

STROJARSKA TEHNIČKA ŠKOLA OSIJEK

# PLINSKO ZAVARIVANJE

Ivan Adrić, dipl.ing.

Osijek, 2018.

## S A D R Ź A J

1. Uvod u plinsko (autogeno) zavarivanje .....	3
2. Kisik .....	5
3. Acetilen .....	6
4. Uskladištenje boca .....	8
5. Ventili na čeličnim bocama i redukcijski ventili.....	9
6. Plamenici .....	11
7. Cjevovodi za plinove .....	12
8. Plinski plamen .....	13
9. Dodatni materijal pri plinskom zavarivanju .....	16
10. Izvođenje plinskog zavarivanja .....	16
11. Različiti materijali pri plinskom zavarivanju .....	19
12. Zavarivanje cijevi .....	21
13. Navarivanje plinskim plamenom .....	21
14. Zavarivanje plastičnih predmeta .....	22
15. Plinsko razanje metala.....	22
16. Zaštita pri radu .....	25

# 1. Uvod u plinsko (autogeno) zavarivanje

---

Plinsko zavarivanje je postupak spajanje taljenjem, gdje se toplina potrebna za taljenje osnovnog materijala i dodatnog materijala (žice) dobije izgaranjem jednog od gorivih plinova u kisiku. Krajevi dijelova koje treba spojiti se rastale, a kao sredstvo za spajanje dodaje se žica od istog metala koju talimo u plamenu. Najčešće se kao gorivi plin koristi acetilen, ali u upotrebi je i vodik, gradski plin, propan, butan, plinsko ulje i benzinske pare. Proizvodnja acetilena je jednostavna, a najviša temperatura plamena se postiže upravo izgaranjem acetilena i kisika ( $\sim 3200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



**Slika 1. Postupak plinskog zavarivanja**

Postupkom plinskog zavarivanja mogu se zavariti svi poznati zavarivi metali kao npr. čelici, bakar i njegove legure, aluminij i njegove legure itd. Ovaj postupak se najviše primjenjuje u sučeonom zavarivanju čeličnih cijevi, cijevi manjih promjera (do 100 mm) i tanjih stijenki (do 5 mm), u zavarivanju sivog lijeva na toplo i to manjih strojnih dijelova, tankih čeličnih limova (do 1,5 mm), kod popravka ambalaže i tankih čeličnih limova i slično. Uspješno se primjenjuje u zavarivanju bakra i bakrenih legura, čak do srednjih debljina stijenki (10-15 mm), posebno na popravcima bakrenih legura (bronce i mjedi). Također se uspješno primjenjuje u zavarivanju aluminija i aluminijских legura, posebno tankih limova (do 3 mm), cijevi, u izradi pokušva manjih profila, zatim u građevinarstvu (prozori, vrata), popravci ljevova aluminijских legura i slično.

## Prednost postupka:

Postupak karakterizira odlična prilagodljivost svim položajima zavarivanja, svim oblicima konstrukcije, niska cijena uređaja i time pristupačnost svakoj radionici, jednostavnost u rukovanju sa uređajima, te jednostavno i jeftino održavanje.

## Nedostaci postupka:

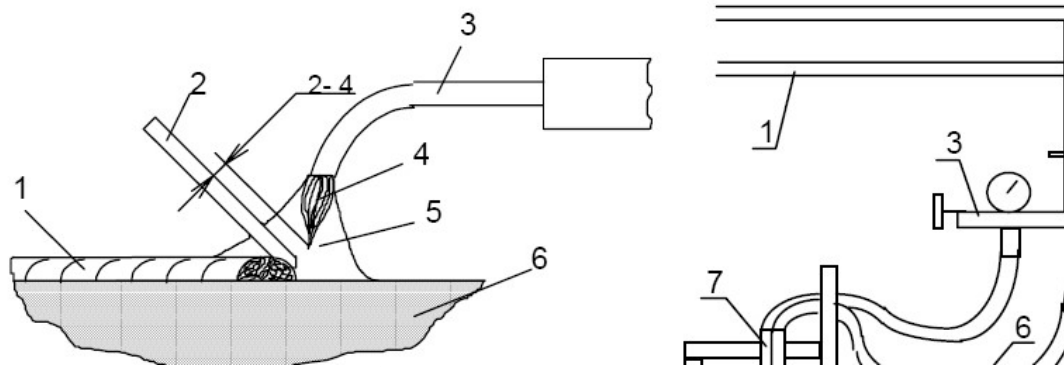
Nedostaci su dovođenje velike topline u konstrukciju na mjestu zavarivanja, što uzrokuje velike napone i deformacije. Spada u najsporiji postupak zavarivanja. Postupak je osjetljiv obzirom na utjecaj plamena, posebno kod zavarivanja materijala čiji sastavni elementi snažno reagiraju sa kisikom i ugljikom (legirani čelici, Al, Cu ...). Zavarivač tehnikom rada jako utječe na kvalitetu zavarivanja. Vrijeme izobrazbe zavarivača traje najduže od svih postupaka. Opasnost pri radu je povećana obzirom na zapaljivost i eksplozivnost plinova.

## Radno mjesto plinskog zavarivača:

Kompletno radno mjesto plinskog zavarivača sastoji se od stola (iz cijevi ili profila), kutija sa vodom (za hlađenje plamenika), rešetke za plinsko rezanje s kutijom za otpatke kod rezanja, kutija za dodatni materijal sa žicama, dovoda plina acetilena, dovoda kisika i vješalice za plamenik.

Od alata i pribora zavarivač treba imati plamenik sa rezervnim sapnicama, gumena crijeva, upaljač za plamenik, zaštitne naočale s propisanim zelenim staklom, kliješta, željeznu četku, čekić, rukavice, kecelju, kapu, gležnjake, radno odijelo i nadlaktice. U blizini mora imati i aparaturu za gašenje požara s CO<sub>2</sub>.

## PLINSKO ZAVARIVANJE



**Slika 2. Shema opreme za plinsko zavarivanje**

1-cijev za kisik; 2-cijev za acetilen; 3-redukcijski ventil; 4-vodeni osigurač; 5 i 6-gumena crijeva; 7-plinski plamenik; 8-radno mjesto

### Princip rada pri zavarivanju plinskim postupkom:

Plinovi acetilen i kisik dolaze svaki iz svog izvora, prolaze kroz gumena crijeva, ulaze pod određenim tlakom u plamenik, i miješaju se u plameniku u određenom omjeru. Ovakva mješavina izlazi na sapnici plamenika, zapaljena gori i stvara plamen.

Plamenik, a time i plamen, usmjerava se rukom radnika na mjestu zavarivanja i zagrijava metal do topljenja. U toplinu se dodaje, također rukom radnika odgovarajući dodatni materijal u obliku žice ili šipke. Dodatni materijal se zajedno s osnovnim materijalom, tali i spaja u jednu cjelinu i skrućuje u zavareni spoj. Radnik promatra proces taljenja, dodaje i giba žicu, te plamenik određenom tehnikom rada tako da se mjesto dobro pretali i spoji. Postupno, određenom brzinom kreće se naprijed, a iza ostaje zavareni spoj. U nekim slučajevima, kod vrlo tankih materijala, plinsko zavarivanje može se vršiti bez dodatnog materijala, pretaljujući osnovni materijal.

### Osnovno o plinovima:

Plinovi koji se najčešće primjenjuju pri zavarivanju plinskim plamenom su:

- ACETILEN,
- KISIK.

U određenim uvjetima s kisikom se mogu primijeniti i drugi gorivi plinovi, od kojih imaju prednost: propan, butan i metan. Praktički danas se primjenjuje samo acetilen i kisik i to acetilen iz čeličnih boca tzv. DISUPLIN. Treba napomenuti da se s plinovima PROPAN-BUTAN ne može zavarivati, jer im je temperatura plamena niska (840 °C), ali se MOŽE LEMITI I PLINSKI REZATI.

DISUPLIN- je acetilen rastopljen u acetonu, u specijalnim bocama pod tlakom od 15 bara.

PROPAN- je plin ugljikovodik koji se dobiva destilacijom nafte. Bezbojan je, ima specifičan miris, gori.

BUTAN- je plin ugljikovodik koji se dobiva destilacijom nafte. U tekućem je stanju i gori.

Treba reći da se i propan i butan obično dobivaju kao mješavine u omjeru 1:1 ili 3:1 u korist butana. Ovakva mješavina se naziva TEKUĆI PLIN. Transportira se u bocama.

## 2. Kisik

Kisik je plin bez boje, mirisa i okusa. Ne gori ali snažno podržava gorenje. Čistoća industrijskog kisika iznosi 99,2 do 99,8 % (minimalno 98,5%) što je određeno standardom. Čistoća kisika je vrlo važna, jer je uzrok lošeg rezanja loša kvaliteta kisika.

Kisik se u industriji upotrebljava za: plinsko zagrijavanje, plinsko zavarivanje, plinsko rezanje i predgrijavanje. Naročito je važan kod plinskog rezanja i zavarivanja, jer je tu za sad nezamjenjiv.

Boce za kisik su posude valjkastog oblika, debelih stijenki pogodni za čuvanje plinova pod visokim tlakovima. Čelične boce na vrhu imaju navojni poklopac za zaštitu ventila za izlaz plina na koji se priključuje ventil za redukciju tlaka.

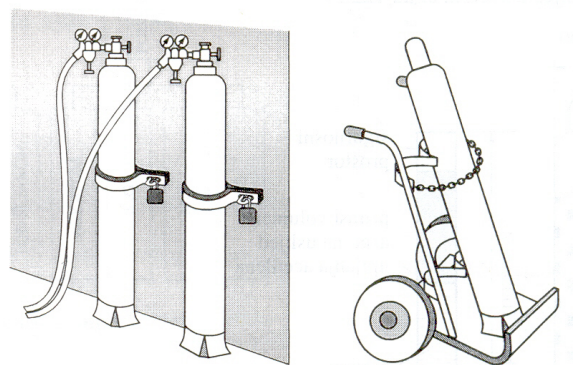
Kisik se transportira u specijalno punjenim čeličnim bocama, pod tlakom od 150 bara, kao tekući kisik. Boce su volumena oko 40 litara, a ukupna količina kisika u boci je 6000 litara.

Na bocama za kisik se nalaze podaci: naziv proizvođača, serijski broj boce, radni tlak, volumen, masa, datum posljednje kontrole i žig kontrolora.

Ventil boce za kisik služi za otvaranje i zatvaranje prolaza kisiku. Na njega se postavlja redukcijski ventil koji služi da visoki tlak iz boce smanji na potrebni radni tlak.

#### Pravila pri radu s bocama za kisik:

- Boca ne smije biti izložena udarcima, jer to može izazvati eksploziju.
- Boca ne smije biti izložena suncu i drugim izvorima topline, kao ni niskim temperaturama.
- Priključci na bocama se ne smiju podmazivati mastima, jer može doći do zapaljenja.
- Boce moraju stajati okomito, oslonjene na svoje stope i osigurane od pada.
- Transport boca izvodi se kolicima.



**Slika 3. Smještaj i transport boca**

Kisik je potreban za potpuno izgaranje acetilena. Za zavarivanje i rezanje, kisik se isporučuje u plavim čeličnim bocama pod tlakom od 150 bar-a. Priključak na boci je desnog navoja R 3/4". Inače, kisika ima u zraku (21%), a ostatak je dušik (78%) i ostali plinovi (1%). Gorivi materijali oslobađaju veću količinu topline kada sagorjevaju u čistom kisiku, a ne na zraku.

Kisik se dobiva frakcijskom destilacijom zraka (rijeđe elektrolizom vode – skuplji postupak). Osnovni princip frakcijske destilacije je da se zrak prvo pretvara u tekuće stanje (što se postiže tlačenjem na 40 bar-a i pothlađivanjem na  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ako se tekući zrak potom zagrije, isparit će dušik koji ključa pri  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tako da u aparaturi za frakcionu destilaciju ostaje samo kisik (koji ključa pri  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Specifična masa kisika pri temperaturi  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlaku 1013 mb je  $1,43\text{ kg/m}^3$ .

