

9. POSTUPCI SRODNI ZAVARIVANJU

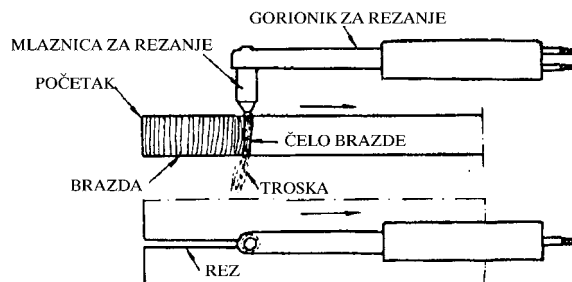
U najvažnije postupke srodne zavarivanju spadaju termičko rezanje, navarivanje, metalizacija, tvrdo i meko lemljenje i lepljenje. Postoji više postupaka termičkog rezanja, a najčešće se koriste rezanje gasom, električnim lukom, plazmom i laserom, koji su u osnovi slični odgovarajućim postupcima zavarivanja. Navarivanje i metalizacija spadaju u procese nanošenja površinskog sloja, po pravilu u cilju povećanja otpornosti na habanje ili radi popravke oštećenih mesta na površini. Tvrdo i meko lemljenje imaju istu svrhu kao zavarivanje, ali je mehanizam nastanka spoja bitno različit, kako u odnosu na zavarivanje, tako i međusobno, što važi i u slučaju lepljenja.

9.1. GASNO REZANJE

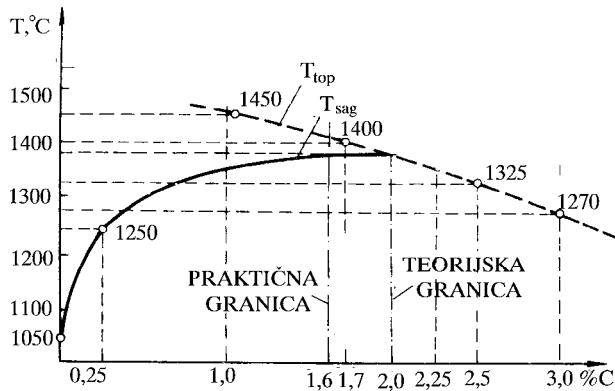
Gasno rezanje je postupak razdvajanja metala njegovim sagorevanjem u struji kiseonika, uz istovremeno oduvavanje produkata sagorevanja (troske), sl. 9.1. Da bi metal sagorevao treba ga predgrejati do temperature paljenja (početka sagorevanja). Gasno rezanje metala spada u termičke postupke, pri čemu se radna temperatura postiže sagorevanjem gorivog gasa, po pravilu acetilena. Osim toga, sagorevanjem gorivog gasa dobija se deo toplote kojom se radna temperatura održava, a značajan deo toplote se dobija sagorevanjem metala koji se reže, što je bitna prednost ovog postupka. S obzirom na to da se gasno rezanje zasniva na sagorevanju metala, postoje određeni uslovi koji moraju da budu ispunjeni da bi proces rezanja mogao da se odvija:

- Temperatura sagorevanja metala treba da bude niža od temperature topljenja.
- Temperatura topljenja oksida treba da bude niža od temperature topljenja metala.
- Toplota sagorevanja metala treba da bude dovoljna da, zajedno sa toplotom plamena, održava temperaturu sagorevanja.

Od konstrukcionih materijala ove uslove najbolje ispunjava niskouglični čelik. Temperatura sagorevanja ugljeničnih čelika zavisi od njegovog sastava, i približava se temperaturi topljenja sa porastom sadržaja ugljenika, sl. 9.2.



Slika 9.1. Šematski prikaz gasnog rezanja



Slika 9.2. Promena temperature sagorevanja i temperature topljenja čelika

Sagorevanje čelika može da se predstavi sledećim hemijskim jednačinama:



