povećava se jačina zvuka.

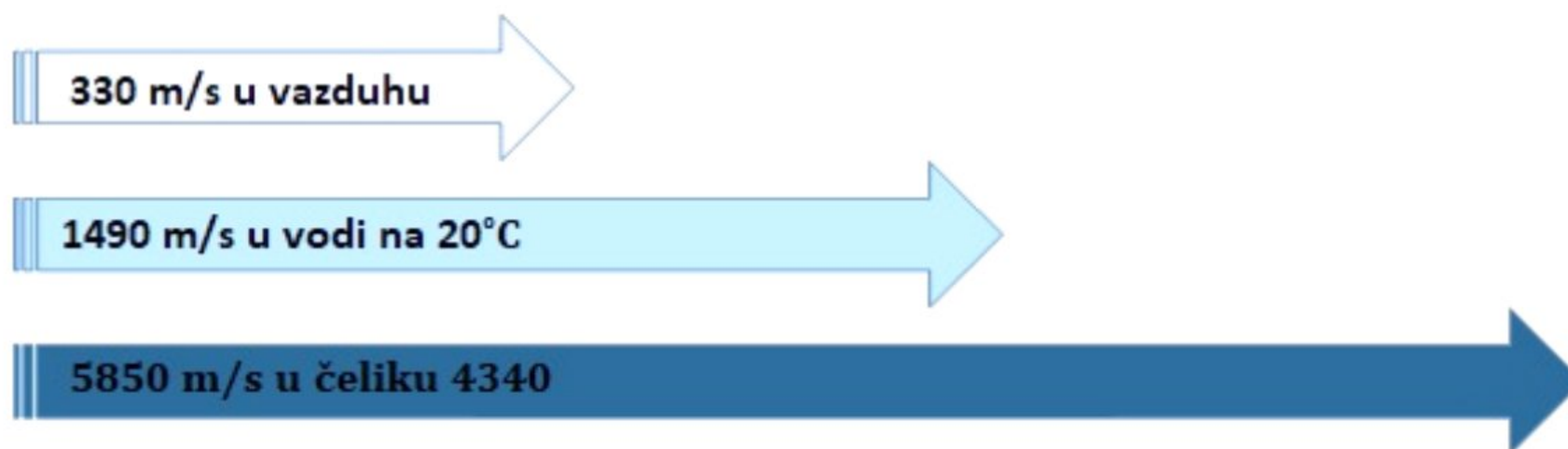
Frekvencija predstavlja broj titraja u jednoj sekundi. Ona označava visinu zvuka. Čujno područje ljudskog uha je između 20 Hz i 20.000 Hz (20 kHz). Područje zvuka ispod 20 Hz naziva se infrazvuk, a područje iznad ljudskog čujnog područja, dakle iznad 20 kHz naziva se ultrazvuk. Povećanjem frekvencije, talasu se smanjuje dužina.

Pri ultrazvučnom ispitivanju kraće talasne dužine koje su rezultat povećane frekvencije, obično će omogućiti detekciju manjih diskontinuiteta. Uzevši to u obzir, glavno pravilo pri ispitivanju je da diskontinuitet mora biti veći od jedne polovine talasne dužine kako bi bio detektovan.

Osetljivost i rezolucija su dva pojma često upotrebljavana u ultrazvučnom ispitivanju kako bi se opisala mogućnost metode da otkrije i locira defekt. Osetljivost je sposobnost lociranja malih diskontinuiteta, tako da ona generalno raste sa povećanjem frekvencije (smanjivanjem talasne dužine). Rezolucija je sposobnost lociranja defekata koji su blizu jedan drugom unutar materijala ili uz samu površinu. Rezolucija se takođe generalno povećava s porastom frekvencije.

Talasna frekvencija, međutim, može imati i suprotne, tj. neželjene efekte. Zato je za optimalan kvalitet ispitivanja nužan balans između željenih i neželjenih posledica izbora frekvencije.

Pre biranja frekvencije ispitivanja, bitno je uzeti u obzir debljinu i strukturu zrna ispitivanog materijala, kao i tip, veličinu i barem približnu lokaciju defekta. Povećanjem frekvencije, zvuk se odbija od grubozrnaste strukture i malih nesavršenosti u materijalu. Odlivci često imaju grubozrnastu strukturu pa je za njihovo ispitivanje potrebna niža frekvencija, dok je za kovane materijale koji kovanjem dobijaju finiju i usmereniju strukturu zrna, potrebna viša frekvencija. Frekvencija takođe utiče na moć prodiranja zvučnog talasa koja opada s porastom frekvencije.



Slika 25. Prostiranje zvučnog talasa

Kad se govori o zvuku (ultrazvuku) i njegovom rasprostiranju, bitna je akustična impedansa. Akustična impedansa Z zavisi od zvučnog pritiska r i brzine čestica v u sredini u kojoj se rasprostire zvučni talas. Drugim rečima, akustična impedansa je kompleksni broj koji opisuje kako materijal ili sredina apsorbuju zvuk upoređujući amplitudu i fazu primenjenog zvučnog pritiska sa amplitudom i fazom rezultujućeg zvučnog fluksa.

$$Z_o = \rho \cdot c$$

Materijal	Longitudinalna brzina prostiranja talasa (uzdužna)		Transverzalna brzina prostiranja talasa (poprečna)		Akustična impedansa [kg/m ² s × 10 ⁶]
	[in/μs]	[m/s]	[in/μs]	[m/s]	
Acrylic smola (Perspex□)	0,107	2730	0,056	1430	3,22
Aluminijum	0,249	6320	0,123	3130	17,05
Berilijum	0,508	12900	0,350	8880	23,5
Mesing	0,174	4430	0,083	2120	37,30
Kadmijum	0,109	2780	0,059	1500	24,02
Kolumbijum	0,194	4920	0,083	2100	42,16
Bakar	0,183	4660	0,089	2260	41,61
Glicerin	0,076	1920	-	-	2,42
Zlato	0,128	3240	0,047	1200	62,60
Inconel	0,229	5820	0,119	3020	49,47
Gvožđe	0,232	5900	0,127	3230	45,43
Gvožđe, odlivak (sporo)	0,138	3500	0,087	2200	25,00
Gvožđe, odlivak (brzo)	0,220	5600	0,126	3220	40,00
Olovo	0,065	2160	0,028	700	24,49
Mangan	0,183	4660	0,093	2350	34,44
Živa	0,057	1450	-	-	19,66
Molibden	0,246	6250	0,132	3350	63,75
Motorno ulje (SAE 20 ili 30)	0,069	1740	-	-	1,51
Nikl, bez primesa	0,222	5630	0,117	2960	49,99
Platina	0,156	3960	0,066	1670	84,74
Poliamid (Nylon, Perlon), (sporo)	0,067	2200	0,043	1100	2,40
Poliamid (Nylon, Perlon), (brzo)	0,102	2600	0,047	1200	3,10
Polistiren polivinilhlorid	0,092	2340	-	-	2,47
PVC, tvrdi	0,094	2395	0,042	1060	3,35
Srebro	0,142	3600	0,063	1590	37,76
Čelik 1020	0,232	5890	0,128	3240	45,63
Čelik 4340	0,230	5850	0,128	3240	45,63
Čelik 302, austenitni nerđajući	0,223	5660	0,123	3120	45,45
Čelik 347, austenitni nerđajući	0,226	5740	0,122	3090	45,40
Kalaj	0,131	3320	0,066	1670	24,20
Titanijum	0,240	6100	0,123	3120	27,69
Tungsten	0,204	5180	0,113	2870	99,72
Uranijum	0,133	3370	0,078	1960	63,02
Voda (20 °C)	0,058	1490	-	-	1,48
Cink	0,164	4170	0,095	2410	29,61
Cirkonijum	0,183	4650	0,089	2250	30,13

Tabela 1. Akustične osobine materijala

Impedansa je važna za određivanje transmisije talasa i refleksije na granici dva materijala različitih impedansi. Važna je i za izradu ultrazvučnih sonde, kao i za procenu apsorpcije zvuka u mediju. Na granici dve sredine (medija) koje imaju različitu akustičnu impendansu, zvuk će se delimično odbijati (reflektovati) i prelamati (refraktovati) što predstavlja osnovu ultrazvučnog ispitivanja materijala.

