Încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă

Surfacing through MAG welding using strip electrode

Corina-Dana June[1], Dieter Böhme[2], Stefan Pommer[2], Ludwig Baum[2], Siegfried Hölldobler[2]
[1)] ISIM Timisoara, [2)] SLV München NL der GSI mbH

Rezumat

Alături de încărcarea prin sudare MIG/MAG cu două sârme în varianta TANDEM sau încărcarea prin sudare sub strat de flux SF cu electrod bandă, sudarea MAG cu electrod bandă reprezintă o nouă varianta de încărcare prin sudare.

Valoarea mare a ratei depunerii Ad > 8 kg/h oferită de încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă clasifică această variantă MAG în categoria procedeelor de sudare MIG/MAG de mare productivitate.

Prin poziționarea capului de sudare MAG cu electrod bandă, se poate obține o valoare mai redusă a pătrunderii și diluției față de situația încărcării prin sudare sub strat de flux SF cu electrod bandă.

Aceste elemente pot constitui argumente favorabile în vederea alegerii sudării MAG cu electrod bandă pentru operații de încărcare.

Cuvinte cheie: încărcare, MAG, sârmă aplatizată, electrod bandă, productivitate

Abstract

Besides surfacing by MIG/MAG welding with two wires in TANDEM variant or surfacing by SF submerged arc welding with strip electrode, the MAG welding with strip electrode represents a new alternative for surfacing by welding.

The value of deposition rate Ad > 8 kg/h which is offered by the MAG surfacing using strip electrode classifies this MAG alternative in the category of high productivity MIG/MAG welding processes.

Through the position of MAG welding head with strip electrode using a reduced penetration and dilution, as is obtained compared with the surfacing by submerged arc welding (SF) using strip electrode.

These elements are favorable reasons to choose the MAG welding with strip electrode for surfacing operations.

Keywords: surfacing, MAG, strip electrode, flat wire, productivity

1. Introducere

Obținerea de profit prin creșterea productivității a atras după sine dezvoltarea de variante tehnologice de sudare care să ofere o productivitate mărită procedeelor cunoscute în condiții de calitate similare sau superioare.

Începând cu anii '90, au fost dezvoltate și aplicate în producție diverse variante tehnologice MIG/MAG de mare productivitate, obținute pe baza a diferite concepte de realizare:

- creșterea productivității prin creșterea vitezei de sudare sau prin creșterea ratei depunerii datorita utilizării de combinații speciale de gaze de protecție;
- creșterea ratei depunerii prin utilizarea mai multor sârme la sudare;
- utilizarea sârmelor tubulare;
- folosirea unor sârme electrod cu diametre sau arie transversală mai mare decât a sârmelor uzual folosite la sudarea tradițională MIG/MAG, în scopul creșterii ratei depunerii.

Conform [1] se definesc ca variante MIG/MAG de mare productivitate acele variante de procese de sudare în medii de gaze protectoare cu una sau mai multe sârme pline cu diametre de 1,0 mm și 1,2 mm la care viteza de avans a sârmei v_e (în cazul în care se utilizează o singura sârmă) sau viteza de avans însumată (în cazul în care se utilizează mai multe sârme) depășește 15 m/min. Se mai definesc ca variante MIG/MAG de mare productivitate acele variante MIG/MAG la care diametrul sârmei (sau secțiunea sârmei) este mai mare decât valorile an-

1. Introduction

The obtainment of profit by increasing the productivity led to the development of welding technological alternatives which can offer a high productivity of processes in similar or better quality conditions.

Beginning with the '90, there many types of high productivity MIG/MAG variants were developed and applied, obtained on the basis of different concepts:

- the increase of productivity by increasing the welding speed or the welding deposition rate due to the use of special combinations of shielded gases;
- the increase of deposition rate by using more wires;
- the use of cored wires;
- the use of bigger diameter or cross section than generally used wires in traditional MIG/MAG welding to increase the deposition rate.

According to [1] the high productivity MIG/MAG variants are those variants of shielded gas welding processes using one or more plain wires with diameters of 1.0 mm and 1.2 mm for which the wire feed rate v_e (in case we use just one wire) or the total of wire feed rates (in case we use more wires) is bigger then 15 m/min. We define as high productivity MIG/MAG variants too, MIG/MAG variants for which the wire diameter (or the cross section of wire) is bigger then previous mentioned values or use cored wires to obtain a rate of deposition Ad > 8 kg/h.

The high productivity MAG welding with flat wires is less known in Romania, the first welding gun specially created for

terior menționate sau utilizează sârma tubulară și pentru care se obține o rată a depunerii Ad > 8 kg/h.

Sudarea de înaltă productivitate MAG cu electrod bandă, este mai puțin cunoscută la nivelul țării noastre, primul pistolet special creat pentru această variantă de sudare, a apărut la sfârșitul anului 2001 în cadrul Expoziției de la Essen.

Ideea creșterii productivității procesului de sudare MAG prin mărirea ariei transversale a electrodului prin sudare MAG cu un electrod bandă a fost ulterior preluată de către diferite firme producătoare de echipamente de sudare sau consumabile pentru sudare.

2. Sudarea MAG cu electrod bandă – MAG - EB

Primele cercetări referitoare la varianta de sudare MAG cu electrod bandă sau sârma aplatizată (denumită în literatura de specialitate "GMAW with strip electrode", "GMAW with flat wire electrode" sau „MSG mit Flachdrahtelektrode") s-au realizat în fosta RDG. Aceste cercetări au fost însă temporar stopate datorita problemelor de ordin tehnic apărute la acea dată, legate de: necesitatea existenței unor valori ridicate a curentului de sudare – Is; problemele de antrenare a sârmei, cât și problemele de uniformitate a vitezei de avans a sârmei – v_e; problemele de stabilitate a arcului și implicit a procesului de sudare.

Actualmente, datorită progresului tehnic din domeniul electronicii, a fost posibilă realizarea unor surse de sudare de mare putere, capabile să ofere acele valori mari ale curentului de sudare Is și stabilitatea necesară procesului de sudare.

