

izvor: Sedmak, A., Šijački-Žeravčić, V., Milosavljević, A., Đorđević, V., Vukićević, M.: Mašinski materijali II deo, izdanje Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, 2000 (uskoro ponovo u štampi)

7. GASNO ZAVARIVANJE

Gasno zavarivanje je postupak spajanja metala topljenjem i očvršćavanjem osnovnog i (po potrebi) dodatnog metala pomoću plamena dobijenog sagorevanjem gorivog gasa. Količina toplote oslobođena sagorevanjem, kao i najviša temperatura plamena, zavise od vrste gorivog gasa. Podrazumeva se da gorivi gasovi sagorevaju u struji kiseonika, ako nije naglašeno drugačije (npr. sagorevanje u vazduhu). Da bi se ostvarilo sagorevanje u struji kiseonika, gorivi gas i kiseonik se iz specijalnih posuda pod pritiskom – boca (ili na drugi način) dovode u gorionik, odakle izlaze pomešani u odgovarajućoj srazmeri. Na taj način je omogućeno sagorevanje gorivog gasa na vrhu plamenika, koji zajedno sa gorionikom, bocama za skladištenje i crevima za dovod gasova, kao i pomoćnim i dodatnim uređajima (npr. redukcionim ventilima), čini opremu za gasno zavarivanje. U novije vreme je razvijen i postupak koji elektrolizom vode obezbeđuje sav potreban vodonik i kiseonik, koji ima čitav niz prednosti, ali i skupu opremu.

Osnovna prednost gasnog zavarivanja je mogućnost kontrole koju zavarivač ima nad brzinom unošenja toplote, temperaturom u zoni zavarivanja i oksidacijom u atmosferi metala šava. Osim toga, oblik i veličina šava mogu bolje da se kontrolišu, jer se dodatni metal uvodi nezavisno od izvora toplote. U prednosti postupka se ubrajaju i niska cena opreme, njena pokretljivost i relativno jednostavno rukovanje. S druge strane, količina i koncentracija toplote je manja nego kod ostalih postupaka zavarivanja, pa je za gasno zavarivanje karakteristično duže vreme zagrevanja i hlađenja, usled čega su strukturne promene u ZUT izraženije i nepovoljnije. Shodno tome, ovaj postupak je pogodan jedino za zavarivanje tankih limova i cevi, posebno manjeg prečnika, kao i za njihovo reparaturno zavarivanje. Plamen gasa se takođe koristi za rezanje, lemljenje, navarivanje, predgrevanje, termičku obradu i jednostavnije operacije oblikovanja, kao što su savijanje i ispravljanje.

7.1. GASNI PLAMEN I GORIVI GASOVI – OSOBINE I PRIMENA

Osnovni zahtevi koje treba da ispuni gorivi gas da bi se koristio za zavarivanje su da temperatura plamena bude znatno viša od temperature topljenja osnovnog i dodatnog metala, da brzina sagorevanja bude što veća, da se razvija dovoljna količina toplote za topljenje osnovnog i dodatnog metala, kao i za nadoknadu gubitaka toplote, i da hemijska reakcija plamena sa osnovnim i dodatnim materijalom bude što manja.

Najčešće se koriste gorivi gasovi na bazi ugljovodonika: metan (CH_4), metilacetenpropadijen (C_3H_4 – trgovački naziv MAPP), acetilen (C_2H_2), propan (C_3H_8), propilen (C_3H_6), butan (C_4H_{10}) i vodonik (H_2). Za detaljniju analizu karakteristika gasova treba imati u vidu da ugljovodonici sagorevaju u dve faze, primarnoj i sekundarnoj, osim H_2 koji sagoreva u jednoj fazi. Pod **primarnim sagorevanjem** se podrazumeva reakcija sa kiseonikom iz boce, a pod **sekundarnim** reakcija sa kiseonikom iz vazduha.

Primarni plamen je neutralan kada je reakcija primarnog sagorevanja ravnotežna, a proizvodi sagorevanja ugljen-monoksid i vodonik. U tom slučaju atmosfera primarnog plamena je redukujuća. Kako sekundarno sagorevanje zavisi od produkata primarnog sagorevanja, to pojam „neutralan“ treba shvatiti kao pogodan način za definisanje količine kiseonika potrebnog za potpuno sagorevanje i za poređenje različitih karakteristika gorivih gasova.

Brzina sagorevanja (brzina širenja plamena) je brzina kojom se front plamena kreće upravno na njegovu površinu kroz okolni nesagoreli gas. Brzina sagorevanja bitno utiče na veličinu i temperaturu primarnog plamena.