Kada se prazni boca kisika, mora se ostaviti određena količina kisika u boci da se izbjegne prodor zraka i vlage u boci (minimalno očitavanje na regulacijskom ventilu – manometru 0,5 bar-a). Kod rukovanja sa bocama za kisik treba paziti da su uvijek čiste (ne smije biti nečistoća i masti oko regulacijskog ventila), a otvaranje i zatvaranje boce mora biti pažljivo – najviše do pola okreta ventila za otvaranje i zatvaranje boce).

#### Potrebno je znati:

- najstrože je zabranjeno pretakanje kisika iz boce u boci,
- ne smiju se puniti gume,
- ne smije se upotrebljavati u zatvorenom prostoru za osvježanje, jer su u zatvorenom prostoru sve tvari vrlo zapaljive,
- ne smije se vršiti nikako ispuhivanje i čišćenje s kisikom, umjesto komprimiranim zrakom.

Treba reći da kisik ne šteti zdravlju, dapače koristan je i upotrebljava se u medicini kao aktivator dišnog procesa (ne duže vremena jer može oštetiti dišne organe)

Opasnosti od kisika mogu biti vrlo velike iako ovaj plin nije zapaljiv, niti eksplozivan a niti otrovan. Kisik je plin koji pomaže svako izgaranje, on je vrlo aktivan, tako da se u dodiru s njim neki materijali mogu sami od sebe zapaliti npr. masnoće. Posebno treba paziti da kisik ne dođe u dodir s masnoćom u bilo kojem vidu. Čelične boce pod tlakom same po sebi predstavljaju opasnost.

Nepravilnim rukovanjem s bocama (npr. pad boce, udarac po boci i sl.) može doći do razaranja boce i snažne ekspanzije kisika s razornim djelovanjem.

#### Čelična boca za kisik:

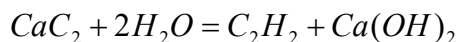
Boca je cilindričnog oblika, promjera oko 200 mm, visine oko 1700 mm sa zaobljenim dnom na koje je pričvršćeno postolje za stajanje boce. Na gornjoj strani boca završava zaobljenim dijelom s pojačanjem u kojeg je uvrnut ventil za otvaranje i zatvaranje protoka kisika. Na ovom pojačanju je navoj na kojeg se priteže zaštitni poklopac koji štiti ventil od udara i onečišćenje u transportu. Volumen boce je 40 litara. Kisik se u bocu sprema pod tlakom od oko 150 bara, što iznosi 6m<sup>3</sup> kisika. Tlak u boci se očitava na manometru redukcijuskog ventila, a time i količina kisika računajući po formuli:

tlak x volumen boce (150 x 40).

## 3. Acetilen

#### Dobivanje acetilena u razvijaačima:

Acetilen se dobiva u uređajima za dobivanje acetilena koji se zovu razvijaači acetilena. Acetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) se dobiva djelovanjem vode na kalcijev karbid (CaC<sub>2</sub>):



Kalcijev karbid se isporučuje kao granulat u bačvama koje moraju biti osigurane od pristupa zraka. Zbog toga treba znati:

- bačve nikada ne otvarati alatom koji može izazvati iskrnu,
- ne bacati ostatke kalcijeva karbida u kanalizaciju ili na smeće jer može doći do eksplozije.

Razvijaači acetilena moraju biti udaljni najmanje 3m od bilo kakvog plamena, a od drugog razvijaača najmanje 6m. Gumena cijev mora imati duljinu najmanje 5m i biti dobro učvršćena. Redoviti pratilac acetilena dobivenog u razvijaačima je vodikov sulfid. To je plin koji je štetan za radnika i loše utječe na mehanička svojstva zavarenog spoja, pa se mora ukloniti u prečistačima.

Osigurači povratnog plamena imaju zadatak spriječiti povratni tok kisika u vod acetilena, i tako zaštititi razvijaače acetilena i druge uređaje povezane s njima, kao i prekinuti rad instalacije, ukoliko dođe do povratnog toka plamena ili smjese.. Mogu biti vodeni osigurači povratnog plamena i suhi osigurači povratnog plamena.

#### Acetilen u bocama:

Nekada se acetilen iz boca koristio u pogonima u kojima se zavarivanje izvodi povremeno, ili kada se zavarivanje izvodi na mjestima gdje se acetilen ne može dovesti na drugi način. Danas se više u radionicama ne proizvodi acetilen, već se isporučuje stlačen u bocama.

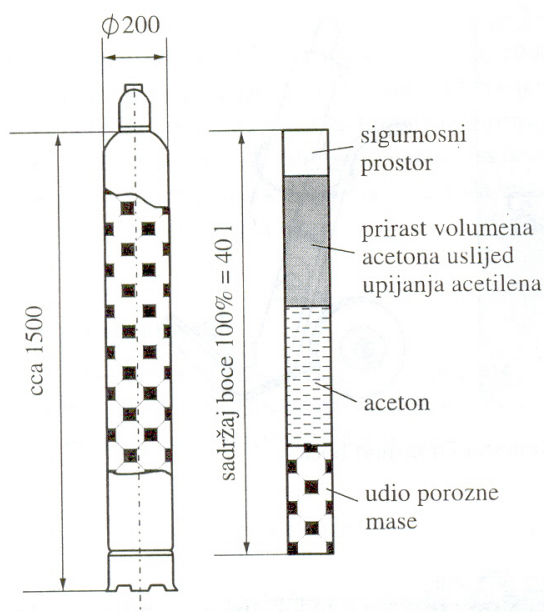
Kako se acetilen ne bi mogao tlačiti u plinovitom stanju na tlak veći od 1,5 bara, on se uvodi u boce i tlačiti rastvoren u acetonu, koji je apsorbiran u jednoj poroznoj masi. Na taj način se mogu dostići tlakovi u boci od 20 bara, bez opasnosti od eksplozije.

Volumen boce je oko 40 litara. Boce se pune pod tlakom od 1,5-1,8 MPa (15-18 bara), pri temperaturi 15°C. Jedna litra acetona, pri normalnoj temperaturi i tlaku upija 15 do 25 litara acetilena, pri čemu će 16 litara acetona, pri tlaku od 15 bara upiti oko 6000 litara acetilena.

#### Sadržaj boce za acetilen:

- porozna masa (smjesa drvenog ugljena, pluta i azbesta) – 20%

- aceton – 40%
- rastvoreni acetilen – 25%
- slobodni prostor – 15%



**Slika 4. Čelična boca za acetilen**

Volumen acetilena u boci ovisi o tlaku, koji se mijenja zavisno od temperature i sposobnosti acetona da rastvara acetilen.

#### Pravila pri radu sa bocama za acetilen:

- Na radnom mjestu boca uvijek treba stajati u okomitom položaju, kako s acetilenom ne bi izlazio i aceton.
- Boce se ne smiju nikada ostaviti izložene sunčevim zrakama ili drugim izvorima topline.
- Potrošnja acetilena iz jedne boce ne smije biti veća od 1000 litara na sat, a sadržaj acetilena se ne smije potrošiti do kraja.
- Boce treba čuvati od visokih i niskih temperatura.

Acetilen se isporučuje u posebnim čeličnim bocama (dissous plin) pod tlakom od 15 bar-a. Boce su bijele boje označene žutim pojasom. Opremljenje su redukcijskim ventilom koji smanjuje tak u boci na tlak plamenika.

Vrlo je nestabilan i eksplozivan u smjesi sa zrakom ili kisikom. Sa povećavanjem tlaka eksplozivnost acetilena raste, tako da je dovoljno 3% acetilena u smjesi sa zrakom da dođe do eksplozije. Isto tako pri zavarivanju ili rezanju bakra (Cu) ili srebra (Ag) dolazi do reakcije acetilena i spomenutih elemenata, te nastaju spojevi koji su eksplozivni pri udarcima ili povišenim temperaturama. Iz navedenih razloga potrebno je pridržavati se pravila koja vrijede za rukovanje sa bocama acetilena i kisika u proizvodnji, transportu i skladištenju.

Acetilen je plin iz grupe nezasićenih ugljikovodika, bezbojan je i neotrovan plin karakterističnog mirisa (po češnjaku). Otapa se u vodi u omjeru 1 : 1, a u acetonu 1 : 25 pri atmosferskom tlaku i temperaturi 20 °C. Rastvorljivost acetilena u acetonu raste sa porastom tlaka, a opada sa porastom temperature.

U bocu za acetilen koja je volumena 40 litara, pri tlaku od 15 bar-a i temperaturi 20 °C stane 6 m<sup>3</sup> acetilena. Na izlazu iz boce postavlja se regulator tlaka (manometar) koji snižava tlak acetilena na vrijednosti ispod 1,5 bar-a (ako je na izlazu iz boce tlak acetilena prelazi 1,5 bar može doći do stvaranja mjehurića plina i spajanja sa zrakom, što može prouzročiti eksploziju plina).

Pri praznjenju boce brzina istjecanja acetilena, odnosno protok acetilena mora biti manji od 1 m<sup>3</sup>/h da ne bi došlo do isparavanja acetona iz boce i smrzavanja redukcionog ventila (manometra). Isto tako, boca se ne smije potpuno isprazniti, već se mora ostaviti određena količina acetilena koja odgovara tlaku na manometru 1 – 1,5 bar-a, ovisno o vanjskoj temperaturi.

## 4. Uskladištenje boca

- Veće količine punih plinskih boca smije se uskladištiti u za to posebno napravljenim prostorijama.
- Boce sa zapaljivim plinovima moraju biti odvojene od boca sa kisikom i od drugih zapaljivim tvari.



- Boce sa otrovnim plinovima moraju se uskladištiti u dobro ventiliranim prostorijama. Prazne boce upaljivih i otrovnih plinova moraju se uskladištiti isto kao i pune.
- Skladište mora biti napravljeno od nezapaljivog materijala, zidovi čvrsti a krovna konstrukcija lagana, dok električna instalacija treba biti izvedena prema posebnim propisima.

U većim tvornicama postoje centralne stanice. Plin se u radionici dovodi cjevovodima. Boce u radionicama moraju biti okomito postavljene, vezane limenom obujmicom ili lancem. Treba paziti da nisu pokraj kakvih grijaćih tijela. Ventili moraju biti zaštićeni od udaraca i masnoće. Boce moraju biti udaljene od otvorenog plamena najmanje 3 metra.

Opasno je držati boce na suncu jer se plin širi i može doći do eksplozije.

Na velikoj hladnoći čelične stjenke boce postaju krhke i mogu pri manjim udarcima puknuti (ispod -10 C je opasno). Ako je boca zamrznuta ne smijemo je odbijati ili trgati, već toplom vodom polijevati dok ne odmrzne.

Kod prijevoza boca mora se paziti na sljedeće:

- da su ventili zaštićeni poklopcima,
- boce se ne smiju udarati i bacati (naročito kod hladnoća),
- boce sa kisikom ne smiju se prevoziti s masnoćama,
- prijevoznik mora biti upoznat sa sadržajem boce.

Treba napomenuti:

- Sve boce za sve plinove pod tlakom u tekućem ili plinovitom stanju podliježu kontroli svakih 5 godina.
- Eksplozija jedne boce kisika jednaka je jačini od eksploziji avionske bombe od 500 kg. (Eksplozije su vrlo rijetke)
- Kod ispiranja boca treba stajati uvijek sa strane.

Boca disuplina vrlo rijetko eksplodira, ali može eksplodirati:

- ako se iskra nekim slučajem probila u unutašnjost boce,
- vanjskim zagrijavanjem stjenke boce,
- izgaranjem ventila.

