

MIG/MAG zavarivanje – CO2 zavarivanje

Osnovne napomene

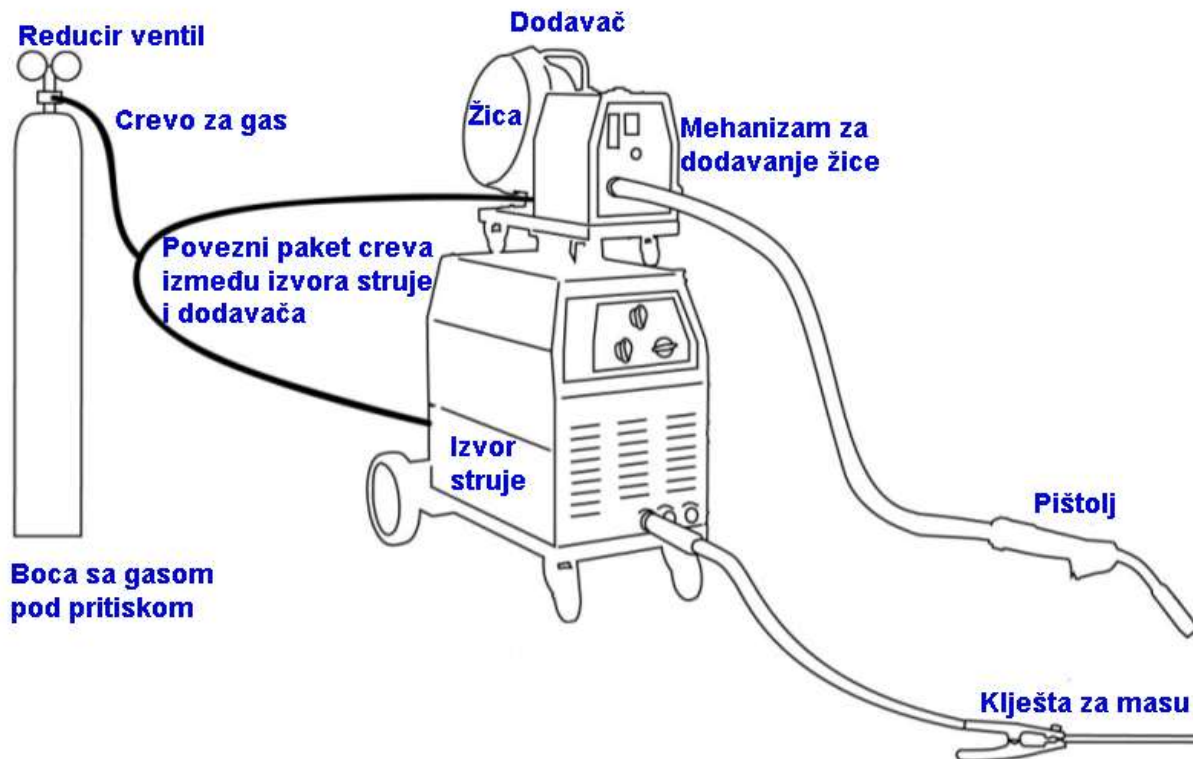
Skraćenice MIG/MAG znače sledeće:

MIG = Metal inert gas – zavarivanje metala u inernom gasu, kao što su argon, helijum... ,

MAG = Metal active gas zavarivanje metala u „aktivnom gasu“, na primer u čistom CO2 gasu ili u mešavini argona i CO2 ili mešavini argona i O2... Elementi iz gasa (C, O, CO...) mogu da uđu u strukturu metala koji se vari što je štetno iznad neke granice...

Pošto je u Srbiji u prošlosti, do neke 2005-te uglavnom nije bilo zastupljeno zavarivanje čelika mešavinama Ar+CO2, već su se i odgovorne konstrukcije decenijama najčešće zavarivale u čistom CO2 gasu ovo MIG/MAG zavarivanje se i danas u Srbiji zove „**CO2 zavarivanje**“, bez obzira da li se kao gas koristi CO2 ili ne.

Aparat i za MIG zavarivanje i za MAG zavarivanje je isti, jedino se menja gas koji se priključuje na aparat i to je suštinski jedina razlika.



Izgled aparata MIG/MAG zavarivanja sa bocom za gas

Izgled aparata MIG/MAG zavarivanja sa bocom za gas

Žica se dodaje automatski, guraju je točkići u aparatu, a dužina luka je konstantna, a zavarivač ručno vodi pištolj, održava prepust žice koji viri iz dizne, održava nagib pištolja ...



Izgled robusnog trafo MIG/MAG aparata **STEL SKY MIG 553S** (težina oko 160 kg), sa odvojenim dodavačem za žicu.

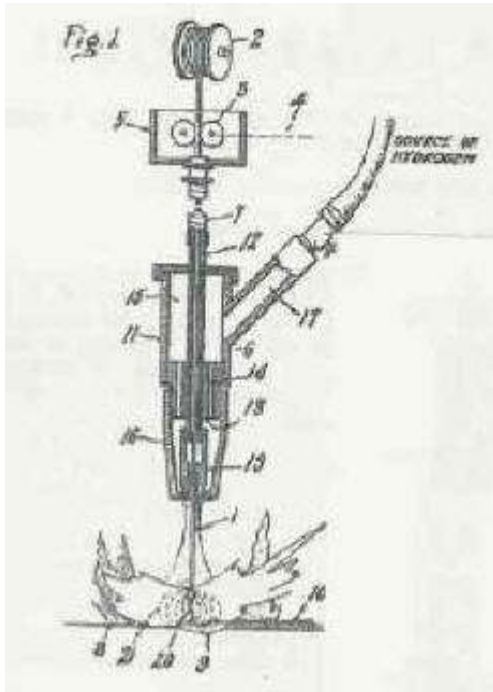
Ovo je tzv „tradicionalni tip“ MIG/MAG aparata, čiji je izvor struje transformator sa namotajima od bakra a kontrola napona je preko prekidača sa podeocima. Kontrola brzine žice (time i amperaže) kod ovog aparata je kontinualna – kontrolisana elektronikom.

STEL je jedan od najpoznatijih proizvođača MIG/MAG aparata na svetu, pri čemu je naročito cenjen po pouzdanosti i robusnosti svojih aparata. Osim što aparate prodaje pod svojim brendom, često i slavni brendovi ove aparate prodaju pod svojim imenom jer su sigurni u performanse i pouzdanost.

Istorija procesa

Na internetu se mogu naći razne hronologije razvoja procesa MIG/MAG zavarivanja. Evo jednog pregleda:

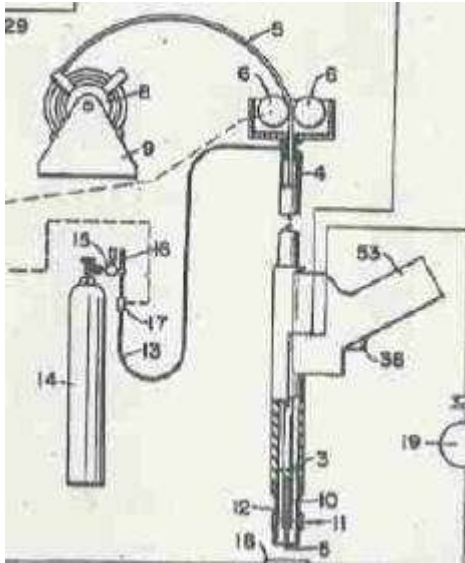
- 1920-te P.O. Nobel iz kompanije General Electric je izmislio automatsko zavarivanje žicom. Tada je korišćen za navarivanje pohabanih rukavaca i kranskih točkova.
- 1924-te Alexander-u je priznat patent za ono što se može reći da je začetak MIG sistema zavarivanja danas. Međutim, postojalo je ograničenje, nije se mogao koristiti CO₂ gas.



Izgled skice ranog MIG uređaja Alexander-a

- Mnogi priznaju da je prvi praktični MIG sistem definisan 1949-te, od zaposlenih u firmi AIRCO. Tada je ovaj proces korišćen za zavarivanje aluminijuma i drugih obojenih metala u zaštiti inertnih gasova (argona i helijuma) i odatle mu ime MIG (Metal Inert Gas). Ovim sistemom se izbegavalo korišćenje

topitelja za zavarivanje aluminijuma koji su bili korozivni i koji su se morali odstranjivati, a uz povećanu produktivnost. Čelik inače nije moguće uspešno zavarivati u zaštiti čistog argona.



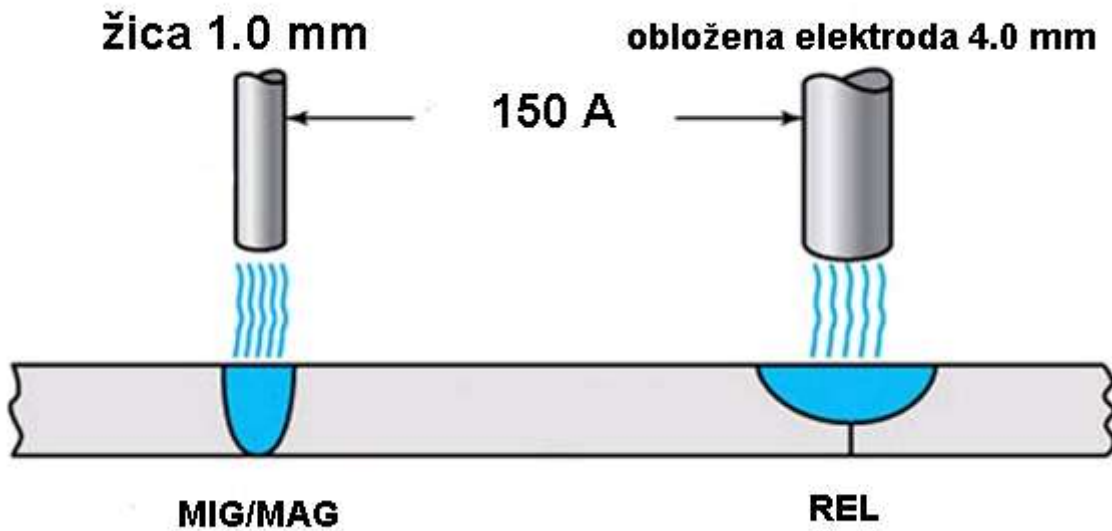
Skica patenta iz 1949-te

– 1953-će, ruski naučnici Lyubavski i Novoshilov iz SSSR-a su razvili zavarivanje čelika ovim procesom ali u zaštitnoj atmosferi CO₂ gasa (aktivnog gasa tj gasa koji ima reakciju sa metalnim kupatilom). Ovaj način zavarivanja u CO₂ gasu je odmah prihvaćen širom sveta za ekonomično zavarivanje čelika. Obzirom da je CO₂ gas „vreo“ tj daje vreo luk, bilo je moguće primeniti žice tankog poprečnog preseka.

Vojna industrija bivše Jugoslavije, vagonogradnja... je takođe odmah prihvatila ovaj koncept zavarivanja u CO₂ gasu.

Princip zavarivanja u CO₂ gasu, i kasnije mešavinama koje sadrže CO₂ ili O₂ gas su nazvane „MAG zavarivanje“ (Metal Active Gas).

– 1959-1962 je razvijen sistem zavarivanja u tzv transferu „kratkim spojem“, koji je ovaj proces doveo do svake radionice, jer se ovim procesom u transferu „kratkim spojem“ mogu zavarivati tanki limovi, a potrebna veština zavarivanja je minimalna, pa su njime ovladali i neuki ljudi, limari i bravari...



Ilustracija efekta gustine struje žice fi 1.0 mm i elektrode fi 4.0 mm kada obe rade na 150A

– 1984-te je firma Cebora iz Italije smislila i na tržište izbacila „Pocket MIG“ („džepni MIG/MAG aparat“), prenosni MIG/MAG aparat koji je koristio „mali“ kotur od 5 kg ili 1 kg, i mogao se lako prenositi. I nije bio skup.

E, to je već značilo da svaka kuća može imati MIG/MAG aparat (tj CO2 aparat za zavarivanje). Em je veštinu lako savladati, em su aparati od tada pristupačni svakome.

Od tada, to je apsolutno najpopularnija vrsta zavarivanja.



Plastični providni poklopac na dodavaču za žicu

Cebora Pocket MIG

Danas se smatra da je oko 75% svog zavarivanja u svetu nekom od verzija MIG/MAG zavarivanja (običnom žicom, punjenom žicom...).

Šta je potrebno za MIG/MAG zavarivanje?

Neke osnovne stvari koje su potrebne za MIG/MAG zavarivanje:



MIG/MAG zavarivanje **STEL Iron MIG 221P MULTI**



Boca atestirana, sa nekim gasom:

- 100% CO₂ gas – čelik,
- 82%Ar +18%CO₂ – čelik,
- 92%Ar +8%CO₂ – čelik,
- 97.5%Ar +2.5%CO₂ – prohrom,
- 98%Ar+2%O₂ – prohrom,
- 100% Argon 5.0 – aluminijum.

Aparat za



Pištolj sa polikablom (3 / 4 / 5 m)



Šobe – rezervni deo pištolja, čistiti ih kako treba a ne lupati pištoljem o sto da otpadnu pucne



Dizne – uvek ih imati dosta u rezervi, inače nestanu petkom popodne a nema gde da se kupe a hitno trebaju



Bužir – rezervni deo



Difuzor gasa – rezervni deo



Reducir ventil za Ar/CO2 sa protokomerom i manometrom



Crevo za gas između aparata i boce sa gasom





Protokomer za merenje protoka gasa na šobi

Klješta za masu sa kablom



Točkići za razne prečnike žica i za razne metale (aluminijum, čelik)



Štel ili okasti ključ „30“ za stezanje reducir ventila na bocu i još jedan mali štel ključ za ostalo (dizne, priljučak creva za gas itd)



Sprej za sprečavanje lepljenja pucni na šobu



Sečice (cvikangle) – obavezno kvalitetne



Kombinovana klješta-kombinirke



Specijalna klješta (ne mora) ali su zgodna i korisna



Luksuzna skupa specijalna klješta (ovo je omiljeni poklon za majstor-varioca – oko 25 EUR)



Žica prečnika 0.6/0.8/1.0/1.2 mm



Adapteri za šuplje koturove



Radno odelo – zavarivačko



Dobra maska samozatamnjujuća – nikako najjeftinija



Rukavice zavarivačke – dobre



Kecelja za rad na jačim strujama

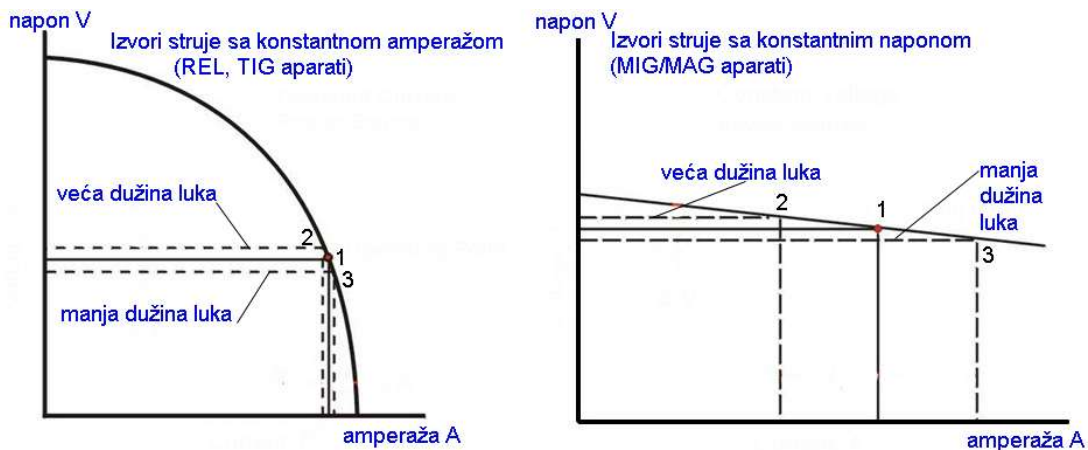


ITD...

Brusilica sa brusnim kamenjem (jer površina za varenje UVEK mora biti čista!)

Teorija MIG/MAG zavarivanja

Da bi razumeli MIG/MAG zavarivanje i razliku u odnosu na REL/TIG zavarivanje, da biste razumeli zašto „trafo“ od REL aparata ne može da se tek tako iskoristi za MIG/MAG zavarivanje i obrnuto, potrebno je razumeti „malo“ teorije tj razliku u „električnoj konstrukciji“ izvora struje tj razlika statičkih karakteristika REL/TIG i MIG/MAG aparata.



Razlika u statičkim „strujno-naponskim“ karakteristikama REL i TIG aparata u odnosu na MIG/MAG aparate.

Uočiti da je napon proporcionalan dužini luka. Duži luk = veći napon luka. Kraći luk = manji napon luka.

Vidi se sa leve slike da je karakteristika REL/TIG aparata tzv „vertikalna/padajuća“ tj „sa konstantnom amperažom“ (tj REL/TIG aparati se i zovu CC aparati ili CC izvori struje (CC = constant current)).

Na REL/TIG aparatima se na komadnoj tabli menja samo amperaža.



Komandna tabla REL aparata za zavarivanje obloženom elektrodom (STEL MAX 191 PFC).

Vidi se samo jedan potenciometar kojim se podešava amperaža. Ne postoji nijedno drugo podešavanje.

A napon luka se ne podešava na aparatu već je određen time koliko dugačak luk drži zavarivač.

Pa zamislite da zavarivač drži „optimalnu“ dužinu luka (tačka 1 na levoj slici), pri amperaži koju je podesio na aparatu. Ali tokom rada, ruka mu malo ili malo više drhti. Pa luk biva čas duži (tačka 2), čas kraći od optimalnog (tačka 3). Međutim, iako mu ruka drhti, dužina luka je čas duža a čas kraća (a time i napon luka čas veći a čas manji), vidi se sa leve slike da se amperaža gotovo uopšte ne menja, tj koliko god se dužina luka menjala, amperaža ostaje praktično ista. Veće promene dužine luka ne izazivaju praktično nikakvu značajnu promenu amperaže.

Zato se kaže da su ovo izvori struje sa „konstantnom amperažom“, tj izvori struje kod kojih amperaža ostaje ista, onako kako je podešeno na aparatu, bez obzira koliko zavarivač menja dužinu luka (tj napon luka) namerno ili nenamerno tokom zavarivanja.

Velika većina zavarivača u MIG/MAG postupku, koji su često ili samouki ili loše naučeni, a imaju prosto znanje o REL/TIG zavarivanju, **pogrešno** veruju da isti princip postoji i kod MIG/MAG zavarivanja, pa i kod MIG/MAG zavarivanja pominju „štelovanje amperaže“ i smatraju da i kod MIG/MAG tj CO2 zavarivanja mogu rukom da menjaju dužinu luka odmicanjem ili primicanjem pištolja.

Sušтина MIG/MAG zavarivanja je da se ne može štelovati amperaža na komandnoj tabli aparata, i šta više na komandnoj tabli ovih aparata ni ne postoji potenciometar za podešavanje amperaže.

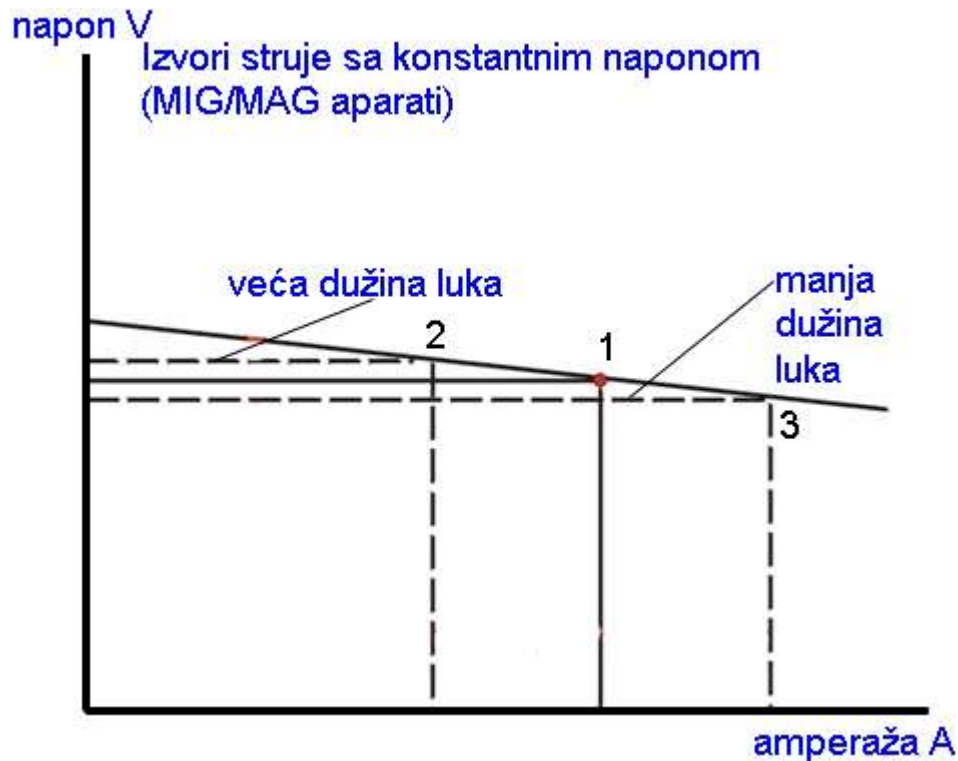


Tipičan izgled komandne table „prostih“ MIG/MAG aparata. Postoje dve komande za podešavanje.

Vidi se jedan prekidač sa podeocima za **podešavanje napona „V“**, i jedan potenciometar za **podešavanje brzine žice** (simbol dva točkica koji guraju žicu „olo“).

Znači, nigde **nema** prekidača ili potenciometra za amperažu.

Da bi se pravilno i lepo zavarivalo treba pravilno podesiti napon luka i brzinu kojom žica izlazi tj „upariti dva parametra“.



Strujno-naponska statička karakteristika MIG/MAG aparata

Napon luka i kod MIG/MAG zavarivanja određuje dužinu luka. Podesite veći napon na komandnoj tabli, luk je duži. Podesite manji napon, luk je kraći. MIG/MAG aparat sam održava ovu dužinu luka (tj podešeni napon) i ne dozvoljava zavarivaču da ga niti poveća niti smanji.

Zavarivač ovde ne može, kao kod REL/TIG zavarivanja, da primicanjem smanji luk, niti da ga poveća odmicanjem. Dužina luka je konstantna, tj napon je konstantan i zato se ovi aparati zovu CV izvori struje (CV = constant voltage) tj aparati sa konstantnim naponom.

A šta se dešava, kada zavarivač, zato što mu drhti ruka, primakne malo pištolj ili ga malo odmakne ili namerno pokuša da skрати ili poveća luk, da bi proverio da li je to moguće kao kod REL/TIG zavarivanja.

Pratite gornju sliku.

Kada zavarivač radi sa optimalnim naponom tj optimalnom dužinom luka i optimalnom brzinom žice koja daje optimalnu amperažu tada je u radnoj tački označenoj sa 1. Znači radi sa korektnim parametrima zavarivanja. Svo vreme žica izlazi onom brzinom koja je zadata na komandnoj tabli a amperaža je „tolika“ da tako topi žicu, da je luk svo vreme iste dužine.

A onda zavarivač pokuša da smanji luk (tačka 3) primicanjem pištolja. Koliko brzo smanji luk, toliko se **mного** poveća amperaža (videti amperažu ispod tačke 3 koliko je veća od amperaže ispod tačke 1). Amperaža se poveća mnogo iznad one prvobitne, iako je luk samo malo smanjen. I onda toliko jaka amperaža tako brzo istopi žicu, da se luk sam vrati na prvobitni (tačka 2). Sve se ovo dešava u delićima sekunde.

Isto se dešava ako zavarivač pokuša da odmakne malo pištolj da bi povećao dužinu luka (tačka 2). Koliko brzo odmakne makar i malecno, aparat mnogo smanji amperažu (videti koliko je amperaža ispod tačke 2 manja od amperaže ispod tačke 1), pa se žica sporije topi, pa žica sama vrati dužinu luka na prvobitnu (tačka 1).

Kaže se da su MIG/MAG aparati **CV izvori struje** čije je svojstvo tzv **samo-regulacija** dužine električnog luka. Zavarivač ne može kontrolisati dužinu luka primicanjem ili odmicanjem pištolja, dužinu luka automatski održava aparat istom svo vreme.

Uočiti sa slike da se za malu promenu dužine luka, amperaža drastično mnogo povećava ili smanjuje da bi se trenutno samo-regulisala dužina luka tj napon na vrednost koja je podešena na tabli aparata.

U tome jeste i razlika između trafoa za REL zavarivanje i trafoa za MIG/MAG zavarivanje. Mnogi na internetu postavljaju pitanje „imam trafo od REL aparata, mogu li da napravim CO2 aparat“. Odgovor je „ne može tako lako“. Konstrukcije trafoa su toliko različite, da se mora uraditi kompletno premotavanje trafoa.

A amperaža?

Još jednom, svako ko je upućen u REL i TIG zavarivanje zna da se na tim aparatima podešava amperaža. Gde je amperaža ovde kod MIG/MAG aparata, kada se ne podešava? Naravno, „električna energija“ stvara luk, pa osim napona (koji se podešava na komandnoj tabli), postoji i amperaža (iako se ne podešava).

Amperaža **zavisi** od sledećih:

- podešene brzine žice,
- prečnika žice,
- prepusta žice (slobodnog kraja žice, to je onaj deo žice koji viri iz dizne tokom zavarivanja),
- materijala žice.

Treba napomenuti da u opsegu praktične primene u MIG/MAG zavarivanju, amperaža je potpuno nezavisna od napona. Povećanje ili smanjenje napona na komandnoj tabli kod MIG/MAG aparata niti povećava niti smanjuje amperažu.

Pojedinačno, svaka od ovih 4 utiče na sledeći način.

Brzina žice.

Brzina žice se u Evropi izražava u m/min (metara u minuti) a u USA u inčima u minuti (ipm). Kada podesite neku brzinu žice imate jednu amperažu. Kada smanjite brzinu žice smanjuje se amperaža. Kada povećate brzinu žice povećava se amperaža. Zavisnost amperaže od brzine žice zavisi od konstrukcije aparata ali je uglavnom u jednom delu linearna.

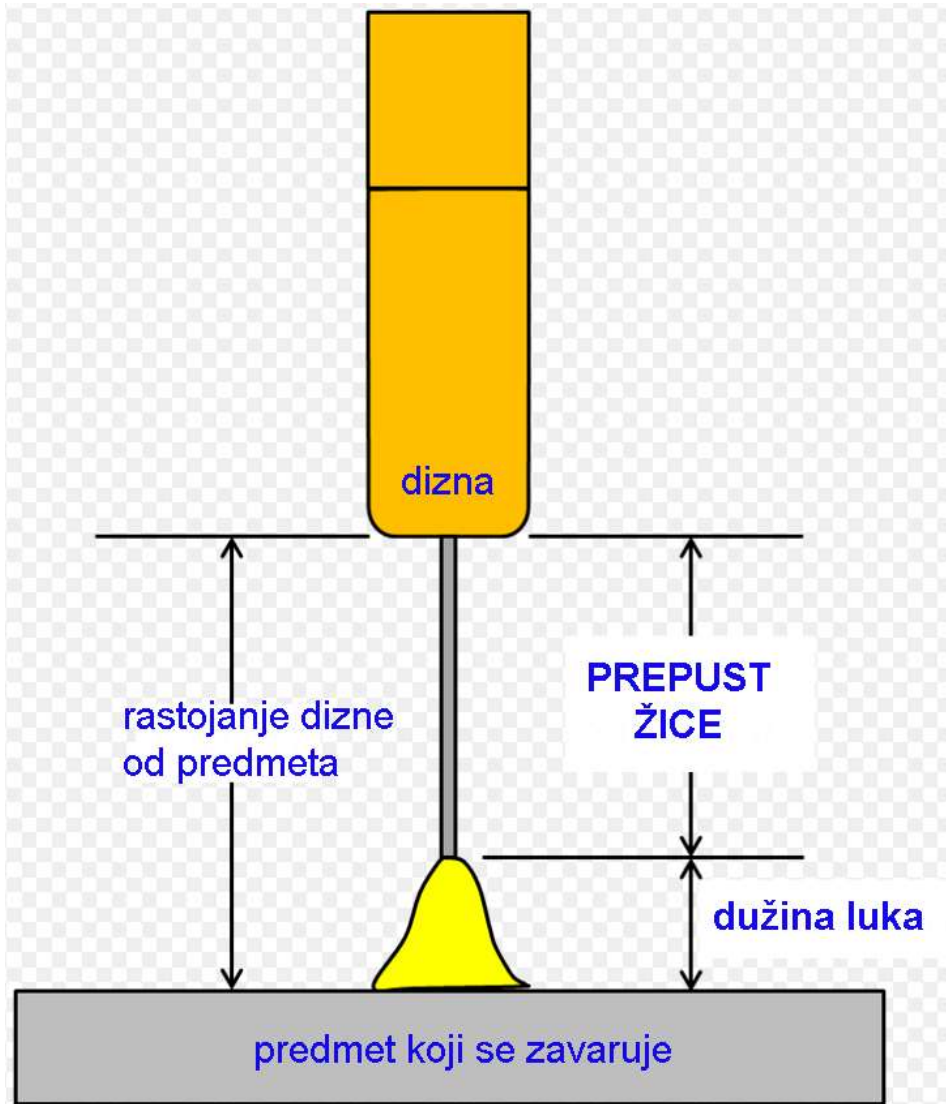
Razlog za ovaj fenomen (veća brzina žice = veća amperaža i obrnuto) je sledeća. Aparat kao neka tvrdoglava životinja čini sve da zadrži onu dužinu luka koja je zadata na komandnoj tabli. Kada se smanji brzina žica, to znači da žica sporije dolazi tj teži da luk bude duži (tačka 2). Pošto aparat ne dozvoljava da luk bude duži, on smanji amperažu, da bi se žica sporije topila i da bi se luk vratio na zadatu dužinu. Kada

se brzina poveća, onda žice brže dolazi u luk i teži da ga skрати (tačka 3). I zato aparat sam pojačava amperažu tako da se žica koja brže nadolazi u luk brže i topi većom amperažom i na taj način dužina luka uvek ostaje ista.

Ovaj princip samo-regulacije dužine luka poseduju svi MIG/MAG aparati pa i oni najgori. Prosto, to je princip rada CV (MIG/MAG) aparata za zavarivanje.

Prepust žice.

Prepust žice je dužina žice koja viri iz dizne, tj od dizne do luka.



Ilustracija „prepusta žice“ od dizne do luka (ne od šobe do luka)

Amperaža se menja u zavisnosti od prepusta žice prema Omovom zakonu (osnovni zakon fizike):

$U = R \times I$ (napon je jednako omska otpornost puta amperaža).

tj pošto je $U = \text{const}$ (jer je podešeno na aparatu)

amperaža = const / R

Otpornost je iz fizike : $R = r \times (L/S)$

r = specifična omska otpornost konkretnog metala žice,

L = dužina prepusta žice,

S = poprečni presek žice = $(d^2 \times \pi)/4$, (d = prečnik žice).

Na kraju je **amperaža = (const x d² x π) / (4 x r x L)**

Iz ove formule sledi da je amperaža manja kada je L (prepust žice) veći i da je amperaža veća kada je prepust kraći.

Ako ne verujete, nađite aparat sa displejima i tokom zavarivanja neka zavarivač radi sa malim, srednjim i velikim prepustom žice a onda neka brzo menja od malog ka velikom prepustu. U stvari, tokom primicanja ili odmicanja pištolja, ne može se niti smanjiti niti povećati dužina luka, ali se tada povećava ili smanjuje prepust žice. Videćete na displeju velike fluktuacije amperaže. Tokom promene dužine prepusta žice, napon ostaje praktično isti, a amperaža se drastično povećava ili smanjuje.

Prečnik žice.

Iz formule: $R = r \times (L/S) = r \times (4 \times L) / (d^2 \times \pi)$ sledi da je otpornost žice veća kada je prečnik manji i obrnuto.

Prema **amperaža = const / R**, i amperaža će biti manja kada je prečnik manji tj amperaža će biti veća kada je prečnik žice veći pri istom izabaranom podeoku brzine žice.

Bolje pojašnjeno, kod REL aparata kada podesite npr 100A, tih 100 A će biti isto bez obzira da li u klješta stavite prečnik 2.5 mm, 3.2 mm ili neki drugi prečnik elektrode. Bez obzira koji prečnik elektrode stavite, kroz nju će proticati ista amperaža koju ste podesili na aparatu.

A ovde, kod MIG/MAG-a, ako npr podesite brzinu žice na 5 m/min, za crni čelik, amperaža će (grubo procenjeno) za žicu 0.8 biti 70A, za 1.0 mm će biti 110A, za 1.2 mm će biti 200A, a za 1.6 mm će biti 320A...

Materijal žice.

Opet prema Omovom zakonu, na amperazu utiče ono „r“ – specifična omska otpornost materijala žice.

amperaža = const / R

Otpornost je iz fizike : $R = r \times (L/S)$ pa sledi:

amperaža = (const x d² x π) / (4 x r x L)

Ili obrnuto, specifična električna provodljivost koja je različita za svaki materijal. Npr, aluminijumska žica ima manji omski otpor (bolju električnu provodljivost) od čelične žice istog prečnika.

Pa, što je omska otpornost materijala žice manja, to će amperaža biti veća, za istu brzinu žice podešenu na komandnoj tabli aparata.

A kada u klješta REL aparata stavite elektrodu 3.2 mm na 120 A, tu će 120A biti isto bez obzira da li je elektroda od aluminijuma, ili od čelika ili od inoxa ili od bakra...

Zaključak o amperaži.

Amperaža je veća kada je:	Brzina žice veća	Prepust žice manji	Prečnik žice veći	Električna provodljivost materijala žice manja
Amperaža je manja kada je:	Brzina žice manja	Prepust žice veći	Prečnik žice manji	Električna provodljivost materijala žice veća

Vidi se da amperaža **istovremeno** zavisi od ove 4 veličine, i menja se trenutno, pre svega zbog drhtanja ruke zavarivača (uticaj prepusta žice).

Samouk majstor, a pre svega ako ima iskustva sa REL/TIG zavarivanjem gde se sve svodi na podešavanje amperaže, realno ne može da se snađe u MIG/MAG zavarivanju jer se tu amperaža ne podešava, već se podešavaju brzina žice i napon da bi se se dobilo prihvatljivo zavarivanje tj aparat sam dodaje ili smanjuje potrebnu amperaža za topljenje a da bi svo vreme luk bio iste dužine.

Ostaje neverovatno pitanje, nerešeno već skoro 40 godina:

Ako svi znamo koju amperazu lako da podesimo kod REL/TIG zavarivanja, zašto ne postoji neko lako uputstvo za podešavanje brzine žice i napona kod MIG/MAG zavarivanja???

Jedini prihvatljiv a čudan odgovor koji sam dobio od različitih experata iz MIG/MAG zavarivanja je čisto komercijalan.

Što se to znanje o pravilnom podešavanju parametara (brzine žice i napona) ne bi prodalo za novac? Bilo kao konsultantska usluga, bilo uz žicu ili bolje rečeno skuplje prodati žicu uz znanje, bilo uz aparat tj skuplje prodati aparat uz znanje.

Recimo uz aparat. Jedan trgovac, koji nema pojma o aparatima za zavarivanje već samo o trgovini, donese aparat kod kupca, i kaže „na, probajte ga“. Dođe neuk zavarivač, ima na aparatu 30 podeoka za napon i recimo kod starijih aparata 10 podeoka za brzinu žice. Neuk zavarivač priča o nekoj amperaži (koje nema), vrti one podeoke, pokušava da upari podeoke napona sa podeocima brzine žice tako da lepo vari, i najčešće ne uspe. I kaže tj presudi, „ovaj aparat ništa ne valja“. Trgovac prvog aparata ode a ne proda aparat.

A onda dođe drugi prodavac sa sličnim aparatom drugog brenda (ništa bolji aparat od onog prvog) ali koji zna podešavanja, dođe, podesi podeoke kako treba, naš sudija-neuk varioc proba, kaže kako ovaj drugi „saliva“ za razliku od onog koji ne valja i presudi da se kupi ovaj drugi.

U svakom slučaju, takve tabele postoje, tabele za podešavanje brzine žice i napona, prema vrsti materijala/vrsti gasa/prečniku žice/debljini materijala koji se vari... i pravi majstor bi morao da ih i ranije, pa i danas zna. Namerno sam napisao „ranije“, jer danas se mogu kupiti tzv „synergic“ aparati, gde se na komandnoj tabli izabere „materijal/gas/prečnik žice/debljina“ a komjuter u modernim aparatima sam izračuna najbolju kombinaciju brzine žice i napona, pa onda danas zavarivač ni ne mora da zna „napamet tabele podešavanja“ da bi lepo salivao varove. To radi kompjuter u aparatu za njega.

Još da napomenem, postoje aparati koji nisu „Synergic“, ali imaju displeje. Recimo ovakav na donjoj slici.



Aparat sa displejima.

Kod ove vrste aparata, kada se vrši podešavanje (nema još zavarivanja) na displeju za brzinu žice se pojavljuje vrednost podešene brzine žice. Međutim kada se luk upali, na tom displeju se dok gori luk prikazuje amperaža (koja se čas povećava a čas smanjuje, kako zavarivaču drhti ruka pa se menja dužina prepusta žice). Pa onda zavarivači koji uporno žele da pamte podešavanja prema amperaži, recimo stave nekog pored aparata i kažu mu da gleda u displej i podese neku brzinu žice, na nekom bezveznom predmetu počnu varenje, a ovaj pomoćnik im prenosi kolika je amperaža koja se tek tada pojavi na displeju.

Inače, jeste amperaža bitna, jer se prema njoj određuje i unos toplote i prave tzv liste tehnologije zavarivanja, ali se ona u suštini ne podešava na komandnoj tabli.

Kod aparata koji nemaju displeje, amperaža se meri DC amper klještima.

Režimi / transferi kod MIG/MAG zavarivanja

Osim poznavanja kako podešavati brzinu žice i napon (i još po nešto) od suštinske važnosti je poznavati i režime tj „transfere“ kod MIG/MAG zavarivanja. Ako ne poznajete „transfere“ onda niste majstor zavarivač MIG/MAG postupka. Nekad to možda nije bilo tako zvanično, prosto oni koji su znali i razumeli „transfere“ nisu mogli da ubede one koji nisu znali da su neuki.

Ali danas jeste stvar zvanična. Postoji novi standard o atestaciji zavarivača, zadržimo se na MIG/MAG zavarivanju čelika. Taj standard se zove ISO 9606-1. I u tom standardu je po prvi put uvedeno zvanično,

ono što se ranije podrazumevalo za jedne, a za druge je bilo nebitno. A to su „transferi“. „Transfer“ je način kako se rastopljena kap sa žice prenosi duž luka u rastopljeni metal predmeta koji se vari.

Standard ISO 9606-1 za atestaciju zavarivača za zavarivanje čelika razlikuje 4 stabilna tipa transfera:

- Zavarivanje transferom „**kratkog spoja**“ („kratkim lukom“, „kontaktom“, „umakanjem“...),
- Zavarivanje transferom „**sprej**“,
- Zavarivanje transferom „**puls**“ (puls je u stvari specijalan oblik sprej transfera),
- **Ostali specijalni transferi** (i vezuju se za model aparata i njegovog proizvođača. Npr ako uzmemo transfer koji se kod brenda Sincosald zove „Evo-Force“ i zavarivač se atestira na njega, kada pređe da radi sa drugim aparatom drugog proizvođača istim specijalnim transferom, recimo kod Kemppi-ja se zove „Wise Penetration“, niti važi atest za onaj prvi transfer niti važi tehnologija zavarivanja, već mora ponovo da se radi kvalifikacija zavarivanja i atestacija zavarivača).

Osim ovih priznatih, postoji i nestabilni transfer zvani „**krupnokapljičasti**“ („pršteći“, „globularni“...).

Pogledajte ove slike:



Jedna od najčešće skidanih slika sa interneta koja ilustruje zavarivanje



Zavarivanje automobilskih šasija u USA, MAG postupkom

Možda će neupućeni pomisliti da ovako treba da izgleda MIG/MAG zavarivanje kao na ovim slikama gore, tim pre ako i sami ovako rade.

Ali to uopšte nije pravilno zavarivanje. Ovde zavarivanje nije pod kontrolom. Ovde sve pršti, rastopljene kapljice lete na sve strane, najverovatnije se dešava nalepljivanje umesto uvarivanja/penetracije ...

Rezultat ovog vatrometa je:



Ovo nije prihvatljivo zavarivanje. Ovo je nestabilno zavarivanje, van kontrole, krupnokapljičastim transferom.

A pogledajte ove slike:



Levo slika varenja u „pulsu“ i desno slika varenja u „kratkom spoju“.

Uočiti da nema rastopljenog metala koji kao vatromet pršti. (Puls kod dobrih aparata ne proizvodi gotovo nikakvo prštanje, a kod kratkog spoja prirodno mora da postoji neko malo ali potpuno prihvatljivo prštanje rastopljenog metala).

Postoji jedna priča tj zapažanje. Ako stavite luk u centar, pa opišete krug poluprečnika 150 mm oko luka, i ako nema van tog kruga prštanja, onda je zavarivanje u principu stabilno i prihvatljivo.

