

Analiza comparativă a trei procedee de încărcare dură prin topire utilizând același material de adaos

Comparative analysis of three hardfacing processes using the same filler material

Ștefan Crăciun^{1*}, Dumitru Gogu¹, Ionelia Voiculescu²

¹ s.c. WELDCONS s.r.l. București

² Universitatea Politehnica din București

Rezumat

Lucrarea analizează comparativ depuneri dure realizate cu trei procedee de sudare prin topire diferite (MAG, TIG și LASER), utilizând același tip de material de adaos. Scopul studiului a fost acela de a evidenția particularitățile geometrice ale depunerilor și variația durității depunerilor dure realizate pe același tip de substrat din oțel. Sunt prezentați principalii factori ai procesului tehnologic utilizați la realizarea probelor experimentale cu cele trei procedee de sudare (parametrii regimului de sudare, materialul de bază și de adaos, regimul termic aplicat) și caracteristicile dimensionale ale depunerilor dure efectuate. Au fost efectuate secțiuni transversale prin zona încărcată, apoi eșantioanele reprezentative s-au supus procedurii de pregătire metalografică. S-au analizat parametrii geometrici ai depunerilor, s-au identificat principalele imperfecțiuni ale materialului sudurii și s-a analizat evoluția durității de o parte și de alta a liniei de topire a depunerii.

Cuvinte cheie

încărcare dură, sudare LASER, MAG, WIG, duritate, abraziune

Abstract

The paper compares the characteristics of hard deposits made with three different fusion welding processes (MAG, TIG, and LASER) using the same type of filler material. The study aimed to highlight the geometric peculiarities of the deposit and the hardness variation of the hardfacing layers using the same steel substrate type. The main factors of the welding process used to make the experimental samples (welding regime parameters, base and filler material, applied thermal regime), and the dimensional characteristics of the hard deposits are presented for the three different welding processes. Cross sections were made through the faced area, then the representative samples were subjected to the metallographic preparation procedure. The geometric parameters of the deposits were analysed, the main weld imperfections were identified and the hardness evolution on both sides of the deposition melting line.

Keywords

hardfacing, LASER welding, GMAW, TIG, hardness, wear resistance

1. Introducere

Prin încărcare dură se înțelege depunerea de acoperiri realizate cu materiale dure și rezistente la abraziune, pe suprafața componentelor uzate sau noi, cu diferite grosimi, stabilite în funcție de condițiile din exploatare [1,2].

În general, grosimea depunerilor dure se încadrează în domeniul cuprins între 1 și 10 mm, iar noile procedee permit chiar obținerea unor depuneri de ordinul micronilor [3].

În prezent sunt disponibile diverse procedee de obținere a depunerilor dure, cele mai noi fiind depunerea prin pulverizare cu plasmă, pulverizarea termică, implantarea ionică sau depunerea cu LASER și pulberi. Costurile

1. Introduction

Hardfacing can be defined as the deposition of coatings made out of tough and abrasion-resistant materials, over the surface of used or new components, with different thicknesses, determined in accordance to the working conditions [1,2].

Usually, the thickness of the coating is between 1 and 10 mm, but the new processes allow microns deposits to be made [3].

Currently, various processes are used for hardfacing, the latest ones being plasma spraying, thermal spraying, ion implantation or LASER, and powder deposition. The downside of these processes is that the significant costs of

însemnate ale echipamentelor și suprafețele reduse pe care se pot face depuneri reduc domeniile de aplicabilitate ale acestora [4,5]. De aceea, cele mai comune și ușor de utilizat metode de încărcare dură sunt procedeele clasice de sudare, utilizând materiale de adaos cu compoziții chimice speciale. Avantajul depunerii cu arc electric decurge din posibilitatea de recondiționare a unor piese de mari dimensiuni, greu de transportat, la care sunt necesare intervenții locale pentru refacerea geometriei zonelor uzate sau pentru încărcarea dură a anumitor suprafețe. La acest gen de aplicații se preferă un procedeu manual sau semi-mecanizat, unde un sudor experimentat poate efectua depuneri dure utilizând echipamentul clasic de sudare, mult mai ușor de transportat decât piesa uzată.

O dată cu apariția pe piață a echipamentelor accesibile pentru sudarea manuală cu fascicul LASER, această metodă de încărcare dură nu mai pare atât de dificil de utilizat, deși într-un studiu din 2013 se prezentau unele dezavantaje precum: costul ridicat al echipamentelor și necesitatea utilizării unor sisteme robotizate cu 5 axe pentru piese cu forme complexe [6]. În ultimii 10 ani s-au pus pe piață echipamente de sudare cu fascicul LASER care au costuri de achiziție similare cu echipamentele pentru sudare clasice, ceea ce permite utilizarea acestora în regim semi-mecanizat pentru depuneri dure performante.