Što treba raditi ako se zapali boca disuplina:

- ventil treba odmah zatvoriti,
- bocu odmah polijevati s velikom količinom hladne vode,
- nakon hlađenja (kratkog) sa vodom, ventil treba ponovno otvoriti, pa će iz njega izaći čađav dim, koji miriše kao petrolej
- ako se unatoč hlađenja vodom boca i dalje zagrijava ili ako iz nje izlazi vruć aceten, ventil se mora ponovno brzo zatvoriti, bocu iznijeti van, ventil otvoriti, te polijevati velikom količinom vode.

Boca kisika može eksplodirati ako je:

- izložena toplini,,
- izložena udarcima ili padu,
- ako masnoća dospije u ventil.

Postupak kada se zapali boca za kisik je jednostavan: treba vrlo brzo zatvoriti ventil. Ukoliko je prestalo gorenje, proces je zaustavljen i nema više opasnosti. Kod zatvaranja ventila treba obvezno uzeti rukavicu ili bilo koju deblju krpu, nipošto pokušati golom rukom jer je ventil jako vruć. Vrlo je važno što brže izvršiti zatvaranje ventila, dok se još može zatvoriti. Ovakvu bocu treba odmah isključiti iz proizvodnje, i slučaj javiti rukovodiocu.



U principu ako je boca dobro pričvršćena i u ispravnom položaju, neće se dogoditi veća nesreća iako ventil izgori, jer će kisik izlaziti snažnim mlazom napolje. Međutim obično se boca prevrne uslijed reaktivnog mlaza izlazećeg kisika, tada udara u neki predmet i može se rasprsnuti ili u tom pomicanju nekog unesrećiti.

Označavanje boca za kisik i disuplin radi raspoznavanja se vrši bojom. Boca za kisik se označava plavom bojom, a boca za disuplin bijelom bojom.

## 5. Ventili na čeličnim bocama i redukcijski ventili

---

Ventili su sastavni dio boce. Po funkciji su isti, ali se po izgledu i načinu otvaranja razlikuju i ne može doći do zamjene. Ventil na boci kisika otvara se pomoću kola za ručno otvaranje koji se stalno nalazi na ventilu. Ventil na boci disuplina otvara se pomoću posebnog ključa, koji se na bocu stavlja kad se ova upotrebljava. Ventil na boci za kisik je izrađen od mjedi, dok je ventil na boci za disuplin izrađen od čelika.

### Napomene:

- Ventil na boci kisika prije priključenja redukcijskog ventila treba ispuhati 2-3 puta, odvrtanjem i zavrtanjem ručnog kola, radi izbacivanja eventualne nečistoće.
- Ventil na bocama brtvimo specijalnim brtvama, za kisik samo vulkanski fiber.
- Ako ventil na boci gori, treba ga što brže zatvoriti.

### Redukcijski ventil

Tlakovi plina u bocama uvijek su veći od tlakova potrebnih za rad. Smanjenje tlaka na potrebni radni tlak u svakoj boci vrši redukcijski ventil. Na ventil boca za kisik učvršćuje se redukcijski ventil pomoću matice koja se pritegne na navoj ventila boce. Na ventil za disuplin redukcijski ventil se pričvršćuje pomoću posebnog jarma, koji se stegne na ventil boce.

### Posebne napomene za korištenje redukcijskih ventila:

- U radu nije preporučeno da redukcijski ventil bude izložen atmosferskim padovima.
- Redukcijski ventili ne smiju biti izloženi mehaničkim udarima.
- Poslije rada bocu treba zatvoriti a redukcijski ventil rasteretiti (odvrnuti regulacijski vijak).
- Ne preporučuje se primjena redukcijskog ventila za druge plinove mimo namjene koje je odredio proizvođač.
- Otklanjanje kvarova i zamjenu dijelova mogu raditi samo obučeni radnici.
- Proizvođač ne preporučuje ugradnju dijelova od drugih proizvođača.
- Kod rukovanja u radu s redukcijskim ventilom za kisik, najstrože se zabranjuje svaki dodir s masnoćama.

### Montiranje redukcijskog ventila:

- redukcijski vijak odvrnuti,
- pogledati brtveni prsten,
- postaviti bocu, tako da se aktivira što veći broj navoja spojenog priključka boce,
- paziti da se ne ošteti navoj,
- poslije montaže polako se otvara glavni ventil na boci.

Ako je redukcijski ventil dobro montiran, brtvljenje mora biti u redu. Kontrola se vrši na slijedeći način:

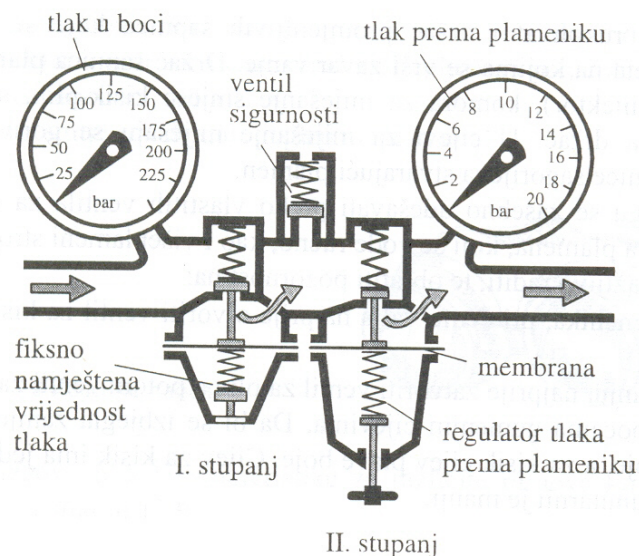
- odvod plina iz redukcijskog ventila se zatvori,
- glavni ventil na boci se otvori i ponovno zatvori,
- ako brtvljenje nije dobro, tlak u redukcijskom ventilu odmah će pasti.

### Razlikujemo:

- jednostupnjeviti reduksijski ventil
- dvostupnjeviti reduksijski ventil.

Kod jednostupnjevitog reduksijskog ventila tlak plina iz boce se smanjuje u jednom koraku npr. sa 150 bara na 3 bara. Kod dvostupnjevitog reduksijskog ventila tlak plina iz boce se smanjuje u dva koraka, npr. od 150 bara na 20 bara i sa 20 bara na radni tlak.

Dvostupnjeviti reduksijski ventil je bolji, jer je radni tlak plina potpuno jednakomjeran. Željena vrijednost radnog tlaka se podešava sa podešavajućim vijkom. Na prvom manometru se očitava veličina tlaka u boci. Vijkom za udešavanje stlačuje se opruga ventila i udešava sila u opruzi, te određuje vrijednost tlaka na izlazu prema plameniku, koja se očitava na drugom manometru.



**Slika 5. Dvostupnjeviti reduksijski ventil**

Na svakom reduksijskom ventilu potreban je i sigurnosni ventil. Ako se tlak poveća, opruga popusti i otvara se brtva, te plin izlazi van kroz otvore na sigurnosnom ventilu.

#### Zamrzavanje reduksijskog ventila

Usljed prevelike potrošnje plina, reduksijski ventil se može zamrznuti. To se sprječava:

- upotrebom kisika bez vlage,
- upotrebom reduksijskog ventila s dvostrukim djelovanjem,
- zagrijanim tijelom na reduksijskom ventilu.

Odmrzavanje reduksijskog ventila:

- zagrijavanjem tijela,
- toplom vodom,
- vrećicom s toplim pijeskom,
- skidanjem dolje i zagrijavanjem.

Ako se reduksijski ventil zapali treba najprije zatvoriti ventil na boci plina. Pri tom se treba čuvati opekotina. Ovakav ventil treba zamijeniti s upozorenjem što se dogodilo.

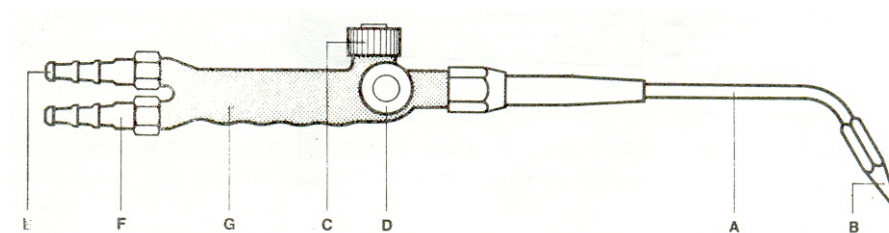
## 6. Plamenici

Plamenici za zavarivanje su alati koji omogućuju dobivanje smjese plinova acetilena i kisika. Izrađeni su obično od mjedi, a sapnice od bakra. Ispravnim izgaranjem ove smjese moguće je topiti metal i vršiti

zavarivanje. Cijev se zajedno sa sapnicom za zavarivanje mijenja prema vrsti i debljinama materijala. Svaki plamenik ima 5-8 različitih cijevi sa sapnicama po brojevima: 00,0,1,2,3,4,5,6, (postoje i druge oznake).

Plamenici služe za pravilno miješanje gorivog plina i kisika i podešavanje njihovog izgaranja odgovarajućim plamenom. Prema tlaku plinova koji se koriste pri zavarivanju postoje niskotlačni i visokotlačni plamenici.

Niskotlačni plamenici se napajaju acetilenom niskog tlaka (1-3 kPa) i kisikom visokog tlaka (100-300 kPa). Sastoji se od držača i promjenjivih mlaznica, koje se određuju prema debljini predmeta koji se zavaruje. Mlaznica sprovodi smjesu acetilena i kisika do mjesta izgaranja. Mlaznica je izrađena od mjedi, a na kraju završava sa žižkom koji je izrađen od bakra. Pri paljenju plamena najprije se otvori ventil za kisik, a zatim dovodi acetilen u nešto većoj količini i smjesa se zapali. Plamen se podešava postupnim smanjivanjem dovoda acetilena. Pri gašenju plamena najprije se prekida dovod acetilena, a zatim dovod kisika.



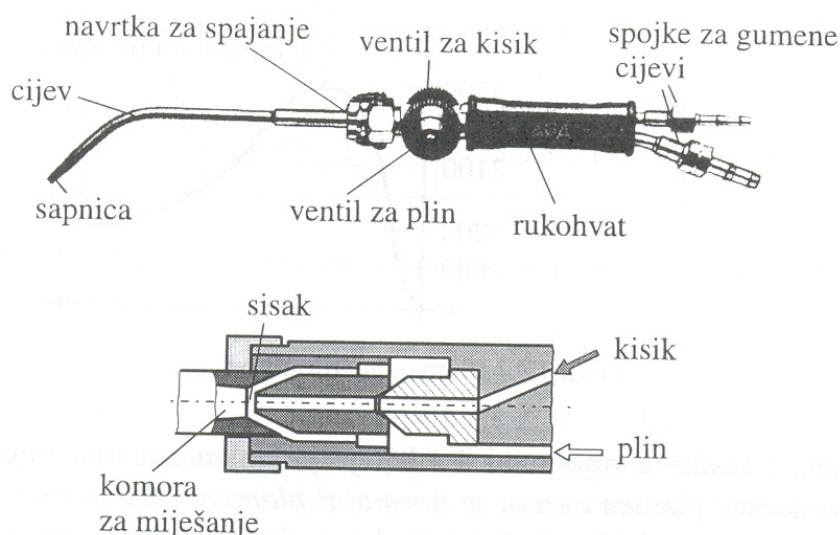
**Slika 6. Niskotlačni plamenik**

A-mlaznica; B-žižak; C-ventil za kisik; D-ventil za acetilen; E-priključak za kisik; F-priključak za acetilen; G-tijelo (držka)

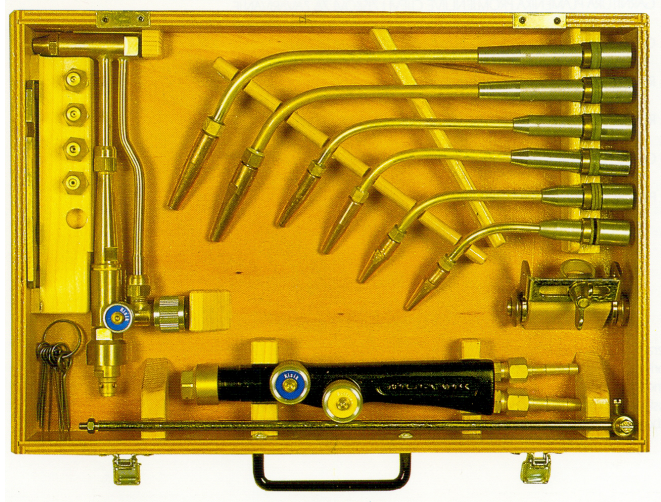
Od svih vrsta plamenika najviše se koristi plamenik niskog tlaka. U njemu struji kisik koji se nalazi pod većim tlakom, te usljed stvorenog podtlaka, povlači za sobom plin koji je tada jednak tlaku kisika. Protoci oba plina mogu se zasebno udešavati preko vlastitih ventila za regulaciju potrošnje.

