



RAZVOJ ZAŠTITNIH PLINOVA ZA ZAVARIVANJE
DEVELOPMENT OF PROTECTION GASSES FOR WELDING

Zdravko SALOPEK¹

Ključne riječi: zavarivanje, zaštitni plinovi

Key words: welding, protection gasses

Sažetak: Zavarivanje metala javlja se još prije ca. 2000 godina (spajanje predmeta od zlata pritiskom/kovanjem). U srednjem vijeku željezni predmeti spajani su kovanjem (oružje, alati). Plinovi i plinske mješavine od vitalne su važnosti u zavarivanju. Tijekom razvoja novih aplikacija, osnovni plinovi su uglavnom istih ili sličnih karakteristika, no mješavine plinova i njihov odnos stalno se razvija i dopunjava.

U radu se navede neki od aspekata pri razvoju zaštitnih plinova primjenjivih pri zavarivanju.

Abstract: Metal welding was known 2000 years ago (joining of objects made of gold by pressing/forging). In the mediaeval age, iron objects were joined by forging (weapon, tools). Gasses and gas mixtures are of vital importance in welding. During the development of new applications basic gasses are mostly of the same or similar characteristics, but gas mixtures and their relation are constantly developed and supplemented.

This paper presents some of the aspects in development of protection gasses applicable in welding.

¹ Messer Croatia Plin d.o.o., Industrijska 1, HR-10290 Zaprešić, e-mail: zdravko.salopek@messer.hr



1. UVOD

Preduvjeti za primjenu i razvoj začetaka današnjih načina zavarivanja ostvareni su početkom i tijekom 19. stoljeća. Krajem 19. stoljeća počinje industrijska proizvodnja tehničkih plinova (ukapljivanje zraka, rektifikacija).

Razvoj TIG, kasnije i MIG-MAG postupaka počinje još oko 1940. godine kao postupak zavarivanja u neoksidirajućoj atmosferi plina. Naime, H.M. Hobart uvodi TIG i zaštitini plin helij, a P.K. Devers koristio je zaštitu argona.

To su bili počeci razvoja tehnologije koja se i do danas koristi, a MIG/ MAG zavarivanje danas je najzastupljenije od svih postupaka zavarivanja, zbog visoke učinkovitosti, niskih ukupnih troškova i troškova naknadne obrade te primjenjivosti u mehaniziranom i robotiziranom zavarivanju.

Industrija tehničkih i specijalnih plinova i plinskih mješavina nastoji slijediti zahtjeve tehnologija spajanja, zavarivanja i rezanja te iznaći ekonomična rješenja za aplikaciju kako zaštitnih plinova i plinskih mješavina za zavarivanje, tako i plinova i mješavina za različite tehnologije rezanja.

U konstrukcijama sve više se primjenjuju visoko legirani materijali na bazi nikla otporni na koroziju kao i aluminij i legure aluminija. Korijenski zavari visokolegiranih materijala vrlo su podložni koroziji te treba onemogućiti stvaranje površinskih oksida i promjenu boje. Isto tako treba zaštititi korjenski zavar uporabom odgovarajućeg plina (formir plin). Nužna je uporaba mješavina argona i aktivnog plina CO₂ ili O₂ kod ugljičnih čelika, argona i vodika kod visokolegiranih čelika te mješavina s dodatkom dušika. Povećan unos topline osigurat će odgovarajući dodatak helija.

Tragovi početaka primjene postupaka spajanja metala lemljenjem (nakit) datiraju još iz razdoblja prije 5.000 godina. Postupci zavarivanja metala javljaju se još prije ca. 2000 godina (spajanje predmeta od zlata pritiskom/kovanjem). U srednjem vijeku željezni predmeti spajani su kovanjem (oružje, alati).

