

## PERSPECTIVE ALE PROCESULUI DE SUDARE PRIN FRECARĂ CU ELEMENT ACTIV ROTITOR

**Botez I., Colin T., Stoicev P.\*, Botez A., Trifan N.**

Universitatea Tehnică a Moldovei, bd. Ștefan cel Mare, 168, MD-2004, Chișinău, Republica  
Moldova

\*e-mail: [petru\\_n@mail.utm.md](mailto:petru_n@mail.utm.md)

Procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor, a devenit o metodă răspândită de îmbinare a materialelor, în special a metalelor neferoase ca aluminiul, cuprul, magneziu și aliajele acestora. Acest proces de sudare este un proces fiabil, pur mecanic, caracterizat printr-un număr redus de parametri, simplu de verificat și de reprodus. Procedeul prezentat este ecologic, se caracterizează printr-un consum energetic redus, fără degajare de noxe, stropi de metal și radiații.

Cuvinte-cheie: sudare, frecare, rotitor, parametrii, autoreglare.

The welding friction stir has become a widespread method of combining materials, especially metals like aluminum, copper, magnesium and their alloys. This welding process is reliable, purely mechanical, characterized by a small number of parameters, simple to check and replicate. The presented method is organic, characterized by a low energy, without release of pollutants, metal splashes and radiation.

Keywords: welding, friction, stir, parameters, self.

### INTRODUCERE

Procedeul de sudare prin frecare, se realizează datorită încălzirii pieselor rezultat al eliminării căldurii în urma frecării reciproce a suprafețelor pieselor de îmbinat și se caracterizează în principiu prin numărul redus al parametrilor tehnologici, calitatea corespunzătoare a îmbinării obținute și reproductibilitatea relativ ușoară a produsului [1].

Această metodă de sudare nu necesită materiale de aport și consumabile (electrozi, fluxuri, gaze protectoare, etc.). Randamentul energetic al procesului de sudare prin frecare cu element activ rotitor este superior proceselor de sudare prin încălzire cu arc electric sau prin inducție. Procesul se caracterizează prin simplitatea constructivă a mașinilor de sudat, durata redusă de sudare și posibilitatea automatizării acestui proces. Această metodă de sudare permite realizarea îmbinărilor eterogene între materiale de diferite structuri compoziționale și cu diferite temperaturi de topire (MP – materiale elaborate prin metalurgia pulberilor).

De exemplu, prin frecare se pot suda materialele: aluminiu și aliajele sale cu: wolfram, cupru MP, wolfram MP, titan și aliajele sale, oțel turnat, fier, oțel MP, oțel pentru automate, oțel aliat (austenitic), oțel

aliat (feritic), oțel slab aliat, oțel nealiat, magneziu și aliajele sale, cupru și aliajele sale, fonta cenușie, aluminiu și aliajele sale, aluminiu MP.

Fonta cenușie se sudează cu: fier, oțel MP, oțel pentru automate, oțel aliat austenitic, oțel aliat feritic, oțel slab aliat, oțel nealiat, fontă cenușie.

Procedeul de sudare prin frecare este aplicabil, ca regulă, la îmbinarea materialelor fuzibile. Procesul are loc la temperaturi mai inferioare temperaturii de topire a materialelor, deaceia îmbinarea are loc la temperaturi mai joase decât temperaturile atinse la sudarea printopire sau prin rezistență electrică. Tensiunile remanente și deformațiile sunt mult mai joase. Modificarea compoziției chimice și diluția sunt minime, iar zona influențată termic are suprafață minimă. Sudarea prin frecare se realizează de obicei fără pregătire prealabilă a componentelor de sudat, fără utilizarea materialelor de adaos, cu deformații minime.

În prezent sunt cunoscute mai mult de 20 de procedee și variante tehnologice de sudare prin frecare, care cuprind o gamă variată de aplicații în sudare, brazare, încărcare, formare, procesare, tăiere etc.

