

DEFINIREA PROCESULUI DE SUDARE

Îmbinări sudate : sudarea presupune stabilirea de legături între materialele pieselor de îmbinat **direct** sau prin intermediul unui material de adaos cu proprietăți apropiate de cele ale materialelor pieselor de îmbinat. Legăturile din îmbinările sudate sunt de aceeași natură cu legăturile specifice din materialele pieselor de îmbinat. Materialele celor două elemente suferă modificări pe distanțe variind de la câteva straturi atomice până la dimensiuni macroscopice, de ordinul a câțiva milimetri, chiar zeci de milimetri. În funcție de procedeul adoptat, materialul poate suferi modificări de natură fizică (dispunere atomi în rețea, comprimarea rețelei) sau de natură chimică și / sau structurală, (apariția de compuși chimici, modificarea fazelor prezente în zona de îmbinare).

Definim PROCES DE SUDARE (sudare) un proces de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe piese realizată prin stabilirea de legături de același tip cu cele din materialele de îmbinat. Procesul se realizează prin activarea suprafețelor de îmbinat în prezența sau absența unui material de adaos. Activarea straturilor superficiale de atomi este asigurată de un aport energetic controlat. Energia de activare utilizată este de natură mecanică și/sau termică. Îmbinarea obținută trebuie să răspundă cerințelor de exploatare.

PROCEDEUL DE SUDARE este operațiunea sau totalitatea operațiunilor tehnice necesare materializării procesului de sudare.

Participarea suprafețelor la formarea îmbinărilor cu legături interatomice

Teoretic ar fi suficient să suprapunem două suprafețe pentru formarea legăturilor. Stabilirea de legături interatomice între suprafețe nu este posibilă în condiții de lucru reale. Legăturile se pot stabili dacă:

- Suprafețele sunt aduse la distanțe comparabile cu distanțele interatomice;
- Atomii din straturile superficiale sunt dislocați din pozițiile de echilibru, respectiv sunt activați printr-un aport energetic.

Realizarea unor suprafețe capabile să asigure distanțe convenabile nu este o soluție. Suprafețele pieselor chiar dacă beneficiază de o prelucrare foarte îngrijită prezintă asperități. În aceste condiții contactul real este o sumă de contacte punctiforme, între care există zone cu distanțe mari sau foarte mari comparativ cu cele necesare stabilirii legăturilor (dimensiunile rețelei atomice).

Alt fenomen care se opune stabilirii legăturilor este „atacul” atmosferei asupra suprafețelor. În condiții normale de lucru suprafețele sunt expuse contactului atmosferic ceea ce permite formarea unui strat superficial de oxizi pe care aderă ulterior alți impurificatori. Formarea stratului împiedică stabilirea legăturilor directe. Aspectul geometriei unei suprafețe și structura stratului superficial sunt prezentate în figura 1.1....#...

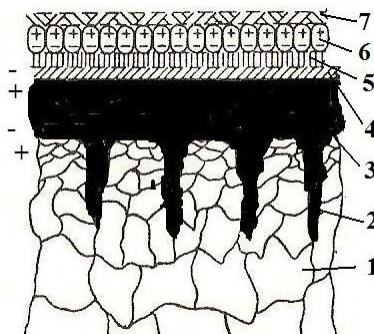


Fig. 1.1. Structura suprafeței și a stratului adsorbit: 1. structura materialului (grăunți); 2. microasperități, microfisuri; 3. strat de oxizi, prezent și în fisuri; 4. strat adsorbit (apă și oxigen); 5. molecule de apă; 6. grăsimi; 7. praf.

Toate procedeele de îmbinare care se sprijină pe stabilirea de legături fizico-chimice între suprafețe impun îndepărtarea, divizarea stratului adsorbit. Se impune o pregătire a suprafețelor precum și asigurarea unei modalități de reducere / evitare a impurificării pe durata procesului propriu-zis.

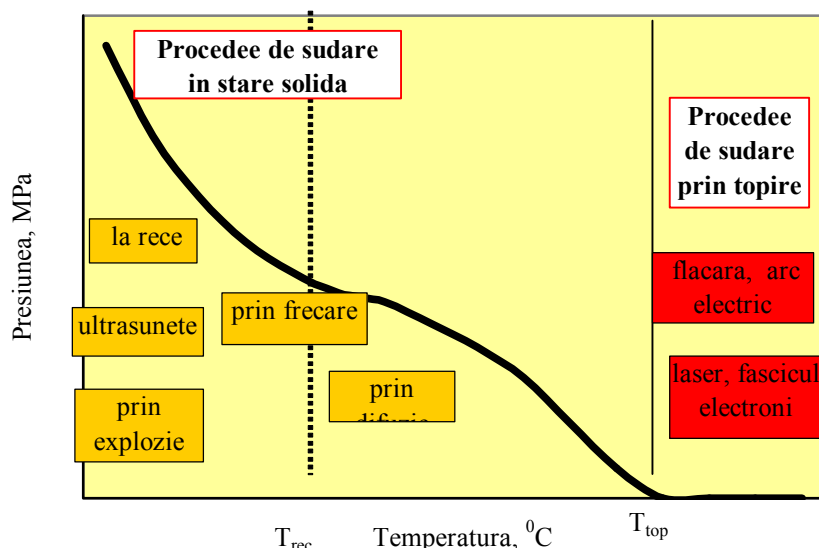
Curățirea (pregătirea) suprafețelor variază în funcție de materialul de îmbinat și procedeul ales de la o simplă ștergere până la o etapă tehnologică care include o suită de operații. Curățirea are un efect limitat în timp și uneori urmărește doar întreruperea continuității stratului.

CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE FUNCȚIE DE MODUL DE ACTIVARE A SUPRAFETELOR

Energia introdusă în materialele de îmbinat în vederea activării atomice superficiale depinde de parametri termodinamici temperatura și presiunea. În practică aceste mărimi sunt parametri tehnologici de proces. Interdependența între acești parametri permite o primă clasificare a procedeelelor de sudare, figura.

Procedeele de sudare care folosesc presiunea și eventual încălzirea la temperaturi sub cea de topire a materialului sunt procedee de sudare în stare solidă.

Procedeele la care activarea este termică cu încălzirea materialului la temperaturi superioare temperaturii de topire sunt procedee de sudare prin topire.



Domeniile de existență a îmbinării sudate (sub curbă) și al câtorva procedee de sudare în funcție de parametri tehnologici presiune și temperatură.

În funcție de temperatura atinsă de material pe durata procesului activarea atomilor se consideră că este obținută:

- mecanic – sub temperatura de recristalizare, T_{rec} ; procedeele de sudare cuprinse în acest domeniu se numesc procedee de sudare la rece.
- activare termomecanică – între T_{rec} și cea de topire, T_{top} ; procedeele de sudare cuprinse în acest domeniu se numesc procedee de sudare în stare solidă la cald
- activare termică – peste T_{top} , când porțiuni de material suferă transformări de fază solid – lichid procedee de sudare prin topire.

Pe măsură ce temperatura crește, valoarea presiunii necesare formării legăturilor se reduce. Pe ansamblu energia solicitată de un material este aceeași, indiferent de modul de activare.

CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE ÎN FUNCȚIE DE SURSA DE ENERGIE

Energia introdusă în îmbinare, mecanică sau termică, este obținută cu ajutorul unor surse energetice care utilizează fenomene fizice sau chimice. Cel mai utilizat criteriu de clasificare al procedeelor de sudare este cel legat de natura sursei de energie. Pentru procedeele de sudare prin topire se utilizează surse termice.

În figura 1.3 este prezentată clasificarea procedeelor de sudare în funcție de natura sursei energetice iar în figura 1.4 clasificarea procedeelor de sudare care utilizează arcul electric ca sursă termică deoarece majoritatea producției de îmbinări sudate este realizată cu acest tip de sursă.

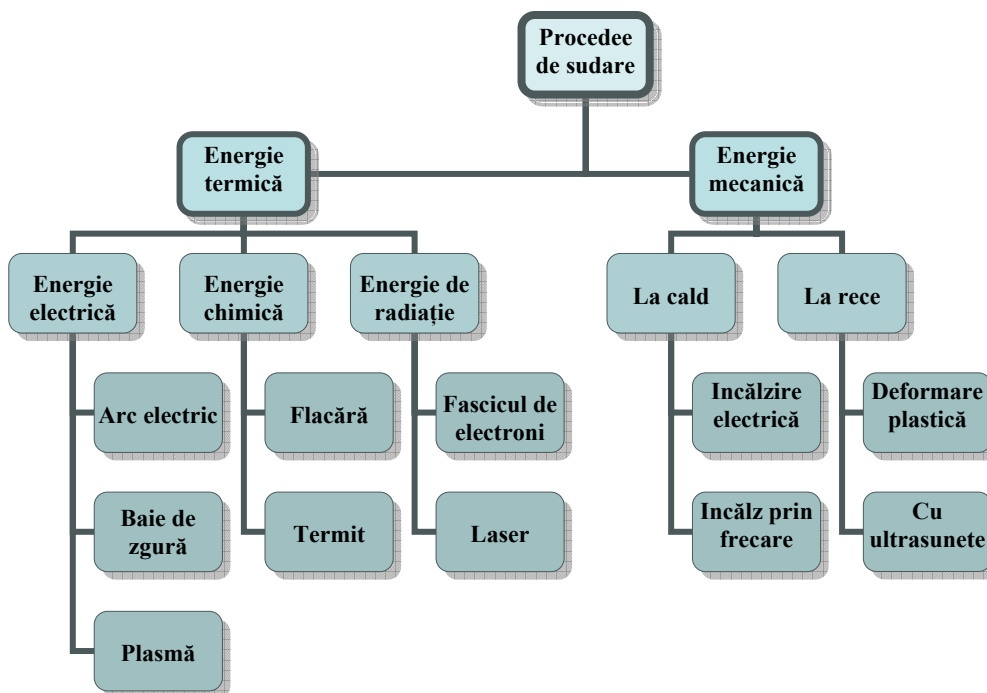


Fig. 1.3. Clasificarea procedeelor de sudare funcție de sursa energetică utilizată