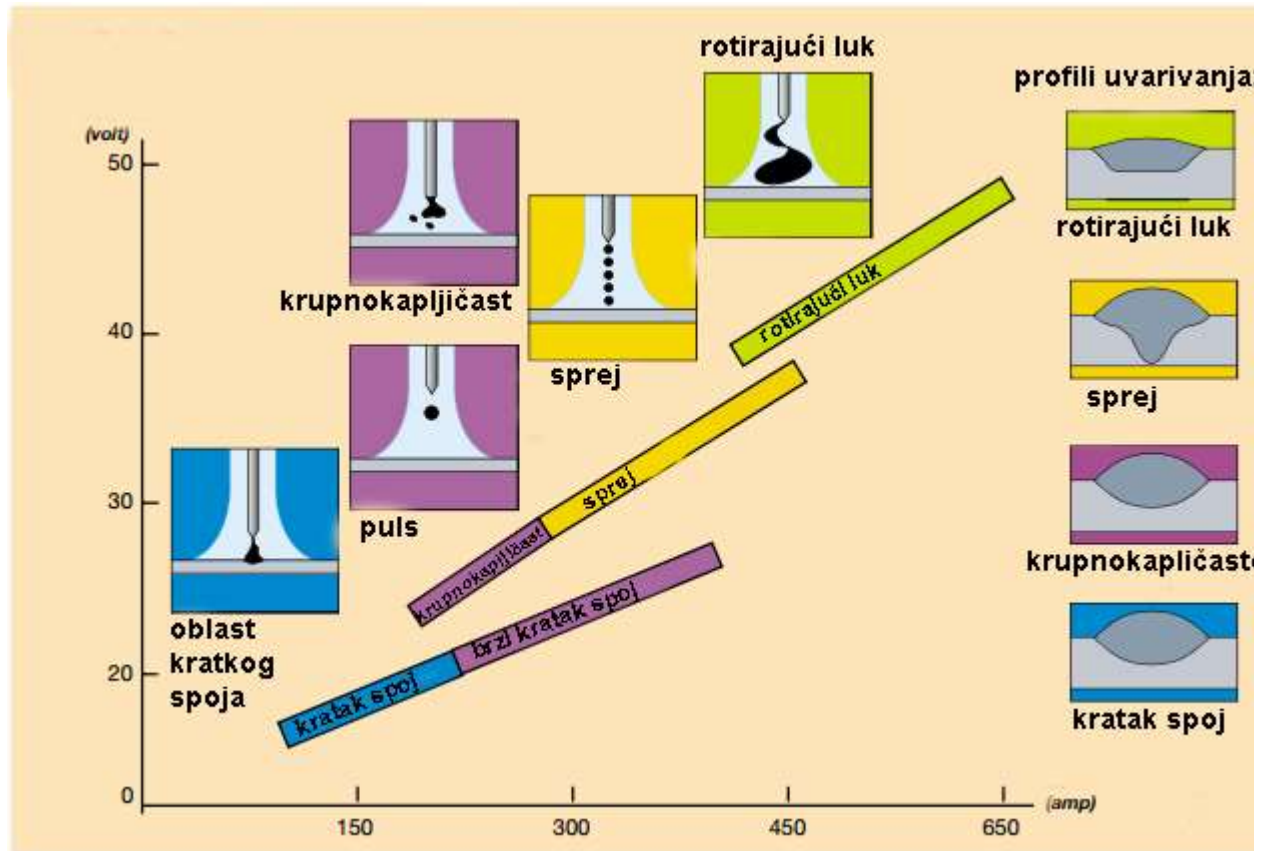
Treba reći da često prštanje postoji i zbog loše očišćenog pripremljena za zavarivanje a ne zbog loših parametara zavarivanja.

Transfer kod MIG/MAG zavarivanja, **određuje kako se rastopljene kapljice sa žice ulivaju u metalno kupatilo na osnovnom materijalu** (ili se malo ulivaju gde treba a malo ili mnogo pršte okolo što nije dobro).

Standardi zavarivanja poznaju ove transfere i nije dozvoljeno menjati režim/transfer ako je kvalifikacija tehnologije urađena u nekom konkretnom režimu. Ako se menja transfer potrebna je nova kvalifikacija zavarivanja.

Znači, ako je kvalifikacija odrađena jednim transferom, ne može da dođe zavarivač i da smanji brzinu žice i napon sa izgovorom „brzo mi, zrači mi, toplo mi...“ ili obrnuto da poveća parametre sa izgovorom „mlad sam, 'oću da nalivam kao iz flaše, da zaradim više“...

Evo slike koja objašnjava područja raznih transfera u smislu na kojim se strujnim parametrima (napon/amperaža) dešavaju, tj kako se odvaja kapljica sa žice u raznim strujno-naponskim područjima.



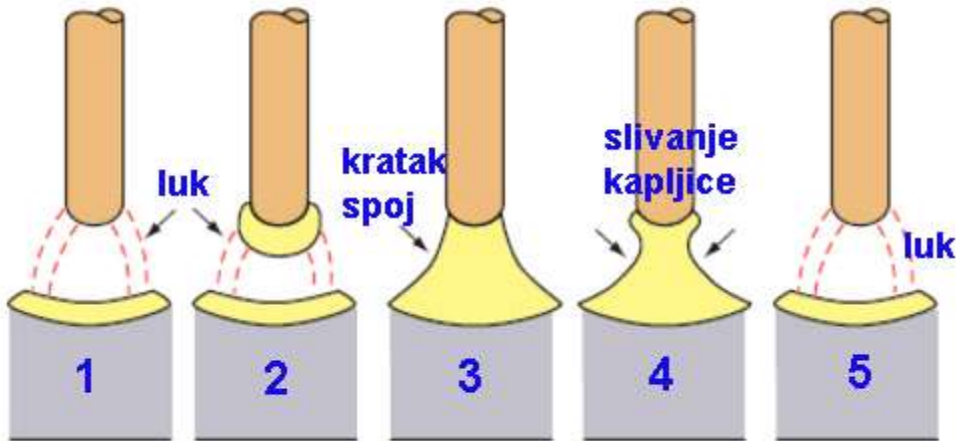
Područja raznih vrsta lukova u MIG/MAG zavarivanju u zavisnosti od strujnih parametara.

Zavarivanje u kratkom spoju

Ovo je najzastupljeniji režim MIG/MAG zavarivanja.

Sva hobi zavarivanja i laka bravarija se rade ovim transferom, pre svega zato što imaju aparate malih snaga (max. do 200A) a oni i jedino mogu da rade stabilnim transferom kratkog spoja ili nestabilnim krupnokapljicastim transferom. Čak i samouki ga lako savladaju, tj lako nađu parametre za njega ako imaju iole bolji aparat i ako čiste tj bruse do metalnog sjaja radni predmet. Problem nastaje što pokušavaju da rade ovim režimom i kada je besmislen ili nepodoban, pre svega na debljinama preko 5 mm.

Evo šematski prikaz zavarivanja u kratkom spoju:



– **Trenutak 1:** luk postoji, topi materijal i topi žicu. Na materijalu postoji barica rastopljenog metala, a na vrhu žice rastopljena kapljica, luk je dug.

– **Trenutak 2:** Na vrhu žice rastopljena kapljica postaje sve veća, luk se skraćuje, a kapljica se približava barici na materijalu pod svojom težinom jer je sve veća.

– **Trenutak 3:** Kapljica se spaja sa baricom, luk se gasi, ovo je trenutak kratkog spoja, napon luka je nula.

– **Trenutak 4:** Amperaža naravno naglo raste, površinski napon velike barice na materijalu privlači i upija malu kapljicu sa žice, koja se sliva u tečni metal na predmetu, a odvajanju kapljice sa žice unekoliko pomaže još i elektrodinamička sila koja se javlja zbog velike amperáže. Luka nema, ne gori.

– **Trenutak 5:** sve se vraća na početak, kapljica se odvojila, luk se pojavljuje a opet se formira kapljica na vrhu žice...

Ovde treba uočiti sledeće: Da bi ovaj transfer bio stabilan potrebno je da se sve izvršava „glatko“ i „ponovljivo“ ... Praktično gledano, potrebno je da ovh kratkih spojeva bude od 150-200 sekundi (oni što teraju mak na konac kažu u zavisnosti od konkretnog slučaja 50-250 Hz). Zato je ovaj režim i praćen onim konstantnim „zujanjem“ jer se luk non-stop brzo pali i gasi što je sve praćeno zvučnim efektom jer se luk non stop pali i gasi u pravilnim intervalima (u USA kažu: kao kada se peče dobra slanina nedeljom pre podne),...

Zbog toga je i unos toplote mali (jer se luk stalno pali i gasi), pa je moguće zavarivati i tanke materijale, kao i raditi u vertikali i nadglavno, prelaziti preko velikih zazora...

Pomenuto je 150-200 kratkih spojeva, ali u stvari za svaku žicu, za svaki prečnik, za svaki materijal, je potrebno naći takozvanu „slatku tačku“ tj onu frekvenciju tj broj kratkih spojeva gde je prštanje ili minimalno ili ga nema, a razlivanje najbolje a plazma luka najjača. „Slatka tačka“ se postiže određenom kombinacijom brzine žice i voltaže (npr pri naponima 14-22 V), prepusta žice za svaku konkretnu žicu... Jasno je da i aparat mora biti dovoljno dobar da ovo omogući, nisu svi aparati dobro konstruisani da upare svoje električne karakteristike sa tačkama topljenja metala i tečljivošću rastopljenog metala.

Moguće je postići zavarivanje kratkim spojem na malim aparatima, sa malom potrošnjom struje, male su deformacije zbog malih unosa toplote tj malih napona i amperaže a plus se luk gasi i pali... Ali problem sa ovim režimom nastaje kada su debljine veće od 4-5 mm. Tada umesto penetracije u materijal uglavnom nastaje nalepljivanje tj čvrstoća spoja je jako mala.

(Kada zavarivač prepozna slabu penetraciju pri zavarivanju debelih limova, kratkim spojem, žicom 0.8 mm, može doći u iskušenje da uspori malo da bi povećao penetraciju. Ali desiće se suprotno. Tada će se desiti nagolmilavanje tečnog metala, tj prelivanje rastopljenog metala sa žice u žljeb, koji neće prodreti u dubinu već će preplaviti žljeb u visinu, i brzo će očvrnuti i kasnije pri prolasku luka delovaće kao prepreka za penetraciju pa će postojati dva nalepljena sloja).

Ne mogu se svi materijali uspešno zavarivati kratkim spojem. Npr aluminijum ili bakar, jer su veliki provodnici toplote, ovaj se režim ne može uspešno koristiti ili se uopšte ne može koristiti. Brzina odvođenja toplote kod aluminijuma je 5-6 puta veća od one kod čelika. Zato se pri zavarivanju aluminijuma ovim režimom najčešće dešava nalepljivanje i veliko prštanje a i ono što se uvari često je porozno zbog brzog hlađenja.

A kod legura bakra se dešava da se kapljica žice najčešće pretvori u kuglicu i skotrlja sa materijala jer je luk koji se pali i gasi za bakar koji se topi na 1080C prosto hladan i ne uspeva ni da rastopi osnovni materijal.

Kod ovog transfera kratkim spojem, osim pravilnog podešavanja brzine žice i napona, potrebno je povesti računa o prečniku žice, vrsti gasa, prepustu žice, ali i izabrati dobar aparat tj aparat koji ima dobru fixnu kontrolu indukcije ili se indukcija može i podešavati kao i dobar „nagib“ (o ovome kasnije)...

Već rečeno, transfer kratkim spojem se dešava u jednom opsegu na nižim brzinama žice (2.5-9 m/min – što odgovara amperažama do max 180-200A) i nižim voltažama (15-22 V).

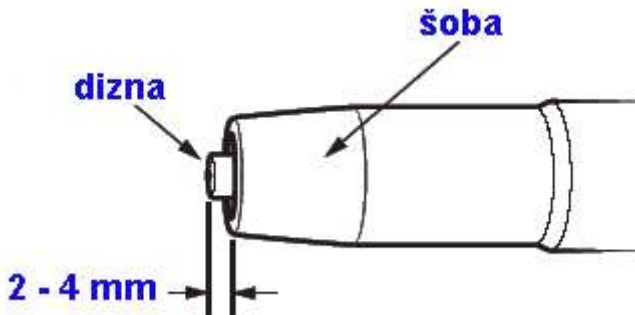
Za lepo zavarivanje kratkim spojem su najbolji gasovi čist CO₂ i Ar+18%CO₂ mada se za limove ispod 1.5 mm ponekad koriste mešavine argona sa manjim procentima reaktivnih gasova.

Za zavarivanje kratkim spojem su naročito pogodne tanje žice recimo 0.8 mm i 1.0 mm, dok recimo žica 1.2 mm i nema neki široki opseg za dobar rad u kratkom spoju.

Žice 0.8 mm i 1.0 mm dozvoljavaju da aparat brzo reaguje (samo-regulacija luka) na pokušaj promene dužine luka, dok je to teže kod debljih žica. Recimo da je za žicu 0.8 mm opseg amperaže od 100-200A pri promeni brzine žice čak 10 m/min, a za 1.2 mm samo 3.6 m/min.

Naplavlјivost (stopa depozita kg/h) je mala kod kratkog spoja.

Preput žice se kod ovog transfera kratkim spojem drži malim (6-12 mm) a dizna je ili izbačena par milimitara iz šobe do par milimetara uvučena u šobu, zavisno od amperaže i konstrukcije pištolja i mogućnosti nabavke dizni i šoba različitih dužina i strpljenja zavarivača da menja dizne i šobe prema svakom konkretnom zavarivanju.



Šoba van dizne za zavarivanje kratkim spojem.

Ovo „šoba van dizne,, je naravno „lapsus“ koji je stajao ovde neprimećen nekoliko godina. Tek 26.07.2018. sam dobio sms poruku od Miodraga (063/330.....) koji mi je skrenuo pažnju na grešku. Hvala puno Miodraže, i slobodno ko vidi neku grešku neka mi javi. Ovde treba da stoji „dizna van šobe,, kao što se i vidi na slici.

Amperaže su male, protok gasa je relativno mali, prepust žice je mali, ništa se ne gubi na gasnoj zaštiti, tako da je ovo jedna od pametnijih stvari pri zavarivanju kratkim spojem. Vidljivost i kontrola prepusta žice tokom zavarivanja se povećavaju nekoliko puta, ne mora da se krivi glava ili da se vari napamet.

Ipak, postoji situacija kada se u praksi pokazuje da je bolje da je dizna uvučena u šobu, bez obzira što se radi transferom kratkog spoja. To su auto-linarski i slični poslovi. Oni često vare bez maske, nanišane žicom u tačku koju vare, pa pošto šoba zaklanja luk, jer je dizna uvučena u šobu, luk ih ne zaslepi. A pošto vare „tačkasto“ nema ni potrebe da gledaju u putanju vođenja pištolja.

Kontrolom indukcije (kod aparata koji je imaju) se smanjuje prštanje, i produžava vreme aktivnog gorenja luka pa je veća indukcija povoljnija za deblje materijale i one sa većim površinskim naponom rastopljenog metala. (O indukciji malo kasnije).

Zbog činjenice da je ovo najčešće korišćeni i samoukima jedini poznat režim MIG/MAG zavarivanja a već je rečeno da je unos toplote mali, često se dešava da ako dozvolite takvom samoukom zavarivaču da Vam odradi posao, da će pokušati ovim režimom da odradi bilo koju debljinu materijala. A luk je hladan jer se radi sa niskim parametrima 50-180 A i 15-22 V i plus se luk pali i gasi 100-200-tinak puta u sekundi). Zbog toga na debljim materijalima nema penetracije, uvarivanje je plitko i čvrstoća spoja je ispod dozvoljene.



Opasnost od korišćenja kratkog spoja na debelim komadima.

Možda spolja vizuelno izgleda OK, ali nema penetracije u zidove. Zbog ovog mogućeg problema, pri atestacijama zavarivača ili kvalifikacijama tehnologije zavarivanja, koristi se savijanje uzorka da se proverí da li došlo do dobre penetracije ili samo do nalepljivanja.

Zato je negde celo MIG/MAG zavarivanje izašlo na loš glas da daje „slabe i nepouzidane varove“ i neke industrije ga ne prihvataju. Prosto deblji materijali i obojeni metali se moraju raditi režimom u spreju ili pulsu.

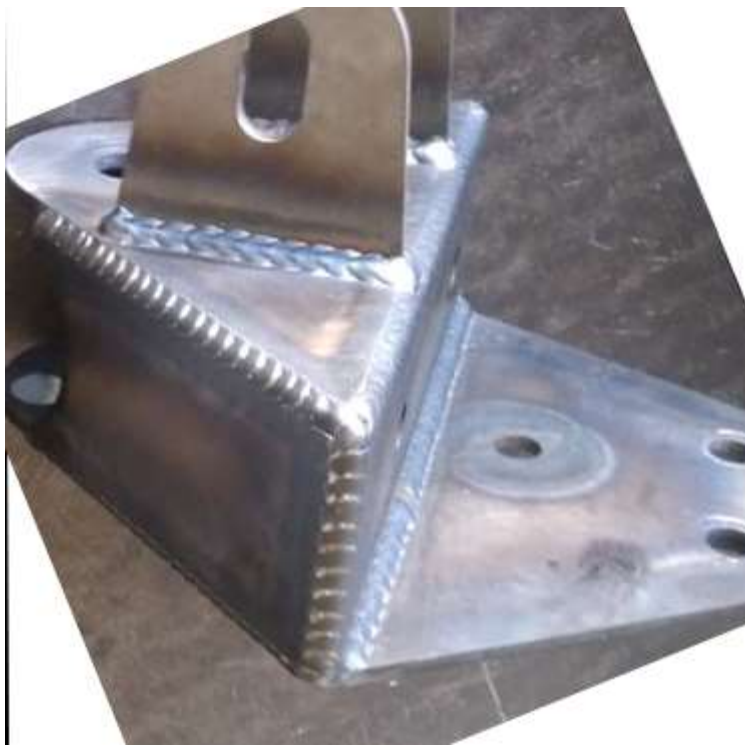
U principu problemi sa režimom kratkog spoja se tiču lošeg podešavanja parametara, lošeg izbora prečnika žice, zavarivanjem neobrušenih površina, zavarivanjem debljina preko 5 mm iako ovaj transfer nije namenjen za te debljine... Ipak „poznavanjem šta se dobija štelovanjem“ svakog parametra posebno se može na dobrom aparatu postići perfektan rezultat.

Zbog činjenice da postoji kratak spoj tj dodirivanje žice i metala vara, kao i kasnije slivanje kapljice sa žice u metal vara, neminovno dolazi do nekog prštanja. Ključ za minimizaciju prštanja je podešavanje aparata tako da je napon minimalan (a dovoljan, da se žica ne nabija u materijal) a broj kratkih spojeva najveći (tada su kapljice koje se odvajaju sa žice po dimenziji najmanje), što se nađe podešavanjem brzine žice u regionu oko „slatke tačke“. (Npr, za žicu SG2 prečnika 0.8 mm, broj kratkih spojeva je najveći, tj slatka tačka je na oko 4.2-5.0 m/min).

Naročito treba napomenuti da je podešavanje voltaže kritično jer se lako može ispasti iz opsega stabilnog zavarivanja, nekad je u pitanju 1 V. Naročito ako se podesi veća voltaža od optimalne, luk postaje dugačak, kapljice prekrupne, nekad čak explodiraju u vazduhu pre kratkog spoja ili tokom kratkog spoja, velika kapljica kada bućne u metalno kupatilo izazove veliko prštanje, broj kratkih spojeva je manji, a zvuk od lepog zujanja postaje „fljafljiv“ (kako je ovaj zvuk neko opisao).

Sam aparat može biti problem jer često, barem stariji jeftini aparati, imaju samo 4-5 podeoka za podesavanje voltaže što je ipak nedovoljno za ceo spektar debljina materijala 0.8-4 mm. Da ne pričamo što ih samo marketinški prave jakim (npr reklamiraju ih kao 150-160-180A a stvarna intermitenca je 10%

na tim amperazama). S obzirom da se rade tanki limovi, da su zavari najčešće kratki, da se mora stajati zbog opasnosti od progorevanja zbog unete toplote, neki orijentir bi bio kupiti aparat koji ima što više podeoka za napon sa intermitencama 20-30%-tak posto na 140-150-160-180A (u zavisnosti od željenih debljina materijala za zavarivanje)... U principu, najjeftiniji aparati nemaju podešene najbolje kombinacije brzina žice, voltaže, indukcije i nagiba krive za perfektno stabilno zavarivanje u kratkom spoju pa je pametno izdvojiti malo više novca za dobar aparat.



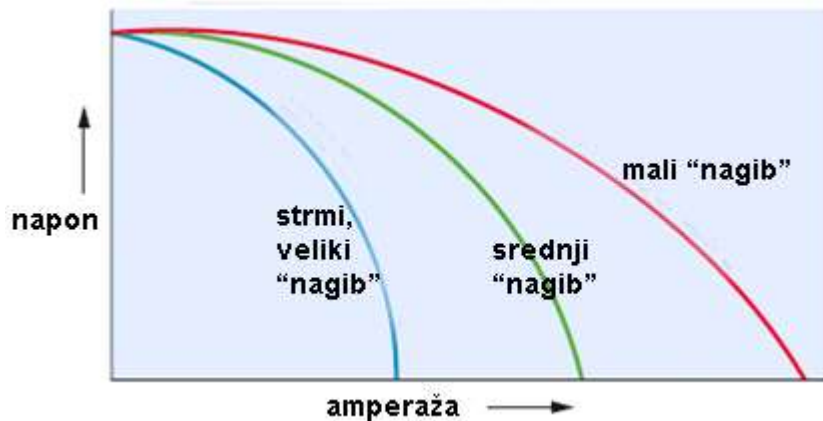
Slika gusenica dobijenih kratkim spojem, spiralnim vođenjem, vučenjem pištolja.

Zavarivači koji vladaju zavarivanjem kratkim spojem vole da ostave svoj potpis. Ovo izaziva velike rasprave. Ove „ripne“ su potpis zavarivača, dokaz njegove koncentracije i posvećenosti poslu. Međutim inženjerima i inspektorima se ne sviđa kao ni gazdama. Ovima prvim zbog toga što se koriste slabije struje i mala indukcija pa postoji opasnost od nalepljivanja, kao i činjenica da svaki onaj prelaz može predstavljati koncentraciju napona. A ovim drugima, radi se sporije, gleda se neka lična estetika a ne produktivnost, znači troši se više gasa, manje se posla završi za isto vreme...

Postoje još dve „**karakteristike**“ aparata za MIG/MAG zavarivanje koje se nazivaju **dinamičkim**, jer se odnose kako aparat u delićima sekunde kontroliše odvajanje kapljice sa žice tokom kratkog spoja. Ove dve karakteristike se zovu „**nagib**“ (slope na engleskom) i „**indukcija**“ (neki zovu i impedansom). U zavisnosti kako su one isprojektovane, tako će aparat biti bolji ili lošiji. Nekada davno su aparati imali i podešavanje „slope“ komande, ali danas je to retkost već je nagib uglavnom fixan, a podešavanje indukcije je danas ili nepostojeće (fixna je) ili postoje 2-3 ulaza za masu sa različitim indukcijama (staromodni tip aparata), ili se kod modernih i indukcija može podešavati kontinualno.

Nagib.

Ova funkcija je bitna i kod spreja i kod kratkog spoja.



Nagibi (slope u engleskoj stručnoj literaturi).

Amperaža kratkog spoja (kada je napon jednak 0) je daleko veća od amperaže na displeju. Radi se o amperaži koja se postiže par stotina puta u sekundi tokom kratkog spoja, a na displeju aparata se pokazuje srednja amperaža između amperaže luka i amperaže kratkog spoja.

Od toga kako je kod konkretnog MIG/MAG aparata podešen „nagib“ U-I (strujno naponske krive) zavisi koliko će vrednost kod zavarivanja kratkim spojem dostići amperaža da bi odvojila kapljicu sa žice tj prekinula kratak spoj i vratila luk na dužinu određenu podešavanjem napona na komandnoj tabli. Kako je rečeno ranije, pri kratkom spoju, rastopljena kapljica sa žice dodirne metalno kupatilo i napravi kratak spoj. Napon padne na nulu a amperaža kreće da raste izuzetno brzo. Koliko brzo (brže ili sporije) će rasti zavisi od prigušnice tj indukcionog kalema ugrađenog u aparat (to je ona indukcija). Ali se postavlja pitanje do koje će vrednosti amperaža rasti. Da li će rasti do 350A u nekom konkretnom slučaju ili do 500A ili do 600A, e to zavisi od karakteristike aparata zvanog nagib CV krive (tj slope na engleskom).

(Proizvođači aparata ne vole da daju podatke o maksimalnim amperazama kratkog spoja, smatraju to svojom tajnom, ali recimo npr konkretno proizvođač jednog dobrog 280A aparata, je naveo da je maksimalna amperaža kratkog spoja 520A. Taj aparat ima „synergic“ podešavanje, pa sam kompjuter u aparatu određuje na kojoj amperaži će se desiti odvajanje kapljice pri kratkom spoju).

Sa gornje slike se vidi da kada je napon 0 (trenutak kratkog spoja), moguće su različite amperaže tokom kratkog spoja. Aparat prema svom fixnom „nagibu“ ili podešenom „nagibu“ dostiže neku amperazu kratkog spoja. Slikovito rečeno, ako je „nagib“ mali, tokom kratkog spoja se dostiže neka vrlo velika amperaža. Ta vrlo velika amperaža u principu silovito otkida kapljicu žice, uz mikro-exploziju, izazivajući veliko prštanje. Zato ta amperaža kratkog spoja mora biti kontrolisana. Pa recimo da je „nagib“ dobro projektovan od strane proizvođača i neka se otkidanje kapljice dešava na nekoj umerenoj amperaži (srednji „nagib“). Tada je odvajanje kapljice glatko, bez prštanja, broj kratkih spojeva je optimalan... Ali ima jedan problem, nisu svi metali istih elektro-provodnosti i istih temperatura topljenja. Praksa pokazuje da je taj „normalan“ nagib sasvim dovoljan za glatko odvajanje kapljice kod običnog čelika i donekle kod aluminijuma, ali zbog loše elektroprovodnosti nerđajućeg čelika, ovo je još uvek velika amperaža kratkog spoja i dovodi još uvek do neprihvatljivog prštanja. Zato je za nerđajući čelik potreban neki strmiji „nagib“ da bi se dobilo glatko odvajanje kapljice sa žice bez prštanja.

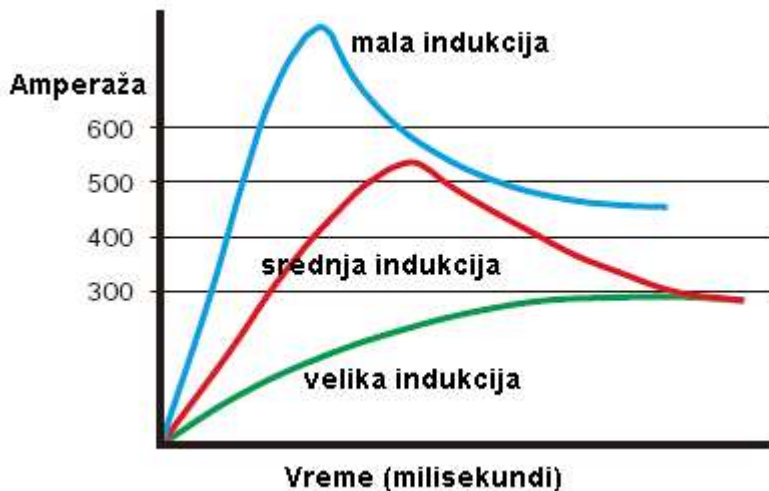
Pored ostalog, ovo je razlog zašto aparati sa fixnim „nagibom“ dobro rade običan čelik a loše nerđajući, zato što je neko projektovao „nagib“ da bude maksimalno dobar za običan čelik, a nije ga interesovalo zavarivanje nerđajućeg. Ili to je razlog zašto se aparatima sa „synergic“ podešavanjima nerđajući čelik lepo vari kratkim spojem, zato što kompjuter za nerđajući čelik izabere strmiji nagib.

Nagib kod spreja nema toliku ulogu, osim pri paljenju luka jer se tada dešava kratak spoj. Ako je nagib previše strm, dešava se da žica udara u metal bez paljenja luka uz prštanje. A ako je nagib mali, dešava se da je paljenje luka teško uz moguće zalepljivanje žice za diznu tokom paljenja usled ogromne amperaže koja „pojede“ žicu pri paljenju sve do dizne i tu je zalepi.

Takođe ako je nagib strm, kod lošijih aparata sa fixnim nagibom, postoji problem sa zavarivanjem punjenom žicom, jer često na većim parametrima zavarivanja (veća brzina žice i veći napon) zbog velike strmosti nagiba, ne može se ostvariti potrebna dužina luka za stabilno zavarivanje sa sitnim kapljicama koje se stabilno i jednoliko odvajaju sa žice. Od ovog problema su patili stari invertorski aparati, koji su imali deklarisan potrebne parametre u katalogu, ali u realnosti zbog strmog nagiba nisu mogli dobro raditi punjenim žicama.

Indukcija.

Ova funkcija (nekad se zove prigušenje ili čok) je aktivna tj ima svoj smisao kod zavarivanja kratkim spojem.



Brzina kojom amperaža kratkog spoja raste.

Može rasti „brzo do velikih amperaža“ (mala indukcija – na slici) a može rasti „sporo do malih amperaža“ (velika indukcija – na slici).

Često se naziva „prigušenje“ jer se postiže indukcionim kalemom u aparatu zvanim „prigušnica“.

Kod kratkog spoja se dešava da rastopljena kap sa žice dodirne metalno kupatilo na materijalu i napravi kratak spoj. Napon pada na nulu i ako bi CV mašina trenutno odgovorila amperaža bi krenula da raste izuzetno velikom brzinom i najverovatnije bi tokom samog kratkog spoja rastopljena kapljica explodirala i to bi bilo zavarivanje sa velikim prštanjem.

Kontrolom indukcije (impedanse) se postiže da pomenuti rast bude brži ili sporiji (tj pre svega sporiji), a fizički se ostvaruje uvođenjem dodatnog kalema (induktivne otpornosti) u strujno kolo (obično i još jedan otpornik). U slučaju debljih žica (pre svega prečnika 1.2 mm) je posebno bitno da taj rast amperaže bude sporiji jer inače može da se desi da porast struje bude tako brz i silovit da velika rastopljena kapljica, umesto da se glatko odvoji sa vrha žice i slije u kupatilo, u stvari explodira i napravi veliko i neprihvatljivo prštanje. (Ovo i jeste slučaj sa lošim aparatima ili slučaj lošeg podešavanja aparata u nekom konkretnom slučaju).

Najlakše je indukciju opisati kao kontrolu „brzine porasta amperaže tokom kratkog spoja“. Dodavanjem indukcije, brzina porasta struje je (mnogo) duža.

U elektrotehnici se ukupna otpornost, omska i indukciona zovu impedansom strujnog kola. U ovom slučaju za kontrolu porasta amperaže, tj za sporiji rast amperaže uvodi se indukcioni kalem sa otpornikom u strujno kolu. U njemu se stvara elektromagnetno polje koje stvara dodatnu otpornost tj struju suprotnu samoj struji zavarivanja. Zato će porast struje biti sporiji. Ovim dodavanjem indukcije se postiže sporiji rast struje kratkog spoja, smanjenje broja kratkih spojeva i povećanje vremena gorenja luka (u režimu zavarivanja kratkim spojem luk se pali i gasi, već rečeno 50-250 puta u sekundi). Tako možemo sabrati sva vremena dok je luk ugašen tj postoji kratak spoj i sva vremena dok je luk upaljen. Povećanjem indukcije strujnog kola, vreme postojanja luka je veće, samim tim je veća i toplota koju luk stvara a za isto podešene parametre brzine žice i voltaže. Pri tome je rastopljeni metal fluidniji, bolje se razliva a uvarivanje je dublje (što je dobro za deblje materijale, ali loše za tanke zbog mogućeg progorevanja).

Drugim rečima razlivanje se povećava/smanjuje indukcijom. Povećanje indukcije je vrlo korisno kod žica prečnika 1.0 mm i 1.2 mm kao i kod materijala koji imaju veći površinski napon u rastopljenom stanju, pa im treba više toplote za razlivanje (a što se postiže dužim gorenjem luka, radi veće toplote na rastopljeni metal).

Žicama prečnika 0.6 mm i 0.8 mm koje daju veći broj kratkih spojeva u sekundi od žica 1.0 mm i 1.2 mm, i omogućavaju izuzetno brzu reakciju CV mašine, nije potrebna velika indukcija, jer je sama omska otpornost žica 0.6 mm i 0.8 mm dovoljno velika da vrši prigušenje porasta struje. Zato se dešava da aparati iz samogradnje budu OK pri zavarivanju ovim žicama. Prosto velika omska otpornost žica 0.6 mm i 0.8 mm pobeđuje nesavršenost uradi-sam aparata.

Za svaki materijal žice, za svaki prečnik žice, za svaku brzinu žice postoji neki optimalni broj kratkih spojeva (nazvano područjem „slatke tačke“) ali takođe za sve njih postoji i neka optimalna vrednost impedanse (indukcije) koja i čini ono područje „slatke tačke“ slađim.

Ako je za neku žicu, nekog prečnika, pri nekoj brzini žice indukcija premala desiće se veliko i nekontrolisano prštanje. A ako je indukcija prevelika, desiće se da amperaža neće rasti dovoljno brzo da bi između kratkih spojeva topila tj sagorevala žicu pa će se žica nabijati u materijal.

Savremeni elektronski aparati dobrih proizvođača imaju perfektno podešene indukcije za svaki materijal, prečnik brzinu žice i omogućavaju „gladak luk“ tj odvajanje kapljice glatko, bez prštanja.

Indukcija nema ulogu u zavarivanju sprejom, jer već rečeno ona kontroliše brzinu porasta struje kod kratkog spoja, a kod spreja nema kratkog spoja.

Izuzetak je samo paljenje luka, jer kod spreja se samo tada dešava kratak spoj, pa je za bolje paljenje luka kod spreja poželjno podesiti što manju indukciju osim kod aluminijuma gde je ipak bolje dodati malo indukcije za bolji i mekši start.

Evo i karikirani primer šta se postiže perfektnom indukcijom:

1) Zamislite neku veliku kuglu obešenu sajlom i gde je jedan kraj kugle malo umočen u mirnu vodu. Zamislite da naglo presečete tu sajlu. Kugla će velikom brzinom upasti u vodu, ima da bučne i da isprska sve okolo. Zamislite to isto ali umesto da neko seče sajlu, da počne ovu sajlu da polako otpušta i da kugla vrlo polako klizi u vodu. Gotovo bez prštanja. E ovo je otprilike karikiran opis funkcije impedanse/indukcije.

Tanje žice (npr 0.8 mm) pri zavarivanju kratkim spojem postižu veći broj kratkih spojeva u sekundi od žica 1.0 mm i 1.2 mm. Sama omska otpornost žice 0.8 mm je toliko velika da maltene nije potreban pomenuti indukcionni kalem i posebno proračunat nagib da bi se ostvarilo stabilno zavarivanje u kratkom spoju sa prihvatljivo malim prštanjem. Pomenuta omska otpornost je toliko velika da sama praktično zaustavlja eksplozivno odvajanje kapljice sa vrha žice. Broj kratkih spojeva je veliki, vreme gorenja luka je malo, pa je i uneta toplota u materijal mala, pa su ove žice 0.6 mm i 0.8 mm jako zgodne za zavarivanje tankih limova.

Ali kada se pokuša ovim žicama zavarivati deblji preseki dolazi do problema sa penetracijom i nalepljivanja. Zavarivač ponekad pomisli da je potrebno da sporije vodi pištolj ali u stvari umesto da se desi veća penetracija, hladan rastopljeni metal se naliva u slojevima jedan preko drugog. Iz tog razloga treba razumeti da žice 0.6 mm i 0.8 mm imaju svoje praktično ograničenje kada je u pitanju debljina materijala. Prosto, luk se pali i gasi mnogo puta, luk je hladan i odličan za tanke limove i sprečavanje progorevanja, ali već preko debljina 3 mm nisu dobar izbor. Primena takozvanog pravila 40A za 1 mm je ovde potpuno besmislena, jer amperaža nije konstantna, luk se pali i gasi, a plus CV mašina brzo spušta i podiže amperažu da bi se zadržala podešena dužina luka.

Žice debljih prečnika (1.0 mm i 1.2 mm) imaju manju omsku otpornost i pri kratkom spoju amperaža veoma brzo raste, zato taj porast treba prigušiti pomenutom indukcijom. Veća indukcija povećava i vreme aktivnog gorenja luka tj njegovog dejstva na široku zonu rastopljenog metala pa će metalno kupatilo biti tečljivije i zato profil gusenice biti ravniji. U principu, koja je vrednost indukcije dobra, kada su u pitanju deblje žice, merilo je upravo geometrija tj ravan i gladak profil lica šava.



Uočiti da je „srednja“ amperaža veća kada je indukcija veća i da je broj kratkih spojeva manji kada je indukcija veća. Zato su tada profili nadvišenja gusenice ravniji i pogodniji za zavarivanje debljih profila. I obrnuto zavarivanje tanjim žicama ili sa manjom indukcijom je pogodno za zavarivanje tankih limova.

Podešavanje indukcije radi dobijanja što stabilnijeg transfera tj zavarivanja bez prštanja je takođe potrebnije u čistom CO₂ gasu nego recimo u mešavini Ar+CO₂.

Zbog toga što veća indukcija smanjuje broj kratkih spojeva, zvuk je mekši, pa se i opisuje sa „mekši luk“ i kada je broj kratkih spojeva veći (manja indukcija) onda se kaže da je „luk oštar“. Da ne bude zabune, luk mora biti stabilan, bio mekši ili oštiji.

Na novim aparatima, proizvođači koji znaju da naprave dobar aparat, imaju ugrađene kontrole pomenutih indukcija i nagiba. Čak, pošto recimo veća indukcija dovodi do lošijeg paljenja luka zbog sporog porasta amperaže posle kratkog spoja, recimo paljenje je odvojeno, tj luk se uvek pali oštirim kratkim spojem a onda indukcija omekšava luk. Naravno ovo ima za posledicu da neki proizvođači aparata insistiraju da paljenje luka (koje je uvek kratkim spojem) optimizuju za svaki materijal posebno, pa možete sresti da se kod nekih aparata luk lepo pali na svaki materijal (crni čelik, nerđajući, aluminijum...) na svakom prečniku žice, a kod nekih se može osetiti da negde luk štucna, negde dolazi do eksplozije kapljice koja prsne i po par metara.

Neki noviji, elektronski aparati imaju mogućnost kontinualnog podešavanja indukcije a prostiji nemaju.

Aparati sa trafo izvorom struje podešavanje indukcije imaju preko nekoliko izvoda sa prigušnice tj indukcionog kalema na masu, kao recimo ovaj sa slike:



STEL SKY MIG 453K (Synergic)

Uočiti u donjem desnom uglu 2 izvoda za masu, prikazanih sa jednim talasom (mala indukcija), 2 talasa (velika indukcija). Masa se ubada u onaj izvod gde je najbolje da bi se dobilo najstabilnije zavarivanje u kratkom spoju.

Znači, žici 0.8 mm nije potrebna indukcija, pa ubosti u izvod označen sa jednim talasom. A za rad u CO2 gasu žicom 1.2 mm ubosti masu u izvod sa 2 talasa.

Postoji i „snađi se“ način za podešavanje indukcije. Pošto indukciju čini kalem, radi dobijanja indukcione otpornosti, nekad, neki omotaju kabl mase u kalem recimo oko drške za metlu i na taj način kod lošijih aparata dobiju stabilnije zavarivanje u CO2 gasu žicama 1.0 mm i 1.2 mm.

Sada je malo jasnije zašto su neki aparati dobri a neki loši. Zašto se sa nekim postiže perfektno zavarivanje bez prštanja a sa nekim se ne može izbeći prštanje. Zašto se kod nekih može naći lako područje slatke tačke tj zavarivanje sa glatkim odvajanjem kapljice bez prštanja a kod nekih se nikada ne može naći. Zato nisu svi CO2 aparati isti. Jedni su bolji od drugih. A ovi bolji su naravno najčešće skuplji od ovih lošijih.

Takođe, naročito kod jeftinijih aparata sa fixnim i indukcijom i nagibom, može se primetiti da jedan ima oštiji luk, dobar za tanje materijale a malo lošiji za deblje zbog lošijeg razlivanja, a drugi daje mekši luk koji bolje razliva, ali zato progoreva tanak materijal.

Pri izboru jeftinijih aparata, treba probati aparat i na tanjem i na debljem materijalu i izabrati aparat prema onome šta će se najčešće zavarivati.

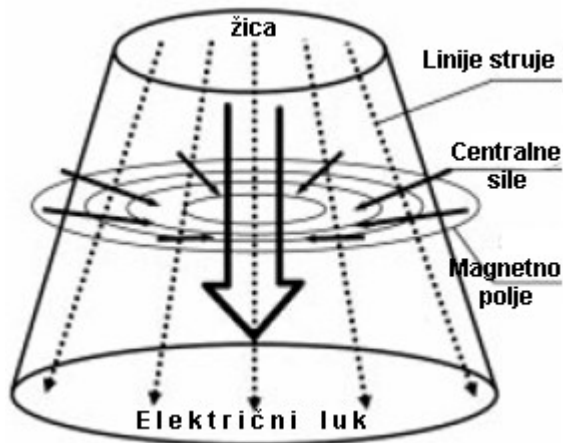
Zavarivanje u spreju

Originalno, MIG je izmišljen za zavarivanje u spreju i to aluminijuma. Međutim, zavarivanje u spreju još nije potpuno poznato široj populaciji, prosto jer je većina navikla na aparate niže klase tj nižih amperaža kao i samo na CO2 gas a nikada nisu radili jakim aparatima i sa mešavinama argona i CO2.

