

CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA GAZELOR DE PROTECȚIE UTILIZATE LA SUDARE ASUPRA DESFAȘURĂRII PROCESULUI DE SUDARE

BURNETE Florin

Conducători științifici: S.L. Dr. Ing. Corneliu Rontescu , S.L. Dr. Ing. D. T. Cicic

REZUMAT: Lucrarea are scopul de a evidenția efectele gazelor de protecție asupra parametrilor geometrici ai cordonului de sudură în cadrul sudării MIG/MAG, utilizând tipurile de transfer short-arc, spray-arc și puls-arc. Gazele de protecție influențează stabilitatea arcului, transferul materialului de adaos, proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate și a formei și geometriei cusăturii sudate prin proprietățile termo-fizice și chimice. De aceea este important a cunoaște influența fiecărui gaz de protecție asupra caracteristicilor geometrice ale cordonului de sudură.

CUVINTE CHEIE: Gaz de protecție, transferul arcului.

1 INTRODUCERE

Alegerea gazului de protecție se efectuează având în vedere influența sa asupra procesului de sudare. Însușirile fizice ale gazului influențează transferul de material prin arcul electric, procesul de umectare al materialului topit, forma sudurii și mărimea pătrunderii, viteza de sudare utilizabilă, ușurința de amorsare și stabilitatea arcului electric. Astfel de exemplu, un potențial de ionizare de valoare redusă a gazului (argon, în raport cu heliu) ușurează amorsarea și stabilitatea arcului. Energia de disociere – recombinare a gazelor biatomice (dioxid de carbon, hidrogen) influențează în mod favorabil bilanțul termic în zona sudării. Conductibilitatea termică a gazului are efecte asupra temperaturii băii topite, formei sudurii, proceselor de degazare, precum și asupra vitezei de sudare aplicabile. Se remarcă în acest sens efectul heliului la sudarea aluminiului (material cu conductivitate termică înaltă) sau a hidrogenului la sudarea în amestec cu argonul a oțelurilor inoxidabile.

Însușirile chimice ale gazului de protecție influențează comportarea metalurgică a acestuia, precum și suprafața sudurii. Astfel de pildă, prezența oxigenului conduce la arderea unor elemente de aliere și la mărirea fluidității băii prin micșorarea tensiunii superficiale a acesteia. O atmosferă conținând dioxid de carbon are ca efect o aliere cu carbon a sudurii și, în același timp, o mărire a supraînălțării sudurii.

Utilizarea la sudarea MAG a unor amestecuri $Ar - CO_2$ conduce la o îmbunătățire a stabilității procesului de sudare și la reducerea împrôșcărilor prin stropi, comparativ cu cazul sudării în dioxid de carbon.

O comparație a efectelor gazelor de protecție asupra unor caracteristici ale procesului de sudare și ale sudurii este indicată în tabelul următor:

Tabel 1

Caracteristică	Ar/CO ₂	Ar/O ₂	CO ₂
Pătrundere Poziție normală Poziție dificilă	Bună Mai sigură cu creșterea conținutului de CO ₂	Bună Poate deveni critică	Bună sigură
Solicitare termică a arzătorului	Mai mică cu creșterea conținutului de CO ₂	Înaltă	Mică (datorită conductibilității termice bune)
Grad de oxidare	Crește cu conținutul de CO ₂	Înalt (mai ales la 8% O ₂)	Înalt
Porozitate	Scade cu conținutul de CO ₂	Foarte sensibil	Sigur
Stropiri	Crește cu conținutul de CO ₂	Fără stropi	Cantitate maximă de stropi, crește cu puterea arcului
Căldură introdusă	Crește cu conținutul de CO ₂ , viteza de răcire mai scăzută, pericol de fisurare mic.	Cea mai mică, viteza de răcire mare, pericol de fisurare	Ridicată Viteza de răcire scăzută, pericol de fisurare mic
Caracteristici mecanice și tehnologice	Bune Medii, la conținut	Bune	Medii

	i mai mari de CO ₂ (30%)	Mari de CO ₂ (12%)	
Posibilitate de închidere a rostului	Mai bună cu scăderea conținutului de CO ₂	Bună	Mai slabă decât la amestecuri
Tipul transferului de material prin arc	Arc scurt Arc intermediar Prin pulverizare, prin impulsuri (20% CO ₂), arc rotitor	Arc scurt Arc intermediar Prin pulverizare Prin impulsuri Arc rotitor	Arc scurt Arc lung

2 STADIUL ACTUAL

2.1 Caracteristicile gazelor utilizate la sudare

Argonul

Argonul are avantajul că este un gaz mai ieftin, asigură o stabilitate bună a arcului electric întrucât tensiunea de ionizare este mai mică. În plus, argonul produce și "autoascuțirea", sârmei în cursul sudării (în cadrul procedurilor MIG/MAG), ceea ce conduce la concentrarea arcului electric.

Combinarea argonului cu dioxidul de carbon, cu până la 25% CO₂, are drept consecință același efect de oxidare energetică creat prin descompunerea dioxidului de carbon și, ca atare, conduce la intensificarea regimului de sudare. În plus arcul devine mai stabil, iar împrôscările de metal se reduc.

La sudarea în curent continuu cu polaritate inversă, utilizarea argonului permite obținerea efectului de microsablare. Datorită bombardării piesei cu ioni grei de argon se produce o curățire superficială a piesei de peliculele de oxizi greu fuzibili, situație favorabilă în cazul sudării aluminiului.

