

1 VARJENJE

Varjenje kovin je ena izmed ključnih tehnik v inženirstvu in industriji, ki omogoča povezovanje različnih kovinskih materialov v trdne in trajne strukture. Gre za postopek, ki se uporablja v številnih industrijskih panogah, od avtomobilske industrije in gradbeništva do vesoljske tehnologije in proizvodnje potrošniških izdelkov. Študentje, ki študirajo Tehniko in Tehnologijo, se bodo skozi učno vsebino o varjenju kovin seznanili z osnovnimi načeli, tehnikami in varnostnimi praksami, ki so potrebne za uspešno in varno izvedbo varilskih postopkov.

Varjenje ni le mehanski proces, ampak vključuje tudi razumevanje fizikalnih in kemijskih lastnosti kovin, ter kako te lastnosti vplivajo na varjenje in končno kakovost spoja. Osnovno poznavanje različnih vrst varjenja, kot so obločno varjenje, plinsko varjenje, lasersko varjenje in uporovno varjenje, je ključno za izbiro prave tehnike glede na specifične zahteve projekta.

Poleg tehnološkega znanja je pri varjenju pomembno tudi upoštevanje varnostnih standardov. Varjenje lahko predstavlja številne nevarnosti, kot so opekline, poškodbe oči zaradi močne svetlobe in vdihavanje škodljivih plinov. Zato je ključno, da se študentje naučijo pravilne uporabe varnostne opreme in upoštevanja varnostnih protokolov.

V tem uvodu bomo predstavili osnove varjenja kovin, vrste varjenja, uporabljeno opremo ter osnovne varnostne ukrepe. Naš cilj je, da študentje pridobijo trdne temelje, na katerih bodo lahko gradili svoje praktične spretnosti in teoretično znanje, ki jih bodo potrebovali v svojih prihodnjih poklicih v tehnološki industriji.

1.1 VRSTE VARJENJA IN NJIHOVE ZNAČILNOSTI

Vsaka vrsta varjenja ima svoje specifične uporabe, prednosti in omejitve. Izbira prave tehnike je odvisna od številnih dejavnikov, vključno z vrsto materiala, debelino, okoljem in zahtevami glede kakovosti spoja.

1.1.1 Obločno Varjenje (MMA/Stick Welding)

Značilnosti:

Uporablja električni tok za ustvarjanje obloka med elektrodo in kovino. Elektroda se tali in tvori varilni spoj.

Prednosti:

Primerno za različne kovine in debeline. Prenosna oprema, primerna za delo na terenu. Relativno nizki stroški opreme.

Slabosti:

Zahteva visoko stopnjo spretnosti. Ustvarja veliko dima in škodljivih plinov. Varilni spoji pogosto zahtevajo dodatno obdelavo (odstranjevanje žlindre).

1.1.2 MIG/MAG Varjenje (Metal Inert Gas/Metal Active Gas Welding)**Značilnosti:**

Uporablja zaščitni plin (inertni ali aktivni) za zaščito varilnega obloka in spoja pred oksidacijo. Kontinuirno dovajanje žice kot elektrode.

Prednosti:

Visoka hitrost varjenja in učinkovitost. Manj dima in plinov v primerjavi z obločnim varjenjem. Enostavno za avtomatizacijo.

Slabosti:

Občutljivo na prepih in vetrovne razmere. Zahteva dražjo opremo in pline. Manj primerno za zunanjo uporabo.

1.1.3 TIG Varjenje (Tungsten Inert Gas Welding)**Značilnosti:**

Uporablja netaljivo volframovo elektrodo in inertni plin (najpogosteje argon) za zaščito varilnega obloka. Primeren za tanjše materiale in precizno delo.

Prednosti:

Omogoča visoko kakovostne in čiste varilne spoje. Odlična kontrola nad varilnim procesom. Primerno za različne kovine, vključno z aluminijem in nerjavnim jeklom.

Slabosti:

Počasnejši proces v primerjavi z MIG/MAG varjenjem. Zahteva visoko stopnjo spretnosti in izkušenj. Dražja oprema in potrošni materiali.