Postoje plamenici s dva plamena, koji se vode ručno, kao i višeplameni strojni plamenici.

Plamenik se spaja s bocama gumenim cijevima. Da bi se izbjegla zamjena cijevi, za plin se koristi cijev crvene boje, a za kisik cijev plave boje. Cijev za kisik ima jednaki vanjski promjer kao i cijev za plin, ali unutarnji promjer je manji.



**Slika 7. Plamenik za zavarivanje**



**Slika 8. Garnitura plamenika za ručno zavarivanje i rezanje čelika**



**Slika 9. Promjenjive cijevi i žišci za zavarivanje**

Visokotlačni plamenici se koriste kada se za zavarivanje koristi acetylen visokog tlaka (50-70 kPa), prvenstveno u serijskoj proizvodnji, jer omogućava stalnu potrošnju. Pri paljenju plamena najprije se zapali gorivi plin, pa se onda podešava plamen dovođenjem kisika, a pri gašenju plamena prvo se zatvara dovod kisika, a zatim gorivog plina (acetilena).

## 7. Cjevovodi za plinove

Cjevovodi za plinove mogu biti:

- ČVRSTI - metalne cijevi iz materijala prema tome koji su plinovi
- GIPKI - gumene cijevi armirane platnom.

### Gumena crijeva za dovođenje plinova

Acetylen i kisik se dovode do plamenika sa gumenim crijevima. Crijeva se izrađuju od gume armirane platnom i mogu se savijati. Dužina crijeva ne smije biti manja od 3 do 5 metara, da bi se izbjeglo savijanje. Crijeva ne smiju biti nagažena ili pritisnuta, kao ni doći u dodir sa zapaljivim materijalima, iskrama i zagrijanim predmetima. Za acetylen se koriste crijeva crvene boje, a za kisik crijeva plave boje (ili zelene). Gumena crijeva su jednakog vanjskog promjera, a različitog unutarnjeg promjera:

- za kisik je unutarnji promjer crijeva 6 mm,
- za acetylen je unutarnji promjer crijeva 9 mm.

Debljina stijenke crijeva je 2.5 mm i više. Dužine gumenih crijeva uzimaju se prema potrebi ali ne kraće od 5 m. Predugačka crijeva uzrokuju pad tlaka plinova do plamenika. Na krajevima crijeva stegnuti su nastavci sa maticama, koje se pritežu s jedne strane na mjesto napajanja s plinom, a s druge strane na plamenik za zavarivanje.

Nastavak na crijevu za kisik ima normalan desni navoj, a nastavak na crijevu acetilena ima lijevi navoj, tako da ne može doći do zabune zamjene crijeva.

Rukovanje s gumenim crijevima je značajno radi opasnosti koja postoji nepravilnim rukovanjem.

### Pri rukovanju crijevima treba znati sljedeće:

- Odgovarajuća crijeva za određene plinove odabire i kompletira osoba koja je za to zadužena.
- Ne smiju se ni u kojem slučaju zamijeniti crijeva od jednog plina s drugim, što je osigurano sa spojnim maticama na krajevima.
- Svi spojevi na crijevima moraju dobro brtviti. Sastavljena mjesta na sastavcima treba stegnuti za to određenim obujmicama.

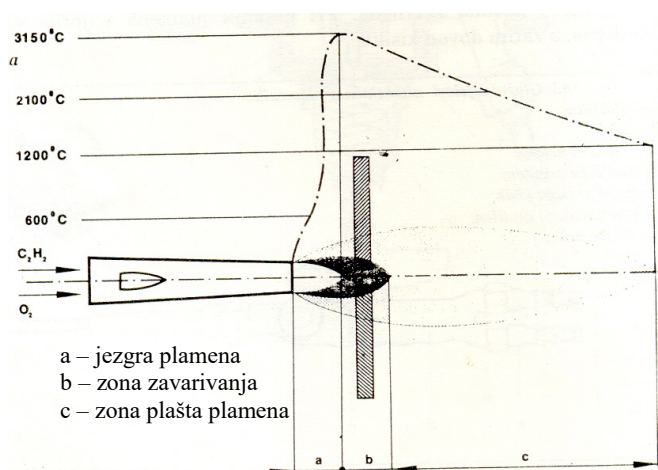


- Za nastavljane crijeva za acetylen ne smiju se upotrijebiti bakrene cjevčice, jer bakar u dodiru s acetylenom stvara tzv. eksplozivni bakar pa može doći do zapaljenja plina.
- Mjesta propuštanja plina na crijevima pronalaze se sapunicom
- Kod zavarivanja crijeva treba zaštititi od iskara.
- Za vrijeme rada u radionici crijeva ne smiju biti sklopčana i ispremiješana s provodnicima struje za zavarivanje, jer to može izazvati požare i nesreće.
- Nakon rada crijeva od acetilena ne smiju se stavljati u ormar ili ladicu koji nemaju dobru ventilaciju.
- Za vrijeme rada crijeva se ne drže preko ramena ili ispod ruke, jer u slučaju zapaljenja može doći do teških opekotina.
- Crijeva treba zaštititi od gaženja i prijevoza tereta po njima.
- Kod čestih udara povratnog plamena crijeva se onečiste čađom. Dobro ih je povremeno isprati sa sapunicom.
- U slučaju da se crijevo zapali treba odmah zatvoriti ventil na izvoru plina, odnosno na mjestu napajanja plinom.

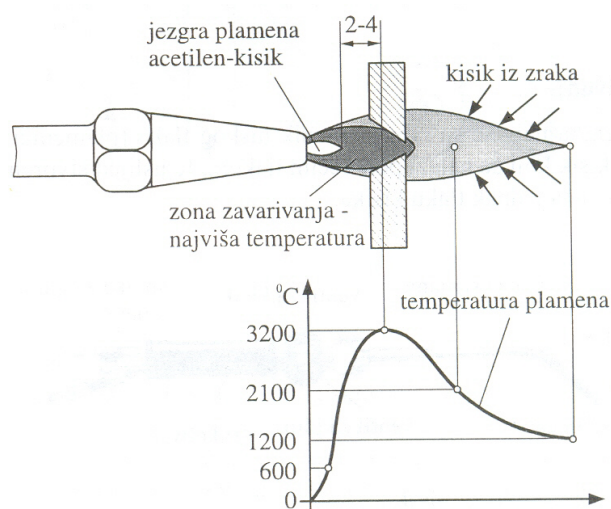
## 8. Plinski plamen

Plamen acetilena i kisika daje maksimalnu temperaturu od 3200 °C, dok plamen butana i propana sa kisikom daje maksimalnu temperaturu 2830 °, odnosno 2850 °C.

Plamen za zavarivanje regulira se u mlaznici, pri čemu se acetylen i kisik miješaju u određenom omjeru. Izgaranje smjese, neposredno prije žižka je nepotpuno. Plinovima koji se tom prilikom razvijaju (ugljični monoksid i vodik) potrebna je za njihovo izgaranje u potpunosti još veća količina kisika. Taj kisik oni uzimaju iz okolnog zraka. Zbog toga se pri takvom izgaranju u neposrednoj zoni plamena stvara jedna zona bez kisika, a koja ima reducirajuća svojstva i zove se zona zavarivanja. U toj zoni, na udaljenost od 2 do 4 mm ispred jezgre plamena, vlada najviša temperatura od oko 3200 °C. Zona plašta plamena je zona u kojoj se nalaze produkti izgaranja, tj. plinovi nastali primarnom reakcijom (ugljični monoksid i vodik), nastavljaju izgaranje uz pomoć kisika iz zraka.



Slika 10. Zone plamena



Slika 11. Plamen acetylen - kisik

### Uspostavljanje plamena:

Plamen se pali tako da se najprije malo otvori kisik, a onda acetylen u određenim omjerima. Smjesa se zapali, a onda se regulira plamen. Plamen se gasi obratno - najprije se zatvara dovod acetilena, a onda kisika. Kod uspostavljanja plamena zavarivač treba poštivati sljedeće mjere:

- Plamen treba paliti posebnim upaljačem, nije ga dobro paliti šibicama ili upaljačem jer je ruka izložena opekotinama.

- Plamen treba paliti tako da se plamen okrene od sebe.
- Kada se uspostavlja plamen, treba paziti kamo se plamen okreće, naročito da nije usmjeren na kolegu koji radi u blizini, također i na ostale upaljive predmete.
- Pri uspostavljanju plamena - krajnji oprez

#### Razmak jezgre plamena od površine radnog komada:

Pravilan razmak jezgre plamena od površine radnog komada odnosno od taline (2 do 5 mm) daje odlično korištenje toplinske energije i odličnu zaštitu taline.

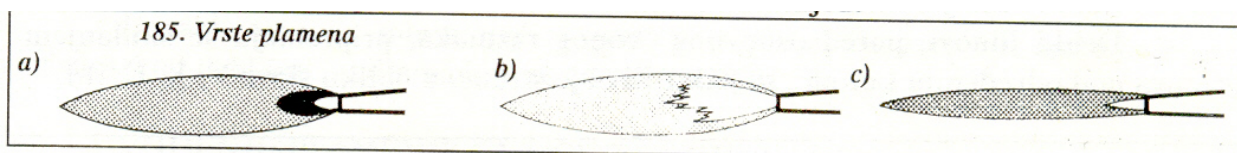
Ako je razmak premali, jezgra plamena dodiruje površinu radnog komada, a u talinu dolazi do unošenja kisika i ugljika iz još neizgorene mješavine plinova.

Ako je jezgra plamena predaleko od površine radnog komada toplinska energija je slabo korištena, pa dolazi do hladnog nalijeganja i slabe zaštite topline.

Kada je korištenje kapaciteta plamenika minimalno, plamen za zavarivanje nazivamo mekani plamen. Kada je korištenje kapaciteta plamenika maksimalno, plamen za zavarivanje nazivamo tvrdi plamen.

#### Vrste plamena za plinsko zavarivanje:

1. Neutralni plamen
  - nastaje pri omjeru acetilena i kisika od 1:1,05 do 1:1,1 (potpuno izgaranje),
  - jezgra plamena ima bijelu boju,
  - ovim plamenom se ne može zavarivati mjed i sivi lijev,
  - primjenjuje se za zavarivanje čelika, bakra i njegovih legura, aluminija i legura, cinka, olova i nikla.
2. Reducirajući plamen
  - nastaje kada u gorivoj smjesi ima previše acetilana, a premalo kisika pa je izgaranje nepotpuno,
  - omjer acetilena i kisika je manji od 1:1,05,
  - višak acetilena razbija jezgru plamena i daje joj zelenkastu boju,
  - ovaj plamen nosi sa sobom čestice slobodnog ugljika koje tako dolaze u zavare, zbog čega oni postaju tvrdi,
  - ovim plamenom se može zavarivati sivi lijev,
  - zbog viška acetilena, ovaj plamen u zavaru daje prirast ugljika, i štetan je za zavarivanje legiranih Cr-Ni čelika.
3. Oksidirajući plamen
  - nastaje kada u gorivoj smjesi ima ima viška kisika,
  - omjer acetilena i kisika je veći od 1:1,1
  - jezgra plamena postaje kraća i plavkaste boje,
  - u zavar dolazi prevelika količina kisika i on postaje krhak,
  - u principu se svugdje izbjegava radi jakih reakcija svih metala sa kisikom,
  - primjenjuje se kod zavarivanja mjedi sa velikim postotkom cinka. Oksidi cinka sprečavaju daljnje izgaranje cinka.