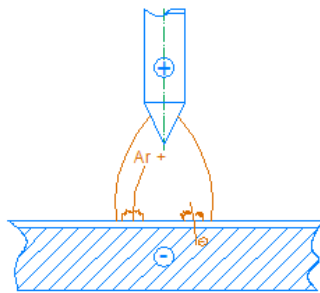


Fig. 1 Efectul de microsablare

Conductibilitatea termică mică a argonului determină un gradient de căldură redus în coloana arcului. Aceasta face ca miezul coloanei arcului,

cel care conduce curentului electric (în care sunt concentrate liniile de curent), să se extindă pe o zonă relativ mare în secțiunea coloanei arcului. Practic arcului electric cuprinde (îmbrățișează) vârful sârmei electrod.

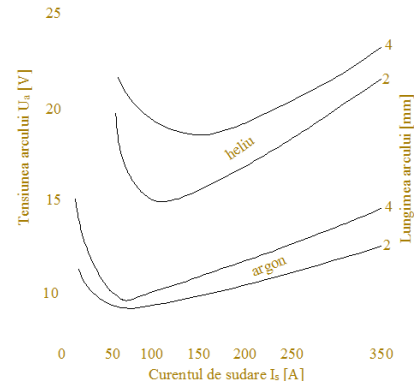


Fig. 2 Caracteristica arcului electric WIG în mediu de argon, respectiv heliu

Heliul

Heliul este un gaz mai scump, cu o densitate mai mică decât cea a argonului și chiar decât a aerului. El nu asigură fenomenul de microsablare așa cum se întâmplă în cazul argonului. Heliul însă realizează o pătrundere mult mai mare la sudarea diferitelor materiale metalice.

La sudare în heliu se pot utiliza viteze de sudare mai înalte. Heliul, sau amestecuri argon - heliu (cu până la 75% He) sunt recomandate pentru sudarea aluminiului și cuprului.

Energia mare a arcului electric poate compensa lipsa efectului de microsablare la sudarea aluminiului în curent continuu, polaritate directă, în cadrul sudării WIG. În acest caz, arcul electric va avea o lungime foarte mică, ceea ce limitează aplicarea soluției doar la varianta mecanizată.

Tabel 2 Influența gazelor de protecție asupra caracteristicilor la sudare

Gaz	Amorsare	Stabilitatea arcului electric	Lățimea sudurii	Pătrunderea	Viteza de sudare
Ar	xxx	xxx	xxx	xx	xx
Ar/He	xxx	xxx	xx	xx	xxx
He	x	x	x	xxx	xxx
He/Ar (25/75)	xx	xx	xxx	xx	xxx
He/Ar (50/50)	x	x	xx	xxx	xxx

x – influență mică, xx – influență medie, xxx – influență mare

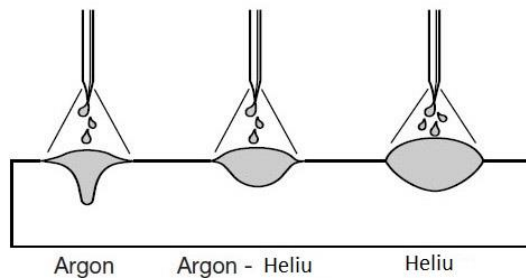


Fig. 3 Influențele gazelor de protecție asupra cusăturii sudate

Dioxidul de carbon

Este cel mai folosit gaz pentru sudarea MAG. Conductibilitatea termică mai ridicată a dioxidului de carbon determină un gradient de temperatură mult mai mare în coloana arcului. Prin urmare, miezul coloanei arcului în acest caz va fi la rândul lui foarte redus. Practic arcul electric este concentrat punctiform pe suprafața picăturii ce se formează în vârful sârmei. Această concentrare aproape punctiformă a unei temperaturi ridicate pe suprafața picăturii în pata anodică determină depășirea temperaturii locale de fierbere a fierului. Vaporizarea intensă a metalului topit din această zonă generează un jet de vapori care va produce o forță de reacție care va împinge picătura în sus opunându-se desprinderii ei sub acțiunea celorlalte forțe favorabile din arc.

În concluzie, forța de reacție anodică se manifestă foarte puternic în cazul sudării în dioxid de carbon 100%, sau în amestecuri bogate în CO_2 .

Oxigenul

Uneori, în gazul de protecție se mai introduce oxigenul. Odată introdus, în proporții relativ scăzute, 1 – 5 % face să crească temperatura arcului datorită fenomenelor energice de oxidare, ca atare, crește și pătrunderea cusăturii. Trebuie avut în vedere faptul că oxigenul reduce cantitatea de elemente de aliere din compoziția materialului topit ca urmare a proceselor de oxidare din baie și din arc electric.

Oxigenul introdus în dioxidul de carbon are același efect ca și la sudarea MIG, respectiv creșterea temperaturii metalului topit, crește astfel și viteza de sudare. Totodată, oxigenul micșorează și efectul de împroșcare a metalului topit, dând cusăturii un aspect mai uniform.

Oxigenul se introduce în proporție de până la 10% la oțelurile nealiate, deci neafectate de reducerea prin oxidare a elementelor de aliere și în proporție de până la 5% la oțelurile slab aliate.

La sudarea oțelurilor inoxidabile, caracterizate prin tensiunea superficială cea mai ridicată, adăugarea în argon a unei cantități de 1 – 3% O_2 sau 2 – 4% CO_2 , duce la îmbunătățirea transferului de metal prin finisarea picăturilor, crește stabilitatea arcului

și reduce stropirile. Aceasta este rațiunea folosirii amestecurilor de gaze, argon plus oxigen, respectiv argon plus dioxid de carbon la sudarea oțelurilor inoxidabile.