Da bi se postigao sprej mora aparat biti sposoban da isporuči min 25 V pri većim brzinama žice (samim tim i većim amperažama), kao i mora da se koristi gas sa velikim sadržajem argona (**sadržaj argona u mešavini za sprej mora biti min 80%**, zato su npr za sprej za crni čelik najbolje mešavine 82%Ar+18%CO2, 92%Ar+8%CO2 ..., barem u Evropi). To su **obavezni** uslovi za sprej transfer.

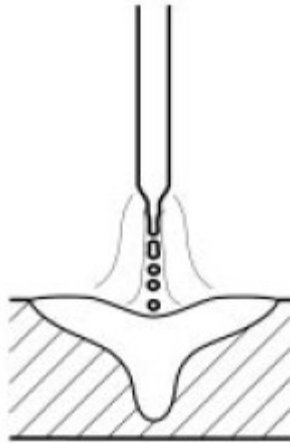
Govoreći samo o MIG/MAG zavarivanju crnih čelika (najpravilnije reći samo MAG zavarivanju čelika), aparat mora biti preko 250A, a sam proces zavarivanja u spreju bi trebao biti prvi izbor pri zavarivanju debljina preko 4-5 mm.

Mehanizam spreja je sledeći:



Jaka amperaža koja prolazi kroz žicu stvara jako elektromagnetno polje koje stvara Lorencove centralne sile koje deluju ka centru žice i štípaju žicu, deluju kao makaze i kidaju je („pinch efekat“) na mestu rastopljene kapljice jer je tada tu žica slaba

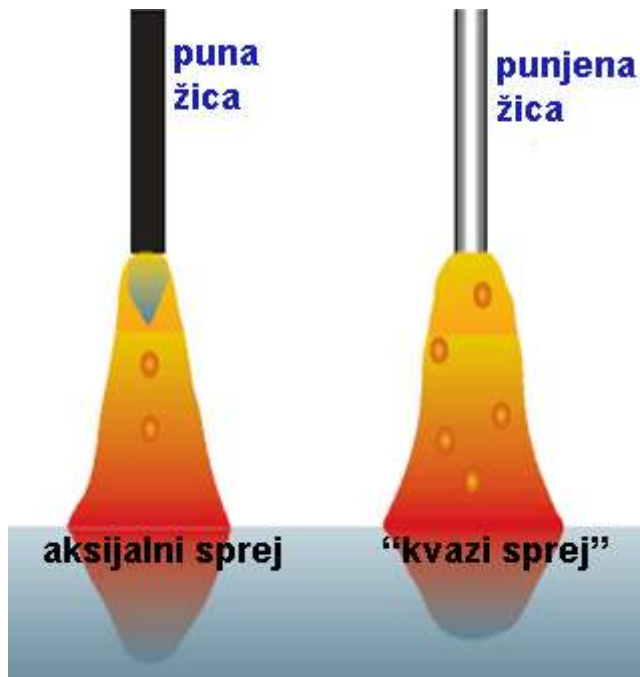
“Pinch” efekat u gasu sa više od 80% argona. Sile štípaju i otkidaju jednu po jednu sitnu kapljicu.



Sprej tj struja finih kapljica niz luk, slikano brzom kamerom i ilustracija.

Uočiti da je vrh žice šiljat i tanak i da ga plazma obavija, pa ga „štupa i otkida kaplicu sa njega“.

Uočiti da jonizovani gas tj plazma tj luk ima oblik zvona pri sprej transferu. To se vidi i okom pri zavarivanju.



Osim aksijalnog spreja tipičnog za žice punog poprečnog preseka, postoji i tzv kvazi sprej, npr kod punjenih žica, gde se fine kapljice ne prenose duž ose žice već duž celog luka.

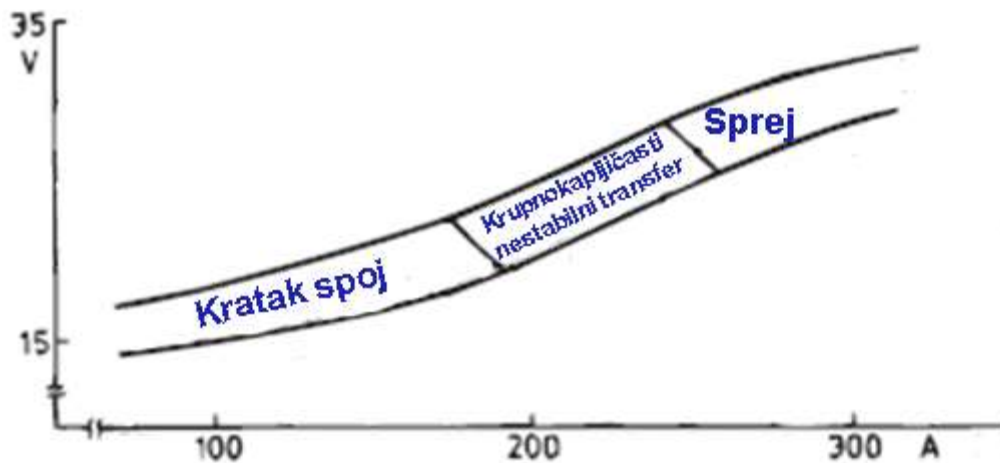
Plazma koju stvara argon je široka i obavija vrh žice, koji tada postaje šiljat. Poznato je iz elektrotehnike da kada kroz neki provodnik protiče struja, oko provodnika se formira elektromagnetno polje, u obliku koncentričnih krugova oko provodnika. A u tom elektromagnetnom polju se stvaraju centralne sile, tzv

Lorenove sile koje deluju ka centru provodnika, u ovom slučaju žice. Pošto je žica na vrhu i tanka i rastopljena, njena čvrstoća je mala, pa je Lorenove centralne sile seku kao makazama. Pošto je dovod žice automatski tj jednoličan, u pravilnim razmacima će se desiti kidanje jedne kapljice, formiranje druge na vrhu žice i njeno slabljenje i kidanje, tako da niz osu žice teče struja finih kapljica propelirana elektrodinamičkim silama. Kapljice se ne sudaraju, već u nizu putuju jedna iza druge, male su, ne eksplodiraju duž luka...

Ono što je bitno napomenuti, ne može se sprej transfer odigrati po želji. Za to su potrebni uslovi... A najkraće rečeno praktičnim jezikom, aparat mora biti „potentan“, jer se recimo za crni čelik sprej u najčešće korišćenom gasu Ar+18% CO₂ za žicu 1.0 mm dešava na strujama preko 220A i naponu preko 25V. Za žicu 1.2 mm to je još i više, recimo preko 260A-280A... Ako uzmemo da aparat treba da radi a ne da prekida rad zbog pregrevanja, ispada da za komforno zavarivanje u spreju treba imati 300A ili jači aparat.

Dalje, gas u kome se sprej razvija mora imati više od 80% argona, jer sprej nije moguć u čistom CO₂ gasu (biće objašnjeno kasnije).

Zanimljivost: Sada Vam je jasno zašto je najpopularniji gas u Evropi Ar+18%CO₂. Zato što se u tom gasu može raditi u stabilnom kratkom spoju a i stabilnom spreju. A sprej se postiže pri sadržaju argona preko 80% tj min 80%Ar i max 20%CO₂... A pošto ne postoje nikada apsolutni brojevi, već samo relativni u okviru nekih tolerancija, zato je standardom propisano punionicama gasa da sadržaj CO₂ može biti 18% +/-10% a to će reći najgora a dozvoljena šarža isporučene mešavine C18 (Ar + 18%CO₂) će sadržati 80.2% Argona i 19.8% CO₂ čime je zadovoljen uslov da će taj gas uvek moći razviti sprej.



Da bi se došlo do spreja treba „žestoko“ podići parametre a paziti da se ne izađe iz intervala tolerancije stabilnog zavarivanja

Ovde se vidi još jedan problem. Kada neko neupućen u sprej a vičan zavarivanju kratkim spojem, krene da podiže parametre, dešava se sve gore i gore situacija, tj sve gore i gore prštanje, nalepljivanje, pa onda odustane od experimentisanja...

Da bi se ušlo u sprej potrebno je preskočiti ovo područje nestabilnog krupnokapljicaog transfera, a da bi se preskočilo, potrebno je za svaki gas (naravno sa više od 80% Ar), za svaki prečnik žice, za svaki materijal žice **ZNATI** gde su počeci tih prelaznih zona tj počeci spreja.

Ovde se vidi da značaj znanja podešavanja parametara kod MIG/MAG zavarivanja daleko prevazilazi „veštinu“. Toliko je znanje bitnije da je moguće od robota (neživog stvora) napraviti najboljeg MIG/MAG zavarivača.

Osim **znanja** gde je početak spreja, potrebno je **znati** i gde su granice napona i amperaže svakog transfera (tj pravilnije reći brzine žice, prepusta žice...) za svaku žicu i prečnik žice.

Sprej se odlikuje potpunim odsustvom prštanja, čuje se samo prijatno šuštanje, nema nikakvog praskavog zvuka.

Npr za običnu CO₂ žicu (tip SG2 tj ER 70S-6 tj G3Si1), prečnika 1.2 mm, za rad u gasu 82%Ar +18%CO₂ sprej se postiže na preko 270A i 25V. Zbog ogromnog unosa toplote, praktično se sa ovom 1.2 mm žicom u spreju mogu raditi samo debljine preko 5 mm zbog opasnosti od progorevanja tankih delova...

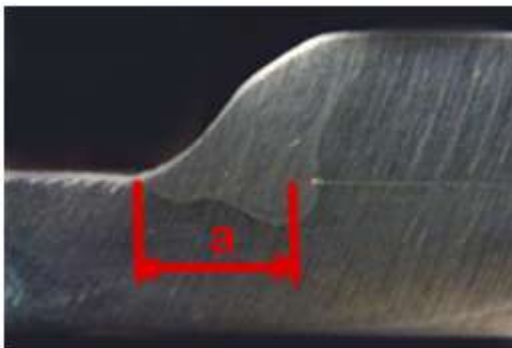
Praktična upotreba spreja je do nekih 350A pri manuelnom zavarivanju. Sve preko 350A bilo 1.2 mm žicom bilo 1.6 mm dovodi do problema. Tečljivost kupatila je velika, a kupatilo ogromno po dimenzijama pa ga je teško kontrolisati pogotovo čitavo radno vreme. Postoji i opasnost od zajeda. Unos toplote je toliki da dolazi do pogrubljenja zrna i pada mehaničkih svojstava. Ogromna rastopljena površina i usijana okolina ne mogu uspešno biti štícena gasom tj ostaje van zaštite gasa i reaguje sa atmosferom, stvara okside i smanjuje mehanička svojstva, povećava se stepen poroznosti naročito u višeslojnom zavarivanju, pa eventualno i dolazi do prslina pri zavarivanju ukrućenih delova ili čelika sa povišenim čvrstoćama. Takođe isijavanje toplote na zavarivača je ogromno, mora se nositi kožno odelo, ili kožni

rukavi i kecelja, a takođe očekivati da će rukavice trajati svega par dana pri izlaganju amperaži od 350A...



Zavar položen sprejom je lep, gladak, penetracija tj uvarivanje je odlična time i čvrstoća spoja. Prštanja nema.

Aparat: **Sincosald Novastar 400 E Speedpuls**



Neka razumna granica za postizanje geometrije kod T spojeva (ili ugaonih) je $a = 6-8\text{mm}$ u jednom prolazu.

Kada je zahtev za $a=8\text{mm}$, zavarivač ima velike probleme nad kontrolom kupatila: mora da ostvari geometriju što visokim parametrima što sporijim vođenjem, mora da pazi da izegne zajed ali da ostvari

penetraciju u zidove, mora da ostvari gasnu zaštitu kupatila, što je često i nemoguće... i to sve tokom svih 8 sati radnog vremena (i tako iz dana u dan, iz godine u godinu...). U jednom momentu ovo postaje jako teško za radnika ali zato jako lako za robota.

Sprej ima mana i ograničenja, evo nekih tipičnih:

- Da bi sprej bio potpuno bez prštanja i čulo se samo lepo šuštanje, materijal mora biti čist, odmašćen, obrušen ako treba... Plazma sečenje ostavlja okside koje treba odstraniti.
- Potreban je dobar, jak i pouzdan aparat, sa vodenim hlađenjem, znači skuplje nego što jedan hobista može sebi da priušti.
- Ako zavarivača, koji se prvi put sreće sa sprejom a ranije radio sa kratkim spojem, ostavite nasamo, velika je verovatnoća kada dođete opet da ćete ga naći da je oborio parametre i da radi u kratkom spoju. Sprej mu je, kaže, brz, nema smisla tako raditi.
- Ipak ima izuzetaka, naročito mlađih ljudi koji se oduševе, kažu „naliva im ko iz flaše“. Još ako su stimulisani tj plaćeni po kilogramu depozita...
- Ograničen je samo na horizontalu, čak i u PB položaju ima problema nekad. Razlog je izuzetno veliko fluidno kupatilo.
- Potrebno je uložiti u odsisavanje gasova i dimova, kao i obezbediti dobru i pouzdanu zaštitu zavarivaču od radijacije toplote i isparenja (maska sa prečišćavanjem vazduha, pogodne rukavice, zavarivačko a ne bilo koje radno odelo, kecelja, kožna jakna...).

Još par napomena o spreju:

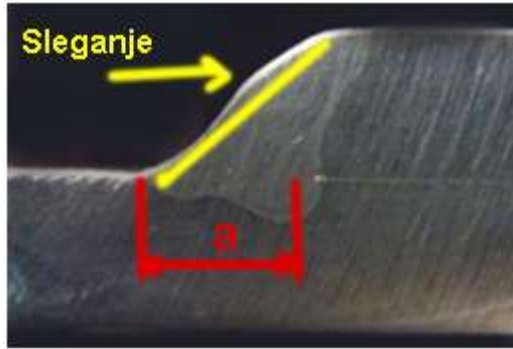
Za sprej je poželjno da je dizna duboko u šobi (3-5 mm).



Dizna uvučena u šobu, oko 5 mm.

Preput žice kod spreja je od 50% do 100% veći nego kod kratkog spoja.

Paziti na sleganje vara pri zavarivanju u PB položaju (ugaoni var ili preklopni), naročito pri zavarivanju sa 1.2 mm žicom (velika toplota, velika fluidnost kupatila, gravitacija vuče nadole...).



Sleganje usled pada rastopljenog metala zbog gravitacije, paziti da se ne izađe iz tolerancija koje standard propisuje.

Pošto su brzine žice velike, kao i amperaža i toplota, pametno je kupovati kvalitetne dizne i menjati ih posle svakog kotura žice.

Kod zavarivanja u spreju, pištolj se gura, uglavnom nema njihanja.

Za manuelno zavarivanje najbolja je 1.0 mm žica. Kupatilo je malo, lako se kontroliše, sleganje kod ugaonih šavova je minimalno. Sprej se za žicu 1.0 mm u gasu Ar+18%CO₂ postiže na preko 220A a moguće je terati sprej do 280-300A. Korišćenjem gasa Ar+8%CO₂ se ova zona početka spreja spušta.

Jedna od najbitijih karakteristika MIG/MAG procesa koja se takođe mora dobro poznavati je naplavljivost tj prinos tj stopa depozita tj „koliko se kilograma na sat naliva“. Recimo da je to npr za žicu 1.2 mm na nekim prosečnim parametrima od 300A/29V oko 5.5 kg/h. Ako zavarivač aktivno radi nekih 35% radnog vremena na primer u 8 sati, luk gori tj žica se naliva nekih 2.8 sati, ispada da je moguće da 1 zavarivač potroši kotur od 15-16 kg za smenu i da to bude perfektno.

Oblik luka je zvonast, vidi se okom.



Zvonast oblik luka, zbog energije koja je potrebna za uvarivanje ivica gusenice. Kod perfektnog spreja dužina luka je mala, možda 2-3 mm. Efikasnost energije plazme je tada najveća.

Protok gasa za sprej nije isti kao za kratak spoj, veći je. Grubo pravilo je da je za kratak spoj potrebno 10Xprečnik žice, tj za 0.8 mm žicu dovoljno je 8 l/min... ali za sprej je potrebno to grubo pravilo podići za grubo 40-50%, pa je za žicu 1.2 mm u spreju potrebno 16-18 l/min. Paziti na ovo, kada se npr heftanje vrši kratkim spojem, a popuna žljeba sprejom. Potrebno je podesiti različit protok gasa za oba slučaja.

Roboti mogu raditi u spreju i tanje preseke od 3 mm (tada najčešće sa gasom Ar+8%Co₂), prosto jer mogu raditi brzinama vođenja pištolja koje čovek ne može da postigne i time se kompenzuju visoki strujni parametri, tj ukupan unos toplote zbog velikih brzina je dovoljno mali da se izbegne progorevanje.

Na niskim parametrima spreja kapljice su krupnije skoro jednake prečniku žice ali na većim parametrima postaju baš vrlo male.

Žice punog poprečnog preseka prečnika 1.0 mm, 1.2 mm i 1.6 mm su najbolje za sprej. Žice 0.6 mm i 0.8 mm i 1.0 mm su najbolje za kratak spoj. Vidi se univerzalnost žice 1.0 mm!

Sprejom se unosi mnogo toplote, paziti na deformacije i paziti na zajede jer je luk dug.

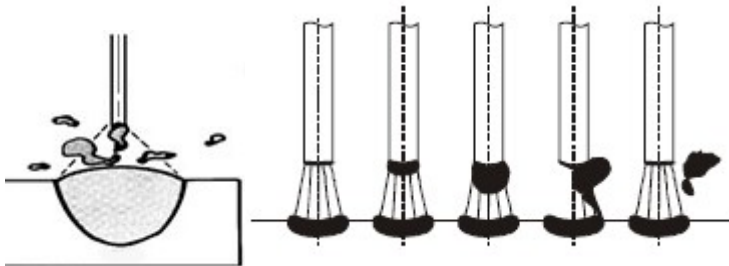
Obavezno nositi debele rukavice, kecelju, ako treba i kožno odelo. Zračenje je ogromno kao i toplota. Naročito je na udaru toplote i zračenja leva rukavica, najbliža luku, kod zavarivača – dešnjaka.

Zavarivanje krupnokapličastim / globularnim transferom

Mnogi zavarivači i nisu upoznati na kojim se strujnim parametrima odvija sprej, pa često završavaju u režimu krupnokapličastog prenosa, koji je nestabilan i osim prštanja dovodi i do niza drugih grešaka kao što su nalepljivanje i slično.

Ako izuzmemo „samozaštitne žice za zavarivanje i navarivanje“ koje nemaju drugi način rada osim u ovom režimu, pri zavarivanju žicama punog poprečnog preseka, potrebno je izbeći ovaj režim. Znači, treba pravilno izabrati gas (još jednom, u CO₂ gasu nema spreja, na većim strujnim parametrima naročito sa žicom 1.2 u čistom CO₂ gasu zavarivanje postaje nekontrolisano). Ako se izađe iz tolerancija za sprej pri podešavanju strujnih parametara, takođe je lako ući u nestabilni režim.

Mehanizam je sledeći: Delom kapljice lete na sve strane, razbacuju se, delom dolazi do kratkog spoja, pa zatim zbog nekontrolisanog porasta struja do eksplozije rastopljenog metala koji je napravio kratak spoj, delom odvajaju se velike kapljice pa bućnu u metalno kupatilo pa isprskaju sve okolo.



Sekvenca krupnokapličastog prenosa, luk gori, stvara se kapljica na vrhu žice, kapljica gore na vrhu žice pleše, kada se odvoji obično ode negde na stranu ili eksplodira ili napravi kratak spoj, ili bućne u kupatilo...

Pri zavarivanju, dešava se da brzo ove kapljice nanesu preko šobe i dizne, blokiraju delimično protok gasa, usmeravaju ga od kupatila.



Začepljena šoba zbog pucni. Svaki čas ovo mora da se odstranjuje, produktivnost pada, troši se mnogo spreja za šobe.

Zbog toga što kapljice padaju ispred kupatila, kada kupatilo naiđe na pucnu, ono je preliva i umesto da dođe do fuzije kupatila u materijal dolazi do nalepljivanja...



Ovo je rezultat nestabilnog krupnokapljicastog transfera.

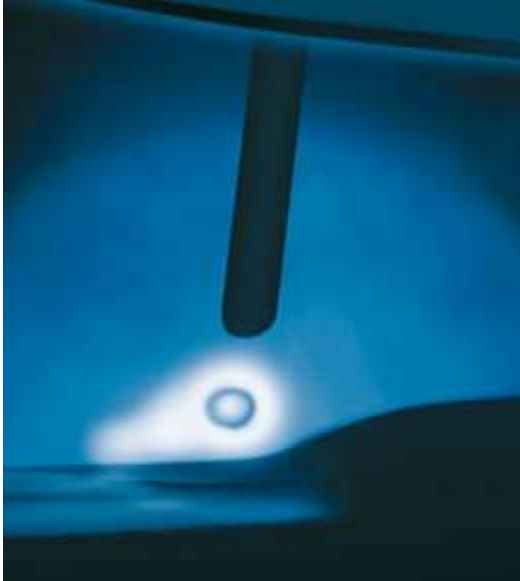
Ove kuglice neki zovu pucne, bobice, aspice, pikice...

Mnogi investitori ne dozvoljavaju ove pucne, pa onda se često dešava, umesto da se lepo podese parametri i dobije stabilno zavarivanje u spreju ili kratkom spoju ili pulsu, da se pristupa brušenju kao nečemu normalnom. Brušenje je uglavnom čisto nepotrebno gubljenje vremena i novca...

Koliko se samo para i vremena može uštedeti „znanjem“ pravilnog podešavanja parametara.

Zavarivanje pulsним režimom

Pulsni transfer je pre svega vrsta spreja. Luk je otvoren, ali umesto da se dešava aksijalna struja sitnih kapljica, dešava se da elektronika aparata kontroliše aksijalno ispaljivanje svake kapljice pojedinačno ili par kapljica u jedinici vremena. Pri tome se kontroliše i veličina i brzina jedne kapljice i posle kog vremena se odvaja naredna kapljica sa žice pošto je prehodna otišla. Neki izvori kažu da električari moraju da podese kontrolu neka 64 parametra, pa se zato ovaj režim već decenijama ne primenjuje manuelno u smislu da se svaki parametar posebno podešava. Stvorene su takozvane „sinergijske pulsne linije“, pri čemu korisnik kaže aparatu koji je gas namestio, koji materijal žice, koji prečnik i bira koju će debljinu materijala raditi. Onda kompjuter u aparatu proračuna sve parametre (pomenutih 64 ili koliko li ih već ima) i daje rezultat.

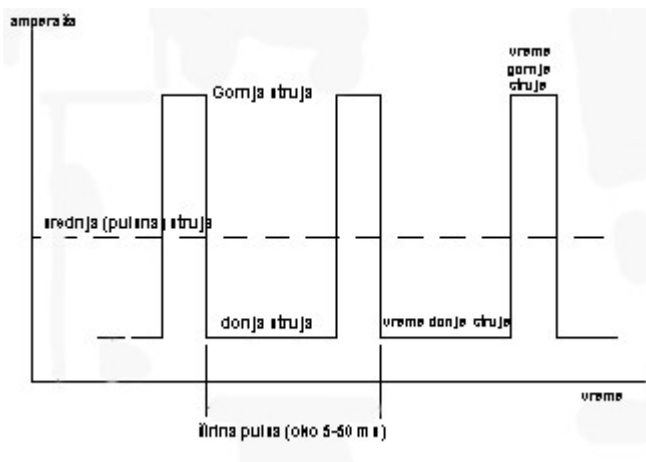


Elektronika kontroliše svaku pojedinačnu kapljicu.

Uočiti da luk postoji, da se ne gasi, što će reći radi se o specijalnoj vrsti spreja.

Prečnik rastopljene kapi sa žice je gotovo ista prečniku žice.

Amperaža pulsira, čas je jako velika i kao takva odvaja jednu kapljicu sa žice, a onda pada na malu vrednost tek da se luk ne ugasi i tako recimo 20-500 puta u sekundi.



U jednom intervalu, amperaža je jako velika npr 300 A a u drugom je recimo 50A. Ono što se vidi na displeju je srednja amperaža, recimo 120A. Naravno proizvođači „elektronski moduliraju“ ovu opštu krivu, pa je ukošavaju, zavrću, zaobljuju a sve u cilju postizanja što je moguće boljeg zavara.

Puls je izvanredan režim zavarivanja obojenih metala i nerđajućeg čelika i prvi izbor pri izboru režima.

Kada je zavarivanje crnog čelika u pitanju, i dan danas traju rasprave ima li to ekonomskog smisla. Režimom kratkog spoja se može dobiti perfektno zavarivanje do debljina 4 mm a sprejom preko 4 mm. Ipak, neki materijali zahtevaju mali unos toplote, odnosno može biti da kratak spoj daje nedovoljnu

penetraciju a sprej preveliki unos toplote koji negativno utiče na mehanička svojstva a možda i preveliku deformaciju, pa onda puls dođe kao spasonosno rešenje.

Za pulsno zavarivanje se koriste gasovi (za čelik = Ar+18%CO₂, Ar+8%CO₂, za nerđajući čelik = Ar+2.5%CO₂, za aluminijum = čist argon...) koji razvijaju sprej transfer. Još jednom sprej i puls nije mogući kod čistog CO₂ gasa.

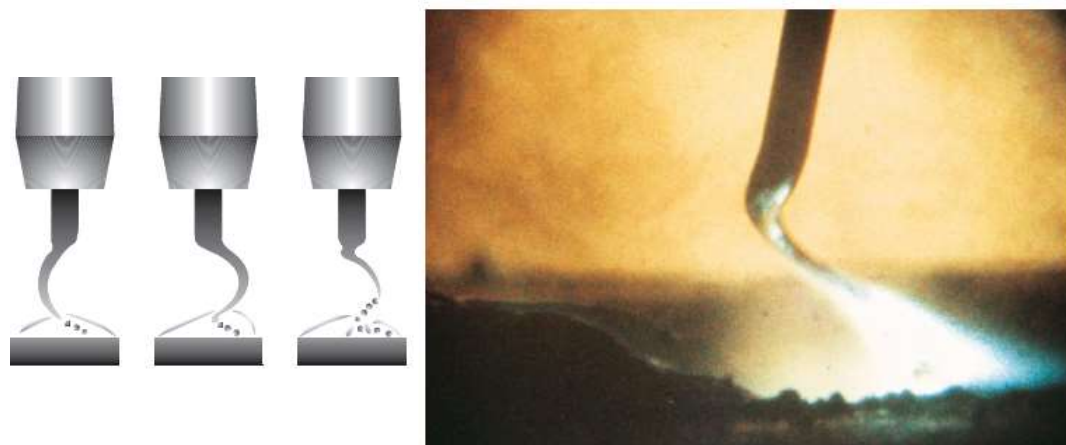
Jedno od zanimljivih primena je tzv MIG-brazing tj zavarivanje pocinkovanih limova u auto-industriji žicama tipa CuSi3. Radi se u stvari o lemljenju MIG postupkom



Zavarivanje pocinkovanih limova u auto industriji i makro isečak vara.

Zavarivanje rotirajućim lukom

Pri većem povećanju strujnih parametara, amperaže (tj brzine žice) i napona (preko 35V i preko 450A), dešava se fenomen da luk počinje da rotira. Još uvek se radi o jednoj vrsti stabilnog sprej transfera.



Izgled rotirajućeg luka. Vide se sitne kapljice koje se ravnomerno razbacuju niz luk.

Ako se stvore uslovi, pogodnom kombinacijom gasova (npr Ar +5%O₂ ili slično), velikih brzina žica (preko 15 m/mm) što bi odgovaralo amperažama preko 450A i velikim voltažama (preko 40V) i velikim prepustima žica (preko 20 mm) dešava se sledeće.

Veliki prepust žice je izložen velikoj amperaži, pa se usled velike omske otpornosti stvara velika toplota koja rastapa dobar deo slobodnog kraja žice. Usled jake amperaže se javljaju jake elektrodinamičke sile koje deluju na rastopljeni kraj žice čija je sada čvrstoća mala i uzrokuju da počne da rotira po helikoidnoj putanji...

Radi se o specifičnom stabilnom sprej transferu kod koga je moguće naneti 4.5-13 kg/h depozita.

Žice na koje se može delovati su 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm. Prepusti su 22-38 mm.

S obzirom da je za rotirajući luk potrebna velika brzina žice, obični dodavači žice, iako nominalno deklarirani na maksimalno dodavanje od 25 m/min u stvari ne mogu da izdrže dug rad na tim brzinama. Zato se za rotirajući luk ponekad, kada se traži izdržljivost dodavača, koriste pljosnate žice jer je dodavaču lakše da gura pljosnatu žicu nego okruglu.



Poređenje okrugle žice prečnika 1.6 mm i pljosnate žice 4 mm x 0.5 mm namenjene za zavarivanje rotirajućim lukom.

Transferi na izuzetno visokim parametrima, rotirajući i nerotirajući luk

Predstavnik ovog transfera može biti T.I.M.E. transfer (Transferred Ionised Molten Energy). Radi se takođe o zavarivanju sa dugačkim prepustima, na visokim amperažama i voltažama, ali luk ne rotira a stope depozita su jako visoke. Dešava se u specifičnoj mešavini gasa (na primer 26%helijum + 65% argon + 8%CO₂ +0.5% kiseonik). Recimo da se nerotirajući luk dešava na brzinama žice oko 25 m/min i naponima 30-45V sa stopama depozita 10-15 kg/h, a rotirajući luk na brzinama žice 30-40 m/min i naponima 48-55 V i stopama depozita 25-27 kg/h...

Sve je moguće unaprediti uvođenjem još jedne žice u luk, takozvano TANDEM zavarivanje...



Tandem transfer... Jedna žica je pod naponom a druga se samo uvodi u kupatilo... Žice su međusobno izolovane jedna od druge.

Napredne modifikacije tj upravljanje električnim lukom „kompjuterom“

Pojavom invertorskog napajanja i napredne elektronike, danas proizvođači aparata za zavarivanje mogu da „igraju“ kontrolom električnog luka, pa se one nekada ustaljene granice brišu, na primer „ili CC ili CV“- sada je moguće imati i CC/CV u jednom transferu. U svim režimima je moguć stabilan transfer, prosto jer su aparati za zavarivanje polako postali kompjuteri. Evo nekoliko dosadašnjih elektronskih postignuća ugrađenih u MIG/MAG aparate:

– Sinergetske krive:

Proizvođač aparata je ubacio najbolje parametre zavarivanja za razne debljine raznih materijala, konkretnim žicama i gasovima.

Vaše je samo da aparatu saopštite koji ste gas izabrali, koji materijal žice, koji prečnik i koju ćete debljinu materijala raditi. I aparat sam proračuna parametre zavarivanja a vi ih eventualno blago korigujete prema potrebi ili ličnoj sklonosti.

Radi se o ugradnji znanja o podešavanju parametara u kompjuter tj programiranju na osnovu ručnog zavarivanja. Sinergetske krive postoje i za klasična zavarivanja kratkim spojem i sprejom i za pulsno zavarivanje. Umesto da kupite na slepo aparat sa sinergetskim krivama prvo ga probajte. Jer može lako da se desi da je sinergetska kriva loša baš za ono što Vi želite da radite.

– Modifikovani kratak spoj za zavarivanje korenog prolaza kod cevi vertikalno nadole (tzv „koreni program“ ili „program za provar“):

Ovaj režim/transfer/program za provar tj zavarivanje korena sa jedne strane se kod raznih proizvođača različito zove.

Npr: Sincosald Evo-Pipe, Lincoln STT, Milller RMD i Kemppi WiseRoot...

Koren kod cevi je rizično zavarivati tradicionalnim kratkim spojem jer se u pozicijama oko 12:00 i 06:00 dešava sleganje vara. Uopšte postoji velika mogućnost grešaka, lošeg provara, sleganja i curenja vara kroz otvor, nedovoljne debljine vara, cvikanja žice koja ostaje da štrči sa potkorene strane...

Zato se i danas za zavarivanje korena koriste postupci TIG (skup i spor, potrebna velika veština zavarivača), zavarivanje celuloznom elektrodom (potrebna velika veština zavarivača), zavarivanje posebnom „korenom“ bazičnom elektrodom (potrebna velika veština zavarivača i sporo), zavarivanje

punjenom rutilnom žicom preko keramike (neprikladno na većini cevi jer se keramika mora ukloniti a u cevi to nije moguće...).

Međutim modifikacijom kratkog spoja i njegovim „pulsiranjem“ moguće je potpuno uspešno zavarivati koren u svakoj poziciji, i to ne samo kod crnih cevi već i kod cevi od nerđajućeg čelika, sa zazorima i do 8 mm.



Provar – crni čelik, bez obaranja ivica
(debljina 3 mm, zazor 4 mm)

Provar – nerđajući čelik

Ovaj tip programa nudi mogućnosti:

- Moguće je zavarivati i kada su zazor u korenu par milimetara ali i kada su 8 mm.
- I početnik može savladati veštinu.
- Veća brzina zavarivanja u odnosu na REL i TIG,
- Pošto je unos toplote mali, smanjena je opasnost od deformacija i od progorevanja,
- Smanjeno je prštanje u odnosu na zavarivanje kratkim spojem,
- Potrebna manja veština zavarivača, a veća produktivnost.

Istorijski, ovaj princip zavarivanja je prvi, oko 1994 godine, predstavio Lincoln i nazvao ga STT (surface tension transfer = transfer površinskim naponom). Sam transfer je inače modifikacija zavarivanja u kratkom spoju sa smanjenim unosom toplote, sa prštanjem svedenim na minimum ali uz elektronsku modulaciju luka u malim delićima sekunde.. .

Originalno Lincolnov STT je postignut hardverskim načinom „modulacije“ električnim lukom (npr induktorima), a potreban je još jedan kabl sa klještima za masu koji prikuplja dodatne informacije sa mesta provara i povratnom spregom se vrši korekcija luka.

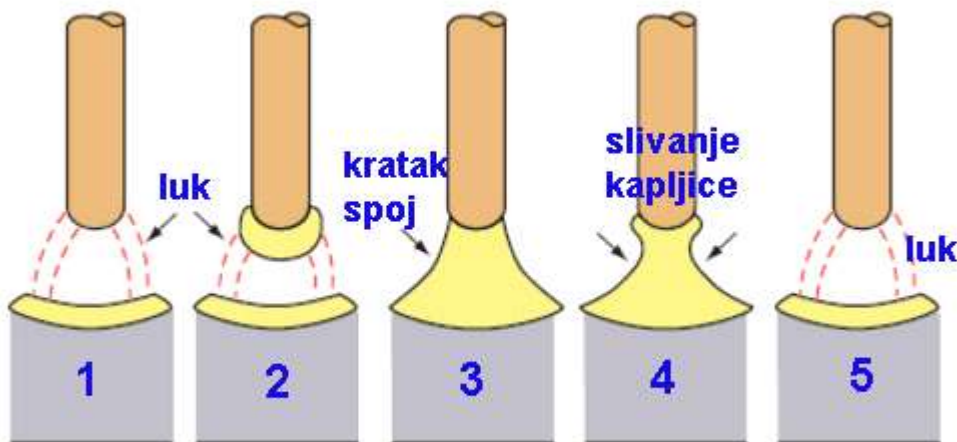
Aparat je prvobitno bio namenjen samo ovom zavarivanju, a za zavarivanja drugim postupcima, režimima i drugih materijala je bio potreban drugi aparat.

Vrlo brzo, predstavljeni su aparati koji su to isto ili približno isto postizali uz „modulaciju“ luka softverom, softver je bio u procesoru u istom aparatu recimo naprednom pulsnom i korisnik nije morao da kupuje dva aparata već jedan „nabudžen“ sa svim mogućim programima. Nije bio potreban dodatni kabl sa masom, jer se povratna informacija o potrebi za korekcijom napona i amperaže dobijala kroz žicu.

Da bi razumeli šta se dešava tokom zavarivanja, potrebno je razumeti neke pojmove.

Prvo morate znati šta je „površinski napon“, a ja ću spomenuti samo onaj deo koji je bitan za provarivanje korena.

„Površinski napon“ je ovde karikirano rečeno sila privlačenja između dve površine rastopljenog metala, težeći da smanji površinu prema zapremini, pri čemu se podrazumeva da veća zapremina rastopljenog metala uliva u sebe manju. Pogledajte sledeću sliku. Ovde dole je onaj opisan mehanizam zavarivanja klasičnim kratkim spojem.



Slika 2 sa ove slike opisuje kako imamo dve tečnosti, tečni metal na osnovnom materijalu koji se zavaruje, ispod luka i tečni metal na žici iznad luka.

Slika 3 opisuje kako je usled dejstva temperature luka i dejstva gravitacije i elektrodinamičkih sila tečni metal sa žice **porastao** i **dodirnuo** rastopljeni metal na osnovnom materijalu, tj **došlo je do kratkog spoja**.

Vrlo je bitno je razumeti da je tečni metal osnovnog materijala relativno miran i da tečni metal sa žice dolazi sam, rastom, do tečnog metala na materijalu.

Kada dođe do kratkog spoja, napon pada na nulu, nema električnog luka, ali amperaža teži da poraste do beskonačno mnogo (u praksi ograničeno na nekih 500-600A). Veća amperaža kratkog spoja dovodi do većeg ukupnog rastopljenog metala usled veće toplote, a velika Lorencova sila (stvara se jako elektromagnetno polje normalno na žicu) teži da kao makazama iseče žicu, a pošto je žica tečna i slaba, to se i delimično postiže.

Ali glavni razlog zašto se rastopljeni metal sa žice „slije“ u rastopljeni metal na materijalu jeste zbog površinskog napona. Zamislite da u ruci držite pipetu na čijem je vrhu jedna kapljica vode. I sada prinesite tu kapljicu recimo lavoru punom vode. Dodirnite kapljicom sa pipete vodu u lavoru... i desiće se da će se kapljica sa pipete sliti u postojeću vodu sa lavaboa. Desilo se to da je privlačna sila velike količine vode „privukla“ malu kapljicu, i pošto „površinski“ napon teži da napravi najmanju površinu, ta kapljica nije ostala da štrči kao sisica nad površinom vode u lavabou, već se razlila u nju, a nivo vode je „malo“ porastao (za zapreminu te kapljice) a površina je ostala ravna.

Na isti način i ovde, usled težine kapljice sa žice, elektrodinamičkih sila, i površinskog napona relativno velikog rastopljenog metala na materijalu, malešna kapljica sa žice se sliva u njega, to se može videti na slici 4.

U narednom trenutku, vidi se na slici 5 pomenuta kapljica sa žice je potpuno razlivena u tečni metal na materijalu, pojavljuje se razmak između žice i rastopljenog metala na materijalu i pojavljuje se luk i proces se nastavlja frekvencijom od par stotina puta u sekundi. (Zbog naglih porasta struje, eksplozivnog kidanja, slivanja jednog tečnog metala u drugi, drhtanja ruke zavarivača, nestabilnosti plazme luka naročito u čistom CO₂ gasu... itd dešava se manje ili veće prštanje).

Kod programa za provarivanje korena dešava se sledeća modifikacija klasičnog zavarivanja kratkim spojem.

Gledajući sliku 2, kada se rastopljeni metal sa žice približi rastopljenom metalu na materijalu, ali tako da luk još postoji, dešava se da se rastopljeni metal materijala zaljulja ka nazad (ka kapljici na žici) tj zatalasa se pod udarom amperaže i napona i „talas metala sa materijala“ dodirne i napravi kratak spoj sa još manjim tečnim metalom sa vrha žice. Ne ulazeći u detalje, pravilno talasanje (oscilacije) rastopljenog metala se postiže impulsima struje i napona i u tome je poenta (efekat isti kao da neko približava žicu napred i udaljava je nazad a metal na materijalu miran).

Uočiti još jednom razliku između postizanja kratkog spoja u „klasičnom transferu kratkim spojem“ i „korenim programom“.

Kod „klasičnog kratkog spoja“ se kratak spoj postiže:

- vremenom trajanja luka,
- stvaranjem „veće“ količine rastopljenog metala na vrhu žice koje usled težine raste i veličinom dodiruje relativno miran rastopljeni metal na materijalu mnogo veće zapremine,
- Kidanje spojenih tečnih metala i slivanje u metal na materijalu se postiže jakim porastom struje koji je praćen eksplozivnim slivanjem i manjim ili većim prštanjem i efektom površinskog napona.

A kod „korenog programa“ se kratak spoj postiže:

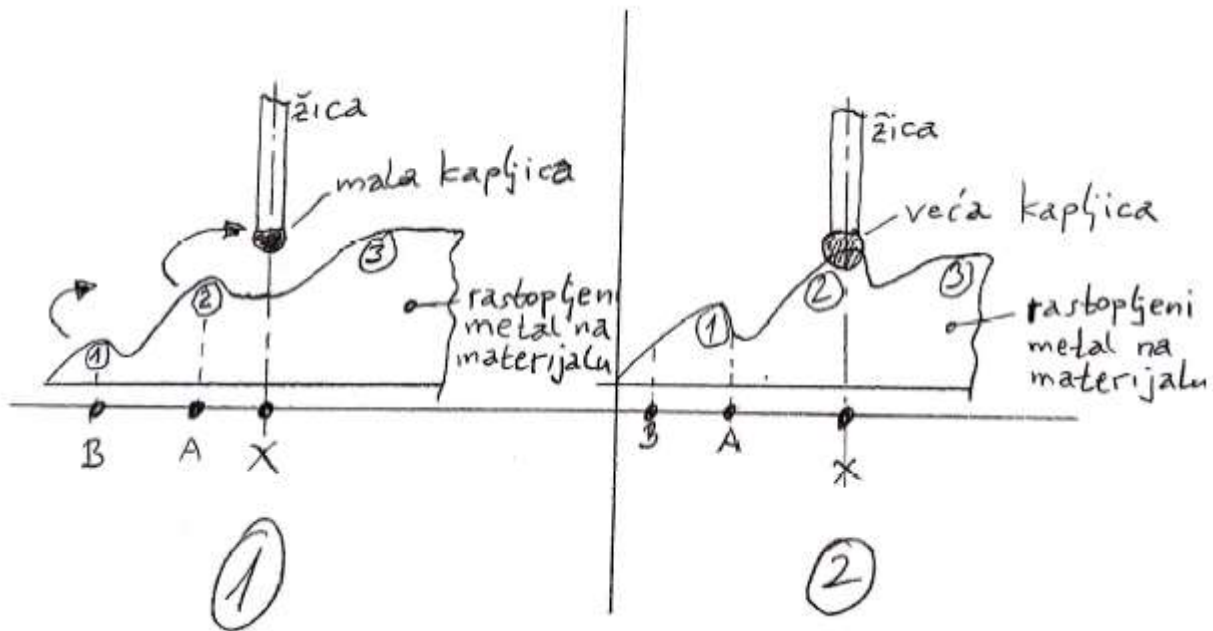
- stvaranjem male količine tečnog metala na vrhu žice,
- talasanjem metala na materijalu nazad ka žici, tj tečni metal sa materijala se približava tečnom metalu na žici,

– talas metala sa materijala se približava malom tečnom metalu na žici (manjem nego kod klasičnog kratkog spoja), dodiruje ga i silom talasa ga odnosi i sliva u sebe. Kada ga otkine i slije u sebe, sledi jedan udar napona da bi ga što pre razlio u širinu.