Detekcija defekata uključuje mnoge dodatne faktore uz već pomenutu talasnu dužinu i akustičnu impendansu. Jedan od faktora, i vrlo dobar pokazatelj mogućnosti detekcije defekta, je odnos signala i šuma koji se javlja zbog međusobno različitih istovremenih refleksija (naprimer pukotina će imati veću refleksiju od uključka zbog veće razlike u impedansi vazduha u odnosu na materijal uključka). Odnos signala i šuma (S/N odnos) je mera koja definiše kakav je signal defekta u odnosu na ostale pozadinske refleksije (šum). Na taj odnos utiču:

- veličina i fokalna svojstva sonde,
- frekvencija i efikasnost sonde,
- zakrivljenost i hrapavost površine,
- lokacija defekta u odnosu na zrak ultrazvuka,
- šumnost mikrostrukture materijala i
- reflektivnost defekta koja zavisi od akustične impedanse, veličine, obliku i orijentaciji defekta.

OPREMA ZA ISPITIVANJE

Oprema za ultrazvučno ispitivanje materijala sastoji se od sonde, uređaja za prikazivanje rezultata ispitivanja, medija za prenošenje ultrazvučnog impulsa i kablova. Sonda je vrlo važan deo ultrazvučnog ispitivanja. Mnogi su faktori, od kojih su materijali od koje je izrađena, njena mehanička i električna konstrukcija, kao i spoljašnji uslovi, vrlo bitni za ponašanje sonde u ispitivanju. Mehanička konstrukcija uključuje parametre poput područja izlaganja površine, mehaničko prigušenje, kućište, tip priključka. Najčešće sonde mogu biti piezoelektrične, laserske i elektromagnetska akustična sonda.

Ultrazvučne sonde se prave za vrlo široki spektar primena i zato treba izabrati onu koja ima odgovarajuću frekvenciju, propusnost i fokus zračnog snopa kako bi se došlo do željenih rezultata ispitivanja.

Osnovna podela sondi se svodi na kontaktne, koje mogu biti ravne, ugaone i sa dvostrukim aktivnim elementom, i uranjajuće sonde.

Kontaktne sonde se koriste za direktna kontaktna ispitivanja i obično se ručno koriste. Proizvode energiju uspravno na ispitivani objekt. Koriste se za pronalaženje praznina, pora, pukotina, kao i za merenje debljine. Aktivni je element zaštićen u robusnom kućištu kako bi izdržao kontakt sa mnogim ispitivanim materijalima. Često imaju zamenjive kontaktne ploče kako bi se produžio njihov vek trajanja.

Uranjajuće sonde karakteriše činjenica da nemaju kontakta sa ispitivanim materijalom, da su izrađene kako bi delovale u obično vodenom okruženju, tj. rezervoaru sa vodom u koji su uronjene i sonda i ispitivani materijal gde voda ima ulogu kontaktnog sredstva – medija za prenošenje ultrazvuka. Obično imaju slojeve jednakih impedansi kako bi se što više zvučne energije prenosilo vodom do ispitivanog materijala. Mogu imati kružno ili sferno fokusirajuće sočivo. Koriste se kod automatizovanog skeniranja i u situacijama gde je potreban oštro fokusiran zrak u cilju poboljšanja rezolucije talasnog toka.

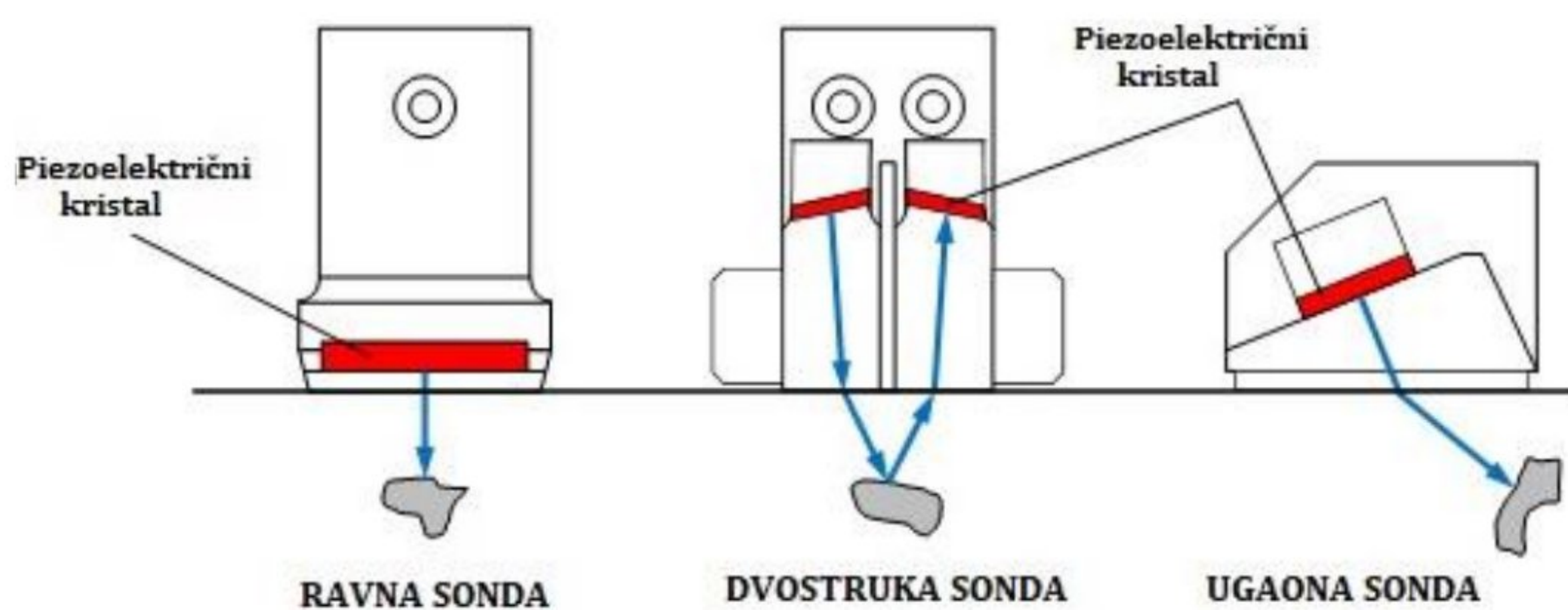
Kontaktne sonde mogu biti ravne, ugaone i sonde s dvostrukim aktivnim elementom. Ravne sonde se upotrebljavaju na relativno ravnim površinama i gde nije potrebna osetljivost na otkrivanje grešaka blizu površine. Ugaone sonde se upotrebljavaju

zajedno sa polimernim ili epoksidnim klinovima kako bi stvarale longitudinalne ili prvenstveno refraktovane transverzalne talase pod određenim uglom u odnosu na površinu ispitivanog materijala. Ispitivanjima je utvrđeno da:

- od 45° do 80° nastaju transverzalni talasi;
- od 0° do 35° nastaju longitudinalni talasi;
- od 35° do 45° nastaju i longitudinalni i transverzalni talasi.

Prvenstveno se ugaonim sondama ispituju zavareni spojevi.