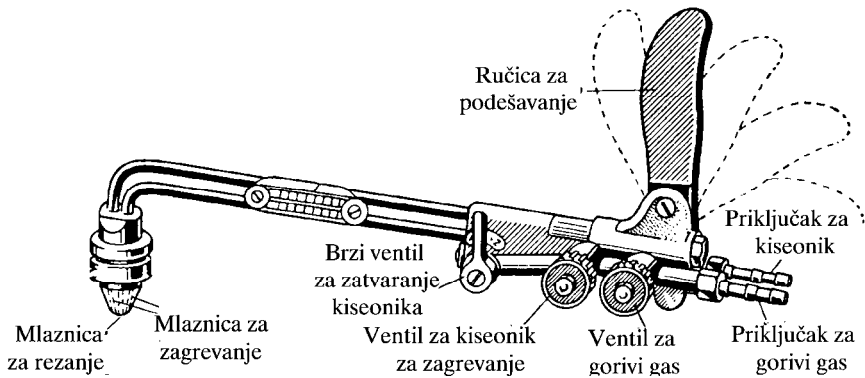
Oslobodena toplota čini približno 2/3 toplote potrebne za sagorevanje čelika, a 1/3 se dobija sagorevanjem gorivog gasa. Treba takođe uočiti da FeO i Fe₂O₃ dalje reaguju, pri čemu je konačni produkt sagorevanja Fe₃O₄, koji se u vidu troske izduvava sa mesta rezanja, sl. 9.1.

9.1.1. Uređaj za gasno rezanje

Uređaj za ručno gasno rezanje je praktično isti kao uređaj za zavarivanje, s tim da je gorionik drugačiji, pa će samo on biti detaljnije opisan. Od ključnog značaja za uspešno rezanje su mlaznice, koje mogu da budu veoma raznovrsne i prilagođene specifičnim zahtevima (mlaznice za različite gorive gasove, za različite debljine, za brzo i sporo rezanje, za posebne uslove). U praksi su često u upotrebi mehanizovano i automatsko rezanje, što zahteva ugradnju dodatnih elemenata uređaja.

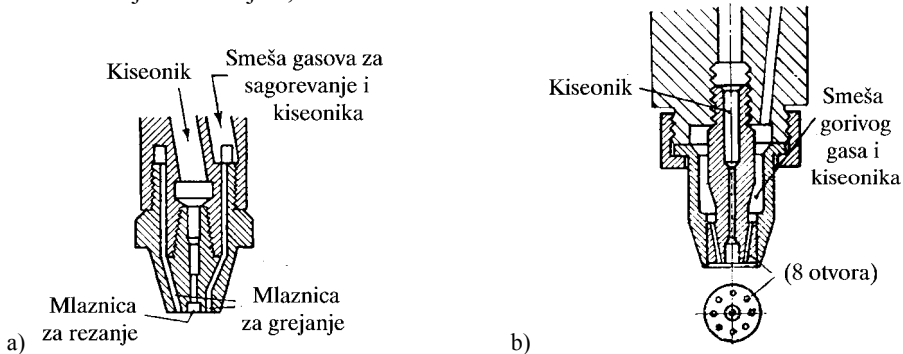
S obzirom na količinu toplote koja se koristi u procesu rezanja (2/3 od sagorevanja metala, a 1/3 od gorivog gasa) može da se smatra da je osnovna uloga gorivog gasa da zapali metal i otpočne proces sagorevanja, koji se zatim odvija u nezavisnoj struji kiseonika. Shodno tome, konstrukcija gorionika za rezanje je komplikovanija od gorionika za zavarivanje, sl. 9.3, mada su neki delovi isti, kao npr. držač (rukohvat). Osnovna razlika je u cevima koje treba da obezbede dovod smeše gorivog gasa i kiseonika i nezavisni dovod kiseonika za sagorevanje, kao i u mlaznici čija konstrukcija treba da obezbedi isticanje gasova na isti način. Stoga se gorionik za rezanje sastoji od cevi za dovod smeše gasova, sl. 9.3, cevi sa propusnim ventilom za dovod kiseonika i mlaznice sa centralnim otvorom za kiseonik i perifernim otvorima (ili prstenastim otvorom) za smešu.

Gorionik za ručno rezanje ima samo dva ulazna otvora (kiseonik i aceten), što znači da se isti kiseonik koristi za sagorevanje acetilena i metala koji se reže. Iako je ručni gorionik snabdeven sa tri nezavisna ventila, puštanje mlaza za rezanje ipak izaziva poremećaj acetilenskog plamena, pa se njegova krajnja regulacija obavlja posle puštanja mlaza kiseonika. Ovaj nedostatak je otklonjen kod gorionika za mašinsko rezanje, kod koga postoje dva nezavisna dovoda za kiseonik.