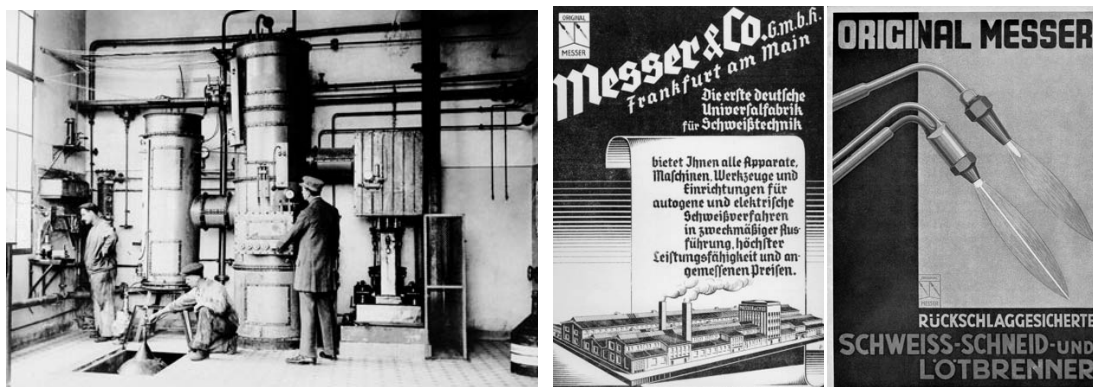
Preduvjeti za primjenu i razvoj začetaka današnjih načina zavarivanja ostvareni su početkom i tijekom 19. stoljeća.

Oko 1800. godine Sir H. Davy (Engleska) otkrio je električni luk primjenom ugljenih elektroda i baterije. 1836. također Englez, E. Davy otkrio je tijekom pokusa s kalijevim i kalcijevim karbidom acetilen, a francuski kemičar Chatelier 1895. otkriva da acetilen i kisik u istim količinama proizvode plamen temperature od preko 3300 °C. T. Wilson 1903. konstruirao oksiacetilenski plamenik

Sredinom 19. stoljeća izumljen je električni generator.

Elektrolučno zavarivanje ugljenim elektrodama koristilo se već 1880.-1890. 1890. godine Coffin iz Detroita patentira proces zavarivanja pomoću metalnih elektroda. To je bio prvi slučaj prijenosa rastopljenog metala el.lukom od dodatnog na osnovni materijal u svrhu zavarivanja. Nakon toga pojavljuju se obložene elektrode u Velikoj Britaniji (1900. god.). Obloga se sastojala od slojeva karbonata i silikata.

1885.-1900. uvedeno je elektrootporno i termitno zavarivanje. U to doba javljaju se počeci plinskog zavarivanja i rezanja.



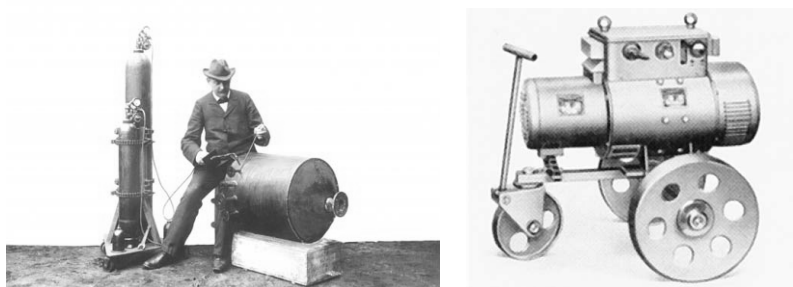
Slika 1. Proizvodnja plinova i opreme za zavarivanje/dodatnih materijala (početak 20. st.u Njemačkoj)

Tome doprinose i počeci proizvodnje kisika odnosno ukapljivanja zraka te uporaba plamenika (1887. god.) Do 1900. god. koristio se vodik dobiven iz ugljena s kisikom, a oko 1900. se javlja uporaba plamenika s acetilenom niskog tlaka.

Prvi svjetski rat uvjetovao je brz razvoj zavarivanja, opreme, strojeva, uređaja i elektroda. 1919. osniva se AWS (American Welding Society) kao neprofitna organizacija za razvoj zavarivanja i vezanih postupaka.

Iako je izmjenična struja izumljena 1919, njena se primjena u zavarivanju javlja tek oko 1930. godine s razvojem debelo obloženih elektroda.

Tijekom razdoblja 1920.-1940. istražuje se mogućnost zavarivanja u zaštitnoj atmosferi, kao bi se izbjeglo formiranje oksida i nitrida u zoni zavarivanja koji uzrokuju gubitak žilavosti i krtost zavarenog spoja.