Kontaktne, ravne i ugaone sonde

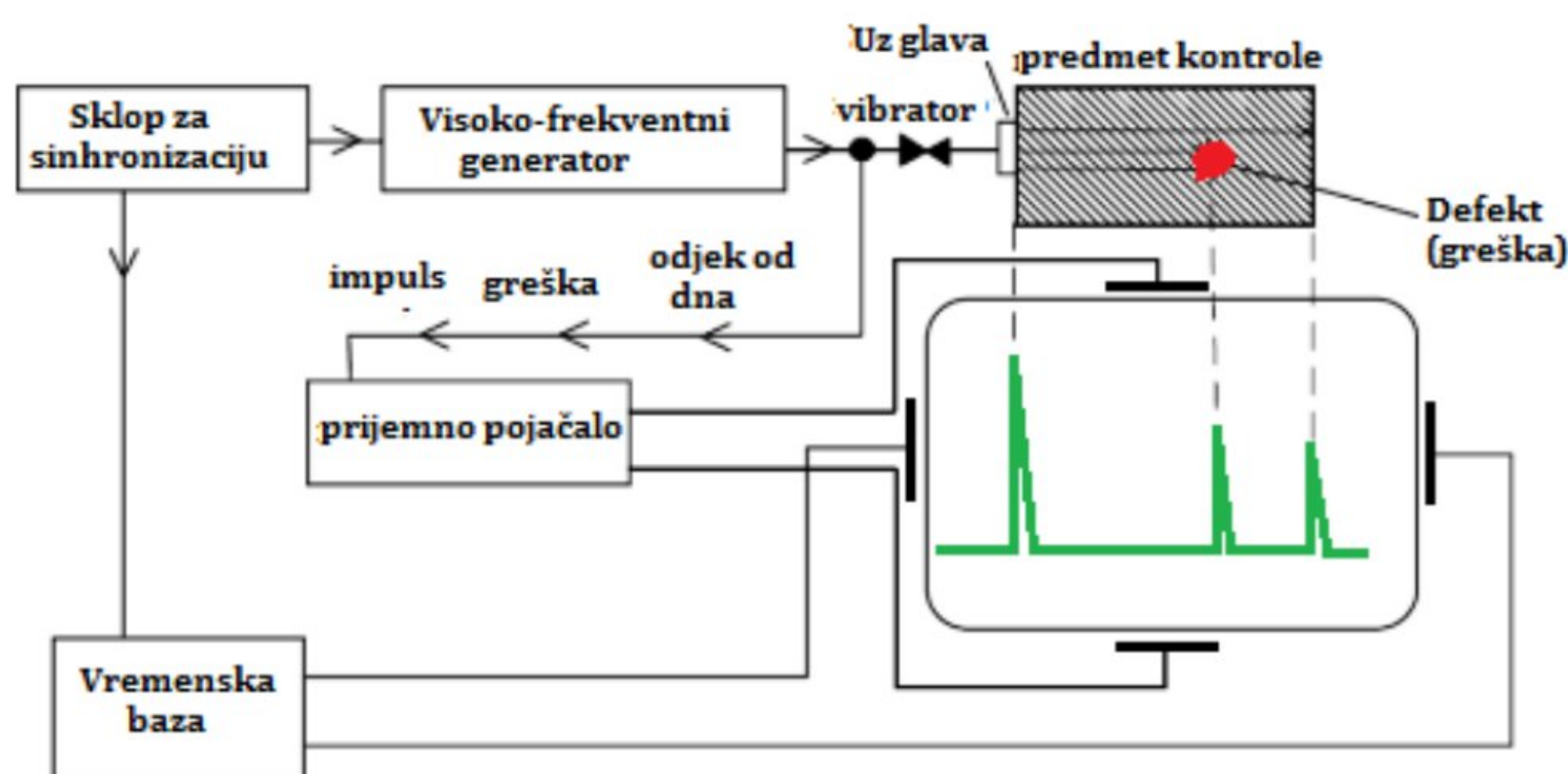


Slika 26. Prikaz vrsti sonde

Kontaktno sredstvo je materijal (obično tečnost) koja olakšava prenos ultrazvučne energije sa odašiljača u ispitivani uzorak. Kontaktno sredstvo je obično neophodno zbog velike razlike u akustičnoj impedansi snopa zraka i čvrstog materijala (ispitivanog materijala). Zato se sva energija reflektuje i vrlo malo prenosi u ispitivani materijal. Kontaktno sredstvo istiskuje zrak i omogućuje emisiju više ultrazvučne energije u ispitivani uzorak kako bi se ta energija mogla iskoristiti za ispitivanje. U kontaktnom ispitivanju (kontaktne sonde) kao kontaktno sredstvo između sonde i uzorka obično se upotrebljava tanak sloj ulja, glicerina ili vode.

OTKRIVANJE I EVALUACIJA DISKONTINUITETA

Ultrazvučna metoda kontrole kvaliteta zasniva se na svojstvu ultrazvuka da se širi kroz homogene materijale i da se odbija na granici materijala različitih akustičkih osobina (otpornosti), odnosno od nehomogenosti (grešaka) u materijalu. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni talasi kroz materijal koji se kontroliše. Ako u materijalu postoji greška/defekt, iza nje će, zavisno od vrste greške, ultrazvučni talasi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). Ultrazvuk je vrsta mehaničkih talasa frekvencije od 20 kHz do 10 GHz, a kod ispitivanja materijala najčešće se koriste frekvencije od 0,5 MHz do 10 MHz. Iako postoje različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, obično se u praksi koristi metoda impuls – odjek, metoda prozvučavanja i metoda rezonance, pri čemu se koriste ravne i/ili ugaone ultrazvučne glave. Na slici 27 je prikazan shematski princip ultrazvučnog ispitivanja.



Slika 27. Shematski prikaz ultrazvučnog ispitivanja

5.3 Penetrantsko ispitivanje

Ispitivanje penetrantima je još jedna od prethodno navedenih nedestruktivnih metoda, koja se zasniva na prodiranju tečnosti u površinske defekte i pukotine.

Metoda se bazira na kapilarnim pojavama.

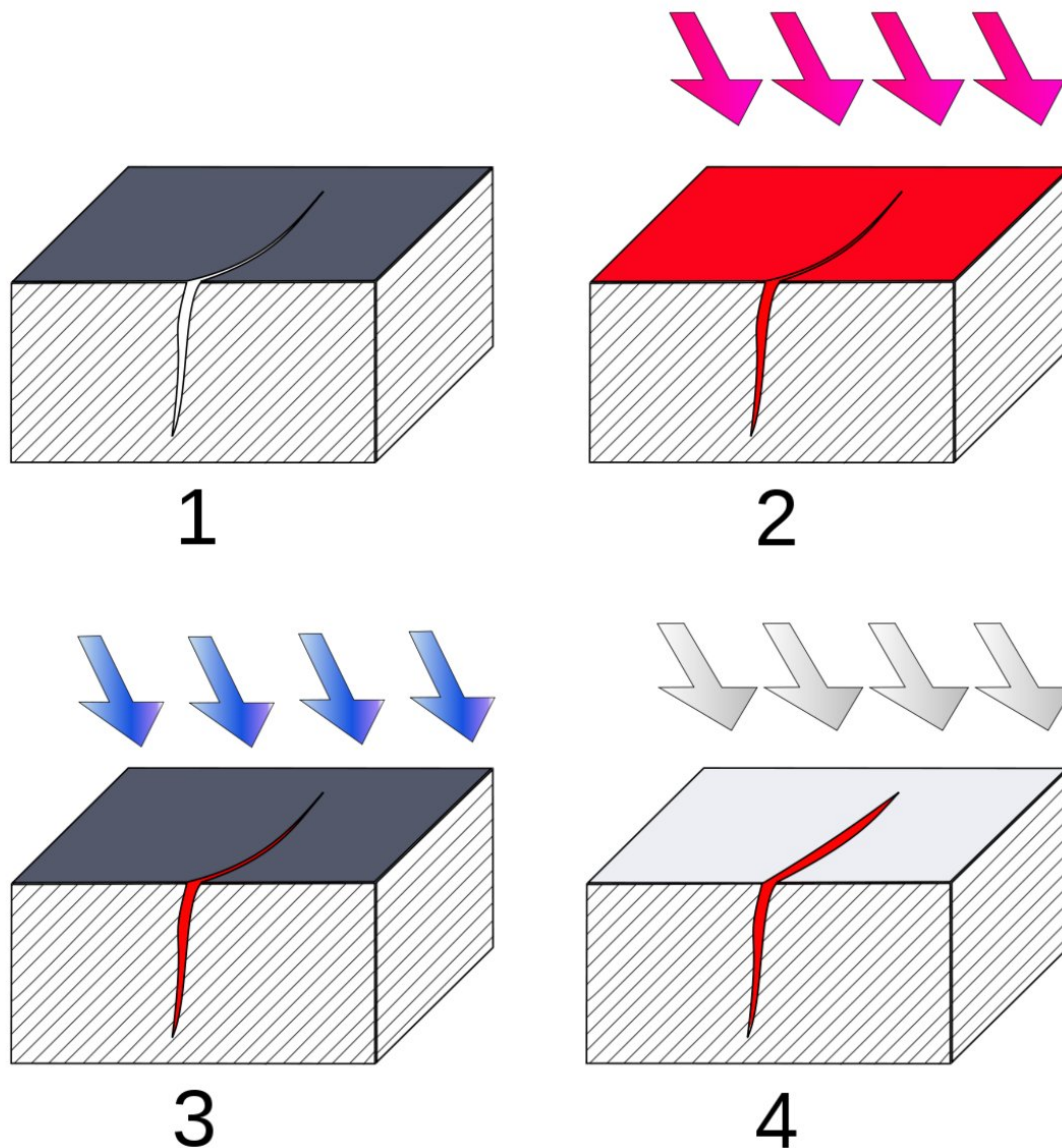
Materijal se ispituje penetrantom tečnošću koja se nanosi na ispitivani materijal i nakon određenog vremena uklanja, nakon čega se nanosi razvijatelj koji čini nedostatke vidljivim pod belim svetlom ili ultraljubičastim (UV) lampama.

