

## **Sudarea prin frecare cu element activ rotitor in varianta hibrida – Sinteza documentara**

Analiza documentara a fost realizata prin prelucrarea informatiilor privind sudarea FSW din baza de date a ASR, inclusiv din biblioteca proprie, respectiv prin prelucrarea unor informatii existente pe internet, inclusiv in baza de date Science Direct.

O directie speciala in domeniul dezvoltarii proceselor de sudare care a cunoscut o evolutie masiva in ultimii 20 ani se refera la combinarea a doua procedee de sudare si crearea unor procedee noi, cunoscute ca si procedee de sudare hibride. In general, un procedeu de sudare hibrida prezinta caracteristici care pot fi superioare celor doua procedee de sudare. In anumite conditii interactiunea celor doua procese de sudare creeaza prin efect sinergic rezultate ce depasesc suma efectelor separate ale celor doua procese asupra unor anumite caracteristici. Cel mai performant procedeu de sudare hibrida utilizat in prezent cupleaza sudarea cu laser cu sudarea cu arcul electric. Calitatile acestui procedeu hibrid se refera, mai ales, la cresterea vitezei de sudare, cresterea grosimii de material sudabile si a marirea abaterii permise a deschiderii rostului, la sudare fat de caracteristicile sudarii cu laser.

Prin combinarea sudarii FSW cu un alt procedeu de sudare se poate obtine, de asemenea, un procedeu de sudare hibrida. In continuare se prezinta cateva date din literatura de specialitate actual care trateaza acest subiect.

Majoritatea lucrarilor se refera la sudarea FSW asistata cu laser. Exista, de asemenea, lucrari ce abordeaza procedeul hibrid FSW - arc electric, respectiv FSW – incalzire prin inductie.

Extinderea domeniului de utilizare a sudarii FSW la materiale cu temperaturi de topire inalte ca otelul si aliajele de titan este dificila datorita uzurii excesive a sculei si cerintelor pentru materialele utilizate pentru aceasta. Sudarea FSW asistata cu laser ofera o alternativa favorabila pentru acest grup de materiale. Fasciculul laser asigura o preincalzire si inmuiera a materialului si, ca rezultat, o uzura mai redusa a sculei. Un astfel de proces hibrid a fost dezvoltat de Oak Ridge National Laboratory din SUA, [ <http://www.physorg.com/news85681842.html> ]. Sudarea hibrida FSW asistata cu laser conduce si la marirea eficientei si flexibilitatii de aplicare a procedeuului FSW

in situ si la grosimi mai mari de material. Sudarea FSW in varianta clasica se aplica in prezent intr-un sector relativ ingust al pietii de sudura, sector caracterizat prin structuri sudate simple realizate in ateliere fixe din materiale ca aliaje de aluminiu si magneziu. Sudarea hibrida FSW ofera insa o flexibilitate mult mai mare, chiar in conditii de santier, pentru imbinarea unor structuri complexe de mare dimensiune, realizate, in general, din elemente cu grosime mai mare fabricate din materiale cu rezistenta ridicata si comportare la temperature inalte (oteluri de inalta rezistenta, titan, superaliaje). Ca domenii speciale de aplicatie de mare perspectiva se au in vedere fabricatia conductelor din otel de mare diametru si structurile navale, [Laser Assisted Friction Stir Welding at Oak Ridge National Laboratory, [http://www1.eere.energy.gov/industry/intensiveprocesses/pdfs/flexible\\_hybrid\\_friction.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/intensiveprocesses/pdfs/flexible_hybrid_friction.pdf) ] .

Asa cum s-a mentionat, aplicatiile prezente ale sudarii FSW sunt limitate la elemente cu geometrie simpla, sudate in ateliere fixe. In vederea transformarii sudarii FSW intr-o tehnologie de imbinare de larga utilizare, inclusiv pentru cazul fabricatiei in situ a unor structuri complexe cu grosimi mai mari din materiale cu rezistenta inalta este necesara imbunatatirea materialului sculei FSW, dezvoltarea unor tehnici de sudare hibride FSW cu surse auxiliare de incalzire pentru a reduce fortele de forjare, respectiv punerea la punct a unor tehnici de sudare multistrat. Este necesara realizarea unor instalatii mobile de sudare cu posibilitati de aplicare pe santier, [Z. Feng - <http://www.ornl.govtools.us/ActiveRD.aspx#1>]. Pentru realizarea unui mare proiect de cercetare FSW care trateaza si sudarea hibrida s-au alocat 10,5 milioane dolari de catre Departamentul de Energie al SUA, [Welding Journal, vol.88, no.1. Jan.2009. p.9].