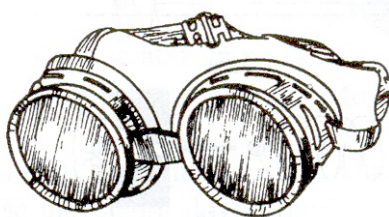
**Slika 12. Vrste plamena**

a) neutralni plamen; b) reducirajući plamen; c) oksidirajući plamen

Izgled i karakteristike plamena	1. Kratki plamen 2. Visoka temperatura plamena 3. Brzo zagrijavanje	1. Dugački plamen 2. Srednje visoka temperatura plamena 3. Polagano zagrijavanje	1. Srednji plamen 2. Niža temperatura plamena 3. Srednje brzo (dobro) zagrijavanje
Plin	ACETILEN	PROPAN	METAN
Temperatura plamena [ $^{\circ}\text{C}$ ]	3.200	2.800	2.760
Snaga plamena [ $\text{kJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ]	16,0	2,5	6,5
Smjesa kisika i plina	1,05 : 1	3,75 : 1	1,6 : 1

**Slika 13. Oblik i karakteristike plamena različitih plinova koji se koriste za plinsko zavarivanje**

Pri radu s plamenikom treba se pridržavati propisa o zaštiti pri radu te obvezno nositi zaštitne naočale s tamnim staklima radi zaštite očiju od zaslijepljenja i usijanih kapljica metala koje se rasprskavaju tijekom zavarivanja.



**Slika 14. Zaštitne naočale**

## 9. Dodatni materijal pri plinskom zavarivanju

### 1. Žice za zavarivanje

Žice za zavarivanje i navarivanje koriste se kao dodatni materijal pri zavarivanju i navarivanju, pri čemu svojstva dodatnog materijala moraju biti ista ili slična svojstvima materijala koji se zavaruje.

Za zavarivanje mekog čelika koriste se šipke od mekog čelika promjera 1 – 8 mm i dužine 500 – 1000 mm. Za zavarivanje limova debljine od 5 mm koriste se žice čiji je promjer jednak debljini lima. Šipke i žice za zavarivanje čelika su, zbog sprečavanja korozije, zaštićene bakrenim prevlakama (metalizacija).

Za zavarivanje lijevanog željeza koriste se žice od lijevanog željeza sa povećanim postotkom ugljika i silicija.



Za zavarivanje bakra koriste se žice koje imaju najmanje 98 % Cu i 0,5 – 1,5 % Sn ili do 1,2 % Ag, a ostatak čini Ni, Si, P i dr.

Za zavarivanje mjedi i bronce koriste se legure bakra i kositra (za bronce), ili specijalnim žicama (za mjedi).

Za zavarivanje aluminija koriste se žice od čistog aluminija, a za zavarivanje aluminijevih legura koriste se žice koje pripadaju tom tipu legura.

Žice za navarivanje služe za nanošenje materijala na površinu predmeta i ne smiju se rabiti za zavarivanje. Obrnuti slučaj je moguć.

## 2. Praškovi i paste za zavarivanje

Praškovi i paste imaju zadatak očistiti oksidirani sloj sa površine koja se zavaruje i spriječiti ponovnu oksidaciju za vrijeme zavarivanja. Meki čelik i čelični lijev zavaruju se bez praška, dok se specijalni čelici, lijevano željezo, bakar i njegove legure, aluminij i njegove legure zavaruju uz upotrebu praška i paste.

Zaštitni prašak se uglavnom koristi pri zavarivanju obojenih metala, koji pri zavarivanju oksidiraju. Za zavarivanje čelika nije potreban zaštitni prašak jer plamen oduzima kisik iz okoliša i ne dolazi do oksidacije. Zaštitni praškovi za obojene metale su otrovni te nakon rukovanja njima treba odmah oprati ruke.

Izbor praška i paste za zavarivanje ovisi o vrsti materijala koji se zavaruje, a mogu se koristiti: boraks, vodeno staklo, borna kiselina, silicijev dioksid i dr.

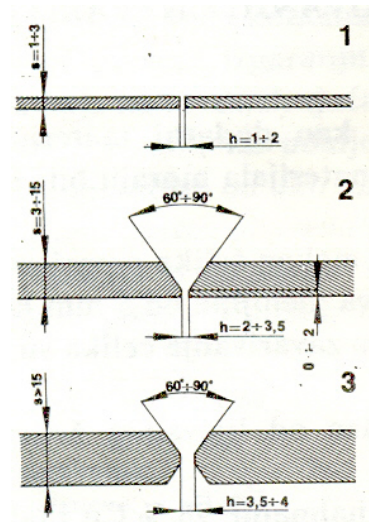
Paste se nanose četkom tako da se premažu bridovi pripremljenih utora i žica za zavarivanje.

# 10. Izvođenje plinskog zavarivanja

## 1. Priprema spojeva

Zavareni šavovi trebaju izdržati ista nprezanja kao i ostali dijelovi zavarenog spoja. Dijelove za zavrivanje treba pripremiti i postaviti tako da između njih ostane razmak koji će ispuniti dodatni rastaljeni metal.

Kod tankih limova (do 1 mm) izvodi se presavijanje na krajevima uzduž šava, pa se zavare bez dodatne žice. Limovi debljine do 5 mm obično se obrade samo pod pravim kutom. Deblji limovi, pored osnovnog čeonog razmaka, pripremaju se skidanjem bridova pod određenim kutom, sa jedne ili sa obje strane, u obliku slova V, X, U itd.



Slika 15. Priprema spoja

## 2. Priprema i provjera opreme

- provjeriti da li u bocama ima dovoljno kisika i acetilena za predviđeni posao,
- provjeriti ispravnost rada osigurača povratnog plamena, pogotovo treba provjeriti nivo vode,
- provjeriti ispravnost elemenata instalacije (crijeva, ventili, ...), kao i mogućnost nekontroliranog ispuštanja plinova,
- provjeriti da li je radno mjesto opremljeno svim potrebnim alatima i priborom, koji je potreban prije, u tijeku i poslije zavarivanja (četka, stezači, kliješta...)
- provjeriti opremljenost osobnim zaštitnim sredstvima (pregače, rukavice, maske, naočale...).

### 3. Izbor plamenika

Za zavarivanje treba koristiti sapnicu plamenika koja može propustiti smjesu dovoljnu za potpuno rastaliti osnovni metal i metal za dodavanje. U odgovarajućim tablicama mogu se naći podaci o srednjim vrijednostima kapaciteta plamenika, zavisno od debljine predmeta.

Debljina (mm)	Kapacitet (l/h C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )
0,3 ÷ 1	25 ÷ 100
1 ÷ 2	100 ÷ 200
2 ÷ 4	200 ÷ 400
4 ÷ 6	400 ÷ 600
6 ÷ 9	600 ÷ 900
9 ÷ 12	900 ÷ 1200

Slika 16. Izbor plamenika

Debljina predmeta	Promjer žice
1 ÷ 2	1 ÷ 2
3 ÷ 4	2,5 ÷ 3
5 ÷ 6	3,5 ÷ 4
7 ÷ 8	5 ÷ 6
9 ÷ 12	6 ÷ 7
preko 12	7 ÷ 8

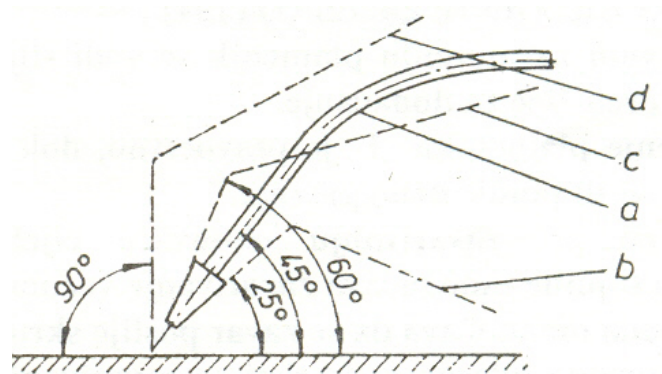
Slika 17. Izbor žice

### 4. Izbor materijala za dodavanje

Za sve materijale koji se zavaruju na tržištu postoje, i trebaju se koristiti odgovarajući metali za dodavanje, čiji sastav odgovara sastavu i svojstvima osnovnog metala. U tablicama se mogu naći podaci o promjeru žice za dodavanje u zavisnosti od debljine predmeta koji se zavaruje.

### 5. Vođenje plamenika i žice za dodavanje

Kvalitet zavarenog spoja u velikoj mjeri zavisi od pravilnog vođenja plamenika i žice za dodavanje. Treba nastojati da se plamenik vodi što mirnije i u što ravnomjernijem razmaku u odnosu na predmet, a njegovo pomjeranje treba vršiti neposredno pred postizanje temperature taljenja. Položaj plamenika u odnosu na predmet zavisi od debljine samog predmeta, tako da predmet dobije što veću količinu topline.



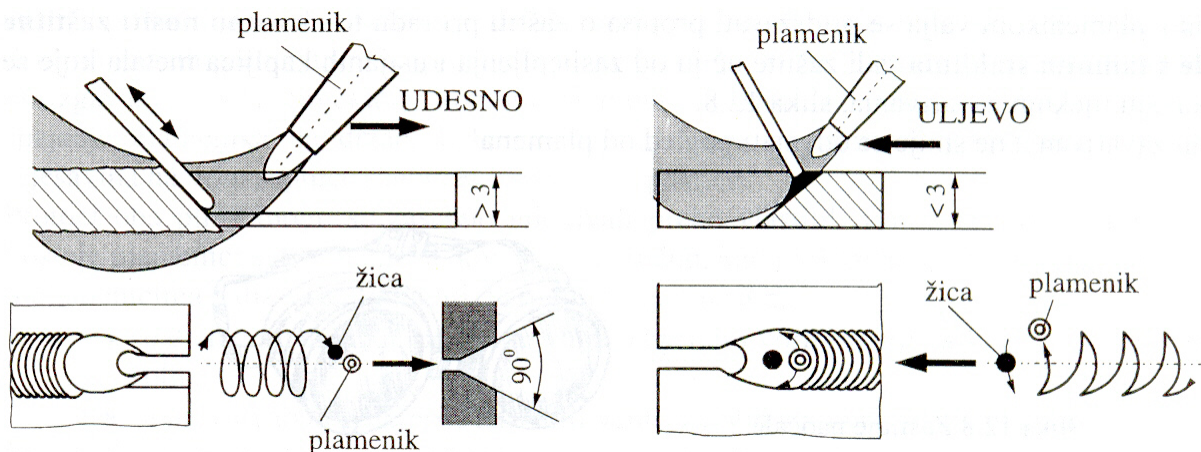
Slika 18. Položaj plamenika

- a – normalni položaj plamenika koji se primjenjuje najčešće,
- b – položaj plamenika za tanje limove (do 2 mm) i limove od lakotaljivog metala,
- c – položaj plamenika za deblje limove (do 12 mm),
- d – položaj plamenika za najdeblje limove.

Prema smjeru gibanja plamenika za vrijeme rada zavarivanje može biti:

- zavarivanje ulijevo i
- zavarivanje udesno.

