



Friction Stir Welding European Qualifications

CU10 – Proiectarea uneltelor de sudare

Inginer FSW



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

10. Definierea imbinarii

10.1 Bune practici pentru dezvoltarea uneltelor de sudare FSW

10.2 Caracteristicile materialului uneltei de sudare

10.3 Referinte

Introducere

- Unealta de sudare este o componenta fara de care procesul de sudare FSW nu ar putea avea loc
- Unealta de sudare deserveste la plastifierea si amestecarea materialului sudat



Unealta de sudare - Cerinte

Unealta de sudare prezinta urmatoarele cerinte:

- ✓ Cea mai simpla forma posibila pentru a reduce costurile
- ✓ Rezistenta la temperature inalte
- ✓ Rezistenta la uzare
- ✓ Rezistenta ridicata la rupere
- ✓ Coeficient de dilatare termica scazut
- ✓ Prelucrabilitate buna
- ✓ Pret scazut

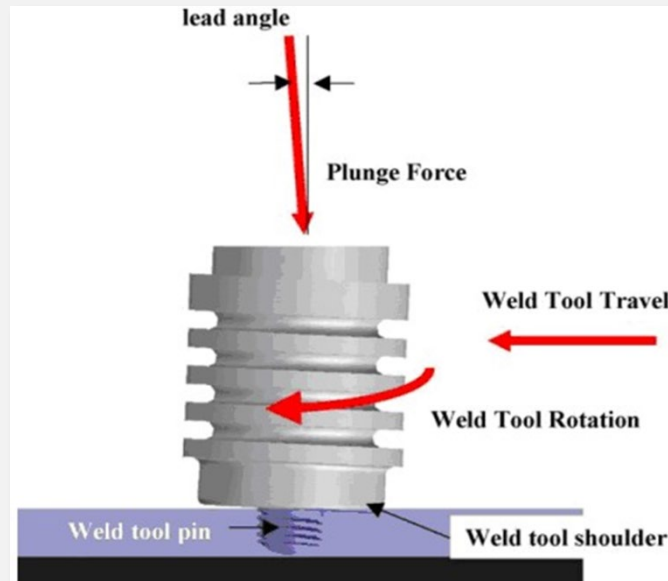
Unealta de sudare

- Unealta de sudare este expusa la incarcari mari si temperature ridicate, in special in cazul sudarii materialelor cu temperatura de topire peste 900°C (oteluri si aliaje de titan).
- Aplicatiile comerciale ale acestor aliaje sunt limitate de pretul si de durata scazuta de viata a uneltelor de sudare
- In ultimele doua decenii a avut loc un progress considerabil la sudarea otelurilor cu FSW
- Fabricarea uneltei de sudare necesita alegerea unui material potrivit, proiectarea formei potrivite a uneltei si tratamentul termic necesar

Unealta de sudare – Geometrie

Unealta de sudare poate fi impartita in doua parti principale:

- ✓ Umarul uneltei de sudare
- ✓ Pinul uneltei de sudare



Unealta de sudare – Functiile principale

- Caldura necesara pentru plastifierea materialului este obtinuta prin frecarea pinului uneltei de sudare cu materialul de sudat
- Umarul uneltei de sudare realizeaza functia de apasare si forjare a materialului plastifiat
- Unealta de sudare deserveste pentru formarea imbinarii sudate
- Primul design inovator TWI realizat in domeniul sudarii aluminiului si aliajelor sale are la baza unealta de sudare concave de forma cilindrica cu filet
- Materialul uneltelor de sudare este de obicei otel de scule

Unealta de sudare– Geometrie

Geometria uneltei de sudare influenteaza:

- Viteza generarii caldurii
- Forta de apasare
- Cuplul
- Din punct de vedere termodinamic materialul de sudat