Slika 2. Probe zavarivanja/oprema (1920, Njemačka)

1926. god. patentiran je postupak elektrolučnog zavarivanja sa zaštitom plina oko luka (začetak TIG /GTAW – postupka zavarivanja). Radi se i na razvoju koncentrične sapnice s dodavanjem žice kroz sapnicu, što je početak razvoja MIG-MAG /GMAW postupka. Oko 1930. uvodi se zavarivanje pod praškom u Pennsylvaniji-USA za zavarivanje uzdužnih zavara na cijevima (National Tube Company).



Razvoj TIG, kasnije i MIG-MAG postupaka počinje još oko 1940. kao postupak zavarivanja u neoksidirajućoj atmosferi plina; H.M. Hobart uvodi TIG i zaštitni plin helij, a P.K. Devers koristio je zaštitu argona. Ovi su procesi bili primjenjivi u zavarivanju magnezija, nehrđajućih čelika i aluminija (Heliarc® zavarivanje). 1948. uvodi se MIG zavarivanje s kontinuiranim dodavanjem žice, za zavarivanje neželjeznih materijala, a ubrzo i za zavarivanje čelika, zbog visoke depozicije i ušteda troškova.

1953.-1958. počinje primjena MAG zavarivanja u atmosferi CO₂, te postaje vrlo raširena jer je omogućila produktivno zavarivanje u svim položajima.

Od 1960. koriste se već mješavine inertnog zaštitnog plina argona s malim dodatkom kisika, koji omogućuje prijenos materijala slobodnim letom kapljica, tj. štrcajućim lukom uz veću depoziciju i manju naknadnu obradu. Razvoj strojeva, uređaja izvora i dodatnog materijala (punjene žice itd..) omogućio je i dalji razvoj varijanti ovih postupaka, pulsno zavarivanje itd...

Specifični procesi zavarivanja, uz razvoj automatizacije i robotizacije, tehnike zavarivanja i rezanja tehnika uporabe plazme, različitih lasera, tehnika zavarivanja elektronskim snopom itd. posljedično su unaprijedili i zahtijevnost aplikacije plinova, od uporabe plinova vrlo visoke čistoće do različitih mješavina plinova namijenjenih specifičnim postupcima zavarivanja i rezanja.

Automatizacija i mehanizacija u tehnologiji zavarivanja i rezanja razvija se intenzivnije nakon 1950., dok se roboti razvijaju pojavom sofisticiranijih mikroprocesora/računala nakon 1970.god.

Zavarivanje pod zaštitnim plinom MAG postupkom (mješavina inertnog plina-argona i aktivnog plina-CO₂ ili O₂, ili njihove kombinacije) jedan je od prevladavajućih postupaka zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija i strojogradnji. Od 70-tih godina 20. stoljeća pa do danas MAG zavarivanje najzastupljenije je od svih postupaka zavarivanja, zbog visoke učinkovitosti, niskih ukupnih troškova i troškova naknadne obrade te primjenjivosti u mehaniziranom i robotiziranom zavarivanju.

Ovom se tehnikom postižu visoki učinci i rabi se u svim položajima. I ručnim i automatskim procesima mogu se zavarivati kako tanki limovi (2-3 mm), tako i deblji limovi (30 mm i više). Modificirani i izvedeni postupci MIG i MAG zavarivanja su procesi s punjenom žicom, MIG/MAG zavarivanje impulsnom tehnikom, kombinirano tandem/twin MIG/MAG, hibridno laser i MIG/MAG te visokoučinsko zavarivanje sa strujama višim od 400-450 A (područje rotirajućeg luka), s primjenom više ili manje složenih zaštitnih plinskih mješavina.

Razvoj zaštitnih plinskih mješavina podrazumijeva iznalaženje načina primjene **što jednostavnijih** i ekonomski prihvatljivih plinskih mješavina, koje se mogu rabiti i kod zavarivanja u području visokih struja i rotirajućeg luka.

Najvažniji zadatak zaštitnog plina u svim, pa i mehaniziranim/automatiziranim i robotiziranim postupcima TIG/MIG/MAG zavarivanja je zaštita taline od utjecaja atmosfere odnosno od oksidacije i apsorpcije dušika te stabilizacija električnog luka. Izbor plina odnosno plinske mješavine može utjecati i na karakteristike električnog luka.