Experimentari efectuate la TWI au aratat efectul favorabil al unei preincalziri la sudarea FSW a materialelor feroase sau refractare asupra uzurii sculei de sudare, [W.M. Thomas, P.L. Threadgill and E.D. Nickolas, Friction Stir Welding of Steel - <http://steel.keymetals.com/default.aspx?ID=CheckArticle&LN=EN&NM=233> ] . In cazul procedurii de sudare FSW conventional, faza critica a procesului de sudare este cea de coborare a sculei si incepere a procesului de sudare. De aceea, o preincalzire a zonei de atac a sculei inainte de inceperea procesului de sudare este favorabila. In continuare, procesul de sudare poate fi realizat fara aportul sursei termice suplimentare. Dependent de caracteristicile mecanice ale materialului de

sudat și de difuzivitatea termică a sa se poate menține încălzirea suplimentară pe întreaga durată a procesului de sudare. În situații opuse, pentru anumite materiale poate fi recomandată o răcire a materialului sau sudarea în apă. O preîncălzire a sculei poate fi benefică în cazul unor materiale pentru scula care sunt fragile la temperaturile mediului ambiant. Prin preîncălzire ele devin mai ductile și procesul se desfășoară în condiții mai bune. În principiu, încălzirea piesei de sudat poate fi realizată prin orice tehnică ca, de exemplu, cu gaz, radiații, arc electric, frecare, inducție sau rezistență. Încălzirea prin inducție cu înaltă frecvență este favorabilă întrucât se asigură o încălzire în volum și nu numai la suprafața piesei. La TWI s-au experimentat procese de sudare WIG, MIG, sub flux, cu sarmă caldă, precum și electric prin presiune pentru a umple rosturile de sudare din fața sculei FSW. Prin această tehnică sudarea FSW poate fi utilizată și ca un proces de umplere de material sau de procesare post – sudare pentru rafinarea structurii sau eliminarea unor defecte superficiale. În anumite cazuri în care se aplică sudarea FSW la temperaturi înalte se recomandă utilizarea unei protecții cu gaz pentru a evita oxidarea sculei și a materialului de sudat.

Așa cum s-a arătat, la sudarea oțelurilor și a materialelor refractare ca aliaje de titan sau superaliaje pe bază de nichel o problemă deosebită o produce uzura sculei. De aceea, sunt necesare materiale deosebite pentru realizarea sculei. Acestea trebuie să aibă caracteristici înalte de tenacitate, rezistență la temperaturi mari, rezistență la uzură și oxidare. Dezvoltări recente au condus la utilizarea cu succes a unor scule pe bază de wolfram sau iridium, adecvate pentru sudarea oțelurilor și a aliajelor din titan. Folosind scule din astfel de materiale, utilizarea sudării hibride FSW este avantajoasă întrucât asigură prelungirea duratei de viață a acestor scule, [S.A. David and Z. Feng, <http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/pres/121461.pdf>].

Sudarea FSW asistată cu laser este aplicată, de asemenea, la sudarea structurilor oțel-aluminiu de tip drawable steel-aluminium tailored hybrids, [M. Merklein, A. Giera, Laser assisted Friction Stir Welding of drawable steel-aluminium tailored hybrids, International Journal of Material Forming, January 2008, 1299-1302. Cunoștințele actuale privind sudarea FSW a combinației oțel - aluminiu sunt limitate. În același timp, trebuie relevant faptul că structuri hibride având grosimea sub 1 mm nu pot fi sudate prin procedeul FSW în varianta clasică. S-au obținut însă rezultate favorabile prin preîncălzirea părții din oțel folosind fasciculul laser, adică prin sudare hibridă.

O solutie eficienta de sudare hibrida FSW a otelului si aliajelor de titan utilizeaza o sursa laser diode. Pe langa reducerea uzurii sculei se consemneaza si o crestere a vitezei de sudare. Pentru incalzirea suplimentara poate fi utilizat si un arc electric. [[http://www.baesystems.com/ProductsServices/ss\\_tes\\_atc\\_adv\\_mat\\_adv\\_weld.html](http://www.baesystems.com/ProductsServices/ss_tes_atc_adv_mat_adv_weld.html)].

Cercetari in domeniul utilizarii sudarii FSW a aliajelor de aluminiu din sectorul aviatic au fost concentrate spre reducerea fortelor de sudare prin optimizarea geometriei sculei si a parametrilor de sudare, inclusiv prin utilizarea sudarii hibride cu aport suplimentar de caldura, [[http://www.eads.com/1024/en/eads\\_innovation/Innovation\\_Articles/research/friction\\_stir\\_welding.html](http://www.eads.com/1024/en/eads_innovation/Innovation_Articles/research/friction_stir_welding.html) ].