Unealta de sudare

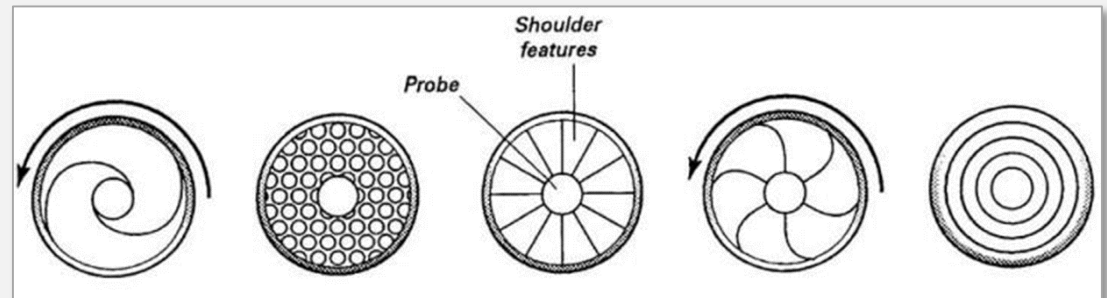
Directia de curgere a materialului plastifiat este afectata atat de geometria uneltei de sudare cat si de miscarea de translatie si de rotatie a uneltei de sudare.

Parametri principali ai uneltei de sudare:

- ✓ Diametrul umarului
- ✓ Unghiul umarului
- ✓ Geometria pinului (include forma si dimensiunea)

Unealta de sudare – Geometria umarului

- Umarul uneltei de sudare este responsabil de generarea caldurii pe suprafata si in vecinatatea materialului de sudat. La grosimi mai mari de material, caldura generata de umarul uneltei nu participa atat de mult la formarea unei suduri bun cat participa caldura generata de pinul uneltei. Umarul realizeaza functia de forjare si apasare si formeaza suprafata zonei sudate.
- Umarul poate avea diferite forme:
 - ✓ Striae
 - ✓ Canale
 - ✓ Cercuri concentrice
 - ✓ Palete