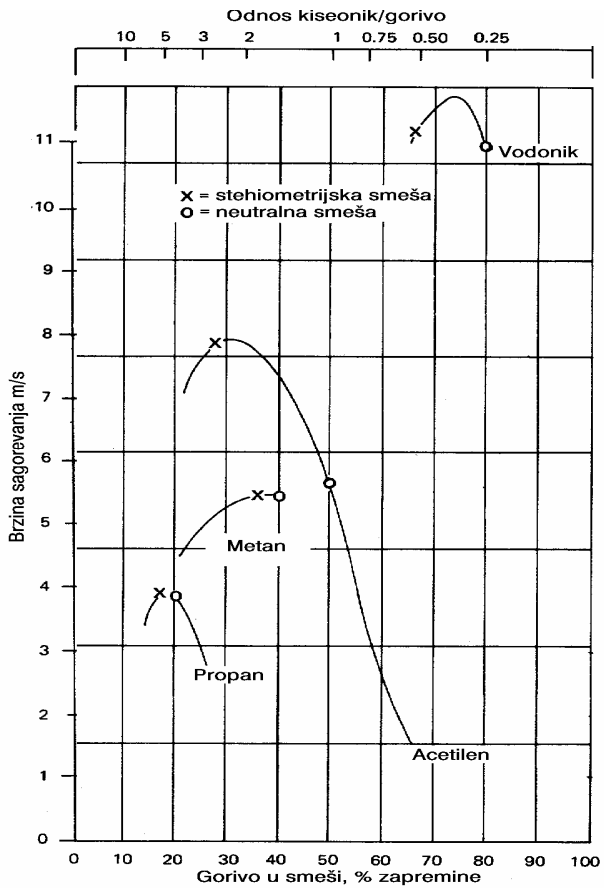
U tab. 7.1 su dati osnovni podaci o gorivim gasovima, kao što su maksimalna temperatura neutralnog plamena, t_{max} , količina oslobođene toplote kod primarnog i sekundarnog sagorevanja (osim za H_2 koji sagoreva u jednoj fazi), Q_{prim} i Q_{sek} , ukupna količina toplote po jedinici zapremine i po jedinici mase, Q_{vol} i Q_{mas} , količina kiseonika potrebna za potpuno sagorevanje jedinične količine gasa (**stehiometrijska smeša**) – oznaka O_2 (ukupno) i količina kiseonika koja se u tu svrhu dobija iz boce (ostatak se dobija iz vazduha) – oznaka O_2 (boca), odnos gustine gasa prema gustini vazduha (na temperaturi od $15^\circ C$, atmosferskom pritisku i gustini vazduha $\rho_{vaz} = 1,21 \text{ kg/m}^3$), molarna masa, M , specifična zapremina, v , i brzina sagorevanja neutralnog plamena, v_{sag} .

Tabela 7.1. Osnovne osobine najčešće korišćenih gasova

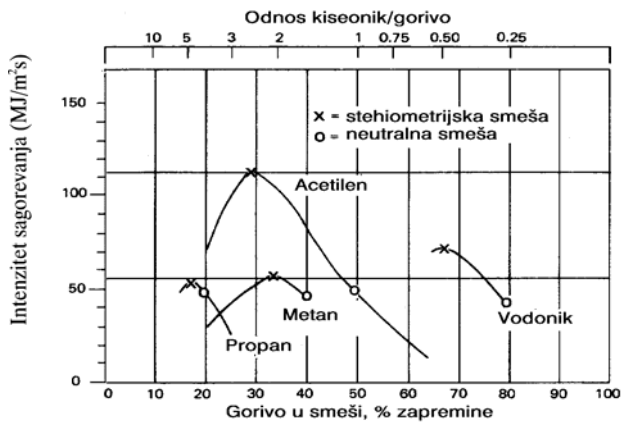
		acetilen	propan	butan	metan	propilen	MAPP	vodonik
t_{max}	($^\circ C$)	3087	2526	2300	2538	2865	2927	2655
Q_{prim}	(MJ/m^3)	18,9	9,5	–	0,4	16,3	19,3	–
Q_{sek}	(MJ/m^3)	35,9	83,6	–	37	71,9	70,4	–
Q_{vol}	(MJ/m^3)	54,8	93,1	130	37	88,3	89,6	12
Q_{mas}	(MJ/kg)	50	51	–	56	49	49	120
O_2 (ukupno)	(mol)	2,5	5	–	2	4,5	4	0,5
O_2 (boca)	(mol)	1±1,3	3,5	–	1,5	2,6	2,5	0,3±0,4
ρ/ρ_{vaz}	(–)	0,91	1,52	2,10	0,62	1,48	1,48	0,074
M	(g/mol)	26,0	44,0	58,1	–	–	–	–
$v=V/m$	(m^3/kg)	0,91	0,54	0,39	1,44	0,55	0,55	11,77
v_{sag}	(m/s)	5,7	3,9	–	5,5	–	–	11

Iako je sekundarna količina toplote veća, za zavarivanje je bitnija primarna količina toplote jer je koncentrisana na mestu zavarivanja. Osim nje, kao što je već pomenuto, od najvećeg značaja za primenu u zavarivanju je brzina sagorevanja, koja je za neke gorive gasove (acetilen, propan, metan, vodonik) data na sl. 7.1, u zavisnosti od udela gorivog gasa u smeši. Kombinacijom ove dve veličine, tj. proizvodom primarne količine toplote i brzine sagorevanja, definiše se **intenzitet primarnog sagorevanja**, koji se, osim t_{max} , koristi kao osnovni kriterijum primenljivosti gorivog gasa. Intenzitet primarnog sagorevanja je najveći za acetilen, sl. 7.2.

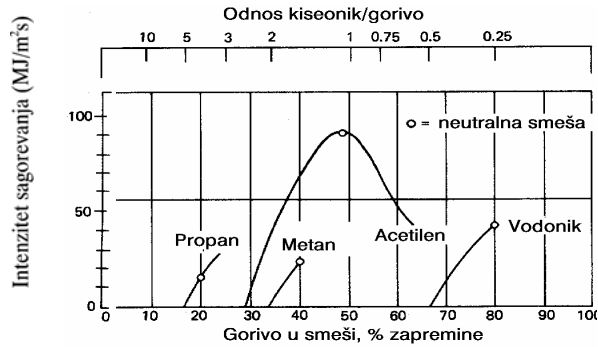
Analogno se definiše **intenzitet sekundarnog sagorevanja**, kao proizvod sekundarne količine toplote i brzine sagorevanja. Intenzitet sekundarnog sagorevanja utiče na temperaturski gradijent u okolini spoja, tako što smanjuje brzinu hlađenja. Kao i u slučaju primarnog sagorevanja, najveći intenzitet sekundarnog sagorevanja ima acetilen, sl. 7.3. Intenzitet ukupnog sagorevanja je dat na sl. 7.4.