U objema tehnikama zajedničko je da se plamenik drži u jednoj, a žica u drugoj ruci. Razlikuju se po mjestu usmjerenja žice, pravcu zavarivanja i po tehnici gibanja plamenika i žice.



**Slika 19. Zavarivanje udesno i ulijevo**

**a) Zavarivanje ulijevo**

Pri ovom zavarivanju žižak plamenika se povlači sa desna ulijevo, gledajući sa strane zavarivača, a žica za dodavanje vodi se uzduž osi zvara, ispred žižka. Pri zavarivanju tankih limova sa prirubnim šavom ne koristi se žica za dodavanje kao dodatni materijal.

Vođenje žice i plamenika je pravocrtno, uzduž osi zvara, ili se plamenik može i naizmjenično pomjerati na jednu i drugu stranu izvan osi šava opisujući male lukove. Glavno gibanje je rukom kojom se drži plamenik, odnosno gibanju plamenika.

Ova tehnika rada primjenjuje se uglavnom kod zavarivanja tanjih materijala, odnosno tamo gdje se želi dovesti manja toplina na mjesto zavarivanja. Zavarivanje ulijevo se koristi pri zavarivanju čeličnih limova debljine do 3 mm, kao i pri zavarivanju lakotaljivih metala i njihovih legura, jer je kontakt zvara sa razvijenom toplinom plamenika relativno kratak, što je povoljnije za tanje limove i lakotaljive metale i njihove legure.

Nedostatak ovog postupka je u tome što se rastaljeni zavar lako razlijeva po žljebu i pri tome stvara tkz. hladne zavare, kao i slabiji pregled procesa, budući da je plamen usmjeren ispred taline.

**b) Zavarivanje udesno**

Pri ovom zavarivanju plamenik se vodi slijeva udesno, gledajući sa strane zavarivača, ispred žice za dodavanje. Vođenje plamenika je pravocrtno, dok se žica pomjera izvan osi šava, izvodeći kružno ili polukružno gibanje. Plamen pri zavarivanju obuhvaća cijelu rastaljenu masu, pa veća koncentracija topline omogućava zavarivanje većom brzinom, a duže vrijeme dodira zvara i plamena omogućava da se zavar poslije skrućivanja djelomično žari. Zavarivanje udesno se koristi za zavarivanje limova debljine iznad 3 mm i zahtijeva veće iskustvo zavarivača u pogledu uvježbanosti vođenja žice.

Zavarivanje u desno obvezno se primjenjuje u zavarivanju cijevi u tlačnim sustavima (kotlogradnji).

**Proces nastajanja zavarenog spoja kod zavarivanja plinskim plamenom:**

Ovaj proces zavisi od tlaka kojeg stvara mlaz plamena, od gibanja tog plamena ili od gibanja vrha dodatnog materijala, od gravitacijske sile i površinske napetosti rastaljenog metala. Tlak plamena i toplina utječu na miješanje taline, koja je u neprestanom gibanju, tako da se ova formira, uvijek u jednom željenom pravcu. Miješanje taline vrhom žice također znatno utječe na usmjerenost i homogenost u formiranju zvara. Pri zavarivanju u prisilnim položajima tlak plamena i miješanje vrhom žice posebno značajno pomaže pravilnom formiranju zvara.

Na pravilno formiranje zvara utječe i sila površinske napetosti rastaljenog metala, koja ga drži na okupu. Gravitacijska sila djeluje povoljno kod zavarivanja u vodoravnom položaju, a nepovoljno kod zavarivanja u prisilnim položajima.

U vodoravnom položaju zavarivanju plinskim plamenom dobro se izvodi postupcima ulijevo i udesno. Međutim kod zavarivanja u prisilnim položajima bolji je postupak zavarivanja u desno upravo radi tehnike gibanja vrha žice koja dodatno pomaže pravilnom formiranju zvara u prisilnom položaju.

## 11. Različiti materijali pri plinskom zavarivanju

---

### Osnovni problemi pri plinskom zavarivanju:

- prenisko ili previsoko držanje plamenika,
- nepravilan nagib plamenika,
- neispravno vođenje žice ili plamenika u odnosu na način zavarivanja,
- neispravan plamen, preslab ili prejak plamen,
- prevelika brzina zavarivanja,
- promjenjiva brzina zavarivanja,
- nedovoljno predgrijavanje osnovnog materijala,
- promjenjivo dodavanje žice,
- promjenjivo držanje udaljenosti plamenika,
- vađenje žice iz zaštitnog sloja plina itd.

### Zavarivanje nelegiranih konstrukcijskih čelika:

Kod plinskog zavarivanja ovih čelika nema naročitih problema. Osnovni problemi su vrlo velika stezanja i deformacije, naročito kod tankih limova. Važan je način pripajanja, redoslijed zavarivanja, naprave za pridržavanje. Kod zavarivanja cijevi najvažnije je kvalitetno provarivanje korijena zavora.

### Niskolegirani konstrukcijski čelici:

Za pravilan izbor dodatnog materijala pri zavarivanju ovih čelika važno je znati koji su legirajući elementi u čeliku. U principu kod zavarivanja niskolegiranih (zavarivih) konstrukcijskih čelika nema problema.

### Visokolegirani nehrđajući i vatrootporni čelici:

Važan je izbor dodatnog materijala u odnosu na osnovni materijal. Najčešće greške su u izboru dodatnog materijala. U principu treba izbjegavati plinsko zavarivanje visoko legiranih čelika, a naročito Cr-Ni čelika. Ukoliko se ovi čelici ipak zavaruju vrijede sljedeća osnovna pravila:

- treba upotrijebiti disuplin (pročišćeni plin),
- plamenik nešto manji nego kod nelegiranih čelika,
- strogo neutralan i strogo kontroliran plamen,
- jezgra plamena što ujednačenijeg odstojanja,
- žicu držati u zaštitnoj atmosferi,
- pripajanje treba vršiti vrlo gusto,
- nužna je primjena desnog zavora,
- nužna je primjena talila,
- treba strogo kontrolirati dodatni materijal.

### Sivi lijev:

Kod zavarivanja sivog lijeva plamen mora biti neutralan ili sa manjim pretičkom acetilena. Zakošenje ivice žljeba treba biti 60°. Upotrebljavaju se talila. Dodatni materijali su šipke sivog lijeva sa visokim sadržajem silicija (4%). Debljina šipke treba iznositi oko  $\frac{3}{4}$  materijala koji se zavaruje. Primjenjuje se lijevi zavar. Vršak jezgre plamena treba držati 10 mm iznad površine taline i izbjegavati dodirivanje taline sa vrškom jezgre. Nakon zavarivanja nužno je osigurati lagano hlađenje.

Plinski postupak zavarivanja sivog lijeva u odnosu na druge postupke ima prednosti:

- boja odljeva i zavora je ista,
- zavar je mekan i obradiv.

Bakar:

Osnovni problemi kod zavarivanja bakra su:

- veliki afinitet prema plinovima, naročito kisiku,
- visoka toplinska vodljivost (nužno je predgrijavanje),
- sposobnost upijanja vlastitog oksida,
- velika žitkost i poteškoće kod zavarivanja u prisilnom položaju,
- visoki koeficijent toplinskog istezanja.

Dodatni materijal može biti:

- dezoksidirani bakar,
- bakar sa fosforom ( $P \leq 0,3\%$ ),
- bakar sa srebrom ( $Ag = 1\%$ ),
- bakar sa kositrom ( $Sn = 2\%$ ).

Aluminij:

Za tanje limove treba uzeti plamenik za jedan broj manje u odnosu na zavarivanje čelika, a za limove iznad 10 mm debljine jedan broj plamenika veći nego u slučaju čelika. Pravilan izbor sapnice je vrlo važan. Rubovi limova se prije zavarivanja moraju mehanički očistiti. Prije početka zavarivanja treba izvršiti predgrijavanje zone spoja na oko 300-350°C. Talila u obliku paste premažu se preko mjesta zavarivanja i žice. Ako su talila u obliku praška posipavaju se po rubovima.

Kod tanjih limova lijeva tehnika zavarivanja, a kod debljih desna tehnika zavarivanja. Jezgra plamena treba biti udaljena 3-6 mm od taline. Kod prekida zavarivanja plamenik treba udaljavati postepeno.

Plamen mora biti strogo neutralan. Poslije zavarivanja nužno je vršiti čišćenje zavara i pranje četkom i vrućom vodom rastopinom 5%  $HNO_3$ .

Bronca:

U principu se češće pribjegava lemljenju bronci nego zavarivanju, iako se plinskim postupkom bronce dobro zavaruju. Nužno je predgrijavanje radnog komada do crvenog usijanja. Upotrebljava se plamen sa malim pretičkom acetilena. Dodatni materijal mora odgovarati sastavu osnovnog materijala.

## 12. Zavarivanje cijevi

---

Cijevi se mogu zavarivati u sljedećim položajima:

1. horizontalni položaj – H
2. vertikalni položaj – V
3. zidni položaj – HV
4. iznad glave – G

Zavarivanje cijevi debljine stijenke do 2 mm koje nisu izložene višim tlakovima vrši se postupkom ulijevo. Za cijevi koje su izložene višim tlakovima obično debljine stijenke iznad 2 mm zavarivanje se vrši postupkom udesno. Do 3 mm debljine stijenke primjenjuje se I-spoj sa razmakom od oko 0,5 x debljina stijenke. **Cijevi debljine stijenke iznad 6 mm u pravilu se ne zavaruju plinskim plamenom.** Promjer žice je oko polovine debljine stijenke cijevi.

Položaji kod zavarivanja cijevi u praksi su sljedeći:

- cijev stoji u horizontalnom položaju a zavarivanje se vrši odozdo prema gore u nadglavnom i vertikalnom položaju,
- cijevi stoje vertikalno a zavarivanje se vrši u zidnom položaju,
- cijev se okreće za vrijeme zavarivanja, a zavarivanje se vrši u vodoravnom položaju.



#### Priprema cijevnog spoja:

Priprema cijevi za zavarivanje ima bitan utjecaj na kvalitetu zavarivanja. Cijev se u pravilu ne smije zavarivati ako nije ispravna priprema za zavarivanje. Priprema cijevnog spoja za zavarivanje sastoji se od:

- a) priprema ruba,
- b) čišćenje površine spoja za zavarivanje,
- c) centriranje cijevi,
- d) pripajanja (heftanja) cijevi.

Priprema ruba za zavarivanje cijevi zadaje više poteškoća nego priprema za zavarivanje ravnih rubova. Cijevi se često isporučuju s pripremljenim rubom za zavarivanje, pa se prije centriranja odnosno zavarivanja vrši samo čišćenje rubova. Rubovi se mogu pripremiti sa ručnom brusilicom.

Nečistoće kao mazivo, ulje, hrđa, oksidni film moraju se odstraniti prije zavarivanja. Zavarivač nečistoće skida sa žičanom četkom.

Dva komada cijevi koji će se zavariti moraju se centrirati (poravnati), dovesti u određeni međusobni položaj tako da nema pomaka (smaknuća) rubova cijevi na unutarnjoj i vanjskoj površini.

Kada su cijevi centrirane treba zavariti četiri pripojena zavarivanja jednakomjerno podijeljeno po opsegu cijevi. Budući da pripoj ostaje kao dio korijenskog zavarivanja, on treba biti bez grešaka. Mora biti dovoljno jak i sa potpunom penetracijom od početka do kraja.

## 13. Navarivanje plinskim plamenom

---

Navarivanje plinski plamenom primjenjuje se u praksi kod reparature istrošenih dijelova, koji se navaruju i ponovno obrađuju ili radi poboljšanja površina kvalitetnijim (obično tvrdim) materijalima. Kao npr. brtvenih površina na raznim ventilima ili kruna bušaćih garnitura itd.