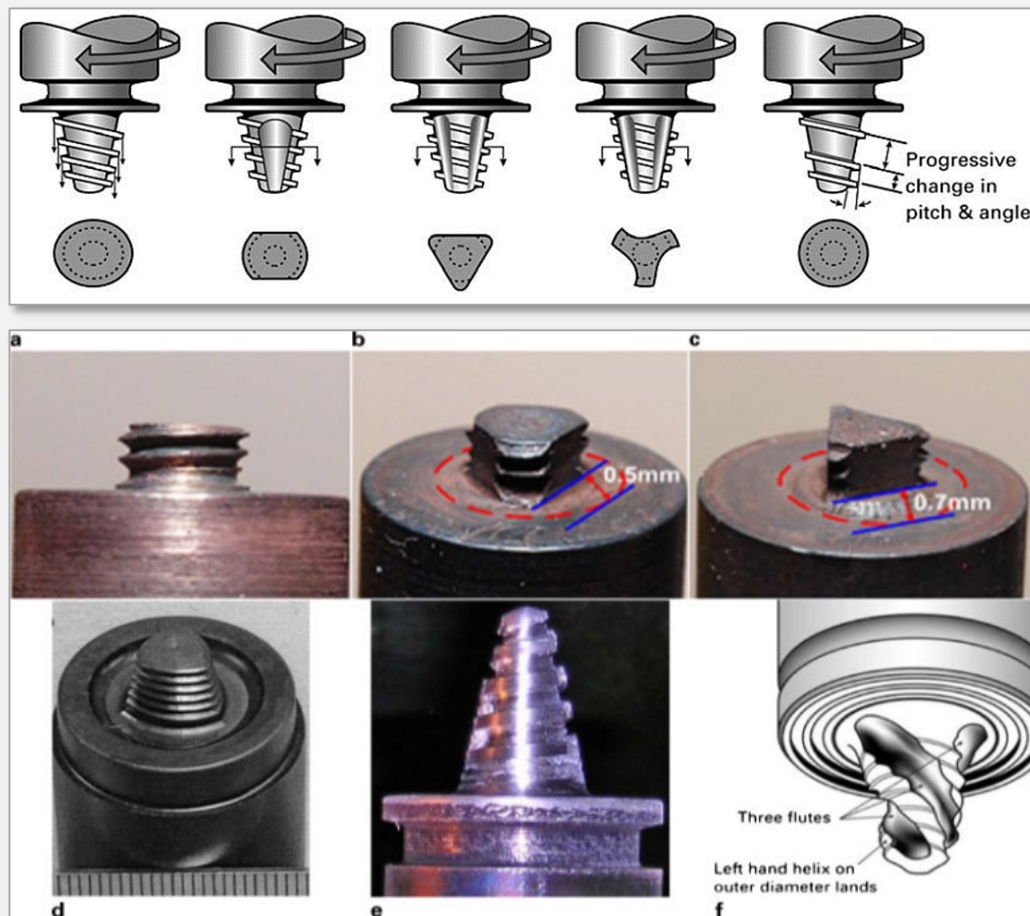
Unealta de sudare – Geometria umarului

- Diametrul umarului uneltei de sudare este important din moment ce umarul genereaza si pastreaza cea mai mare parte a caldurii care este vitala pentru plastifierea materialului de sudat
- Studiile experimentale au aratat ca se poate obtine imbinarea sudata cu cea mai mare rezistenta la un diametru optim al umarului uneltei de sudare
- Microstructura imbinarii sudate poate fi puternic alterata prin schimbarea uneltei de sudare cu umar plat cu o unalta de sudare cu umar concave
- Umarul convex imbunatateste stabilitatea procesului FSW. Rezulta o forta de apasare scazuta si o adancime redusa de patrundere a uneltei de sudare.
- Application of a **convex shape of welding tool shoulder** has proved minimum occurrence of excessive flash, when compared to the concave shape of shoulder.
- Unealta de sudare cu umar concav poate duce la un gradient termic ridicat si la o temperatura ridicata la suprafata in timpul sudarii ceea ce poate duce la deteriorarea calitatii imbinarii sudate

Unealta de sudare– Geometria uneltei

- Pinul uneltei:
 - Este responsabil de frecare si de deformarea materialului in imbinarea sudata
 - Este proiectat astfel penetrarea in materialul de sudat sa se faca usor
 - Influenta gradul de deformare si de amestecare a materialului
- Geometria pinului are o influenta importanta asupra urmatoarelor parametri de sudare:
 - ✓ Viteza de sudare
 - ✓ Viteza de rotatie a uneltei
 - ✓ Forta de apasare

Unealta de sudare – Geometria pinului



Unealta de sudare – Geometria pinului

- Viteza de aplicare a fortei de apasare si directia de curgere a materialului din vecinatatea uneltei de sudare sunt afectate de orientarea filetului de pe suprafata pinului
- Filetele si canalele de pe pin cresc viteza de generare a caldurii datorita suprafetei mai mare de contact, imbunatatesc curgerea materialului si afecteaza fortele axiale si transversal
- Incercarile de sudare au dovedit ca pinul cu forma triunghiulara imbunatateste curgearea de material, in comparatie cu pinul de forma cilindrica
- Pinul de forma triunghiulara este recomandat la sudarea materialelor mai dure.

Caracteristicile materialului din care este fabricata unealta de sudare

- Materialul uneltelor de sudare cu care se sudeaza materiale cu temperature de topire ridicate trebuie sa prezinte proprietati buna la temperaturi care depasesc 900 °C.
- Pe langa rezistenta mecanica, rezistenta la oboseala si duritate la temperature ridicate, unealta de sudare trebuie sa reziste si la uzare mecanica si chimica.
- Polycrystalline Cubic Boron Nitride (PCBN) si otelurile refractare sunt cele mai folosite materiale, ele indeplinind cerintele uneltei de sudare

Materiale recomandate pentru unealta de sudare

Aliaje	Grosime [mm]	Materiale unealta de sudare
Mg	< 6	Otel de scule
Al	< 12	Otel de scule, MP 159
Cu	< 50	Aliaje de Ni, W, PCBN
Ti	< 6	Aliaje de W
Otel inoxidabil	< 6	PCBN, aliaje de W
Otel slab aliat	< 10	WC, PCBN
Ni	< 6	PCBN

Caracteristicile materialului uneltei de sudare

- Fiecare material pentru unealta de sudare are definita temperatura maxima la care se poate folosi
- Uzarea excesiva a uneltei de sudare duce la schimbarea formei uneltei, care influenteaza negativ si calitatea sudurii si astfel creste probabilitatea aparitiei defectelor.
- Uzura uneltei de sudare poate fi cauzata de uzare prin adeziune, prin abraziune si uzare chimica.
- The welding tool may be worn by the interaction mechanism between the welded material and tool material.