1.1.4 Plinsko Varjenje (Oxy-Fuel Welding)**Značilnosti:**

Uporablja plinski gorilnik z mešanico kisika in gorljivega plina (npr. acetilen) za taljenje kovin. Primerno za varjenje tankih pločevin in cevi.

Prednosti:

Prenosna in relativno poceni oprema. Uporablja se tudi za rezanje in lotanje kovin. Fleksibilno in primerno za različne aplikacije.

Slabosti:

Ni primerno za debele materiale. Manjša hitrost varjenja. Nevarnost eksplozije in požara zaradi uporabe plinov.

1.1.5 Lasersko Varjenje**Značilnosti:**

Uporablja visokoenergijski laserski žarek za taljenje kovin in tvorbo varilnega spoja. Visoka preciznost in koncentrirana toplota.

Prednosti:

Izjemno natančni varilni spoji. Minimalno popačenje materialov zaradi koncentrirane toplote. Primerno za visoko avtomatizirane proizvodne procese.

Slabosti:

Zelo visoki stroški opreme in vzdrževanja. Zahteva specifično zaščitno opremo in varnostne ukrepe. Omejena uporaba pri debelejših materialih.

1.2 MIG/MAG VARJENJE

MIG/MAG varjenje (Metal Inert Gas/Metal Active Gas Welding) je proces varjenja, kjer se uporablja kontinuirno dovajanje žice kot elektrode in zaščitni plin za zaščito varilnega obloka ter talilnega bazena pred oksidacijo. Ta proces omogoča visoko hitrost varjenja in je široko uporabljen v različnih industrijah zaradi svoje učinkovitosti in kakovosti varilnih spojev. Poglejmo podrobneje ključne faze tega procesa: taljenje žice, ustvarjanje plazme in generiranje talilnega bazena.

1.2.1 Taljenje Žice

V procesu MIG/MAG varjenja se uporablja kovinska žica, ki služi kot elektroda in kot dodajni material. Žica je kontinuirno dovajana iz varilnega avtomata skozi varilno pištolo do varilnega obloka. Ko se žica dotakne varjene kovine, se vzpostavi električni tok, ki povzroči hitro segrevanje in taljenje žice. Taljenje žice je rezultat visoke temperature, ki se ustvari zaradi električnega upora žice, ko električni tok teče skozi njo.

1.2.2 Ustvarjanje Plazme

Ko električni tok prehaja skozi žico in se dotika varjene kovine, se ustvari električni oblok, ki je v bistvu tok prevodnega plina (plazme). Ta plazma je izjemno vroča, običajno doseže temperature med 5000 in 30,000 stopinj Celzija. Plazma ima dve glavni vlogi:

1. Segrevanje in taljenje materialov: Visoka temperatura plazme tali kovinsko žico in osnovni material, kar omogoča tvorbo spoja.
2. Ionizacija zaščitnega plina: Plazma povzroči ionizacijo zaščitnega plina, ki obkroža varilni lok in talilni bazen, kar pomaga zaščititi varilni proces pred atmosferskimi kontaminanti, kot sta kisik in dušik.

1.2.3 Generiranje Talilnega Bazena

Talilni bazen je staljeni del kovine, ki nastane zaradi intenzivne toplote varilnega obloka. Ta bazen je ključnega pomena za oblikovanje trdnega in trajnega varilnega spoja. Proces vključuje naslednje korake:

1. Začetek taljenja: Ko se plazma ustvari, začne taliti površino osnovnega materiala in kovinsko žico. Kovinska žica se tali in kapljice stopljene kovine padajo v talilni bazen.
2. Mešanje materialov: Talilni bazen postane mešanica staljenega osnovnega materiala in staljene kovinske žice. Ta mešanica omogoča homogeno povezavo med dvema deloma kovine.
3. Premikanje talilnega bazena: Varilec ali varilni avtomat premika varilno pištolo vzdolž varilnega šiva, kar povzroča premikanje talilnega bazena. Kontinuirano dodajanje staljene kovine omogoča tvorbo enakomernega in trdnega varilnega spoja.
4. Strjevanje: Ko se varilna pištola premakne naprej, se talilni bazen začne ohlajati in strjevati. Strjena kovina tvori varilni spoj, ki povezuje osnovne materiale.