– Zato je ukupna toplota manja, opasnost od progorevanja manja, manje su deformacije i manje je prštanje.

Ovaj detalj „sledi jedan udar napona da bi ga što pre razlio u širinu“, je takođe suštinski zanimljiv jer se može osetiti pod rukom tokom zavarivanja. Naime, kada se zavaruje recimo zazor od 3 mm uopšte nije potrebno šetati od jedne ivice žljeba do druge radi obgorevanja jedne pa druge ivice. Dovoljno je vući pravolinijski jer „udar napona da bi što pre razlio u širinu“ u stvari strahovito brzo razliva u širinu rastopljeni metal, bez opasnosti od progorevanja kroz zazor u korenu. A kada se zavaruje preko zazora od 8 mm, šetanje je minimalno, toliko da udar napona slije ka jednoj ivici u širinu a onda ka drugoj.

Evo pokušaja ilustracije ovog kratkog spoja usled kidanja talasom uz efekat površinskog napona i razlivanja u širinu udarom napona.



Uočiti na slici 1 da se žica nalazi na pravcu X, a da se breg/grba (2) tečnog metala na materijalu nalazi na pravcu A. Kapljica na žici je mala. U pogodnom trenutku, recimo da se merenja i proračuni vrše u svakog od trihiljaditog dela sekunde, kompjuter doda napona i amperaže na takav način da se breg/grba tečnog metala (2) zatalasa ka nazad, ka žici.

Na slici 2 se vidi da je kapljica na žici malo veća, a da se je breg/grba tečnog metala (2) vratila nazad iz mesta A na mesto X tj tačno do kapljice žice, pravi kratak spoj sa njom, i pošto je tečnost metala na materijalu daleko veća od tečnosti kapljice žice, sliva je u sebe (efektom površinskog napona), što je naravno potpomognuto povećanjem amperaže zbog kratkog spoja.

A opet kompjuter recimo u trihiljaditom delu sekunde, prepoznaje ovaj kratak spoj, pa onda umesto da podigne amperažu (brže ili sporije) on je u stvari prvo spusti, pa je tek onda kontrolisano podigne, a sve zato da ne bi bilo nikakvog prštanja.

Zanimljivo je se kratki spojevi prepoznaju, čuje se zvuk paljenja i gašenja, čak je zvuk ponekad sličan kao kod nestabilnog zavarivanja, pa zavarivač ili posmatrač prema zvuku može očekivati veliko prštanje, ali to je samo zvučni efekat kako se kompjuter bori protiv prštanja, dizanjem i spuštanjem amperaže i napona u hiljaditim delovima sekunde.

Ovak program nije kontrolisan prethodno opisanim krivama CC ili CV već posebnom kompjuterskim algoritmom.

U svakom slučaju, sa dobrim „korenim“ programom, ma od kojih pomenutih proizvođača ćete se sigurno oduševiti. Unos toplote je manji, manja je zona uticaja toplote, manje su deformacije, prštanje je zanemarljivo, dobija se dobar provar, zavarivač radi lako i komforno, zahtevana veština zavarivača je prosečna, brzo se radi (oko 3 puta brže nego TIG-om)... Lako je, i potez ruke i lako je podešavanja aparata i lako je praćenje vara. Recimo da će prosečan zavarivač ovladati tehnikom za 30-tak minuta.



Poprečni presek korenog prolaza je deo 4-6 mm. Ovo znači da se štedi na prolazu za popunjavanje pre prolaza koji se rade jačim amperažama. Odmah može sa jačom amperažom da se nastavi popunjavanje žljeba.

Kod provara žicom klasičnim kratkim spojem ili TIG-om, koreni presek je tanak – oko 2-3 mm, i mora se dodati još jedan prolaz da ga ovi naknadni ne bi progoreli.

Unos toplote je mali, pa se mogu zavarivati i limovi od 1 mm ovim programom, nevezano za provarivanje.

U svemu, za korisnike može doneti uštede u novcu i kraće vreme izrade. Investicija se brzo vraća.

– program **COLD**:

Radi se o varijanti korenog programa, ali bez onakvih udara napona i amperaže koje dovode do razlivanja kod korenog programa.

Kada aparat ima ovaj program, zavarivanje tradicionalnim kratkim spojem je praktično nepotrebno. Koristi se za zavarivanje limova tankih i do 0.5 mm.

Praktično je zavarivanje bez prštanja a samim tim se štedi jer nema naknadnog brušenja. Ono malo prštanja što ima je lakše ukloniti špahlom ili strugačem, bez brušenja, jer su i te pucne „hladnije“ nego kod klasičnog zavarivanja kratkim spojem.

Kod tankih nerđajućih limova, manje je oksidaciono obojenje i manje je sagorevanje hroma iz površinskog sloja metala vara.

I uopšte, manja je i Zona Uticaja Toplote (ZUT) nego kod klasičnog zavarivanja kratkim spojem a time i manja je opasnost od degradacije strukture materijala.

Moguće je raditi i provar, kako u položajima PA (horizontalno) i ali i u PE (nadglavno) zbog lake kontrole rastopljenog metala. Priprema žljeba je minimalna, i lako se prelazi preko velikih zazora.

Ovim programom se manje oštećuje cink na pocinkovanim limovima.

Luk je stabilan i kada je prepust žice dug.

Zavarivanje ovim programom proizvodi manje dimova nego klasično zavarivanje, a time je zavarivaču olakšan rad.

Kod izuzetno tankih limova, najbolji rezultati se postižu na automatima, kada je brzina vođenja pištolja preko 30 mm/s.



Zavarivanje dugog vara na spoju tankog lima bez progorevanja programom **COLD**, bez prštanja

– **Brzi puls (High Speed Puls):**

Već je rečeno da kod klasičnog pulsa, elektronika kontroliše odvajanje jedne kapljice u jedinici vremena. Kod ovog režima elektronika kontroliše nekoliko kapljica (npr 3 kapljice) u jedinici vremena.

Postoje razne varijante ovog režima (zvanog i **High Speed Pulse**) ali recimo da je najčešći onaj gde se u jednom trenutku kontrolisano ispaljuje 2-3 kapljice ili možda reći da se ispaljuje jedna loptasta kapljica slična kao kod klasičnog pulsa a koja je praćena kontrolisanim ispaljivanjem još jedne ili dve kapljice slično kao kod spreja.

Veći je depozit nego kod klasičnog pulsa, brže se radi a unos toplote je niži nego kod klasičnog spreja.

Prštanja apsolutno nema!

Moje je iskustvo, početnik koji nikada nije držao u rukama pištolj za zavarivanje, posle prvih 500-1000 mm vara, u kojim verovatno ni ne razume gde se nalazi i šta radi i šta da gleda, odmah počinje da pravi potpuno prihvatljive varove, pre svega na oko. Što je jako bitno, jer ga to motiviše da nastavi da „trenira“ da bi dobio varove koji su i na oko a i u svim drugim aspektima odlični. Naravno ovde se radi o tome da u suštini vari kompjuter a ne početnik i kompjuter ispravlja greške početnika u jednoj meri.

Debljine materijala pogodne za ovaj program za čelik su recimo od 2-6 mm, a za aluminijum i preko 10 mm.

Ono što je takođe vrlo bitno zavarivanje u brzom pulsu je oko 40% produktivnije u odnosu na klasično pulsno zavarivanje, zbog kontrolisanog ispaljivanja više kapljica u jedinici vremena.

Zavarivanje u pulsu se pre svega primenjuje kod zavarivanja aluminijuma, bronzе, ali i kod čelika osetljivih na unos toplote (npr nerđajućih čelika-prohroma) ili kada se kod crnih čelika žele manje deformacije u odnosu na sprej zavarivanje kod srednje-debljih limova ili kada se želi veća penetracija kod tanjih limova ili kada se želi zavarivanje bez ikakvog prštanja rastopljenog metala...

Time je ovaj „brzi puls“ postao prigodniji za primenu i kod crnog čelika, jer više nije „spor i hladan“, a i jer je i penetracija veća u odnosu na klasičan puls. A zbog bržeg vođenja, unos toplote je manji a time i deformacije.

Pulsno zavarivanje je naročito pogodno za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura, kao i zavarivanje bakra i njegovih legura i zavarivanje nerđajućeg čelika.

Pri pulsnom zavarivanju aluminijuma, puls omogućava „vibriranje“ rastopljenog metala a samim time i lakše izbacivanje gasova iz njega a rezultat je manja poroznost nego pri zavarivanju klasičnim sprejom. Sa druge strane, pri zavarivanju sprejom, postoji velika opasnost od progorevanja tanjih limova, dok se pulsni postupkom, bez progorevanja može zavarivati i debljine od 1 mm, što je nekada bilo nezamislivo za MIG postupak. U principu, mnogi kupuju pulsne aparate samo zbog savršenog zavarivanja aluminijuma, pre svega tankog.

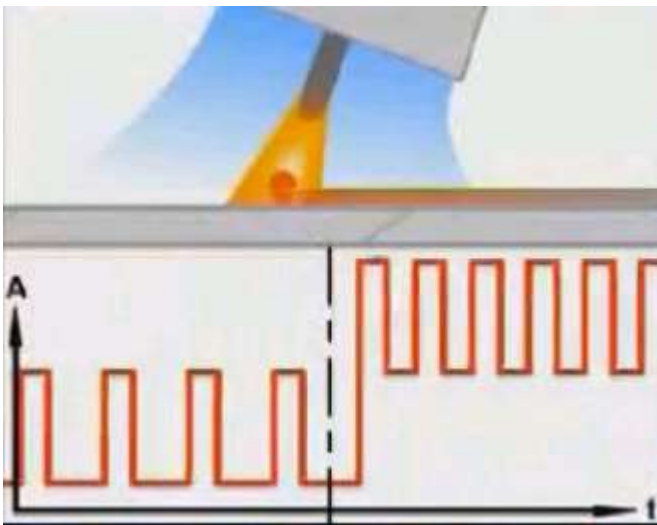


Zavarivanje u brzom pulsu aluminijuma debljine 10 mm aparatom (u pitanju je jahta).

Zvuk kod ovog „brzog pulsa“ je tiši i manje opterećuje uši zavarivača nego kod klasičnog pulsa.

– **Dupli puls:**

Radi se o tome da postoje dva „pulsa“. Jedan jači koji topi materijal, praćen slabijim koji ne topi (znači hladi) materijal, ali vibrira tečni metal i ne dozvoljava da se očvrсне.



Sa leve strane ide ciklus slabijeg pulsa, a sa desne strane ide ciklus jačeg pulsa, pa sve tako...

Zavarivanje duplim pulsom se koristi kada se želi još niži unos toplote radi manjih deformacija ili radi manje degradacije strukture materijala, ili estetski lep var (sa krljuštima)-npr kod nerđajućeg čelika, ili u vertikalnoj poziciji-npr kod aluminijuma, ili kod tankih preseka kod bronzi... jer je „hladniji“ od običnog pulsa.

Ovde već postoji potreba za dodatnim podešavanjima.

Postoji mogućnost podešavanja frekvencije promene jakog/slabog pulsa, amperaže donjeg pulsa itd...

Dupli puls se zove različito kod različitih proizvođača: Double Puls, Twin Puls, Super Puls...

Praksa je pokazala da je našao primenu kod zavarivanja tankih delova od aluminijuma i nerđajućeg čelika a takođe i njihovo zavarivanje u prisilnim položajima.

Često je izgled vara „sa krljuštima“ kao da je urađen TIG-om.



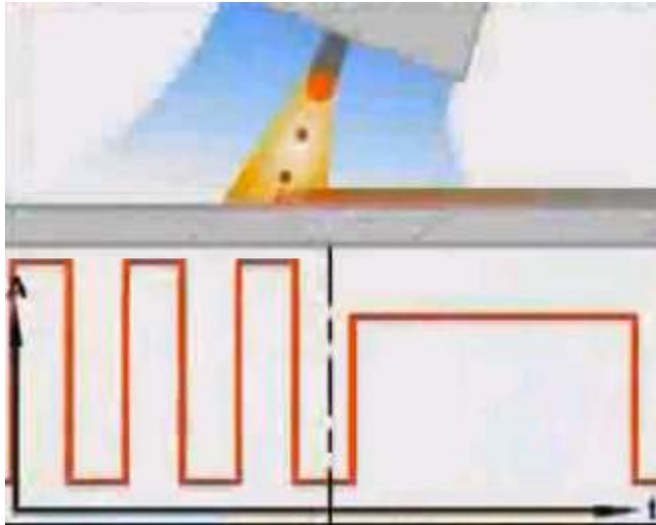
Zavarivanje nerđajućeg čelika duplim pulsom. Uočiti vrlo malo oksidaciono obojenje.

Uočiti da var nije tamno siv, tj da nije sagoren hrom iz površinskih slojeva, zbog niskog unosa toplote.

– „Brzi sprej“

Čudno ime, a svaki proizvođač ima svoj naziv za ovu oblast. Npr Lincoln = Rapid Arc, Kemppi = Wise Fusion (za veće parametre), Esab = Puls/Sprej... Ideja je za uvođenje ovog programa je nastala zbog toga što je pulsni režim pre svega namenjen zavarivanju tankih delova, a u svojoj gornjoj oblasti postaje nestabilan, a čak i kada je stabilan stopa depozita je mala i energija luka je mala za deblje delove. Sa druge strane, klasičan sprej transfer je odličan što se tiče depozita, ali je unos toplote veliki, pre svega zbog napona, preko 25V, otprilike 25-30 V... pa se osim degradacije materijala mogu pojaviti i zajedni, deformacije... Pa se stvar rešila kombinacijom pulsa i sprej, tj u jednom momentu luk je u pulsu a u

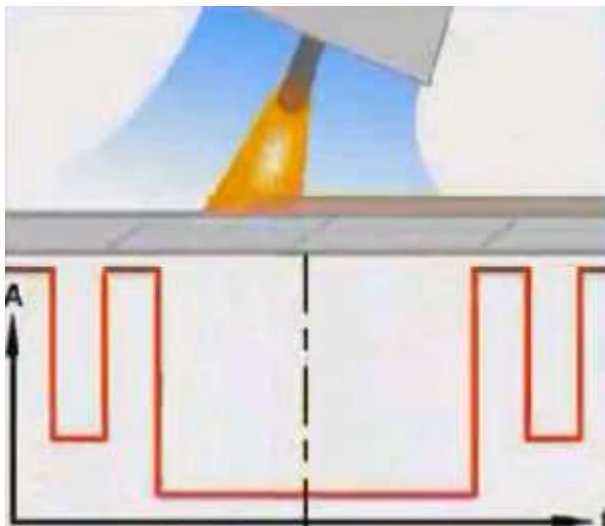
drugom je u spreju. Stopa depozita je na kraju skoro kao u spreju, veći od pulsa, a unos toplote je niži od onog u spreju.



Red pulsa, pa red spreja

– „**Brzi kratak spoj**“:

Kombinacijom pulsa i kratkog spoja se dobija mogućnost zavarivanja obojenih metala, npr aluminijuma još tanjih debljina nego što može puls.



Red pulsa, pa red kratkog spoja

Ovaj program je našao jednu primenu, a to je zavarivanje vertikalno naviše. U normalnom zavarivanju dešava se da je tečljivost rastopljenog metala takva da majstor mora da vodi pištolj levo desno ili da pravi trouglove tokom vođenja naviše.

A ovde, dešava se da puls topi materijal a kratak spoj ga hladi i na taj način se „tačkasto“ napreduje vertikalno naviše.

Teoretski lepo zvuči, međutim u praksi, postoji veliki problem a to je da se radi sa malom frekvencijom promene pulsa u kratki spoj, recimo da jedan režim traje 0.5-1 s, a to znači da velika količina svetlosti se pali pa gasi. Jako je teško ispratiti očima duže varove, a neke će i glava boleti od tog „flešovanja“.

Program SPEED:

Program SPEED je modifikovani sprej transfer, „tajna“ je pojedinih proizvođača aparata tako da se ne znaju svi detalji, ali rezultat jeste odličan.

Malo objašnjenja...

Klasični sprej transfer je nekada davno bio definisan od strane autoriteta kao „...zavarivanje, prenosom finih kapljica, **bez ikakvih kratkih spojeva...**“ tj **ni slučajno** nije smela žica da dodirne rastopljeni metal na predmetu koji se vari tj napravi kratak spoj.

Ali, da bi bilo tako, potrebno je imati dug luk, a dug luk znači veliki napon luka. Što dovodi do većeg unosa toplote, zajeda na ivicama vara, osetljivost na magnetno skretanje luka, mogućnost pojava poroznosti, isparavaju legirajući elementi umesto da budu u varu, pa je hemijski sastav vara ispod željenog...

Uočeno je da bi luk trebao da bude manji, da bio bio bolji i korisniji, da bi se rešio ovaj problem sa velikom toplotom i zajedima i svim drugim problemima.

Sa pojavom prvih elektronski upravljanih aparata za zavarivanje, i mogućnosti bolje kontrole luka u milisekundama, promenjena je definicija od strane autoriteta, pa je sprej definisan kao „...zavarivanje prenosom finim kapljicama, **praktično bez kratkih spojeva...**“, što će reći „omogućeno“ je zavarivanje malo kraćim lukom, tako da se **dozvoljava** da tu i tamo „praktično“ dođe do ponekog kratkog spoja, ali su rešeni delimično problemi sa zajedima i prevelikom toplotom.

A sa pojavom super brze elektronike, moguće je dodatno poraditi na ovom modifikovanju sprej transfera. Moguće je dozvoliti više kratkih spojeva ili koji duže traju, ali svaki put kada se detektuje kratak spoj, brza elektronika kontrolisano spusti struju kratkog spoja ne dozvoljavajući eksplozivno odvajanje kapljice i ne dozvoljavajući prštanje ili uopšteno rečeno, dolazi do brze korekcije amperaže i napona luka tako da se kapljica sa žice odvaja bez prštanja, iako postoje kratki spojevi.

Tako, dobija se zavarivanje sa daleko koncentrisanijom plazmom luka (kraći luk, manji napon, a veća amperaža i time veća gustina struje kroz žicu). Ovo dovodi do većeg topljenja žice (zbog većeg kvadrata amperaže tj $Q=R \times I^2 \times t$ jer žicu ne topi amperaža već „amperaža na kvadrat“), pa se ovim programom radi oko 30% brže od klasičnog spreja.

Unos toplote je manji, nadvišenja vara su manja, nema prevelikog nabacivanja vara u ugaoni spoj, a penetracija je veća, nema zajeda.

Naročito je pogodan za srednje debele limove.

Mogući su manji obuhvatni uglovi žljeba. Umesto tradicionalnog ugla od 60 stepeni, mogući su uglovi i od 40 stepeni, sa potpunom penetracijom u zidove žljeba.

Ovde se štedi na vremenu popunjavanja žljeba, ne samo da se brže radi jer je sam po sebi „Speed“ brži od „spreja“ nego je i dodatno manje prolaza potrebno za uži obuhvatni ugao žljeba!

Zbog brzine, zavarivanjem programom SPEED se unosi manje toplote u materijal u odnosu na klasičan sprej, a postiže se ista ili veća penetracija a brzina zavarivanja tj produktivnost je oko 20-40% veća.

Zbog bržeg rada, manja je potrošnja gasa i struje i manji su troškovi radne snage.

Čak je moguće ovaj „brzi“ program koristiti već i od 2 mm debljina pa naviše.

Prštanja praktično nema, a zvuk tokom zavarivanja je zanimljiv. Povremeno se čuje praskanje, naročito kada zavarivač menja ugao vođenja i/ili prepust žice i/ili nagib pištolja, i očekuje se da će zbog tog praskanja biti dosta pucni tj prštanja, ali na kraju pucni nema ili gotovo nema, već je ono praskanje u stvari zvučni efekat reakcije kompjutera koji na promenu luka reaguje podizanjem ili spuštanjem gomile parametara luka u delićima sekunde.

U svakom slučaju apsolutna preporuka i za ovaj program.



Savršeno složene gusenice u popuni dubokog žljeba, programom **SPEED**. Uočiti da nema velikog nadvišenja, profil gusenica je skoro ravan.

– Program **FORCE**:

Poznato je da kada se prepust žice poveća, zbog Omovog zakona, amperaža pada, a time i penetracija u materijal.

Kod ovog programa kompjuter kontroliše snagu zavarivanja. Pa kada se prepust žice poveća, čak i par desetina milimetara, nema pada snage luka, već postoji konstantna penetracija u materijal. Pod okom se vidi kako luk kopa metal, i kako se naliva ta rupa, kako se vodi pištolj.



Izgled luka u transferu FORCE, vidi se kako kupa u dubinu i vidi se kako je dugačak tečni metal sa žice koji je gotovo svo vreme u kontaktu sa tečnim metalom materijala praveći jake amperaže kratkog spoja.

Sa druge strane, kompjuter prati pomenute struje kratkog spoja i ne dozvoljava prštanje. Prštanje postoji samo kada se naglo promeni nagib pištolja, brzina vođenja i prepust.

Naročito je pogodan kada su nepristupačna mesta u pitanju, gde šoba ne može da uđe, pa nema druge nego povećati prepust žice, a tada postoji opasnost od neuvarivanja jer amperaža, prema Omovom zakonu pada a time i uvarivanje kod klasičnih transfera, a ovde kod ovog programa toga nema, penetracija je ista bez obzira na prepust žice.

Program FORCE je sličan programu SPEED. Ovde su faze trajanja kratkog spoja dugačke, tako da je maltene svo vreme žica „u kratkom spoju“ tj rastopljeni metal „sedi“ na rastopljenom metalu a kompjuter kontroliše pominjanu „amperažu kratkog spoja“. Obzirom da je tada luk izuzetno kratak, koncentrisan je na recimo oko 50% površine u odnosu na klasičan sprej.

A zbog toga što su faze kratkih spojeva dugačke, a amperaža kratkog spoja je velika (veća od one prikazane na displeju), plazma luka je veća, pa je time i prodiranje tj penetracija u materijal veća u odnosu na klasičan sprej transfer. A istovremeno je zbog manjeg napona luka, i veće brzine rada redukovano unos toplote. A time su smanjene deformacije i degradacija materijala (pogrubljenje zrna itd).

Osim aksijalno u koren, uvarivanje i u zidove žljeba je jako, tako da je moguće umesto obuhvatnog ugla žljeba od 60° imati i žleb od 30-40°. Zato je ovaj program FORCE idealan za uske žljebove i ugaone spojeve.

Time se štedi na broju prolaza, manje se radi, manje je potrebno žice i gasa i struje a troškovi radne snage su takođe manji.

Zbog toga što ima manje prolaza, a manji je unos toplote po svakom prolazu, i međuprolazna temperatura je manja, a time i defromacije konstrukcije kao i uopšte smanjena je opasnost od degradacije strukture materijala.

Pošto je luk svo vreme baš kratak, zavarivanje je bez zajeda, nema opasnosti od usisavanja O₂ ili N₂ u metal vara i stvaranja pora.

Neko je radio i proračun mogućih ušteda u odnosu na klasičan sprej transfer. Došlo se do mogućeg nivoa ušteda od čak 30-60% u odnosu na klasičan sprej transfer!!!

Ukupne uštede su prema sledećoj analizi:

- Minimalna priprema žljeba, manji troškovi radne snage bravara za pripremu žljeba,
- Manji obuhvatni ugao žljeba, moguće 30-40°, umesto klasičnog 60°,
- Manje prolaza zbog manjeg ugla žljeba,
- Manja potrošnja žice,
- Manji troškovi radne snage zavarivača zbog manje prolaza a veće brzine rada,
- Manja potrošnja struje zbog manje prolaza a veće brzine rada,
- Manja potrošnja gasa zbog manje prolaza a veće brzine rada,
- Manje završnih radova, brušenja, jer nema skidanja previše nagomilanog nadvišenja vara,
- Manji troškovi kvalifikovanog zavarivača. Pošto je luk veoma stabilan i manje vešti zavarivači lako postižu traženi kvalitet spoja.

Pošto je unos toplote niži nego kod klasičnog spreja, a penetracija velika, ovaj FORCE režim je naročito pogodan kod zavarivanja dinamički opterećenih konstrukcija (mostovi, vagoni itd...) debljih od 5 mm tj za srednje debele limove...

– **AC MIG zavarivanje:**

Par japanskih proizvođača su uveli AC MIG zavarivanje aluminijuma, a imaju ga danas i dva nemačka proizvođača. Doživeo je veliki uspeh kod zavarivanja tanke aluminijumske limarije u auto industriji i to preko većih zazora (što je fantastično! Ko zavaruje aluminijum TIG AC režimom verovatno zna da je gotovo nemoguće zavariti lim 1 mm sa zazorom 2 mm). Verovatno će vreme zaštite patenta isteći uskoro, pa se može očekivati da će ubrzo imati ovaj režim i svi ostali veliki proizvođači.

Opšte funkcije na MIG/MAG aparatima za zavarivanje

Burnback kontrola ili sagorevanje vrha žice posle gašenja luka. Kada se otpusti prekidač na pištolju, luk se naglo gasi i dešava se da se na vrhu žice stvori kuglica, kod nekih aparata za zavarivanje.



Na vrhu žice se stvorila kuglica posle gašenja luka. Treba odseći žicu sećicama da bi se luk lepo upalio.

Burnback funkcija, smanjuje potrebu sa sečenjem svaki čas.

Razlog je jasan, vrh žice je rastopljen dok je luk goreo, kada se luk ugasio, rastopljena kapljica se zbog fenomena površinskog napona pretvorila u kuglicu na vrhu žice. Pojedini aparati imaju kontrolu zvanu „burnback“ koja funkcioniše tako da kada se otpusti prekidač na pištolju, umesto da se luk trenutno ugasi, on gori još par delića sekunde i tokom tih par delića sekunde postepeno gasi tj amperaža se postepeno smanjuje. Time se postiže da se veći deo rastopljenje kapi prenese sa žice u kupatilo i ova kuglica na vrhu smanji ili čak eliminiše.

Ako ostane velika kuglica na vrhu žice posle gašenja luka, potrebno je klještima sečicama odseći, poželjno ukoso, da bi se ostvarilo lepše naredno paljenje luka.

Sporiji dovod žice pre paljenja luka („run-in“ „creep-start“ „slope-up“). Da bi se obezbedilo lepše startovanje luka, umesto da žica svom snagom (tj podešenom brzinom žice) udari u materijal, moguće je podesiti da žica prvih par delića sekunde po pritisku na prekidač pištolja krene da izlazi polako, polako dodirne materijal, napravi kratak spoj, luk se upali i tek onda žica krene da izlazi onom brzinom kojom je podešena na kontrolnom panelu.

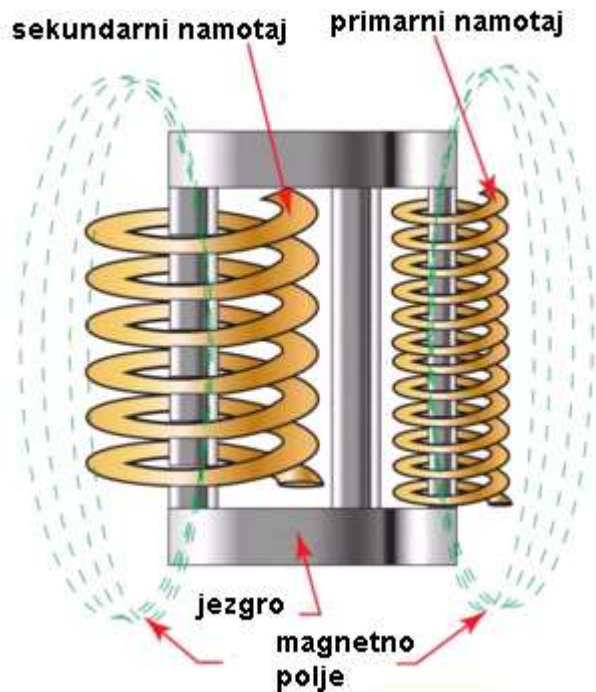
– **Hot start** – podešava se vreme trajanja i % za koliko je početna amperaža veća od one koja je određena brzinom žice i prepustom. Npr može se podesiti da je prvih 1 sekund amperaža veća 40% od one koja je rezultat podešene brzine žice i prepusta žice. Razlog je taj što se naročito kod MIG/MAG zavarivanja na početku umesto penetracije ostvaruje nalepljivanje tj na tim počecima je ponekad teško ostvariti nepropusan var. Zato se, radi uvarivanja, u prvih 1-2 sekunda radi sa većom strujom od podešene, a onda se posle tog vremena, amperaža sama vraća tamo gde je podešena.

– **Popunjavanje kratera** – Osim početka, i završeci su ozloglašeni zbog pojave prslina u njima posle gašenja luka. Nije vezano za MIG/MAG već je zajedničko i za TIG i REL zavarivanje. Ovom funkcijom se podešava da se tokom nekog vremena luk postepeno gasi tj da se amperaža smanjuje postepeno i na taj način se omogući popunjavanje kratera koji se pojavljuje na kraju vara.

– **4T** – pogodna funkcija pri zavarivanju dugačkih varova koja u sebi uključuje pomenuti hot-start i popunjavanje kratera. Pritiskom na prekidač aparat radi u režimu hot starta, sa povećanom strujom. Otpuštanjem prekidača luk se ne gasi, već nastavlja da gori u režimu kako je podešena brzina žica i napon. Ponovnim pritiskom na prekidač i otpuštanjem, luk se gasi postepeno tj amperaža počinje da pada onoliko sekundi kako je podešeno u funkciji popunjavanja kratera.

IZVORI STRUJE ZA MIG/MAG ZAVARIVANJE

Nekada davno izvori struje su bili **transformatorski**. To je bila tada dostupna tehnologija. Ne ulazeći detaljno u proračune transformatora, poenta je da se na primarni namotaj transformatora dovodi naizmenična električna struja u obliku „visok napon/mala amperaža“, koja stvara magnetno polje koje preko jezgra indukuje naizmeničnu struju na sekundarnom namotaju u obliku „niski napon/velika amperaža“.

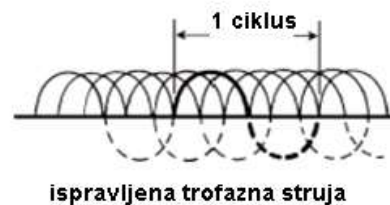
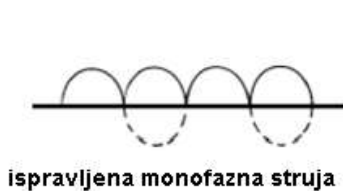
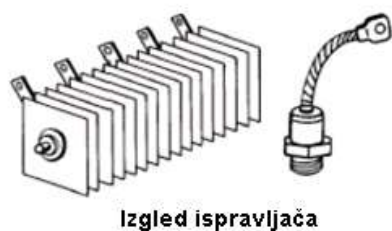


Princip rada trafoa.

Na primarni namotaj dolazi naizmenična struja iz električne mreže („visok napon/mala amperaža“), u namotajima se stvara magnetno polje koje se preko jezgra, prenosi na namotaje sekundara, u kome se dobija struja „niski napon/velika amperaža“.

Uočiti da je presek sekundara deblji od preseka primara jer provodi veću amperažu i trpi time veću toplotu. Izlaz sa sekundara je takođe naizmenična struja.

Da bi luk pri zavarivanju bio jednosmeran, potrebno je „ispraviti“ naizmeničnu struju, tj pretvoriti je u jednosmernu. To se najkraće rečeno, radi diodama, vezanim u „most“.



Ispravljanje naizmenične struje u jednosmernu.

Ispravljena trofazna naizmenična struja u jednosmernu je „glatkija“ od ispravljene monofazne stuje u jednosmernu.



Ispravljač iz naizmjenične u jednosmernu struju za MIG/MAG aparat za zavarivanje

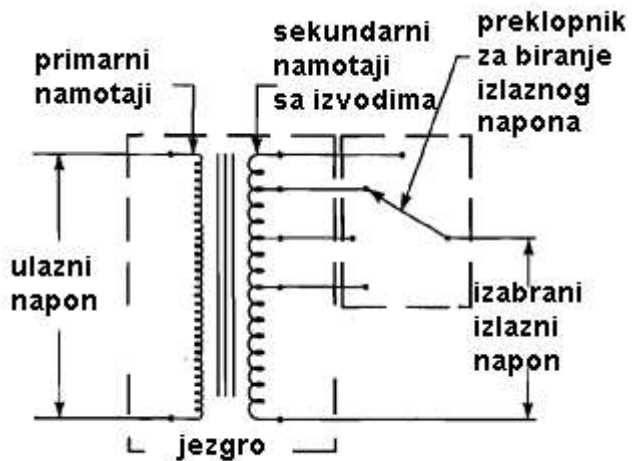
Da bi se dobile razne željene vrednosti napona za zavarivanje (raznih debljina, raznih materijala) potrebno je sa sekundarnog namotaja napraviti izvode sa naponima, tj mora postojati mogućnost izbora – podešavanja napona za zavarivanje u zavisnosti od materijala koji se radi, od debljine materijala, od prečnika žice...



U donjem delu komandne table se vidi da postoji 30 izvoda za napon zavarivanja. Za svaki od 3 gruba izbora moguće je izabrati 10 finih izlaznih napona, tako se dobija vrlo gust izbor od 30 napona za podešavanje, tj za svaki poseban slučaj se može izabrati prigodan napon.

Problem je kada je izbor izlaznih napona mali, recimo da ima svega 4-5 izvoda i kada su tek tako proračunati, a ne prema potrebi za najboljim lukom.

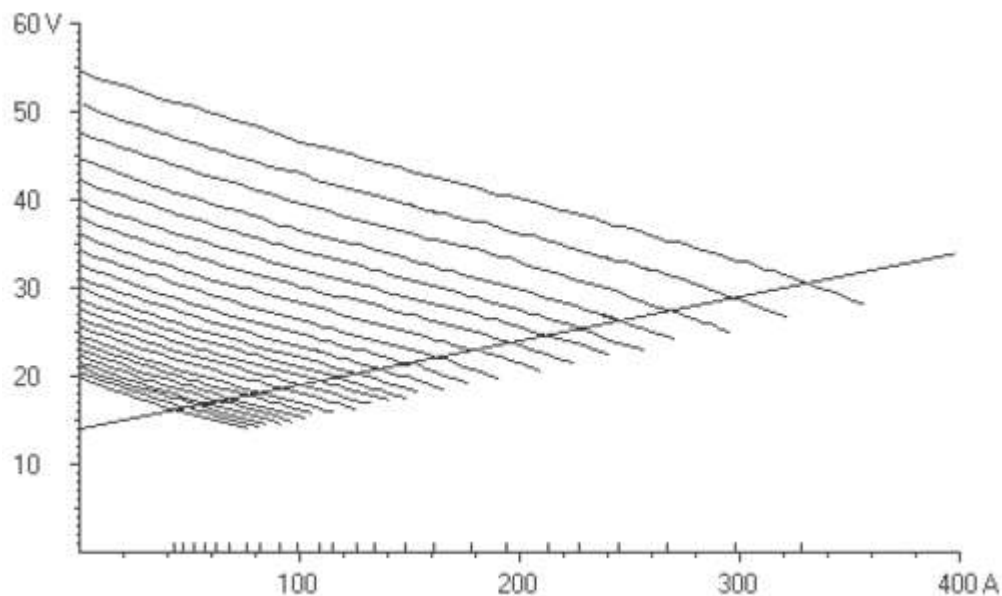
Način dobijanja različitih napona za zavarivanje na izčaju aparata je preko izvoda sa trafoa i preklopnika.



Dobijanje raznih napona za zavarivanje preko nekoliko izvoda sa sekundarnog namotaja.

Tako, svi trafo MIG/MAG aparati, sa više izlaznih napona imaju svoje U-I krive, svakom izvodu odgovara jedna U-I kriva, prema kojima se može videti koliko je to dobro projektovan aparat za zavarivanje.

Mnogi proizvođači kriju ove U-I krive, neki kao tajnu jer su uložili znanje u konstrukciju aparata, pa da im male firme ili ljudi koji sami prave aparate ne bi kopirali njihov aparat krađući im znanje, a neki da se ne bi sramotili kako su loše konstruisali aparat.



Konkretna slika izlaznih napona jednog aparata, proizvođača iz Mađarske. Verovali ili ne, u Mađarskoj postoje dva odlična proizvođača klasičnih trafo MIG/MAG aparata.

Na slici je gust raspored izlaznog napona, vidi se i nagib „slope“, tj pad U-I krive. Vidi se da na 300A maksimalno može da se podesi max 35V, što jeste odlično. Međutim sada se na tržištu nalaze jeftini aparati kojima je veoma veliki pad U-I krive, pa na 300A ne mogu da daju ni 30V. Ovo je jako bitno za perfektno zavarivanje u spreju i punjenim žicama.

Vidi se i da je minimalni napon zavarivanja ide oko 14V, što je opet odlično za zavarivanje tankih limova bez progorevanja.



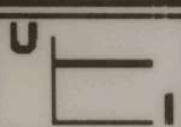
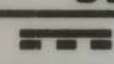



Nije svejedno koji trafo aparat kupiti, nisu svi isti, jednima se bolje zavaruje nego drugima.

Vidi se i kako su u donjem delu, na nižim naponima, gde se zavarivanje radi transferom kratkog spoja, linije izlaznog napona vrlo guste, da bi se u toj zoni osetljivom na prštanje i nestabilno zavarivanje doprinelo sa što gušćom skalom izlaznog napona. Vide se cele naponske krive, od napona praznog hoda do kraja.

Iz nekog razloga, proizvođači aparata nerado daju ove krive za svoje aparate. Pretpostavljam da štite od kopiranja ugrađeno znanje u konstrukciju aparata.

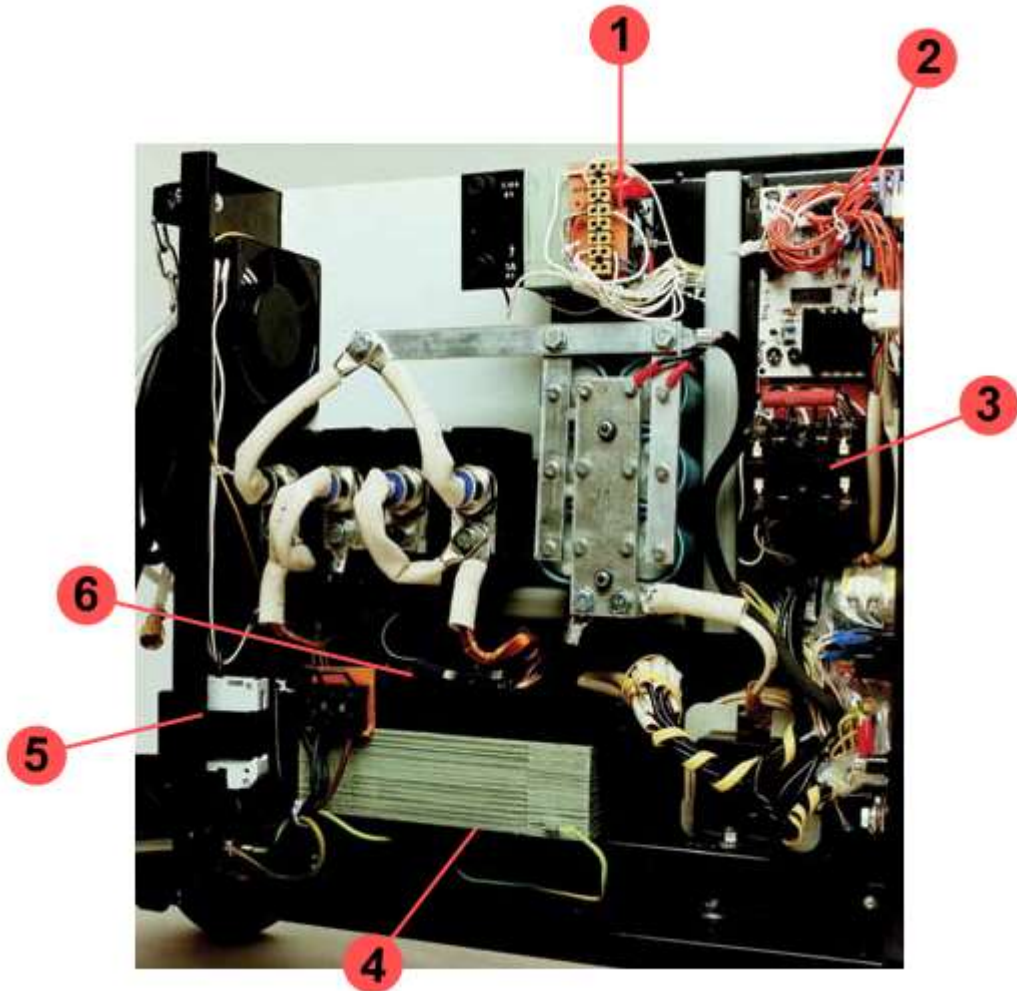
Poznavajući malo dublje MIG/MAG zavarivanje, lako je upariti brzinu žice sa jednim od izlaznih napona pri zavarivanju za recimo zavarivanje čelika određene debljine, a po potrebi samo malo korigovati napon/dužinu luka ili brzinu žice/amperažu.