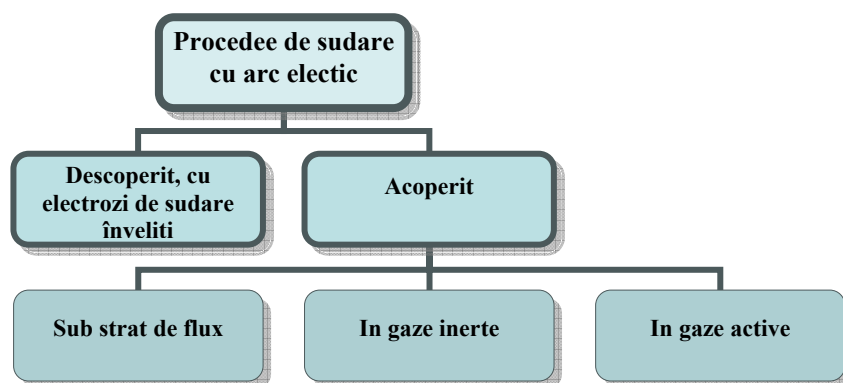


Fig. 1.4. Clasificarea procedeelor de sudare care utilizează ca sursă termică arcul electric

SUDAREA LA RECE (PRIN PRESARE)

Sudarea la rece folosește presiunea la temperatura ambiantă pentru obținerea coalescenței (unirii) suprafețelor, cu deformarea importantă a pieselor de sudat. Procedul este recomandat materialelor prelucrabile ușor prin D.P. la rece, cu oxizi fragili. Se utilizează mai ales la sudarea Cu-Cu, Al-Al dar și Cu-Al.

Distrugerea suprafeței de oxizi este realizată prin deformare plastică; stratul de oxizi apare la microscopie TEM sub forma unor particule numeroase, fine, dimensiunea maximă a unora din acestea atingând 120Å. Interfața este practic o limită de grăunte.

TEORIA SUDĂRII LA RECE

Există două moduri de abordare a sudării la rece: sub acțiunea eforturilor normale și sub acțiunea conjugată a eforturilor normale și tangențiale. Experimental este demonstrată o mult mai bună și ușoară îmbinare în cazul desfășurării procesului sub acțiunea unor eforturi combinate.

Teoria sudării la rece sub acțiunea eforturilor normale {boarnă}

Pentru cazul sudării sub acțiunea unor forțe concentrate, normale la suprafețele de îmbinat, există două direcții principale de teoretizare a rezultatelor practice:

- A. teorii ce consideră zona de îmbinare sediul unor activări termice locale, activare termică ce ar permite desfășurarea fenomenelor de recristalizare și difuzie;
- B. teorii ce consideră procesul ca fiind lipsit de orice activare termică.

A. Adepții teoriei termice susțin că în urma procesului de deformare – ecruisare recristalizarea ar putea avea loc la temperatura ambiantă, dar în îmbinări nu apar fenomene specifice recristalizării. Tot în același cadru se înscriu ipotezele privind o creștere de temperatură datorată prezenței dislocațiilor. Dislocația reprezintă o deformație elastică, ce are capacitatea de a se propaga în volum, ceea ce exclude localizarea ei strict la locul deformației.

B. Există două variante de explicare a fenomenului fără activare termică: teoria peliculelor și teoria energetică. Teoria peliculelor consideră că sudarea are loc imediat după distrugerea stratului de oxizi. Parametrul de control al procesului este gradul de deformare necesar îndepărtării (fragmentării) stratului de oxizi, grad de deformare care este cu atât mai mic cu cât raportul dintre duritatea oxizilor și duritatea Me este mai mare. Rolul peliculei de oxizi este foarte bine evidențiat de încercările de sudare în vid, Figura CW.1. Cu cât vidul este mai înaintat, cu atât gradul de deformare minim necesar realizării îmbinării este mai mic. Relația este mult mai corectă dacă în afară de depresiunea din incintă se ia în calcul și timpul, produsul dintre durata expunerii și nivelul presiunii determinând grosimea stratului de oxizi. La vid înaintat, durată scurtă de expunere a suprafețelor, statul de oxizi

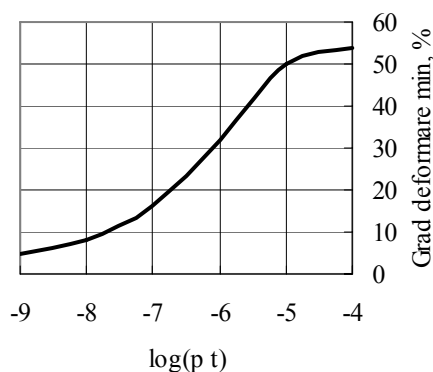


Figura CW.1 Reprezentarea dependenței dintre $\log(p \times t)$ și gradul de deformare minim necesar obținerii sudurii.

este subțire și grade de deformare mici sunt capabile să asigure unirea suprafețelor. Cea de a doua ipoteză, teoria energetică, presupune existența unei rezerve energetice a atomilor, rezervă activă în momentul sudării. Împotriva acestei teorii pledează rezultatele experimentale: indiferent de natura Me de îmbinat, în vid înaintat ϵ_{\min} este aproximativ 10%, în aer ϵ_{\min} fiind diferit de la Me la Me.

TEHNOLOGIA SUDĂRII PRIN PRESARE LA RECE

Sudarea prin presare la rece solicită o pregătire atentă a suprafețelor de îmbinat și un control riguros al parametrilor de lucru, deoarece controlul nedestructiv al sudurii nu este relevant. Curățirea se realizează de obicei cu o perie de sârmă din oțel inoxidabil, spălată în prealabil în solvent, cu o turație de 3000 rot/min. Sudarea are loc la maximum $\frac{1}{2}$ h. după pregătirea suprafețelor.

Există mai multe variante de lucru, ce se deosebesc prin schema de deformare:

- sudare prin suprapunere;
- sudare cap la cap;
- sudare prin tragere;
- sudare prin extrudare;
- sudare prin laminare.