1.2.4 Vloga Zaščitnega Plina

Pri MIG varjenju se uporablja inertni plin (npr. argon ali helij), pri MAG varjenju pa aktivni plin (npr. ogljikov dioksid ali mešanica argona in ogljikovega dioksida). Zaščitni plin ima več ključnih funkcij:

1. Preprečuje oksidacijo: Ščiti varilni oblok in talilni bazen pred stikom z atmosferskim kisikom in dušikom, kar preprečuje nastanek oksidnih in nitridnih vključkov, ki bi lahko oslabili varilni spoj.
2. Stabilizacija obloka: Omogoča stabilen in kontroliran varilni oblok, kar je pomembno za kakovost varilnega spoja.

3. Nadzor oblike varilnega spoja: Različni plini lahko vplivajo na širino in globino varilnega spoja, kar je pomembno za različne aplikacije in debeline materialov.

1.3 SESTAVNI DELI VARILNEGA APARATA ZA MIG/MAG VARJENJE

Varilni aparat za MIG/MAG varjenje je sestavljen iz več ključnih komponent, ki skupaj omogočajo učinkovit in kakovosten varilni proces. Te komponente vključujejo napajalnik, žični podajalnik, varilno pištolo, zaščitni plin in pripadajoče regulatorje ter različne dodatne pripomočke. Tukaj je natančen opis posameznih sestavnih delov:

1.3.1 Napajalnik (Power Source)

- Vrsta napajanja: MIG/MAG varilni aparati običajno uporabljajo enosmerni tok (DC), čeprav nekateri modeli lahko delujejo tudi na izmenični tok (AC).
- Funkcija: Napajalnik zagotavlja stabilen električni tok za ustvarjanje varilnega oblaka. Tok in napetost se lahko prilagodita glede na zahteve varjenja.
- Nastavitve: Na napajalniku se nastavijo varilni parametri, kot so varilna napetost, hitrost dovajanja žice, ter včasih tudi karakteristike oblaka (mehki ali trdi oblok).

1.3.2 Žični Podajalnik (Wire Feeder)

- Funkcija: Žični podajalnik kontinuirano dovaja varilno žico iz tuljave skozi varilno pištolo do varilnega oblaka.
- Komponente: Sestavljen je iz motorja, ki poganja mehanizem za podajanje žice, in nastavitvenega sistema, ki omogoča natančno prilagoditev hitrosti podajanja žice.
- Tuljava z žico: Žica je navita na tuljavo, ki je nameščena v žičnem podajalniku. Tuljave so različnih velikosti, najpogostejše so 5 kg in 15 kg.

1.3.3 Varilna Pištola (Welding Gun)

- Funkcija: Varilna pištola služi za usmerjanje varilne žice, dovajanje zaščitnega plina in usmerjanje varilnega oblaka na varilni material.
- Komponente:
 - Kontaktna konica: Vodi električni tok do žice in zagotavlja dober električni stik.
 - Šoba: Usmerja zaščitni plin okoli varilnega oblaka in talilnega bazena.
 - Dovajalni mehanizem: Vsebuje cev za dovajanje žice in plina.

- Hlajenje: Varilne pištrole so lahko zračno ali vodno hlajene, kar preprečuje pregrevanje med daljšimi varilnimi postopki.

1.3.4 Zaščitni Plin (Shielding Gas)

- Vrste plinov: Uporabljajo se različni zaščitni plini glede na material in vrsto varjenja:
 - Inertni plini (npr. argon, helij): Uporabljajo se pri MIG varjenju, zlasti za varjenje aluminija in drugih neželeznih kovin.
 - Aktivni plini (npr. ogljikov dioksid, mešanice argona in CO₂): Uporabljajo se pri MAG varjenju, zlasti za varjenje jekla.
- Jeklenka za plin: Plin se shranjuje v visokotlačni jeklenki, ki je priključen na varilni aparat preko regulatorja.