Avantajele oferite de varianta de sudare MAG cu electrod bandă o recomandă ca variantă de mare productivitate posibilă a fi aplicată în producția de masă [2]:

- obținerea unei rate a depunerii mari Ad ∈ (9 – 14) kg/h, încadrându-se deci în categoria procedeelor de sudare MIG/MAG de mare productivitate;
- posibilitate de creștere a vitezei de sudare cu aproximativ 30% față de varianta uzuală de sudare MAG cu electrod sârmă (pentru oțel până la 150 cm/min);
- capacitate bună de umectare, deci posibilitate de umplere facilă a diferitelor tipuri de rosturi;
- eliminarea efectului de tăiere care apare la sudarea MIG/MAG cu electrod sârmă în cazul utilizării unor viteze mari de avans a sârmei, datorită densității mari de curent și a căldurii concentrate, prin existența unei băii metalice "mai calde" (cu vâscozitate mai redusă);
- datorită formei dreptunghiulare a electrodului, se realizează o bună degazare a băii metalice BM alungite, ceea ce conduce la scăderea imperfecțiunilor de tip pori sau a fisurilor;
- posibilitatea îmbunătățirii caracteristicilor mecanice și reducerea tensiunilor interne ale îmbinărilor sudate ca urmare a controlului căldurii introduse;
- oleranta mare față de pregătirea rosturilor datorită vâscozității reduse a BM.

Sârmele electrod utilizate pentru sudare MAG cu electrod bandă (notat prescurtat în cadrul articolului prin MAG - EB) sunt obținute prin debitare sau prin laminare și au uzual dimensiunile: 3,75 x 0,5mm^2; 4,0 x 0,5mm^2; 4,0 x 0,6mm^2 sau 4,5 x 0,5mm^2.

this welding alternative appeared at the end of 2001 within the Essen exhibition.

The idea to increase the productivity of MAG welding process by increasing the electrode cross area through MAG welding with strip electrode was later on overtaken by different firms which produce power equipment for welding or welding consumables.

2. MAG welding using strip wire – MAG - EB

The first researches on this MAG welding alternative with flat wire (known like "GMAW with strip electrode", "GMAW with flat wire electrode" or „MSG mit Flachdrahtelektrode" in technical literature) was made in the former DDR. These researches were stopped temporally because of technical problems appeared at that time and related to: the necessity of high welding current values – Is; wire driving problems and wire feed rate uniformity – v_e; arc stability and that of the welding process.

Nowadays, due to the technical progress in electrotechniques, it was possible to make high power sources capable to offer high values of welding current Is and the welding process stability.

The advantages offered by the MAG welding alternative with flat wire recommend it as the high productivity MAG variant for mass production [2]:

- a high deposition rate Ad ∈ (9 - 14) kg/h, framing in the category of high productivity MIG/MAG welding processes;
- possibility to increase the welding speed with about 30% as compared with the usual MAG welding alternative with wire electrode (up to 150 cm/min for steel);
- good wetting capacity therefore a good possibility to fill in different types of joints;
- elimination of cutting effect which appears when MIG/MAG welding with wire electrode in case there is a high wire feed rate, high current density and concentrated heat due to the existence of hot melting pool (less viscous);
- due to the electrode rectangular form there is a good degasification of the elongated weld pool, which leads to the decrease of imperfections (pores or cracks);
- possibility to improve mechanical characteristics and decrease internal stresses in joints due to the heat input control;
- big tolerance for joints defects as the base metal viscosity is reduced.

The wire electrodes used for MAG welding with strip electrode (short mentioned MAG - EB in this article) are obtained through cutting or by rolling and they usually have the following dimensions: 3.75 x 0.5mm^2; 4.0 x 0.5mm^2; 4.0 x 0.6mm^2 or 4.5 x 0.5mm^2.

The material transfer alternatives through the space of arc for MAG welding with flat wire are: the pulse transfer and spray arc transfer.

The compulsory requests for the use of high productivity MAG welding alternative are:

- utilization of high power welding source, which offer high welding currents - Is (for pulsed welding, a pulse current up to 1000 – 1200 A for steel parts welding,

Variantele de transfer a materialului prin spațiul arcului recomandate a se utiliza pentru MAG cu electrod bandă sunt: transferul pulsat sau transferul prin arc spray.

Cerințele obligatorii pentru utilizarea acestei variante de sudare MAG de mare productivitate sunt:

- folosirea unei surse de sudare de mare putere, capabilă să ofere curenți mari de sudare - Is (la varianta de sudare în curent pulsat, un curent de puls de până la 1000 – 1200 A pentru sudarea pieselor din oțel, respectiv un curent de puls de până la 500 A pentru sudarea pieselor din aluminiu);
- utilizarea unui dispozitiv de avans sârmă cu role de antrenare adaptate formei dreptunghiulare a electrodului bandă;
- folosirea unui pistolet de sudare cu duza de contact adaptată formei electrodului și utilizarea unui sistem push-pull pentru obținerea unei vitezei de avans a sârmei constantă;
- utilizarea unei duza de gaz răcită cu H_2O (esențial datorită valorilor mari ale curenților de sudare);
- asigurarea unei protecții adiționale a băii metalice, ca urmare a dimensiunilor mari ale acesteia.

Datorită valorilor mari ale curenților de sudare Is, precum și a vitezelor mari de sudare de 100 – 150 cm/min se recomandă sudarea în varianta mecanizată.

Ca urmare a formei dreptunghiulare a electrodului, precum și a răsucirilor la care este supus pachetul de cabluri, se recomandă montarea pistoletului de sudare pe brațul unui robot, iar manipularea pieselor de lucru să se facă cu ajutorul dispozitivelor de poziționare - rotire.

În figura 1 este prezentat un cap de sudare destinat sudării MAG cu electrod bandă.

Dezavantajele majore ale variantei de sudare MAG cu electrod bandă sunt legate de:

- prețul de cost mare al electrodului bandă în raport cu prețul electrodului obișnuit de sârmă;
- prețul ridicat al duzelor de contact, având în vedere utilizarea limitată a variantei de sudare.

Începând cu 2001 cercetătorii împreună cu specialiștii din industrie, au încercat introducerea sudării MAG cu electrod bandă în producția de masă din industria constructoare de automobile, varianta de sudare MAG - EB se poate aplica însă cu succes și în cadrul construcțiilor navale sau energetice.

Încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă (MAG - EB)

Datorita solicitărilor din exploatare sau a mediilor în care lucrează, în timp piesele sunt supuse la diferite forme de uzură (abraziune, eroziune, cavitație, șoc, coroziune sau adeziune), care de cele mai multe ori se manifestă în varianta combinată. Astfel pentru remedierea defectelor apărute în exploatare sau îmbunătățirea proprietăților suprafețelor pieselor noi, se utilizează varianta încărcării prin sudare.

Toate variantele de sudare MIG/MAG de mare productivitate se pot utiliza cu succes pentru operații de încărcare, astfel este cunoscută rata mare de depunere (Ad ≥ 15 kg/h) oferită de încărcarea prin sudare MIG/MAG cu două sârme în varianta TANDEM, însă problemele legate de ghidarea capului de-a lungul suprafețelor curbe, precum și problemele legate de menținerea pozițiilor relative ale sârmelor (sârma principală, în raport cu cea secundară), au impus căutarea unor noi variante de încărcare prin sudare MIG/MAG cu rată mare de depunere.

respectively up to 500 A pulse current for aluminum parts welding);

- use of wire feeder device with wheels adapted to the rectangular form of flat wire;
- utilization of welding gun with the contact nozzle also adapted to the electrode form and the use of a push-pull system to obtain a constant wire feed rate;
- use of nozzle gas cooled with H_2O (essentially due to the high values of welding currents);
- an additional protection of the melting pool must be used, as the dimensions are large.

Due to the high values of welding currents Is and high welding speed of 100 – 150 cm/min, the mechanized alternative is recommended.

As a consequence of rectangular form of electrode, as well as the rotation of the cable package, it is recommended to put the welding torch on the robot arm and the parts handling to be made with the help of position-rotating devices.

Figure 1 presents a welding torch for MAG welding with flat wire.

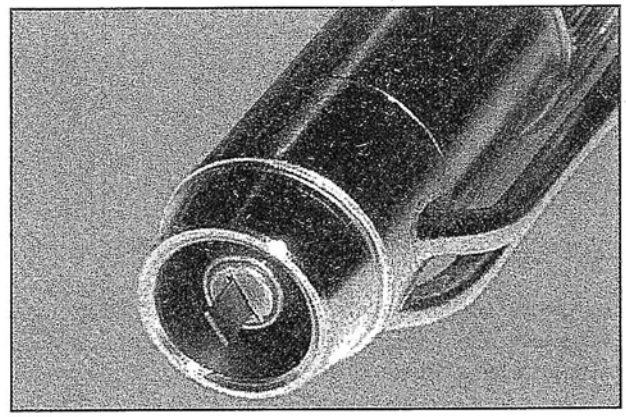


Figura 1. Cap de sudare MAG – EB/
Figure 1. MAG – EB welding gun

The major disadvantages of the MAG welding alternative with flat wire are:

- The big price of flat wire in comparison with the price of the usual wire electrode;
- The high price of contact nozzles due to the limited use of the welding variant.

Beginning with 2001 researchers and specialists from industry, tried to introduce the MAG welding with flat wire in the mass production of the automotive industry, but MAG - EB welding variant can be applied successfully in naval and power industries, too [1].

Surfacing by MAG welding using flat electrode (MAG - EB)

Due to stresses during the exploitation or work environment parts suffer different types of wear (abrasion, erosion, cavitation, shock, corrosion or adhesion), which act together almost always. So, to recover defects appeared during the exploitation or to increase the surface proprieties of the new parts, the surfacing method is used.

All high productivity MIG/MAG welding alternatives can be used successfully in surfacing operations, every body knows the high deposition rate (Ad ≥ 15 kg/h) which is offered by the surfacing by MIG/MAG welding variant with two wires

Una dintre oportunitățile actuale de încărcare prin sudare MIG/MAG cu rată mare de depunere este încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă.

3. Experimentări de încărcare prin sudare MAG - EB

Generarea valorii ridicate a curentului de sudare al sursei din figura 2 (mai mult de 500A) și/sau a duratei active de lucru (la un amperaj > 500A), se bazează pe legarea în paralel a doua echipamente de sudare și crearea unui singur arc prin "power sharing - împărțirea puterii".

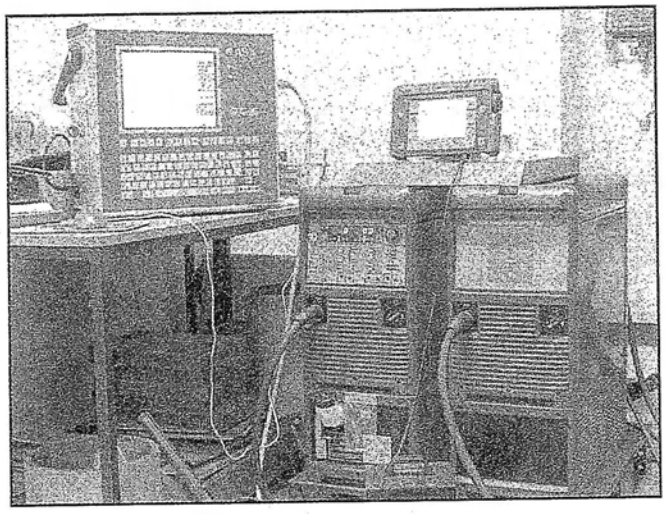


Figura 2. Sursa de sudare/ *Figure 2. Welding power source*

În figura 2 sunt prezentate cele două surse al căror mod de operare este reglat printr-o inductanță de echilibru și prin intermediul conexiunii LHSB (Local High Speed Bus - conexiune locală de mare viteză).

Sincronizarea celor două surse și schimbul rapid de informații între cele două surse se face prin intermediul legături LHSB cu o rată de transfer de 10MB/s.

În timpul programului experimental de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă s-a utilizat - în general - varianta de sudare sinergică (în arc pulsat), respectiv varianta de sudare prin pulverizare (în arc spray).

Poziționarea capului de sudare la începutul programului de cercetare, s-a realizat la 40° față de orizontală și 100°; respectiv 110° împins față de direcția de sudare (figura 3).

Lungimea liberă a electrodului bandă a fost de aproximativ 20 – 22 mm pentru toate aplicațiile realizate în timpul programului, iar debitul gazului de protecție a fost de $Q_{gaz} = 18 - 20$ l/min.