SUDAREA LA RECE PRIN SUPRAPUNERE

Se aplică atât materialelor de același fel cât și materialelor diferite. Pentru cazul sudării unor piese din același material schema de principiu și variante ce modifică schema de deformare sunt reprezentate în Figura CW.2.

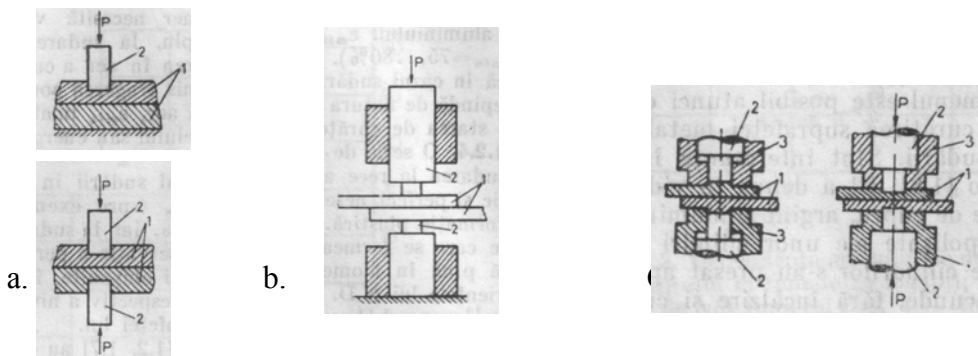


Figura CW.2. Sudare prin presare la rece prin suprapunere. a. Schema de principiu; b. cu poansoane în trepte; c. cu strângere prealabilă; 1 – componente; 2 – poansoane; 3. Dispozitiv strângere.

Domenii de aplicare, recomandări tehnologice

- se pot utiliza poansoane circulare, rectangulare sau inelare;
- poansoanele inelare produc suduri superioare celor circulare;
- deformăția laterală – deschiderea plăcilor, este mai mică dacă se sudează mai multe puncte simultan sau se asigură un sistem de strângere;

- deformația maximă trebuie atent urmărită: se utilizează limitatoare solidare cu poansonul sau sisteme de urmărire a deplasării;
- utilajele folosite sunt presele hidraulice sau mecanice; pentru grosimi mici de material se folosesc clești pneumatici;
- se pot suda materiale cu grosimi s , cuprinse între $0,2 \dots 15$ mm;
- dimensiunile poansoanelor variază în limitele $b = (1 \dots 3)s$
- rezistența sudurii variază cu schema de deformare (poansoane în trepte, cu strângere) și cu gradul de deformare; creșterea dimensiunilor poansonului crește forța de forfecare a sudurii dar reduce efortul unitar la forfecare;
- presiunile finale recomandate depind de material și de starea acestuia: pentru Al moale $p=300 \dots 600$ N/mm²; Al ecruiat $p=1000 \dots 1500$ N/mm²; Cu $p=2000$ N/mm².

SUDAREA LA RECE CAP LA CAP

Procedeele se aplică barelor, sârmelor sau profilelor cu secțiuni transversale mici, din Cu, Al, Pb, Sn, Cd, Ni, Ti sau aliajelor de Al.

Schema de principiu este reprezentată în Figura CW.3.

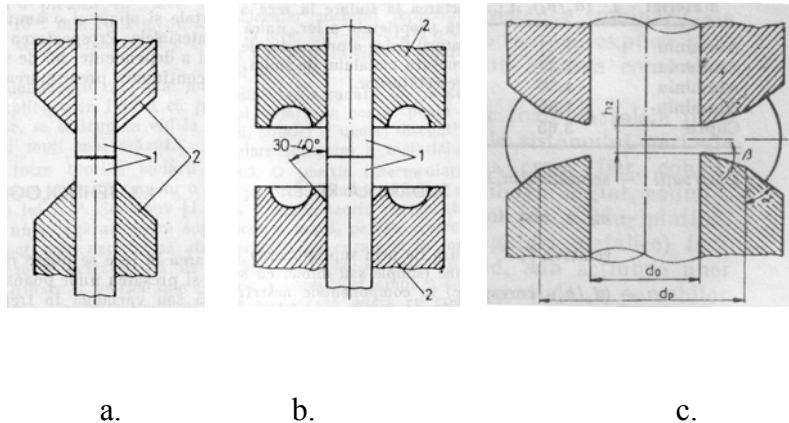


Figura CW.3. Sudarea la rece cap la cap. a. Schema de principiu, matrițe ascuțite; b matrițe cu canal de bavură; c: matrițe ascuțite cu capete teșite; 1 – componente; 2 – dispozitive de strângere

Parametri tehnologici sunt lungimea liberă a profilului l_0 , și forța de refulare, respectiv presiunea de refulare.

Fierul și oțelurile nu se pot suda cap la cap, deoarece la grade de deformare de aproximativ 70% semifabricatele se destramă.