Za ovo je ipak potrebna kratka obuka na konkretnom aparatu, uzelo bi mnogo vremena ovde detaljno opisati, kako iskoristiti ove krive za pravilan izbor napona.

MADE IN POLAND BY ESAB		ESAB		CE	
Origo™ Mig L405		331-534-0534			
		EN 60974-1 EN 60974-10			
	50A/16,5V - 400A/34V				
		X	50%	60%	100%
	U ₀ = 17-45V	I ₂	400A	365A	280A
		U ₂	34V	32V	28V
	U ₁ = 400-415V	I _{1max} = 28,0A			
		I _{1eff} = 20,0A			
		H	IP23S	S	

Svaki aparat ima svoju pločicu sa električnim karakteristikama.

Za ovaj aparat 400A MIG/MAG aparat se može videti koliki je nagib, vidi se da je pad U-I krivih od 1V/100A (najniža kriva) do 2.75V/100A (najviša kriva) – što je odlično, problem je kada je je pad 5-10V/100A kod jeftinijih (a katastrofalno loših) aparata.



Izgled unutrašnjosti jednog klasičnog a dobro konstruisanog MIG/MAG trafo aparata.

1) mali kontrolni transformator. Njime se napaja niskim naponom elektronika, motor za dodavanje žice, glavni relej...

2) elektronska kartica za pogon žice,

3) Glavni relej, za uspostavljanje luka pritiskom na prekidač pištolja,

4) Glavni transformator, motan bakarnim namotajima. Bakar bolje provodi struju od aluminijuma i traje duže i daje bolji luk,

5) Strujni osigurač, na ulazu u aparat pre primara, štiti unutrašnje komponente od oštećenja,

6) Termo prekidač, isključuje aparat ako se pregreje.

Danas su **invertorski** izvori struje doneli sve one pobrojane mogućnosti za perfektna zavarivanja (Synergic, kontinualna kontrola indukcije, puls, napredni programi itd). Međutim, postavlja se pitanje, naročito kada je samo zavarivanje čelika u pitanju, da li je potrebno ulagati u „kompjuterski aparat“ ili se posao može lako završiti tradicionalnim trafo aparatom.

Trafo tehnologija je jako stara, i danas postoje aparati po 40 godina stari koji i dalje rade, a tokom decenija su radili svaki dan, po smenama i postoji mnogo primera, i zato se sa stanovišta pouzdanosti, smatra da su trafo aparati praktično večni. A eventualne kvarove je lako popraviti. Za sve to postoje brojni dokazi, i niko ne može to osporiti.

Sa druge strane, iako su invertorski aparati daleko superiorniji u performansama električnog luka, morali su proći kroz fazu razvoja, gde su se izuzetno mnogo kvarili. A svaki kvar je skup za popravak.

Zbog te činjenice, neki vlasnici jednostavno i dan danas preferiraju staru trafo tehnologiju.

Kada su u pitanju trafo izvori struje, postoje generacijski gledano tri vrste:

- „prvobitni“ trafo aparati sa bakarnim namotajima,
- trafo aparati sa aluminijumskim namotajima,
- nova generacija trafo aparata sa (uglavnom) bakarnim namotajima.

Stara generacija trafo aparata, je pre svega imala bakarne namotaje u trafoima. U to doba je postojao takmičarski duh ove vrste: napraviti što jači i izdržljiviji trafo, lakiran što bolje što boljim lakom itd... Rezultat takvog takmičenja je bio da su mnogi osvojili tehnologiju pravljenja dobrih i izdržljivih trafoa, i otada postoji verovanje da je dobar trafo večan, ma ko ga napravio, da se nikada neće pokvariti.

Međutim, kako je elektronika napredovala, tako su i trafo aparati sa bakarnim namotajima gubili tržište. A zahtev za „starom dobrom pouzdanom večnom“ tehnologijom je i dalje postojao, upravo zbog male pouzdanosti prvih invertorskih aparata i skupih popravki.

To je prepoznala „nova generacija“ proizvođača trafo aparata, koji su od tržišne filozofije „napraviti što bolje“, nastupili sa tržišnom filozofijom „napraviti što jeftiniji, bez obzira koliko loše a napraviti što veći profit“. Transformatori su kod ove generacije od aluminijuma, poddimenzionisani su, a takođe se štedi na bukvalno svemu. Uglavnom nisu proračunati da im je luk dobar, već je u najboljem slučaju osrednji.

Činjenica je da je stvarno moguće napraviti dobar izvor struje sa aluminijumskim namotajima (par USA proizvođača imaju jako dobre MIG/MAG aparate sa alu trafoima). Problemi da budu dobri kao oni sa bakarnim se rešavaju samo skupim rešenjima, a onda se postavlja pitanja smisla uštede na aluminijumu kao jeftinijem materijalu a većim troškovima na ostalim rešenjima.

Prvo, poprečni presek aluminijumskog namotaja mora biti 1.6 puta veći od preseka bakarnog da bi izdržao istu toplotu ako se želi pravilno dimenzionisanje. Znači mora biti veći po veličini što vuče da i metalno jezgro mora biti veće, a onda i prostor za smeštanje trafoa u aparat mora biti veće. Odmah se vidi da jeftiniji materijal za namotaje (aluminijum) vuče skuplja ostala rešenja.

Dalje, spoj alu namotaja sa ostalim uglavnom bakarnim ili mesinganim priključcima je problematičan. Jedno je galvanska korozija na tim spojevima, a drugo je činjenica da se aluminijum mnogo širi i skuplja, pa se ti spojevi razlabavljaju. Da bi se to rešilo, potrebno je opet skupo rešenje problema...

Aluminijum je takođe osetljiv na koroziju u slanoj atmosferi...

Iz tog razloga, veoma mali broj proizvođača se oslanja na aluminijumske trafoe za pravljenje vrhunskih aparata.

Najvećim delom, radi se o tome, da se na račun stare slave, da se proda neupućenim kupcima aparat na kome se štedelo na svemu, aluminijum umesto bakra, loše rešenje priključaka, neizdržljive diode, loše hlađenje, loše proračunati izvodi za napon i brzinu žicu, mali izbor podeoka za napon, često i brzina žice nije elektronski regulisana nego preko podeoka.

Neupućeni kupac zna onu istinitu priču „da trafo tehnologija traje večno“, ali ne razume da iza „večne“ tehnologije ipak stoji skuplji bakarni trafo, mnogo bolja konstrukciona rešenja, gusti izvodi napona i brzine žice, koji su proračunati pravilno... Ali za njega je sve to isto, sve je to „CO2 aparat“, pa je zato najbolji onaj najjeftniji.

I kada kupi takav aparat, ispada da „slabo vari“, više „napljuckava“ nego „saliva“, nema snagu, brzo se pregreva, čak se i često kviri, ne može da se našteluje uvek dobro, dobro vari auspuh ali loše kutijaste profile...

I onda, pošto je danas lako dobiti na internetu pitanje na svaki problem, nameće se rešenje. Postoje firme koje takve aparate, premotavaju i „friziraju/pojačavaju“. Stavljaju im trafo sa boljim namotajima, bolje i izdržljivije diode, bolje hlađenje itd...

I onda se onaj loš aparat pošalje na friziranje, pa se dobije „aparat koji sada na 2-om podeoku vari ono što nije mogao prvobitni na 4-tom podeoku“.

Činjenica je da čovek koji se ozbiljno bavi zavarivanjem niti može da poveruje da neko pravi te loše aparate, niti da ih neko kupuje, a kamoli da ih posle šalje na friziranje, ali to je realnost u klasi hobi aparata i lake bravarije, auto limara itd.

Jedan od nedostataka prvobitnih dobrih tradicionalnih trafo aparata je bila činjenica da su imali mali Faktor snage, da su zbog toga vukli mnogo struje, tj ne samo da su trošili mnogo struje već je morala postojati „jaka i stabilna industrijska“ struja. Osigurači su morali biti recimo 32A pa naviše. Dešavalo se i da aparat ne može da krene da radi „u špicu“, kada sve mašine u hali krenu da rade istovremeno.

Zahtevi za starom dobrom večnom trafo tehnologijom sa bakarnim namotajima postoje i dan danas. A opet danas je nivo tehnologije takav da je elektronika napredovala, pa su se pojavile nove generacije trafo aparata, sa bakarnim namotajima u izvoru struje, ali i elektronikom koja im poboljšava slabe tačke i slabe karakteristike. Na primer, povećan je Faktor snage na 0.9 i više, pa sada ovi aparati ne vuku veliku amperažu iz mreže već mogu raditi i na malim osiguračima.

Elektronika im reguliše brzinu žice i to kontinualno. Na taj način se dobija relativno jeftin aparat, sa „većnom trafo tehnologijom sa bakarnim namotajima“ i sa elektronikom koja poboljšava iskorišćenje aparata i koja kontroliše brzinu žice.



STEL SKY MIG 453K – nova generacija MIG/MAG aparata sa bakarnim trafoom

- Synergic MIG/MAG aparat,
- sa bakarnim namotajima,
- sa faktorom snage 0.95,
- 30 podeoka za napon,
- digitalni displeji za napon i brzinu žice/amperažu,
- 2 izvoda za indukciju,
- 105 kg bez hladnjaka,
- Maximalno vuče 27.5A kada radi na 400A, radi na 16A osiguračima.

Što se tiče invertorskih aparata za zavarivanje, tu se uglavnom „sve zna“. To su danas u svom vrhunskom obliku aparati kojima luk kontroliše kompjuter i gde je moguće dobiti sve danas poznate programe za

zavarivanje softverski, a kojima je moguće ugradnjom odgovarajuće elektronike, podići i Faktor snage i na 0.99, kojima je štetno grejanje unutrašnjosti smanjeno na minimum, i da se izbegne stvaranje harmonika, tj izobličavanje struje u električnoj mreži. Što naravno takođe ima svoju cenu.

STEL MAX 603 + TOP 504 XXM (4-550 A)

Po svojoj konstrukciji i performansama električnog luka i ugrađenim programima, jedan od najboljih invertorskih aparata za zavarivanje na svetu trenutno.

Na tržištu se danas nalazi ogromna ponuda aparata invertorske tehnologije. Osnovna prednost je mala težina i veličina u odnosu na amperažu koju daju.

Međutim, ostaje pitanje konstrukcije i pouzdanosti. Važi pravilo uglavnom, da je bolji, pouzdaniji aparat skuplji.

U svakom slučaju, može se preko konstrukcije aparata, preko Faktora snage itd, proceniti vrednost i kvalitet aparata.

GASOVI U MIG/MAG ZAVARIVANJU

Opšte napomene

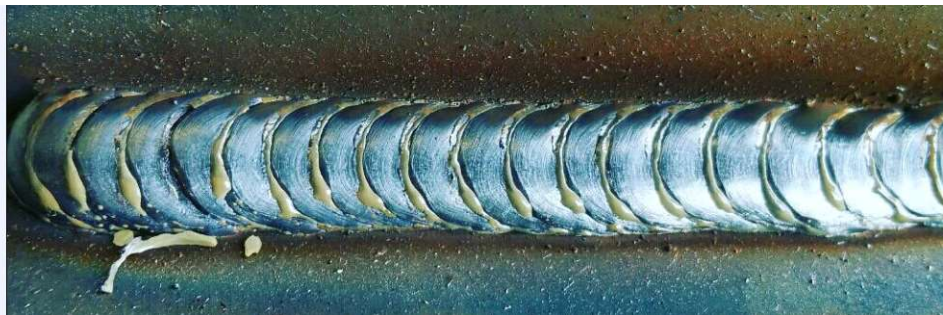
Smisao zaštitnih gasova je:

- da štite od negativnog uticaja atmosfere (kiseonika i azota),
- da pravi plazmu (u smislu: gas postaje provodnik električne struje, zagreva se i odaje toplotu žici i materijalu koji se vari, topi ih i omogućava zavarivanje, a zavarivanje jeste proces spajanja metala topljenjem),
- omogućava dobijanje potrebne geometrije profila vara,
- kontroliše vrstu transfera metala sa žice u materijal,
- ...

Vazduh između žice i materijala ne provodi struju. Zato mora da se odstrani, da bi ga u tom prostoru zamenio elektroprovodni gas. Taj isti gas mora poslužiti i kao zaštita rastopljenog i usijanog očvrnutog metala pre svega od oxidacije i poroznosti. U samom gasu, se dešava i proces jonizacije, a tako je namešteno da je žica vezana za + pol tako da elektroni putuju ka žici jer je lakše topiti malu žicu nego veliku zapreminu materijala.

(Žica je na + polu zato što je oko 2/3 toplote luka na + polu a 1/3 toplote na – polu, pa je zato žica na + polu da bi se na što nižoj amperaži desili pomenuti transferi, gde elektromagnetno polje „otkida i sliva“ usled toplote rastopljenju kapljicu sa žice u materijal).

Sam gas može biti inertan (Argon, helijum), ali i reaktivan, tj postoji neka vrsta reakcije gasa i rastopljenog metala, bilo tokom putovanja kapljica sa žice do kupatila, bilo sa kupatilom bilo sa očvrslim a usijanim metalom. Npr najlakše je uočiti produkt oksidacije u obliku staklastog oksida na površini metala šava kao i grubo sivom bojom vara.



Ova braon staklasta prevlaka je oxid, pre svega SiO. Pre farbanja je treba odstraniti. Što je više CO2 gasa u zaštitnom gasu, to ima više ove šljake.

Treba dodati da je za odlično zavarivanje i ponašanje tokom zavarivanja i stabilnost luka bitna čistoća gasa, pa je i preporuka koristiti gasove baš namenjene za zavarivanje. Takođe, jako je bitna homogenost same smeše kod mešavina gasa.

Gasovi koji se najčešće kod nas koriste u zavarivanju mogu biti čist Argon, čist CO₂, Ar+18%CO₂, Ar+8%CO₂, Ar+2.5%CO₂, Ar+2%O₂...

Kod gasova treba uočiti i neka njihova specifična svojstva tj termine:

- **disocijacija** gasa (cepanje molekula gasa na toploti na sastavne atome ili molekule),
- **rekombinacija** (ponovno spajanje gasa koji je prethodno bio razložen),
- **jonizacija** (pozitivno naelektrisanje atoma ili molekula gasa tako što im se skida elektron sa orbite najdalji od jezgra),
- **oksidacija** (vezivanje kiseonika iz gasa sa metalima),
- **karburizacija** (vezivanje ugljenika iz gasa sa metalima),
- **termička provodljivost** (jedna od suštinskih odlika gasa... koliko i kako se električna energija pretvara u toplotu i kako luk odaje toplote metalu i okolini, čime je određena penetracija i oblik profila gusenice).

CO₂ gas

CO₂ gas je doprineo masovnoj primeni MIG/MAG zavarivanja čelika, toliko da je postao i sinonim za MIG/MAG zavarivanje. Drugim rečima, neki „sve“ nazivaju CO₂ zavarivanjem, pa čak se čuje i „CO₂ zavarivanje aluminijuma“ iako se za zavarivanje aluminijuma koristi čist argon i nikada CO₂ gas.



Tipičan žargonski način traženja žice za zavarivanje aluminijuma na internetu.

Naravno zavarivanje neće biti u zaštiti CO₂ gasa već u zaštiti čistog argona, ali je izražavanje ovako.

CO₂ gas i mešavine sa njim se masovno koriste za zavarivanje običnih čelika žicama punog poprečnog preseka i u industriji i hobi zavarivanjima, kao i za zavarivanje punjenim žicama raznih kvaliteta.

CO₂ gas je relativno jeftin. Gas je bez boje i mirisa, teži je od vazduha oko 1.5 puta, ima blago kiseli ukus. Dobija se preradom CO₂ gasa iz bušotina, sa nekih izduvnih kolektora u hemijskim industrijama kao i iz procesa vrenja (fermentacije recimo u pivarama). Ovaj CO₂ gas iz procesa fermentacije je bio velike čistoće i bio je omiljen u bivšoj vojnoj industriji Jugoslavije zbog odlične disocijacije.

Čini ga oko 72%O₂ i 28%CO. Već rečeno, jeftin je i često daje prihvatljiv var (u smislu izgleda i mehaničkih svojstava). U njemu se ne može ostvariti sprej, već se zavarivanje izvodi u stabilnom režimu

kratkog spoja (iako su i tada kapljice krupne i sklone prihvatljivom prštanju) ili u koliko-toliko kontrolisanom krupnokapljičastom režimu, a u poslednje vreme čist CO₂ gas je veoma popularan za zavarivanje rutilnim punjenim žicama (transfer je kvazi sprej, tj jeste sprej ali nije aksijalan, fine kapljice se slivaju duž cele zapremine luka).

Daje najmanje iskorišćenje žice, zbog prštanja se smatra da je iskorišćenje svega oko 90% žice, izgled šava je grub i siv, tj prilično oksidiran. Ovo prštanje se donekle može ublažiti aparatima novije generacije gde elektronika modulira luk za najbolji rezultat. Zbog pomenutog prštanja, nagomilavanje pucni na dizni i u šobi je veliko, pa se često mora čistiti šoba i prskati zaštitnim sprejom. Ovo obara produktivnost ali ponekad i kvalitet zavarenog spoja jer blokira protok gasa, pa onda metal biva kontaminiran atmosferom. Na samom predmetu su takođe izražene pucne kao rezultat prštanja, i često je veoma skupo brusiti ih.

Fizika luka u MIG/MAG zavarivanju, sa naglaskom na CO₂ (bilo da je čist, bilo da je deo mešavine) je sledeća:

Gasovi za MIG/MAG zavarivanje mogu biti monoatomni (argon, helijum...) i višeatomni (CO₂, O₂...) i ovi drugi reaguju sa metalom tokom zavarivanja.

Prolaskom struje kroz gas, kao kroz bilo koji provodnik, stvara se otpornost i rezultat je zagrevanje. Na povišenim temperaturama, dešava se pojava da se atomi i molekuli brže kreću tj osciluju i u jednom momentu se odvajaju jedni od drugih. Ova pojava odvajanja, razlaganja, se još naziva **disocijacija**.

Disocijacija CO₂ gasa se odvija po formuli $CO_2 = 2CO + O_2$. Energija potrebna za disocijaciju CO₂ gasa je 4.3 eV, a početak disocijacije CO₂ gasa je već na oko 600C.

(1 eV = 1.6E-19 J, tj ovo je toplota koju treba dovesti jednom molekulu CO₂ gasa da bi se pocepao na CO gas i O₂ gas)

Dobijeni CO molekuli imaju tzv redukujući karakter a dobijeni O₂ ima oksidišući karakter. To znači da se O₂ vezuje sa metalima stvarajući okside, a CO se reaguje sa metalnim oksidima i oduzima im kiseonik i ostavlja čist metal. Dalje, proizvođači žica u žice ubacuju povećan sadržaj silicijuma i mangana, pa onda silicijum se brzo brzom vezuje sa kiseonikom tokom transfera kapljice sa žice u kupatilo i tako štiti da se kiseonik ne veže u većoj meri sa drugim elementima. Proizvod je staklasti braon oksid na licu šava, koji se često mora skidati naročito ako sledi farbanje. Da ne bude zabune, silicijum ne uspeva da veže sav kiseonik već se kiseonik vezuje u maloj meri sa drugim elementima pa se zato u žice stavljaju povišeni sadržaji Mn i Cr unapred računajući da će deo biti izgubljen tokom zavarivanja.

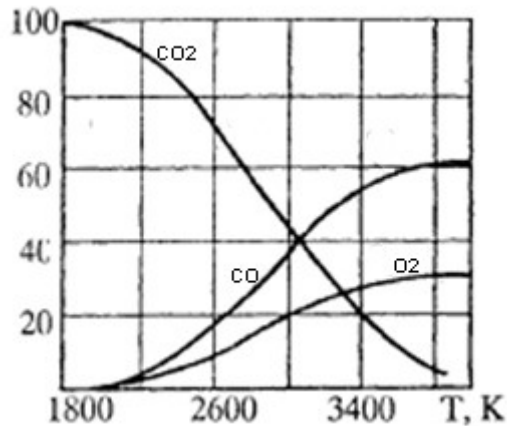
Sam O₂ (bio iz CO₂, bio samostalno dodat u mešavinu) i sam disocira na 2 atoma kiseonika. Potencijal disocijacije kiseonika je 5.1 eV.

Sa druge strane CO molekul uglavnom ne disocira (na C + O) u velikoj meri jer mu je za disocijaciju potrebno preko nekih 6000C (temperatura luka je do oko 7000C), pa je i to jedan od razloga zašto se ne dešava veliki unos ugljenika u metal šava. Pre se dešava da ovaj CO pokupi nešto kiseonika i smanji stopu oksidacije kao i da taj CO pravi problem kao gasni uključak, ako ostane zarobljen u metalu šava.

Sve ovo je razlog zašto je nivo poroznosti i oksidacije manji kod mešavina Ar/CO₂ od onih sa Ar/O₂.

Posle disocijacije, sledi drugi korak a to je jonizacija tj naelektrisanje dobijenih molekula. Sa spoljnih orbita se skida elektron koji dalje struji i pravi električnu struju u gasu. Potencijal jonizacije (energija potrebna za skidanje elektrona) za CO₂ gas je 13.77 eV a za kiseonik je 13.62 eV.

Temperatura luka nije ista u svim regionima, već rečeno da CO teško disocira a CO₂ lako, pa onda imamo u raznim zonama luka različite koncentracije i CO₂ i CO i O₂ (i plus argon ako je mešavina Argon/CO₂). Što je veća temperatura luka, sledi da je stepen disocijacije veći, time i stepen jonizacije a time i toplota.



Sa slike se može videti sastav gasa pri nekoj temperaturi luka. Recimo na 3400K sastav gasa je otprilike 20%CO₂+52%CO+28%O₂. Na većim temperaturama luka, procenat CO₂ pada, tj disocijacija je veća, a što je disocijacija veća, kasnije će biti veća rekombinacija, a što je ona veća biće proizvedena veća toplota, koja će biti upotrebljena za bolje topljenje tj zavarivanje čelika.

Temperature [K]	1800	2000	2200	2500	3000	4000
CO ₂ [%]	99.34	97.73	93.94	81.10	44.26	5.92
CO [%]	.44	1.51	4.04	12.60	37.16	63.72
O ₂ [%]	.22	.76	2.02	6.30	18.58	31.36

Sadržaj gasnih faza na različitim temperaturama posle disocijacije CO₂

Zašto je reč disocijacija (razlaganje) CO₂ na molekule CO + O₂ gasa toliko puta pomenuta? Zbog fenomena „**rekombinacije**“ tj ponovnog spajanja CO i O₂ u CO₂ gas. Temperatura luka kod vrha žice je velika i tu se dešava pomenuto cepanje molekula gasa. Kako molekuli idu ka materijalu, u zonama blizu materijala, recimo na nekih 1600C dešava se fenomen ponovnog vezivanja CO sa O₂ u CO₂ (rekombinacija). Vezivanje je egzotermno tj dešava se uz oslobađanje toplote, a ta dodatna toplota se i predaje materijalu i time se omogućava bolje topljenje materijala. Sam CO₂ gas ima visoku termoprovodnost, tj odaje toplotu celim poprečnim presekom luka, tako da je gde god dodiruje metal, tu je hladno, pa se rekombinuje i tu mu on mu predaje toplotu, a što je najbitnije kao rezultat, ostvaruje široku i duboku penetraciju tj i u ćoškovima tj ivicama gusenice.

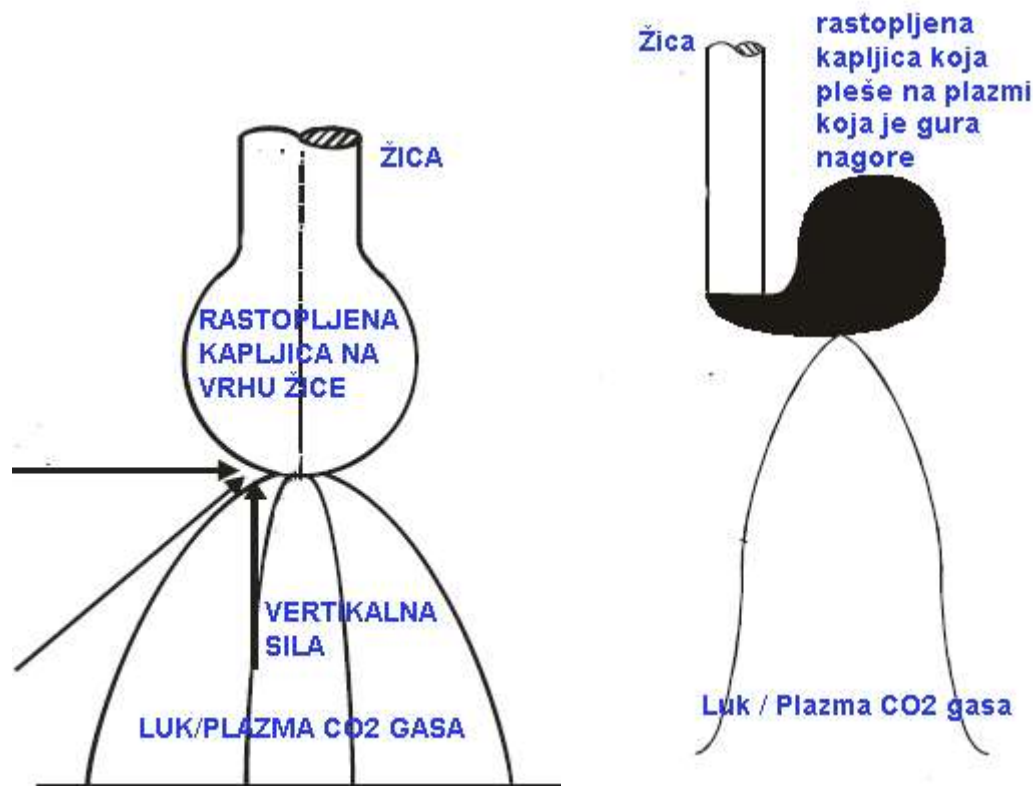
(To je poenta zašto je CO2 gas doveo do zavarivanja čelika ovim procesom. Čist argon ovo ne može, ne može da preda toplotu čeliku u širokoj zoni već samo aksijalno ispod žice, tako da se ostvari prihvatljivo uvarivanje i profil gusenice).

Profil luka, u dodiru sa materijalom je najčešće eliptičan, i uvarivanje u ivice je zbog ovog svojstva odlično. Ovaj fenomen je doprineo masovnoj primeni CO2 gasa u zavarivanju čelika, kako čistog CO2 tako i kao deo mešavine sa Argonom. Do otkrića osobina CO2 gasa za zavarivanje čelika, ovaj postupak (danas poznat kao MIG/MAG) je bio samo MIG i koristio se za zavarivanje pre svega aluminijuma.

Treba i dodati da velika toplota koju odaje CO2 gas, i efekat redukcije CO gasa čini da je ponekad moguće prihvatljivo zavarivati donekle rđave delove kao i toplo valjanje delove a bez temeljnog prethodnog čišćenja.

Mane primene čistog CO2 gasa su: velika stopa prštanja, ponekad neprihvatljiva oksidacija i time gubitak legirajućih elemenata i pad žilavosti i čvrstoće, preveliki unos toplote, kod zavarivanja pojedinih čelika neprihvatljiv unos C u metal šava... Sve se ovo rešava mešavinom sa argonom gde se maksimalno iskorišćavaju prednosti CO2 gasa tj njegove disocijacije i velike energije tj toplote.

Fenomen koji izaziva nezgodno prštanje kada se radi sa čistim CO2 gasom je sledeći:



CO2 plazma luka:

Na vrhu žice se formira krupna kapljica, a plazma CO2 luka je gura uvis. (Za razliku od CO2 plazme, plazma argona obavija vrh žice i štira i kida kapljicu i propelira je nadole).

Plazma CO₂ gasa ispod kapljice je u obliku polulopte. Pomenute reakcije disocijacije i rekombinacije proizvode takve sile da su usmerene vertikalno uvis ka kapljici. Sile su neravnomerne, čas veće, čas manje... U svakom slučaju vrh žice se topi, ali sile ne dozvoljavaju da se ta kapljica sa vrha žice slije u materijal već kapljica postaje sve veća. Dolazi do borbe. Plazma luka je gura gore a težina tj gravitacija i elektromagnetne sile je guraju dole. U jednom momentu kada kapljica postane dovoljno velika ove druge sile pobeđuju i kapljica, velika pada u kupatilo.

Sama kapljica bukvalno pleše jedno vreme na plazmi koja je gura nadole. Tokom tog plesa centar luka se i pomera iz ose žice, prateći kapljicu. Sa druge strane kada žica krene ka kupatilu dešava se da se luk skraćuje. Sve se to manifestuje kao nestabilnost luka, luk drhti, šeta (levo – desno), diše (skraćuje se i povećava se).

A sama kapljica, kada postane dovoljno velika, može da napravi kratak spoj, da bučne u kupatilo izazivajući prštanje, može da struja kratkog spoja bude velika da dovede do njene eksplozije i time naravno prštanja u široj okolini, može da eksplodira u vazduhu što opet dovodi do prštanja... Kako bilo, čistoća gasa, dobro napravljen aparat, ili dobro programiran elektronski aparat u sinergijskom programu, dobro istovremeno štelovanje (doduše vrlo su uske tolerancije) svih parametara zavarivanja (brzina žice, voltaža, prepust žice, indukcija, nagib...) mogu dovesti do vrlo prihvatljivog zavarivanja u CO₂ gasu, pre svega u stabilnom režimu kratkog spoja.

Pri zavarivanju sa CO₂ gasom, ne treba preterivati sa protokom. To je gas visoke energije, a sa druge strane ograničen je na stabilan režim kratkog spoja (sa žicama punog poprečnog preseka) a to znači za niže amperaže i tanje debljine pa je preporuka raspon od 6 do 12 l/min. Za manje amperaže, tanje žice, niže vrednosti i veće za deblje žice i veće amperaže.

Grubo pravilo koje se lako pamti je protok oko 10 x prečnik žice (oko 6 l/min za 0.6 mm žicu, oko 8 l/min za 0.8 mm žicu, oko 10 l/min za 1.0 mm žicu, oko 12 l/min za 1.2 mm žicu).

Pojava na koju treba obratiti pažnju jeste „smrzavanje“ reducir ventila i blokada protoka gasa tokom zavarivanja. U boci je CO₂ pod pritiskom i to u tečnom stanju. CO₂ gas ima tri agregatna stanja, gasno, tečno i čvrsto. Ovo čvrsto se naziva suvi led.

Pri prolasku CO₂ iz boce do pištolja a kroz reducir ventil, CO₂ mora da se prevede iz tečnog u gasno stanje. Ovo isparavanje je praćeno oduzimanjem toplote iz okoline tj sniženjem temperature okoline. Pošto stanje svakog fluida zavisi od pritiska, temperature i zapremine, dešava se da u jednom momentu negde u reducir ventilu nastane takvo stanje da je pritisak oko ili ispod 4.15 bara i tu se onda stvara suvi led, tj čvrsti kristali CO₂ leda iinja. Oni smanjuju ili blokiraju prolaz gasne i tečne faze. Pojava smrzavanja i blokade se uočava naročito pri većim protocima gasa. Da se ovo izbegne potrebno je postaviti grejače na reducir ventil. Neki grejači rade na 220V a neki na struju koju daje aparat, npr 42 V. Neki aparati su imali fabrički izvedene priključke za ove grejače, a ponekad treba majstor električar da izvede ovaj priključak. Ako nema grejača, majstorska fora je staviti upaljenu sijalicu neposredno iznad reducir ventila i njena toplota će ga grejati. Na nižim protocima, u principu nema blokade protoka.

Pojava se može uočiti vizuelno, na reducir ventili se pojavljuje kapljice vode jer pošto se reducir ventil smrzava, on kondenzuje vlagu iz vazduha na sebi. Pri velikim protocima gasa, ova pojava kondenzacije se može uočiti i pri radu sa Ar+18%CO₂ mešavinom.

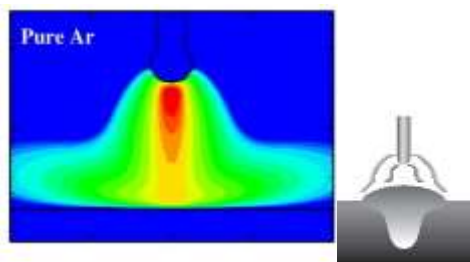
Argon

Argon se ne proizvodi veštački već se dobija separacijom vazduha. U vazduhu ga ima oko 1%, pa se vrši „smrzavanje“ ogromnih količina vazduha. Na određenoj temperaturi ispod nule, argon se kondenzuje i izdvaja kao tečna faza i odvaja se i skladišti. Radi se o gasu bez mirisa, ukusa i boje, nije otrovan. Teži je od vazduha oko 1.4 puta, (pa se dešavaju nesrećni slučajevi tokom zavarivačkih radova, naročito u nekim skućenim prostorijama, da koncentracija kiseonika i vazduha padne ispod nekog nivoa a da se u tom prostoru nađe prevelika koncentracija argona i zavarivač udahne. Pošto je teži od vazduha, nagomila se u plućima i neće da izađe napolje. Onda čovek ne može da udiše vazduh jer su mu pluća puna argona. Desi se da padne na pod, kolege se spuste ili uđu u rupu ili komoru i dožive istu sudbinu. Zato biti apsolutno oprezan pri radovima u skućenom prostoru. Prva pomoć se pruža izvođenjem na svež vazduh, davanjem veštačkog disanja i ako čovek ne može da diše mora se staviti maska sa kiseonikom).

Čist argon se koristi kao zaštitni gas za zavarivanje obojenih metala koji imaju veliki afinitet ka kiseoniku, kao što su aluminijum, bakar, magnezijum, titanijum...

Luk je prilično stabilan, a potencijal jonizacije je 15.7 eV, što znači da se luk relativno lako pali.

Osnovno svojstvo električnog luka pri zavarivanju u argonu je stvaranje plazme koja obavija vrh žice. Za razliku od plazme kod CO₂ koja se pozicionira ispod žice tj ispod rastopljene velike kapljice, kod argona se dešava da vrh postaje šiljat, plazma obavija šiljati vrh žice i zbog jakih elektromagnetnih sila koje deluju ka centru žice, kao i zbog toga što je žica slaba na mestu gde je rastopljena, dešava se odvajanje sitnih kapljica, prethodno opisanih kao sprej. Uočava se i specifičnost kod plazme u argonu. A to je činjenica da je toplotna provodljivost jako slaba u poređenju sa CO₂ plazmom i uočavaju se dve zone. Jedna u obliku stuba direktno ispod žice u kojoj je temperatura luka vrlo visoka, i široka zona oko ovog stuba gde je temperatura znatno manja. Zato se dešava da plazma vrši topljenje materiala u dubinu, ali ne i u širinu.



Snimljeno termovizijskom kamerom, crveno je najveća temperatura, pa žuto, pa zeleno.

Uočiti veliku temperaturu uskog stuba u luku, ispod ose žice, i široku okolnu dosta hladniju zonu. Kod zavarivanja čelika čistim argonom, profil uvarivanja je dubok ispod ose žice ali vrlo loš u ivicama gusenice jer je visoka gustina struje tj toplote koja bide na malu površinu i zato topi duboko u dubinu. Na engleskom se ovo zove „efekat prsta (finger effect) i kao takav je apsolutno nepoželjan. U tom „prstu“ lako ostaju zarobljeni gasovi, pa se može na radiografiji otkriti poroznost.

Zato se čelik ne zavaruje čistim argonom.

Ovo dovodi do velikog uvarivanja u dubinu, ali i lošeg uvarivanja u širinu. Rezultat je veliko neprihvatljivo nadvišenje gusenice, bez utapanja ivica u materijal. Sa druge strane, u dubini, može se desiti da iz metal šava ne mogu da izađu gasovi, pa se u toj dubini može očekivati poroznost. Zato, zbog loše toplotne

provodljivosti, tj zbog lošeg prenosa toplote sa plazme argona na čelik, čist argon se ne koristi za zavarivanje čelika.

Disocijacija i rekombinacija nisu mogući kod argona jer nema molekula to je atomarni gas, pa nema šta da se razlaže (nema molekula) tj da disocira i ponovo da se spaja i da metalu osim toplote luka predaje još toplote zbog rekombinacije.

Mešavine Argona sa CO₂ i O₂

Već je rečeno da je zavarivanje čelika doživelo procvat sa otkrićem CO₂ i fenomena disocijacije i rekombinacije koje stvaraju dovoljnu toplotu za topljenje čelika ispod cele zone luka. A zatim, mešanjem ova dva gasa i iskorišćavanje najboljih osobina jednog i drugog, je dovelo da je zavarivanje čelika MIG postupkom (punim i punjenim) je u razvijenim zemljama daleko najzastupljeniji proces zavarivanja.

Znači, CO₂ daje toplotnu provodljivost potrebnu za uvarivanje ivica gusenice tj fluidnost rastopljenog metala, a argon daje stabilnost luka tj tzv „pinch“ efekat, odvajanje sitnih kapljica sa žice tj stabilno sprej zavarivanje odnosno odvajanje sitnijih kapljica u kratkom spoju.

Zbog smanjene reakcije gasa sa rastopljenim metalom, količina dima je manja za nekih 20-25%. Rastopljeni metal ne oksidira mnogo (jer ima manje O₂ u gasu), znači dobijaju se zavareni spojevi sa visokim mehaničkim svojstvima.

U priči o CO₂ gasu je spomenuto da se cepanjem CO₂ gasa dobijaju molekuli CO + O₂. Tako da u jednom momentu u plazmi luka u različitim zonama u različitim procentima postoje i CO₂ i CO i O₂. Čist O₂ se ne koristi za zavarivanje ali je moguće argonu dodati nešto O₂. Dešava se ista stvar tj dolazi do disocijacije O₂ u plazmi ali dolazi i do reakcije O₂ sa rastopljenim metalom iz žice i rastopljenim metalom kupatila. Efekat je sledeći, dejstvo O₂ na metal žice je negativan jer vezivanje sa elementima iz žice znači gubitak legirajućih elemenata i sniženje mehaničkih svojstava. Zato žice sadrže povećan sadržaj Si kojem je zadatak da se veže sa što je više moguće kiseonika ali se zato takođe u žicama povećava i sadržaj svih legirajućih elemenata (Mn, Cr...) unapred predviđajući da će mali % biti izgubljen tokom zavarivanje usled oksidacije (kao i sagorevanjem...).

Međutim, O₂ ima i sledeće efekte na zavarivanje. Prvo maksimalno stabilizuje električni luk, potencijal jonizacije je malih 13.6 eV, lakše provodi struju. Sa druge strane, veoma zahvalan efekat je činjenica da rastopljeni oksidi metala imaju daleko manji površinski napon od rastopljenog čistog metala. Znači, bez kiseonika (bilo onog dobijenog disocijacijom iz CO₂, bilo čistog dodatog argonu) rastopljeni metal bi imao tendenciju da se pretvori u kuglicu ili da ode u visinu praveći veliko nadvišenje, što se i dešava zavarivanjem čelika čistim argonom. Ali rastopljeni metalni oksidi imaju mali površinski napon, što znači da imaju tendenciju da se razlivaju po površini, što je blagotvorno za razlivanje ivica gusenice tokom zavarivanja. Ako dodamo da je vezivanje O₂ sa Si egzotermna reakcija, koja dodatno unosi toplotu i dodatno razliva rastopljeni metalni oksid koji već ima manji površinski napon tj već po prirodi teži da se razliva... Dakle dodavanjem CO₂ gasa (ili O₂) gasu argonu dešava se da se negativna svojstva oboje potiru a da ostaju samo pozitivna svojstva svakog od njih.

Treba samo dodati da je potencijal oksidacije kiseonika u nekom procentu (recimo 2 %O₂) 2-3 puta veći nego potencijal jonizacije istog procenta CO₂ gasa (znači 2% CO₂). A rečeno je da preterana oksidacija snižava mehanička svojstva, naročito žilavost na temperaturama ispod nule. Iz tog razloga se ponekad uvek daje prednost mešavinama sa CO₂ u odnosu na one sa O₂.

Ar+18%CO2 (tzv C18 gas; C=skraćenica za CO2, 18=18%CO2 u Argonu)

Ovo je najuniverzalniji gas za zavarivanje crnih običnih čelika tj čelika koji nisu skloni zakaljivanju.

Ovim gasom se može zavarivati u svim stabilnim režimima, znači i u kratkom spoju, i u pulsu i u spreju.

U zavisnosti od parametara zavarivanja dobija se velika produktivnost (u spreju), zavarivanje je bez prštanja. U jačem pulsu se zavaruju delovi gde postoji opasnost od deformacija zbog unete toplote, u slabom pulsu se zavaruju tanji delovi, a u kratkom spoju tanki delovi...

Neke preporuke, gledano sa strane produktivnosti su da se u ovom gasu, sprej koristi za zavarivanje debljina preko 5 mm, puls za debljine 2.5-6 mm, a kratak spoj za debljine 1.3 do 4.0 mm.

U zaštiti ove mešavine se može raditi sa svim tipovima punjenih žica, uključujući one za nerđajuće čelike...