Ispitivanje penetrantima je jedna od najčešće korišćenih metoda ispitivanja bez razaranja zbog svoje jednostavne upotrebe i fleksibilnosti.

Koristi se za ispitivanje širokog spektra materijala kao što su razni metali, staklo, keramika i polimeri (pod uslovom da ispitivana površina navedenij materijala nije suviše gruba i porozna).

Metoda je vrlo uspešna u otkrivanju vrlo malih površinskih defekata i pukotina. Vrlo veliki delovi mašina/postrojenja različitih oblika mogu se lako i brzo pregledati. Ozbiljno ograničenje ovih metoda je da se mogu ispitati samo površinski diskontinuiteti na neporoznim materijalima, pri čemu stanje površine u vidu završne obrade i hrapavosti može imati značajan uticaj na uspeh ispitivanja. Pored navedenog, potrebno je da ispitivana površina mora biti direktno dostupna, čista i nakon ispitivanja očišćena od ostataka penetranta.

Za penetrantnu metodu može spadati i u grupu vizuelnih metoda, a koristi se za detekciju površinskih defekata koristi se penetrantna tečnost i razvijatelj.



Slika 28. 3D prikaz delovanja penetranta

Kako bi ispitivanje materijala penetrantima bilo na zadovoljavajuć način i uspešno otkrivalo defekte, penetrantni materijali moraju posedovati nekoliko važnih svojstava. Moraju se lako i ravnomerno naneti na ispitivanu površinu kako bi se moglo lako i brzo ući u pukotine. Prilikom skidanja materijala sa površine moraju ostati u pukotinama i to u tečnom obliku kako bi pri daljem procesu sušenja i razvijanja izašli iz pukotine na površinu.

Penetrantni materijali moraju biti vidljivi pod običnim ili ultraljubičastim svetlom i ne smeju biti štetni za okolinu, ispitivača ili materijal koji se ispituje.

Specifičnosti penetrantnih materijala se formulišu u zavisnosti od vrste i stanja ispitivanog materijala (hrapava ili glatka površina), očekivanim defektima (veći ili manji) i načinu ispitivanja (obično ili UV osvijetljeni).



Slika 29. Izgled penetranta na prirubnici



Slika 30. a) Izgled penetranta b) Izgled penetranta

Ovom metodom moguće je konstantovati defekte čija je širina veća od 0,001mm i dublje od 0,01mm.

Najčešće se ispitivanja vrše:

- uljem ili petrolejom;
- fluorescentnim tečnostima;
- obojenim tečnostima.

Pre ispitivanja predmeti se dobro očiste od svih nečistoća. Kada se ispituju s petrolejem ili uljem, predmeti se urone u vrući petrolej ili ulje i drže određeno vreme. Pod uticajem sila površinskog napona, dolazi do prodiranja u male pore i pukotine. Nakon što se obriše višak tečnosti sa površine, nastaje pukotina koja se skuplja i istiskuje ulje na površinu. Na površini se pojavljuju mrlje i mesto gde se nalazi defekt postaje uočljiv.

Fluorescentni penetranti sadrže fluorescentne boje i stoga zahtevaju prigušeno osvetljenje i UV lampu da bi bili vidljivi. Defekti su više uočljivi nego korišćenjem vidljivih penetranta, ali ne zahtevaju prigušeno osvetljenje ni lampe i obično su crvene boje kako bi pružili što veći kontrast beloj boji.

U zavisnosti od načina otkrivanja defekata, penetrantski materijali se deli na:

- a) nivo 0,5 - ultra niska osetljivost;
- b) nivo 1 - niska osjetljivost;
- c) nivo 2 - srednja osjetljivost;
- g) nivo 3 - visoka osjetljivost;
- d) nivo 4 - ultra visoka osjetljivost.

Ukoliko se očekuje otkrivanje defekata preporučuje se korišćenje penetranta slabije osetljivosti.

Kako bi se smanjila verovatnoća otkrivanja manjih, za konkretno ispitivanje, nevažnih defakata i lažnih indikacija koje mogu biti u većem broju otrivene upotrebom penetranta visoke osetljivosti.

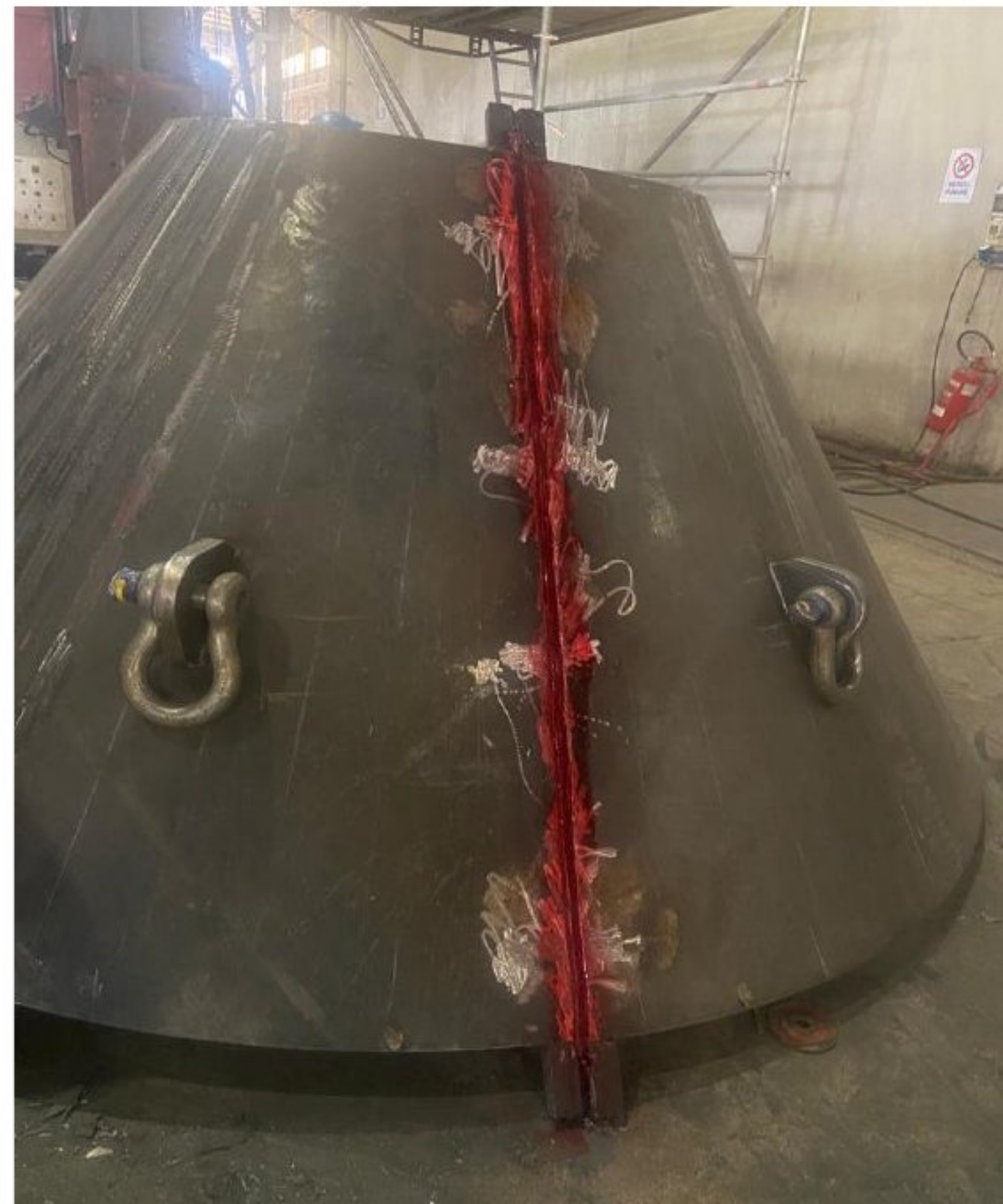
Temperatura igra vrlo negativnu ulogu za fluoroscentne materijale.