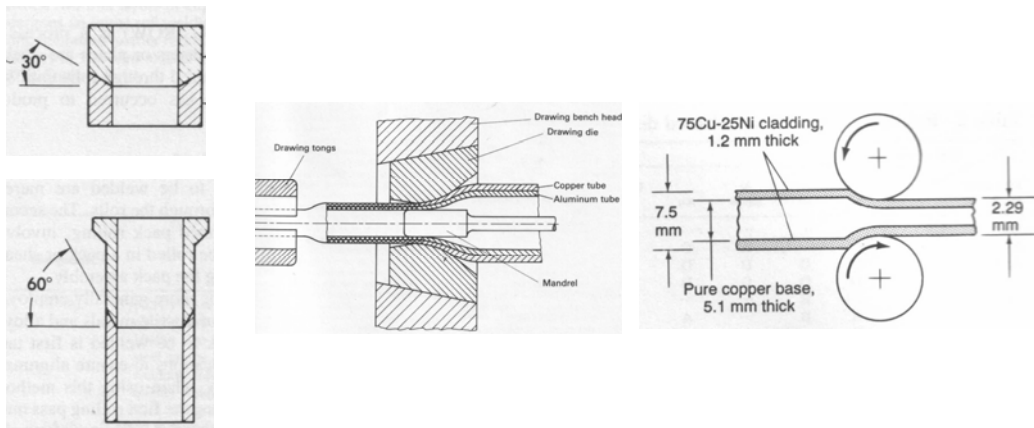
Alte recomandări tehnologice:

- forța de strângere în bacurile de prindere va fi cu cel puțin 50% mai mare decât forța de refulare;
- suprafețele de prindere vor fi striate, pentru a evita alunecarea în proces;
- pe suprafețele de prindere se va aplica talc, grafit soluții de carbonați de Na, K cu rol de lubrefiant în vederea evitării sudării de bacuri;
- se recomandă refulări repetate: crește extensia suprafețelor, calitatea sudurii. Pentru același grad de deformare l_0 ar fi prea mare și există pericolul apariției flambajului. După o primă refulare nu mai există pericolul contaminării suprafeței de lucru. Refularea în trepte se aplică mai ales în cazul trefilării ulterioare. Cu cât gradul de deformare ce va fi aplicat este mai mare, cu atât numărul de refulări este mai mare.

Alte variante de sudare la rece

Schemele de principiu sunt grupate în Figura CW.5.

- sudare prin extrudare (a) prezintă avantajul absenței în urma prelucrării a bavurii; este singurul procedeu ce nu presupune curățirea ulterioară a bavurii.
- sudare prin tragere, b
- sudare prin laminare, c.



a.

b.

c.

Figura CW.5. Variante de sudare la rece: a. prin extrudare; b. prin tragere; c. prin laminare.

În toate variantele trebuie asigurată deformarea minimă necesară specifică materialului mai moale (cu grad minim de deformare mai mic), considerat mai sudabil la rece.

SUDAREA PRIN FRECARE

Sudarea prin frecare este un procedeu de sudare în stare solidă activat termic în care căldura necesară este produsă prin mișcarea relativă a suprafețelor de îmbinat, urmată de presarea lor una față de alta. Energia mecanică este convertită direct în energie termică.

Schema de principiu a sudării prin frecare este prezentată în Figura #.1.

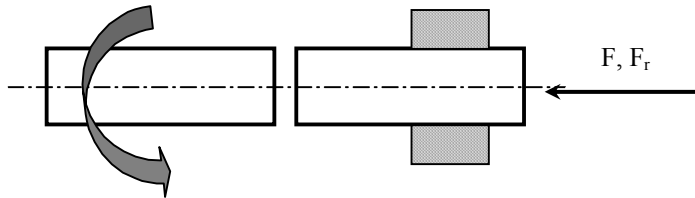


Figura #.1. Schema de principiu a sudării prin frecare

Cele două componente sunt dispuse coaxial într-un utilaj ce permite rotirea uneia din ele, cea de a doua fiind menținută fixă. Suprafețele pieselor sunt aduse în contact, menținute apăstate până se produce cantitatea necesară de căldură, după care sunt presate suplimentar.

Funcție de modul în care este asigurat necesarul de energie mecanică pentru încălzire și modul de variație al parametrilor de lucru în proces se deosebesc două variante, sudare prin frecare continuă, Fig. #.2.a și sudare prin frecare cu energie înmagazinată (prin inerție), Fig. #.2.b.