Dintre aceste procedee moderne, sudarea cu element activ rotitor a cunoscut o dezvoltare rapidă și o utilizare industrială

vertiginoasă. Aplicată cu preponderență profilelor extrudate din aliaje de aluminiu, sudurile prin acest procedeu exclude în mare parte dificultățile tehnice existente la aplicarea sudării cu arc electric.

## SUDAREA PRIN FRECARÉ CU ELEMENT ACTIV ROTITOR

Sudarea cu element activ rotitor derivă din procedeu de sudare prin frecare și constă în penetrarea unei scule rotitoare în rostul de sudat. Căldura degajată datorită frecării dintre elementul activ și materialul pieselor de sudat, generează o zonă concentrică de material plastifiat. Prin deplasarea sculei în lungul rostului, materialul plastifiat este omogenizat și transferat permanent din fața acesteia spre zona de degajare, unde se răcește și realizează o legătură, între reперele de sudat în fază solidă (Fig. 1).

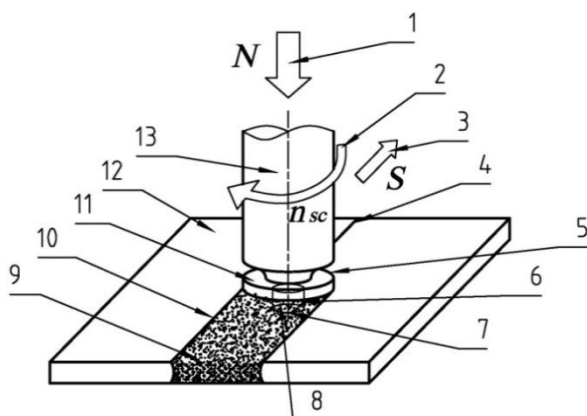


Fig. 1. Schema de principiu a procesului de sudare cu element activ rotitor: 1- forța de apăsare asupra elementului activ rotitor; 2- sensul de rotire al elementului activ rotitor; 3- direcția mișcării de avans a elementului activ rotitor; 4- linia de contact a tablelor; 5- partea de atac a sculei; 6- degetul elementului activ rotitor; 7- latura de limitare a sudurii; 8- partea de ieșire a sculei; 9- cusătura sudată, 10- latura de avans a sudurii; 11- umărul elementului activ rotitor; 12- ansamblul îmbinat (din două table); 13- element activ rotitor.

Sudarea prin frecare cu element activ rotitor este o metodă de îmbinare a semifabricatelor metalice, în stare solidă. Elementul activ rotitor constă dintr-un deget profilat, prevăzut cu un umăr,

ale căror suprafețe vin în contact cu materialul pieselor de sudat. În mișcarea lor aceste suprafețe generează căldură prin frecare și deformare plastică adevărată a materialului

pieselor, formînd un nucleu conic, concentric de material plastifiat al ambelor piese îmbinate [3].

Elementul activ, antrenat în mișcarea de avans la sudare, dizlocă materialul astfel plastifiat dinspre partea de atac spre zona posterioară a acesteia, aplicînd totodată prin umărul acesteia o forță de forjare, pentru trasarea materialului la nivelul suprafețelor superioare ale pieselor îmbinate, finisînd și consolidînd cusătura. Volumul conic de material plastifiat se deplasează simultan cu scula și se solidifică treptat, avînd ca plan vertical de simetrie, planul care trece prin suprafețele de contact reciproc al ambelor table care se îmbină [1].

Calitatea și microstructura îmbinărilor sudate prin frecare cu element activ rotitor, sunt determinate, ca regulă, de următorii factori:

- forma și dimensiunile elementului activ rotitor;
- viteza de rotație a sculei;
- viteza de avans la sudare;
- forța de apăsare frontală;
- natura și caracteristicile materialelor, semifabricatelor sudate.

Procesul de sudare prin frecare cu element activ rotitor se caracterizează prin regimurile de prelucrare mecanică: turația sculei-  $n$ , viteza de avans-  $s$ , forțele de sudare-  $f$ .