Caracteristicile materialului uneltei de sudare

- In cazul uneltelor fabricate din PCBN, uzarea prin adeziune are loc la viteze de rotatie scazute pe cand uzarea prin abraziune apare la viteze de rotatie mari.
- Oxidarea poate cauza schimbari in rezistenta materialului la uzare
- Reactivitatea uneltei se poate suprima prin aplicarea gazului de protective in zona de sudare.
- Tensiunile create la contactul uneltei cu materialul de sudat poate duce la ruperea uneltei de sudare.
- Pentru a preveni ruperea uneltei, se recomanda viteze mici de penetrare a pinului

Caracteristicile materialului uneltei de sudare

Cele mai folosite materiale pentru fabricarea uneltelor de sudare se clasifica in urmatoarele grupe:

- ✓ PCBN, PCBN-WRe
- ✓ Oteluri refractare
- ✓ Aliaje usoare
- ✓ Oteluri de scule

Caracteristicile materialului uneltei de sudare

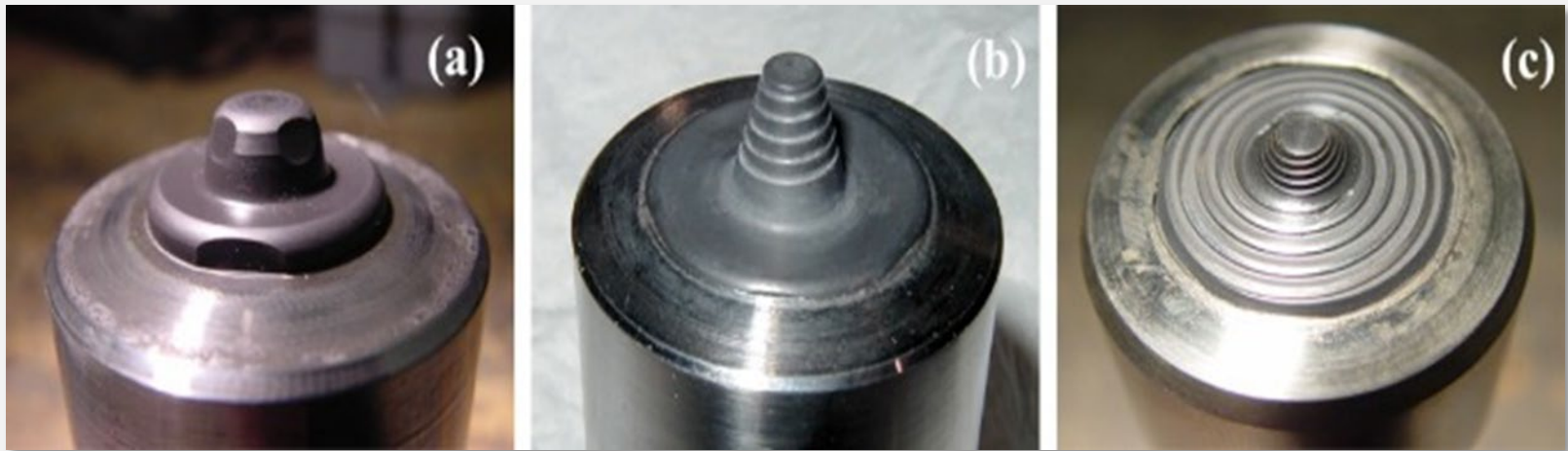
Uneltele fabricate din material PCBN sunt folosite la sudarea aliajelor cu temperature ridicata de topire:

- Oteluri inoxidabile austenitice
- Oteluri inoxidabile duplex
- Oteluri inoxidabile martensitice
- Aliaje de Ni
- Oteluri de scule

Caracteristicile materialului uneltei de sudare

- Marca de oteluri de scule PCBN-WRe ofera o duritate mult mai mare fata de PCBN.
- Otelurile inoxidabile austenitice dau in general cea mai mare viteza de uzare a uneltelor de sudare.
- Parametri de sudare joaca un rol important in viteza de uzare a uneltelor de sudare
- Uneltele realizate din PCBN nu ar trebui sa depaseasca temperature de 900°C.