Ponderea gazelor cu caracter oxidant în argon trebuie însă menținută la nivelul de mai sus, pentru evitarea degradării caracteristicilor mecanice și de plasticitate a acestor oțeluri prin oxidare, respectiv prin îmbogățirea cu carbon și pericolul formării carburilor de crom dure și fragile.

Hidrogenul

Este deseori amestecat cu argon pentru a crea o varietate de gaze de protecție argon/hidrogen pentru TIG și sudură cu plasmă. Aceste amestecuri de gaze de protecție sunt utilizate în principal pentru sudura oțelurilor inoxidabile austenitice și a unor aliaje de nichel. Hidrogenul poate fi de asemenea utilizat împreună cu argonul într-o varietate de amestecuri de gaze pentru tăiere cu plasmă (inox și aluminiu în principal).

De asemenea poate fi combinat cu oxigenul pentru tăiere subacvatică cu flacără. Aplicațiile de tăiere la adâncime mai mare necesită presiuni mai mari ale combustibilului și oxigenului.

Aerul comprimat

Aerul este cel mai versatil și mai ieftin gaz plasmagen utilizat în debitarea cu plasmă. Principalele componente din aer sunt azotul (circa 70%) și oxigenul (circa 21%). În acest fel, utilizarea aerului comprimat pentru debitarea cu plasmă permite combinarea proprietăților din cele două gaze, obținându-se calități și viteze bune la debitarea oțelului carbon, a oțelului inoxidabil și a aluminiului.

Azotul

Azotul este un gaz inert și, din acest motiv, reacționează cu materialul doar la temperaturi foarte ridicate și rămâne inert la temperaturi relativ scăzute. În ceea ce privește proprietățile sale (în special conductivitatea termică și greutatea atomică), azotul se situează între argon și hidrogen. Din acest motiv, azotul poate fi utilizat drept gaz plasmagen sau drept gaz de protecție pentru debitarea tablelor subțiri din oțel înalt aliat. Utilizarea azotului drept gaz plasmagen pentru debitarea oțelului inoxidabil și a aluminiului rămâne cea mai bună variantă, indiferent dacă se utilizează drept gaz de protecție tot azot sau apă, sau amestec N_2/H_2 . Cel mai des utilizat gaz de protecție, în cazul debitării cu azot drept gaz plasmagen, este tot azotul, însă, în cazul în care sistemul permite acest lucru, utilizarea apei în locul gazului de protecție duce la scăderea costurilor de

debitare și permite obținerea unei suprafețe netede și lucioase în cazul pieselor din oțel inoxidabil. Principalele avantaje aduse de către azot sunt excelența calitate a debitării și durata lungă de viață a consumabilelor.

Din păcate, azotul nu oferă posibilitatea debitării tablelor din oțel inoxidabil și din aluminiu mai groase de 10 mm și, din această cauză, la grosimi mai mari se utilizează amestecuri Ar/H₂.

Amestecuri de gaze

Gazele de protecție la sudare trebuie să aibă o puritate foarte mare de cca 99,9%. Deasemenea, umiditatea gazelor trebuie să fie mai mică decât $300 \text{ mg/m}^3 \cdot N$ și în cazurile pretențioase de sudare sub $100 \text{ mg/m}^3 \cdot N$. Se are în vedere că, cu cât puritatea gazului este mai mică și viteza de sudare se va reduce.

Amestecurile de gaze se livrează în mod curent îmbuteliate. Ele pot fi obținute însă și prin amestecarea directă la locul de utilizare. În acest caz se va avea în vedere că la utilizarea unor debitmetre etalonate pentru argon și pentru dozarea altor gaze este necesară aplicarea unor corecții.

2.2 Proprietățile gazelor de protecție asupra desfășurării procesului de sudare

Principalele proprietăți termo-fizice și chimice ale gazelor de protecție utilizate la sudare sunt:

- potențialul de ionizare;
- energia de disociere-recombinare;
- conductibilitatea termică;
- densitatea;
- activitatea chimică;
- puritatea.

Acțiunea și efectele acestor proprietăți în procesul de sudare sunt prezentate în cele ce urmează.

Potențialul de ionizare.

Acționează asupra condițiilor de amorsare și a stabilității arcului electric, respectiv asupra puterii arcului. Un potențial de ionizare de valoare redusă (argonul) ușurează amorsarea și crește stabilitatea arcului reducând stropirile, pe când un potențial de ionizare de valoare ridicată (heliul) mărește puterea arcului cu efecte asupra productivității la sudare (creșterea pătrunderii, respectiv a vitezei de sudare).

Energia de disociere – recombinare.

Este specifică gazelor biatomice CO_2 , H_2 , O_2 . Influențează în mod favorabil bilanțul termic în coloana arcului electric prin îmbunătățirea transferului de căldură spre componente cu efect asupra geometriei cusăturii, vitezei de sudare, etc.

În tabelul 3 se prezintă valorile caracteristice ale potențialului de ionizare, respectiv ale energiei de disociere – recombinare pentru principalele gaze utilizate la sudare.

Tabel 3 Caracteristici ale gazelor de protecție

Gazul de protecție	Potențialul de ionizare	Energia de disociere	Gazul de protecție	Potențialul de ionizare	Energia de disociere
	(V)	(eV)		(V)	(eV)
Ar	15,8	-	CO_2	14,4	4,3
He	24,6	-	H_2	13,6	4,5
N_2	14,5	9,8	O_2	13,6	5,1

Conductibilitatea termică.