Sprejom se mogu raditi deblji materijali, bez opasnosti od nedovoljne penetracije.

Količina dima je manja pri radu u ovoj mešavini.

Mehanička svojstva metala zavara su bolja nego u čistom CO2 gasu.

Sprej se u ovom gasu postiže na nekih 220-230A sa žicom 1.0 mm i oko 270 A sa žicom 1.2 mm (u zavisnosti od aparata i drugih faktora).

Preporuka za protok gasa je 12-15 x prečnik žice, što će reći npr žicom 1.0 mm pri zavarivanju kratkim spojem 12 l/min na nižim amperazama i recimo 15 l/min za zavarivanje u spreju...

Ar+8%CO2 (C8 gas)

Ovo je gas koji je malo zanemaren, ali je u stvari prvi izbor za zavarivanje u spreju i pulsu. Energija plazme, zbog manje količine CO2 gasa i manjeg intenziteta disocijacije i rekombinacije i stvorene toplote je manja, tj gas je malo hladniji. Ali zbog manjeg udela „nestabilnog“ CO2 gasa sprej se postiže na nižim strujnim parametrima, pa se u materijal unosi manje toplote što je dobro za smanjenje deformacija i mehanička svojstva. Dalje, kapljice su sitnije, pa je zavarivanje u pulsu stabilnije. Puls mu znači da se u jedinici vremena odvaja jedna kapljica. Kada je je ta kapljica veća dešava se da luk „diše“ tj postaje kraći kako kapljica raste i duži kada se kapljica odvoji. Što je kapljica sitnija to je disanje pulsno luka manje tj luk je stabilniji a što je ovde slučaj. Takođe kod zavarivanja srednje legiranih čelika gde postoji opasnost od neželjenog zakaljivanja usled i maleckog obogaćivanja ugljenikom iz CO2 gasa ovaj gas je izbor.

Ar+2.5%CO2 (C2.5 gas)

Ovo je gas za zavarivanje nerđajućih čelika. Nerđajući čelici spadaju u grupi čelika osetljivih na bilo kakav (pa i mali) unos ugljenika u metal šava. Dolazi do mogućih problema sa tzv interkristalnom korozijom.

U ovom gasu je moguć i kratak spoj i puls i sprej. Naročito je popularan u Evropi. U USA iz nekog razloga insistiraju na gasu sa helijumom, pa ne treba koristiti preporuke za zavarivanje iz USA za zavarivanje nerđajućih čelika datih za mešavinu He + Ar + CO2.

Ar + 2%O2 (O2 gas)

Mešavine kiseonika sa argonom su najčešće sa 1-5 % O₂ u argonu. Od njih nekako se najviše koristi ovaj sa 2%O₂. Oksidacioni potencijal ovog sa 5% je često neprihvatljiv, a ovaj sa 1% i nije efikasan, pa se našao neki optimum na 2%O₂.

Radi se pre svega o sprej gasu, gasu koji snižava potrebne strujne parametre za sprej a kapljice u spreju su vrlo sitne. Naročito je i predviđen za zavarivanje nerđajućih čelika tankih debljina u spreju i pulsu brzim vođenjem pištolja.

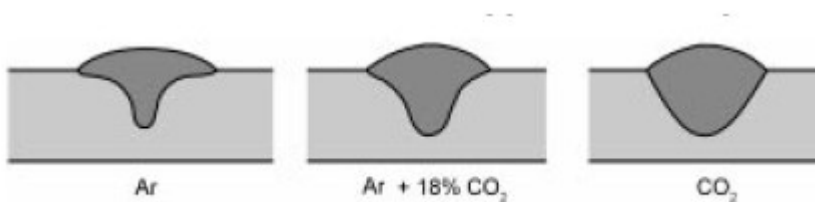
Treba skrenuti pažnju da postoji velika mogućnost pojave gasnih faza pa i poroznosti. Naročito je to izraženo kod zavarivanja debljih profila. Gas ima malu energiju tj toplotu (nema one naše disocijacije i rekombinacije i dodatne toplote CO₂ gasa), nema velike toplote u ivicama gusenice, već se uvarivanje pre svega svodi na smanjenje površinskog napona u tim ivicama, pa kao kod čistog argona, postoji veliko prodiranje u dubinu i gasne faze ponekad ne stignu da izađu iz kupatila i ostaju kao poroznost. Zato se ovaj gas preporučuje za tanke profile. Daje ravnije lice šava u odnosu na mešavinu sa CO₂ (zbog metalnih oksida koji se zbog manjeg površinskog napona razlivaju umesto da se skupljaju u nadvišenje).

Kažu da daje 15% manje dima nego gas sa istim %CO₂.

Ima i zanimljiva primena a to je pulsno navarivanje. Kod navarivanja je često potrebno malo mešanje sa osnovnim metalom, pa se ovim gasom postiže dobar rezultat.

Poređenja raznih gasova

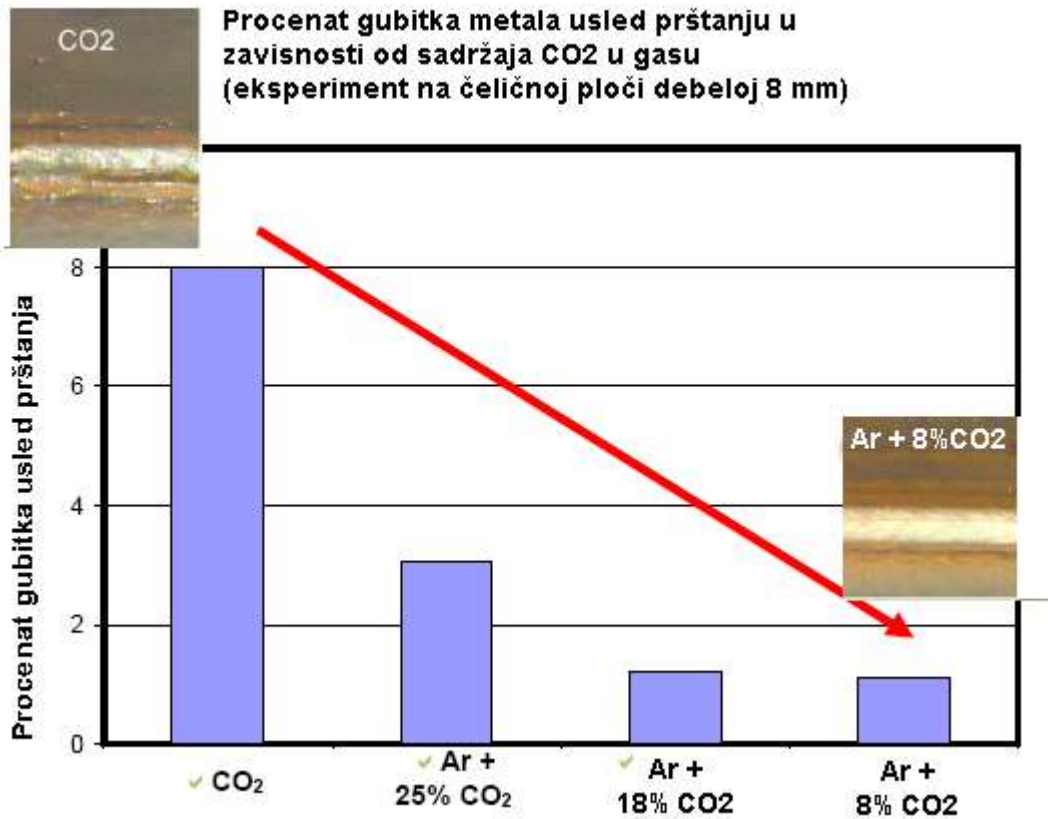
Profili gusenica u raznim gasovima:



Profil kod argona je u stvari sa velikim nadvišenjem i lošim uvarivanjem u ivice gusenice. Sa druge strane uvarivanje u ivice je odlično kod Ar+18%CO₂ i čistog CO₂. Nadvišenje kod Ar+18%CO₂ i čistog CO₂ je ispupčeno, ali prihvatljivo.

Koliko se metala gubi usled prštanja, rađeno najboljim strujnim parametrima na čeličnoj ploči debljine 8 mm:

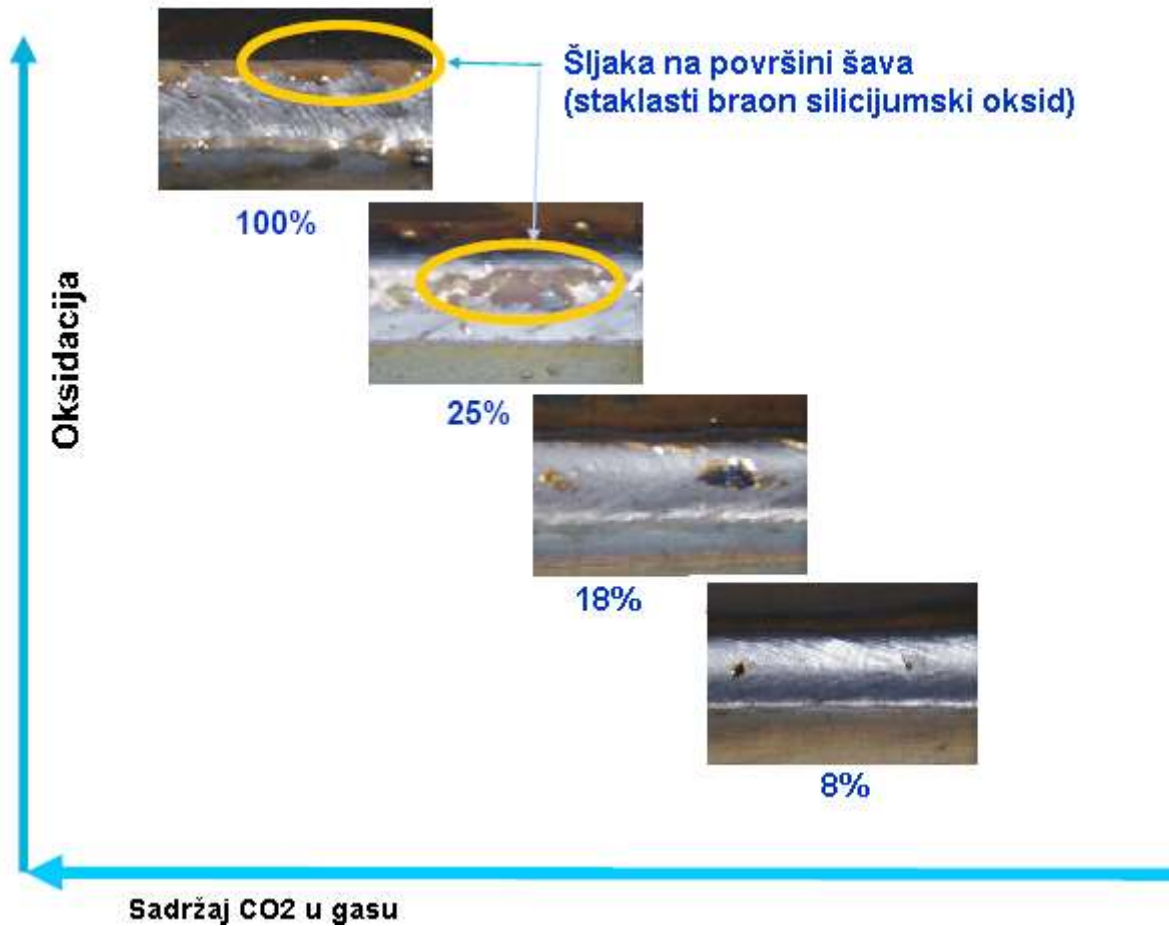
Prštanje tj pucne posle zavarivanja su trošak!



Istraživanje Air Liquid-a, najveće svetske firme u industriji tehničkih gasova.

Rasprskavanje kod čistog CO₂ je veliko. Pršti i po metalu i po pištolju tj šobi i dizni. Vreme za čišćenja je veliko u odnosu na ove druge. Inače u USA je gas Ar+25% CO₂ veoma popularan zato je ovde prikazan. To je gas za kratak spoj, nije za sprej ali je stopa prštanja manja od one kod čistog CO₂.

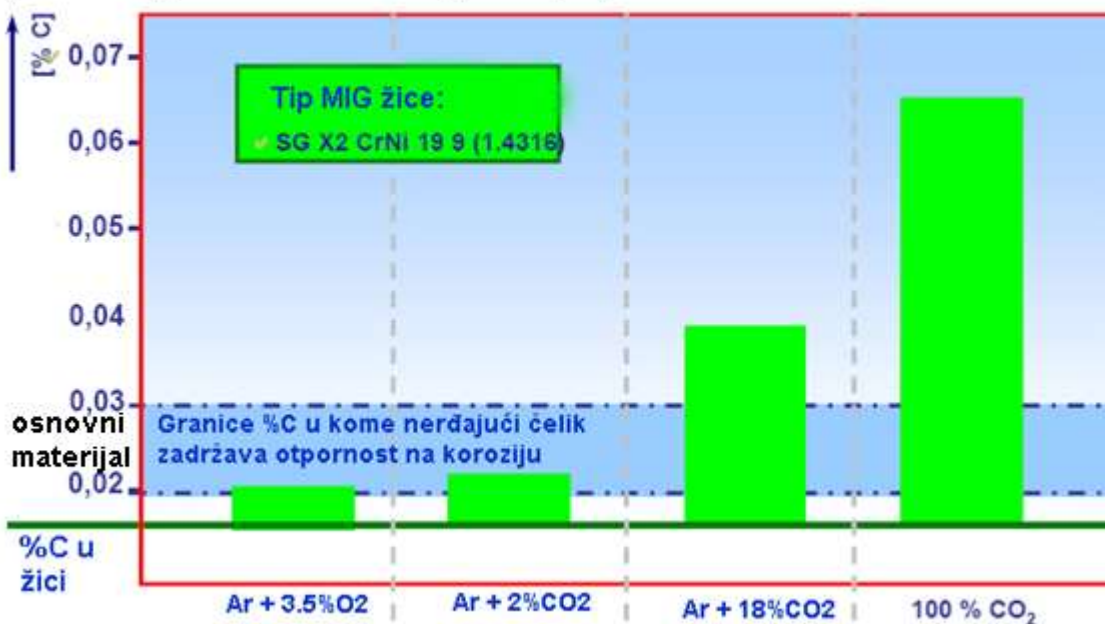
Izgled lica šava u zavisnosti od sadržaja CO₂ u gasu.



Istraživanje Air Liquid-a, najveće svetske firme u industriji tehničkih gasova.

Produkti oksidacije su silicijumski staklasti oksidi na licu zavora. Što je veći procenat CO₂ (tj O₂) to je veća oksidacija kako na licu šava tako i samog metala šava. Oksidacija metala šava dovodi do sniženih mehaničkih svojstava. A na licu šava, skidanje ovih oksida je trošak, ali se moraju skidati u višeprolaznom zavarivanju da ne bi doveli do povećanog sadržaja uključaka. Takođe, ako se radi farbanje posle zavarivanja treba ih skinuti. Posle zavarivanja oni su kao zalepljeni za metal, pa se farba (ne sve) hvata na njih. Međutim vremenom ta veza popusti i otpadne ovaj oksid ali i komad farbe preko njega što dovodi do korozije na tom mestu.

**Procenat ugljenika koji iz CO₂ iz mešavine ulazi u metal šava
(zbir %C iz gasa, žice i osnovnog materijala)**

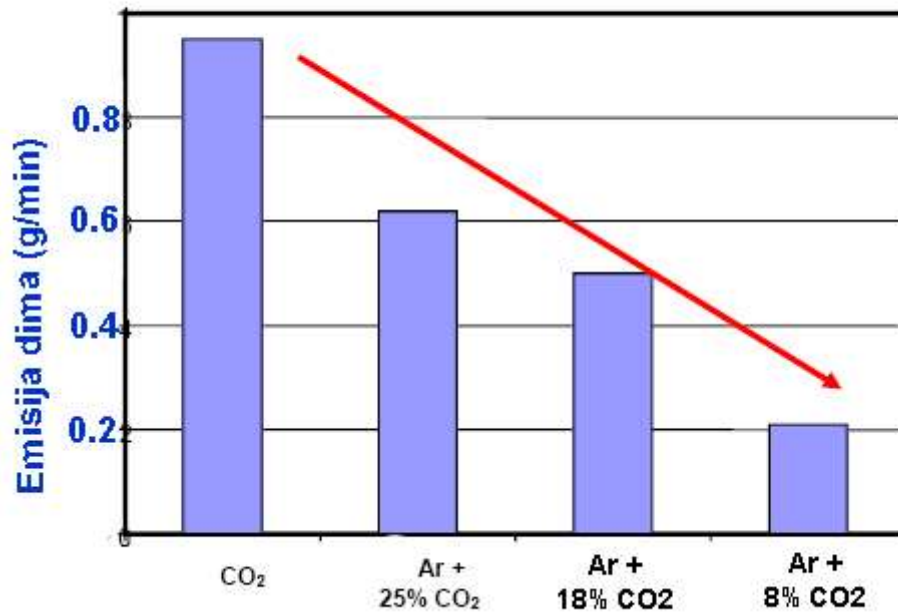


Istraživanje Air Liquid-a, najveće svetske firme u industriji tehničkih gasova.

Kod nerđajućeg čelika postoji opasnost ugrožavanja korozione otpornosti ako se zavaruje sa gasom sa velikim procentom ugljenika. Zato je preporuka zavarivati sa max 2.5%CO₂ u argonu.

Emisija dima je naročito izražena kod gasova sa većim %CO₂. U odnosu na čist CO₂ uštede se prave prelaskom na mešavinu argona i CO₂ u smislu manjih troškova za filtere, provetravanje itd.

Emisija dima u zavisnosti od %CO₂ u gasu
(parametri: brzina žice 13.5 m/min, 285A, 33-39V, žica SG2, fi 1.2 mm)



Istraživanje Air Liquid-a, najveće svetske firme u industriji tehničkih gasova.

MIG/MAG zavarivanje je pre svega proizvodno zavarivanje visokim strujama i temperaturama. Zavarivač dođe na posao i najčešće ceo dan radi samo to, zavaruje MIG/MAG-om. Tako svaki dan. Godinama. Razmislite o nošenju maski sa opremom za prečišćavanjem vazduha.



2011-521

Air Liquide je najveća svetska firma u oblasti zavarivanja kao i tehničkih gasova. Gore navedeni slajdovi o efektima raznih gasova su njihovi.

Na slici Zefir maska sa opremom za prečišćavanje vazduha je njihov proizvod i jedan je od najkvalitetnijih na svetu kako što se tiče optike same maske tako i dela za prečišćavanja vazduha (postoje 3 filtera, prefilter za krupne čestice, filter finih čestica i filter za miris tj smrad). Nije reklama nego potreba!

Žice za MIG/MAG zavarivanje

Danas je zastupljenost MIG/MAG zavarivanja (što punim a što punjenim žicama) u razvijenim zemljama tolika da je dostigla 75-80% u svim razvijenim zemljama sveta. Evo grube procene zastupljenosti pojedinih procesa zavarivanja iz 2006 godine (u procentima):

Region	MIG/MAG zavarivanje	EPP REL
--------	---------------------	---------

	Puna žica	Punjena žica	Ukupno	MIG/MAG
Evropa	65	10	75	10 15
USA+Kanada	58	21	79	5 16
Japan	46	30	76	11 13
Južna Koreja	36	39	75	10 15
Tajvan	47	17	64	5 30
Vaša firma	?	?	??	? ?

Osnovne prednosti MIG/MAG zavarivanja su produktivnost, realtivno niska cena,zavarivanja, niži nivo obučenosti zavarivača (jeftinija radna snaga i kratko vreme obuke), relativno visok nivo kvaliteta zavarivanja.

Zato ne treba da čudi da danas maltene za svaku familiju metala (čelik, aluminijum, bakar, nikl...) postoji ogroman broj što žica punog poprečnog preseka a što punjenih žica (koje rade u zaštiti gasa kao i samozaštitnih).

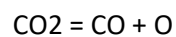
Neke karakteristike samih žica, pre svega punog poprečnog preseka za zavarivanje čelika su:

Mehanizam „hemijskog sastava“ žice (Mn i Si): Svaka žica u sebi sadrži određenu količinu dezoksikatora. (Ovde se odnosi na „obične CO₂ žice“-klasifikovane kao SG2 i SG3 tj ER70S-6). Pre svega su to Mn i Si, ali postoje i drugi npr Zr, Ti... Pošto se za zavarivanje čelika najčešće koriste mešavine Ar+18%CO₂ ili čist CO₂ gas, evo mehanizma prema kojem se vrši zaštita rastopljenog kupatila od O₂ i N₂.

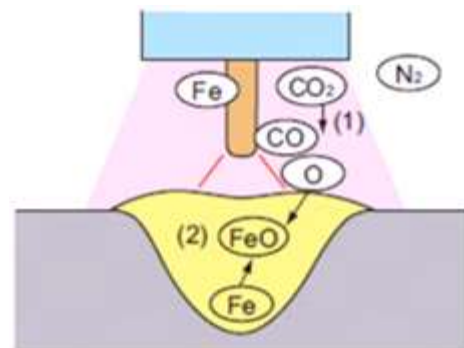
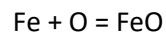
Kada metal, ovde čelik tj Fe iz čelika dođe u kontakt sa O₂ on korodira. Sa druge strane čelik postaje krt kada se veže sa azotom (N₂).

Zato se rastopljeni metal vara mora štititi, u ovom primeru CO₂ gasom.

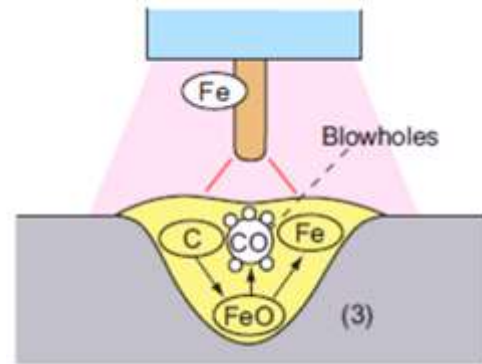
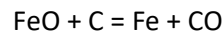
Već je objašnjeno kako se usled velike toplote luka CO₂ gas razlaže na CO i O gasove:



Sa slike se može videti kako se O vezuje sa Fe i pravi FeO:

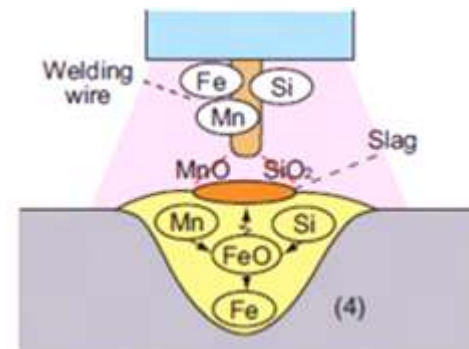


Zatim, C (ugljenik) u čeliku lako oduzima ovaj O od FeO i stvara CO gas, koji može ostati u metalu vara (može i ispariti) ali ako ostane onda pravi poroznost i defektan var.



Da bi se sprečila poroznost usled ostatka CO gasa u varu, žice za zavarivanje sadrže dezoksidatore, pre svega Mn i Si, koji su „brzi“, tj brže „hvataju“ O od Fe ili C. Tako Si i Mn oduzimaju ovaj O od FeO, ne dozvoljavajući da C uzme O od FeO i stvori CO.

Ovaj SiO₂ i MnO isplivavaju na površinu u šljaku na površinu a metal vara je bez pora. Reakcija je:



Osim pomenutih Si i Mn, dodaju se još razni elementi žicama, radi povećanja centara kristalizacije i dobijanja sitnijeg zrna, radi povećanja čvrstoće, žilavosti. Nezaobilazni štetni sastojci sumpor i fosfor se moraju držati na što nižem nivou, što već danas nije problem kod boljih žica dobijenih iz modernih železara.

Prevlake žica: Većina čeličnih žica na sebi ima bakarnu prevlaku. Prosto, ta prevlaka služi:

- za dobar električni kontakt između dizne (koja se na engleskom zove „contact tip“ tj kontaktni vrh pištolja) koja prenosi struju na žicu,
- za zaštitu od korozije čelične žice (sloj bakra je inače mikronski),
- za što je moguće manje trenje tj zaštitu dizne (dizne su od bakra ili legure bakra) od habanja tokom prolaska tvrde čelične žice.

Bakarna prevlaka se nanosi procesom galvanizacije. Čelične žice mogu biti manje ili više legirane, pa im nije svima isti stepen adhezije (prianjanja) bakra za njih niti galvanski potencijal. Pa se može napraviti neka optimizacija, tj jedni parametri nanošenja na sve vrste žica, a može se i za svaku žicu odrediti najbolji parametri galvanizacije pa tako i raditi. Na ovaj drugi način se dobijaju „bolje“ prevlake ali je način skuplji. Dalje koliki sloj bakra se nanosi, jeste on par mikrometara deo ali kod namerno „jeftinih“ žica, taj sloj je baš ispod nekog prihvatljivog nivoa. Površina bakarne prevlake je negde glatkija, a kod „jeftinih“ je grublja... Činjenica je da bakarna prevlaka ne štiti večno od korozije, ali neke žice korodiraju preko noći ili preko vikenda ako ih ostavite u dodavaču, a neke ne... Kod nekih žica, bakar se ljušti, začepkuje bužir, i diznu... Jasno je da su ovi problemi izraženi kod „jeftinih“ žica. Treba li reći da je

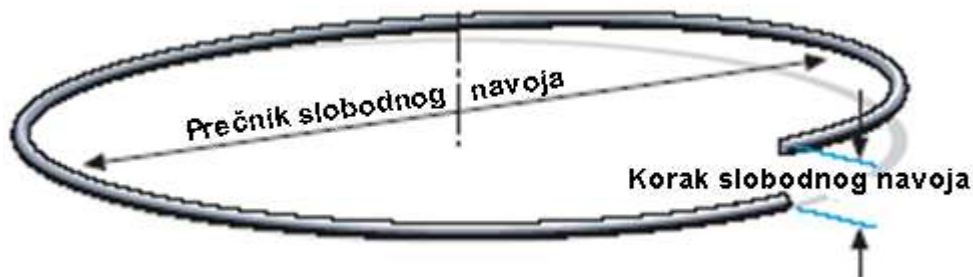
moguće u bakarnu prevlaku dodati i elemente za stabilizaciju luka tj lako jonizujuća jedinjenja (neki proizvođači to rade, dodaju fina zrnca jedinjenja na bazi kalijuma, za superiornu stabilnost luka).

Na tržištu postoje i čelične žice tzv „bele“, sa sjajnom srebrnom prevlakom. U suštini, svaka bakarna prevlaka se manje ili više ljušti. Postoje razne proizvodnje gde je produktivnost imperativ, zavarivanje je robotima, brzine žice su velike, žice se dodaju iz bačvi 200-300 kg, i stvarno postoje problemi sa začepjavanjem dizni i zastojem robotskih ćelija, pa je ovaj tip žica u tim specifičnim slučajevima bio koristan. Prevlaka tih „belih žica“ na bazi fosfora koji je jak dezoksidator.

Kalibracija: Ovo je jedan od suštinski bitnih karakteristika proizvodnje žice. Recimo da imamo žice 0.8 mm, 1.0 mm, 1.2 mm. Kolike tolerancije žice treba da budu uske da bi žica bila odlična? Ako je žica debelo u minusu imamo situaciju da proklizava u točkicama za dodavanje. Ovo izaziva problem i zastoj tokom zavarivanja. Ako žica i izlazi, otpornost tog dela žice je veća, struja je manja, ovo je naročito izražen problem kod aluminijumskih žica...

Kada je žica deblja od neke propisane tolerancije, onda štucava tokom dodavanja a sve se to odražava na luk, a ponekad se zaglavi u dizni... Kalibracija u serijskoj proizvodnji je skupa, alati su skupi, prekidanje proizvodnje radi dotezanja alata je skupo... Jasno je da će „jeftina“ žica potencijalno imati ove probleme.

Dimenzije slobodnog namotaja (cast i helix): Tokom motanja žice na kotur, nekom silom se žica nateže oko kotura i time se ona deformiše. Kada izlazi kroz pištolj, ona se odmotava, ali pošto je deformisana ona ne izlazi pravo kao strela već izlazi zakrivljena. Ako se iz pištolja na patos izbacila jedan slobodan „krug“ žice, mogu se uočiti prečnik tog slobodnog kruga i njegovo bacanje tj uvijanje:



Prečnik slobodnog namotaja (cast) i korak navoja slobodnog namotaja (helix).

Ukratko, pomenuti parametri žice moraju biti u okviru nekih tolerancija (inače i jesu određeni standardom, pa ko želi neka nađe tolerancije). Ako je prečnik slobodnog navoja preveliki, neće doći do dobrog kontakta sa diznom i prenosa elektriciteta. Ako je ispod neke granice, dešava se preveliki pritisak tj trenje između žice i dizne i brzo habanje dizne, stvaranje mikro luka u dizni između nje i žice, nestabilnost luka...

Ista stvar je i sa korakom, plus ako je preveliki, nikada nećete moći da „bijete“ žicom u spoj, već će vrh žice da šeta, da se uvrće tokom zavarivanja. Ovo je apsolutno neprihvatljivo kod automatskih i robotskih zavarivanja, pa zato postoji dodatni uređaj za ispravljanje žice. Takođe, ovo je problem sa pulsanim aparatima, kada se stavi žica na malom koturu. Za puls je potreban duži prepust žice, a žica namotana na mali kotur, ima i mali prečnik navoja i zajedno sa korakom navoja čini da žica bukvalno pleše, tj zato i luk pleše tokom zavarivanja, što je vrlo neprijatno recimo tokom zavarivanja tankog aluminijumskog lima

gde postoji mogućnost progorevanja. Zato treba izbegavati kupovinu pulsnih aparata koji mogu raditi samo sa malim koturima žice.

Namotavanje: Nekada ranije, bilo je problema sa mršenjem žice koja je slobodno bila motana na koture. Izgleda da sada svi prodaju fino motane (navoj do navoja) žice, pa je nekako problem sam od sebe nestao. Samo ću reći da žice malih prečnika, 0.6 mm i 0.8 mm moraju proći proces odžarivanja posle izvlačenja na ove prečnike, jer postaju vrlo tvrde. Pošto su odžarene i tanke, prilično su slabe, pa ih je teško naći paralelno motane, međutim i tako „slobodno“ motane se ne mrse od dobrih proizvođača.

Tipovi kotura: Za najčešću upotrebu, čelične žice se isporučuju na koturima prečnika 100 mm (1 kg), 200 mm (5 kg) 300 mm (12,5-18 kg).

Sam kotur može biti različite izvedbe uz jedan komentar. U Srbiji se često zahteva da žica bude na plastičnom koturu. Najbolje žice dolaze iz Evrope, a tamo postoji visoka svest o zaštiti životne okoline. Plastika se teško tj skupo reciklira a čelik lako. Zato zapadni proizvođači često isporučuju žice na čeličnim koturima. Da bi se one namontirale na aparat, potrebni su adapteri. I onda nastaje problem, mnogi nisu čuli da postoje adapteri a kamoli da ih imaju. Svako ko ima aparat za zavarivanje bi morao da ima pomenute adaptere. Koštaju recimo 5 EUR i traju večno tj dok ih neko namerno ne polomi...



Najtraženija vrsta kotura u Srbiji (plastični)

Za ovaj tip kotura su potrebni adapteri da bi mogli da se montiraju u aparat

Ovaj kotur se preko telefona opisuje kao „Žičani kotur sa rupom u sredini“

Izgledi adaptera za B300 koture:



Ovi adapteri koštaju oko 5-6 EUR, i morao bi da ih ima svako ko ima aparat za zavarivanje u koga idu veliki koturi. Velika je verovatnoća da ćete imati potrebu da zavarujete žicom na koturu B300.

Konstantnost u proizvodnji: Iskusni potrošači žica znaju za moguće slučajeve, da u jednom periodu isti tip žice bude dobar a u jednom loš „dobre i loše šarže“. Praksa pokazuje da i kod najboljih proizvođača zbog masovne proizvodnje „prođe“ bilo nekoliko loših kotura, bilo cela šarža, ali iskustvo pokazuje da veliki proizvođači, bez ikakvih problema rešavaju reklamaciju.

Punjene žice za zavarivanje i navarivanje

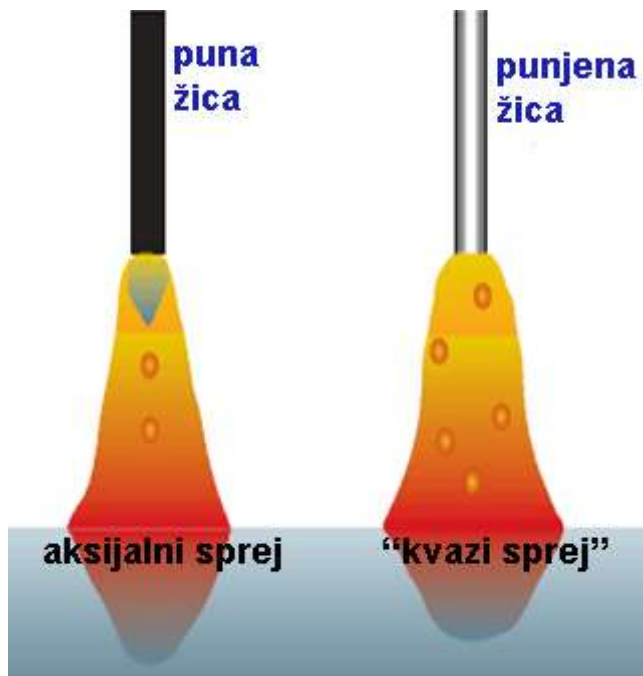
Kod punjenih žica, jezgro je od praha i smešteno u cevčicu.

Kada su u pitanju punjene žice, razlikuju se:

- punjene žice koje rade u zaštitnim gasovima (najčešće CO₂, C18),
- punjene samozaštitne žice za zavarivanje,
- punjene samozaštitne žice za navarivanje.

A zašto su punjene žice, koje rade u zaštiti gasa tako superiorne. Za početak zbog efekta „gustine struje“ Poprečni presek punjene žice je prsten, a poprečni presek recimo elektrode ili pune žice je pun krug.

Pa recimo pri 200A, **gustina struje** (amperaža/poprečni presek) kod elektrode fi 4 mm je 16 A/mm², kod pune žice 1.2 mm je 177 A /mm² a kod punjene žice je oko 260 A/mm² (ova vrednost nije ista za sve žice, prosto razni proizvođači prave žice sa različitim debljinama zida cevčice). Vidi se da je zbog gustine struje potencijal penetracije daleko najveći kod punjene žice. Ako tome dodamo oblik transfera kroz luk (kvazi sprej, širok sprej sitnih kapljica duž celog luka), jasno da je osim većeg potencijala penetracije osigurana odlična bočna penetracija tj penetracija u zidove čak i uskih žljebova, značajno bolja nego kod obične pune žice.



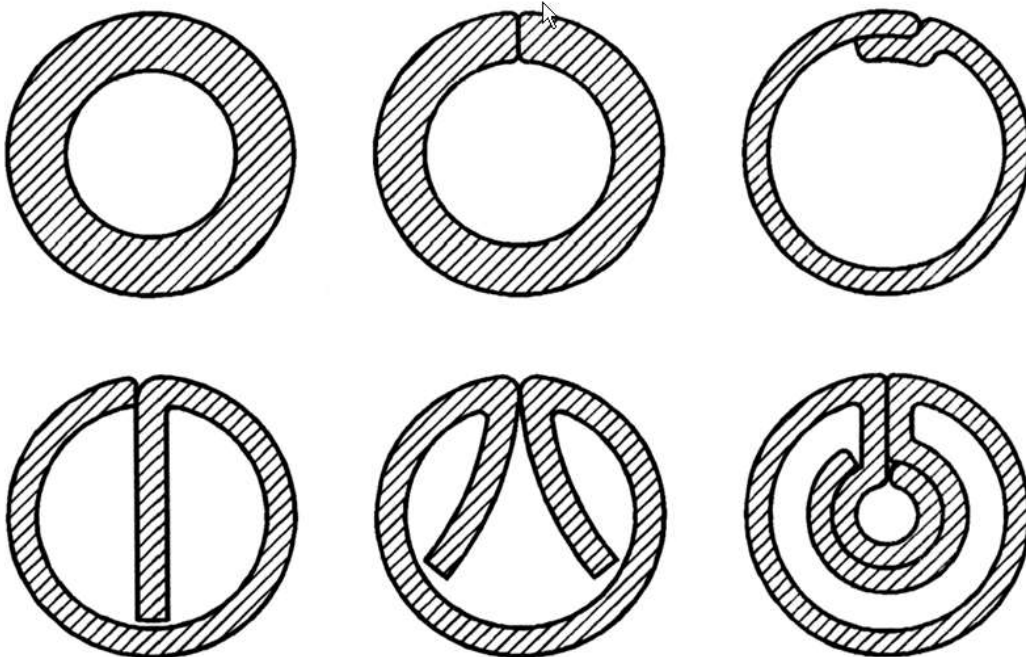
Fine kapljice u spreju kod punjene žice, ali duž celog luka, ne samo aksijalno kao kod pune žice. Ove punjene žice odlično rade u CO₂ gasu i C18 gasu, bez prštanja. Pa osim penetracije zbog efekta disocijacije i rekombinacije CO₂ gasa, povećana penetracija u zidove žljeba je osigurana zbog veće gustine struje kao i kinetičke energije sitnih kapljica koje udaraju i u same bokove.

Zbog veće gustine struje (na kvadrat zbog $I^2 \times R$, po Džulovom zakonu) i predgrevanje žice je veće, pa se za istu amperazu topi više punjene žice tj produktivnost tj depozit u kg/h je veći kod punjene žice. Npr depozit kod obične žice 1.2 mm pri 300A je 5 kg/h, punjene rutilne žice oko 6 kg/h a metalom punjene žice oko 8 kg/h. Produktivnost je novac, tj profit! Ovo je razlog zašto su gotovo sva brodogradilišta prešla na zavarivanje punjenom žicom (rade u jeftinom CO₂ gasu, naplavljuju velika, penetracija u debele limove bolja nego kod obične žice, penetracija u spreju sa rutilnom punjenom žicom je osigurana u vertikali, nema među transporta i prepozicioniranja i okretanja delova)...

Jednom rečju najbolji proizvod u svetu zavarivanja.

Punjene žice koje rade u zaštitnim gasovima (najčešće CO₂, C18), mogu biti različite konstrukcije.

- bešavne, pobakarene, obično za debljim zidom cevi, punjenje prahom se vrši vibracijama,
- šavne žice sa različitim načinima spajanja (priljubljene, preklopljene, pertlovane).



Izgled poprečnog preseka punjenih žica.

Po vrsti punjenja, žice mogu biti rutilne, metalne i bazične. Najčešće su u upotrebi rutilne punjene žice, prosto jer kod njih šljaka očvršćava pre rastopljenog metala. To znači da ta šljaka podupire i zadržava rastopljeni metal, bez obzira kojom strujom se radi i u vertikalnom pa i nadglavnom položaju. Prosto, problem sa običnim žicama koje su pri sprej transferu ograničene na horizontalni položaj, ovde ne postoji. U spreju, sa velikim depozitima, se može raditi u svim položajima. Kompletne industrije, kao brodogradnja, masivne konstrukcije... su procvetale pojavom ovih žica.

S obzirom da se deo žice gubi kao šljaka, orijentaciona iskorišćenja šavnih rutilnih punjenih žica su 80-83%, a bešavnih 90-92%.

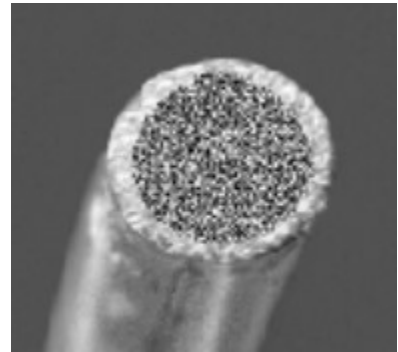
Kada su u pitanju bešavne (farmaceutske) žice, radi se o apsolutno najvišem mogućem kvalitetu.

- žice imaju debeo zid, pa su dovoljna dva točkica kao kod običnih žica i ne moraju biti nazubljeni,
- pošto imaju debeo zid mogu raditi perfektno na nižim strujama (što je bitno jer, dovoljno je koren odraditi jednim slojem, a popuna drugog i ostalih slojeva sa ovom žicom. Pošto je debeo zid cevčice, može se raditi na niskim amperažama koje neće probiti tanak koren. Dalje niske struje su dobre za tanje debljine u nadglavnom položaju. Ponekad treba zavariti deo sa koga nije skinuta zaštitna farba (prajmer) pa pri radu sa običnim punjenim šavnim žicama dolazi do velikog toksičnog ispravanja jer one rade samo na velikim amperažama)...
- Pobakarene su, pa manje habaju diznu, a bolje prenose struju,
- Pobakarene su, pa su zaštićene od korozije. Ako običnu šavnu žicu ostavite u dodavaču, preko noći ili preko vikenda će zarđati po površini, ova neće.

– Pošto su bešavne, potpuno su sigurne od vlage, tj vodonika. Daju oko 2.7 ml/100g difundovanog vodonika. Šavne, zbog opasnosti od vlage, u principu kada se otvore treba odmah potrošiti ceo kotur. Ili treba imati peć za sušenje koturova koji su ovlažili. U Srbiji mnoge firme nemaju ni peći za sušenje elektroda a kamoli da kupuju peć za koturove...