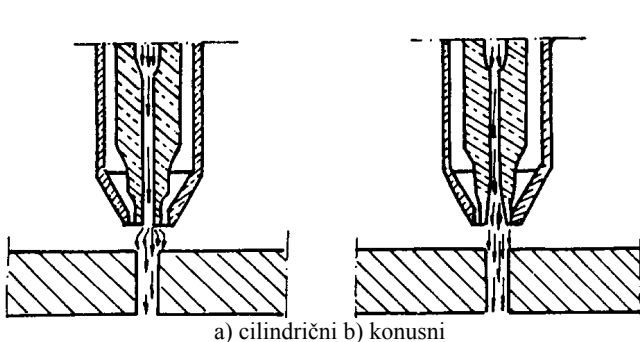


Slika 9.3. Gorionik za gasno rezanje

Dve osnovne varijante mlaznice (prstenasti otvor ili više otvora za dovod smeše) su prikazane na sl. 9.4. Prstenasti otvor se koristi samo kada je potrebna velika količina toplote. Centralni otvor za dovod kiseonika je najčešće cilindričnog ili konusnog oblika, sl. 9.5. Otvor cilindričnog oblika je lakše napraviti i održavati, ali je strujanje kiseonika donekle nepravilno, sl. 9.5a. Otvor konusnog oblika daje ravnomerniju struju kiseonika, ali ni on ne daje dobre rezultate kod rezanja predmeta većih debljina. U tom slučaju može da se primeni aerodinamični oblik centralnog otvora, sl. 9.6, kojim se postižu veće brzine strujanja kiseonika i najefikasnije rezanje. Mana ovakve mlaznice je visoka cena zbog komplikovane izrade i velika buka. Standardne mlaznice sa cilindričnim centralnim otvorom se proizvode u različitim veličinama, zavisno od debljine materijala, tab. 9.1.



Slika 9.4. Mlaznice za rezanje (a) sa više otvora (b) sa jednim prstenastim otvorom



Slika 9.5. Mlaznice sa različitim otvorima

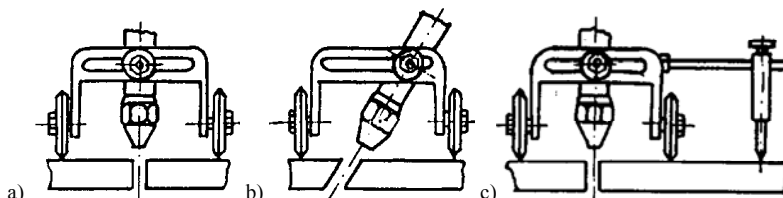


Slika 9.6. Aerodinamična mlaznica

Tabela 9.1. Standardne mlaznice za rezanje

spoljne (broj)	1	2	3	4
unutrašnje (broj)	1–2	3–4	5	6
debljina materijala (mm)	3–10 / 10–30	30–60 / 60–100	100–200	200–300

Kod ručnih gorionika postoji mogućnost primene dodatnih elemenata (alata) da bi se obezbedio stalni položaj, čime se postiže mehanizovano rezanje. Na sl. 9.7 su prikazane tri varijante dodatnog alata, čija je uloga pravolinijsko vođenje gorionika (varijante a i b, s tim da je u varijanti b ivica reza zakošena) ili vođenje gorionika po zadanoj konturi, varijanta c.



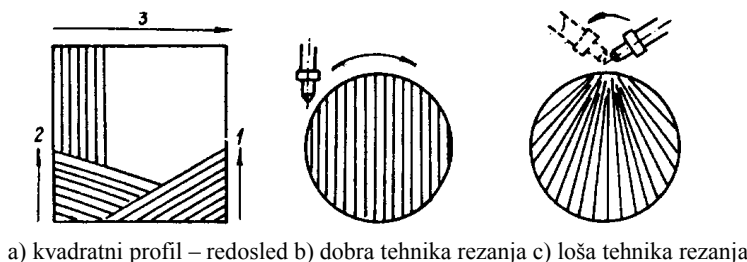
Slika 9.7. Dodatni alat („kolica“) gorionika za mehanizovano rezanje

9.1.2. Tehnologija gasnog rezanja

Gasno rezanje se izvodi u više faza:

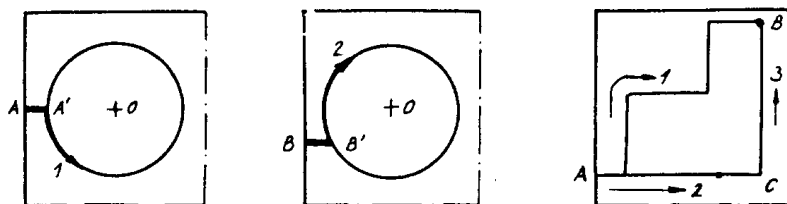
- metal se prvo predgreva acetilenskim plamenom, sve do postizanja temperature paljenja (početka sagorevanja), koja za čelike iznosi 1300–1350°C,
- na predgrejano mesto se usmerava mlaz kiseonika za sagorevanje zapaljenog metala, pri čemu se brzina i protok mlaza određuju prema debljini materijala,
- kada se na početnom mestu rezanja „savlada“ cela debljina, gorionik se pokreće brzinom koja omogućava stalni kontakt mlaza kiseonika i troske.