S-a observat că datorită lungimii mari a băii metalice (între 40 – 60 mm) este necesară o protecție suplimentară a băii metalice în vederea evitării oxidării intense a suprafeței cusăturii și a apariției defectelor în depunere. Acestă protecție suplimentară s-a realizat prin montarea unei duze de gaz adiționale.

Gazul de protecție adițional cu care a fost alimentată duza a fost 100% Ar, iar debitul de gaz a variat între 15 – 25l/min, funcție de tipul materialului de adaos utilizat.

Viteza de avans a electrodului banda s-a încadrat în domeniul $v_e \in (9 - 15)$ m/min, iar vitezele de sudare utilizate în timpul programului s-au încadrat în gama $v_s \in (80 - 140)$ cm/min funcție de parametrii de sudare aleși.

in TANDEM. The problems related to the welding gun direction along the curve surfaces and the problems related to the relative position of wires (main wire against the second wire), imposed the finding of new surfacing alternative by MIG/MAG welding of high deposition rate.

An opportunity to surface by MIG/MAG welding and high deposition rate is the surfacing by MAG welding with strip wire.

3. Experiments on surfacing by MAG - EB welding

A high value of welding current for power source in figure 2 (more then 500A) and/or high value of duty cycle (at an amperage > 500A) can be generated by connecting two power sources in parallel and the creation of a single arc by "power sharing".

The two power sources presented in Figure 2 have controlled operation mod by a balance inductance and a LHSB connection (Local High Speed Bus).

The synchronization of the two power sources is made by a LHSB connection with a transfer rate about 10MB/s.

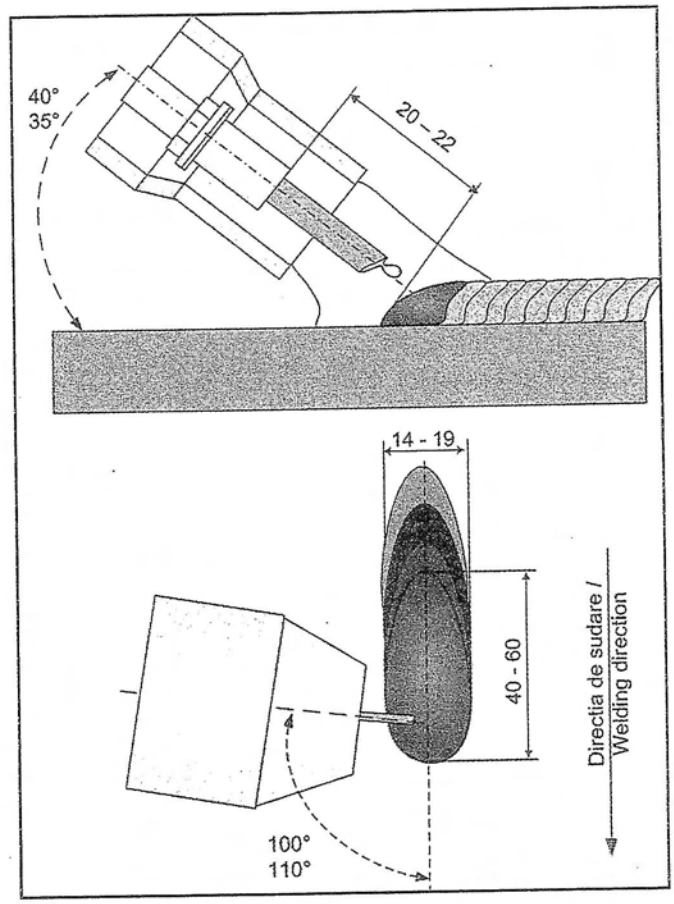


Figura 3. Poziționarea capului de sudare/
Figure 3. The position of welding gun

During the experimental program of surfacing by MAG welding with strip wire the synergic welding alternative (in pulse arc), respectively spray welding alternative (in spray arc) were used.

The welding gun position at the beginning of the research program was 40° in comparison with horizontal and 100° respectively 110° pushed on the welding direction (figure 3).

4. Materiale pentru sudare

Materiale de bază - Au fost alese ca materiale de bază oţeluri tip S 235 sau S 355, pe care s-au realizat depunerii utilizând electrozi bandă tip CrNi, NiCr şi CuNi.

Electrozi bandă - În tabelul 1 se găsesc prezentate compoziţiile chimice ale electrozilor bandă utilizaţi. Dimensiunea tuturor tipurilor de electrozilor bandă utilizaţi a fost de 4,0 x 0,5 mm^2.

Alegerea tipurilor de electrozi şi a gazelor de protecţie s-a realizat astfel încât să se obţină depuneri rezistente la coroziune.

The free lengths of strip wire was about 20 – 22 mm for all applications made during the program and the shielding gas debit was Q_{gaz} = 18 – 20 l/min.

Due to the big dimensions of weld pool 40 – 60 mm, it was observed that an additional weld pool protection is necessary to avoid the big oxidation of weld surface and the imperfections. That additional protection was made by attaching an additional gas nozzle.

The additional shielding gas the gas nozzle was supplied with was 100% Ar and the gas flow 15 – 25 l/min, according to the type of the used consumable material.

Tabelul 1. Compoziţia chimică a electrozilor bandă utilizaţi / *Table 1. Chemical composition of strip electrodes*

Tip electrod bandă / *Electrode types*	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	P	Al	W	Ti	Nb
SG-NiCr23Mo16	0,004	22,65	0,01	60,68	0,16	0,04	15,4	0,63	0,004	0,15	0,02	0,01	0,05
SG-CuNi30Fe	0,027		67,7	30,6	0,7	0,06		0,48	0,002	0,01		0,32	
SG-NiTi4	0,003		0,01	95,9	0,3	0,4		0,04	0,002	0,02		3,1	< 0,001
SG-NiCr21Mo9Nb	0,017	22,15	0,02	63,96	0,06	0,07	9,1	0,65	0,006	0,1	0,02	0,19	3,55
SGx15CrNiMn 18 8	0,048	19,63	0,063	9,31	4,93	0,893	0,108	64,81	0,0134	0,001			
SGx12CrNi 25 20	0,08	24,31	0,029	21,17	2,84	0,953	0,059	50,43	0,0097	0,001			

Gazul de sudare – Compoziţiile chimice ale tipurilor de gaze de protecţie utilizate în timpul cercetărilor se găsesc prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Compoziţia chimică a gazelor de protecţie utilizate / *Table 2. Chemical composition of shielding gases*

EN 439	Compoziţie chimică / *Chemical composition*
M 12	Ar +2,5%CO_2
M 13	99%Ar + 1%O_2
M 13 (1)	Ar + 30%He + 0,03%O_2
M 11 (1)	Ar + 30%He + 2%H_2 + 0,055%CO_2
I 1	100% Ar

În tabelul 3 se prezintă o sinteză a combinaţiilor material de bază – material de adaos – gaze de protecţie utilizate în timpul programului experimental desfăşurat. În cadrul aceluiaşi tabel se regăsesc valorile unghiulare ale poziţionării capului de sudare pentru fiecare combinaţie material de bază – material de adaos – gaz de protecţie aleasă.