Procesul de sudare decurge după ciclul de sudare, prezentat pe Fig. 2:

1. așezarea semifabricatelor de sudat în dispozitivul de fixare instalat pe masa mașinii-unelte și strîngerea lor în așa fel, ca linia rostului dintre piese să fie aliniată în direcția avansului;

2. poziționarea sculei (elementului activ rotitor) ca axa de rotire a ei să se intersecteze cu linia rostului dintre semifabricate;

3. apropierea elementului activ rotitor, aflat în mișcare de rotație, de suprafețele superioare ale tablelor și pătrunderea acesteia în material, pînă cînd umărul acesteia va atinge suprafețele superioare ale tablelor;

4. antrenarea elementului activ rotitor (sau a semifabricatelor de sudat) după formarea coloanei plastice de material în mișcare de avans;

5. acoperirea prin avans constant a lungimii tablelor îmbinate;

6. retragerea elementului activ rotitor în poziția inițială și eliberarea ansamblului sudat din zona de lucru. Coloana plastică de material se deplasează împreună cu elementul activ rotitor, materialul fiind antrenat prin laminare și amestecare dinspre partea de atac a sculei în spatele acesteia, unde după răcire formează îmbinarea sudată (cordonul sudat) în fază solidă.

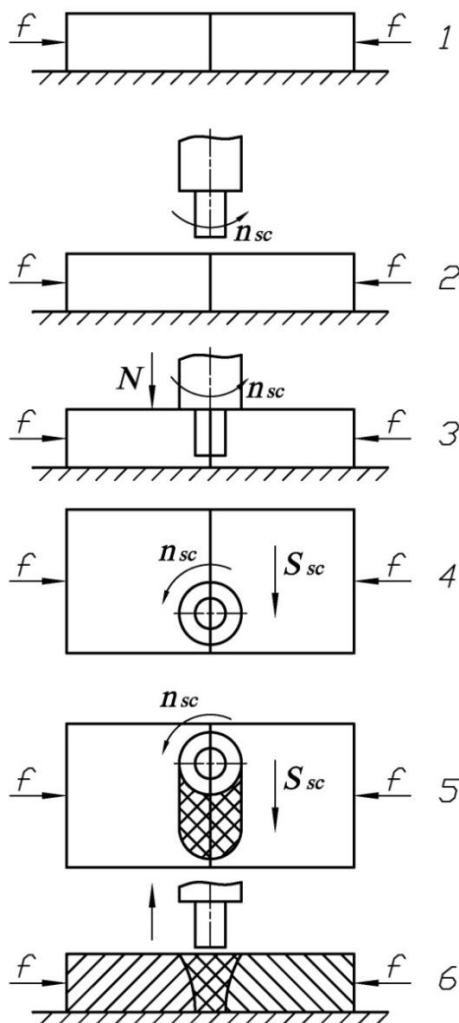


Fig. 2. Schema și secvențele procesului de sudare cu element activ rotitor.

## PARAMETRII PROCESULUI DE SUDARE

Procedul de sudare prin frecare cu element activ rotitor se caracterizează printr-un număr redus de parametri. Dintre aceștia, cele care asigură generarea căldurii și formarea îmbinării sunt parametrii principali:

- forma constructivă și geometria elementului activ rotitor;
- viteza de rotație a sculei;
- viteza de avans la sudare;
- materialele semifabricatelor de sudat.

Căldura răspîndită în semifabricate este generată mecanic, datorită interacțiunii plastice a elementului activ cu materialele semifabricatelor de sudat. Datorită emanării de căldură, materialul se plastificază și sub acțiunea sculei, aflată în mișcare de rotație și de avans în lungul rostului, este antrenat din fața sculei în spatele acesteia. Materialul depus este apoi forjat și tasat de către umărul sculei.