Ne možete a da ne budete oduševljeni, punjene bešavne žice su najsavršeniji proizvod u svetu zavarivanja:

- Perfektno zavarivanje i na malim i na velikim strujama,
- Dovoljan je aparat koji imate, ne morate kupovati novi sa 4 točkića i nazubljenim žljebovima,
- nema opasnosti od vodonika i pada žilavosti,
- nema opasnosti od poroznosti,
- postoji i prečnik 1.0 mm, a postoje i koturovi od 5 kg (za manje aparate),
- pobakarene su, pa kotur dugo traje pre nego površina žice korodira,
- Gotovo je nemoguće ispasti iz stabilnog režima, nema prštanja,
- Rade u svim prostornim položajima i vertikalno uvis i nadglavno (uvek u spreju).
- Produktivnost je velika.
- Superiorna penetracija u zidove žljeba, odlična mehanička svojstva.
- Perfektno koreni zavar preko keramičke podloške...
- Bez prštanja u CO2 gasu ili Ar+18%CO2 gasu

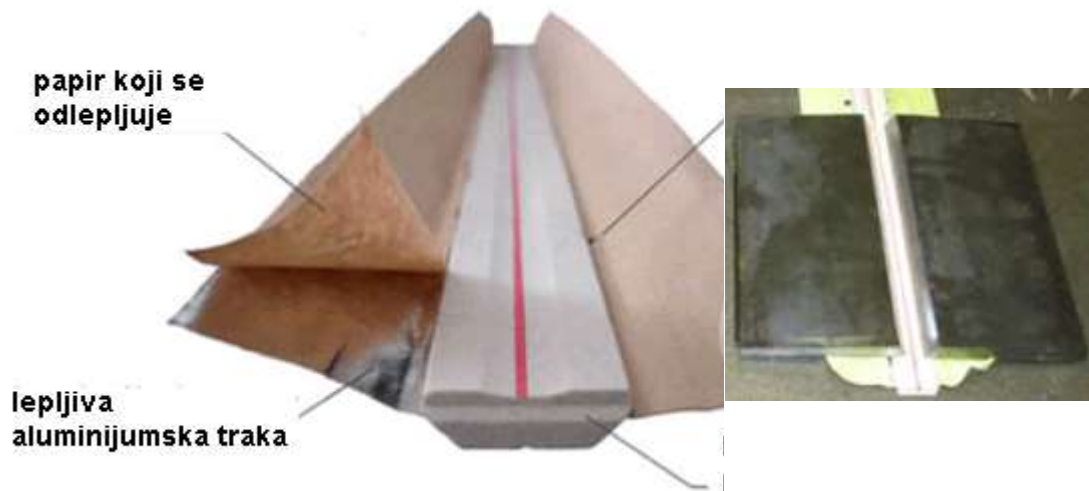


Stein Megafil 713R – Made in Germany 100% – absolutna preporuka!

Jedna od najboljih punjenih žica na svetu za zavarivanje čelika. Bešavna cev, farmaceutski kvalitet. Trebali bi da probate, imamo i prečnik 1.0 mm na koturima od 5 kg. Ali kupite adaptere ako uzimate prečnik 1.2 mm, tip kotura je B300, napravljen tako zbog svesti o zaštiti okoline.

Zavarivanje punjenom žicom preko keramičke podloške

Zavarivanje korena (provar) se punjenom žicom radi bez problema preko keramičke podloške.





izgled potkorene strane, kada se skine podloška. Extra rezultat se dobija vrlo lako!

Ilustracija zavarivanja preko keramičke podloške. Posle zavarivanja, keramička podloška je ugorela, i baca se. Očekivati cenu od oko 3 EUR/ 1 metar keramičke podloške.

Kao što se sa ilustracija može videti, keramička podloška se lepi sa potkorene strane žljeba. Zazor (luft) u žljebu je oko 4-6 mm. Postoji poseban način vođenja pištolja, nauči se na obuci lako.

Po zavarivanju, keramička podloška se baca. Može se raditi u bilo kom položaju (i nadglavno i u vertikali).

Ako su punjene žice (rutilne) koje rade u zaštiti gasa najbolji proizvod u zavarivanju, onda su verovatno **samozaštitne punjene** žice najgori. Njima ne treba gas, a zaštita se vrši raspadanjem organskih materija i stvaranjem CO₂ i CO gasa ali i specifično za ove žice je aluminijum koji se vezuje za azot iz vazduha, ali i taloži u metalu šava. Sve oko proizvodnje ovih žica je tajna, pa su tajna i gasovi i dimovi koje razvijaju. Neki kažu da su puni barijuma i sl. Pošto rade u krupnokapljičstom prenosu, prštanje je veliko. Proverite dobro sve, pre prelaska na ove žice.

Zanimljivo je agresivna ponuda ovih žica za hobi zavarivanje. To lepo zvuči, kupiti aparat i žicu, nema muke oko nabavke gasa. Ali rezultat zavarivanja sa ovim žicama je loš. Prštanje je ogromno, progoreva se tanak lim, žica košta 5-10 EUR/kg i teško je naći u Srbiji...

Za sada, ako neko razmišlja o ovom aparatu, bolje mu je da kupi REL aparat za zavarivanje obloženom elektrodom.



Izgled jeftinog aparata za zavarivanje samozaštitnom žicom.

Samozaštitne punjene žice za navarivanje su u principu na isti kalup kao one gore ali su svoju korist dokazale. Sa njima se uglavnom radi napolju, tako da se dimovi ne zadržavaju u prostoriji. Pošto nema gasa relativno su jeftine. Transfer je krupnokapljičasti, i time poželjan, jer daje veće uvarivanje od hladnog kratkog spoja ali manje od spreja (a time i mešanje sa osnovnim materijalom). Prštanja ima, ali to prštanje ne utiče na funkcionalnost navara. U svakom slučaju su poželjne za navarivanje.

OBUKA I ATESTACIJA ZAVARIVAČA ZA MIG/MAG ZAVARIVANJE

Obuka za MIG/MAG zavarivanje se u Srbiji izvodi u „školama zavarivanja“ kojih naravno ima i odličnih i loših ali svejedno se radi po nekom programu koji je dokazan kao uspešan. Praksa pokazuje da je škola dobra onoliko koliko je dobar instruktor, tj koliko je spreman da se unese u obuku zavarivača i koliko je sam stručan zavarivač i koliko je „uprava“ škole spremna da uloži u dobre aparate, u pripreme u što duže vreme samog zavarivanja a što manje praznog hoda itd...

Zatim pojedini „ambiciozni majstori“ po nekom svom programu rade obuku bilo u svojim firmama, bilo pojedincima u svojim radionicama na dan, na 3 dana, na 10-15 dana...

Naravno sve to košta, neka današnja cena je 40-50 EUR na dan (8 sati) po osobi. Ne zaboraviti da u ovu cenu spada i materijal za zavarivanje, amortizacija aparata, struja, žice, gas, brusni materijal, prostor, struja itd itd, pa to uopšte nije skupa cena, naprotiv možda se može reći da je cena toliko niska da se obara kvalitet i sadržaj obuke.

Praksa pokazuje da je svaki način obuke dobar ako je instruktor voljan da objasni, pokaže i prati početnika tokom obuke u usavršavanju. Problemi nastaju kada su instruktori nestručni i kada imaju lošu opremu i kada ne omoguće zavarivanje u svim položajima, i u mešovini, i punjenim žicama, tj ne pruže ceo opseg obuke.

Postoji sve češći način obuke početnika pojedinaca, koji prosto nemaju novca za obuku. A to je da par dana idu kod instruktora, a onda treniraju kod komšije koji ima aparat nekoliko dana, pa sve tako u krug.

MIG/MAG zavarivanje je izuzetno lako naučiti (ali stvarno jeste), potrebno je samo da instruktor/majstor/komšija lepo objasni, pokaže, ispravlja greške tokom vođenja pištolja i da postoje dobri aparati i ceo opseg žica i gasova na raspolaganju.

„Potez ruke“, tj vođenje pištolja je vrlo lako, nauči se brzo, a ostalo je znanje o podešavanjima parametara zavarivanja.

Po nekim strogim školskim kriterijumima, obuka se izvodi po tzv „modulima“.

Pa na samom početku morate razumeti skraćenice tj šifre postupaka u MIG/MAG zavarivanju:

– **131** = MIG zavarivanje (uočite „I“ u MIG, znači zaštitni gas je inertan – argon, pa se ovo odnosi na zavarivanje aluminijuma i sličnih metala),

– **135** = **MAG zavarivanje žicom punog poprečnog preseka,**

– **136** = **MAG zavarivanje punjenom žicom koja daje šljaku (rutilnu ili bazičnu),**

– **138** = **MAG zavarivanje metalom punjenom žicom.**

135 je vrlo slično zavarivanju sa 138, pa se za zavarivanje čelika obuka obično izvodi postupcima 135 i 136 (pa ko zna 135, zna i 138).

Vidite, u pravim školama, se obavezno uči i malo teorije pre nego se uzme pištolj u ruke. Navešću samo nešto karikirano iz teorije koju treba razumeti i naučiti u školi zavarivanja, sa naglaskom „razumeti“:

r.b. Oblast „teorije“ za razumevanje

- 1 Električna struja, električni luk
- 2 Aparati i oprema za zavarivanje, izgled, kako rade, delovi,...
- 3 Bezbednost na radnom mestu, zaštitna oprema, maske, rukavice, kecelje, odela, cipele...
- 4 Bezbednost pri radu na visini, u rupama, u hali sa kranovima, požari...

- 5 Žice za zavarivanje, gasovi, vrste, tipovi, standardi...
- 6 Način pripreme čelika za zavarivanje, sečenje, brušenje, žljebovi, popravke
- 7 Atestacija zavarivača
- 8 O čeliku običnom nelegiranom, raznim drugim vrstama čelika (nerđajućem...)...
- 9 Zavarljivost raznih čelika, termička obrada...
- 10 Zavarivanje ploča, i cevi
- 11 Skupljanje posle zavarivanja, krivljenja, zaostali naponi
- 12 Greške u zavarenim spojevima
- 13 Inspekcija zavarenih spojeva
- 14 Opšta priča o lomu konstrukcija tokom eksploatacije usled lošeg zavarivanja
- 15 Opšta priča o nadzoru pri zavarivanju, sistemima kvaliteta itd
- 16 Standardi

Specifičnosti MIG/MAG zavarivanja (gasovi, žice, oprema, bezbednost, podešavanja parametara, aparati za MIG/MAG zavarivanje i njihove specifičnosti, transferi zavarivanja (kratak spoj, puls, krupnokapljičast, sprej)...)..

18 Malo uopštenog uvodnog praktičnog pokazivanja zavarivanja

Teorija = oko 50 sati

Modul 1

Osim samog praktičnog zavarivanja, potrebno je naučiti praktično kako se seče metal. I gasnim plamenom (a i plazmom i brusilicama i ger mašinom – gde ima mogućnosti naravno). Takođe kako se brusi metal.

Modul 1 traje oko 90 sati.

Učenik bi morao da potpuno nauči da zavari ugaone spojeve u svim prostornim pozicijama. U nekim firmama, ugaoni spojevi čine 90% svih spojeva pa je ovo izuzetno važna obuka.

Mora učenik da nauči da podesi sam aparat za zavarivanje za svaki poseban slučaj, da nauči da slaže varove u višeprolaznom zavarivanju debelih materijala.

r.b	Vrsta spoja	Debljina materijala	Prostorni položaj	Skica spoja	Napomena
.					

1 Uvodno pokazivanje zavarivanja, napomene o punjenim žicama, naročito rutilnoj...

2 Navarivanje/slaganje gusenica na ploči
Nebitno (oko 5-8mm)

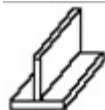


Horizontalno / Vertikalno naviše / Vertikalno nadole (svi ovi položaji)

3 Ugaoni T spoj > 1 mm (3-4mm) Horizontala / PA (korito)



4 Ugaoni T spoj > 1 mm (3-4mm) Horizontala / PB



5 Ugaoni T spoj > 1 mm (3-4mm) Vertikalno nadole / PG

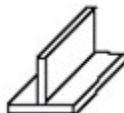


6 Spoljni ugaoni spoj > 1 mm (3-4mm) Vertikalno nadole / PG



Ne mora pun provar

7 Ugaoni T spoj > 8 mm Horizontala / PB



Višeprolazno, i punjena rutilna žica

8 Ugaoni T spoj > 8 mm Vertikalno nadole / PG



9 Ugaoni T spoj > 8 mm Vertikalno naviše / PF



Višeprolazno, i punjena rutilna žica

10 Ugaoni T spoj > 8 mm Nadglavno / PD



Višeprolazno, i punjena rutilna žica

90 sati

Posle ove obuke se radi provera, vizuelno.

Modul 2

U ovom modulu se uči zavarivanje cevi za ploču u položajima PB (horizontalno), PF (vertikalno naviše) i PD (nadglavno). Mora se naučiti zavarivanje i u jednom prolazu i višeprolazno.

Debljine ploče i zida cevi treba da su veće od 3 mm, a prečnik cevi veći od 40 mm.

Modul 2 traje oko 90 sati.

r.b. Prostorni položaj

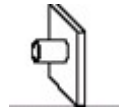
Skica spoja Napomena

1 Uvodno pokazivanje

2 Horizontala / PB



3 Vertikalno naviše / PF



i punjena rutilna žica

4 Nadglavno / PD



i punjena rutilna žica

5 Ploča horizontalna, ali je cev pod 60 ispod ploče.
Nadglavno / PD



90 sati

Posle ove obuke se radi provera – eventualno atestacija.

Modul 3

U ovom modulu se uči zavarivanje sučeonih spojeva u položajima PA (horizontalno), PF (vertikalno naviše) i PG (vertikalno nadole), i to i uz provarivanje – zavarivanje samo sa jedne strane i zavarivanje sa obe strane – sa žljebljenjem potkorene strane i zavarivanjem sa te druge strane.

Mora se naučiti zavarivanje i u jednom prolazu i višeprolazno.

Modul 3 traje oko 75 sati.

r.b.	Debljina materijala	Prostorni položaj	Skica spoja	Napomena
------	---------------------	-------------------	-------------	----------





1 Uvodno pokazivanje

2 > 1 mm
(3-4mm)

Horizontala / PA



Jednostrano, provar

3	> 1 mm (3-4mm)	Vertikalno nadole / PG		Jednostrano, provar
4	> 8 mm	Horizontala / PA		135 – Jednostrano, provar i 136 – Obostrano, sa brušenjem ili žljebljenjem potkorene strane i naknadnim zavarivanjem sa te strane
5	> 8 mm	Vertikalno nadole / PG		Jednostrano, provar 135 – Jednostrano, provar i
6	> 8 mm	Vertikalno naviše / PF		136 – Obostrano, sa brušenjem ili žljebljenjem potkorene strane i naknadnim zavarivanjem sa te strane 136 – Jednostrano, provar preko keramičke podloške

75 sati




Posle ove obuke se radi provera.

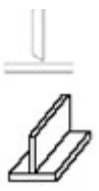


Modul 4

U ovom modulu se uči zavarivanje sučeonih spojeva u položajima PB (horizontalno), PC (vertikalno - horizontalno), PD (ugaono – nadglavno), PE (sučeono – nadglavno) i PF (vertikalno naviše) i to uz provarivanje – zavarivanje samo sa jedne strane.

Mora se naučiti zavarivanje i u jednom prolazu i višeprolazno.

Modul 4 traje oko 75 sati.

r.b.	Debljina materijala	Prostorni položaj	Skica spoja	Napomena
1				Uvodno pokazivanje
2	> 1 mm (2-3 mm)	Nadglavno / PE		Jednostrano, provar
3	> 5 mm	Nadglavno / PE		– Jednostrano, provar sa 135 i popuna sa 136 – Jednostrano, provar sa 136 preko keramičke podloške
4	> 5 mm	Horizontalno u vertikali / PC		– Jednostrano, provar sa 135 i popuna sa 136 – Jednostrano, provar sa 136 preko keramičke podloške

5	> 5 mm	Horizontala / PB		<p>135 – Jednostrano, provar i</p> <p>136 – Obostrano, sa brušenjem ili žljebljenjem potkorene strane i naknadnim zavarivanjem sa te strane</p>
6	> 5 mm	Nadglavno / PD		<p>Jednostrano, provar sa 135 i popuna sa 136</p>
7	> 5 mm	Vertikalno naviše / PF		<p>– Jednostrano, provar sa 135 i popuna sa 136</p> <p>– Jednostrano, provar sa 136 preko keramičke podloške</p>

75 sati

Posle ove obuke se radi provera – obično atestacija.

Modul 5

U ovom modulu se uči zavarivanje sučeonih spojeva na cevima u položajima PA (horizontalno), PC (vertikalno -horizontalno) i PF (vertikalno naviše) i to uz provarivanje – zavarivanje samo sa jedne strane.

Mora se naučiti zavarivanje i u jednom prolazu i višeprolazno.

Debljina zida cevi je veća od 3 mm, a prečnik cevi veći od 100 mm,

Modul 5 traje oko 75 sati.

r.b. Prostorni položaj Skica spoja

Napomena

1 Uvodno pokazivanje

2 Horizontala / PA



Cev se rotira tako da je pištolj uvek gore

i eventualno punjena rutilna žica za popunu ako je prečnik cevi veliki i velika debljina zida cevi (ako je tanak zid cevi, može doći do progorevanja)

3 Vertikalno naviše / PF



Cev je fixna, kreće se
odozdo naviše sa obe
strane

4 Horizontalno u
vertikali / PC



Cev je fixna

75 sati

Posle ove obuke se radi provera.

Modul 6

U ovom modulu se uči zavarivanje sučeonih spojeva na cevima i fittingu (priključcima na cev) u H-L045 (pod 45 stepeni) i to uz provarivanje – zavarivanje samo sa jedne strane.

Mora se naučiti zavarivanje i u jednom prolazu i višeprolazno.

Debljina zida cevi je veća od 3 mm, a prečnik cevi veći od 100 mm, a pri zavarivanju priključka na cev prečnik cevi je veći od 40 mm a prečnik priključka 0.5 x prečnik cevi.

Modul 6 traje oko 50 sati.

r.b.	Prostorni položaj	Skica spoja	Napomena
1	Uvodno pokazivanje		
2	Pod 45 stepeni (H-L 045)		i eventualno punjena rutilna žica za popunu ako je prečnik cevi veliki i velika debljina zida cevi (ako je tanak zid cevi, može doći do progorevanja)
3	Pod 45 stepeni (H-L 045)		

50 sati

Posle ove obuke se radi provera – obično atestacija.

Jako je bitno tokom obuke:

– da ovladate zavarivanjem u transferima kratkog spoja i spreja.

– da naučite da radite punjenom rutilnom žicom, naročito sa zavarivanjem korena preko keramike. Cela brodogradnja, mostogradnja i slične industrije počivaju na ovoj vrsti zavarivanja.

Neki kažu da je potrebno posle obuke proći oko 1000 radnih sati u realnim proizvodnim uslovima, da bi se stekla rutina.

Atestacija

Pogledajte ovu sliku dole, to je isečak iz atesta za zavarivanje po najnovijem standardu za atestaciju za zavarivanje čelika 9606-1 (postoji drugi standard za zavarivanje aluminijuma 9606-2...):

Designation:		EN ISO 9606-1:2013 135 P FW FM1 S t12 PB ml	
		Weld test details	Range qualified
Welding process(es)		135	135 + 138
Transfer mode		Spray arc	Globular & spray arc
Product type (P/T)		P	P + T
Type of weld		FW	FW
Filler metal	Group	FM1	FM1 + FM2
	Designation	S (Novofil 70, acc. ISO 14431-A: G3Si1)	S + M
Parent material group(s)		1.2(S355J2+N acc. EN 10025-2)	Unlimited
Shielding gas		M21 (acc. ISO 14175)	Unlimited
Other (e.g. backing gas)		n.a.	Unlimited
Type of current and polarity		DC+	Unlimited
Material thickness (mm)		12,0mm	≥ 3,0mm
Deposited thickness (mm)		n.a.	n.a.
Outside pipe diameter (mm)		n.a.	≥ 75 mm rotated, ≥ 500 mm fixed
Welding position		PB	PA + PB
Weld details		n.a.	n.a.
Multi layer / Single layer		ml	sl + ml

Uočiti kodnu oznaku atestacije: **EN ISO 9606-1:2013 135 P FW FM1 S t12 PB ml**

(Na moje čuđenje, često se dešava da zavarivač koji „ima atest“ ne zna u stvari koji atest ima tj „šta atest pokriva a šta ne“, tj ne ume da rastumači ove simbole i kodne oznake).

Svaki od ovih simbola je šifra nečega- biće kasnije objašnjeno.

Uočiti „**Weld test details**“ – tu se objašnjava na kakvom pripremu je polagano.

Uočiti „**range qualified**“ – to objašnjava „pokrivanje“. Na primer, vidi se u redu „material thickness“ da je polagano na 12 mm debeloj ploči, a ovaj atest pokriva sve debljine od 3 mm do beskonačno velike debljine.

Konkretno, po pojedinostima, gledano odozgo nadole:

- Polagano postupkom 135 (punom žicom) – pokriva i punu žicu (135) i metalom punjenu (138),
- Polagano transferom spreja (sprej arc) – pokriva i sprej i krupnokapljičasti transfer,
- Polagano na ploči – pokriva i zavarivanje ploča i cevi,
- Polagano na uganom spoju (FW – fillet weld) – pokriva samo ugaone spojeve (ne pokriva sučeone),
- Polagano žicom od nelegiranog čelika – pokriva žice od nelegiranog (FM1) i čelika visoke čvrstoće (FM2),
- Polagano žicom punog poprečnog preseka (S) – pokriva žice punog poprečnog preseka (S) i metalom punjene žice (M),
- Polagano na čeliku grupe 1.2 – pokriva sve čelike,
- Polagano u zaštitnom gasu M21 (argon sa oko 18%CO2),
- Polagano bez uduvavanja formir gasa,
- Polagano sa + polom na pištolju (podrazumeva se),
- Polagano na debljini ploče od 12 mm – pokriva sve debljine veće od 3 mm,
- Nije bitna debljina depozita,
- Spoljni prečnik cevi koji se pokriva (iako je polagano samo na ploči): >75mm za cev koja se rotira i >500 mm za fixnu cev.
- Polagano u poziciji PB – pokriva pozicije PA i PB,
- Drugi detalji – nema,
- Polagano sa više prolaza – pokriva zavarivanje i u jednom prolazu i u više prolaza.

Pa sad: Ovaj atest ne važi za punjenu rutilnu ili bazičnu žicu (postupak 136), ne važi za zavarivanje u vertikali ili nadglavno, ne važi za sučeone spojeve...

Ako je potrebno, isti ovaj zavarivač mora da se atestira na ono što mu ovim atestom nije pokriveno.

Kada se dobije atest od akreditovanih kuća iz Srbije, atest je dvojezičan (na srpskom i engleskom)

Objašnjenje simbola i kodnih oznaka (samo za MIG/MAG zavarivanje – ako ste majstor morali bih ih znati):

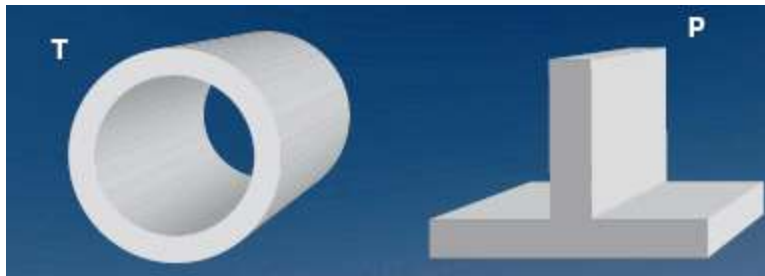
	131 – MIG zavarivanje punom žicom u inertnom gasu,	
Procesi zavarivanja	135 – MAG zavarivanje punom žicom u aktivnom gasu,	Ko položi na
a	136 – MAG zavarivanje punjenom žicom sa šljakom,	135, pokriva i
	138 – MAG zavarivanje metalom punjenom žicom.	138
Transfer	D – transfer kratkim spojem,	Ko položi transferom

G – krupnokapljičasti transfer,
S – sprej transfer,
P – transfer pulsom.

kratkim spojem,
pokriva sve
ostale transfere.
Ko položi
sprejom,
pokriva
krupnokapljičast
i.

P – ploča,
T – cev.

Cev ili
ploča

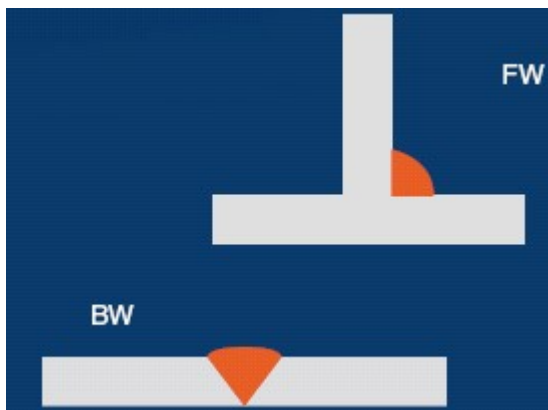


Ko položi na
ploči, pokriva i
cev prečnika
većeg od 75 mm
ako se rotira, tj
većeg od 500
mm ako je fixna

BW – sučeoni spoj (butt weld),
FW – ugaoni spoj (fillet weld).

Nema
pokrivanja!

Vrsta
spoja



Ko položi na
ugaonom, ne
važi mu za
sučeone.

Kome treba,
mora da polaže
jedan atest za
sučeone, a drugi
za ugaone
spojeve...

Grupa
materijala
(materijal
žice)

FM1- nelegirani i finožrni čelici,
FM2 – čelici povišene čvrstoće,
FM3 – Čelici otporni na puzanje na povišenim temperaturama sa $Cr < 3.75\%$,
FM4 – Čelici otporni na puzanje na povišenim temperaturama sa $3.75\% < Cr < 12\%$,
FM5 – Nerđajući i vatrootporni čelici,
FM6 – Legure nikla

Zapamtiti, uvek
se polaže na
čeliku (može i
onaj obični
Č.0361 da
bude), samo se
menja materijal
žice, tako da se
u stvari atest
odnosi na razne

žice (a materijal je uvek čelik).

S – žica punog poprečnog preseka,

M – metalom punjena žica,

Vrsta žice

P – rutilna punjena žica, brzo očvršćavanje šljake,

ili punjene žice V – punjena žica, rutilna ili bazično-fluoridna,

W – punjena žica, bazično-fluoridna, sporo očvršćavanje šljake,

Y – punjena žica, bazično-fluoridna, brzo očvršćavanje šljake,

Z – ostale vrste punjenih žica

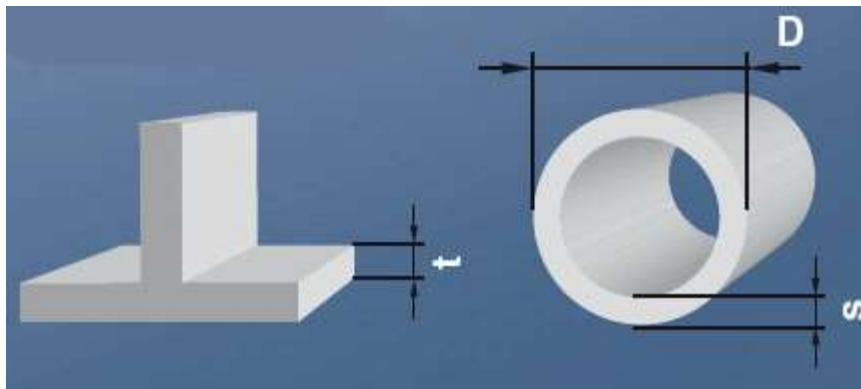
t – debljina ploče (npr t12= 12 mm debela ploča),

s – debljina depozita kod ploče,

D – spoljni prečnik cevi,

s – debljina cevi

Debljine materijala koji se vari



Pozicije za sučeone spojeve na pločama (BW):

Prostorne pozicije zavarivanja

PA	PC	PE	PG	PF
Horizontala	Horizontalno u vertikali	Nadglavno	Vertikalno nadole	Vertikalno nagore

Pozicije za ugaone spojeve na pločama (FW):

PA	PB	PD	PG	PF
				
horizontalno (u koritu)	horizontalno	nadglavno	vertikalno nadole	vertikalno nagore

Pozicije za sučeone spojeve za cevi (BW):

PA	PG	PF	PC	H-LO45
				
Horizontalno (cev se rotira, pištolj uvek gore)	Vertikalno nadole (cev fixna)	Vertikalno nagore (cev fixna)	Horizontalno u vertikali	Cev nagnuta 45 stepeni H-LO45

Pozicije za ugaone spojeve za cevi (FW):

PB	PG	PF	PB	PD
				
Horizontalna (cev se rotira)	Vertikalno nadole (cev fixna)	Vertikalno nagore (cev fixna)	Horizontalna	Nadglavno

Za sučeone spojeve (BW):

- ss – zavarivanje samo sa jedne strane,
- bs – zavarivanje sa obe strane,
- nb – bez podloške sa druge strane,
- mb – sa podloškom (metalnom ili keramičkom),
- gb – sa uduvanjem formir gasa,
- ...

Ostali
bitni
detalji pri
atestaciji

ss nb = provar

Za ugaone spojeve:

- sl – jedan prolaz,
- ml – višeprolazno zavarivanje...

Ovo je samo mali pregled, ko želi tačno da zna „šta pokriva šta“ neka nađe i pogleda standard.

Dalje, ostaje nekome nejasno zašto atestacija na transfer kratkim spojem pokriva sve transfere, kada se uspešno kratkim spojem mogu zavarivati samo debljine do 5-6 mm (preko toga, uvarivanje je slabo i postoji velika verovatnoća da spoj neće proći test čvrstoće i savijanja).

Razlog je taj što se kratkim spojem (žicom punog poprečnog preseka) mogu raditi sve prostorne pozicije, a sprej/puls/krupnokapljčasto može raditi samo u horizontali (PA i PB).

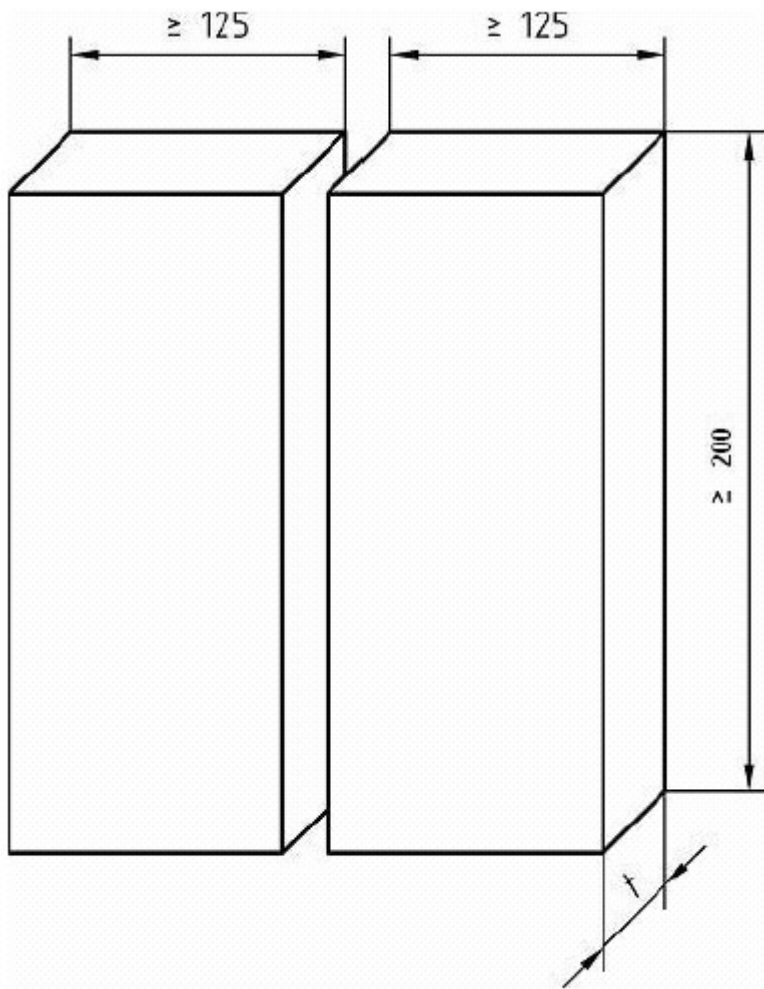
Zatim, režimom kratkog spoja se može odraditi provar (ss nb), tj zavarivanje korena, samo sa jedne strane, bez podloške. Što će reći za režim kratkog spoja je potencijalno zbog široke primene potrebna velika veština (svi položaji, provar...), pa je zato priznat kao „teži“ od spreja i pulsa. Iako je u principu transfer kratkim spojem neprimenljiv za debljine iznad 4-5 mm.

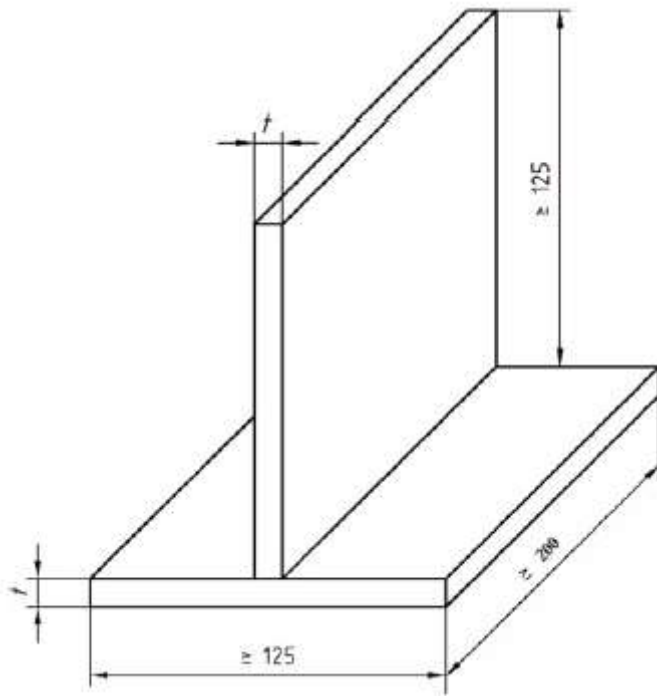
Evo ovde još i samo najčešće pitanje, koja „pozicija pokriva ostale“.

Pozicija pri atestacija	Opseg pokrivanja				
	PA	PC	PE	PF	PG
PA	Da	-	-	-	-
PC	Da	Da	-	-	-
PE – ploča	Da	Da	Da	-	-
PF – ploča	Da	-	-	Da	-
PH – cev	Da	-	Da	Da	-
PG – ploča	-	-	-	-	Da
PJ – cev	Da	-	Da	-	Da
PK	Da	-	Da	Da	Da
H-L045	Da	Da	Da	Da	-
J-L045	Da	Da	Da	-	Da

Recimo: ko položi atest na pločama u nadglavnom položaju PE, ne važi mu za zavarivanje vertikalno nagore (PF). I obrnuto, ko položi na ploči vertikalno nagore PF, ne važi mu za nadglavno PE...

Pripremak (ako je ploča u pitanju) za atestaciju mora biti kao na slici:





Minimalne dimenzije ploča za atestaciju za sučeoni i ugaoni spoj.

Poželjno je da budu ipak malo veće recimo 250-300 x 150 mm.

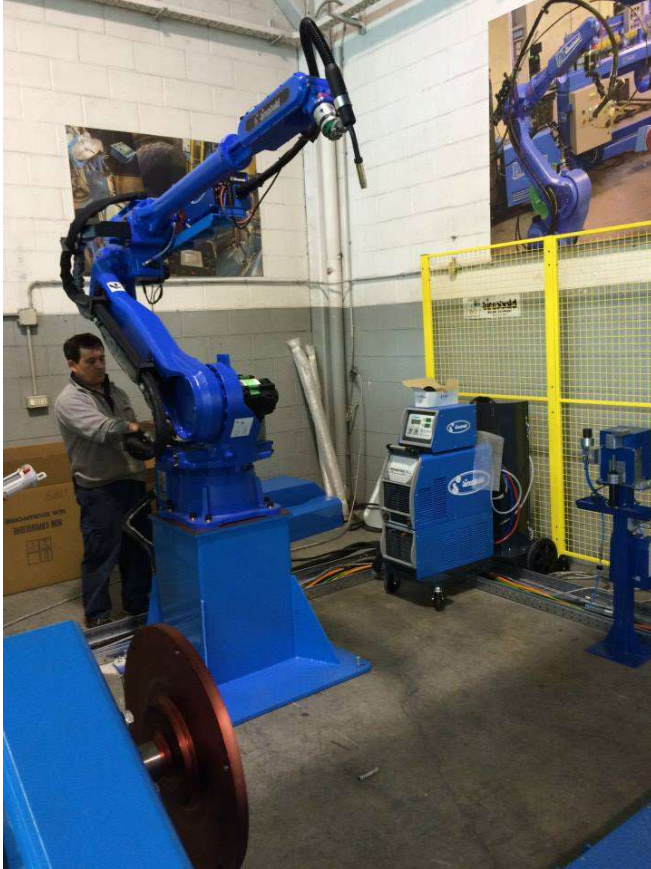
Debljinu sami birate prema potrebe, ali pazite, ako želite da budete atestirani na zavarivanje debljina od 3 mm do beskonačno debelo, morate proći atest na min 12 mm debeloj ploči.

Iz ovih razloga, što jedan atest ne pokriva sve moguće kombinacije debljina, spojeva, pozicija itd, najbolja opcija za zavarivača je da nema nijedan atest koji će sam platiti (zvuči glupo, ali se ispostavlja da je tako). Velika je verovatnoća da „taj“ atest koji sam plati ne pokriva ono šta poslodavac traži. Zato je apsolutna preporuka ZNATI i UMETI sve odraditi (svi položaji, sve debljine, i punim i punjenom žicom, i sučeoni i ugaoni spojevi...) a onda pitati poslodavca koji mu atest konkretno treba, pa ga položiti.

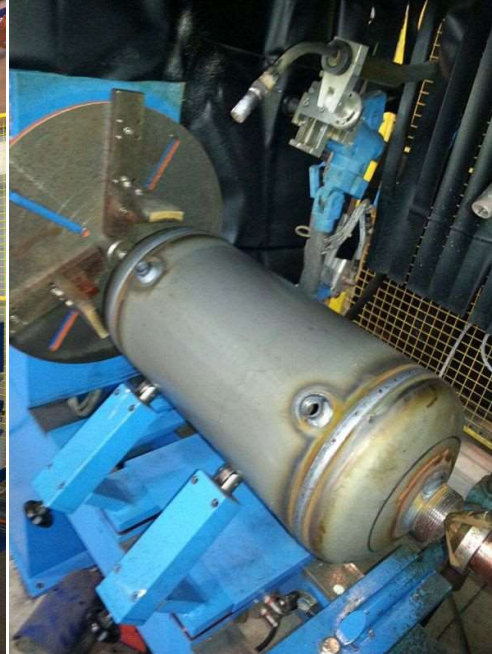
Recimo da procedura najave polaganja, polaganja i izdavanja atesta traje 7-10 dana. Trenutno cena atesta domaćih sertifikovanih kuća je oko 70-100 EUR po atestu, a inostranih je oko 170-200 EUR (inostrane kuće, pre svih TUV, GL itd, imaju predstavnike u Srbiji i lako se vrši i zakazivanje i sama atestacija).

Procedura pri MIG/MAG zavarivanju

MIG/MAG zavarivanje je poluautomatski proces. Deo je automatski (dovod žice konstantnom brzinom i održavanje dužine luka) a zavarivač ručno održava konstantan prepust žice, vosi pištolj itd. Ovo drugo, što zavarivač treba da radi je toliko lako da se lako i brzo uči pa se čak i neživi stvor, npr robot, može lako obučiti za perfektno MIG/MAG zavarivanje.



Zavarivanje robotom MIG/MAG postupkom.



Zavarivanje bojlera, automatom, MIG/MAG postupkom

Ali treba jasno reći, i ono „automatsko“ propisuje čovek, inženjer ili zavarivač. Da bi se ono „automatsko“ zadalo aparatu za zavarivanje, mora postojati znanje o funkcijama i njihovoj kontroli.

Ako se neki majstor, a bez znanja ponosi svojim zavarenim spojem, koliko li tek treba da se ponosi onaj tehničar ili inženjer koji podešava i učitava parametre zavarivanja robotu? A roboti su najbolji MIG/MAG zavarivači!

Kontrola funkcija tj zadavanje parametara se vrši prema vrsti materijala (čelik, aluminijum...), debljini materijala, tipu spoja (ugaoni, sučeoni...), položaju zavarivanja, specifičnosti posla (koren, ivica, žljeb...), nivou zahtevanog kvaliteta itd...

Evo parametara zavarivanja na koje treba obratiti pažnju:

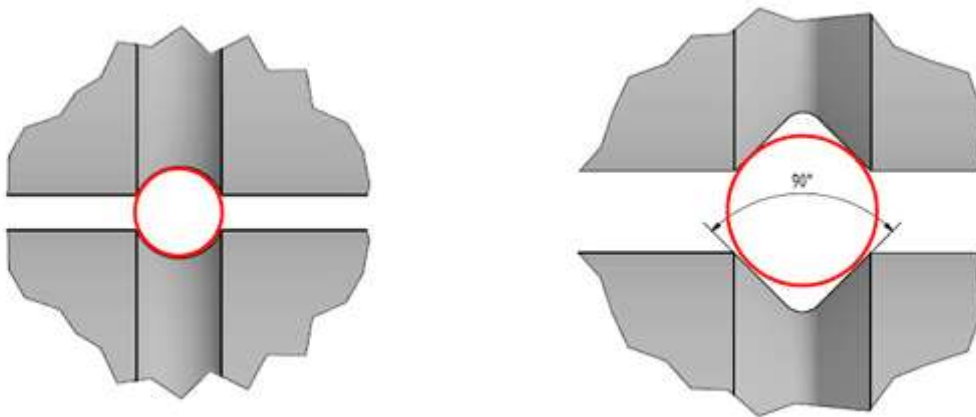
Materijal žice: Materijal žice se bira prema osnovnom materijalu koji se vari. O ovome u posebnim oblastima o zavarivanju pojedinih metala i legura. U principu tehnolog/inženjer bira žicu.