Primjena navarivanja plinskim plamenom je vrlo ekonomična, naročito kod malih komada npr. navarivanje sjedišta ventila ili oštrica reznog alata i sl. Velika prednost navarivanja plinskim plamenom od npr. električnog navarivanja je u manjem miješanju osnovnog s dodatnim materijalom, što je preduvjet za kvalitetan navareni sloj u svrhu poboljšanja.

Izbor dodatnog materijala za navarivanje vrši se prema uvjetima u eksploataciji kojima će navarena površina biti izložena (habanje, udar, korozija, toplina i sl.).

Priprema površina vrši se strojno sa glatkim površinama. Oblik pripreme ovisi o zahtjevu za oblikom i debljinom navarenog sloja. Obično se navareni sloj naknadno obrađuje, pa se mora voditi računa o tome da ostane dovoljna visina navara. Visina navarenog i obrađenog sloja obično iznosi 2-3mm (ovisno o zahtjevima za tvrdoćom, antikorozivnost, vatrootpornost itd).

Tehnika rada kod navarivanja plinskim plamenom je vrlo važna. Osnovno pravilo je da se navarivanje vrši sa što manjim miješanjem osnovnog s dodatnim materijalom, jer se ovim miješanjem mijenjaju osnovna svojstva navarenog dodatnog materijala. Površina osnovnog materijala zagrijava se do pojave prvih kapljica (orošavanje) i na tako još nedovoljno istaljenu površinu, nataljuje se dodatni materijal. Pri ovom treba biti oprezan da se površina ne pretvori u talinu, ali i da ne dođe do slabog zagrijavanja.

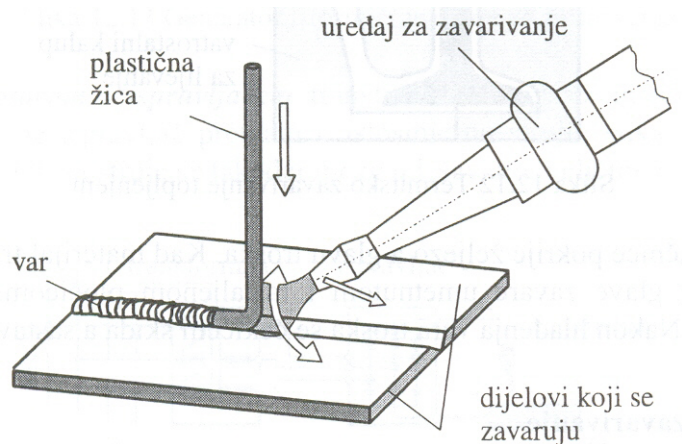
Kvaliteta navarivanja ovisi o pravilnoj tehnici rada i pravilnom izboru dodatnog materijala. Plinski plamen podešava se prema sastavu dodatnog materijala. Ako dodatni materijal sadrži veći postotak elemenata sklonih oksidaciji (Cr, Ni, Mn, W itd.) plamen je sa viškom acetilena. U pravilu kod navarivanja tvrdih površina plamen se postavlja s viškom acetilena.

## 14. Zavarivanje plastičnih predmeta

Zavarivanje plastičnih materijala također spada u plinsko zavarivanje. U ovom slučaju rabljeni plin je zrak zagrijan na visoku temperaturu. Dobro se zavaruju slijedeći plastični materijali:

- PE polyethylen (s temperaturom zraka 240 – 260 °C)
- PP polypropylen (s temperaturom zraka 250 - 270 °C)
- PVC-tvrdi polyvinylchlorid (s temperaturom zraka 240 – 260 °C)

Žica za zavarivanje od istog je materijala kao i osnovni materijal. Uređaj za zavarivanje je tkz. industrijski fen kod kojeg se cjevčicom dovodi ugrijani zrak na mjesto zavarivanja te se žica tali kao i osnovni materijal na mjestu spajanja.



Slika 20. Zavarivanje plastičnih materijala

## 15. Plinsko rezanje

Postupak plinskog rezanja (kisikom) zasniva se na svojstvima metala i legura da zagrijani na temperaturu zapaljenja izgaraju u struji kisika. Uvjeti za plinsko rezanje metala i legura:

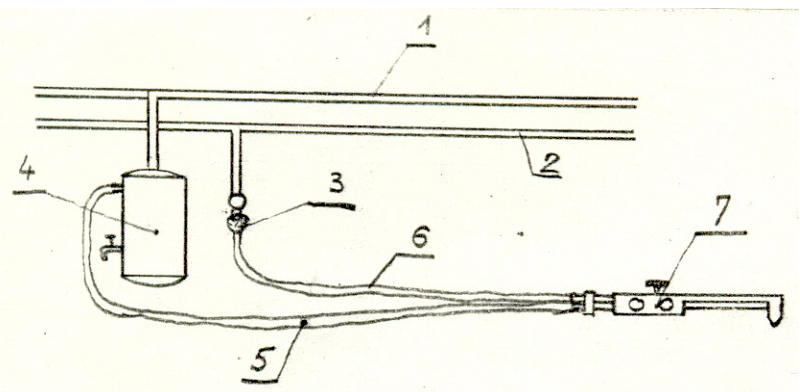
- temperatura zapaljenja metala i legure treba biti niža od točke taljenja metala,
- toplina nastala izgaranjem metala treba biti dovoljna da okolnu reza održava na temperaturi zapaljenja,
- temperatura taljenja nastalog oksida treba biti niža od temperature taljenja metala,
- rastaljeni oksid nastao izgaranjem mora se lako odvoditi iz reza ispuhavanjem.

Postupkom plinskog rezanja dobro se režu samo čelik i čelični ljev. Plinsko rezanje se upotrebljava i kao priprema za zavarivanje za izradu raznih šavova ("V", "X" i dr.).

Postupak rezanja sastoji se od:

- zagrijavanja,
- izgaranja metala i
- ispiranja oksida metala.

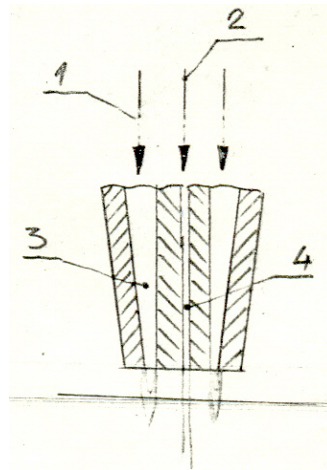
1. Cijev za kisik
2. Cijev za acetilen
3. Redukcijski ventil
4. Vodeni osigurač
5. Crijevo za kisik
6. Crijevo za acetilen
7. Plamenik za plinsko rezanje



Slika 21. Oprema za plinsko rezanje

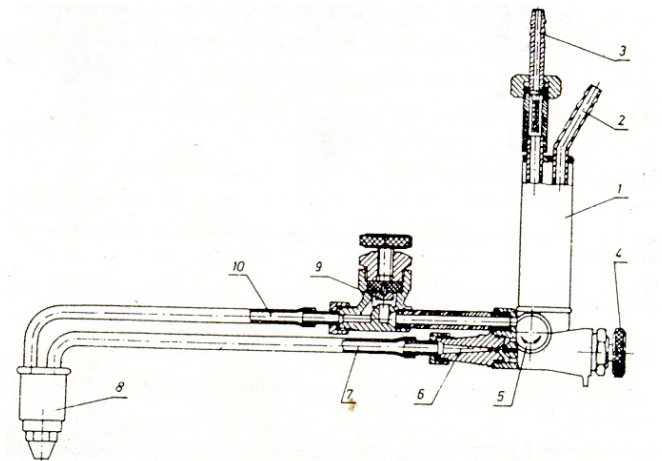


1. Plamen za zagrijavanje (kisik + acetilen)
2. Mlaz za rezanje (kisik)
3. Otvor za mješavinu (acetilen+kisik)
4. Otvor za kisik



**Slika 22. Saprnica za rezanje**

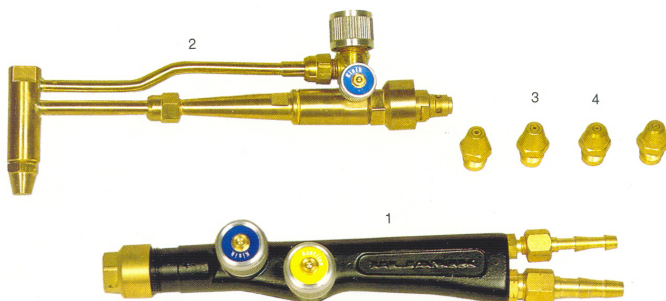
1. Drška plamenika
2. Priključak za crijevo
3. Priključak za crijevo
4. Ventil za regulaciju dovoda acetilena
5. Ventil za regulaciju dovoda kisika
6. Injektor
7. Cijev za mješavinu
8. Žižak
9. Ventil za regulaciju tlaka kisika za rezanje
10. Cijev za kisik



**Slika 23. Plamenik za rezanje**

Za određenu debljinu lima treba odrediti parametre:

- presjek sapnice,
- brzina rezanja,
- razmak sapnice i komada koji se reže.

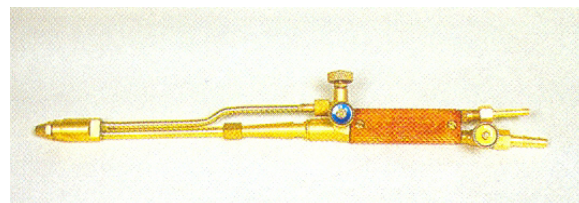
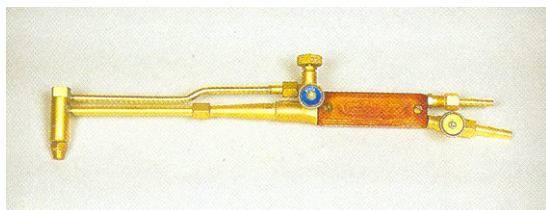


**Slika 24. Držač, plamenik i žišci za rezanje**



**Slika 25. Postupak plinskog rezanja**

Za dršku plamenika pričvršćeni su priključci za dovod plinova. Jednim ventilom se regulira dovod kisika, a drugim dovod acetilena. U injektoru nastaje goriva smjesa koja kroz cijev struji do žižka. Na početku rada se prvo pali plamen za zagrijavanje koji treba biti neutralan. Kada je plamen pravilno formiran i predmet predgrijan, otvara se ventil kojim se regulira tlak kisika za rezanje.

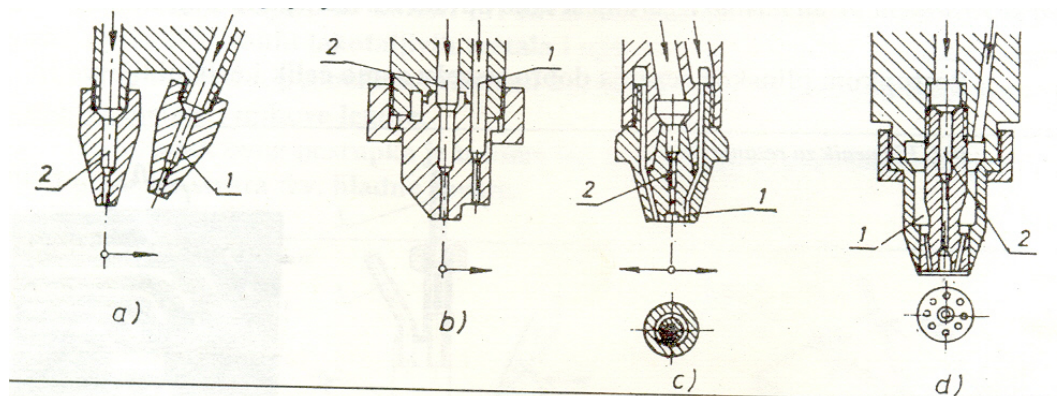


**Slika 26. Ručni aparati za plinsko rezanje čelika**

Konstrukcija plamenika za rezanje može biti različita, a sam rad ovisi o izvedbi žižka plamenika:

- žižak sa potpuno odvojenim kanalima za gorivu smjesu i kisik za rezanje,
- stupnjeviti žižak sa paralelnim kanalima,
- žižak sa prstenastim koncentričnim kanalima,
- blok-žižak kod kojega je središnji kanal za kisik u sredini, a oko njega smjesa na izlaznom kanalu izlazi kroz veći broj rupica koncentrično raspoređenih.