Osnovni zaštitni plin za MIG zavarivanje je argon (Ar) i/ili helij (He) te njihova mješavina. Mali dodatak kisika (O₂) ili ugljičnog dioksida (CO₂) kod MAG postupaka može poboljšati stabilnost električnog luka, odvajanje kapljica i poboljšati kakvoću depozita. Kod primjene na nehrđajućim čelicima, rabe se i dodaci malih količina vodika (H₂).

| | Argon | Uglj.dioksid | Helij | Vodik | Dušik | Kisik |
|----------------------------------------------------|---------|-----------------|---------|----------------|----------------|----------------|
| Kem.simbol | Ar | CO ₂ | He | H ₂ | N ₂ | O ₂ |
| Mol.težina | 39,95 | 44,01 | 4,00 | 2,016 | 28,01 | 32,00 |
| Spec.gustoća (zrak=1) | 1,38 | 1,53 | 0,1368 | 0,0695 | 0,967 | 1,105 |
| Gustoća(kg/m ³) 0°C; 1,01325 bar | 1,7834 | 1,9768 | 0,1785 | 0,0899 | 1,2505 | 1,4290 |
| Ionizacijski potencijal (eV) | 15,7 | 14,4 | 24,5 | 13,5 | 14,5 | 13,2 |
| Temp.vodljivost (W/mK), 0°C | 0,01633 | 0,01424 | 0,14363 | 0,17543 | 0,02386 | 0,02428 |
| MDK (ppm) | | 5000 | | | 4000 | |
| Granica eksplo- zivnosti (vol%) | | | | | 4-75% | |

Tablica 1. Podaci o pojedinim zaštitnim plinovima za zavarivanje

Kod TIG zavarivanja uglavnom se koriste argon i/ili helij ili njihove mješavine. U pojedinim se slučajevima koriste i dodaci vodika (H₂) zbog npr. povećanja produktivnosti zavarivanja ili dušika (N₂) zbog poboljšanja svojstava depozita. Oksidirajući se dodaci za TIG postupak ne rabe zbog mogućeg oštećenja volframove elektrode.

Kod zavarivanja plazmom, mješavine argona s vodikom/helijem koriste se za plazma plin, a čisti argon kao zaštitni plin.

Kvalitetno zavarivanje bez smanjenja otpornosti koroziji i mehaničkih karakteristika mogu se postići samo uz uporabu plina za zaštitu korijena zavara s niskim sadržajem kisika. To su mješavine dušika (N₂) ili argona (Ar) s 5-20% vodika (H₂) koji svojim redukcijskim svojstvima smanjuje mogućnost oksidacije korijena zavara. Čisti se dušik koristi za zaštitu korijena pri zavarivanju duplex čelika.

2. PLINOVI ZA ZAVARIVANJE NISKOLEGIRANIH I NELEGIRANIH ČELIKA

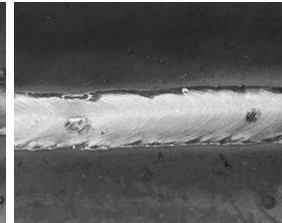
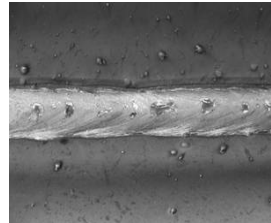
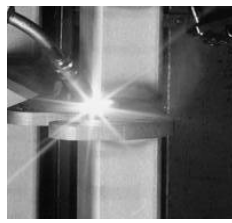
Kod MAG postupka zavarivanja, dobro provarivanje i dobar prijenos dodatnog materijala omogućuju dodaci aktivnih plinskih dodataka u plinskoj mješavini s osnovnim plinom argonom.

Smatra se da kod izbora zaštitnog plina gdje je god moguće, treba rabiti mješavinu s najmanje 20% argona (ostatak CO₂ i/ili dodatak kisika) umjesto primjene atmosfere čistog CO₂. U prvom redu zbog povećanja učina, mogućnosti zavarivanja slobodnim letom kapljica te ušteda smanjenjem naknadne obrade.