Caracteristicile materialului uneltei de sudare



Evolutia uneltelor PCBN:

- (a) Early featureless design
- (b) Step spiral probe
- (c) Convex scrolled shoulder step spiral probe

Caracteristicile materialului uneltei de sudare

- La uzarea pieselor functionale ale uneltei de sudare pe baza de material PCBN-Wre, acestea se pot profila de mai multe ori astfel prelungind durata de viata a uneltei de sudare.
- Tensiunile mari care apar in timpul penetrarii uneltei impreuna cu oboseala materialului supus la indoire in timpul sudarii sunt principalele cauze pentru ruperea uneltelor.
- Pentru a inlatura tendinta de rupere, este recomandat sa se realizeze o gaura in punctul presupus de penetrare a uneltei.
- Cele mai bune rezultate la sudarea cu unelte din PCBN sunt obtinute pana la grosimi de 8 mm, la grosimi de peste 8 mm rezultate mai bune sunt obtinute daca se sudeaza cu unelte din PCBN-Wre.

Unelte din oteluri refractare

- Aliajul de Wolfram-Re a devenit popular la fabricarea uneltelor de sudare pentru sudarea otelurilor.
- Prin adaugarea Re se creste mult rezistenta mecanica la temperature ridicate.
- Re reduce deformatia pinului din timpul penetrarii si reduce uzura pinului uneltei de sudare.
- Cu toate astea, viteza de uzare este inca ridicata. De aceea se recomanda alegerea unei unelte cu forma simpla.

Unelte din oteluri refractare

- The shoulder and pin made of refractory material type WRe are smooth without the thread helix.
- Also small amounts of hafnium carbide (HfC) were added to refractory materials
- Another experiments were performed with the materials as: WC-Co, W-La, La_2O_3 , Si_3N_4
- Though the quality of welded joints fabricated with the tool of the mentioned materials was acceptable, the tool life and costs have limited their application mostly for the research purposes

Unelte din aliaje usoare

- The Ni and Co based alloys are used as the tool material for welding of steels.
- The tool made of Co-based alloy is used for welding high-carbon steels, which shows a good wear resistance.
- The welding tools made of light alloys are manufactured similarly as the tools made of refractory metals.
- The pin of welding tool is in the shape of a truncated cone.

Unelte din oțel

- Materialele sub formă de aliaje Al, Mg și compozite ale matricei Al sunt sudate în prezent de unealta/scula realizată dintr-un oțel spentru scule/matrite.
- Unealta de sudare dintr-un oțel de scule/matrite este utilizat pentru sudarea materialelor compozite.
- Uzura uneltei de sudare la sudarea matricilor metalice ale compozitelor este mai mare, în comparație cu sudarea aliajelor moi, din cauza prezenței particulelor abrazive dure în materialele compuse.
- Cercetarile de pana acum au dovedit că unealta de sudare care este utilizata la compozitele matricei Al a fost angrenata in imbinare în timpul sudării și a obținut o formă nouă, optimizată, după care uzura a fost semnificativ redusă.
- Această formă depinde de parametrii procesului și, în general, poate reduce uzura, ca în cazul formei inițiale a sculei, presupunând că se păstrează integritatea îmbinărilor sudate.