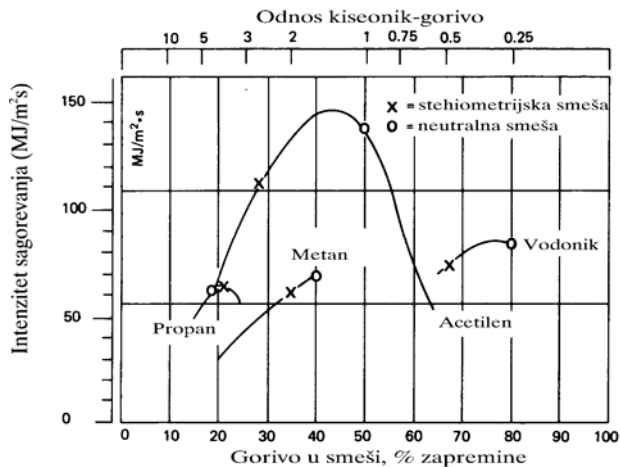
Slika 7.1. Brzina sagorevanja nekih gorivih gasova



Slika 7.2. Intenzitet primarnog sagorevanja nekih gorivih gasova



Slika 7.3. Intenzitet sekundarnog sagorevanja nekih gorivih gasova



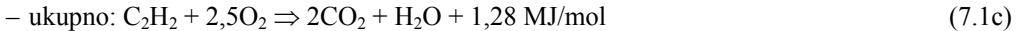
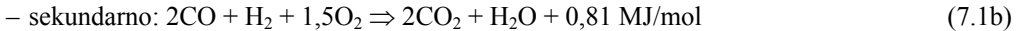
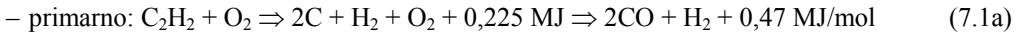
Slika 7.4. Intenzitet ukupnog sagorevanja nekih gorivih gasova

Gustina gasa ukazuje na njegovo ponašanje u slučaju procurivanja. Gasovi sa gustinom manjom od vazduha odlaze uvis i nestaju, dok gasovi veće gustine od vazduha padaju na dno i sakupljaju se na mirnim mestima. U prvu grupu spadaju acetilen, metan i vodonik, a u drugu butan, propan i MAPP, tab. 7.1.

Osim najviše t_{max} i najvećeg intenziteta sagorevanja, acetilenski plamen je povoljan i zbog male potrošnje kiseonika (najmanja posle vodonika, tab. 7.1), jednostavne regulacije i stabilnog sagorevanja, pa je praktično nezamenljiv kada je zavarivanje u pitanju. Ostali gorivi gasovi se koriste za rezanje, tvrdo i meko lemljenje, površinsko kaljenje i metalizaciju, gde dolaze do izražaja neke specifične prednosti. Tako npr. MAPP i propilen, osim relativno visoke t_{max} , imaju veliku Q_{sek} , pa su pogodni i za zagrevanje velikih komada. Metan, butan i propan mogu u nekim slučajevima da budu ekonomična zamena jer su znatno jeftiniji, a primena vodonika je sve veće u novije vreme zbog mogućnosti dobijanja oba gasa potrebna za sagorevanja (vodonik i kiseonik) elektrolizom iz vode. Ova varijanta nije tehnički nova, ali je cena uređaja i elektrolize tek poslednjih godina postala konkurentna, posebno kada se imaju u vidu neke njene prednosti, kao što proizvodnja onoliko gasa koliko je potrebno (nema skladištenja) i sagorevanje vodonika bez CO i drugih štetnih produkata. Najveća primena ove varijante zasad je rezanje čelika, uključujući velike debljine, jer se dobijaju vrlo kvalitetne rezne površine.

7.2. PLAMEN ACETILEN–KISEONIK

Sagorevanje acetilena se odvija prema jednačinama:



Imajući u vidu jednačine sagorevanja, može da se zaključiti da je udeo acetilena u stehiometrijskoj smeši 0,28 (ukupno sagorevanje, odnos $C_2H_2:O_2 = 1:2,5$), a u neutralnoj smeši 0,5 (primarno sagorevanje, odnos $C_2H_2:O_2 = 1:1$).

Sekundarno sagorevanje može da se razdvoji na sagorevanje ugljen-monoksida, sa 0,57 MJ/mol oslobođene toplote, i sagorevanje vodonika, sa 0,24 MJ/mol oslobođene toplote. Ukupna količina toplote (1,28 MJ/mol) može da se izrazi u odnosu na jedinicu zapremine (jedinčna zapremina se određuje na osnovu podataka iz tab. 7.1, prema izrazu $v = M \cdot \nu = 26 \cdot 0,91 \cdot 10^{-3} = 0,0237 \text{ m}^3/\text{mol}$), što daje količinu toplote $Q_{vol} = 54,1 \text{ MJ/m}^3$, što se neznatno razlikuje od podatka u tab. 7.1. Ukupna toplotna moć acetilenskog plamena može sada da se odredi ako se u izraz (2.2) uvrsti podatak o količini toplote Q_{vol} (npr. $54,1 \text{ MJ/m}^3$), a V izrazi u (l/h):

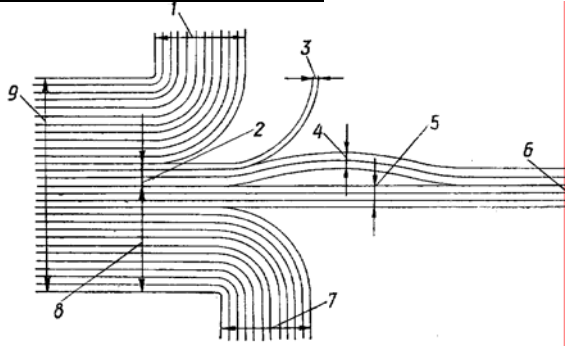
$$P_u \approx 15 \cdot V \text{ (W)} \quad (7.2)$$

Efektivna toplotna moć (snaga) plamena je manja od ukupne zbog značajnih gubitaka toplote, prvenstveno na zagrevanje okoline i osnovnog metala, kao što se vidi iz tab. 7.2, gde dati podaci za koeficijent iskorišćenja toplote u zavisnosti od veličine plamenika. Raspodela toplote pri zavarivanju plamenikom br. 8 je data na sl. 7.5.