1.3.5 Regulator in Merilnik Pretoka Plina (Gas Regulator and Flow Meter)

- Funkcija: Regulator uravnava tlak plina iz cilindra in zagotavlja stabilen pretok plina skozi varilno pištolo.
- Nastavitve: Pretok plina se nastavi glede na zahteve varjenja, običajno v litrih na minuto (l/min).

1.3.6 Kabli in Cevovodi (Cables and Hoses)

- Napajalni kabel: Povezuje napajalnik z varilno pištolo in prenaša električni tok.
- Plinska cev: Povezuje cylinder s plinom z varilno pištolo in zagotavlja pretok zaščitnega plina.
- Povratni kabel (Ground Cable): Povezuje napajalnik z varjenim delom, kar zagotavlja sklenjen električni krog.

1.3.7 Krmilna Enota (Control Panel)

- Funkcija: Omogoča varilcu, da nastavi in prilagodi različne varilne parametre.
- Komponente: Prikazovalniki za napetost, tok, hitrost dovajanja žice, ter kontrole za nastavitve parametrov.

1.3.8 Dodatni Pripomočki

- Varilna maska: Ščiti oči in obraz varilca pred intenzivno svetlobo in iskrami.

- Zaščitna obleka: Vključuje rokavice, jakno in hlače, ki varijo varilca pred opeklinami.
- Orodja za čiščenje: Krtače in klešče za čiščenje in odstranjevanje žindre iz varilnega spoja.

1.4 NASTAVITEV MIG/MAG APARATA ZA VARJENJE

Nastavitev MIG/MAG varilnega aparata je ključna za doseganje kakovostnih varilnih spojev. Postopek vključuje več korakov, od priprave opreme do izbire pravih nastavitev. Tukaj je podroben vodič za začetnike, ki vas bo vodil skozi postopek nastavitve varilnega aparata.

1.4.1 Priprava Opreme

Preden začnete z nastavitvijo, poskrbite, da imate vso potrebno opremo in varnostno opremo:

- MIG/MAG varilni aparat
- Varilna pištola
- Cilinder z zaščitnim plinom
- Varilna žica
- Varilna maska, rokavice, zaščitna oblačila
- Krtače in klešče za čiščenje

1.4.2 Priključitev Napajalnika in Žičnega Podajalnika

- Napajalni kabel: Priključite napajalni kabel iz varilnega aparata v električno vtičnico. Prepričajte se, da je napetost ustrezna za vaš varilni aparat (npr. 110V ali 220V).
- Povratni kabel: Priključite povratni kabel na delovno mizo ali neposredno na kos kovine, ki ga boste varili. Zagotovite dober električni stik.
- Žični podajalnik: Vstavite tuljavo z varilno žico v žični podajalnik. Prepričajte se, da je žica pravilno vstavljena v mehanizem za podajanje in da je torno podajalno kolo nastavljeno tako, da žico podaja tekoče. Ob morebitnih preprekah pa naj zdrsne.

1.4.3 Povezava Plinske Jeklenke

- Priključitev jeklenke: Priključite visokotlačno cev iz regulatorja na plinsko jeklenko. Prepričajte se, da so vsi priključki dobro zatesnjeni.
- Nastavitev pretoka plina: Odprite ventil na jeklenki in nastavite pretok plina na regulatorju. Za začetek nastavite pretok na približno 10-15 litrov na minuto, odvisno od okolja (npr. notranji ali zunanji prostori).

1.4.4 Nastavitev Varilnega Aparata

- Izbira vrste žice: Uporabite ustrezno varilno žico glede na material, ki ga varite (npr. jeklena žica za jeklo, aluminijasta žica za aluminij) in glede na električni tok, ki ga potrebujete (npr.: 40 A - 150 A izberite 0.8 mm).
- Nastavitev hitrosti podajanja žice oz. nastavitev električnega toka: Nastavite hitrost podajanja žice na varilnem aparatu. Na primer za varjenje 2 mm jeklo bi lahko varili s tokom okoli 100 A, za kar potrebujemo podajalno hitrost žice okoli 10 mm/s.
- Nastavitev napetosti: Nastavite napetost na varilnem aparatu. Za začetek uporabite srednje nastavitve, npr. 18-22 voltov za tanjše jeklo (1,2-2,0 mm).