În lucrare se analizează comparativ caracteristicile microstructurale și mecanice ale unor depuneri dure realizate cu trei procedee de sudare, respectiv sudarea MIG, sudarea WIG și sudarea cu LASER, utilizând același material de adaos. S-a constatat că la depunerea cu LASER volumul de material depus și efectul de supraîncălzire au fost mai reduse, ceea ce a permis reducerea costurilor și a deformațiilor pieselor substrat. Totodată, diluția a fost redusă față de celelalte procedee, iar duritatea a fost cea mai mare, chiar începând de la al doilea strat.

2. Materiale și echipamente

Materialul suport utilizat pentru încărcările prin sudare dure a fost oțelul nealiat S235JR conform EN 10025-2, sub formă de placă cu grosimea de 6,0 mm. Pentru realizarea probelor, acesta a fost debitat mecanic la dimensiuni de 100x100 mm, apoi suprafețele s-au șlefuit la luciu metalic cu

the equipment and the small area that can be covered reduce their applicability [4,5]. Therefore, the most common and easy to use hardfacing methods are the ones that use standard welding processes, alongside filler materials that have special chemical compositions. The main advantage of arc welding deposition comes from the possibility of reconditioning of large parts, difficult to transport, that need interventions only locally in order to restore the geometry of worn-out areas or hardfacing of certain surfaces. For this kind of applications, a manual or semi-mechanized process is preferred, where an experienced welder can perform the operations using classic welding equipment, which is much easier to transport than the used part.

Since the market of affordable equipment for manual LASER beam welding has become bigger and bigger, LASER hardfacing does not seem any more so difficult to use, although a study published in 2013 presented disadvantages such as the high cost of the equipment or the need to use 5-axis robotic systems for parts with irregular shapes [6]. In the last 10 years, LASER beam welding equipment has come to the global market with a similar purchase cost to the one of classic welding equipment, allowing them to be used in a semi-mechanized manner as a high-performance hardfacing option.

The paper uses the same filler metal to compare the microstructural and mechanical characteristics of tough deposits made with three welding processes: GMAW, TIG welding and LASER welding. It was found that for deposition made by LASER, the volume of the deposited material and the overheating effect were reduced, which led to cost reduction and less deformation of the substrate pieces. At the same time, the dilution has been reduced compared to the other processes, and the hardness value was the highest as soon as the second layer was deposited.

2. Materials and equipment

The substrate material used for hardfacing was the non-alloy steel S235JR made according to EN 10025-2, as a plate with 6.0 mm thickness. In order to make the test samples, the material was mechanically cut to dimensions of 100x100 mm, followed up by a polish to a metallic surface using a P40 abrasive disc, and afterward finished with a P120 type.

ajutorul unui disc abraziv P40 și finisat ulterior cu disc tip P120.

Materialul de adaos folosit pentru încărcările dure a fost UTP A DUR 600 clasificat conform EN 14700: SZ Fe 8. Conform producătorului, acesta poate fi utilizat pentru încărcarea pieselor supuse la impact puternic și abraziune medie (cum ar fi cele utilizate în cariere de piatră, mine sau fabrici de ciment).

Compoziția chimică a materialului de adaos este prezentată în tabelul 1. În matricea metalică a acestuia, elementul principal de aliere este cromul, care formează carburi dure în prezența conținutului ridicat de carbon. Duritatea materialului depus prin sudare poate fi ajunge la valori cuprinse între 54 și 60 HRC.

Tabel 1. Compoziția chimică a materialului de adaos, %
Table 1. Chemical composition of the filler material, wt%

C	Si	Mn	Cr	Fe
0,5	3,0	0,5	9,5	bal.

Materialul de adaos a fost livrat sub formă de sârmă, cu diametru de 1,0 mm, fiind ușor de utilizat pentru procedeele semi-mecanizate MAG și LASER. Pentru procedeul manual WIG s-a utilizat același tip de material de adaos, sub formă de vergea cu diametrul de 2,4 mm.

Pentru sudarea MAG s-a folosit o sursă de sudare multiproces Fronius TransPuls Synergic 5000, aceasta având în componență un pistol răcit cu apă, care îi permite funcționarea la o intensitate a curentului de 500 A, cu 40% durată activă. În cazul sudării WIG s-a ales o sursă de sudare compactă ESAB Caddy 2200i care furnizează o intensitate maximă a curentului electric de 220 A, pentru o durată activă de 20%. Sursa LASER folosită a fost AccTek AKQH-2000 având în componență și un derulator de sârmă pentru alimentarea mecanizată cu material de adaos.