Tabela 7.2. Koeficijent iskorišćenja toplote

plamenik broj	1	2	3	4	5	6	7	8
η	0,72	0,68	0,51	0,44	0,36	0,29	0,25	0,22

- 1 – gubici u okolinu (33%)
- 2 – zagrevanje dodatnog metala (12%)
- 3 – gubici usled razbrizgavanja (2%)
- 4 – topljenje dodatnog metala (10%)
- 5 – topljenje osnovnog metala (12%)
- 6 – topljenje osnovnog i dodat. metala (22%)
- 7 – gubici u osnovni metal (43%)
- 8 – zagrevanje osnovnog metala (55%)
- 9 – ukupna toplotna moć (100%)



Slika 7.5. Raspodela toplote pri zavarivanju plamenikom br. 8

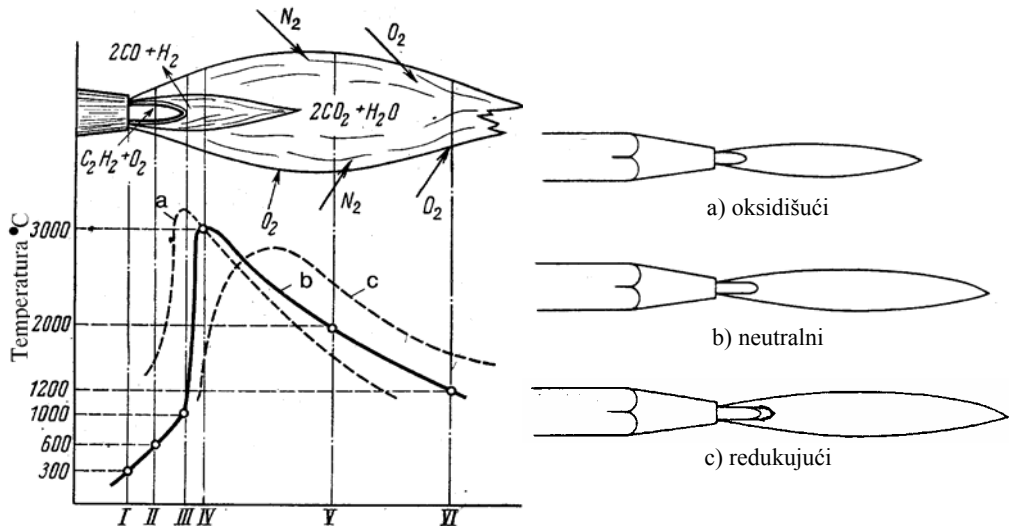
Kako se za primarno sagorevanje acetilena koristi kiseonik iz boce, a za sekundarno sagorevanje kiseonik iz okolnog vazduha, jasno je iz jednačina sagorevanja da se za potpuno sagorevanje acetilena troši 40% kiseonika iz boce i 60% kiseonika iz vazduha. Zavisno od odnosa acetilena i kiseonika, razlikuju se **redukujući** (manjak kiseonika), **neutralni** (potpuno sagorevanje) i **oksidisući plamen** (višak kiseonika). Iako je teorijski smeša kiseonika i acetilena kod neutralnog plamena 1:1, u praksi se pod neutralnim plamenom podrazumeva smeša $O_2:C_2H_2 = (1,1-1,2):1$. Višak kiseonika se troši na sagorevanje okolnih gasova. Kod neutralnog plamena uočljive su tri različite zone, sl. 7.6:

Jezgro oblika konusa ili cilindra (zavisno od načina isticanja gasova), u kojem se odvija deo primarnog sagorevanja. Pri tome sagoreva manji deo smeše gasova, dok se veći

deo razlaže na ugljenik i vodonik. Oslobođena količina toplote zagreva slobodni ugljenik stvarajući svetli omotač jezgra, šta daje utisak jarko bele boje.

Srednja zona, oblika klina, gde se odvija ostatak primarnog sagorevanja, a počinje i sekundarno sagorevanje, odnosno oksidacija $2CO$ i H_2 kiseonikom iz vazduha. U ovoj zoni se postiže najviša temperatura plamena (do $3100^\circ C$, sl. 7.6a), na 4–6 mm od vrha jezgra, pa se ona koristi za zavarivanje. Stoga se srednja zona zove i zona zavarivanja.

Omotač plamena, u kojem se odvija sekundarno sagorevanje na račun kiseonika iz vazduha. Temperatura u zoni sekundarnog sagorevanja je znatno niža od maksimalne, sl. 7.6. Boja u ovoj zoni prelazi od plavo-ljubičaste boje u sredini do žuto-narandžaste na krajevima.



Slika 7.6. Šematski izgled plamena (a – oksidišući, b – neutralni, c – redukujući)

U odnosu na neutralni plamen, specifičnosti oksidišućeg plamena su manje jezgro koničnog oblika i manji omotač, sl. 7.6a. Kod redukujućeg plamena jezgro i omotač su veći, a oko jezgra postoji zona oblika pera, sl. 7.6c, koja je bele boje slično jezgru, pa ih je ponekad teško razlikovati. Količnik dužine ove zone i jezgra odgovara količniku sadržaja acetilena i kiseonika. Smanjenjem sadržaja acetilena ili povećanjem sadržaja kiseonika u plamenu, ova zona se gubi, što se koristi pri vizuelnom podešavanju plamena.

Gasovi koji se javljaju u omotaču plamena i zoni redukcije sprečavaju kiseonik i azot iz vazduha da dopru do rastopljenog metala, što obezbeđuje njegovu dobru zaštitu. Osim toga u okviru primarnog sagorevanja ugljenik nepotpuno sagoreva u ugljen-monoksid, a vodonik ostaje slobodan. Nepotpuno sagoreli ugljen-monoksid ima veliki afinitet prema kiseoniku, pa mu ne dozvoljava pristup u rastop, a ako se stvore oksidi, ugljen-monoksid ih redukuje. Stoga je veoma važno održavanje propisanog rastojanja između jezgra i površine radnog komada (3–5 mm), jer inače nastaju sledeće greške:

- ako je jezgro suviše blizu rastopljenog metala dobija se oksidirani tvrdi sloj;
- ako je jezgro suviše udaljeno, provarivanje je otežano, a pojava gasnih mehurova česta.