Na temperaturama koje su veće od 71 °C dolazi do razgradnje penetranta koji su u upotrebi, tako da nije preporučljivo prekoračiti navedenu temperaturu. Optimalna svojstva penetranta mogu se očekivati na temperaturama od 27 do 49 °C.

Primeri procesa penetrantske metode



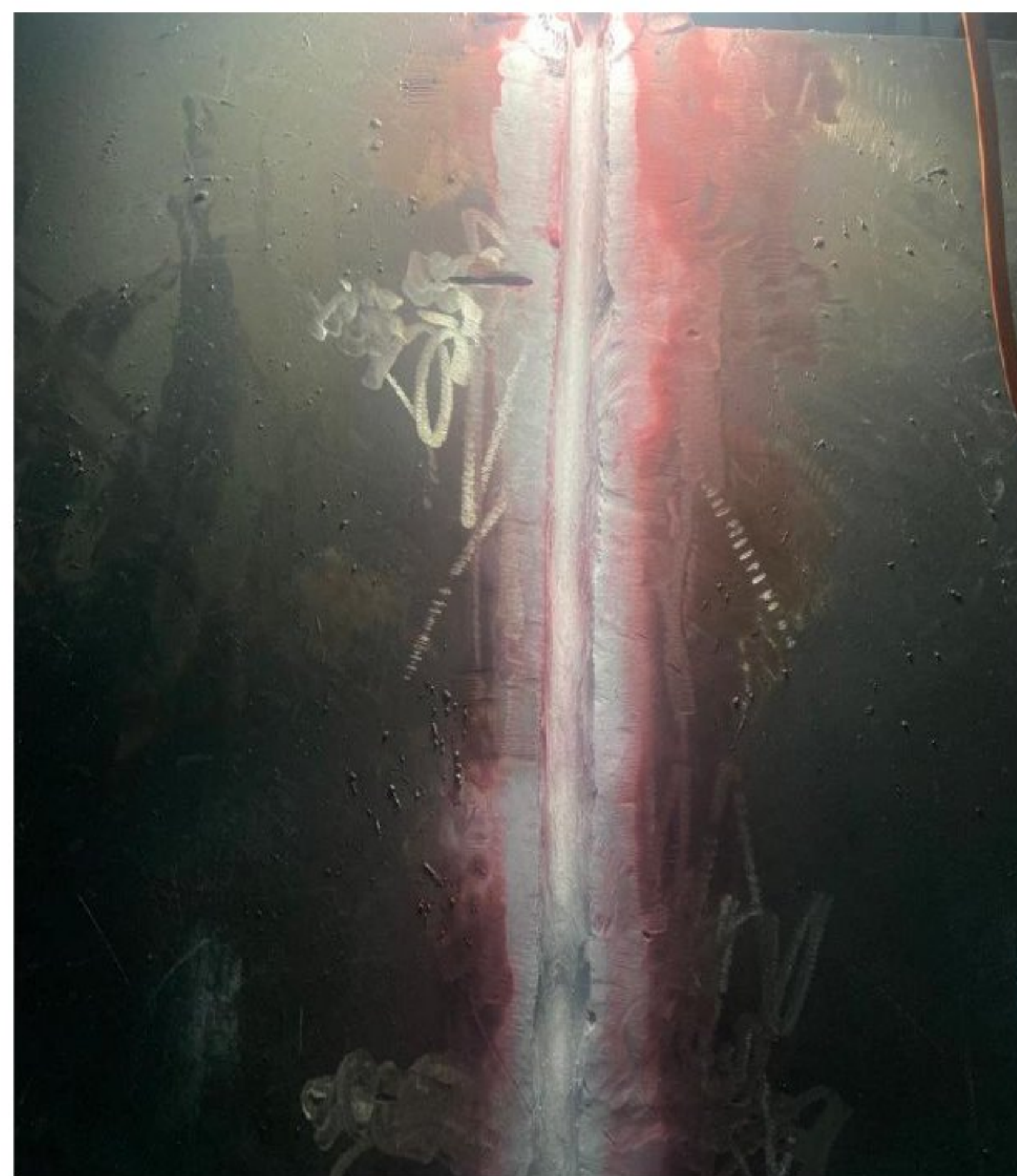
1)Završetak čišćenja vara (provvara)



2) Nanošenje penetranta



3) Nanošenje belog razvijaja



4) Pregled i utvrđivanje defekata

Slika 31. Primer celokupnog rada sa penetrantom

Na slici 31 dat je primer celokupnog rada sa penetrantom. Na fotografiji 1 možemo uočiti završetak prvih linija vara na kraju zavarenog spoja odnosno korena šava koji se mora detaljno obrusiti kako bi se otklonile sve nečistoće u samom varu. Nakon uklanjanja svih nedostataka u provaru vrši se provera penetrantskom metodom kao što se može videti na fotografiji 2 gde se nanosi penetrant zatim se sačekava 10 minuta kako bi taj penetrant prodrao u sve pore. Kada prođe 10 minuta na krpu se nanosi alkohol ili voda i zatim se vrši odstranjivanje ostatka penetranta da bi se posle toga kao što je prikazano na fotografiji 3 nanosi beli razvijatelj koji nam ukazuje na moguće nedostatke u korenu šava. Na fotografiji 4 možemo konstatovati da nema nedostataka i da je koren šava adekvatno i na pravi način pripremljen za nastavak varenja.

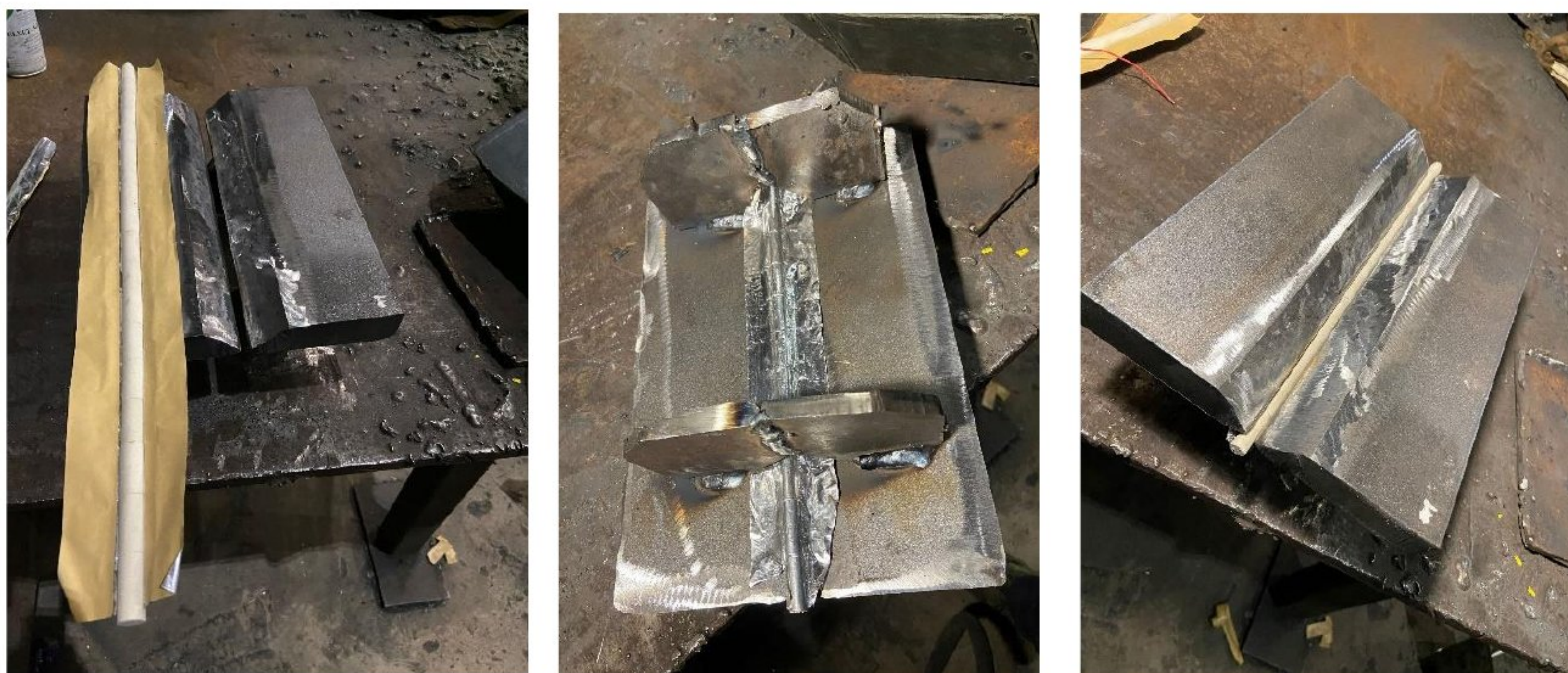
6. ISPITIVANJE ZAVARENIH SPOJEVA NOSEĆE ČELIČNE KONSTRUKCIJE

Izvršeno je ispitivanje zavarenog spoja na ploči debljine 25mm na kom su prethodno napravljene faze pod uglovima od 45% za zavar V šava. Na slici 32 prikazane su faze pod uglovima od 45 stepeni.