Reacțiunea materialului de sudat asupra sculei se manifestă printr-o forță de rezistență, ale cărei componente sunt prezentate pe Fig. 3:

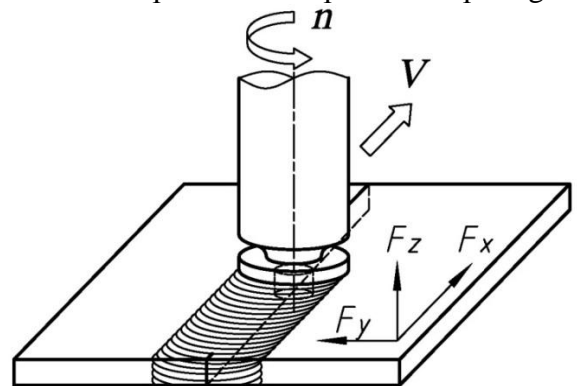


Fig. 3. Componentele forței de sudare:

- forța de avans-  $F_x$ , componenta după direcția de avans la sudare;
- forța laterală-  $F_y$ , componenta principală pe fețele pieselor de sudat;
- forța verticală (axială)-  $F_z$ , care acționează de-a lungul axei de rotație a sculei.

Forțele menționate pot fi considerate ca parametri derivați ai procesului de sudare și sunt utilizați pentru caracterizarea condițiilor de lucru pentru sculă și utilajul de sudat.

Parametrii secundari ai procesului de sudare determină condițiile suplimentare care influențează formarea îmbinării sudate: poziționarea elementului activ față de linia îmbinării; lungimea degetului sculei comparativ cu grosimea semifabricatelor; parametrii de precizie geometrică și de rigiditate a utilajului; condițiile de răcire ale pieselor și sculei; aportul suplimentar de căldură etc.

În urma sudării, materialul semifabricatelor (tablelor sudate) este influențat de un ciclu termic și o acțiune mecanică, care

determină procesele metalurgice prin care se obține îmbinarea sudată.

### EFECTUL DE AUTOREGLARE AL PROCESULUI DE SUDARE CU ELEMENT ACTIV ROTITOR

Pentru realizarea unei îmbinări corespunzătoare prin procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor, temperatura dezvoltată în materialul de bază trebuie să fie egală cu cca 80% din valoarea temperaturii de topire ale aliajelor din care sunt executate semifabricatele îmbinate.

Temperatura la care se încălzește materialul de bază depinde de proprietățile fizice ale acestuia, de forma și dimensiunile elementelor active și de parametrii regimului de sudare.

Generarea căldurii prin frecare se produce preponderent în partea superioară a piesei, datorită acțiunii umărului sculei. În partea inferioară predomină generarea căldurii ca consecință a deformării plastice. Aporturile de căldură generate pot fi estimate în prima aproximare, conform Fig. 4.

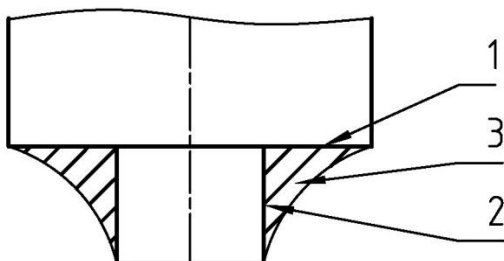


Fig. 4. Generarea căldurii prin frecarea elementelor active ale sculei:

1. Frecare umăr – 1...2 kW
2. Frecare deget – 100...200 W
3. Deformare plastică – 20...40 W

În condiții optime de sudare, în jurul sculei se formează o coloană traconică de metal plastificat, care se deplasează odată cu înaintarea sculei (Fig. 5).

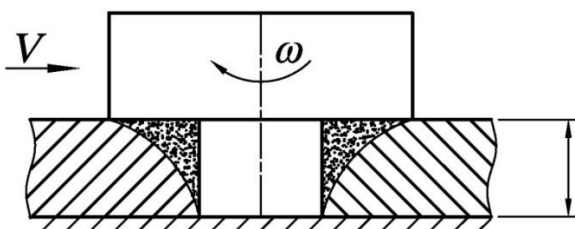


Fig. 5. Formarea coloanei plastice de material

### NITUIRE ÎN PUNCTE CU ELEMENT ACTIV ROTITOR

Sudarea în puncte cu element activ rotitor a apărut ca alternativă de îmbinare a tablelor subțiri din aliaje de aluminiu a caroseriilor autovehiculelor moderne [3]. Sudarea constă în încălzirea locală a tablelor suprapuse cu ajutorul unui electrod (deget) rotitor (Fig. 6).