Neutralan plamen se koristi za zavarivanje čelika, bakra, nikla i njegovih legura, bronzе i olova. Redukujući plamen se primenjuje kada se traži porast ugljenika u zavaru kao npr. kod zavarivanja sivog liva, kao i za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura, legura magnezijuma i navarivanja tvrdim legurama. Oksidišući plamen se izbegava, jer reakcija kiseonika ima veoma štetno delovanje na svojstva legura, sem kod zavarivanja mesinga gde se višak kiseonika koristi da bi se sprečilo isparavanje cinka. Temperatura plamena sa viškom kiseonika je viša od ostalih vrsta plamena zbog reakcije sagorevanja metala ili prisutnih elemenata, pa se

oksidisući plamen ponekad koristi da bi se povećala produktivnost zavarivanja čelika, zbog čega u metalu šava po pravilu nastaju greške tipa oksida.

Prema brzini isticanja razlikuju se meki plamen (50–80 m/s) i tvrdi plamen (120–180 m/s), što zavisi od pritiska i protoka gasova. Meki plamen je nestabilan i osjetljiv na pojavu povratnog plamena, a koristi se za zavarivanje visokolegiranih čelika, lakotopljivih metala (Pb, Zn) i za lemljenje. Tvrdi plamen je teško kontrolisati, a česta je pojava izduvavanja rastopljenog metala iz metalne kupke. Stoga se u praksi najčešće koristi srednji plamen sa brzinama isticanja 80–120 m/s.

7.2.1. Kiseonik

Kiseonik omogućava sagorevanje gorivih gasova, a nalazi se u vazduhu (21% zapreminskog udela). Na 15°C i atmosferskom pritisku gustina kiseonika iznosi 1,43 kg/m³, molarna masa 32 g/mol, a u tečno stanje prelazi na –183°C. U gasovitom stanju kiseonik nema boju i miris, nije zapaljiv i eksplozivan. Međutim, pošto u njegovom prisustvu neke materije postaju zapaljive, rukovanje kiseonikom mora da bude oprezno.

Kiseonik se najčešće proizvodi frakcionom destilacijom tečnog vazduha. Tehnički kiseonik je čistoće 99,2 do 99,8%, a nečistoće su azot, argon i voda. Čistoća kiseonika je vrlo bitna za njegovo korišćenje. Kiseonik se transportuje i čuva u čeličnim bocama pod pritiskom 150–200 bar.

7.2.2. Acetilen

Acetilen je gorivi gas bez boje, karakterističnog mirisa, neotrovan i rastvorljiv u vodi u odnosu 1:1 i u acetonu u odnosu 1:25, na sobnoj temperaturi i atmosferskom pritisku. Rastvorljivost acetilena u acetonu raste sa porastom pritiska, a opada sa porastom temperature. Acetilen je vrlo eksplozivan u prisustvu kiseonika ili vazduha. Acetilen se transportuje i čuva u čeličnim bocama pod pritiskom 15 bar, a u slučaju velike potrošnje racionalnije je koristiti razvijачe acetilena. Za dobijanje acetilena se koriste još i postupci pirolize ugljovodonika i delimičnog sagorevanja metana u kiseoniku.

7.3. APARATURA ZA ZAVARIVANJE

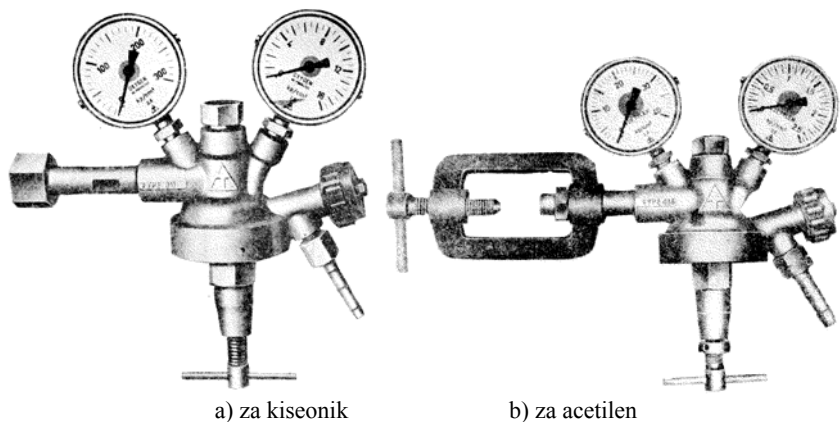
Aparaturu za gasno zavarivanje čine boce za kiseonik i acetilen, redukcioni ventili, dovodna creva, gorionik sa promenljivom mlaznicom i pomoćni alat. Boce za tehničke gasove spadaju u posude pod pritiskom i podležu odgovarajućem JUS. Ove boce se izrađuju dubokim izvlačenjem od konstrukcionog ugljeničnog ili niskolegiranih čelika. Boce za kiseonik su zapremine 40 l, u koje je moguće uskladištiti 6 Nm³ na pritisku od 150 bara i temperaturi 20°C. Ako se pretpostavi da se kiseonik u ovim uslovima ponaša kao idealni gas, moguće je na osnovu pritiska u boci izračunati količinu preostalog gasa u boci (npr. ako je pritisak u boci 120 bara, količina preostalog kiseonika je $120 \times 40 = 4800$ l). Kiseonička boca je obojena plavo ili ima plavu traku na 2/3 visine.