Pravilan proces rezanja se odvija konstantnom brzinom sa neprekidnim mlazom produkata sagorevanja (oksidi u obliku varnica). Pri tome acetilenski plamen i sagorevanje metala treba da obezbede dovoljno toplote da gornja ivica reza bude stalno na temperaturi paljenja. Kod rezanja limova proces je relativno jednostavan, ali se kod rezanja profila, cevi i drugih predmeta komplikovanijeg preseka primenjuju posebne tehnike da ne bi nastale deformacije i zaostali naponi. Na sl. 9.9a je prikazana tehnika (redosled) rezanja kvadratnog profila, na sl. 9.9b dobra, a na sl. 9.9c loša tehnika rezanja cevi. Osim toga, da bi se smanjile termičke deformacije pri rezanju, treba pravilno izabrati početak, završetak i redosled rezanja, sl. 9.10.



a) kvadratni profil – redosled b) dobra tehnika rezanja c) loša tehnika rezanja

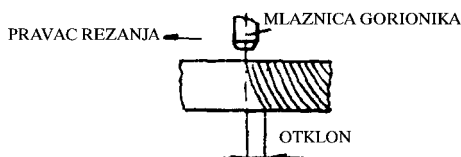
Slika 9.9. Primeri rezanja profila i cevi



a) početak rezanja (A-A'-1) b) završetak rezanja (B-B'-2) c) redosled rezanja (1-2-3)

Slika 9.10. Pravilan izbor početka, završetka i redosleda rezanja

Osnovni parametri gasnog rezanja su protok i pritisak kiseonika za sagorevanje i brzina rezanja. Navedeni parametri se biraju prema debljini materijala, mada postoji i njihova međuzavisnost. Protok kiseonika za sagorevanje se reguliše prečnikom (brojem) mlaznice, koji se bira na osnovu debljine materijala. Pritisak kiseonika za sagorevanje bitno utiče na stabilnost procesa rezanja, pa njegovom određivanju i održavanju tokom rezanja treba posvetiti posebnu pažnju. Brzina rezanja presudno utiče na pravilno isticanje kiseonika na donjoj ivici reza i održavanje stalne temperature rezanja. Osim od debljine, brzina rezanja zavisi i od veličine mlaznice i početne temperature rezanja. Brzina rezanja može da bude ograničena pojavom **otklona mlaza produkata sagorevanja** na površini reza, sl. 9.11, koji joj je proporcionalan. Otklon nema bitnijeg uticaja na kvalitet rezanja ako je njegova vrednost u granicama 5–15% debljine materijala, ali kod većih otklona brzina rezanja mora da se smanji.



Slika 9.11. Otklon mlaza produkata sagorevanja

9.1.3. Rezanje pojedinih materijala

Od konstrukcionih materijala uslove za gasno rezanje najbolje ispunjava čelik, i to niskouglenični i niskolegirani. Pri tome važi pravilo da je rezanje tim lakše što je u čeliku manje ugljenika, jer se porastom njegovog sadržaja smanjuje razlika između temperature sagorevanja i temperature topljenja, sl. 9.2. Gasno rezanje nema bitnijeg uticaja na svojstva niskougleničnog čelika, dok u slučaju čelika sa većim sadržajem ugljenika može da se uoči pojava zakaljenog sloja u okolini ivica reza (zona uticaja toplote). Dubina ove zone je data u tab. 9.2, u zavisnosti od debljine i vrste materijala.