3. Experimentări de depunere

Pentru efectuarea analizei comparative între cele trei procedee: MAG, WIG și LASER s-au efectuat depuneri pe același tip de material suport. Depunerile s-au realizat cu aceeași procedură de încărcare, și anume: treceri succesive alăturate, până la acoperirea unei arii suficient de mari pentru a fi examinate și încercate în vederea caracterizării, urmate de încărcarea cu alte două straturi, suprapuse și depuse paralel față de primul strat.

The filler material used for hardfacing was UTP A DUR 600 classified according to EN 14700 as SZ Fe 8. According to the manufacturer, the filler can be used for cladding on parts that are subject to high impact and medium abrasion (such as those used in quarries, crushing plants, mines, or cement works).

The chemical composition of the filler metal is shown in Table 1. Its metal matrix has chromium as the main alloying element, which forms hard carbides alongside the carbon that has a significant presence within the metal matrix. The hardness of the deposit done by welding can be between 54 and 60 HRC.

The filler metal has been delivered as a 1.0 mm diameter wire, a thing that made it easy to be used for the semi-mechanized processed GMAW and LASER. In the case of the manual TIG process, the same type of filler metal has been used, but in the form of a 2.4 mm diameter rod. For the GMAW, a Fronius TransPuls Synergic 5000 multi-process welding equipment has been used. Its features include a water-cooled torch, which allows the equipment to operate with a welding current of 500 A, at 40% duty time. On the other side, ESAB Caddy 2200i compact welding equipment was chosen for the TIG welding. This one provides a maximum welding current of 220 A, for 20% duty time. The LASER generator equipment used was AccTek AKQH-2000, which comes with a wire feeder to assure a mechanized feeding of the filler metal.

3. Deposition experiments

In order to carry out the comparative analysis between the three processes: GMAW, TIG and LASER, there were made deposits on the same type of support material. The depositions have been done using the same loading strategy: successive side-by-side passes, until a large enough area was covered-up in order to be tested and characterized, followed up by loading two more layers, overlapped and parallel to the first layer.

3.1 Parametrii de depunere

Pentru procedeele WIG și MAG s-a avut în vedere alegerea unor parametrii de sudare care să nu ducă la supraîncălzirea rapidă a pieselor. Monitorizarea temperaturii după depunerea fiecărui strat s-a realizat cu un termometru digital cu unde infraroșii TFA S31.1132. Având o energie liniară redusă procedeul cu LASER nu a necesitat o atenție sporită pentru evitarea supraîncălzirii. Valorile parametrilor regimului de sudare sunt prezentate în tabelul 2.

Tabel 2. Parametrii regimului de sudare pentru cele trei procedee de depunere analizate
Table 2. Welding regime parameters for the three deposition processes analysed

MAG / GMAW, 135		WIG / TIG, 141		LASER	
Intensitatea curentului electric Welding current	140 A	Intensitatea curentului electric Welding current	75 A	Puterea fasciculului LASER LASER power	1200 W
Tensiunea arcului Arc voltage	23 V	Tensiunea arcului Arc voltage	12 V	Frecvența impulsurilor LASER Pulse Frequency	3000 Hz
Gaz de protecție Shielding gas	82% Ar + 18% CO ₂	Gaz de protecție Shielding gas	100% Ar	Lățimea pendulare fascicul Weaving width	2.2 mm
Debit gaz de protecție Gas flow rate	16 l/min	Debit gaz de protecție Gas flow rate	9 l/min	Gaz de protecție Shielding gas	100% N ₂
Viteza de avans a sârmei Wire feed speed	4.6 m/min	Viteza de sudare Welding speed	8.1 cm/min	Viteza de avans a sârmei Wire feed speed	60 cm/min
Viteza de sudare Welding speed	36 cm/min			Viteza de sudare Welding speed	78 cm/min

3.2 Analiza macroscopică

După sudare, cele trei probe au fost examinate vizual pentru identificarea imperfecțiunilor apoi s-au efectuat măsurări dimensionale ale straturilor depuse prin sudare.

Pentru proba încărcată cu procedeul MAG s-au măsurat următoarele caracteristici geometrice: lungime depunere $L = 75$ mm, lățime depunere $l = 55$ mm și înălțimi ale straturilor $H_1 = 2,4$ mm, $H_2 = 3,8$ mm, $H_3 = 6,3$ mm. Analiza depunerilor (Figura 1) a evidențiat o depunere relativ compactă, cu straturi ușor suprapuse, între care s-au format mici retasuri ale metalului solidificat, stropi și mici incluziuni sau pelicule fine de zgură, pe anumite porțiuni.

Suprafața opusă depunerii este foarte oxidată în exces. Săgeata de deformare a suportului a fost de 1,3 mm în direcția longitudinală și 2,7 mm în direcția transversală. Pentru a efectua indentări în vederea măsurării durtății și a analiza macroscopic depunerile s-au efectuat prelevări de secțiuni transversale prin toate cele 3 straturi (Figura 1c).