În tabelul 4 sunt date valorile ratei depunerii Ad obţinute în timpul programului experimental pentru diferite valori ale vitezei de avans sârmă utilizate v_e.

Se observă din tabelul 4 că rata depunerii variază funcţie de valoarea vitezei de avans a electrodului şi de densitatea materialului sârmei plate.

5. Influenţa distanţei dintre rânduri asupra pătrunderii şi diluţiei

Evidenţierea influentei mărimii "distanţa dintre rânduri" asupra valorilor pătrunderii şi/sau a diluţiei, s-a realizat pe probe depuse prin sudare la distanţe între rânduri de 4; 4,5 respectiv 5mm.

The strip wire feed rate was in the range $v_e \in (9 – 15)$ m/min and the welding speeds used in the research program were in the range $v_S \in (80 – 140)$ cm/min, according to used welding parameters.

4. Welding consumables

Parent material – The steels S 235 or S 355 type were chosen and depositions were made using strip electrode CrNi, NiCr and CuNi type.

Strip electrodes – Table 1 presents the chemical compositions of the strip electrodes used in experiments. The dimension of all types of strip electrodes was 4.0 x 0.5mm^2.

The choice of all types of strip electrodes and gases was made so as to obtain the corrosion resistant depositions.

Shielding gas – The chemical composition of all types of shielding gases used during researches are presented in table 2.

Table 3 presents a synthesis of the combination parent material – consumable – shielding gas during the research program. The same table presents the angle values of welding gun position for every combination parent material – strip electrode – shielding gas.

Table 4 presents the values of deposition rate Ad obtained within the research program for different values of used wire feed rate v_e.

From table 4 it can be observed that the deposition rate is according to the value of the wire feed rate and the material density of the strip electrode.

5. The influence of distance between layers on penetration and dilution

The influence of the "distance between layers" value on the penetration value and/or dilution was performed on samples made at the following distances between welds 4; 4.5 and 5mm.

Distanta între rânduri – notată cu Rab – reprezintă valoarea în milimetrii a distanței cu care se deplasează capul de sudare la depunerea unui nou rând față de poziția anterioară a acestuia.

Folosind același tip de electrod bandă SG-NiCr21Mo9Nb,

The distance between layers – noted with Rab – represents the value of distance with which the welding gun is moved for the deposition of a new weld.

Using the same type of strip electrode SG-NiCr21Mo9Nb, the same shielding gas M 13 (1) and the same value of wire

Tabelul 3. Sinteza programului experimental efectuat / *Table 3. Synthesis of experimental program*

Tip electrod bandă/ *Type of strip electrode*	Dimensiune electrod / *Electrode dimension* [mm^2]	Tip gaz de protecție / *Type of shielding gas*						Gaz auxiliar de protecție / *Additional shielding gas* Ar		Material de bază / *Parent material*			Poziția de sudare / *Welding position*		
		Ar+30%He+2%H_2+ 0,055%CO_2	Ar+30%He+0,03%O_2	99%Ar + 1%O_2	Ar+2,5%CO_2	Debitul gazului / *Gas debit* Q = 18 [l/min]	Debitul gazului / *Gas debit* Q = 20 [l/min]	Debitul gazului / *Gas debit* Q = 15 [l/min]	Debitul gazului / *Gas debit* Q = 25 [l/min]	S 235JRG2	S 235J2G3	S 355J2G3	40^0; 100^0	40^0; 110^0	35^0; 110^0
SG-NiCr23Mo16	4,0x0,5														
SG-CuNi30Fe	4,0x0,5														
SG-NiTi4	4,0x0,5														
SG-NiCr21Mo9Nb	4,0x0,5														
SGx15CrNiMn 18 8	4,0x0,5														
SGx12CrNi 25 20	4,0x0,5														
Obs: Temperatura între treceri a fost < 120^0C pentru toate probele efectuate; prelucrarea materialelor de bază – rabotare / *The temperature between depositions was < 120^0C for all welds. The parent material processed – planing.*															

Tabelul 4. Variația ratei depunerii funcție de tipul de electrod bandă și de viteza de avans a sârmei / *Table 4. The variation of deposition rate according to the type of strip electrode and the wire feed rate*

Tipul electrodului bandă / *Type of strip electrode*	Densitate material/ *Material density* [g/cm^3]	Viteza de avans a sarmei / *Wire feed rate* v_e [m/min]		
		9	10	15
		Rata depunerii/ *Deposition rate* **Ad** [kg/h]		
SG-NiCr23Mo16	8,6	9,29	10,32	15,5
SG-CuNi30Fe	8,9	-	10,7	-
SG-NiTi4	8,9	-	10,7	-
SG-NiCr21Mo9Nb	8,5		10,2	15,3
SGx15CrNiMn 18 8	7,9	-	-	14,2
SGx12CrNi 25 20	7,9	-	-	14,2

Tabelul 5. Valorilor pătrunderii și diluției funcție de parametru "distanța între rânduri" / *Table 5. Penetration and dilution values according to the parameter distance between depositions*

Parametrii/ *Parameters*	Depunere MAG – EB cu: Electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb, gaz de protectie tip M 13 (1), v_e = 10 m/min/ *MAG – EB deposition with: Electrode type SG-NiCr21Mo9N, shielding gases M 13 (1), v_e = 10 m/min*		
Distanța între depuneri/ *Distance between welds* R_{ab}	5 mm	4,5 mm	4 mm
Pătrunderea MD in MB/ *Penetration DM in BM*	1 ÷ 1,5mm	≈ 1 mm	< 0,5 mm
Diluția / *Dilution* p_{MB} [%]	14,92	10,66	4,32
Defecte în depuneri / *Imperfections in deposition*	Fisurare la cald la suprafața depunerii/ *Hot crack at surface of deposition*	Nu s-au constat defecte/ *No imperfection*	Fără defecte/ *Without imperfection*

același gaz de protecție M 13 (1) și aceiași valoare a vitezei de avans sârmă v_e = 10 m/min s-au realizat depuneri prin sudare la distanța între rânduri Rab = 4; 4,5 sau 5 mm.