Izbor delova aparata za konkretnu žicu: Ako je u pitanju aluminijumska žica, najbolje je izabrati aparat sa 4 točkića za guranje, i namestiti u njega točkiće sa U žljebovima. Bužir da bude teflonski a dizna namenski za aluminijum. Na sličan način, ako se koristi punjena žica tankog poprečnog preseka, najbolje je postaviti 4 točkića koji su nazubljeni.

Inače za tvrdu žicu, recimo čeličnu, dovoljno je da jedan točkić ima žljeb (obično trapezni) a drugi je ravan. Pravilnim stezanjem se izbegava deformacija, ali trenje je sasvim dovoljno za guranje.



Nazubljeni točkići za punjenu žicu. Pritisak na punjenu žicu mora biti što je moguće manji da se ne bi deformisala, jer joj je debljina cevi vrlo tanka. Zato je najbolje imati 4 točića da bi sila pritiska bila prepolovljena u odnosu na 1 par, i da zubi točkića zajedaju i guraju žicu a ne da se žica gura trenjem.



Mogući načini izvedbe žljebova za točkiće za aluminijum. Dodirna površina veća pa je dovoljan manji pritisak za guranje.



Pogon za dodavanje žice sa 2 točkića, na slici mehanizam slavnog švajcarskog proizvođača.

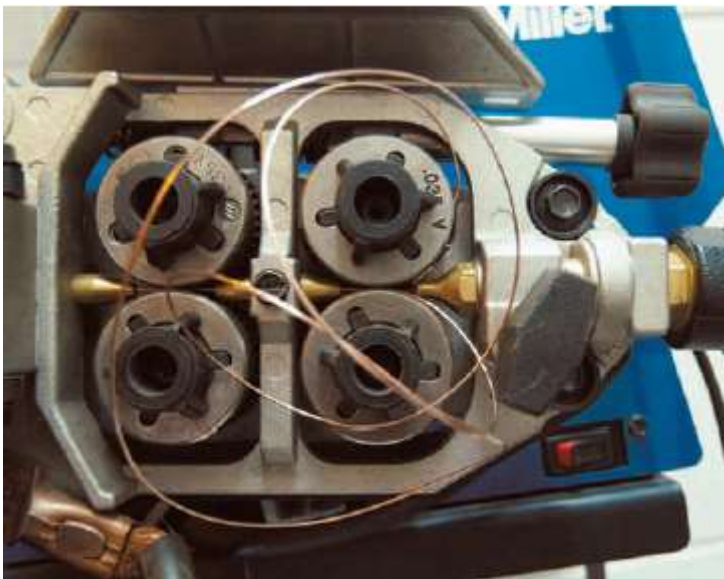
Pogon za dodavanje žice sa 4 točkića. U svakom slučaju bolji od onog sa 2. Pritisak na žicu je duplo manji i time manja opasnost od gnječenja tj deformisanja žice. Na slici mehanizam slavnog švajcarskog proizvođača

Pritisak točkića: Pritisak točkića na žicu mora biti minimalan, tj tek toliko da žica ne proklizava. Pogrešno je stezati što jače, pogotovo kod mekših tipova žice (aluminijum, punjena žica).

Jedan od načina stezanja je zatvoriti pogon i točkić za pritezanje staviti na sam minimum. Pištolj pod 45 stepeni uperiti prema podu poželjno nekoj drvenoj podlozi ili dlanu ruke koja je u rukavici. Pritisnuti okidač na pištolj i žica udara u dasku ili dlan pod uglom. Ako žica stane, a točkići proklizavaju, dotegnuti pola kruga. Tako sve do momenta gde žica ne počne da prolazi preko daske a točkići ne proklizavaju.



Probati zategnutost točkića puštanjem žice da udari u pod.



Ako su točkići previše stegnuti a desi se da se žica zalepi za diznu... dešava se ovo.



Kočnicu kotura zategnuti samo toliko da se on po otpuštanju prekidača na pištolju ne okreće sam po inerciji.

Odaberi transfer: naravno izabrati stabilan transfer (kratak spoj, puls, sprej ili neki od specijalnih – dupli puls, speed, force, root...). Za pomenuti transfer **odaberi najbolji gas i prečnik žice**. Nekad je ovaj izbor sužen, prosto neko ima samo jedan gas. Npr hobisti i oni što se bave auto limarijom i lakom bravarijom koriste samo čist CO₂ gas. Neke radionice imaju samo C18 gas...

Biti svestan ograničenja rada u određenom transferu sa određenim gasom tj ulaska u nestabilno područje. Npr u jednom momentu debljina materijala je nepogodna za sprej, jer može doći do progorevanja ako je tanak ili do loše penetracije ako se kratak spoj ili puls koristi na debelom materijalu.

Za običan čelik neka gruba preporuka je birati kratak spoj za debljine 1.5-4 mm, puls za 2-4 mm (ko ima aparat sa pulsom), a sprej preko 4 mm.

Takođe se moraju znati i granice kratkog spoja za svaki prečnik žice i tip žice. Zato se i kaže da je za perfektno MIG/MAG zavarivanje bitno znanje a ne veština.

Donja granica spreja za žicu SG2 1.0 mm, u gasu C18 je 220-230A pri 25-26 V. Ovih 220-230A odgovaraju nekih 11 m/min pri prepustu 15 mm. Od konstrukcije aparata se ove vrednosti razlikuju.

Donja granica spreja za žicu „SG2“, 1.2 mm, u gasu C18 je 270-280A pri 26-27V. Ovih 270-280 a odgovaraju brzini žice oko 7.5 m/min. Svako može na svom aparatu da nađe prelaz iz nestabilnog krupnokapljičastog režima u stabilni sprej.

Treba dodati da je čoveku teško da prati brzine preko 13-14 m/min, pa kada postane nezgodno raditi žicom 1.0 mm pri većim brzinama žice, preporuka je preći na punu žicu 1.2 mm ili još bolje na punjenu rutilnu ili metalnu.

Još neke granice spreja za razne gasove:

Sprej za 0.8 mm žicu u O₂ (Ar+2%O₂) gasu je oko 150A.

Sprej za 1.0 mm žicu u O₂ gasu je oko 165A.

Sprej za C8 gas za žicu 1.0 mm je na oko 185 A.

Sprej za C8 gas za žicu 1.2 mm je na oko 230 A.

Tip žice (puna žica, punjena žica...): Zavarivači koji se bave lakom bravarijom nemaju mnogo izbora, ograničeni su na žicu 0.8 mm. Oni koji mogu da biraju, zbog preklapanja opsega primene pojedinih žica imaju veliki izbor. Jedan izbor od mnoštva mogućih je koristiti punjenu žicu za debljine preko 5 mm, a do 5 mm obične žice. Punjenu žicu rutilnog tipa koristiti u vertikali na debljim presecima, jer se njome postiže superiorna penetracija na visokim strujnim parametrima. Ako se koristi obična žica za zavarivanje u vertikali ograničenje je max amperaža od 150 A, pa može doći do nedovoljnog uvarivanja. Ako se želi što veća produktivnost na debelim komadima, izbor je metalom punjena žica...

U svakom slučaju, može se doći do optimalnog izbora u smislu, kvalitet, cena, brzina....

Prečnik žice: Jasno je da se u nekim slučajevima može posao uraditi sa nekoliko prečnika. Recimo debljina 3 mm se može zavariti i punom žicom 0.8 mm i 1.0 mm i 1.2 mm i 1.0 mm punjenom žicom... Svako prema iskustvu može naći optimalno rešenje. Jedno od mnogo korektnih mogućih izbora, za zavarivanje običnog čelika, je:

* 0.6 mm žica – za auto limariju i slično (debljine 0.7-1.0 mm),

* 0.8 mm žica – za debljine 1.0 – 2.5 mm (tj 1.0 mm do 4.0 mm ko ima aparat koji može raditi samo sa 0.8 mm žicom),

* 1.0 mm žica – ovo je u stvari prvi izbor. Njome se mogu zavarivati debljine 1.5-4 mm u kratkom spoju, 4-12 mm u spreju, 2-6 mm u puls (ko ima). U slučaju preklapanja sa žicama 0.8 mm i 1.2 mm, ovom prečniku treba dati prednost jer je kontrola rastopljenog metala najlakša.

* 1.2 mm punjena rutilna žica – za debljine preko 5 mm, naročito u vertikali,

* 1.2 mm metalna žica – za debljine preko 5 mm u horizontali kada se traži velika produktivnost.

(* 1.2 mm žica punog poprečnog preseka – prvi izbor u Srbiji za svaku namenu, ali eto neki je izbegavaju i koriste samo kada moraju. Ova žica daje stabilan kratak spoj u uskom opsegu 140-175 A, a sprej tek preko 260-280A u C18 gasu... 1.0 mm puna žica i 1.2 mm punjene rutilna i metalna rade bolje u svakom smislu, svaka u svojoj oblasti, od ove 1.2 mm.).

Brzina žice (i amperaža): Amperaža, već rečeno, zavisi direktno od brzine žice. Da bi luk uvek bio iste dužine (što je osnov konstrukcije MIG/MAG aparata), što se više žice dovede to je potrebna veća toplota tj amperaža da bi je rastopila, i obrnuto.

Što je veća brzina žice i amperaža, postoji opasnost od progorevanja tankog materijala, i što je brzina žica manja, manja je amperaža i postoji opasnost od loše penetracije na debelim zidovima.

Znači, što je veća brzina žice, veća je penetracija, veća je stopa depozita (kg/h), veća je zapremina kupatila, ali je veće i nadvišenje gusenice.

Npr pitanje:

Ako podesim 5.5 m/min brzinu žice prečnika 1.0 mm, tip žice SG2-obična CO2 žica, držim prepust 8 mm, kolika je amperaža, ako nemam displej?

Ovo se lako ovo proveriti DC amper klještima.

Napon (voltaža): Ovo je nezavisna komanda na aparatima za MIG/MAG zavarivanje. U prihvatljivim opsezima zavarivanja, ne utiče na amperažu. Voltažom se pre svega određuje dužina luka. Već je rečeno, kod MIG/MAG aparata zavarivač ne može smanjiti niti povećati luk u odnosu na podešen. A potrebno je podesiti takvu dužinu luka, da plazma luka ima najveću efikasnost a da prštanje ima najmanju vrednost. Kada je u pitanju zavarivanje kratkim spojem potrebno je krenuti od toga da predug luk dovod do prštanja i slatku tačku tražiti u kraćem luku. Kod spreja, prštanje nastaje zbog kratkih spojeva, koje treba izbeći, pa luk treba produžavati, sve dok se ne dobije zavarivanje bez kratkih spojeva i prštanja. Kod pulsa se dešava tzv „disanje“ luka, jer se u pulsu jedna veća kapljica odvaja, i kako se kapljica povećava, tako se luk smanjuje a kada se odvoji luk poraste. Zato je efekat disanja luka manji kada je luk manji. Naravno i ovde mora biti dovoljno dugačak da se izbegne pojava kratkih spojeva i prštanje.

Neke opšte preporuke za zavarivanje crnih čelika u kratkom spoju u CO₂ gasu su napon od 17-20V (u zavisnosti od aparata može blago da se razlikuje), a za sprej u C18 gasu recimo 25-30V u zavisnosti od brzine žice. Pulsni aparati imaju ugrđene sinergijske krive tj aparat sam proračuna najbolji napon ali i oni imaju potencioetre za dodatno trimovanje dužine luka i praksa pokazuje da je gotovo uvek potrebno dodatno korigovati dužinu luka.

Ako je napon veći, širina gusenice je veća, ako je mali, širina je manja a nadvišenje veće. Ako je prevelik, dolazi do zajeda pored ivica gusenice.

Prepust žice (dužina žice koja viri iz dizne): Ovo je suštinski bitna veličina, a koja je najčešće nepoznata samoukim MIG/MAG zavarivačima. Od dužine prepusta zavisi amperaža. O ovome je već pisano, pa sada samo da ponovim, zavarivač bi morao da održava ovaj prepust konstantnim tokom vođenja pištolja, jer ako to ne radi, aparat će smanjivati ili dodavati amperažu, pa recimo ako prepust bude premali postoji opasnost da luk dohvati diznu i zavari žicu za nju ili da amperaža progori tanak lim. A ako je predug, postoji opasnost od premale amperaže i nalepljivanja umesto penetracije... Treba li reći da najbolji MIG/MAG zavarivači – roboti, nemaju nikakav problem da održavaju konstantan prepust žice, njima ne drhte ruke.

Dalje, možda nije javno objavljeno, ali proizvođači aparata za zavarivanje „optimizuju“ slatke tačke zavarivanja prema nekom prepustu žice. Recimo da je danas poznato gde su ti optimizovani prepusti, pa je preporuka pridržavati ih se tokom zavarivanja.

Za kratak spoj je preporuka da prepust bude 7-10 mm (manji za manji prečnik žice i manje brzine žice i veći za veće brzine žice i veći prečnik žice. Npr 7 mm za žicu 0.8 mm pri brzini žice 4 m/min i 10 mm za žicu 1.0 mm pri 7 m/min)...

Za sprej je preporuka da bude oko 15 mm, i za punu i za punjenu žicu.

Za puls oko 12-16 mm, uz napomenu da luk diše kod pulsa, pa ako diše mnogo, raditi sa većim prepustom i obrnuto a i koristiti potencioetar za trimovanje luka.

Indukcija: Već je puno rečeno o njoj. Još jednom, veća indukcija povećava vreme trajanja luka, smanjuje broj kratkih spojeva, metalno kupatilo je veće i tečljivije, bolje se razliva, na većim parametrima u CO₂ gasu kod žica 1.0 mm i 1.2 smanjuje prštanje... Ukratko, ako su u pitanju tanki limovi, podesiti je na najmanje jer nije potrebno tečljivo kupatilo, naprotiv potreban je hladan luk i što brže očvršćavanje.

Podesiti veću indukciju, ako se radi sa žicama 1.0 mm i 1.2 mm u CO2 gasu. Podesiti veću indukciju kada se zavaruju metali sa većim površinskim naponom.

Neki aparati, oni iz jeftinije klase, nemaju mogućnost podešavanja indukcije, ali oni ionako rade sa žicama 0.6 mm i 0.8 mm a same žice imaju dovoljno veliki omski otpor da pruže zavarivanje bez prštanja.

Ako aparat ima sinergijsku krivu, onda je indukcija proračunata softverski za svaki konkretan slučaj.

Brzina vođenja pištolja: Ovo je jedan od parametara koji sam zavarivač sam lako oseti koliki treba da bude prema izgledu lica gusenice. Robotima se ova brzina vođenja zadaje, što će reći jako je dobro znati koje su optimalne vrednosti vođenja pištolja tokom zavarivanja.

U principu se sve radi probama, sporijim pa bržim vođenjem, ali recimo da je za zavarivanje kratkim spojem, punom SG2 žicom 1.0 mm, neka dobra brzina vođenja 6-10 mm/s, za zavarivanje debljina oko 3 mm... a recimo za žicu 0.8 mm 4-8 mm/s... Ovu temu nema smisla širiti, jer će oni koji rade sa robotima sami probama naći najbolju brzinu vođenja a samouki zavarivači sami je lako procene.

Unos toplote: Sva ozbiljna zavarivanja se danas rade prema kvalifikovanim tehnologijama zavarivanja. A sve tehnologije zavarivanja zahtevaju iskazivanje unete količine toplote. Od unete toplote zavise mehanička svojstva i to najviše žilavost. Ako je unos toplote preveliki najčešće dolazi do degradacije materijala tj pada i čvrstoće i žilavosti. Formula za unos toplote je:

$$Q = 0.8 \times (U \times I \times t) / p \text{ (izražava se u kJ/mm ili kJ/cm)}$$

Pri čemu je **U** napon, **I** amperaža, **p** = dužina koju je pištolj prešao za vreme **t**), a 0.8 je koeficijent za MIG/MAG zavarivanje (i za 131 i 135 i 136 postupak tj i za pune žice i za punjenje žice i za aluminijumske žice) (pogledati standard SRPS EN 1011-1: 2007).

Recimo da je brzina vođenja 8 mm/s, da se radi punom čeličnom žicom SG2 prečnika 1.0 mm, u gasu C18, da je brzina žice 5 m/min (što odgovara amperaži oko 100 A), a da je napon 18 V...

Unos toplote je 1.8 kJ/cm (ovo je vrlo mali unos toplote).

Ova formula ne uzima u obzir indukciju kod kratkog spoja, tj unos toplote će biti veći ako je indukcija veća za istu amperažu. Međutim unos toplote kod zavarivanja u kratkom spoju je gotovo uvek ispod granica pada mehaničkih svojstava pa se indukcija zanemaruje. Isto tako nije baš najpreciznija za pulsno zavarivanje, ali je još uvek prihvatljiva.

Problem je izražen naročito kod zavarivanja u spreju punim i punjenim žicama. Problem postoji i kod običnih čelika a ne samo kod onih osetljivih na unos toplote. Pažnju treba obratiti na zavarivanje rutilnim punjenim žicama. Zavarivači se oduševavaju lakoćom upotrebe na visokim strujama i velikim nalivanjem pa instiktivno gotovo svi počinju da je vode tj da je njišu široko levo desno, kao da mlate barjakom. Iz formule se vidi da je unos toplote povezan sa dužinom i samo sa dužinom vara u jedinici vremena. To jasno ukazuje da je unos toplote manji ako je dužina vara duža a njihanje uže i da je unos toplote veći ako je dužina kraća a var širok zbog širokog njihanja.

Da pojasnim problem kod običnih čelika. Čelična ploča koja se vari je u čvrstom stanju. Ali u stvari se sastoji od kuglica/atoma. Atomi su raspoređeni u grupe/rešetke koje su nazvane kristalne rešetke („grupa ravnomerno raspoređenih atoma i molekula u prostoru se naziva kristalna rešetka ili zrno“). Na

povišenim temperaturama se dešava fenomen da se više kristalnih rešetki spaja u jednu tj od dve sitne ili tri se stvara jedna. Ovaj fenomen se naziva pogrubljenjem/rastom kristalnih zrna. E sad zamislite jednu drvenu šipku, prut dugačku a tanku. Stavite je u ruke i prelomite je na dva dela. Lako je. Sada jednu polovinu prelomite. Opet je lako. I tako sve dok ne dovedete dužinu lomljenog dela recimo na 10 mm. Njega ćete teško polomiti, prosto jer ruke ne mogu da stvore dovoljnu silu tj moment savijanja, jer je prepust grede mali. Sad zamislite kako da polomite rukama parče dužine 1 mm ili 0.5 mm. Nikako. A svo vreme je u pitanju jedan isti materijal, samo su dužine koje se lome kraće i kraće. E isto tako i kod običnog čelika, što je zrno sitnije teže ga je slomiti, a što je duže i veće, lakše je. Unosom toplote u ZUT-u (zoni uticaja toplote, pojas od nekih 2-3 mm pored ivica gusenice) zrna rastu i tako deo gubi svoju čvrstoću i žilavost. Ovaj fenomen je još izraženiji kod metala koji su osetljivi na unos toplote tj osim pogrubljenja zrna toplote pravi neželjenu distribuciju legirajućih elemenata i sam materijal gubi gotovo sva svojstva za koji je namenjen.

Zato oprez, pri zavarivanju, a naročito sa punjenim žicama ograničiti šetanje tj njihanje u širinu.

Naravno, osim poštovanja parametara zavarivanja, širine njihanja, za kontrolu unosa toplote je bitno poštovati međuprolaznu temperaturu, tj tokom zavarivanja ne prelaziti neku propisanu temperaturu (meriti laserskim termometrom, termokredama ili sandom recimo sa jeftinog volt/ampermetra).

Odnos šobe i dizne: Već je pričano, kada se radi u kratkom spoju, poželjno je da dizna bude izbačena napolje iz šobe (2-3 mm), zbog bolje vidljivosti bolje kontrole dužine prepusta žice. Kada se radi u pulsnu ili spreju preporuka je da šoba bude uvučena šobu oko 3-6 mm (što jača struja, bolje da je dizna dublje u šobi).



Dizna izvan šobe, za kratak spoj. Dizna uvučena u šobu, za sprej i puls.

Naprskavanje šobe: Ovo je naročito bitno kod zavarivanja robotom ali i kod ručnih zavarivanja kada nije dozvoljeno da u metalno kupatilo padnu kuglice i prašina nastale pršanjem.

Šobe su pravljene od bakra a zatim hromirane. Postoje razni sprejovi za prskanje šobe. Ovi sprejovi prave premaz na šobi i ne dozvoljavaju da se vrela pucna zavari za šobu, već samo nalepi i posle je lako skinuti. Najbolje je posle svakog završetka zavarivanja, pogledati šobu i po potrebi, nekim mekim predmetom, recimo drvenim štapićem skinuti pucne sa šobe i dizne pre početka novog vara.



Kao najbolji izbor zaštite šobe se preporučuje keramički sprej. On trpi najveću toplotu i najbolje štiti šobu od pucni. Pravi keramički film na šobi, i produžava vreme između dva prskanja.

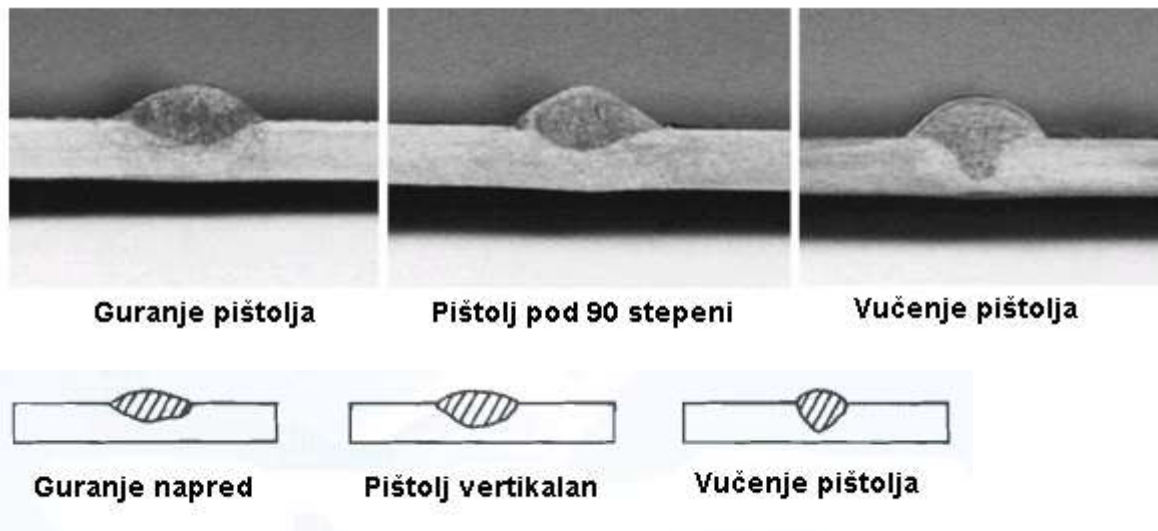
Postoje i drugi sprejevi za zaštitu šobe od pucni.

Način vođenja (guranje i/ili vučenje): Zanimljivo je koliko rasprava ima na ovu prostu temu.

Pri zavarivanju kratkim spojem i guranje (ka napred) i vučenje (ka nazad) je savim korektno i prihvatljivo. Jedino treba napomenuti:

Kada se gura napred: prštanje je veće jer kapljice se odbijaju od čvrstog i hladnog metala. Lice gusenice je ravnije i šire zbog dejstva arc-force-a luka (zbog ovoga neki ovom načinu vođenja daju prednost). Penetracije je nešto manja nego kod vučenja nazad. Preglednost linije varenja je veća, ali je preglednost rastopljenog metala i već položenog zavara lošija Sve u svemu, ovaj način ima prednost kada se zavaruju tanki limovi.

Kada se vuče nazad, gusenica je uža, nadvišenje je veće ali je penetracija veća. Samim tim ovaj način ima prednost kod debljih limova. A „problem“ sa većim nadvišenjem se rešava blagim cik cak šetanjem i tako se poboljšava razlivanje u stranu. Prštanje je manje jer kuglice padaju i utapaju se u rastopljeni metal, ne odbijaju se. Luk je stabilniji kada se vuče nazad. Opasnost od poroznosti je manja u ovom slučaju jer je kupatilo duže rastopljeno pa gasovi imaju više vremena da izađu a takođe je duže pod gasnom zaštitom iz šobe.



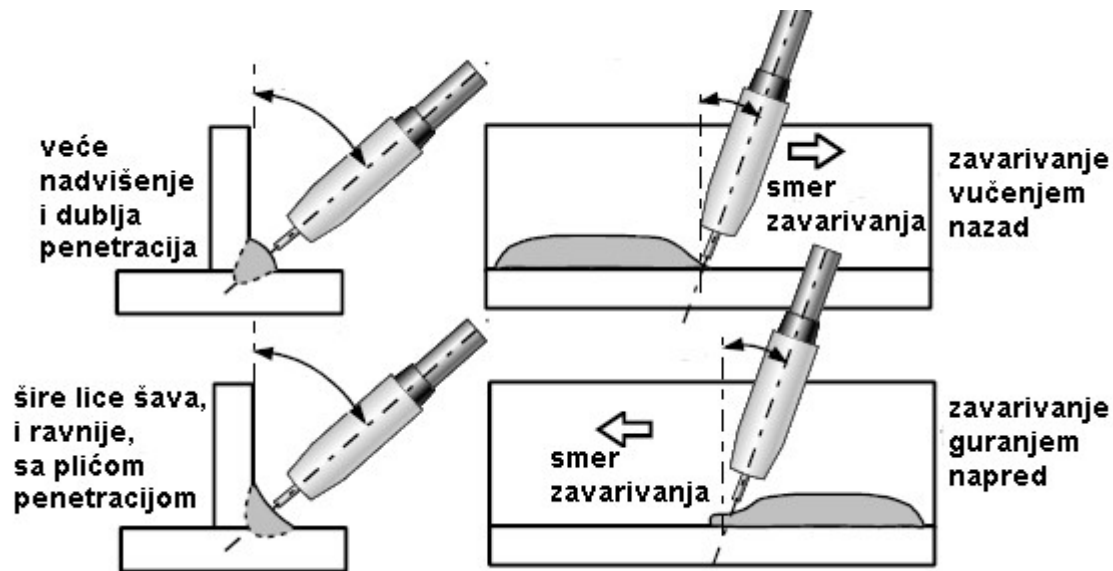
Izgled profila gusenice kada se pištolj gura i kada je pod 90 stepeni i kada se vuče

Stvar je ličnog izbora, da li gurati ili vući. Preporučeni ugao je oko 15 stepeni od vertikale u oba slučaja. Ipak uočava se da veći broj zavarivača više voli da radi tehnikom unazad u kratkom spoju.

Pri zavarivanju sprejom i pulsom punim žicama i metalnom punjenom žicom, preporuka je uvek voditi pištolj tehnikom unapred. To isto važi za zavarivanje rutilnom punjenom žicom vertikalno uvis, osim kod korenog prolaza preko keramike.

Kada se radi rutilnom i bazičnom punjenom žicom koristi se tehnika vučenja, tj vođenje unazad. Ista tehnika se koristi za koreni prolaz rutilnom punjenom žicom preko keramičke podloške.

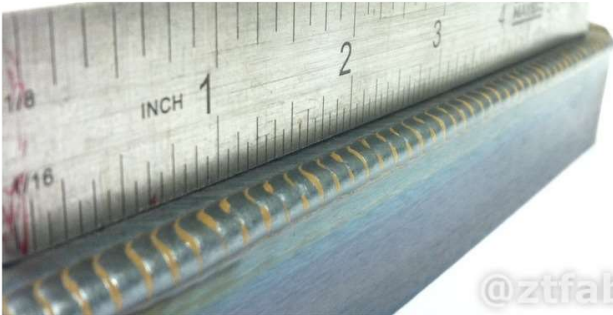
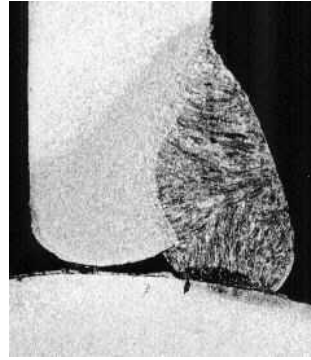
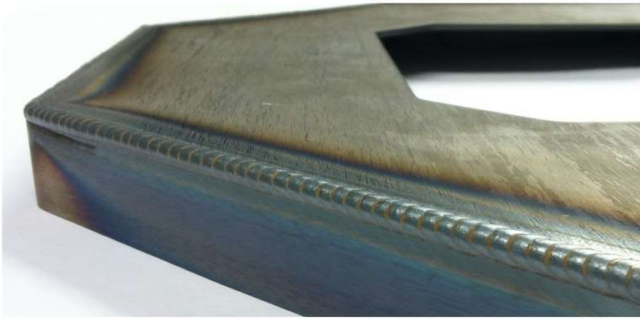
Kada se radi čistim argonom na aluminijumu ili bakru, uvek se gura unapred da bi gas izvršio čišćenje oksidne prevlake.



Ugao pištolja u odnosu na verikalu je do nekih 15°. Igrati se malo sa ovim uglovima i smerom vođenja. Lična impresija je najbitnija. Svako prema sebi neka nađe najzgodniji način vođenja. Ipak, najčešće je prvi izbor guranje napred, jer je razlivanje bolje.

Šetanje tj njihanje je prema potrebi. Obično se njiše u kratkom spoju, slabom puls, i sa rutilnim punjenim žicama u malom opsegu. Kod jakog spreja i pulsa se vodi pravolinijski, jednolikom brzinom svo vreme, bez pauza. Naravno roboti njišu tj „pendlaju“ i u spreju i u puls, jer su u stanju da isprate zahtevane parametre i pri vrlo jakim strujama. Čovek to ne može.

Postoji i mali problem pri atestaciji zavarivača transferom kratkim spojem. Mnogi zavarivanje rade samo spiralnim vođenjem, međutim da bi to bilo sa penetracijom, mora se razumeti proces a ne napamet praviti spirale.



Svi žele ovakav var! Ali ako ne znate šta radite, ovo je opasno, jer početnik pravi var bez penetracije.

Var bez penetracije, nalepljeno. Da bi dobili levi var koji ima krljušti i penetraciju treba majstorstvo a ne prosto kruženje spirale napamet.

Protok gasa: Protok gasa zavisi od mnogo faktora.

- Kojim gasom se radi (CO₂ ili mešavina ili argon). Potreban protok gasa CO₂ je manji nego Ar+CO₂.
- Kojom se brzinom vodi (veća brzina vođenja, veći protok gasa je potreban),
- Kakav je spoj (manje gasa za ugaoni unutrašnji spoj a najviše za spoljni ugaoni spoj),
- Kojim amperažama se radi. (veća amperaža, veći protok).
- Širina šobe (za širu šobu veći protok)...
- Materijal koji se vari (recimo za aluminijum ne treba štedeti).
- Veća promaja, veći protok.

Nemoguće je bez dugotrajnog i skupog eksperimenta reći u decimalu koliko treba za svaki slučaj, pa se ili orijentisati prema dijagramu prihvaćenim u struci (nije ovde prikazan) ili prema pomenutim preporukama:

Preporuka za kratak spoj u CO₂ gasu je raspon od 6 do 12 l/min. Za manje amperaže, tanje žice, niže vrednosti i veće za deblje žice i veće amperaže. Grubo pravilo koje se lako pamti je protok oko 10 x prečnik žice (oko 6 l/min za 0.6 mm žicu, oko 8 l/min za 0.8 mm žicu, oko 10 l/min za 1.0 mm žicu, oko 12 l/min za 1.2 mm žicu).

Preporuka za protok gasa Ar+CO2 je 12-15 x prečnik žice, što će reći npr žicom 1.0 mm pri zavarivanju kratkim spojem 12 l/min na nižim amperažama i recimo 15 l/min za zavarivanje u spreju... Punjene žice već imaju neku jaču zaštitnu fazu u svom punjenju pa im treba malo manji protok nego punim žicama.

Za aluminijum, pri zavarivanju u spreju i pulsu, ići na gornje granice pa čak i preko toga.

Pogledajte i preporuke proizvođača žica. Najverovatnije su oni već pravili ove eksperimente i znaju gde su optimalne vrednosti za svaki konkretan slučaj.



Protok gasa mora da bude takav da štiti, a ne da bude turbulentan da upumpava kiseonik i azot iz vazduha u metal vara. Ne sme protok biti ni mali niti veliki, već taman koliko treba.

Tehnoekonomska analiza: Odnosi se na poznavanje:

- produktivnosti zavarivača (kg/h),
- vremena potrebnog za nabacivanje 1 kg u zavisnosti od mogućnosti rada zavarivača,
- cena ulaznih komponenti (rad, žica, gas, potrošnja struje i angažovana snaga, amortizacija aparata, potrošni delovi, cena prostora...) da bi se onda to pretvorilo u cenu po 1 kg depozita (što je najpošteniji način procene troškova) ili u cenu po 1 sat rada.

Depozit direktno zavisi od brzine žice, pa pošto su obično hobisti i samouki lošiji sa matematikom evo im tabela nalivanja u kg po jednom satu, SG2 žicom 0.8 mm, sa prepustom 7 mm, u čistom CO2 gasu. (ostali lako mogu da izračunaju ili možda nađu dijagrame na netu za druge prečnike, za aluminjumske žice, za punjene žice itd. Nivo matematike je recimo 7 ili 8 razred osnovne škole).

**Brzina žice Naplavljivost
(m/min) (kg/h) @100%**

2.0	0.43
2.5	0.53
3.0	0.64
3.5	0.75
4.0	0.85
4.5	0.96

5.0	1.07
5.5	1.17
6.0	1.28
6.5	1.39
7.0	1.49
7.5	1.60
8.0	1.70

Napomena: Zavarivač ne može raditi 100% vremena, to ne može ni robot. Gledano za ceo dan, robot radi 50-60% vremena ili bi barem trebao da bi se brzo otplatio.

Čovek na dan može raditi recimo 30-40%, ako samo zavaruje (ostalo su pauze, odmor, prepozicioniranje...). Ako se bavi i bravarijom recimo da teško pređe 25% radnog vremena samo za zavarivanje.

U struci se grubo normira da robot radi 50-60%, profi MIG/MAG zavarivač oko 30-35% a bravar/hobista manje od 25%.

U nekom periodu, kada napadne, i čovek jedan period recimo može raditi 60% ako mu je sve spremno, poheftano a on samo da vari ali to ne može da radi celu smenu.

NAPOMENE

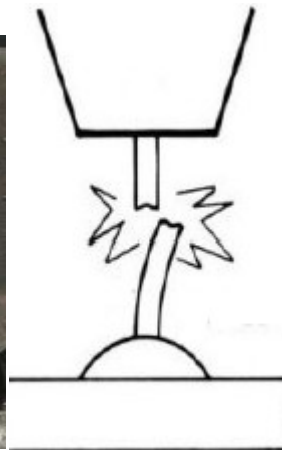
Loše paljenje luka

Često se dešava da je paljenje luka otežano. Žica kao da štucna, udara o predmet, nekoliko puta pa se tek onda pali luk. Ili se dešava da žica precvika.

Za što bolje startovanje luka, najbolje je držati što kraći prepust (jer je tada otpornost najmanja prema Omovom zakonu, pa će amperaža biti jača na startu) a po potrebi odseći žicu sečicama ukoso recimo pod 45 stepeni. Ali ne premali da ne bi luk dohvatio diznu.

Jedan od razloga lošeg starta je predugačak prepust. Struja/toplota se troše na zagrevanje preduge žice umesto na zagrevanje i jonizaciju gasa. Kada se žica zagreje ona omekša, pošto „nova“ žica iz pištolja gura ovu omekšanu ona se lomi blizu dizne (precvika se) i ostane onako ružno zalepljena za materijal. Tek kada se precvika (ili čak par puta), toplota pali luk.

Drugi razlog lošeg starta može biti prevelika podešena indukcija. Umesto da porast struje bude velik i nagao, on je tada spor, pa umesto da pali luk on sporo zagreva žicu. Za čelik, za dobro paljenje luka, najbolje je kada je indukcija mala, ali za aluminijum je bolje kada ima nešto indukcije, jer nagli porast struje pri kratkom spoju može lako da dobaci luk do dizne i zalepi žicu za nju.



Cvikanje žice pri paljenju luka

Takođe, ponekad je masa kriva za loše paljenje luka. Kada je bakarni deo klješta za masu nov, on provodi struju odlično, kada ostari on oksidira, pa je provodnost znatno smanjena. Treba ili promeniti masu, ili ostrugati oksid sa bakarnog kontaktnog dela.

Za loš start krivac može biti i prevelika brzina žice. Prosto luk se možda i stvori ali brzina žica je toliko velika, da ga žica pregazi, jer toliko brzo izlazi. Pa se luk pali tek iz drugog, trećeg puta kada se stvori dovoljno toplote.

Ako aparat ima funkciju, laganog ulaska žice, ne bi bilo loše razumeti ovu funkciju u smislu boljeg paljenja luka, naročito pri velikim brzinama žice. Prosto, ovom funkcijom se nameštiti da na startu neko vreme izlazi žica polako, luk se formira i postane stabilan a onda žica krene da izlazi brzo kako je podešena na kontrolnom panelu.

Zavarivanje žice za diznu pri startovanju luka

Ako se luk ne uspostavi pri udaru žice u materijal, može se desiti (pogotovo ako je otvor dizne razlokane) da se stvori mikro luk između dizne i žice na samom otvoru dizne. Taj luk topi žicu na otvoru i zavaruje žicu za diznu. Nekad se mora obrusiti čelo dizne da se oslobodi žica ali najčešće treba tu diznu baciti. Pošto se žica zavari za diznu, a motor pogoni žicu, dok se ne otpusti prekidač na pištolju, ona se nagomila i zgnječi što u bužiru, što iza točkića, pa se mora ponekad otvoriti dodavač i izbaciti zamršena i presavijena žica. Zato je uvek savet koristiti dizne koje nisu razlokane, npr posle svakih 15 kg žice (a nekad i pre) staviti novu diznu, a takođe i pravilno startovati luk.

Nalepljivanje na startu (problem sa nepropusnošću)

Tipično za MIG/MAG zavarivanje je nalepljivanje na početku tj odmah po paljenju luka, nekih možda 5-10 mm. Nema penetracije, i ovaj deo vara je podložan propuštanju fluida iako je zahtev da bude nepropusan.

Pri startovanju luka, žica koja je mala počinje da se topi i kaplje na materijal. Ali masa materijala je ogromna (u odnosu na vrh žice) i njemu treba vremena da se ugrije i počne on da se topi i u jednom momentu da postoji i rastopljeni vrh žice i rastopljeni metal na materijalu. Na tom delu vara, gde žica

jeste rastopljena a materijal još nije, javlja se nalepljivanje, veliko nadvišenje (često van propisanje geometrije i dimenzije) i propuštanje fluida. Ovo se zove „hladan start“ i često je neprihvatljiv.

Da bi se ovo izbeglo, ponekad treba postupiti kao pri paljenju bazične elektrode. Upaliti luk na 20-25 mm od početka vara, brzo vratiti luk na početak, a onda krenuti napred i prevariti preko mesta startovanja luka.

Ako aparat ima mogućnost podešavanja hot-starta, bilo bi poželjno koristiti ovu funkciju. Obavezno startovati kraćim prepustom.

Problem je naročito izražen kod zavarivanja aluminijuma. Za razliku od TIG zavarivanja, gde se prvo na materijalu napravi barica, pa se onda utapa žica unutra i dobija garantovano nepropusan spoj, to je jako teško postići MIG-om, zbog velikog odvođenja toplote od strane aluminijuma.

MIG/MAG zavarivanje raznih metala

MIG/MAG zavarivanje čelika. Već je mnogo toga rečeno. A u posebnoj temi će biti pisano o zavarivanju punjenim žicama i možda još nečemu.

MIG/MAG zavarivanje aluminijuma. Biće kao posebna tema. Dovoljno je za uvid reći da se aluminijum teško uspešno zavaruje kratkim spojem, prosto uglavnom se radi o maloj penetraciji a sve je praćeno velikim prštanjem.

Za aluminijum su potrebni dodaci za aparat namenjeni zavarivanju aluminijuma (dodavač sa 4 točkića, točkići za aluminijum, teflonski bužir, dizne za aluminijum).

Aluminijum se zavaruje sprejom i pulsom. Ako se neko bavi zavarivanjem aluminijuma, najbolje je da uloži u pulsni MIG/MAG aparat.

Pulsnim zavarivanjem se postiže potpuno razlivanje i utapanje metala, a sa druge strane unos toplote je mali, tako da se može očekivati veća čvrstoća ZUT-a nego kod spreja.

Opasnost od propuštanja fluida, pre svega zbog nalepljivanja na startu, kroz zavareni spoj ostaje boljka MIG/MAG zavarivanja aluminijuma.

Pulsnim MIG/MAG aparatom se mogu uspešno zavarivati tako male debljine, naprimer i 1.0 mm.

MIG/MAG zavarivanje nerđajućih čelika. Radi se o čelicima osetljivih na unos toplote, zato je takođe pametno uložiti u pulsni aparat. Puls je oblik spreja, sa nižim unosom toplote, tako da se tanji limovi mogu uspešno zavarivati. Biće posebna tema.

MIG/MAG zavarivanje bakra i legura. Bakar je materijal koji u rastopljenom stanju ima veliki površinski napon, a sa druge strane odvođenje toplote je ogromno. Ne može se zavarivati u kratkom spoju, ali može u spreju i naročito dobro u pulsu. Velika pomoć je predgrevanje samog bakra. Više o zavarivanju bakra i legura na drugom mestu.