În cazul probei încărcate cu procedeul WIG caracteristicile geometrice ale depunerii au fost: lungime depunere $L = 65$ mm; lățime depunere $l = 40$ mm și înălțimi ale straturilor de $H_1 = 1,3$ mm; $H_2 = 2,2$ mm; $H_3 = 4,4$ mm.

3.1 Deposition parameters

For the TIG and GMAW processes, the welding parameters have been chosen in a manner that they would not lead to rapid overheating of the samples. Temperature monitoring was done after each layer that was deposited using a TFA S31.1132 digital infrared thermometer. Having a very low heat input, the LASER process needed no extra attention in order to avoid overheating the sample. Table 2 presents the values used in the welding regime.

3.2 Macroscopic analysis

After welding, the three samples were visually examined in order to identify the imperfections and dimensional measurements of the layers deposited by welding were further performed.

For the sample faced using GMAW process the following geometric characteristics have been measured: deposition length $L = 75$ mm, deposition width $l = 55$ mm, and layer heights $H_1 = 2.4$ mm, $H_2 = 3.8$ mm, $H_3 = 6.3$ mm. While analysing the deposits (Figure 1), a relatively compact deposit has been revealed, with slightly overlapping layers that had in between small undercuts of the solidified metal with spatter and fine patches of slag in certain spots.

The surface opposed to the deposit is heavily oxidized. The deformation of the substrate was 1.3 mm (longitudinal direction) and 2.7 mm (transverse direction). Cross-sections of all 3 layers were taken for microscopic analysis and hardness measurement.

In the case of the sample faced with the TIG process, the geometric characteristics of the deposition were: deposition length $L = 65$ mm; deposition width $l = 40$ mm and layer heights of $H_1 = 1.3$ mm; $H_2 = 2.2$ mm; $H_3 = 4.4$ mm.

When visually examining the deposits, similar-looking of loading layers were observed (Figure

La examinarea vizuală a depunerilor s-au observat straturi de încărcare cu aspect uniform (Figura 2), cu rânduri ușor suprapuse, având mici creștături între acestea, un număr mic de stropi, dar fără pelicule de zgură. Ca și în cazul procedurii MAG, suprafața opusă depunerii este oxidată în exces. Săgeata de deformare a fost de 2,0 mm după direcția transversală și 0,3 mm după direcția longitudinală. Ulterior analizei s-a prelevat o probă ca în cazul încărcării MAG pentru realizarea analizei microscopice.

Proba încărcată cu LASER a prezentat următoarele caracteristici geometrice: lungime depunere $L = 80$ mm; lățime depunere $l = 30$ mm; înălțimi straturi: $H_1 = 0,35$ mm; $H_2 = 1,04$ mm.

Se poate observa că depunerea are aspect neuniform (Figura 3), cu rânduri filiforme și spațiate, dar și ușor suprapuse, iar suprafața opusă depunerii nu prezintă aspecte specifice procesului de oxidare decât de mici dimensiuni.

2), with slightly overlapping rows, having small grooves between them, with a small number of spatters but no slag films. As with the GMAW process, the opposite surface of the deposition is highly oxidized. The deformation of the substrate was 2.0 mm in the transverse direction and 0.3 mm in the longitudinal direction. After the analysis, a sample was cut out as in the case of GMAW loading for microscopic analysis.

The sample faced using the LASER process presented the next geometric characteristics: deposition length $L = 80$ mm; deposition width $l = 30$ mm; layer heights: $H_1 = 0.35$ mm; $H_2 = 1.04$ mm. It can be seen that the deposition has an uneven appearance (Figure 3), with threaded and spaced rows, but also slightly overlapped, but the surface opposite the deposition shows only limited areas with aspects of oxidation processes.



Fig. 1 Aspectul suprafețelor probei încărcate prin sudare cu procedeul MAG

Fig. 1 Appearance of the surfaces of the sample faced by the GMAW process



Fig. 2 Aspectul suprafețelor probei încărcate prin sudare cu procedeul WIG

Fig. 2 Appearance of the surfaces of the sample faced by the TIG process



Fig. 3 Aspectul suprafețelor probei încărcate prin sudare cu procedeul LASER

Fig. 3 Appearance of the surfaces of the sample faced by welding using the LASER process

Deformarea plăcii suport este redusă, aceasta fiind vizibilă după direcția transversală (de 1,41 mm) și după cea longitudinală (sub 0,2 mm). Ulterior s-a prelevat o secțiune transversală pentru analiză microstructurii și determinarea durtății.