Este proprietatea fizică cu cele mai cuprinzătoare efecte și influențe asupra desfășurării procesului tehnologic de sudare. Conductibilitatea termică a gazului de protecție acționează asupra modului de transfer a căldurii prin coloana arcului (este factorul principal care determină modificarea tipului de transfer, globalul sau prin pulverizare), repartiției căldurii în coloana arcului și la suprafața componentelor, conductibilității electrice a arcului, parametrilor tehnologici de sudare (tensiunea arcului), puterii arcului (lungimea arcului), stabilității arcului, temperaturii maxime și repartiției acesteia în coloana arcului, formei și geometriei cusăturii, stropirilor, etc.

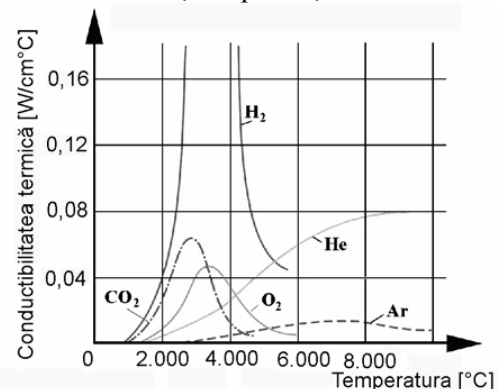


Fig. 4 Conductivitatea termică a gazelor de protecție

Variația conductibilității termice cu temperatura pentru principalele gaze de protecție folosite la sudare este prezentată în figura 4. Se observă că argonul are conductibilitatea termică cea mai scăzută fiind denumit în tehnica sudării „gaz cald”, în timp ce dioxidul de carbon are conductibilitate termică mult mai mare fiind denumit „gaz rece”. Cea mai mare conductivitate o are hidrogenul.

Diversitatea influenței conductibilității termice asupra procesului de sudare este ușor de înțeles dacă analizăm distribuția gradientului de temperatură în coloana arcului în cazul argonului, respectiv dioxidului de carbon, figura 5.

Conductibilitatea termică scăzută a argonului determină un gradient mic de temperatură în arc electric ceea ce conduce la repartizarea liniilor de curent din arc pe o secțiune

mărită a coloanei acestuia (vezi porțiunea înnegrită), figura 5.a, având drept consecință creșterea conductibilității electrice a coloanei arcului electric (conductibilitatea electrică este invers proporțională cu conductibilitatea termică). În cazul dioxidului de carbon miezul coloanei arcului (cel care conduce curentul electric) este foarte îngust ca efect a conductibilității termice mari a gazului, respectiv a fenomenului de disociere – recombinație. Pierderea rapidă a căldurii din coloana arcului este echivalentă cu o constrângere din exterior a zonei centrale a miezului coloanei ceea ce conduce la creșterea densității de curent din arc și prin urmare așa cum se poate observa, la creșterea temperaturii în axa coloanei arcului la valori mai mari decât cele corespunzătoare arcului în argon.

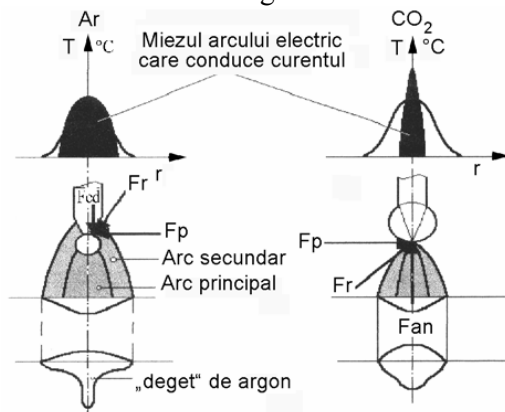


Fig. 5 Gradientul de temperatură al arcului electric

Conductibilitatea electrică diferită a coloanei arcului în cazul celor două gaze are consecințe asupra rezistenței electrice a acestuia. Astfel rezistența arcului în argon este mai mică decât în dioxid de carbon. Rezultă o cădere de tensiune mai redusă a arcului în Ar decât în CO_2 și prin urmare o valoare mai mică a mărimii tensiunii arcului la sudarea în Ar comparativ cu sudarea în CO_2 , cu toate că potențialul de ionizare al Ar este mai mare decât la CO_2 . Într-adevăr la sudarea în Ar sau amestecuri de gaze Ar cu CO_2 tensiunea arcului se reduce cu 2 – 4 V în funcție de procentul de CO_2 din amestec, desigur luând în considerare aceeași valoare a curentului de sudare.

Repartiția liniilor de curent în cazul celor două gaze explică și influența asupra transferului de metal așa cum se va demonstra în continuare. În cazul argonului miezul coloanei arcului face ca arcul electric să „îmbrățișeze” capătul liber a sârmei electrod, figura 5.b, extinzându-se de la vârful ei pe suprafața laterală a sârmei, datorită diametrului mic al acesteia. Practic arcul electric înconjoară sârma pe o anumită porțiune a capătului liber ceea ce determină transferul căldurii arcului

la electrod atât prin suprafața frontală a sârmei cât și prin suprafața laterală a ei, conducând la încălzirea neuniformă și progresivă a capătului sârmei în zona de acțiune a arcului.