Smjesa acetilena i kisika dovodi se kanalom 1, a kisik za rezanje kanalom 2.



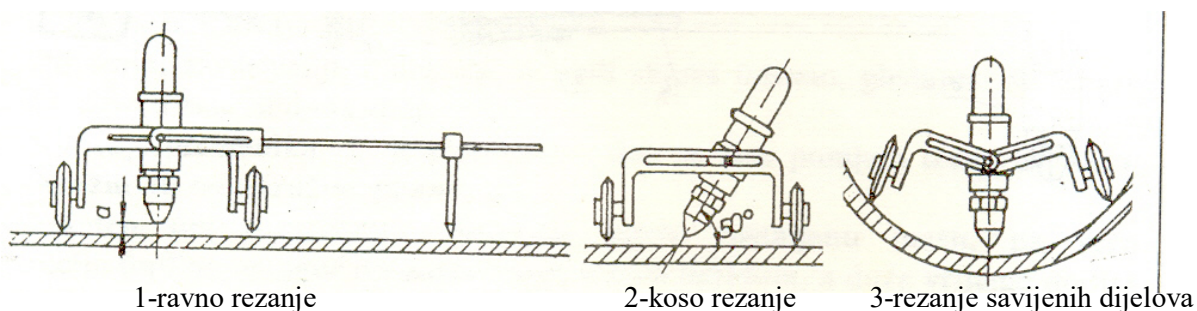
**Slika 27. Načini rezanja profila**

#### Plinsko strojno rezanje:

Kod ovog postupka na ručni plamenik se dodaje mali mehanizam sa pogonskim uređajem (poluautomatsko rezanje) ili je rezanje potpuno automatizirano.

Plinsko strojno rezanje omogućava ravnomjernu brzinu gibanja i osigurava kvalitetnu obradu površina, sa točnošću koja često dozvoljava upotrebu bez naknadne obrade.

Najsuvremeniji strojevi za plinsko rezanje su strojevi sa numeričkim upravljanjem procesa.



**Slika 28. Vrste plinskog rezanja**

Veliki nedostatak plinskog rezanja je utjecaj topline za vrijeme rada. Deformacije nastaju u toku rezanja i nakon hlađenja. Deformacije se mogu smanjiti ako je:

- pravilan početak reza,
- rezanje u više faza,
- pojedini dijelovi se ostave neodrezani i naknadno se odrežu,
- mogućnost rezanja sa više plamenika.

Greške koje mogu nastati kod plinskog rezanja su:

- topljenje gornjih rubova (prejako zagrijavanje, premala brzina rezanja),
- čupanje materijala (premala brzina rezanja, preslab plamen za zagrijavanje),
- udubljenje rezne površine (prevelik pritisak kisika, suviše jak plamen za zagrijavanje)
- deformirana rezna površina (nečista sapnica za rezanje).

## 16. Zaštita pri radu

---

Svrha zaštite na radu je spriječiti povrede i zdravstvena oštećenja na radu, ili bar otkloniti odnosno umanjiti njihove štetne posljedice. Može se reći da je svrha zaštite na radu ostvarenje sigurnih uvjeta rada.

Dužnosti radnika s područja zaštite na radu:

- upoznati se s opasnostima odnosno štetnostima koji prijete na njihovom radnom mjestu,
- upoznati se s propisima, pravilima, uputama, normama i drugim mjerama i sredstvima za zaštitu na radu,
- obavljati radne zadatke s punom pažnjom,
- pridržavati se propisanih zaštitnih mjera,
- služiti se zaštitnim sredstvima i napravama (naočale, rukavice, pregače idr.),
- prijaviti uočene nedostatke, koji bi mogli utjecati na sigurnost pri radu.

### **Osnovne upute za pružanje prve pomoći:**

1. izbjegavanje uzrujanosti i panike,
2. pažljivo provjeriti o čemu se radi,
3. ako je potrebno poduzeti trenutačnu akciju da bi se spasio život (umjetno disanje, zaustavljanje krvarenja i sl.)
4. nikada ne pomicati (prenositi) teško ozlijeđenoga, osim ako mu je potrebno dati svježeg zraka ili zaštititi ga od opasnosti,
5. pozvati lječnika,
6. pozvati bolnička kola, a po potrebi i policiju ili vatrogasce.

### **Napuci za pravilan rad pri plinskom zavarivanju**

- Razvijač acetilena mora biti udaljen najmanje 3 m od bilo kojeg plamena, čak i od samog plamenika za zavarivanje.
- Gumene cijevi moraju imati dužinu najmanje 5 m.
- Nikada se ne smije spajati cijev za acetilen s bakrenim cijevima jer bakreni oksid pali acetilen.
- Boce za kisik ne smiju doći u dodir s uljima ili mastima jer postoji opasnost od eksplozije.
- Redukcijski ventili se također moraju čuvati od dodira s uljima ili mastima (masne ruke).
- Boce za acetilen ne smiju ležati horizontalno, a potrošnja ne smije biti iznad 1000 l/h.
- Osigurati boce od udaraca, pada, zagrijavanja i smrzavanja. Boce se postavljaju u betonski spremnik ukopan u zemlju s laganim krovom (u slučaju eksplozije njeno djelovanje valja da je usmjereno na krov – najmanji otpor).
- Odvrnuti vijak za udešavanje prije otvaranja boce. Ventil na boci otvarati polako.
- Pri zavarivanju posude u kojima se nalazila lako zapaljiva tekućina (benzin, benzol, nafta, petrolej) moraju se prije zavarivanja napuniti vodom da bi se spriječilo zapaljivanje ili eksplozija zaostalih para.
- Prije zavarivanja treba provjeriti ispravnost redukcijskih ventila i armature na boci za kisik i plin.
- Tijekom rada ne odvajati pogled od plamena.

### **Mjere zaštite pri radu**

- Pri plinskom zavarivanju uvijek se moraju nositi zatvorene zaštitne naočale s tamnim staklima radi zaštite očiju od zasljepljujućeg svijetla i usijanih kapljica rastaljenog metala koje se rasprskavaju tijekom zavarivanja.
- Kosa mora biti zaštićena kapom ili maramom.
- Radno odijelo mora biti zakopčano.
- Kod rezanja materijala plamenikom cipele moraju biti visoke i dobro zatvorene (rabe se gležnjače) kako kapljice rastaljenog metala ne bi upale u cipele.
- Opasnosti kod plinskog zavarivanja su slijedeće:
  - štetno djelovanje svjetla na oči zavarivača,
  - opekline nastale iskrama,
  - štetno djelovanje nastalih plinova na dišne organe,
  - štetno djelovanje zaštitnih praškova za lake metale, koji su otrovni (poslije uporabe obavezno je pranje ruku).

Poznavanje osobina plinova koji se koriste pri plinskom zavarivanju veoma je važno jer o tome ne ovisi samo kvaliteta izvršenog posla već i sigurnost zavarivača i njegove okoline.

### **Kisik:**

- ispitivati redovito sve dijelove plinske instalacije na nepropusnost, a naročito spojna mjesta i ventile,
- ispravnost gumenih crijeva i plamenika, te nepropusnost na spojevima ispitivati potapanjem u sapunicu. Za to vrijeme cijev treba biti pod normalnim radnim tlakom.
- PAZITE! -Dodir ulja ili masti s kisikom može uzrokovati eksploziju.
- ne koristiti masne i čađave gumene cijevi ili cijevi koje su prethodno služile za dovod acetilena,
- za provjetravanje zatvorenih prostorija nikada ne koristiti čisti kisik, već odgovarajuće ventilacijske uređaje ili u izuzetnim slučajevima, stlačeni zrak iz boca.
- mlazom kisika nipošto ne isprašivati odijelo,
- ne koristite kisik za pogon strojeva ili alata, zbog opasnosti od dodira s uljima i mastima.

### **Zapaljivi plinovi:**

Zapaljivi plinovi su: acetilen, propan, butan, vodik i slično. Pod određenim uvjetima će smjese tih plinova eksplodirati i uzrokovati veoma teške posljedice. Naime, ako se neki zapaljivi plin izmiješa sa zrakom ili sa čistim kisikom u smjesu određenih omjera, te ako se ta smjesa upali, to će uzrokovati eksploziju:

- Najefikasniji način zaštite od eksplozije plinskih smjesa u prostoru je stalna kontrola nepropusnosti plinskih instalacija i pravilno rukovanje priborom za plinsko zavarivanje.
- Ispitivati nepropusnost plina na spojevima i ventilima, kistom umočenim u sapunicu, ali nikad otvorenim plamenom.
- Plamenik paliti odmah po otvaranju ventila, kako plin ne bi nekontrolirano izlazio u prostor.

### **Čelične boce za plinove:**

- boce držati što je moguće dalje od otvorenog plamena ili drugih izvora topline,
- upaljeni plamenik nikad ne vješati o bocu,
- čeličnim bocama rukovati pažljivo. Svako oštećenje stjenke može uzrokovati eksploziju.

Oštećenje prazne boce postaje opasno nakon ponovnog punjenja. Nemojte bocu koristiti kao podlogu za ravnjanje ili savijanje predmeta, niti kao valjak za premještanje teškog predmeta, kao podlogu za sprečavanje pokreta vozila itd.

Čelične boce kada stoje uspravno uvijek pričvrstite obujmicama o čvrstu podlogu (zid, stol itd.) kako biste ih zaštitili od pada.

Ne koristite bocu ako niste sigurni koji plin sadrži. To mora biti jasno označeno, uz ostalo i bojom. Nemojte bojati boce drugačijim bojama od onih koje su propisane. To će stvoriti zabunu koja može imati teške posljedice. Boje boca su slijedeće: acetilen - bijela; kisik i nezapaljivi plinovi – plava; klor – tamno siva; svi ostali zapaljivi plinovi – crvena.

Ako bocu treba prenijeti na udaljenije mjesto koristite odgovarajuće naprave i pomoć drugog radnika. Najbolje je da za prijevoz koristite posebno izvedena kolica. Za prevoženje cijelog uređaja za zavarivanje koristite posebna kolica na kojima su boce pričvršćene i zaštićene od oštećenja.

Boca sa butanom ne smije se držati u otvorima ili jamama, koje se nalaze ispod razine tla, jer je plin teži od zraka pa postoji opasnost od njegovog nakupljanja u tim prostorima.

#### **Rukovanje priborom za plinsko zavarivanje:**

- Gumene cijevi nemojte pričvršćivati na spojeve žicom, već uvijek odgovarajućim obujmicama.
- Pridržavajte se ispravnog redoslijeda propuštanja plinova pri paljenju plamenika. Za vrijeme dok ne radite s plamenikom postavljajte ga na stalak posebne izvedbe, koji zaštićuje plamenik od pada i ne zahtjeva njegovo gašenje.
- Nemojte koristiti bocu koja nema postavljen suhi osigurač ili povratni ventil za zaštitu od povratnog udara plamena.
- Bocu intenzivno hladite raspršenim mlazom vode iz hidranta ili mlazom iz vatrogasne štrcaljke. Zaklonite se iza nekog čvrstog zaklona, te na to upozorite i ostale radnike, kako u slučaju eksplozije ne bi stradali.

#### **Zaključak:**

Iz gore navedenog vidljivo je da je zaštita na radu veoma važna, te joj treba pokloniti veliku pažnju. Zavarivač se mora držati svih pravila o zaštiti na radu, koristiti zaštitna sredstva, te ispravno rukovati sa priborom za zavarivanje. Time se povećava njegova sigurnost i sigurnost za okolinu.