3.3 Examinarea microscopică

Analiza metalografică s-a realizat prin microscopie optică cu microscopul Olympus GX51 echipat cu software specializat pentru prelucrarea imaginilor – AnalySis. Suprafețele prelevate au fost mai întâi șlefuite cu hârtii abrazive (dim. 400 – 2500) apoi au fost lustruite cu trei tipuri de pulbere de alumină în suspensie, cu granulații progresive de 1 μm , 0,7 μm și 0,1 μm . După lustruire probele au fost spălate cu propanol, fiind apoi atacate cu reactiv Nital 2% (Acid azotic 2% în alcool etilic), pentru a se evidenția microstructura materialului de bază. La unele probe, acest reactiv a pus în evidență zona de tranziție bogată în Fe și limitele grăunților depunerii prin sudare de oțel înalt aliat feritic. La o primă examinare a zonei de tranziție dintre depunerea prin sudare MAG și metalul de bază (Figura 4a) se poate observa că germinarea grăunților din depunere are loc pe linia de topire, aceștia dezvoltându-se dendritic columnar, orientați perpendicular față de aceasta. Se observă și o picătură de metal parțial topit de arc electric, care a fost înglobată în depunerea sudată. În zona influențată termo-mecanic (ZIT, Figura 4b) se pot observa grăunți de ferită aciculară tip Widmanstätten și perlită parțial globulizată. În zona de tranziție se observă subzone care sunt bogate în Fe, cu structură similară cu cea din ZIT.

The deformation of the base plate is reduced, but visible is deformation in the transverse direction (of 1.41 mm) and the longitudinal one (below 0.2 mm). Later, a cross-section was taken for microstructure analysis and hardness determination.

3.3 Microscopic examination

The metallographic analysis was carried out by optical microscopy using the Olympus GX51 microscope equipped with specialized software for image processing – AnalySis. The surfaces of the samples were first grinded with abrasive papers (grit 400 – 2500) and then polished with three types of suspended alumina powder, with progressive grain sizes of 1 μm , 0.7 μm , and 0.1 μm . After polishing, the samples were washed with propanol, then they were etched using Nital 2% etchant (Nitric acid 2% in ethyl alcohol), to highlight the microstructure of the base material. In some samples, this etchant highlighted the Fe-rich transition zone and grain boundaries of the welded deposit of ferritic high-alloy steel. At first, when examining the transition between the welded GMAW deposit and the base metal (Figure 4a) it can be observed that the germination of the grains from the weld deposit takes place on the fusion line, as they develop in a columnar dendritic and perpendicular manner. A drop of metal partially melted by the electric arc that has been embedded in the weld deposit can also be observed. In the heat-affected zone (HAZ, Figure 4b) grains of acicular Widmanstätten-type ferrite and partially globular pearlite can be observed. In the transition zone, Fe-rich areas can be observed, with a structure similar to HAZ.

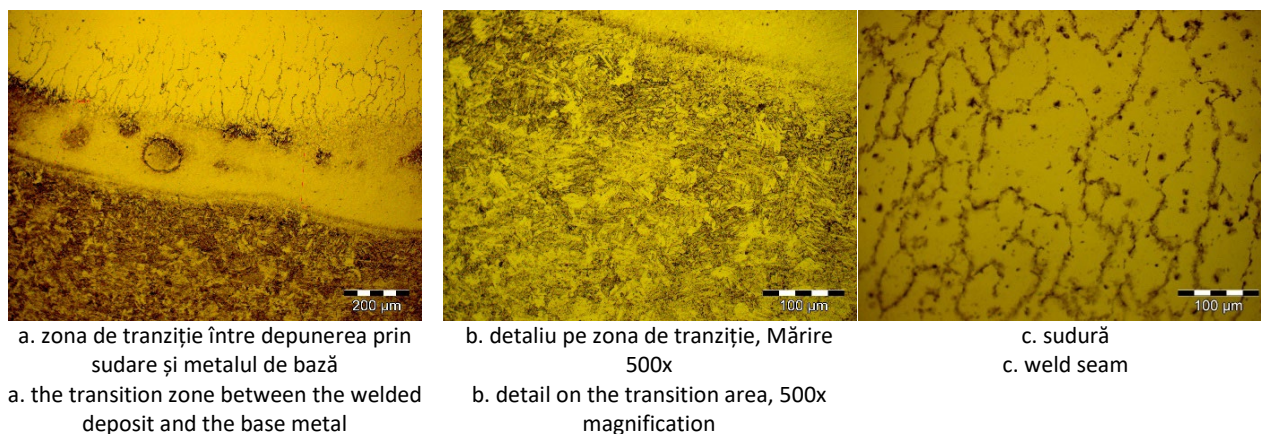


Fig. 4 Aspecte microstructurale ale depunerii sudate cu procedeul MAG
Fig. 4 Microstructural aspects of the deposition made with the GMAW process

În metalul sudurii (Figura 4c) se observă grăunți columnari de ferită și mici compuși intermetalici dispersați în matricea acestora.