În figura 4 sunt prezentate înregistrările rezultatelor obținute pentru programul de cercetare menționat, iar în cadrul tabelului 5 se regăsesc valorile pătrunderii și a diluției obținute.

Din valorile pătrunderii și a diluțiilor prezentate în cadrul tabelului 5 se poate concluziona faptul că, creșterea valorii parametrului Rab "distanța între rândurile depuse" duce la creșterea diluției, a valorii pătrunderii și la apariția de defecte în depunere. Deci, Rab reprezintă un parametru necesar a se lua în calcul în cazul elaborării unei tehnologii de încărcare prin sudare.

6. Influența poziționării capului de sudare asupra pătrunderii și diluției

Stabilirea influentei poziționării capului de sudare asupra valorii pătrunderii și diluției s-a realizat prin următoarele programe de cercetare:

- Programul SG-NiCr21Mo9Nb – s-a realizat folosind o sârmă tip SG-NiCr21Mo9Nb (compoziția chimică prezentată în tabelul 1), un material de bază tip S 235 și un gaz de protecție M 13 (1) (compoziția acestuia prezentată în tabel 2),
- Programul SG-NiTi4 – s-a realizat utilizând o sârmă tip SG-NiTi4, materialul de bază fiind S 235, iar gazul de protecție M 11 (1).

Programul de cercetare SG-NiCr21Mo9Nb - Utilizând aceeași tehnologie de sudare, pistoletul de sudare a fost poziționat succesiv la 40°, respectiv la 50° față de orizontală și împins cu 100° sau 110° față de direcția de sudare (vezi figura 3).

În figura 5 se prezintă înregistrarea rezultatelor obținute în urma depunerilor efectuate, iar în cadrul tabelului 6 se găsesc valorile pătrunderii.

Comparând rezultatele din figura 5 și valorile pătrunderii din tabelul 6 putem concluziona că poziționarea capului la 110° față de direcția de sudare reprezintă valoarea optimă a poziției acestuia în raport cu direcția de sudare. Pentru stabilirea domeniului unghiular al poziționării capului de sudare în raport cu planul orizontal, s-a realizat programul SG-NiTi4.

Tabelul 6. Valorile pătrunderii funcție de poziționarea capului de sudare / *Table 6. The penetration values according to the welding torch position*

Parametrii/ *Parameters*	Programul de cercetare SG-NiCr21Mo9Nb/ *The SG-NiCr21Mo9Nb research program*			
	40°; 100°	40°; 110°	50°; 100°	50°; 110°
Pătrunderea MD in MB/ *Penetration DM in BM*	0,5 ÷ 1mm	< 0,5mm	1 ÷ 1,7mm	< 0,5mm

Programul de cercetare SG-NiTi4 - a pornit de la valorile unghiulare stabilite în timpul programului de cercetare SG-NiCr21Mo9Nb: 40° sau 50° față de orizontală și 110° față de direcția de sudare pentru care s-au obținut rezultate bune ale pătrunderii.

Utilizând aceleași valori ale parametrilor de sudare și un feed rate v_e = 10 m/min there were made welds at the distance Rab = 4; 4,5 or 5 mm.

Figure 4 presents recordings of results obtained for the mentioned above research programs and table 5 the values of penetration and dilution.

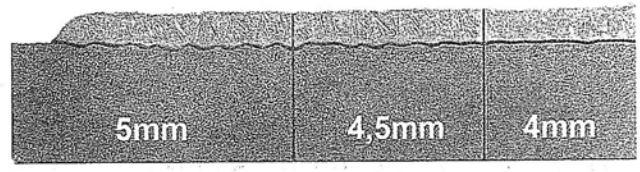


Figura 4. Probă depusă prin sudare MAG – EB cu: electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb; gaz de protecție tip M 13 (1); v_e = 10m/min; Rab = 4; 4,5 sau 5 mm /
Figure 4. Welded probe MAG – EB: electrode type SG-NiCr21Mo9Nb; schielding gas M 13 (1); v_e = 10 m/min; Rab = 4; 4,5 or 5 mm

From the penetration and dilution values presented in table 5 we can conclude that, the increase of the parameter Rab value "distance between deposited layers" leads to the increase of dilution, penetration and the appearance of imperfections. The Rab parameter is to be considered in the calculus when elaborating the surfacing by welding technology.

6. The influence of welding gun position on penetration and dilution

For establishing the influence of welding gun position on penetration and dilution the following research programs was made:

- The SG-NiCr21Mo9Nb research program – made with a strip electrode SG-NiCr21Mo9Nb type (chemical composition presented in table 1), a parent material S 235 type and a shielding gas M 13 (1) (its composition is presented in table 2),
- The SG-NiTi4 research program – made with a strip electrode SG-NiTi4 type, the parent material is S 235, and the shielding gas M 11 (1).

The SG-NiCr21Mo9Nb research program – the same welding technology was used, and the welding gun was positioned at 40°, respectively at 50° on the horizontal and pushed with 100° or 110° on the welding direction (see figure 3).

Figure 5 presents the recording of results obtained following researches, and table 6 presents the values of penetration.

Comparing the results from figure 5 and the penetration values from table 6 we can conclude that the welding gun position at 110° pushed in welding direction represents the optimal value of its position according to direction of welding. For establishing the angles range of welding gun position according to horizontal plan, the SG-NiTi4 research program was made.

The SG-NiTi4 research program – began from the values of angles obtained within the SG-NiCr21Mo9Nb research program: 40° or 50° on the horizontal and 110° on the welding direction for which we obtained good results for penetration.