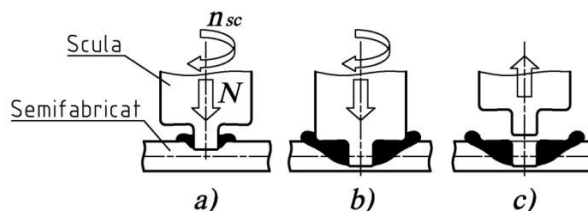


Fig. 6. Secvențele procesului de sudare în puncte prin frecare cu element activ rotitor:

- a. rotirea și apropierea sculei de semifabricate;
- b. sudarea;
- c. îndepărtarea rapidă a sculei.

Metoda propusă înlocuiește sudarea electrică a aluminiului în puncte, la care durabilitatea electrozilor din aliaje de cupru este redusă. După cum arată practica, sudarea în puncte cu element activ rotitor este extrem de avantajoasă la asamblarea semifabricatelor de lungimi mari. Astfel de îmbinări posedă rezistență sporită la oboseală, masă redusă și economie de metal [1].

### SUDAREA TABLELOR CU ELEMENTE ACTIVE ȘI DEGET ÎNCLINAT (DEMONTABIL)

Aceasta este o variantă, de ultimă oră, pentru elementul activ rotitor prezentat anterior, la care degetul este prins demontabil de corpul sculei, permițând reglarea punctului focal al mișcării de rotație orbitală, respectiv a lățimii sudurii realizate. Procesul este mai flexibil și permite schimbarea simplă a lățimii cordonului sudat. Prin această metodă se poate rapid regla instalația de sudare pentru îmbinarea tablelor de diferite grosimi.

Capul pentru antrenarea orbitală a degetului înclinat (demontabil) pentru sudarea tablelor cu element activ rotitor a fost propus de studenții Universității Tehnice a Moldovei. Capul prezentat permite realizarea îmbinărilor

## CONCLUZII

sudate cu element activ rotitor și automatizarea procesului de sudare. Construcția capului de forță pentru realizarea îmbinărilor sudate este prezentat în Fig. 7 și funcționează în modul următor: arborele principal 5 este antrenat în rotație de motorul electric 1 și transmite rotație capătului 8 cu degetul demontabil înclinat 6, instalat sub un unghi  $\alpha$  față de axa capului. Degetul se rotește și reliează încălzirea tablelor îmbinate. Presiunea axială la deget se realizează de cilindru pneumatic cu pistoane cu dublu efect 2 și 3 prin piulița reglabilă 4.

Axa degetului este înclinată față de axa arborelui principal și se intersectează cu ea. Pastilele 7 servesc pentru stabilirea distanței focale – 7. Degetul este instalat demontabil de capătul 8, permițând reglarea punctului focal al mișcării de rotație orbitală, respectiva lățimii necesare a cordonului sudat.