Slika 32. Dve ploče sa već urađenim fazama

Postavljanjem keramike sa donje strane ploče se vrši zatvaranje viška prostora između dve ploče i olakšava zavarivanje. Postavka i izgled keramike će biti prikazan na Slikama



Slika 33 a) b) c). Postavljanje keramike između dve faze

Nakon što je postavljena keramika zavarivač podešava aparat za zavarivanje prema WPS listi odnosno „*Welding Procedure Specification*“, u ovom slučaju zavarivanje se vršilo Mig/Mag postupkom sa višeslojnim prolazima. Postupak varenja se vršio tako što se u fazi zavarenog spoja izvrši zavar korena a zatim popuna uz levu ivicu ili desnu ivicu po izboru majstora u debljini nanosa do 5mm, nakon toga se odmah do nje slaže i druga laga u suprotnoj strani od od prve. U zavisnosti od veličine faze zavisi koliko ce biti prolaza zavara.



Slika 34. a) Proces zavarivanja



Slika 34. b) Proces zavarivanja

6.1 Rezultati ultrazvucnog ispitivanja

Pre početka ultrazvučnog ispitivanja vršili smo kalibraciju uređaja sa kojim ćemo da ispitujemo zavar.



Slika 35. Proces kalibracije uređaja

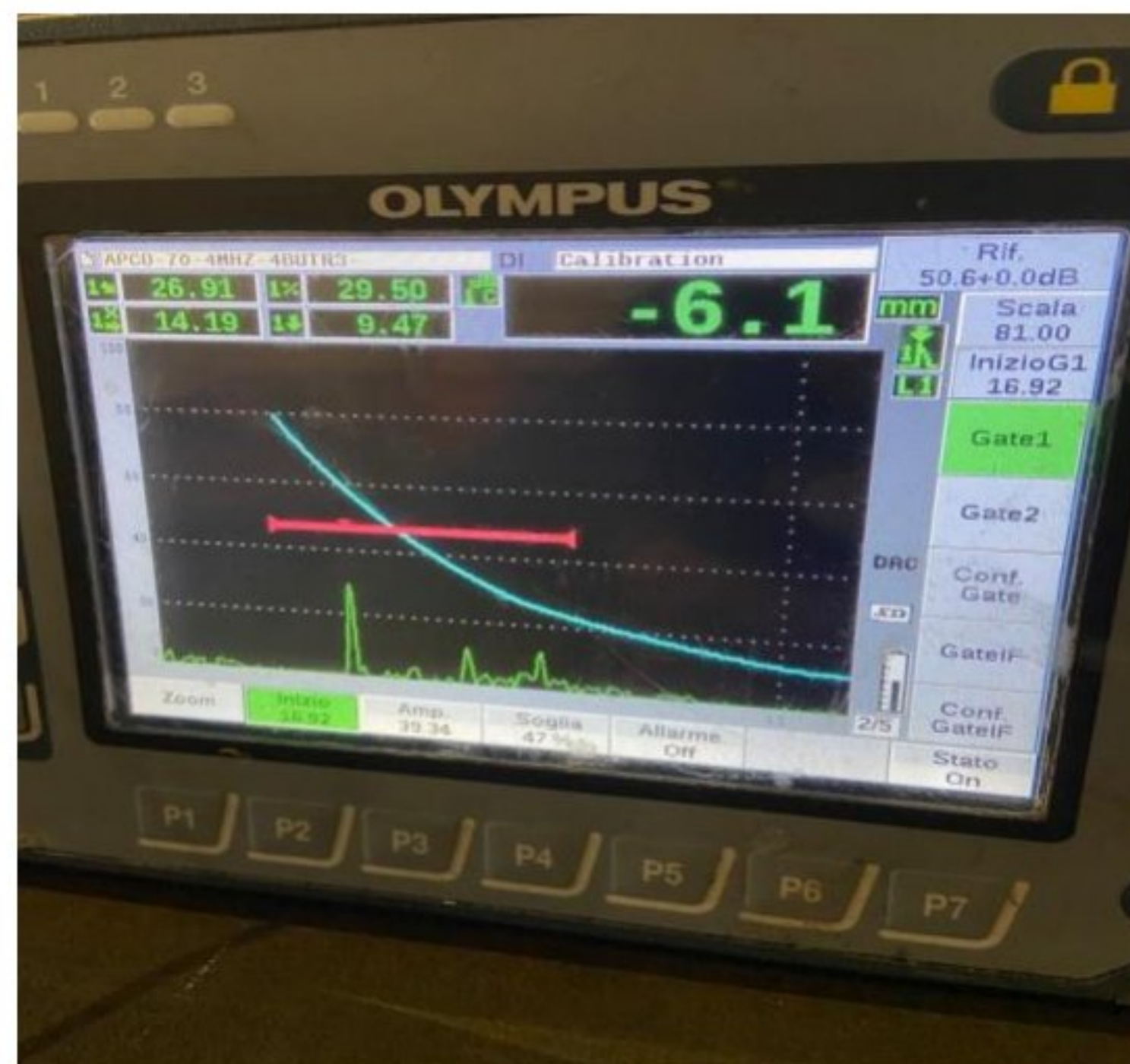
Na Slici 35. možemo da uočimo uređaj *Olympus* kao i sondu koju ćemo da koristimo u daljim ispitivanjima. Na metalnom bloku na kome se nalazi sonda su izbušene rupe na određenim dubinama poznatih dimenzija i koordinata kako bi se kalibrisao i doveo u ispravno stanje merni uređaj.

U nastavku nakon kalibracije smo pristupili proverbi zavarenog spoja na našoj ispitivanoj ploči.

Pri ispitivanju ploče su se javile indikacije nedostatka unutar vara, zatim smo se usredili na taj deo ploče kako bismo dobili detaljnije informacije vezane za nedostatak odnosno njegove tačne koordinate.