1.4.5 Testiranje in Prilagoditve

- Testni var: Pred začetkom varjenja na dejanskem projektu izvedite testni var na kosu odpadne kovine. To vam bo omogočilo, da preverite in prilagodite nastavitve.
- Opazovanje varilnega loka: Med varjenjem opazujte varilni lok. Stabilen lok naj bi bil enakomeren, brez prekinitev ali preveč isker.
- Prilagoditve: Če je lok premočan (preveč isker), zmanjšajte napetost ali hitrost podajanja žice. Če je lok prešibek (premalo penetracije), povečajte napetost ali hitrost podajanja žice.

1.4.6 Varilna Tehnika

- Položaj pištrole: Držite varilno pištolo pod kotom približno 10-15 stopinj proti smeri varjenja. To pomaga pri boljšem nadzoru nad talilnim bazenom in izboljša penetracijo.
- Odmik: Odmik kontaktne šobe od talilnega bazena naj bo okoli 5 mm -10 mm. Z odmikom vplivamo na velikost stožca obloka in s tem porazdelitev toplote. Večji ko je odmik, nižja bo temperatura varjenja.
- Gibanje: Premikajte pištolo enakomerno vzdolž varilne črte. Uporabite tehniko vlečenja (pull) za boljše varjenje tanjših materialov ali tehniko potiskanja (push) za boljše varjenje debelejših materialov.
- Hitrost: Ohranite enakomerno hitrost gibanja. Prehitro gibanje lahko povzroči nepopolne spoje, prepočasno gibanje pa lahko povzroči pregrevanje in deformacijo kovine. Okvirna hitrost je nekje med 5 mm/s - 10 mm/s.

Oglejte si [hitri vodnik](#) za varjenje na tem video-posnetku.

1.5 POMEMBNOST NASTAVITVE ELEKTRIČNEGA TOKA IN NAPETOSTI PRI VARJENJU

Nastavitev električnega toka in napetosti je ključna za doseganje kakovostnih varilnih spojev pri MIG/MAG varjenju. Tok in napetost imata različne vplive na varilni proces in vplivata na različne fizikalne pojave. Razumevanje teh vplivov je bistveno za pravilno nastavitev varilnega aparata in zagotavljanje optimalnega delovanja.

1.5.1 Električni Tok

- Penetracija varilnega spoja: Tok neposredno vpliva na globino penetracije varilnega spoja. Višji tok pomeni več toplote, kar omogoča globlje taljenje osnovnega materiala. To je še posebej pomembno pri debelejših materialih, kjer je potrebna zadostna penetracija za zagotovitev trdnosti spoja.
- Oblika talilnega bazena: Višji tok ustvarja širši in globlji talilni bazen, kar omogoča boljšo fuzijo med osnovnim materialom in dodajnim materialom.
- Hitrost varjenja: Višji tok omogoča hitrejše taljenje kovine, kar poveča hitrost varjenja. To je koristno za povečanje produktivnosti, vendar zahteva natančno upravljanje, da se prepreči pregrevanje in deformacija materiala.

Fizikalni pojavi, na katere vpliva tok:

- Jouleov učinek (Joulova toplota): Električni tok povzroča segrevanje prevodnega materiala zaradi električnega upora. Večji tok pomeni večjo generacijo toplote, kar vodi do intenzivnejšega taljenja kovine.
- Penetracija loka: Večji tok ustvarja močnejši električni oblok, ki lahko globlje prodre v osnovni material. To omogoča boljšo fuzijo in trdnost spoja.

1.5.2 Napetost

- Dolžina obloka: Napetost neposredno vpliva na dolžino varilnega obloka. Višja napetost podaljša oblok, kar omogoča bolj enakomerno segrevanje talilnega bazena. Kratek oblok pri nizki napetosti lahko povzroči pregrevanje in neenakomerno taljenje.
- Širina varilnega spoja: Višja napetost ustvarja širši varilni spoj, kar je pomembno za varjenje tankih materialov ali pri prekrivnih spojih. Ožji spoj pri nižji napetosti je primeren za globlje penetracije.
- Stabilnost obloka: Pravilna napetost pomaga ohranjati stabilen oblok, kar je ključno za kakovost varilnega spoja. Nestabilen oblok lahko povzroči napake, kot so pore, razpoke in neenakomerni spoji.