Sub acțiunea vaporilor de metal picătura este împinsă în baia topită creându-se premisele formării unei noi picături. Acest mecanism de formare și desprindere a picăturii din vârful sârmei determină formarea unor picături de dimensiuni mici ($dp \leq ds$), echivalente transferului prin pulverizare.

În cazul dioxidului de carbon miezul foarte îngust al arcului determină concentrarea punctiformă a acestuia în vârful sârmei (în pata anodică). Prin urmare transferul de căldură al arcului se face numai prin suprafața frontală a sârmei electrod. Totodată datorită temperaturii ridicate a miezului coloanei (mai mare ca la Ar) și a densității foarte mari a curentului în pata anodică (concentrare punctiformă) are loc creșterea locală a temperaturii petei atingând temperatura de vaporizare a fierului (aprox. $3200^\circ C$). Jetul de vapori formați acționează ca o forță de reacție împingând în sus și lateral metalul topit. Sub acțiunea forței de tensiune superficială și a forței de reacție a vaporilor de metal, metalul topit se acumulează în vârful sârmei sub forma unor picături mari de metal ($dp > 1,2ds$). Picătura crește în continuare până când sub acțiunea greutatei proprii se detașează și se transferă în baia metalică sub forma unor picături mari sau globule, așa numitul transfer globular specific sudării în CO_2 sau amestecurilor bogate în CO_2 . În cazul amestecurilor de gaze Ar + CO_2 fenomenul este insesizabil dacă proporția de CO_2 este mai mică de 20%, se manifestă tot mai pregnant dacă procentul depășește 20% și are o comportare similară cu cea a transferului în CO_2 100% dacă procentul depășește 30% CO_2 în amestec.

În cazul argonului valoarea ridicată a temperaturii arcului electric este limitată doar la zona centrală corespunzătoare miezului coloanei după care temperatura scade brusc la valori reduse, ce nu pot produce o încălzire semnificativă a zonelor de incidență ale arcului pe componente. Concentrarea puternică a căldurii în miezul coloanei arcului, la argon, produce o încălzire locală a metalului de bază însoțită de o topire adâncă, respectiv o pătrundere mare, dar limitată la o zonă restrânsă.

Aceasta este amplificată suplimentar de disiparea rapidă a căldurii în zonele adiacente (reci) ale metalului de bază fără să producă o încălzire semnificativă la nivelul temperaturii de topire a acestor zone. Efectul acestor fenomene este formarea unei zone topite înguste și adânci,

așa numitul „*deget de argon*“, specific sudării în argon sau amestecuri bogate în argon, deosebit de defavorabil din punct de vedere tehnologic datorită pericolului de apariție a defectelor de îmbinare, lipsă de topire sau lipsă de pătrundere, respectiv pericol de fisurare (concentrator de tensiune).

În cazul dioxidului de carbon temperatura din coloana arcului se menține încă la valori ridicate, capabile să producă încălziri semnificative a zonelor de incidență, la distanțe mult mai mari față de axa coloanei decât în cazul argonului, (vezi repartitia temperaturii pe raza coloanei arcului, figura 5.a). Are loc astfel o încălzire și topire a metalului de bază pe o zonă mai extinsă atât în adâncime cât mai ales lateral, cu efecte asupra îmbunătățirii geometriei cusăturii caracterizată printr-o pătrundere uniformă. La această încălzire a metalului de bază contribuie de asemenea și căldura cedată prin fenomenul de recombinare a gazului ce are loc în zona componentelor, respectiv a băii metalice, ca efect a temperaturii scăzute din această zonă (1800-2000°C), propice reacțiilor de recombinare. Se apreciază că din punct de vedere tehnologic geometria cusăturii la sudarea în CO_2 este cea mai favorabilă.

Prin urmare amestecarea celor două gaze Ar și CO_2 va conduce și la modificarea geometriei cusăturii sudate. Aceasta este una din rațiunile principale care stau la baza sudării în amestecuri de gaze, Ar + CO_2 , a oțelurilor nealiate sau slab aliate și anume obținerea unei geometrii mai favorabile a cusăturii sudate.

Densitatea.

Influențează nivelul de protecție a arcului electric și a băii de metal topit, respectiv producerea fenomenului de microsablare la sudarea în mediu de gaze inerte.

Activitatea chimică.

Prin reacțiile chimice ce au loc în coloana arcului și la nivelul băii metalice activitatea chimică a gazului de protecție influențează comportarea metalurgică.

Puritatea.

Gazele utilizate atât la sudare cât și la debitare sau alte procese conexe trebuie să aibă o puritate foarte înaltă. Clasificarea gazelor de protecție utilizate la sudarea în mediu de gaze protectoare în conformitate cu caracteristicile chimice ale acestora și care constituie o bază pentru alegerea combinațiilor sârmă electrod-gaz de protecție la sudarea diferitelor materiale metalice este prezentată în standardul ISO 14175:2008.

Transferul de metal la sudare

Transferul de metal la sudarea prin topire cu arcul electric cu electrod fuzibil este un proces

complex, guvernat de o diversitate mare de fenomene de natură electrică, electromagnetică, mecanică, chimică, termodinamică, etc. respectiv de intensitatea de manifestare a acestor fenomene în anumite condiții date de sudare. Aceste fenomene se manifestă prin dezvoltarea în arcul electric a unor forțe, a căror orientare și mărime determină prin echilibrul realizat la un moment dat desprinderea sau menținerea picăturii de metal topit în vârful electrodului fuzibil. Prin urmare acțiunea acestor forțe poate fi în sens favorabil desprinderii picăturii sau a împiedicării acestei desprinderi, ruperea echilibrului de forțe prin creșterea ponderii unora în detrimentul celorlalte producând desprinderea picăturii de metal și transferul acesteia prin coloana arcului electric în baia metalică.