Slika 36. Proces kontrole ultrazvučnom metodom

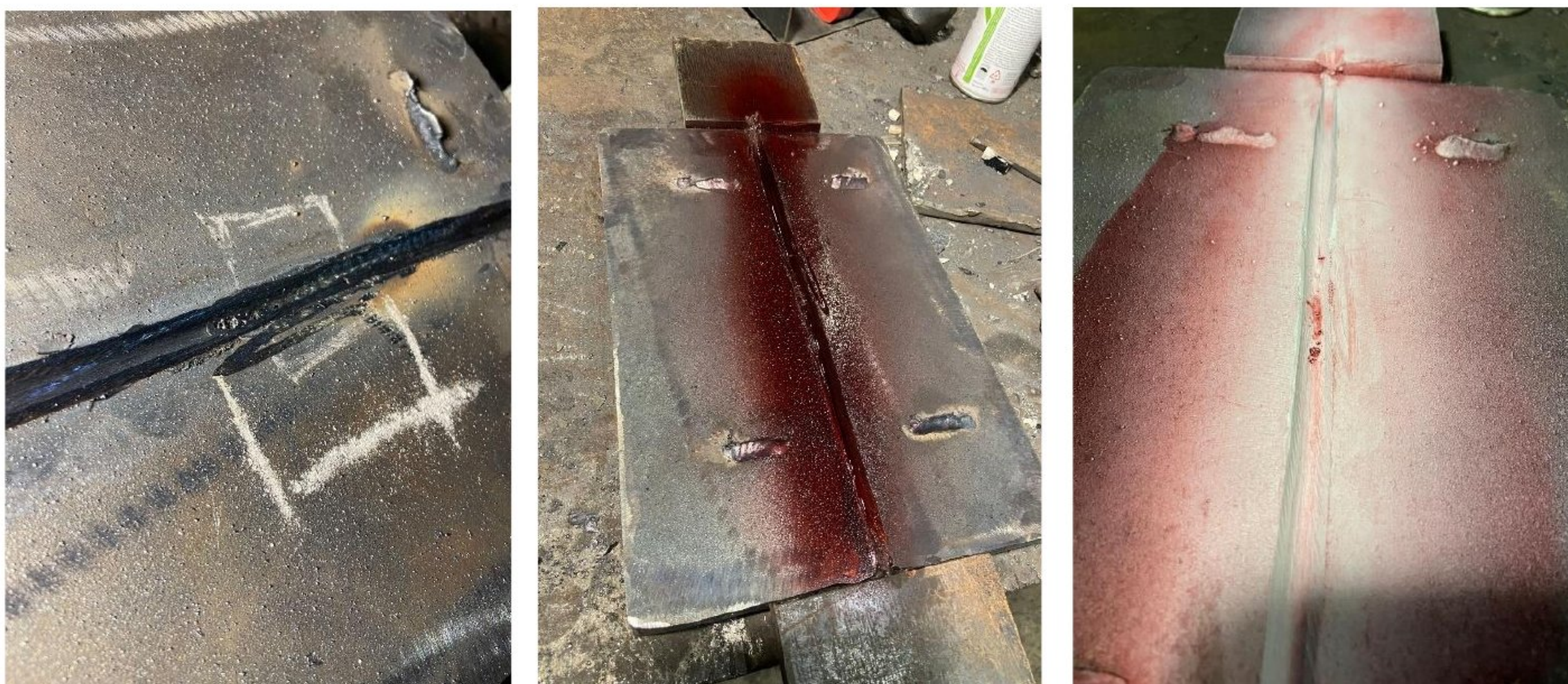


Slika 37. Prikaz nedostatka na uređaju

Kao što se na Slici 37. može utvrditi pronađen je nedostatak unutar vara na dubini od 9.47mm od vrha ploče kao i 14.19mm od prednje strane sonde do nedostatka.

6.2 Rezultati penetrantskog ispitivanja

Pri prethodnom ispitivanju je zaključeno u kom delu i na kojoj dubini se nalazi nedostatak i na osnovu toga smo započeli otvaranje zavarenog spoja sve do nedostatka i pomoću penetrantske metode utvrdili tačnu poziciju gde se nalazi.



Slika 38. a) b) c) Utvrđivanje nedostatka penetrantskom metodom

6.3 Uporedna analiza

Prventveno je izvršen pregled zavarenog spoja ultrazvučnom metodom koja nam daje informacije o tome da li ima nedostataka, u našem slučaju uređaj je pokazao da ima nedostataka na dubini od 9.47mm kao i 14.19mm od prednje strane sonde do nedostatka.



Slika 39. Položaj nedostatka u materijalu

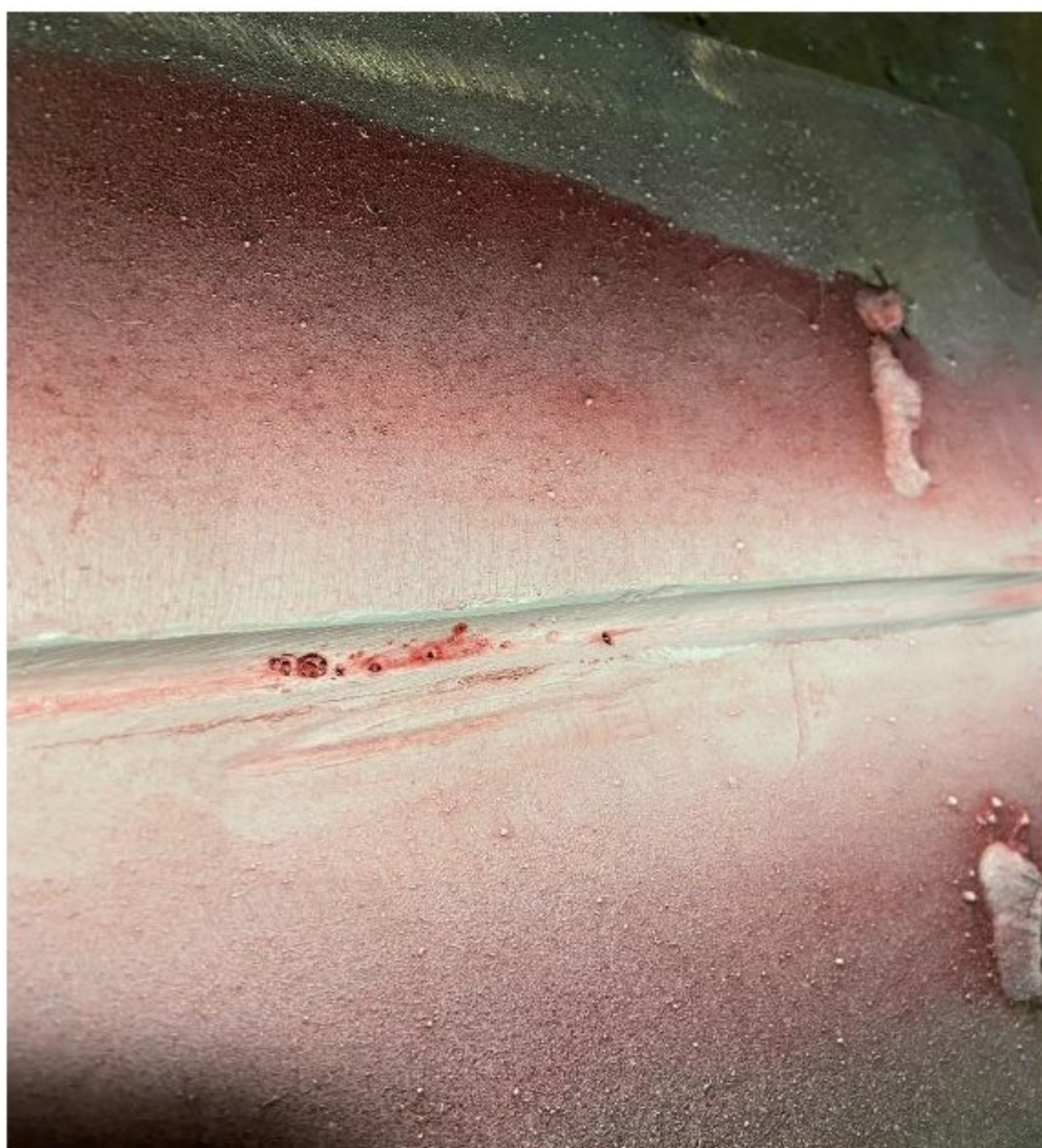
Poznavajući tačne koordinate nedostatka prelazi se na ceo proces otkljanjnja nedostatka i ponovnog zavarivanja spoja.

Prvo se vrši uklanjanje materijala odnosno brušenje materijala do dubine na kome se nalazi nedostatak kao sto je prikazano na Slici 40.



Slika 40. Kopanje materijala do nedostatka

Nakon brušenja odnosno uklanjanja materijala dolazimo do nedostatka koji će biti podvrgnut metodom penetranta kako bismo tacno videli i utvrdili postojanje greške. Slika 40.



Na Slici 41. možemo primetiti prikaz greške koja se pojavila nakon nanošenja belog prekrivača.

Prvenstveno se nanosi penetrant i nakon određenog vremena beli prekrivač koji omogućuje da se greška uoči.

Slika 41. Utvrđivanje greške penetrantom

Nakon otvaranja zavarenog spoja i pregleda nedostatka izvršena je potpuna neutralizacija tako što je obrušen kompletan deo ploče na kome je došlo do greške



Slika 42. a) Uklanjanje nedostatka



Slika 42. b) Uklanjanje nedostatka

Ponovnim postupkom pregleda vara penetrantskom metodom utvrđivali smo da li je svaki deo nedostatka otklonjen kao sto je i prikazano na Slikama



Slika 43. a) b) Ponovni postupak penetrantskom metodom

Kada smo proverili i utvrdili da vise nema nista unutar vara započinjemo ponovni proces varenja i ispunjivanja dela ploče na kome je prvenstveno utvrđen nedostatak zatim taj isti nedostatak otklonjen.

Po završetku ponovnog zavara, uradili smo obe metode kako bismo bili sigurni da nema nikakvih ostećenja. Obe metode su dale pozitivne rezultate i pokazale da je da je dobijen homogen zavareni spoj bez ikakvih nedostataka, spreman za dalju proizvodnju.