În cazul probei încărcate cu procedeul WIG, extinderea zonei influențate termo-mecanic este mult mai redusă (Figura 5a), deoarece energia liniară la sudare a fost mai mică comparativ cu procedeul MAG, ceea ce a determinat reducerea zonei de supraîncălzire și lipsa grăunților grobi de ferită Widmanstatten.

Se poate remarca totuși o ușoară tendință de creștere a grăunților de ferită și perlită, de până la 3 ori față de granulația materialului de bază.

În zona de amestec parțial (Figura 5b) se pot observa zone bogate în Fe, cu aspect de ferită aciculară. În stratul depus (Figura 5c) se observă grăunți aciculari de ferită cu dezvoltări dendritice columnare, similare celor din depunerea prin sudarea cu procedeul MAG.

În cazul încărcării cu LASER, linia de topire are aspect diferit de cel întâlnit la sudarea cu arc electric. Pulsurile LASER cu energie mare au determinat topirea profundă dar localizată a materialului de bază, aspectul rădăcinii fiind zimțat, cu profil corespunzător fiecărui strat depus (Figura 6a).

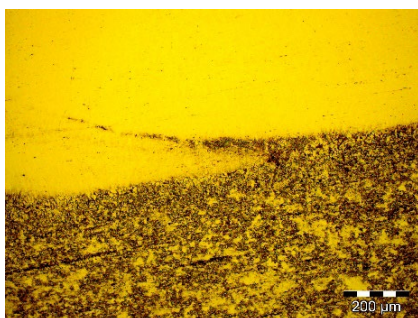
Se pot observa zonele de amestec cu materialul de bază și câteva mici fisuri de contracție la solidificare apărute după a doua trecere. Pătrunderea la rădăcină a fasciculului LASER a fost de 790 μm (Figura 6b).

In the weld seam (Figure 4c), columnar ferrite grains and small inter-metallic compounds dispersed in their matrix are observed.

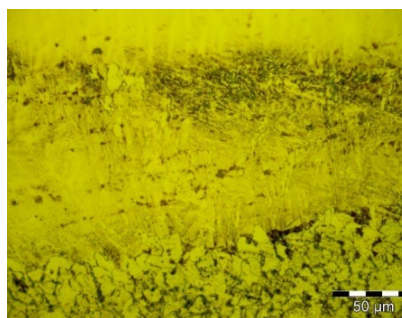
In the case of the sample loaded using the TIG process, the extension of the heat-affected zone is much smaller (Figure 5a), because of the low heat input during welding compared to the MAG process, which determined the reduction of the overheating zone and the absence of gross grains of Widmanstatten ferrite.

However, a slight tendency to increase the ferrite and pearlite grains can be noted, up to 3 times compared to the grain size of the base material. In the partial mixture zone (Figure 5b) there can be observed Fe-rich areas that have an acicular ferrite aspect. In the welded deposition (Figure 5c) acicular ferrite grains with columnar dendritic evolution are observed, similar to those in the MAG deposition.

When it comes to LASER facing, the fusion line has a different appearance than the ones that have been encountered in electric arc welding. The high-energy LASER pulses caused deep but localized melting of the base material, which caused the root jagged appearance, with a profile in accordance with each deposited layer (Figure 6a). There can be seen areas of mixture with the base material and some small solidification shrinkage cracks from the second pass. The root penetration of the LASER beam was 790 μm (Figure 6b).



a. zona de tranziție între depunerea prin sudare și metalul de bază
a. the transition zone between the welded deposit and the base metal



b. detaliu pe zona de tranziție, Mărire 1000x
b. detail on the transition area, 1000x magnification

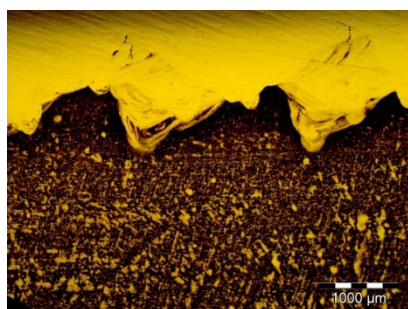


c. sudură
c. weld seam

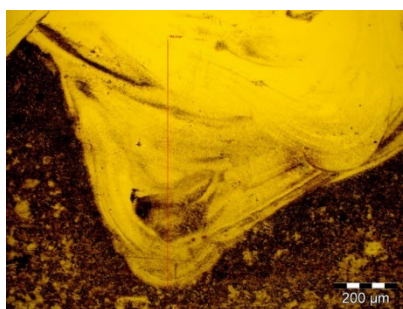
Fig. 5 Aspecte microstructurale ale depunerii sudate cu procedeul WIG
Fig. 5 Microstructural aspects of the deposition made with the TIG process

La o putere de mărire superioară (1000x, Figura 6c), în zona de supraîncălzire au putut fi puși în evidență grăunții de ferită aciculară de tip Widmanstatten care s-au format imediat sub linia de fuziune. Extinderea ZIT a fost cea mai redusă dintre toate probele analizate.