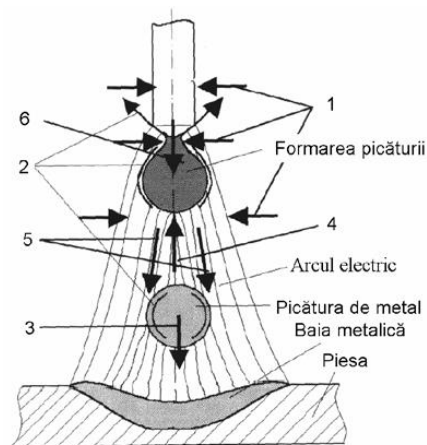


Fig. 6 Forțele dezvoltate în arcul electric

Diversitatea fenomenelor din arcul electric determină apariția următoarelor forțe care acționează în arc și asupra picăturii de metal topit, figura 6:

- 1 – forța electromagnetică F_{em} (forța pinch F_p);
- 2 – forța tensiunii superficiale F_{σ} ;
- 3 – forța gravitațională F_g ;
- 4 – forța de reacție anodică F_{an} ;
- 5 – Forța jetului de plasmă F_j ;
- 6 – forța electrodinamică F_{ed} .

Forța de reacție anodică

Forța de reacție anodică (F_{an}) este generată de presiunea vaporilor de metal care se degajă ca urmare a temperaturii locale ridicate care apare pe suprafața picăturii (în pata anodică) datorită concentrării arcului electric pe o zonă foarte mică așa cum este extinderea petei anodice, 10-8 – 10-6 m. În plus este îndeobște cunoscut că datorită neconsumării de energie pentru emisia de particole (electroni), temperatura petei anodice este superioară temperaturii petei catodice $T_{an} = T_k + (400 - 600)^\circ C$. Intensitatea forței de reacție anodică depinde în principal de gazul de protecție utilizat la sudare și apoi de intensitatea curentului

electric. Influența gazului de protecție este determinată de conductibilitatea termică a gazului, care diferă mult de la un gaz la altul. Pentru analiza fenomenului vom lua în considerare gazele cele mai utilizate la sudarea MIG/MAG și anume argonul și dioxidul de carbon. Conductibilitatea termică mică (cea mai mică) a argonului determină un gradient de temperatură redus în coloana arcului. Aceasta face ca miezul coloanei arcului, cel care conduce curentul electric (în care sunt concentrate liniile de curent), să se extindă pe o zonă relativ mare în secțiunea coloanei arcului. Practic arcul electric cuprinde (îmbrățișează) vârful sârmei, figura 7. Densitatea redusă a liniilor de curent din miezul coloanei arcului determină o anumită valoare a temperaturii în această zonă, constantă însă într-o secțiune relativ mare.

Temperatura picăturii metalice în zona petei anodice va atinge o temperatură ridicată 2800 – 3000°C, dar sub temperatura de fierbere a fierului, ≈ 3200°C. Totuși mici vaporizări pe suprafața picăturii este posibil să apară.

Conductibilitatea termică mai ridicată a dioxidului de carbon decât a argonului determină un gradient de temperatură mult mai mare în

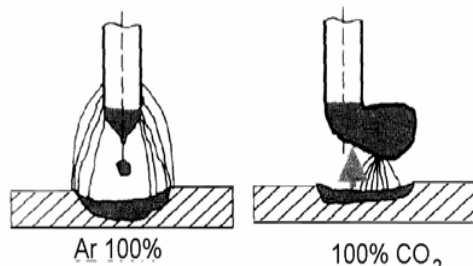


Fig. 7 Mecanismul generării forței de reacție anodică

coloana arcului. Prin urmare miezul coloanei arcului în acest caz va fi la rândului foarte redus.

Practic arcul electric este concentrat punctiform pe suprafața picăturii ce se formează în vârful sârmei, figura 7. Creșterea densității curentului în miezul coloanei arcului determină creșterea temperaturii în axa coloanei arcului la valori superioare arcului în argon.

Această concentrare aproape punctiformă a unei temperaturi ridicate pe suprafața picăturii în pata anodică determină depășirea temperaturii locale de fierbere a fierului. Vaporizarea intensă a metalului topit din această zonă generează un jet de vapori care va produce o forță de reacție (conform principiului oricărui jet) care va împinge picătura în sus opunându-se desprinderii ei sub acțiunea celorlalte forțe favorabile din arc. Direcția jetului de vapori produce dezaxarea picăturii din axa coloanei arcului ceea ce conduce la formarea picăturii lateral față de această axă. În aceste

condiții volumul picăturii crește foarte mult, rezultând niște picături mari de formă globulară, iar nivelul stropirilor din arc este ridicat. Totodată creșterea curentului de sudare în aceste condiții determină amplificarea forței și prin urmare creșterea volumului picăturii.

În concluzie forța de reacție anodică se manifestă foarte puternic în cazul sudării în dioxid de carbon 100%, sau în amestecuri bogate în CO_2 , și are o intensitate foarte redusă în cazul sudării în argon sau amestecuri de gaze bogate în argon, cu mai mult de 80% procente de argon în amestec. Este forța direct răspunzătoare de imposibilitatea sudării cu transfer prin pulverizare sau în curent pulsant în cazul folosirii dioxidului de carbon 100%, sau a amestecurilor de gaze bogate în dioxid de carbon ca și gaze de protecție. Este forța care se opune desprinderii picăturii din vârful sârmei, favorizând formarea picăturilor mari, nedorite la sudare. Acest lucru este unul din motivele pentru care în ultimul timp s-a renunțat aproape total la sudarea în CO_2 , în special la puteri ridicate ale arcului electric (curenți de sudare mari).