O directie speciala de cercetare la Institutul de sudura din Osaka (Japonia) se refera la dezvoltarea procedeelor de sudare FSW, laser, respectiv a unor procedee hibride a acestora folosind un arc electric sau de plasma. S-a avut in vedere aplicarea rezultatelor la sudarea aliajelor de aluminiu, magneziu, a otelurilor de inalta rezistenta, precum si a imbinarilor eterogene dintre acestea, [[http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/division/mps-eps\\_e.htm](http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/division/mps-eps_e.htm) ].

Prin sudarea FSW asistata cu laser a otelurilor carbon se poate asigura o crestere a vitezei de sudare, microstructura sudurii nefiind afectata de fasciculul laser, [H. Fujii s.a. - [http://www.jstage.jst.go.jp/article/jwstaikai/2007f/0/2007f\\_78/article](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jwstaikai/2007f/0/2007f_78/article) ].

Aplicarea sudarii FSW asistate cu laser conduce, de asemenea, reducerea solicitarilor asupra sculei, respectiv a numarului de defecte la sudarea materialelor cu punct de topire inalte. In acelasi timp, creste gradul de libertate in alegerea parametrilor de sudare, [FUJII Hidetoshi ; TATSUNO T., TSUMURA T., TANAKA M., NAKATA K. - Hybrid Friction Stir Welding of Carbon Steel, Materials science forum , 2008, vol. 580-82, pp. 393-396, <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=20477822> ].

Procedeul de sudare hibrida FSW – WIG a fost studiat la Universitatea din Trieste (Italia). La sudarea FSW clasica apare o limitare a posibilitatilor de aplicare industriala, limitare care deriva din valoarea mare a fortelor care apar in procesul de

sudare. Ca o consecinta a acestor forte sunt necesare sisteme de fixare extrem de rigide, viteze de sudare mici pentru a asigura integritatea sculei, scule din materiale cu rezistenta ridicata . Prin prevederea unei surse suplimentare de energie termica se mareste gradul de libertate in separarea functiei de plastifiere a materialului de cea de omogenizare structurala prin frecare (stirring). Se pot utiliza sisteme care opereaza cu un nivel de solicitari mai redus ce permit conditii de operare termomecanica mai favorabile si viteze de sudare mai mari. Sudarea FSW hibrida nu influenteaza procesele din ZTM intrucat sursa suplimentara de caldura este plasata in fata sculei si foarte apropiate de aceasta. Din aceasta cauza este necesara o cantitate redusa de caldura pentru preincalzire cu o dispersie termica lateral mica. Pentru a caracteriza sistemul de sudare hibrida s-a realizat o modelare cu elemente finite, [Characterisation, modelling and development of a solid state welding process of industrial interest: Friction Stir Welding , 1<sup>st</sup> International Conference and Exhibition “Joining of Aluminium Structures” Moscova,2007, [http://www.ricercaitaliana.it/prin/unita\\_op\\_en-2004095788\\_005.htm](http://www.ricercaitaliana.it/prin/unita_op_en-2004095788_005.htm) ].

Utilizand sudarea hibrida FSW a fost elaborata o solutie noua pentru repararea defectelor de sudare si pentru evitarea aparitiei defectelor de sudare la intersectia unor suduri, [Method of using friction stir welding to repair weld defects and to help avoid weld defects in intersecting welds -United States Patent 6230957]. Intersectia unor suduri prin topire realizate pe materiale sensibile la fisurare ca, de exemplu, aliajul 2195 Al-Cu – Li, prezinta o sensibilitate la fisurare ridicata atat in timpul sudarii, cat si ulterior, cu ocazia efectuarii unor incercari de verificare a sudurilor. Aceste fisuri au fost puse in legatura cu o structura metalurgica particulara in zona de topire a sudurilor VPPA/SPA. Prin resudarea (overwelding) FSW a sudurilor initiale dinspre partea superioara structura turnata este transformata intr-o structura recristalizata cu graunti fini si rezistenta la fisurare.

La NASA a fost inventat un nou procedeu de sudarea hibrida FSW, denumit sudare termica FSW, la care se produce o separare fizica intre sursa de caldura, pin si operatia de forjare, [H. K. D. H. Bhadeshia in <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/FSW/aaa.html> ]. Incalzirea este produsa cu ajutorul unui inductor, ceea ce permite realizarea unui camp de temperatura independent de procesul de sudare FSW. Scula de sudare este un pin fara umar care este urmat de un set de role de

forjare. Acest procedeu a fost dezvoltat în primul rând pentru a permite sudarea plăcilor de grosime mare din titan. La sudarea conventional FSW la grosimi peste 12 mm din titan nu se obțin rezultate corespunzătoare (fără defecte de sudare) datorită faptului că gradientii de temperatură la diferite adâncime de material creează condiții de curgere diferite a materialului. Sudarea hibridă rezolvă această problemă.