Aktivne komponente plinskih mješavina za zavarivanje niskolegiranih i nelegiranih čelika su kisik i ugljični dioksid, koji se dodaju pojedinačno, ili zajedno u određenim omjerima osnovnom zaštitnom plinu – argonu.

Poznate i opće prihvaćene plinske mješavine tipa Feromix C 18 (M21 HRN EN 439) (Krysal® 18) s 18% CO₂ u argonu daju relativno mali udio štrcanja te siguran provar i kod zavarivanja u više prolaza. No, u posljednje vrijeme zamjenjuju se s niskoaktivnim mješavinama tipa Feromix C 8 (Krysal® 8) s 8% CO₂ u argonu (M21 HRN EN 439) i Argomix® 4 s 4% O₂ u argonu (M22 HRN EN 439), koje daju još povoljnije rezultate u pogledu smanjenja štrcanja, pojačanih mehaničkih svojstava zavarenog spoja, a pogodne su i za primjenu s visokim strujama zavarivanja.

Kod većih debljina/struja zavarivanja može se dodati helij (He) zbog povećanja unosa topline i učina.



Slika 3. MAG zavarivanje s Ar/CO₂ 82/18 i Ar/O₂ 96/4

Slika 4. Usporedba mješavine Ar/CO₂ 82/18 i 92/8

Tijekom razvoja specifičnih visokoučinskih postupaka zavarivanja u području visokih struja i rotirajućeg luka, (TIME proces), razvijena je i specifična četverokomponentna mješavine argona, helija, CO₂ i kisika. Na osnovi pozitivnih iskustava u radu danas je razvijena jednostavnija mješavine s 3 komponente, s 8% CO₂ i 20% He, ostatak argon (Ferromix C8 He20 – grupa plinova HRN EN 439 M21 (1)).

Još jednostavnija je uporaba mješavine s 8% CO₂ te odgovarajuće mješavine s 4% O₂. Obje su mješavine pokazale vrlo dobre rezultate upravo pri zavarivanju u području visokih struja.

3. ZAVARIVANJE NEHRĐAJUĆIH / VISOKOLEGIRANIH ČELIKA

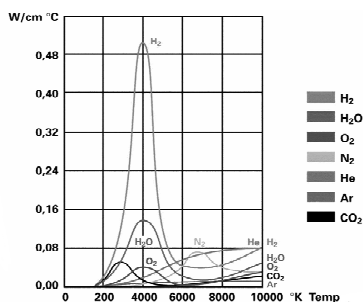
Materijali otporni na koroziju postaju sve važniji u zavarenim konstrukcijama.

Zbog korozijske otpornosti, sve se više koriste visokolegirani čelici i čelici na bazi nikla. Osim standardnih austenitnih materijala sve važnija je uporaba duplex i superduplex čelika, naročito u kemijskoj industriji.

Izbor odgovarajućeg zaštitnog plina ovisi o vrsti materijala i njegovoj debljini, načinu zavarivanja te dodatnom materijalu.

Npr. kod TIG zavarivanja visokolegiranih čelika koje se rabi uglavnom za ručno zavarivanje tanjih materijala i zavarivanje korijena može se postići relativno mali učin od ca. 2 kg/h. Mješavine za zavarivanje ne smiju sadržavati kisik ili ugljični dioksid zbog zaštite netaljive elektrode. Najčešće kombinacije zaštitnih plinova su plinske mješavine argona s dodatkom helija i/ili vodika. Različite koncentracije utječu na penetraciju i unos topline (vidi sliku).

Mješavina koja se sve više rabi za TIG zavarivanje nehrđajućih čelika i sve se više potvrđuje u praksi je argon s 3% helija i malim sadržajem vodika (stari naziv Argofit) **Inoxmix He3 H1**, koja omogućuje siguran provar, veću sigurnost i učin zavarivanja te kvalitetniji zavar. Isto tako, **Inoxmix He3 H1** može se istovremeno koristiti za zaštitu korijenja zavara...