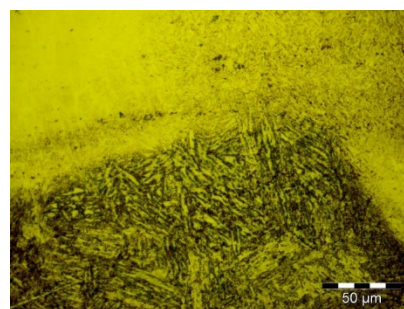
For higher magnification, in the overheating zone (1000x, Figure 6c), acicular Widmanstatten-type ferrite grains that formed immediately below the fusion line could be seen. The extension of the HAZ was the least out of all the analysed samples.



a. linia de fuziune și zona de tranziție între depunerea prin sudare și metalul de bază
a. the fusion line and the transition zone between the welded deposit and the base metal



b. rădăcina sudurii
b. weld root



c. subzona de supraîncălzire a zonei influențate termic
c. overheating subzone of the heat-affected zone

Fig. 6 Aspecte microstructurale ale depunerii sudate cu procedeul LASER
Fig. 6 Microstructural aspects of the deposition made with the LASER process.

3.4 Încercarea de duritate a depunerii

Măsurarea microdurității în diferite zone ale probelor încărcate prin sudare s-a realizat cu Microdurimetrul Shimadzu HMV 2T. Forța de indentare a fost de 4,903 N, iar timpul de apăsare de 10 secunde. Valorile de duritate se prezintă în tabelul 3, iar analiza comparativă a valorilor durității în Figura 7.

Din analiza rezultatelor de duritate se observă că la sudarea cu LASER se înregistrează cele mai mari valori ale durității primului strat, ceea ce indică o diluție minimă cu substratul din oțel.

3.4 Hardness testing of the deposit

The microhardness was measured in different areas of the samples loaded by welding using the microhardness machine Shimadzu HMV 2T. The indentation force was 4.903 N and the pressing time was of 10 seconds. The hardness values are presented in Table 3 and the comparative analysis of hardness values is in Figure 7.

Analysing the hardness results, it is observed that the LASER welding shows the highest values of hardness in the first layer, which indicates a minimum dilution with the steel substrate.

Tabel 3. Valorile durității HV 0.5 determinate pe probele sudate
Table 3. HV 0.5 Hardness values determined on the welded samples

Proba Sample	Zona de măsurare Measurement area	Valori individuale, HV 0.5 Individual values, HV 0.5	Valoare medie, HV 0.5 Average values, HV 0.5	Valoare medie, HRC Average values, HRC
MAG GMAW	MB	167, 169, 168, 172, 168	169	-
	ZIT	185, 186, 184, 183, 178	183	-
	Strat 1	310, 309, 301, 298, 300	304	30
	Strat 2	387, 388, 406, 403, 412	399	41
	Strat 3	502, 501, 509, 505, 502	504	49
WIG TIG	MB	166, 169, 172, 168, 170	169	-
	ZIT	173, 178, 181, 187, 183	180	-
	Strat 1	470, 462, 466, 462, 463	465	47
	Strat 2	560, 558, 557, 554, 556	557	52.8
	Strat 3	566, 563, 556, 562, 559	561	53
LASER	MB	171, 169, 167, 172, 165	169	-
	ZIT	218, 220, 217, 214, 216	217	-
	Strat 1(vârfuri rădăcini)	534, 536, 536, 536, 539	536	51.5
	Strat 2	566, 560, 565, 573, 567	566	53.3

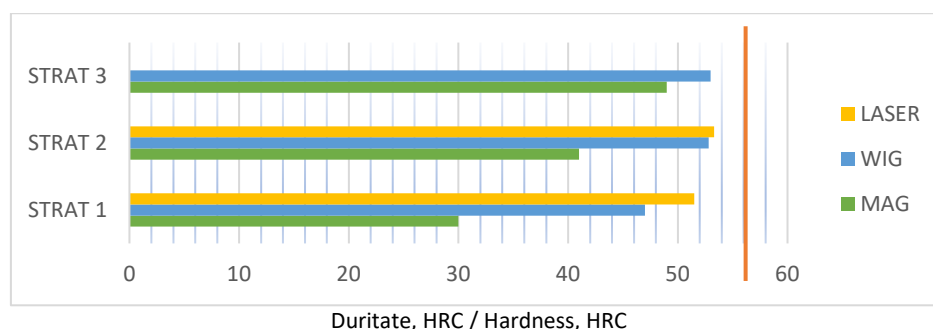


Fig. 7 Comparația valorilor de duritate HRC în funcție de procedeu și de strat
Fig. 7 Comparison of HRC hardness values depending on the process and the welded layer

Totodată, la sudarea MAG s-a obținut cea mai mică duritate după 3 straturi suprapuse, deoarece diluția în acest caz a fost cea mai mare

At the same time, GMAW obtained the lowest hardness after 3 overlapping layers, because of the higher dilution in this case.