Boca za acetilen je obojena belo, ili ima belu traku na 2/3 visine. Acetilen u boci se rastvara u acetonu, jer je sam acetilen kao nezasićeni ugljovodonik vrlo eksplozivan na povišenom pritisku. Osim toga, boca se prethodno puni poroznom masom (najčešće drveni ćumur ili mešavina uglja i infuzorijske zemlje) u koju se uliva aceton, a zatim rastvara acetilen. Tako dobijena smeša može da se podvrgne pritisku od 15 bara, što znači da na sobnoj temperaturi i normalnom atmosferskom pritisku u bocu može da se smesti 4800 l acetilena ($15 \times 40 \times 0,35$, gde je pritisak 15 bar, zapremina boce 40 l, 0,35 koeficijent popunjenosti boce acetonom, a 23 rastvorljivost acetilena u acetonu).

Kako je radni pritisak znatno niži od pritiska u boci, boca je neophodno snabdeti redukcionim ventilima za kiseonik i za acetilen, sl. 7.7. Oba redukciona ventila imaju po dva manometra, jedan za pritisak u boci, drugi za radni pritisak. Princip rada redukcionih ventila je

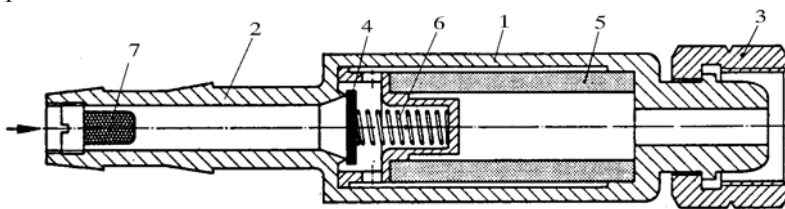
isti, a jedina konstruktivna razlika je u načinu vezivanja za bocu – kod kiseonika vezivanje je preko navrtke, a kod acetilena preko uzengije – što isključuje mogućnost pogrešnog vezivanja. Osim toga, razlika je i u opsegu merenja – kod kiseonika manometri su do 300 bara (pritisak u boci), odnosno 16 bara (radni pritisak), a kod acetilena do 40 bara (pritisak u boci), tj. 2,5 bara (radni pritisak).

Posebnu pažnju treba obratiti na rukovanje redukcionim ventilom za kiseonik. Kako dodir kiseonika sa mašću, uljem ili nekom sličnom materijom može da izazove eksplozivno paljenje, zabranjeno je rukovanje redukcionim ventilom za kiseonik masnim ili prljavim rukavicama. Osim toga za ovaj ventil je karakteristična pojava zaleđivanja usled razlike pritiska na ulasku i izlasku i odgovarajućeg pada temperature. Da bi se ovo sprečilo treba koristiti što čistiji kiseonik, ugraditi grejač pre ventila ili koristiti ventil sa dvostepenom redukcijom pritiska.



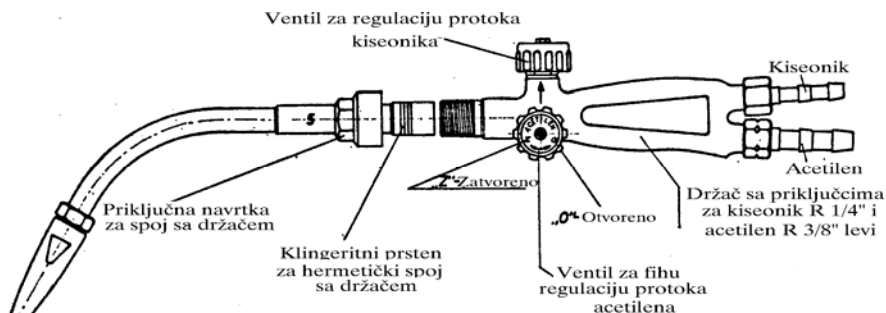
Slika 7.7. Redukcioni ventili

Osim redukcioni ventila koriste se i tzv. suvi ventili, koji se postavljaju između redukcioni ventila i gorionika, sl. 7.8. Princip rada suvog ventila je sledeći: kroz gumeno crevo dotiče gas u cevni nastavak (2) ventila i otvara nepovratni ventil (4), protiče kroz ventil u unutrašnjost poroznog uložka (5), zatim kroz njegov porozni zid u sredinu uložka, a otuda u nastavak (3) i u gorionik. U slučaju eksplozije povratni udar plamena stiže do komore između zida cevi ventila (1) i uložka (5) i tu se gasi, jer se pri prolasku kroz porozni uložak ohladi ispod temperature paljenja mešavine gasova. Povećani pritisak od eksplozije gotovo trenutno zatvara nepovratni ventil.



Slika 7.8. Šematski prikaz suvog ventila

Gorionici za zavarivanje omogućavaju ostvarivanje potrebne smeše kiseonika i acetilena (ili drugog gorivog gasa), pri čemu se zahteva stabilan plamen određenog oblika i toplotne moći. Osnovni delovi gorionika prikazani su na sl. 7.9. Koristi se više tipova gorionika koji se dele prema pritisku napajanja (gorionik niskog i visokog pritiska) i prema regulaciji protoka (gorionik stalnog i višestrukog protoka).



Slika 7.9. Gorionik – šematski prikaz

7.4. DODATNI MATERIJALI I TOPITELJI

Dodatni materijali se isporučuju u obliku žica i šipki. U slučaju zavarivanja niskougličnih i niskolegiranih čelika dodatni materijal je u obliku šipki dužine 1000 mm ili koturova žice mase 40 kg, standardnih prečnika: 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6,3 mm (JUS C.H3. 051/81). Oznaka dodatnog materijala se sastoji iz dva dela: opšteg (slovo P) i dopunskog (slovo O, Z, Y ili cifre od 1 do 6) sa značenjem datim u tab. 7.3. Žice su prevučene tankim slojem bakra radi zaštite od korozije. Najčešće korišćene žice za zavarivanje čelika, njihove oznake, sastav, mehanička svojstva i primena su prikazane u tab. 7.4.