Using the same values of welding parameters and other

gaz tip M 11 (1), s-au realizat depuneri folosind sârma SG-NiTi4 în următoarele poziții:

- 35° față de orizontală și 110° împins față de direcția de sudare;
- 50° față de orizontală și 110° împins față de direcția de sudare.

type of shielding gas M 11 (1), surfacing was made using the strip electrode SG-NiTi4 in following positions:

- 35° on the horizontal and 110° pushed on the welding direction;
- 50° on the horizontal and 110° pushed on the welding direction.

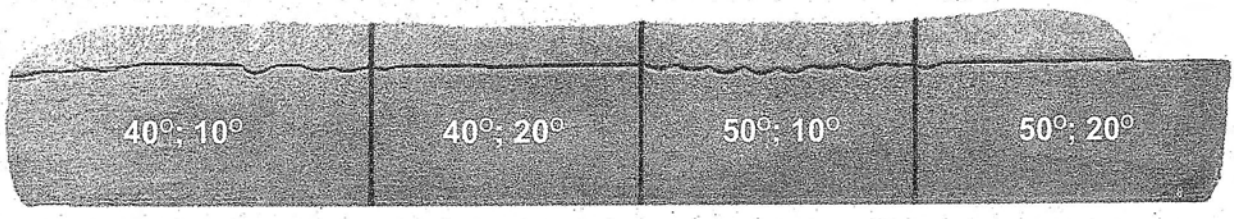


Figura 5. Probă depusă prin sudare MAG-EB cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb, gaz M 13 (1), v_e = 10m/min și Rab = 4mm /
Figure 4 . MAG-EB deposition welds with electrode SG-NiCr21Mo9Nb, gas M 13 (1), v_e=10 m/min and Rab = 4mm

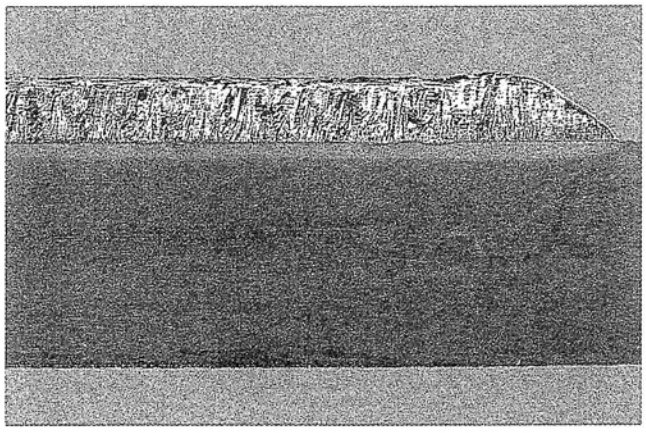


Figura 6. Probă sudată MAG-EB cu poziționarea capului de sudare la 35° /
Figure 6. MAG-EB welded sample with the welding gun at 35°

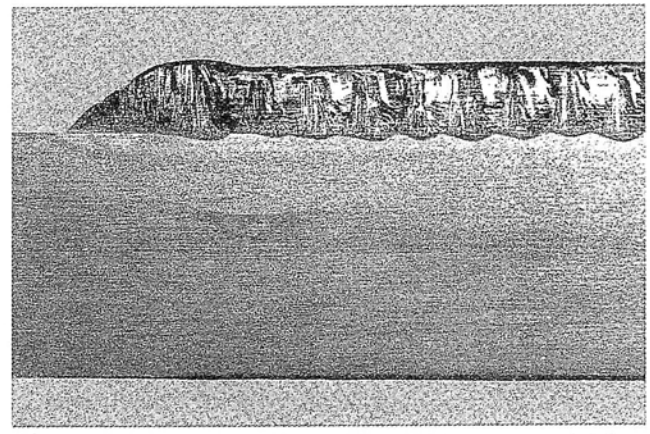


Figura 7. Probă sudată MAG-EB cu poziționarea capului de sudare la 50° /
Figure 7. MAG-EB welded sample with welding gun at 50°

În figurile 6 și 7, respectiv tabelul 7 sunt prezentate înregistrările rezultatelor obținute în timpul programului SG-NiTi4.

După cum se poate constata din figurile 6 și 7, respectiv din tabelul 7 pentru aceeași tehnologie de sudare, valoarea pătrunderii și diluția este semnificativ influențată de modificarea poziționării capului de sudare în raport cu planul orizontal.

În urma celor doua programe de cercetare efectuate pentru evidențierea influenței poziției capului de sudare asupra pătrunderii și diluției, s-a concluzionat ca poziționarea a capului de sudare la (35° – 40°) față de orizontală și 110° împins față de direcția de sudare, va duce la obținerea unei pătrunderi și diluții minime.

7. Rezultate

Analiza microscopică a probelor depuse a evidențiat apariția unor fisuri la cald la nivelul depunerilor sau la nivelul suprafeței acestora în cazul unei distanțe prea mici sau prea mare între rânduri Rab = 3; 3,5 și 5 mm, deci valoarea Rab "distanța între rândurile depuse" este un parametru necesar a se lua în calcul în cazul elaborării unei tehnologii de încărcare prin sudare.

Valoarea parametrului Rab depinde de gazul de protecție ales și implicit de valorile parametrilor de sudare, în timpul programului de cercetare MAG cu electrod bandă utilizându-se în general o valoare de Rab = 4 mm.

Figure 6 and 7, respectively table 7 present the registration of obtained results from SG-NiTi4 research program.

According to figures 6 and 7, respectively table 7, the values of penetration and dilution when using the same welding technology are significantly influenced by the modification of the welding gun position depending on the horizontal plan.

Tabel 7. Valorile pătrunderii și diluției funcție de poziționarea capului de sudare / *Table 7. The values of penetration and dilution depending on welding gun position*

Parametrii/ *Parameters*	Programul de cercetare SG-NiTi4/ *The SG-NiTi4 research program*	
	35°; 110°	50°; 110°
	Figura / *Figure* 6	Figura / *Figure* 7
Diluția/ *Dilution* p_{MB} [%]	1,07	5 ÷ 8
Pătrunderea MD in MB/ *Penetration DM in BM*	≈ 0,5 mm	1 ÷ 1,5mm

We can conclude that the two research programs made to show the influence of the welding gun position on penetration and dilution, the position of welding gun at (35° – 40°) according to the horizontal and 110° pushed according to

Cercetările efectuate pentru poziționarea optima a capului de sudare, au permis delimitarea unui domeniu de valori unghiulare optime pentru care se asigură o stabilitate a arcului cât și o valoare minimă a diluției $p_{MB} \in (1-5\%)$ la:

- $a \in [35° - 40°]$ - poziționarea pistoletului față de poziția orizontală,
- $b = 110°$ împins - poziționarea pistoletului față de direcția de sudare.