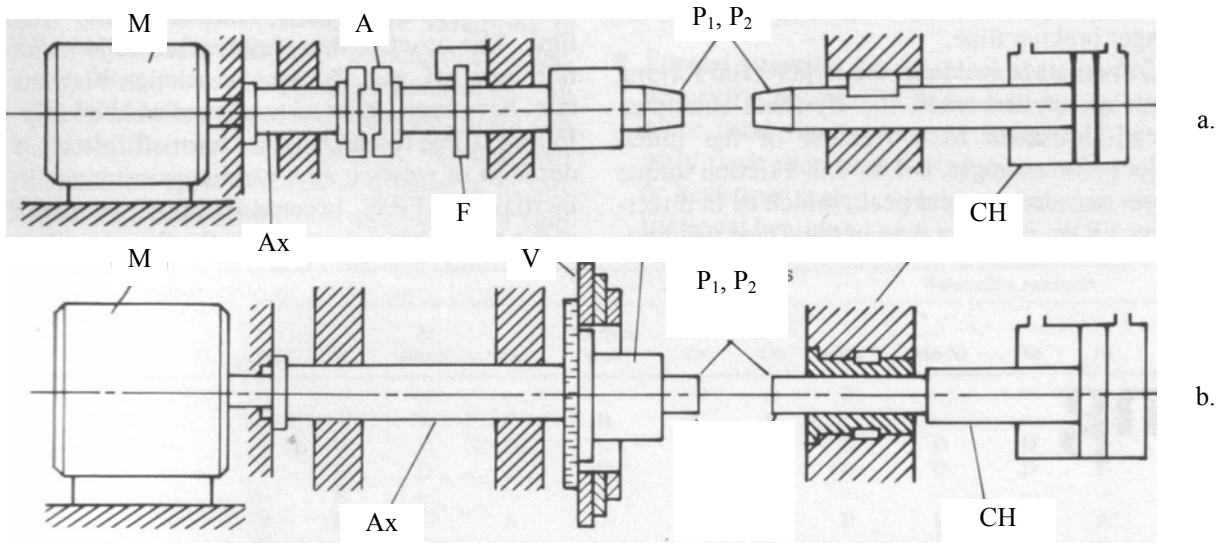


Figura #.2. Schema instalațiilor de sudare prin frecare: a. sudare prin frecare continuă (convențională); b. sudare prin frecare cu energie înmagazinată (prin inerție). M – motor; A – ambreiaj; F – frână; V – volant; B – bacuri de prindere; P₁, P₂ – piese de sudat; CH – cilindru hidraulic.

Parametrii de lucru sunt turația piesei mobile, forța de apăsare pe durata încălzirii, F, forța de apăsare pe durata sudării propriu-zise, FR, timpul de sudare, durata întregului proces. Pe durata procesului componentele se deformează, și reduc dimensiunile liniare, evidențiindu-se scurtarea relativă. Variația parametrilor pe durata unui ciclu de lucru pentru cele două metode fundamentale este prezentată în Fig. #.3.

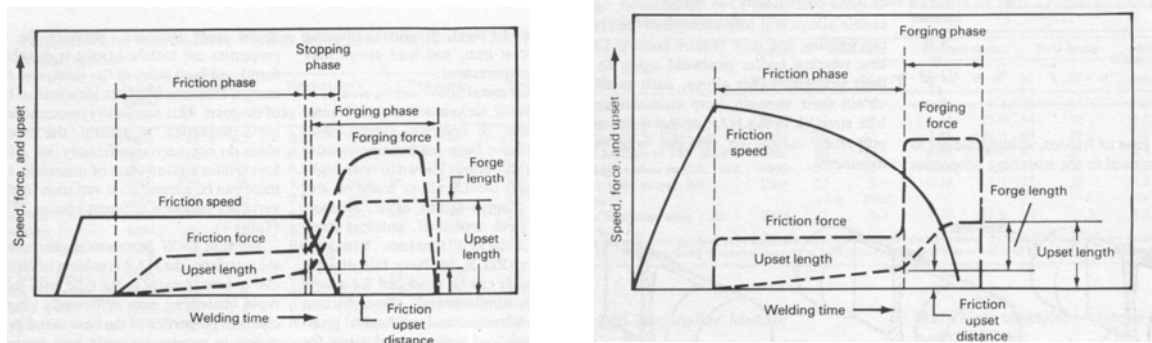


Figura #3. Variația parametrilor la sudarea cu frecare: a. prin frecare continuă; b. prin frecare prin inerție. (Welding time - timp de sudare; Speed, force and upset - viteza, forță și scurtare; Friction phase - faza de frecare (încălzire); stopping phase - faza frânare; forging phase - faza refulării; upset length - scurtarea; friction upset distance - scurtarea pe durata frecării; forge length - scurtarea la forjare; upset length - scurtarea totală).

MECANISME IMPLICATE ÎN FORMAREA ÎMBINĂRII

Se acceptă că în procesul de sudare prin frecare participă un număr mare de mecanisme elementare, care pot fi grupate astfel:

- Uzură de frecare și abraziune, urmate de generare de căldură;
- Transfer de căldură spre componente și spre mediu;
- Deformații plastice în micro volume și macro volume, ecruisare;
- Recristalizare, difuzie.

Fiecare din aceste procese are o cotă de participare diferită pe durata realizării îmbinării, segmentând procesul în faze distincte.

Fazele formării îmbinărilor prin frecare continuă

- ca urmare a deplasării relative a celor două suprafețe are loc alunecarea cu viteze variind de la 0 (în axul pieselor) la o viteză maximă pe periferia acestora, $v_{p\max}$. Are loc D. P. a asperităților, curgeri, ruperi locale, urmate de apariția de suprafețe noi, formarea de joncțiuni puternice între componente, Fig.#.4.a și b. Punțile formate se deformează în substraturi asemănător cu "ungerea" cu un lubrifianț solid, fig. #.4.c. În cazul barelor, fenomenele se concentrează inițial pe o zonă inelară periferică. Rezultă în final o peliculă vâscoasă, căldura generată în proces depășind capacitatea de transfer termic.
- Pelicula vâscoasă care a acoperit întreaga suprafață iese dintre componente sub forma unei bavuri fine, începând modificarea de dimensiune - scurtarea axială, curgere vâscoasă sub presiune mare.
- Faza de echilibru, parametrii sunt constanți (M_{fr} , vit. de scurtare axială, F_{fr} - chiar dacă pe secțiune nu este constantă Fig. #.5. Conform unor ipoteze, este momentul în care se dezvoltă cantitatea maximă de căldură.
- faza de frânare, tehnologică, are rolul de a pregăti faza forjării, sudarea propriu-zisă. Alegerea vitezei de frânare (decelerației) influențează calitatea îmbinării, putând duce la compromiterea ei. La valori mari ale accelerației ($a=2500 \text{ rad/s}^2$, M_e aflat în stare plastică nu are timp să iasă în bavură, M_{fr} final va avea valori mici, îmbinarea cu defecte. Valori mici ($a=10 \text{ rad/s}^2$ M_e plastifiat iese sub forma unei bavuri grosolane, M_{fr} final are valori mari și apare pericolul forfecării îmbinării (răcirea are loc extrem de rapid, mat. Pierde plasticitatea în $<1\text{sec.}$). Se consideră $a_{opt}=125 \text{ rad/s}^2$ până la $v_{pmax}=250 \text{ rot/min}$, urmată de frânare bruscă, ce asigură o valoare adecvată M_{fr} final.
- Refularea: faza finală a procesului de sudare, asigură, în condițiile alegerii corespunzătoare a tuturor parametrilor, îmbinarea cu caracteristicile dorite. Faza în sine controlează cantitatea de material refulat, scurtarea Δl și gradul de deformare, ϵ ,; depinde de condițiile termice locale - asigurate în fazele anterioare și de forța de refulare, F_R .