Tabela 7.3. Označavanje žica za gasno zavarivanje čelika

simbol	Z	Y	1	2	3	4	5	6
R_m [MPa]	<340	340	400	430	470	510	550	590
$A_{5,65}$ [%]	<14	–	14	18	22	26	30	–
KV [J]	30	–	30	60	90	120	150	–

Tabela 7.4. Žice za gasno zavarivanje čelika

oznaka JUS	oznaka PIVA	R_m [MPa]	$A_{5,65}$ [%]	KV [J]	hemijski sastav (%)					primena
					C	Si	Mn	Ni	Mo	
P–Y11	37G	340–410	15–21	47–70	0,09	0,1	0,55			ugljenični čelik sa $R_m < 450$ MPa
P–212	42G	410–470	16–22	65–80	0,1– 0,15	0,2– 0,3	0,8– 0,9	0,6– 0,8	0,2– 0,25	parni kotlovi, posude pod pritiskom, cevovodi i brodski limovi

Za zavarivanje Al i njegovih legura se koriste iste žice i šipke kao za TIG postupak (JUS C.H3.061, tab. 5.12). Za zavarivanje bakra i legura koriste se žice i šipke prema JUS C. H3.071 (S.CuSn1 i S.CuAg1), a za zavarivanje bronzi šipke prema JUS C.H3.072 (S.CuSn10Zn4 i S.CuSn4Zn7) i JUS C.H3.073 (S.CuSn4–12).

Topitelji, oblika praha ili pasta, se primenjuju pri zavarivanju livenog gvožđa, obojenih metala i legura, nerđajućeg čelika i drugih legura. Osnovni razlog primene topitelja su teškotopljivi oksidi koji se obrazuju pri zavarivanju navedenih materijala i svojim prisustvom sprečavaju uspešno zavarivanje. Nanošenjem topitelja na dodatni ili osnovni materijal postiže se dvojni efekt – sprečava se donekle oksidacija tečnog metala, s jedne strane, i snižava temperatura topljenja oksida, s druge strane, čime se obezbeđuje njihovo uklanjanje u obliku troske.

Topitelji se dele prema hemijskom sastavu na kisele i bazične. Najčešće se koriste kiselu topitelji na bazi bora, kao što su borna kiselina, H_3BO_3 , (prvenstveno za bakar i njegove legure), ili boraks (natrijumtetraborat – $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), koji lako razgrađuje okside mnogih metala (npr. Cu, Zn, Mn), i bazni topitelji, kao što su natrijum karbonat, Na_2CO_3 , i potaša,

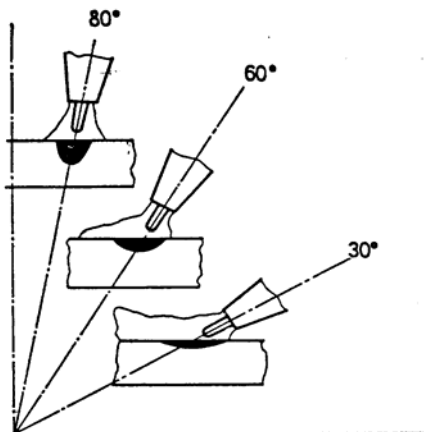
K_2CO_3 , (prvenstveno za sivi liv). Delovanjem Na_2CO_3 na teškotopljivi oksid SiO_2 stvara se tečno hemijsko jedinjenje $Na_2O \cdot SiO_2$ koje prelazi u trosku i gas, CO_2 , koji odlazi u okolinu.

7.5. TEHNOLOGIJA GASNOG ZAVARIVANJA

Propisivanje tehnologije gasnog zavarivanja uključuje izbor i nagib gorionika, izbor žice za zavarivanje, kao i izbor tehnike i parametara zavarivanja (veličina mlaznice, prečnik žice, brzina zavarivanja, potrošnja acetilena, kiseonika i žice za zavarivanje).

Veličina i jačina gorionika se bira na osnovu vrste i debljine osnovnog materijala. Jačina gorionika meri se protokom acetilena (l/h). Položaj gorionika značajno utiče na stepen iskorišćenja toplote plamena, kao i na zaštitu rastopa. Iskorišćenje toplote je najveće kod držanja gorionika upravno u odnosu na mesto zavarivanja, sl. 7.10. Ovakav položaj gorionika daje dublje uvarivanje i uži zavar, što je kod debljih materijala povoljnije, kao i bolju zaštitu rastopa. Odstupanje položaja gorionika od upravnog daje znatno pliće uvarivanje i širi zavar, što je povoljnije kod zavarivanja tankih materijala. Kod gasnog zavarivanja najčešće se koriste nagibi gorionika $60\text{--}80^\circ$, sem kod vrlo tankih limova, gde se koriste manji nagibi, $45\text{--}60^\circ$, sl. 7.10.

Vrsta i prečnik žice se bira u zavisnosti od osnovnog materijala i njegove debljine. Pri tome treba imati u vidu zahtev da se žica topi optimalnom brzinom, ni prebrzo ni presporo u odnosu na topljenje osnovnog materijala. Kod zavarivanja bakra, aluminijuma i njihovih legura, žica se brže topi nego kod zavarivanja čelika, pa se biraju gorionici veće jačine. Iz ovog proizlazi da prečnik žice u odnosu na debljinu osnovnog materijala treba da bude veći nego kod zavarivanja čelika.



Slika 7.10. Uticaj nagiba gorionika na oblik zavara

7.5.1. Tehnike zavarivanja unapred i unazad

U zavisnosti od kretanja gorionika i žice postoje dve **tehnike gasnog zavarivanja: unapred i unazad** (u smislu međusobnog položaja žice i gorionika), sl. 7.11. Ove dve tehnike se zovu još i ulevo i udesno, što je odgovarajući naziv samo ako se gorionik drži u desnoj ruci. Tehnika zavarivanja unapred se sastoji u sledećem, sl. 7.11a:

Plamen je usmeren prema ivicama osnovnog metala (žleba).

Žica se drži ispred plamena, njen vrh je blizu mesta zavarivanja, povremeno se uranja u metalnu kupku i treba da bude u zaštiti plamena.