Cu alte cuvinte forța de reacție anodică este specifică sudării MAG în dioxid de carbon, sau a amestecurilor bogate în dioxid de carbon (peste 20% CO_2), acționând în sens contrar desprinderii picăturii din vârful sârmei, favorizând creșterea volumului acesteia.

Tipuri de transfer.

Diversitatea modurilor de transfer a materialului de adaos constituie o caracteristică specifică sudării în mediu de gaze protectoare cu electrod fuzibil MIG/MAG. Principalele moduri de transfer a picăturii, respectiv tipurile de arce întâlnite la sudarea MIG/MAG sunt prezentate sintetic în tabelul 4:

Tabel 4

Tipul arcului electric	Mărimea picăturii	Aspectul transferului	Modul de transfer
Arc scurt MAG-M MAG- CO_2	fină		prin scurtcircuit
Arc intermediar (de tranziție) MAG-M MAG- CO_2	fină până la grobă		globular cu scurtcircuitări aleatoare
Arc spray MAG-M	foarte fină		prin pulverizare, fără scurtcircuitări
Arc lung MAG- CO_2	grobă		globular cu scurtcircuitări
Arc pulsant (sinergic) MAG-M	fină		fără scurtcircuitări (o picătură/puls)

Tipul de transfer al picăturii de metal topit din vârful sârmei electrod este influențat în principal de doi factori de bază și anume *gazul de protecție*, respectiv *valoarea curentului de sudare*. Transferul picăturii prin coloana arcului este guvernat de echilibrul forțelor care acționează în condițiile date de sudare asupra acesteia. Prin urmare modul de transfer al picăturii va fi determinat de forța care acționează asupra picăturii cu ponderea cea mai mare. În figura 8 se prezintă zonele specifice tipurilor de transfer în funcție de parametrii tehnologici principali de sudare *curent de sudare (viteza de avans a sârmei) – tensiunea arcului*, pentru toate modurile de transfer întâlnite la sudarea MIG/MAG:

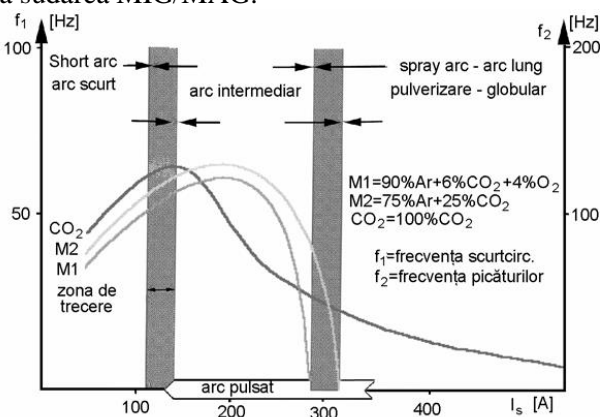


Fig. 8 Influența curentului de sudare și a gazelor de protecție

3 PROCEDURĂ EXPERIMENTALĂ

3.1 Plan experimental

Pentru realizarea depunerilor de cordoane sudate, s-a utilizat materialul de bază S235 JR, a cărui compoziție este redată în tabelul de mai jos, dimensiunile probelor fiind de 60 x 200 x 6.

Materialul de adaos utilizat a fost sârma G3Si1.

Tabel 5 Compoziția chimică a oțelului S 235 JR

C	Mn	P	S	N	Cu
max 0.2	max 1.4	max 0.04	max 0.04	max 0.012	max 0.55

Probele experimentale au fost realizate cu ajutorul următoarelor echipamente:

- sursei de sudare Fronius TRANSPUL-SSYNERGIC 4000 (figura 9).
- robotului de sudare Fanuc 1000iB (figura 10) ;



Fig. 9 TRANSPUL-SSYNERGIC 4000



Fig. 10 Robot de sudare Fanuc 1000iB

Pentru realizarea probelor experimentale se vor utiliza următoarele tipuri de gaze de protecție:

- Ar 100%,
- amestec Ar + 2%CO₂;
- amestec Ar + 2%O₂ + 3% CO₂;
- amestec Ar + 18%CO₂;
- CO₂ 100%.

Parametrii tehnologici aleși pentru realizarea planului experimental sunt prezentați în tabelul 6, urmând a se suda MIG/MAG, în trei tipuri de transfer:

- short-arc,
- spray-arc,
- puls-arc.