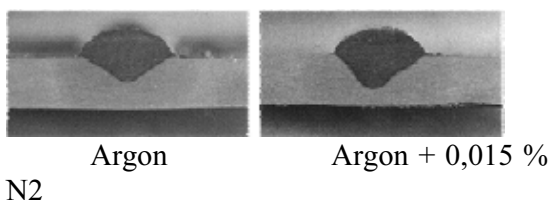
Slika 5. Toplinska vodljivost različitih plinova u ovisnosti o temperaturi.

| Vrsta plina | Grupa prema EN 439 | Sastav u volumnim postocima (%) | | | | | Primjena |
|---------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------|----|----|----|-----------------------|
| | | Ar | CO2 | O2 | He | H2 | |
| Inoxmix C 2 (Argomag® K) | M 12 | 97,5 | 2,5 | - | - | - | visokolegirano |
| Inoxmix X 1 (Argomag® S1) | M 13 | 97 | - | 1 | - | - | visokolegirano |
| Inoxmix X 3 (Argomag® S3) | M 13 | 97 | - | 3 | - | - | visokolegirano |
| Inoxmix He 15 C 2 (Argomag® He) | M 12 (1) | 83 | 2 | - | 15 | - | visokolegirano |
| Inoxmix He 30 H 2 C (Argomag® Ni) | M 11 (1) | 67,88 | 0,12 | - | 30 | 2 | visokolegirano |

Tablica 2. Zaštitni plinovi za MAG zavarivanje visokolegiranih čelika

4. ZAVARIVANJE ALUMINIJA I BAKRA

Kod zavarivanja aluminija treba voditi računa o njegovoj visokoj toplinskoj vodljivosti, što ponekad zahtijeva predgrijavanje radnog komada, odnosno uporabu plinskih mješavina na bazi argona s dodatkom helija. Helij ima 4-5 puta veću toplinsku vodljivost od argona. U novije vrijeme primjenjuju se specijalne mješavine na bazi argona s malim dodatkom dušika (mješavine tipa Alumix®), kod kojih dodatak dušika osim stabilizacije el. luka daje bolji i koncentrirani unos topline, užu i pravilniji zavar, dublju penetraciju, manju poroznost zavara te smanjuje štrcanje. Za povećanje unosa topline rabe se mješavine Alumix s dodatkom helija 15-90%.

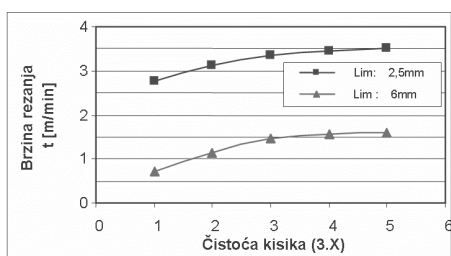


Slika 6. Prednost dodatka male količine dušika argonu u zavarivanju aluminija (oblik zavora, bolji provar odnosno penetracija). Mješavina Monomix®

5. PLINOVI U LASERSKOM ZAVARIVANJU I REZANJU

Primjena laserske tehnike rabi se u različitim tehnologijama-od stomatologije do automobilske i avioindustrije, u strojogradnji, elektronskoj industriji, brodogradilištima i šire...

U početku je kao zaštitni plin korišten helij, kao kod TIG aplikacija. Nakon toga uporaba se proširila na višekomponentne mješavine. Općenito se koriste mješavine s barem 30% udjela helija. Ponekad se rabe i dodaci aktivnih komponenata CO₂ i O₂, kako u laserskom zavarivanju tako i u lemljenju. Messer je razvio posebnu grupu plinskih mješavina za lasersko zavarivanje Megalas®.



Slika 7. Prikaz ovisnosti brzine rezanja o klasi čistoće kisika

Kod laserskog rezanja važno je pri izboru plina slijediti upute i preporuke isporučitelja opreme. Najčešće se za ekonomično brzo rezanje ugljičnih čelika koristi čisti kisik klase čistoće 3.5 (99,95 % O₂). Važno je voditi računa o instalaciji i održanju kakvoće kisika na zahtijevanoj razini. Kod rezanja VL / nehrđajućih čelika pomoću dušika potrebno je osigurati dovoljan tlak te predvidjeti instalaciju/opremu te dobavu plina za zahtijevani protok.

Slika 8. Prikaz tipske moderne opskrbe tekućim/komprimiranim plinom uz dodavanje komponenata mješaćem