Poglejte tudi [video](#) eksperimenta z nastavitvijo različnih napetosti.

Fizikalni pojavi, na katere vpliva napetost:

- Električni oblok: Napetost določa energijo, ki je potrebna za vzdrževanje električnega oblaka. Višja napetost poveča energijo oblaka, kar vpliva na širino in stabilnost talilnega bazena.
- Termična porazdelitev: Višja napetost omogoča enakomernjšo porazdelitev toplote po talilnem bazenu, kar preprečuje lokalizirano pregrevanje in omogoča boljši nadzor nad obliko in širino spoja.

1.6 NAJPOGOSTEJŠE NAPAKE PRI VARJENJU IN KAKO JIH ODPRAVITI

Varjenje je kompleksen proces, ki zahteva natančnost, znanje in prakso. Začetniki pogosto naredijo napake, ki lahko vplivajo na kakovost varilnega spoja. Tukaj so najbolj pogoste napake pri varjenju, njihove možne razlage in kako jih odpraviti:

1.6.1 Premalo Penetracije

Možne razlage:

Prenizek tok: Če je električni tok prenizek, ne bo dovolj toplote za zadostno taljenje osnovnega materiala. Prehitra hitrost varjenja: Prehitro premikanje varilne pištrole lahko povzroči, da varilni oblok ne prodre dovolj globoko. Neustrezna nastavitve napetosti: Nizka napetost lahko povzroči krajši oblok, kar zmanjšuje penetracijo.

1.6.2 Prekomerna Penetracija

Možne razlage:

Previsok tok: Visok električni tok povzroči preveč toplote, kar lahko povzroči prekomerno taljenje osnovnega materiala. Prenizka hitrost varjenja: Počasen premik varilne pištrole povzroči, da se kovina predolgo taliti. Nepravilna napetost: Visoka napetost lahko povzroči prevelik oblok, ki preveč taliti material.

1.6.3 Neenakomeren Varilni Spoj

Možne razlage:

Nepravilna hitrost podajanja žice: Če je hitrost podajanja žice neenakomerna, bo varilni spoj neenakomeren. Nepravilna tehnika varjenja: Premikanje pištrole v nepravilnem vzorcu ali neenakomerna hitrost gibanja. Nestabilen oblok: Nepravilno nastavljena napetost povzroča nestabilen varilni oblok.

1.6.4 Poroznost (Prisotnost Por)

Možne razlage:

Kontaminacija plina: Prisotnost vlage ali umazanije v zaščitnem plinu. Ne zadostna zaščita: Ne zadosten pretok zaščitnega plina ali prepih. Nečist osnovni material: Oksidacija ali umazanija na osnovnem materialu.

1.6.5 Razpoke v Varilnem Spoju

Možne razlage:

Prehitro ohlajanje: Hitro ohlajanje varilnega spoja lahko povzroči razpoke. Nepravilna nastavitve parametrov: Nepravilne nastavitve toka in napetosti lahko povzročijo pregrevanje ali premajhno taljenje. Nečist osnovni material: Prisotnost nečistoč ali nečistih robov.

1.6.6 Podrez (Undercut)

Možne razlage:

Previsok tok: Visok tok lahko povzroči prekomerno taljenje robov materiala. Nepravilna tehnika varjenja: Prehitro premikanje varilne pištole ali nepravilni koti varjenja. Nepravilna napetost: Visoka napetost lahko povzroči podrez.

1.6.7 Nepravilna Fuzija (Cold Lap)

Možne razlage:

- Prenizek tok: Premalo toplote za ustrezno taljenje osnovnega materiala.
- Prenizka hitrost podajanja žice: Ne zadostno dodajanje materiala za pravilno fuzijo.
- Nepravilna tehnika: Nepravilno usmerjanje obloka ali prehitro premikanje.