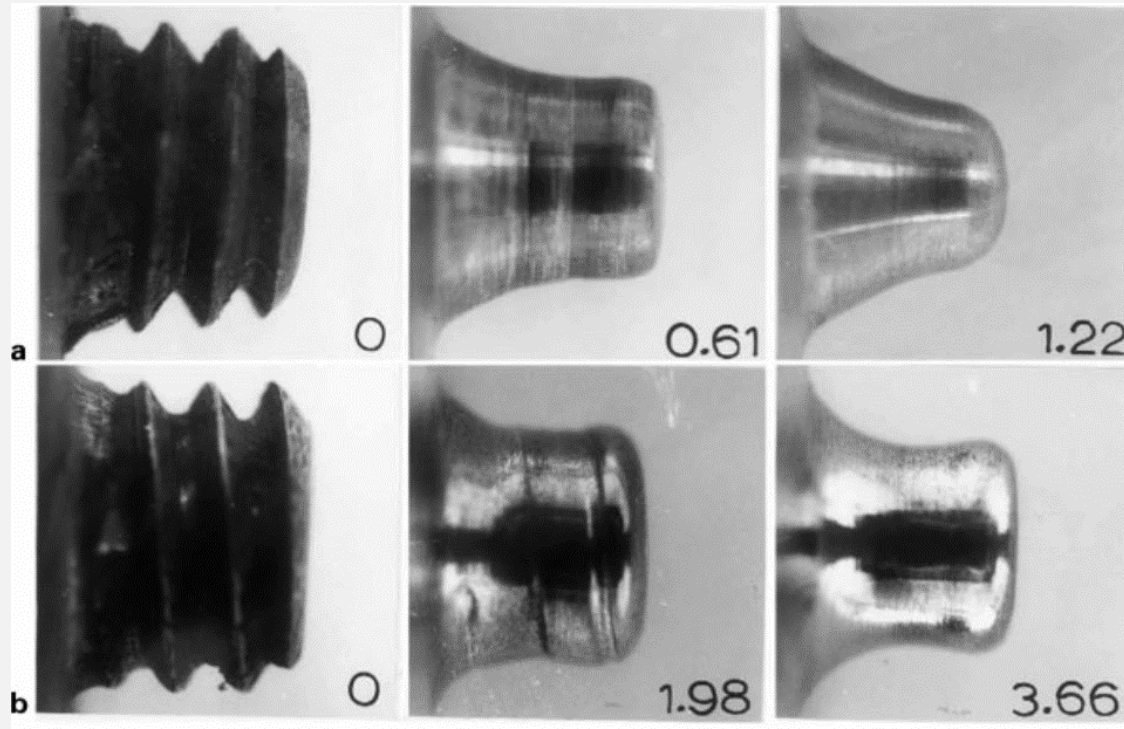
Unelte din otel

- Uzura generală a sculei de sudare crește odată cu creșterea vitezei de rotație, în timp ce este redusă cu viteza de sudare mai mică.
- Setarea corectă a parametrilor de sudare va duce la o uzură mai mică a sculei de sudare.
- Mai multe studii au arătat, că uneltele de sudare nu au nevoie de o geometrie a PIN-ului modificat de un fir Helix.
- Duritatea ridicată, coeficientul scăzut de expansiune termică și conductivitatea termică ridicată fac ca materialul Si₃N₄ să fie potrivit pentru fabricarea sculei de sudare.
- Tratarea unealtei de sudare cu un material inert ca diamant sau TiC, duce la o îmbunătățire suplimentară a uzurii la temperaturi ridicate.

Uzura, deformarea și defectarea sculei de sudare

- Unealta de sudare este purtata în timpul sudării (rotire și agitare a materialului).
- Unealta de sudare poate fi deformată plastic datorită limitei reduse de rezistență la temperaturi și sarcină ridicată.
- Dacă încărcările sunt mai mari decât capacitatea portantă a sculei de sudare, poate apărea o defecțiune.
- Principalele mecanisme de uzură includ uzura adezivă, abrazivă și chimică.

Uzura, deformarea și defectarea sculei de sudare



Evoluția formei uneltei datorită uzurii la procesul FSW la aliajul de Al 6061z20 vol .-% Al2O3 compozit cu matrice metalică

Uzura, deformarea și defectarea sculei de sudare

S-a dovedit experimental că:

- După uzura inițială a unui material de sudare dur, rata de uzură s-a redus semnificativ și, în ciuda acestui fapt, pinii netezi permit fabricarea îmbinărilor sudate solide.
- Materialele de înaltă rezistență ca: PCBN și W sunt selectate datorită tensiunii plastice reduse a sculei de sudare.
- Rezistența ridicată la rupere a materialului sculei de sudare este esențială pentru a reduce probabilitatea unei rupei fragile rapide.

Uzura, deformarea și defectarea sculei de sudare

Atunci când se compară PIN-ul și umărul de sudare, aproape întotdeauna uzura și deformărilor în secțiunea de pinului apar din următoarele motive:

- Pinul sculei de sudare este cufundat în materialul sudat, unde trebuie să reziste la o încărcare mai mare care vine contra mișcării sale, în comparație cu umărul, care este scufundat în material sudat doar parțial.
- Pinul sculei de sudare are o capacitate portanta mult mai mică decât umărul.
- Încărcările mari combinate cu momete de rotație și de îndoire conduc la o sarcină mai mare exercitată pe pin, comparativ cu umărul sculei de sudare.