La o valoare mai redusă a unghiului de poziționare a pistoletului față de poziția orizontală (ex: a = 30°) stropirile din baie sunt foarte puternice și suprafața depunerilor este inestetică, iar la o valoare mai mare (ex: a = 50°) obținându-se o valoare mare a pătrunderii și diluției.

Datorita valorilor ridicate ale vitezei de avans a sârmei, $v_e \in (9-15)$m/min oferite de această variantă de sudare MAG, se pot obține valori mari ale ratei depunerii $Ad \in (9{,}29 - 15{,}5)$ kg/h.

8. Concluzii

Aplicarea sudării MAG cu electrod bandă pentru operații de încărcare, reprezintă o variantă viabilă de încărcare prin sudare a pieselor noi sau uzate, alături de încărcarea prin sudare MIG/MAG cu doua sârme în varianta TANDEM sau încărcarea prin sudare sub strat de flux SF cu electrod bandă, datorita valorilor ridicate ale ratei depunerii.

Elementele definitoare care recomandă sudarea MAG cu electrod bandă pentru operațiile de încărcare, în raport cu încărcarea prin sudare sub strat de flux SF cu electrod bandă, sunt valorile mult mai reduse ale pătrunderii și ale diluției obținute în cazul încărcării prin sudare MAG - EB ca urmare a înclinării capului de sudare și a existenței unui principiu de sudare total diferit de sudarea SF.

Bibliografie / Bibliography

[1]. xxx: Merkblatt DVS 0909-1, Grundlagen des MSG-Hochleistungsschweißens mit Massivdrahtelektoden. Definitionen und Begriffe, Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS - Verlag GmbH, Düsseldorf, September 2000

[2]. Rehfeldt D. și Polte T.: Application potential of gas-shielded metal-arc welding with a strip electrode, Welding and Cutting, 6 / 2002, p. 299 - 303

[3]. Franz U. și Cronacher F.: Einlagiges MAG-Engspalt-schweißen în senkrechter Position mit Füllbandelektrode – Teil 1, 2, Der Praktiker, 1998, nr. 5, p. 159 - 166, și nr. 7, p. 224 - 230

[4]. Baum L. și Fichter V.: Der Schutzgasschweißer – Teil II: MIG/MAG Schweißen, Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS - Verlag GmbH, Düsseldorf 1999

[5]. Himmelbauer K.: Schutzgasschweißen mit Flachdraht-elektoden, Schweiss & Prüftechnik, 2002, nr. 3, p. 34 - 35

[6]. Scholz E.: MSG – Schweissen mit Flachdracht-elektrode, Technica, 2002, nr. 5, p. 54 - 60

[7]. Himmelbauer K.: Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Hochleistungsschweißverfahren, Schweiss & Prüftechnik, 2003, nr. 5, p. 71 - 74

Mențiune - programul experimental a fost realizat în laboratoarele SLV München NL der GSI mbH în cadrul proiectului de cercetare Nr. 13.408 B finanțat de către AiF - German Federation of Industrial Research Associations „Otto von Guericke".

welding direction will offer a minimum values of penetration and dilution.

7. Results

The microscopic analyses of samples showed that the appearance of hot cracks at the deposition level or at the surface deposition level in case when the distance between welds is too small or too big Rab = 3; 3,5 and 5mm showed that, the Rab value is a parameter to be considered in the elaboration of surfacing by welding technology.

The Rab value depends on the choice of shielding gas and implicitly on welding parameters. During the MAG welding with strip electrode research program a value of Rab = 4 mm was generally used.

The researches made to find out the optimal position of the welding torch showed that, there was an optimal angle range for which the stability of arc and a minimal value of dilution $p_{MB} \in (1-5\%)$ are used:

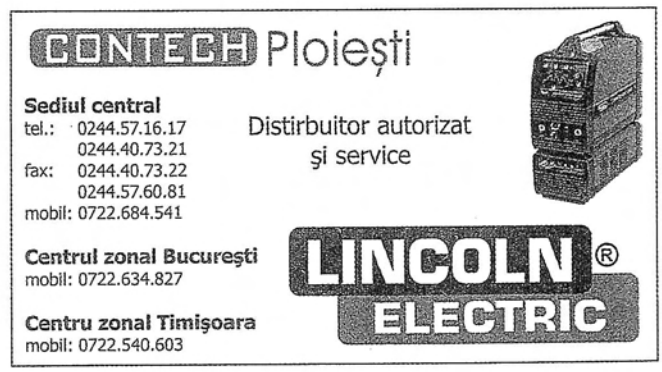
- $a \in [35° - 40°]$ - welding gun position according to the horizontal,
- $b = 110°$ pushed – welding gun position on the welding direction.

At a smaller value of the welding gun angle on the horizontal (ex: a = 30°) the spatters are very strong and the deposition surface is not aesthetic. The penetration and dilution value is too big at a higher value of the welding gun angle (ex: a = 50°).

Due to the high values of the wire feed rate $v_e \in (9-15)$ m/min the MAG-EB alternative can lead to high deposition rates $Ad \in (9.29 - 15.5)$ kg/h.

8. Conclusions

The application of MAG welding with strip electrode for surfacing represents a new alternative for the surfacing by welding of worn and new parts along side the surfacing by MIG/MAG welding with two wires in TANDEM or surfacing by submerged arc welding SF with strip electrode, due to the high deposition rate.

The elements which recommend MAG welding with strip electrode for surfacing are the penetration and dilution values which are more reduced in comparison with the submerged arc welding SF with strip electrode as there is the possibility to incline the welding gun and due to the welding principle which is totally different from the SF welding principle.

Mention - the experimental program was made in SLV München NL der GSI mbH laboratory within the research project Nr. 13.408 B financed by AiF - German Federation of Industrial Research Associations „Otto von Guericke".