Tabela 9.2. Dubina zone uticaja toplote kod gasno-plamenog rezanja čelika

čelik	dubina zone uticaja toplote (mm)				
	5	25	100	150	300
debljina lima (mm)					
niskouglenični	0,1–0,3	0,5–0,7	1,5–2,0	1,5–3,0	4,0–6,0
srednjouglenični	0,3–0,4	0,8–1,2	2,5–3,0	3,5–4,3	6,0–7,0
viskouglenični	0,4–0,5	1,2–1,5	3,0–3,5	4,3–5,0	7,0–8,0

Legirani čelici mogu da se gasno režu ali je po pravilu neophodno predgrevanje i naknadna termička obrada. Analiza uticaja legirajućih elemenata na mogućnost rezanja čelika je data u tab. 9.3, uz napomenu da se radi o pojedinačnim uticajima. Fosfor i sumpor u količinama koje su uobičajene u čeliku nemaju uticaja na rezanje.

Tabela 9.3. Granične vrednosti sadržaja legirajućih elemenata

legirajući element (%)	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Cu
bez problema	<2	<14	<1,5	<25, C<0,7	<10	<1	<3	<2
predgrevanje	<4, C<0,4*	<18, C<1,5	<5	<40, C<0,3	<20	>2*		
nemoguće	>4	>18	>5			>2,5		

* uz vrlo sporo rezanje

Pojedinačni uticaji legirajućih elemenata su bitni za analizu mogućnosti rezanja legiranih čelika, ali je od mnogo većeg praktičnog značaja njihov međusobni uticaj. Stoga se mogućnost rezanja čelika gasnim postupkom procenjuje na osnovu njegovog hemijskog sastava, korišćenjem izraza kojim se uticaj legirajućih elemenata svodi na ekvivalentni uticaj ugljenika (kao kod ocene zavarljivosti):

$$CE = C + 0,4 \cdot Cr + 0,3 \cdot (Si + Mo) + 0,2 \cdot V + 0,06 \cdot Mn + 0,04 \cdot (Ni + Cu) \quad (9.2)$$

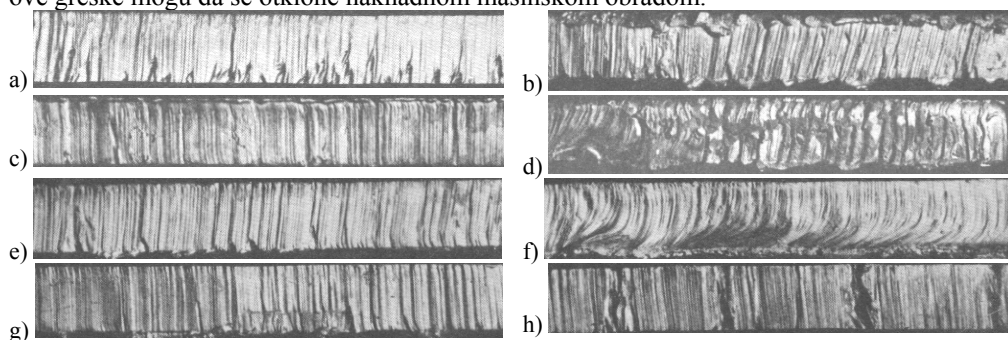
Uzimajući u obzir ovako određeni CE, kao i sadržaj ugljenika, čelici mogu da se klasifikuju kao što je dato u tab. 9.4.

Tabela 9.4. Klasifikacija čelika prema mogućnosti gasnog rezanja

Grupa	CE (%)	C (%)	Uslovi rezanja
I	do 0,6	do 0,3	Režu se vrlo dobro, termička obrada nepotrebna
II	0,6–0,8	do 0,5	Režu se zadovoljavajuće. Predgrevanje potrebno kod većih debljina i niskih okolnih temperatura
III	0,8–1,1	do 0,8	Režu se teško zbog zakaljivosti i sklonosti ka prslinama. Neophodno predgrevanje.
IV	preko 1,1	preko 0,8	Režu se vrlo teško. Neophodno predgrevanje i lagano hlađenje posle rezanja.

9.1.5. Greške pri gasnom rezanju

Usled pogrešno odabranih parametara ili nepridržavanja propisane tehnologije nastaju razne vrste grešaka pri gasnom rezanju. Najčešće greške su prikazane na sl. 9.16. Po pravilu, ove greške mogu da se otklone naknadnom mašinskom obradom.



Slika 9.16. Greške rezanja: a) nedovoljno predgrevanje i brzina rezanja b) predugačak plamen predgrevanja c) nedovoljan pritisak kiseonika d) previsok pritisak kiseonika i mali otvor mlaznice e) nedovoljna brzina rezanja f) prevelika brzina rezanja g) promenljiva brzina rezanja h) loše nastavljanje