7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U ovom radu je vršeno ispitivanje zavarenog spoja sa ultrazvučnom i penetrantskom metodom koje spadaju u osnovne metode tehničke dijagnostike bez razaranja koje imaju veliku primenu u područjima industrije i tehnologije.

Vršili smo ispitivanje na materijalu debljine 25mm. Ispitivanje se izvodilo na materijalu pri zavaru V šava na prethodno napravljenoj fazi pod uglovima od 45%.

Pre početka ultrazvučnog ispitivanja vršili smo kalibraciju uređaja sa kojim ćemo da ispitujemo zavar. Uređaj koji smo koristili pri ispitivanju je Olympus model EPOCH-600.

Pristupili smo proveru zavarenog spoja na našoj ispitivanoj ploči.

Pri ispitivanju ploče su se javile indikacije nedostatka unutar zavara, zatim smo se usredili na taj deo ploče kako bismo dobili detaljnije informacije vezane za nedostatak odnosno njegove tačne koordinate.

Utvrđili smo da je pronađen nedostatak unutar vara na dubini od 9.47mm od vrha ploče kao i 14.19mm od prednje strane sonde do nedostatka.

Ultrazvučnom metodom smo zaključili u kom delu i na kojoj dubini se nalazi nedostatak i na osnovu toga smo započeli otvaranje zavarenog spoja sve do nedostatka i pomoću penetrantske metode utvrdili tačnu poziciju gde se nalazi.

Nakon otvaranja zavarenog spoja i pregleda nedostatka izvršena je potpuna neutralizacija tako što je obrušen kompletan deo ploče na kome je došlo do greške.

Ponovnim postupkom pregleda vara penetrantskom metodom utvrđivali smo da li je svaki deo nedostatka otklonjen.

Po završetku ponovnog zavara, uradili smo obe metode kako bismo bili sigurni da nema nikakvih oštećenja. Obe metode su dale pozitivne rezultate i pokazale da je dobijen homogen zavareni spoj bez ikakvih nedostataka, spreman za dalju proizvodnju.

Ceo proces kontrole varova je samo jedan od deo tehničke dijagnostike bez koje ne moze da prođe ni jedan projekat. Tehnicka dijagnostika se može primeniti u skoro svim područjima industrije i tehnologije, kako bi se osigurao kvalitet proizvoda, ekonomičnost i efikasnost procesa, a prevashodno u cilju osiguranja sigurnosti i pouzdanosti.

Zahvaljujući tehničkoj dijagnostici možemo pravovremeno predvideti pojave neispravnosti koje imaju veliku značaj kao sto je predupređenje otkaza nekog dela ili celog sistema.

8. LITERATURA

1. Prof. dr Predrag Jovančić (2020). Tehnička dijagnostika, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
2. Prof. Dr Dragan Ignjatović. Rudarske Mašine, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
3. Ispitivanje vršeno u prostorijama firme “Cimolai SPA” Monfalcone, Italy
4. Dokumentacija sa interneta

Broj	Naziv slike	Strana
SLIKA 1.	OSNOVNI DELOVI RUDARSKIH MAŠINA (DOZERA I UTOVARIVAČA)	2
SLIKA 2.	OSNOVNA NOSEĆA KONSTRUKCIJA RUDARSKIH MAŠINA	4
SLIKA 3.	KONSTRUKCIJA OBRTNE PLATFORME	7
SLIKA 4.	OBRтна PLATFORMA ROTORNOG BAGERA	8
SLIKA 5.	OSNOVNA NOSEĆA KONSTRUKCIJA A) DOZERA NA GUSENICAMA, B) DOZERA NA PNEUMATICIMA	9
SLIKA 6.	OSNOVNA ČELIČNA KONSTRUKCIJA	10
SLIKA 7.	3D PRIKAZ ZAVRTNJA	11
SLIKA 8.	UZDUŽNI I POPREČNI KLIN	12
SLIKA 9.	PRIKAZ ZAKOVANIH SPOJEVA	14
SLIKA 10.	POSTUPCI ZAVARIVANJA	15
SLIKA 11.	VRSTE ZAVARIVANJA PRITISKOM I TOPLJENJEM	16
SLIKA 12.	PRIKAZ ELEMENATA ZAVAREN OG SPOJA	17
SLIKA 13.	PRIKAZ ZAVAREN OG SPOJA SA ZONOM UTICAJA TOPLOTE	18
SLIKA 14.	VRSTE ZAVAREN IH SPOJEVA	18
SLIKA 15.	VRSTE ŠAVOVA	19
SLIKA 16.	OBLICI NAJČEŠĆE KORIŠĆENIH ZLEBOVA I ŠAVOVA	19
SLIKA 17.	A) HORIZONTALNO B) HIRIZONTALNO VERTIKALNO C) VERTIKALNO D) NADGLAVNO ZAVARIVANJE	20
SLIKA 18.	PRIMER ZAVAREN OG SPOJA	21
SLIKA 19.	PRIMER ZAVAREN OG SPOJA	21
SLIKA 20.	PRIMER UGAONOG VARA	22
SLIKA 21.	PRIMER VERTIKALNOG ZAVARA POD UGLOM	22
SLIKA 22.	FREKVENTNI OSEG ULTRAZVUKA	24
SLIKA 23.	PRINCIP ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA	25
SLIKA 24.	SMEROVI ŠIRENJA TALASA	27
SLIKA 25.	PROSTIRANJE ZVUČNOG TALASA	29
SLIKA 26.	PRIKAZ VRSTI SONDI	33
SLIKA 27.	SHEMATSKI PRIKAZ ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA	34
SLIKA 28.	3D PRIKAZ DELOVANJA PENETRANTA	36
SLIKA 29.	IZGLED PENETRANTA NA PRIRUBNICI	37
SLIKA 30.	A) IZGLED PENETRANTA B) IZGLED PENETRANTA	38
SLIKA 31.	PRIMER CELOKUPNOG RADA SA PENETRANTOM	40
SLIKA 32.	DVE PLOČE SA VEĆ URAĐENIM FAZAMA	42
SLIKA 33.	A) B) C). POSTAVLJANJE KERAMIKE IZMEĐU DVE FAZE	42
SLIKA 34.	A) PROCES ZAVARIVANJA SLIKA 34. B) PROCES ZAVARIVANJA	43
SLIKA 35.	PROCES KALIBRACIJE UREĐAJA	44
SLIKA 36.	PROCES KONTROLE ULTRAZVUČNOM METODOM	
SLIKA 37.	PRIKAZ NEDOSTATKA NA UREĐAJU	45
SLIKA 38.	A) B) C) UTVRĐIVANJE NEDOSTATKA PENETRANTSKOM METODOM	45
SLIKA 39.	POLOŽAJ NEDOSTATKA U MATERIJALU	46
SLIKA 40.	KOPANJE MATERIJALA DO NEDOSTATKA	46
SLIKA 41.	UTVRĐIVANJE GREŠKE PENETRANTOM	47
SLIKA 43.	A) B) PONO VNI POSTUPAK PENETRANTSKOM METODOM	48

Broj	Naziv tabele	Strana
1.	Akustične osobine materijala	4

ИЗЈАВА

О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента Александар (Неда) Ђуровић

Број индекса P559-22

Студијски програм _____

Наслов рада Упоредно ултразвучно и пенетрантско испитивање заварених спојева носеће челичне конструкције

Ментор Проф. др Предраг Јованчић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

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

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, _____

Потпис студента

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Упоредно ултразвучно и пенетрантско испитивање заварених спојева носеће челичне конструкције

који је моје ауторско дело.

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

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције)*:

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)

У Београду, _____

Потпис ментора

Потпис студента

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
 2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
 3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
 4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
 5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
 6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-

ПОТВРДА

О ПРЕДАЈИ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Потврђује се да је студент Александар (Неда) Буровић
(име (име родитеља) презиме)

бр. индекса P559/22__предао/ла електронску верзију завршног рада на
основним/мастер академским студијама под насловом:

Упоредно ултразвучно и пенетрантско испитивање заварених спојева носеће
челичне конструкције

који је урађен под менторством _____ Проф. др Предраг Јованчић _____
(име, презиме и звање)

за Дигитални репозиторијум завршних радова РГФ-а.

Потврда се издаје за потребе Одељења за студентска и наставна питања и не може се
користити у друге сврхе.

У Београду, _____

Библиотекар