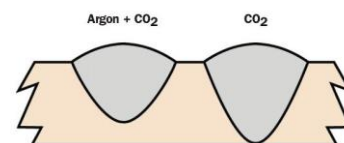


Fig. 11 Tipuri de pătrunderi ale gazelor

Tabel 6 Plan experimental

Nr crt.	Nr. probă	Gazul de protecție	Tipul transferului	Va [m/min]	Is [A]	Ua [V]	Vs [cm/min]	Dg [l/min]	El [Kj/m]	LI
1.	1.a	Ar 100%	Sha	4,5	170	19	35	20	0,86	20
	1.b		Spa	10	300	30	70	20	0,86	
	1.c		PulsArc	5,8	170	22	30	20	0,86	
2.	2.a	Ar + 2% CO ₂	Sha	4,5	170	19	35	20	0,86	
	2.b		Spa	10	300	30	70	20	0,86	
	2.c		PulsArc	5,8	170	22	30	20	0,86	
3.	3.a	Ar + 2% O ₂ + 3% CO ₂	Sha	4,5	170	19	35	20	0,86	
	3.b		Spa	10	300	30	70	20	0,86	
	3.c		PulsArc	5,8	170	22	30	20	0,86	
4.	4.a	Ar + 18% CO ₂	Sha	4,5	170	19	35	20	0,86	
	4.b		Spa	10	300	30	70	20	0,86	
	4.c		PulsArc	5,8	170	22	30	20	0,86	
5.	5.a	CO ₂ 100%	Sha	4,5	170	19	35	20	0,86	
	5.b		Spa	10	300	30	70	20	0,86	
	5.c		PulsArc	5,8	170	22	30	20	0,86	

3.2 Procedură experimentală

Varianta 1

- a) Pentru realizarea probelor inițiale, tablele s-au poziționat pe masa de fixare din incinta unde a avut loc procesul de sudare.



Fig. 92



Fig. 13

- b) Prima probă s-a sudat la o lungime liberă de 18 mm, în tipurile de transfer: short-arc (figura 13, a), spray-arc (figura 13 b,d) și puls-arc (figura 13 c):

Analizând rezultatele obținute s-a ajuns la concluzia că lungimea liberă aleasă inițial (20 mm), este mare, apărând arsuri în zona de inițiere a arcului electric și o

suprafață exterioară a cordonului de sudură puternic oxidată (figura 13, b)

Varianta 2

- c) S-a poziționat capul de sudare și s-a măsurat distanța dintre duza de gaz (12 mm) cu ajutorul unui șubler, după care s-a verificat această distanță cu ajutorul a 2 probe suprapuse (6 + 6 mm). Având în vedere faptul că distanța dintre duza de

gaz și cea de contact s-a dovedit a fi de 2 mm, a rezultat lungimea liberă de 14 mm.



Fig. 104

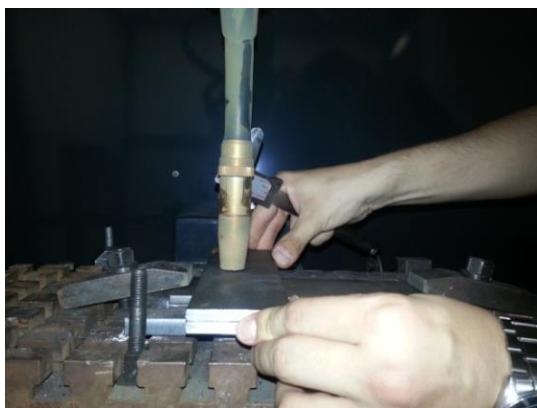


Fig. 15

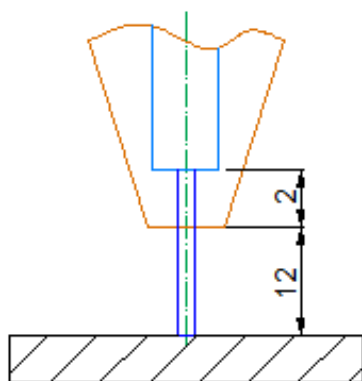


Fig. 16 Lungimea liberă

d) S-a sudat în short-arc, cu gaz de protecție Corgon 18 (figura 17):

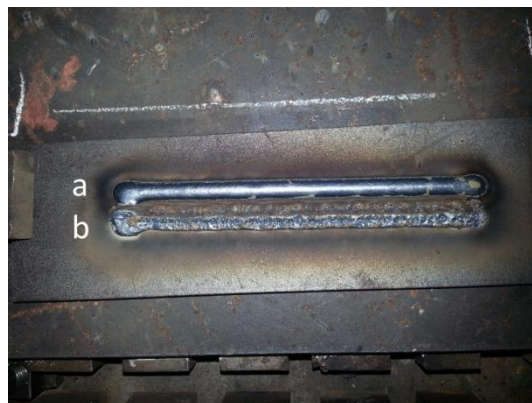


Fig. 117

e) În figura 17, b, se poate observa un cordon de sudură realizat fără protecție de gaz. Sudura are aspect poros, arcul electric fiind extrem de instabil în lipsa unui mediu de gaze care să îi asigure protecția și stabilitatea.

Concluzii

În faza inițială s-a sudat la o lungime liberă de 20 mm la parametrii indicați în tabelul 6. Datorită faptului că nu au rezultat cusături sudate de calitate, s-a sudat la o lungime liberă de 14 mm respectând aceiași parametri, rezultând de aici că la aceiași parametri de sudare, calitatea cusăturii sudate a depins mult de alegerea corectă a lungimii libere.

4 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Corneliu Rontescu, *notițe curs Tehnologia sudării prin topire*, (2003).
- [2] Gabriel Iacobescu, *notițe curs Echipamente de sudare*, (2003).
- [3]. Dorin Dehelean. (1997), *Sudarea prin topire*, Editura Sudura, Timișoara, ISBN 973-98049-1-8.
- [4]. <http://www.siad.com/romania/pagina.asp?m=2&id=55> (accesat la 7.05.2015)
- [5]. ISO 14175:2008
- [6] Mircea Burcă (2004), *Sudarea MIG/MAG*, Editura Sudura, Timișoara, ISBN 973-8359-22-8.
- [7]. *Notițe Curs de Inginer Sudor Internațional/ IWE/EWE* (2015);