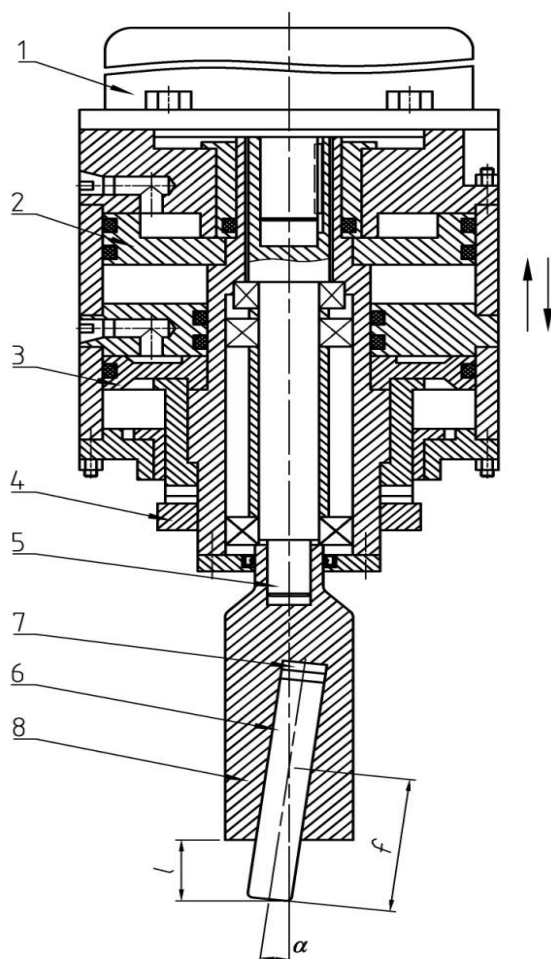


Fig. 7. Schema constructivă a capului instalației pentru antrenarea în mișcare orbitală a degetului înclinat pentru sudarea tablelor cu element activ rotitor (l-lungimea degetului sculei, f-distanța focală a sculei,  $\alpha$ - unghiul focal de instalare a sculei).

Inventat recent, procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor, a devenit o metodă răspândită de îmbinare a materialelor, în special a metalelor neferoase ca aluminiul, cuprul, magneziu și aliajele acestora. Îmbinarea acestor metale prin sudare cu arc electric prezintă dificultăți metalografice și tehnologice. Acest proces de sudare este un proces fiabil, pur mecanic, caracterizat printr-un număr redus de parametri, simplu de verificat și de reproduș.

Procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor se utilizează pentru grosimi de materiale cuprinse între 1,0 și 25 mm, printr-o singură trecere. Sudarea poate fi realizată în orice poziție. Procedeul prezentat este ecologic, se caracterizează printr-un consum energetic redus, fără degajare de noxe, stropi de metal și radiații. Calitatea îmbinării nu este influențată de calificarea sau starea fizică sau psihică a operatorului. Căldura necesară realizării îmbinării este generată cu ajutorul unei scule rotitoare care plasticifică materialul și realizează îmbinarea printr-un proces de forjare-extrudere.

Temperatura maximă atinsă în timpul procesului de sudare ce menține sub temperatura de topire a materialului și ca consecință deformațiile ansamblului sudat, sunt minime. Aceasta permite formarea ansamblului de dimensiuni mari, la precizii dimensionale și abateri de formă acceptabile.

Temperaturile de lucru scăzute afectează în mică măsură structura materialului. Rezistența statică la solicitări la oboseală ating 80-100 % din cea a materialului de bază, fiind superioare celor obținute prin sudare cu arc electric.

Sudarea, prin metoda propusă, poate fi realizată pe mașini de frezat, pe mașini specializate și speciale, utilizând un cap de forță o masă suport pentru susținerea pieselor îmbinate și un dispozitiv pentru fixarea lor rapidă și sigură.

Durabilitatea sculelor și vitezele de avans mari (pînă la 10 m/min) precum și calitatea superioară și constantă a îmbinărilor conduc la consumuri mai reduse de producție față de sudarea cu arc electric.

În prezent mai mult de 130 de firme mondiale au adoptat procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor. Majoritatea dintre acestea au un profil specializat pentru realizarea subansamblelor sudate din semifabricate extrudate, realizând anual sute de mii de kilometri de îmbinări.

### **BIBLIOGRAFIE**

1. Panaitescu Ș. Sudarea prin frecare cu element activ rotitor. Timișoara, 2009. 210 p.

2. Panaitescu Ș. Influența parametrilor mecanici de intrare asupra parametrilor mecanici de ieșire, la sudarea prin frecare cu

element activ rotitor. Sudura. 2007. Nr.5. P. 13-19.

3. Bloschke T. ș.a. Construcții ușoare realizate economic folosind procedeul de sudare prin frecare cu element activ rotitor. Sudura, 2006, nr. 6, p. 17-19.

4. Botez I., Botez A. Sudarea prin frecare cu element activ rotitor. AGEPI, INFO, 2009, nr.3, p. 46-48.

5. Brevet de invenție. 2955, MD, B 23 K 20/12. Procedeul și dispozitiv de sudare prin frecare / I. Bostan, I. Botez, V. Dulgheru ș. a. (MD). Cererea depusă 01.08.2005, BOPI, nr. 1/2006.

Prezentat la redacție la 7 septembrie 2012