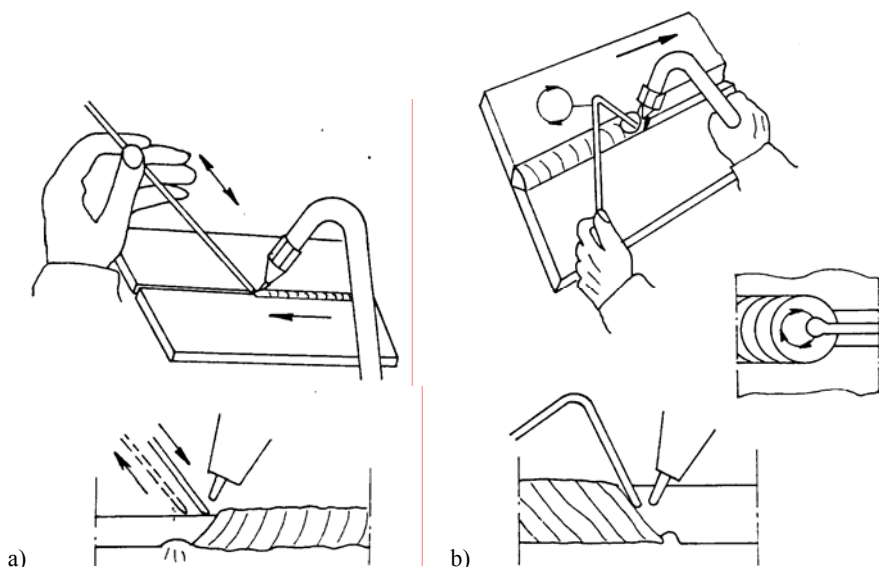
Način vođenja i nagibi žice i gorionika zavise od položaja zavarivanja i debljine osnovnog metala. U slučaju sučeonog „I“ spoja na tankom limu (do 3 mm), žica se vodi bez popreč-

nih oscilacija, a gorionik od jednog do drugog kraja žleba, poprečnim („cik–cak“) ili kružnim kretanjem, dok su im nagibi oko 45° .

Tehnika zavarivanja unazad se sastoji u sledećem, sl. 7.11b:

Plamen je usmeren prema metalnoj kupki i ravnomerno zagreva i topi osnovni i dodatni materijal. Žica se drži iza plamena, i nalazi se između osnovnog materijala i gorionika. Vrh žice je neprestano uronjen u rastop, pomera se u krug, i stalno meša rastop.

Način vođenja i nagibi žice i gorionika takođe zavise od položaja zavarivanja i debljine osnovnog metala. U slučaju sučeonog V spoja na limu debljine preko 3 mm, žica je nagnuta pod 45° i pomera se ukrug od ivice do ivice žleba, a gorionik je nagnut $45\text{--}70^\circ$, zavisno od debljine, i kreće se pravolinijski.



Slika 7.11. Tehnika zavarivanja a) unapred i b) unazad

Zavarivanje unapred je jednostavnije za rad, regulacija metalne kupke je lakša i dobijaju se lepi i glatki zavari, dok je kod zavarivanja unazad bolje iskorišćenje toplote i bolja zaštita metalne kupke. Zavarivanje unapred je sporije, a utrošak acetilena sa povećanjem debljine znatno brže raste nego kod zavarivanja unazad. Ako se materijali veće debljine zavaruju tehnikom unapred teško se postiže jednoličan koren zavara (obično se javljaju prokapljine), a takođe je povećana mogućnost pojave uključaka oksida. Stoga je primena tehnike zavarivanja unapred ograničena na debljine do 5 mm, a za veće debljine se koristi tehnika zavarivanja unazad, jer njene prednosti tada dolaze do izražaja. S druge strane ako se ima u vidu činjenica da se gasni postupak praktično ne koristi za komade veće debljine, jasno je da se tehnika zavarivanja unazad primenjuje veoma retko, npr. u nekim varijantama zavarivanja cevi.

Definicije:

Gasno zavarivanje – postupak spajanja metala topljenjem i očvršćavanjem osnovnog i (po potrebi) dodatnog metala pomoću plamena dobijenog sagorevanjem gorivog gasa

Primarno sagorevanje – hemijska reakcija gorivog gasa u struji kiseonika iz boce

Sekundarno sagorevanje – hemijska reakcija gorivog gasa u struji kiseonika iz vazduha

Brzina sagorevanja (brzina širenja plamena) – brzina kojom se front plamena kreće upravno na njegovu površinu kroz okolni nesagoreli gas

Intenzitet primarnog sagorevanja – proizvod toplote dobijene primarnim sagorevanjem i brzine sagorevanja

Intenzitet sekundarnog sagorevanja – proizvod toplote dobijene sekundarnim sagorevanjem i brzine sagorevanja

Stehiometrijska smeša – Odnos zapremina kiseonika i gorivog gasa, teorijski potreban za kompletno sagorevanje

Neutralni plamen – plamen koji obezbeđuje potpuno sagorevanje

Redukujući plamen – plamen sa manjkom kiseonika u odnosu na neutralni plamen

Oksidišući plamen – plamen sa viškom kiseonika u odnosu na neutralni plamen

Jezgro plamena – deo plamena, oblika konusa ili cilindra u kojem se odvija deo primarnog sagorevanja

Srednja zona plamena – deo plamena, oblika tamnog klina, gde se odvija ostatak primarnog sagorevanja, a počinje i sekundarno sagorevanje

Omotač plamena – deo plamena u kojem se odvija sekundarno sagorevanje

Topitelji – materije čijim se nanošenjem na dodatni ili osnovni materijal sprečava oksidacija tečnog metala i snižava temperatura topljenja oksida

Tehnika gasnog zavarivanja unapred – tehnika zavarivanja kod koje je plamen usmeren prema ivicama osnovnog metala

Tehnika gasnog zavarivanja unazad – tehnika zavarivanja kod koje je plamen usmeren prema metalu šava