4. Concluzii

În urma analizei microscopice și a încercărilor de microduritate s-a observat, încă de la prima depunere, calitatea mai bună a depunerilor prin sudare cu fascicul LASER. Comparativ cu procedeul de sudare MAG, primul strat depus cu LASER a atins valori ridicate ale durității, datorită diluției reduse. Depunerile realizate cu procedeul de sudare WIG au atins valori ale durității comparabile cu cele obținute cu LASER. Analizând aspectele tehnice și economice, se poate opta pentru una sau alta dintre variantele studiate. Se remarcă performanțele procedeului de încărcare LASER și posibilitatea de înlocuire a procedeului WIG în cazul aplicațiilor unde volumul de metal depus este mic. Procedeul MAG este preferat pentru încărcări dure realizate pe suprafețe mari, deși necesită un consum mai mare de material depus pentru a se ajunge la valorile optime de duritate. Pentru aplicații cu grad de uzură ridicat, când se dorește restabilirea cotelor de fabricație și prelungirea duratei de funcționare a produsului, încărcarea dură prin sudare MAG este varianta preferată. Dacă este nevoie doar de o îmbunătățire a ciclului de viață, la care înălțimea depunerii nu depășește 3 mm, procedeul LASER este preferabil.

4. Conclusions

Following the microscopic analysis and the microhardness tests, the best quality of the LASER depositions was observed from the first layer. Compared to the GMAW process, the first LASER deposited layer achieved high hardness values due to the reduced dilution. Deposits made with the TIG welding process reached hardness values comparable to those obtained with LASER.

Analysing the technical and economic aspects, one can opt for one or another of the studied options. The performances of the LASER hardfacing process and the possibility of replacing the TIG process in the case of applications where the volume of deposited metal is small are to be noted. The GMAW process is preferred for hardfacing of large surfaces, even though it requires a higher consumption of filler metal to reach the optimal hardness values. For high-wear applications where it is desired to restore manufacturing tolerances and extend product life, GMAW hard loading is the preferred option. In the situation where only an improvement of the life cycle is needed and where the height of the deposition does not exceed 3 mm, the use of the LASER process prevails.

Bibliografie References

- [1] 1. Voiculescu, I.; Geanta, V.; Stefanoiu, R.; Binchiciu, H.; Vida-Simiti, I.; Vasii, R., Study on Hardfaced Wear Resistant Bronze Alloy, International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, Germania, 2010, p. 610-617.
- [2] 2. Chioibas, D.; Mihai, S.; Cotrut, C.M.; Voiculescu, I.; Popescu, A.C., Tribology and corrosion behaviour of grey cast iron brake discs coated with Inconel 718 by direct energy deposition, Int. Journal of Adv. Manufacturing Technology, Q2, Volume 121, Issue 7-8, Page 5091-5107, Published, AUG 2022, doi:10.1007/s00170-022-09646-7
- [3] 3. Geambazu, L.E.; Voiculescu, I.; Manea, C.A.; Bololoi, R.V., Economic Efficiency of High-Entropy Alloy Corrosion-Resistant Coatings Designed for Geothermal Turbine Blades: A Case Study, Applied Science-Basel, Vol.12, Issue 14, Art. No. 7196, 2022, doi:10.3390/app12147196

- [4] 4. Alghamdi, A.S.; Abdel Halim, K.S.; Amin, M.A.; Alshammari, A.S.; Fathy, N.; Ramadan, M., Interfacial Microstructure and Corrosion Behaviour of Mild Steel Coated with Alumina Nanoparticles Doped Tin Composite via Direct Tinning Route. *Coatings* 2021, 11, 1318, <https://doi.org/10.3390/coatings11111318>
- [5] 5. Löbel, M.; Lindner, Th., Lampke, Th., Enhanced Wear Behaviour of Spark Plasma Sintered AlCoCrFeNiTi High-Entropy Alloy Composites, *Materials* 2018, 11, 2225; doi:10.3390/ma11112225
- [6] 6. Ahn D.G., Hardfacing Technologies for Improvement of Wear, Characteristics of Hot Working Tools: A Review, *Int. Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2013, Vol. 14, No. 7, pp. 1271-1283.

Pentru citare:

Crăciun, Șt., Gogu, D., Voiculescu, I., Comparative analysis of three hardfacing processes using the same filler material, *Sudura*, nr. 2 (2023), year XXXIII, x-y