Uzura, deformarea și defectarea sculei de sudare

- Unelele compuse confecționate din materiale mai dure rezistente la uzură (PCBN, WC) pentru pin și material relativ mai moale (aliaj W-Re) pentru umărul sculei de sudare pot fi soluția pentru probleme privind viața sculei și reducerea costurilor pentru fabricarea sculelor .
- În cazul sudării îmbinărilor suprapuse ale unui material mai dur și mai moale, unealta de sudare este situata în materialul mai moale.
- Se va preveni contactul dintre unealta de sudare și materialul dur, pentru a reduce uzura uneltei/sculei de sudare.
- Cercetările ulterioare în domeniul uzurii duc la experimente orientate spre sudare la viteze mai mici de sudare, preîncălzirea materialului sudat și aplicarea atmosferei de ecranare.

Costuri pentru unealta/scula

- Costurile în sudarea aliajelor de Al sunt considerabil mai mici în comparație cu sudarea oțelurilor. Acestea sunt date în principal de prețul de materialului și, în principal de prețul de prelucrare a acestuia.
- Materialul PCBN este adesea folosit pentru sudarea materialelor mai dure.
- Costurile pentru producerea uneltelor de sudare din material PCBN sunt mari.
- Uneltele de sudare din aliaje W-RE și W-La sunt relativ mai ieftine decât uneltele fabricate din PCBN, dar în ceea ce privește uzura, acestea prezintă o uzură mai rapidă, datorită rezistenței și durtății lor mai scăzute la temperatura ridicată.
- Din motivele menționate mai sus, este necesar să investim în cercetarea pentru o dezvoltare ulterioară de materiale de scule mai accesibile și mai fiabile.

Concluzii

- Unealta FSW este supusa la sarcini mari și temperaturi ridicate în principal la sudarea aliajelor dure ca oțeluri și aliaje de titan.
- Producția uneltei de sudare necesită o selecție adecvată a materialelor necesare fabricării și proiectării unei geometrii adecvate a formei sculei.
- Unealta de sudare trebuie să îndeplinească următoarele cerințe: cea mai simplă formă pentru a reduce costurile de producție, rezistența la temperaturi ridicate, uzură, rezistență la rupere ridicată, expansivitate termică scăzută, o prelucrabilitate bună și un preț scăzut.
- Unealta de sudare este compusa din două părți - umărul și pinul. Umărul uneltei/sculei execută funcția de presare și forjare a materialului plasticizat

Concluzii

- Pinul sculei provoacă frecare și deformări ale materialului în linia de îmbinare a sudurii.
- Pe lângă cerințele privind rezistența, oboseala și duritatea la temperaturi ridicate, materialul sculei de sudare trebuie să fie rezistent la uzura mecanică și chimică.
- Oțelul utilizat în compoziția uneltei/sculei este adecvat pentru sudarea aliajelor Al și Mg.
- Cele mai utilizate materiale pentru fabricarea uneltelor de sudare pentru sudarea FSW a oțelurilor sunt: aliajele pe bază de PCBN, WC, WRe, Ni și Co.
- Materialele de înaltă rezistență ca: PCBN și W sunt selectate datorită reducerii deformării plastice a sculei de sudare.

Concluzii

- Unelte;e/sculele compuse confecționate din materiale mai dure, rezistente la uzură (PCBN, WC) pentru pin și material relativ mai moale (aliajul W-Re) pentru umărul sculei de sudare pot fi soluția problemelor legate de durata de viață a instrumentelor și reducerea costurile de fabricație ale sculei.
- Cercetările ulterioare în domeniul uzurii duc la experimente orientate spre sudare la viteze mai mici de sudare, preîncălzirea materialului sudat și aplicarea atmosferei de ecranare.
- Costurile la sudarea FSW a aliajelor Al sunt considerabil mai mici în comparație cu sudarea oțelurilor. Costul dat în principal de prețul materialului și în principal de prețul pentru prelucrarea acestuia.
- Din motivele menționate mai sus, este necesar să investim în cercetare pentru o dezvoltare ulterioară de materiale de scule mai accesibile și mai fiabile.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Friction Stir Welding European Qualifications

Va multumesc !