Variația principalilor parametri determinată pe durata procesului de sudare este reprezentată în Figura #.6.

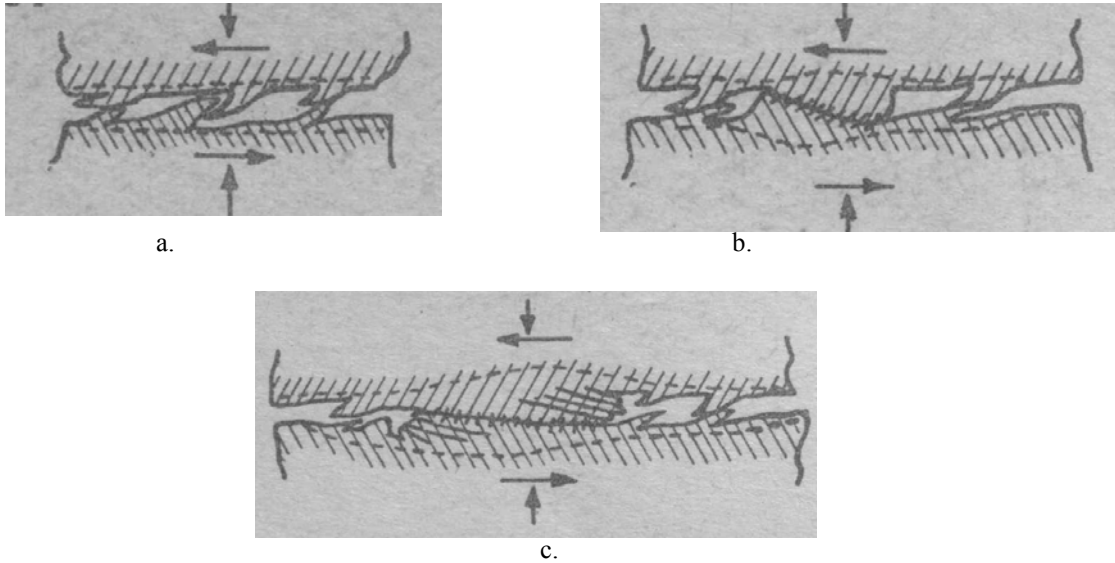


Figura #.4. Reprezentare schematică a stadiilor inițiale de frecare, uzare, deformare plastică a asperităților, cu formarea de microjoncțiuni; a. "agățarea" microasperităților, formarea de noi suprafețe pe această cale; b. formarea de punți-legături în formă de pană pe structurile deformate, cu acomodarea substratului; c. deformarea punților sub forma unui strat plastic, continuu.

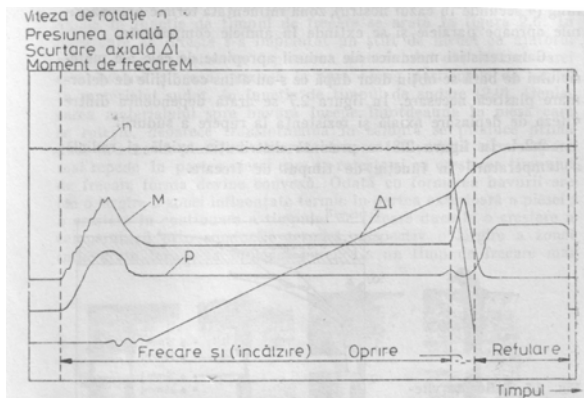


Figura #.6. Variația în timp a parametrilor tehnologici în funcție de faza de lucru, {boarnă}

Există o serie de factori calitativi ce influențează procesele și calitatea îmbinărilor obținute prin frecare. Pot fi grupați ca factori de proces (viteza periferică, presiunea aplicată) și factori de material (proprietățile materialelor de îmbinat, calitatea suprafețelor în contact). Tot factor de proces poate fi considerată și temperatura suprafeței pe durata procesului. Temperatura este factor critic al procedurii, nu poate fi măsurată direct și depinde în egală măsură de proprietățile materialului și condițiile de lucru impuse.

PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR DE ÎMBINAT

Pentru a suporta sudarea prin frecare materialele este necesar să întrunească două condiții esențiale:

- Să prezinte un minimum de plasticitate, materialele fragile nu suportă presiunea finală în cazul sudurilor omogene;
- În compoziția materialelor de îmbinat să nu existe elemente ce asigură ungere uscată (carbon, plumb, etc.) Aceste condiții fiind îndeplinite, sudarea se poate încerca atât în varianta omogenă cât și în varianta eterogenă, cu problemele secundare specifice materialelor sau cuplului de materiale de sudat.

ÎMBINĂRI OMOGENE

Când se sudează două materiale de compoziție și proprietăți identice, sudura rezultată este simetrică, atât la nivelul modificărilor suferite în ZIT cât și microscopic, respectiv bavura este uniform extinsă pe ambele

componente. În ZIT apar modificări ce reduc proprietățile îmbinării în cazul materialelor călibile (se pot dezvolta zone dure, fragile, cu proprietăți mecanice mai slabe decât ale M.B.) dar și în cazul materialelor durificabile prin dispersie (înmuiere prin dizolvarea particulelor). În ambele cazuri se poate aplica după sudare un T.T. corespunzător, cu scopul refacerii proprietăților.

ÎMBINĂRI ETEROGENE

Unul din avantajele generale ale proceselor de sudare în fază solidă, capacitatea acestora de a asigura îmbinarea unor materiale cu natură sau compoziție esențial diferite, este asigurat și de sudarea prin frecare. Datorită câmpului termic ce se dezvoltă pe durata procesului, în cazul sudării prin frecare apar câteva probleme deosebite.

Materialele ce prezintă proprietăți fizice (coef. De dilatare termic, α) cu valori foarte diferite rămân după sudare sediul unor tensiuni interne importante. (Ex.: materiale cu α mic: metale refractare, ceramice, aliaje tip Fe-Ni sau Fe-Ni-Co, sudate cu materiale cu α mare – oțeluri inox. Austenitice, superaliaje pe bază Ni, Co). Soluția este de obicei, îmbinarea cu strat intermediar, cu material ce prezintă coeficient mediu, asigurând astfel distribuția uniformă a stării tensionale.

Creșterea temperaturii în interfață sporește pericolul apariției compușilor intermetalici, fragili, fie ca urmare a prezenței filmului de oxizi, fie chiar datorită materialelor de îmbinat. În cazul materialelor cu probabilitate ridicată de formare a unor astfel de compuși se folosește material de adaos compatibil. Cel mai ades formarea compușilor are loc însă după procesare, în condiții de lucru extreme - temperaturi mari, când procesele de difuzie sunt activate. Nu se recomandă ca sudurile să lucreze în medii corozive; dispunerea acestora să fie astfel gândită încât îmbinarea să nu lucreze direct în mediul chimic activ.

Cea mai dificilă problemă este cazul în care materialele suferă modificări divergente în ZIT, situație în care tratamentul termic post sudare se complică mult, sau trebuie chiar gândită o schemă specială.

TEHNOLOGIA SUDĂRII PRIN FRECARĂ

Parametri sunt asemănători atât pentru sudarea continuă cât și pentru sudarea prin inerție. Diferența este dată de modul de asigurare al energiei de frecare – continuu și modificabil în proces pentru prima variantă, asigurată integral de la debut, prin dimensionare și viteză volant pentru cea de a doua variantă. Indiferent de varianta tehnologică adoptată, alegerea parametrilor se face în funcție de:

- materialul componentelor de sudat;
- forma și dimensiunile componentelor;
- calitatea suprafețelor.

PARAMETRII TEHNOLOGICI LA SUDAREA PRIN FRECARĂ CONTINUĂ

Turația, n: dată fiind dependența strictă existentă între n și viteza periferică maximă, v_p , dependentă la rândul ei de diametrul pieselor de sudat, modul de fixare al n este fixat de literatura de specialitate în două variante:

- fie raportat la relația clasică de legătură între n , v_p și d_p : $n = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot d_p}$, n recomandat tipului de material

fiind tabelat, Tabel # 1, și #2.

- fie ca dependență directă n , d_p , cu valori prescrise pentru v_p .

O viteză periferică mică conduce la neuniformități de temperatură pe secțiune, o temperatură redusă pe ansamblul componentelor. Viteza mare are o serie de avantaje, dar implică probleme constructive deosebite pentru utilaj (dimensionare lagăre, echilibrare mase în mișcare).

Forțele de presare relativă

Forța de presare. Presiunea exercitată în procesul dinamic asupra componentelor influențează momentul de frecare și implicit cantitatea de căldură eliberată în proces.

Pentru oțel, materialul de referință la sudarea cu frecare, se recomandă ca forța de presare să ia valori cuprinse în gama 30...60N/mm² (80...166MPa). Pornind de la valorile recomandate pentru oțel se adoptă forțele pentru alte aliaje (ex. Cu solicită forțe mai mari, cu durate mai mici de frecare).

Forța de refulare. Presiunea exercitată la sfârșitul ciclului de sudare, ce asigură calitatea îmbinării și scurtarea tehnologică impusă se adoptă, în general, în funcție de forța utilizată în procesul dinamic. Relația de legătură

este: $\frac{F_R}{F} = 1,5 \dots 3$

Timpul de sudare. Timpul alocat realizării unei suduri comportă două secțiuni: timpul alocat procesului cu frecare și cel de refulare. Timpul de frecare se adoptă astfel încât să se asigure încălzirea materialului, formarea stratului vâscos, apariția bavurii fine. Timpul de refulare se limitează la mai puțin de 1sec., materialul pierzând rapid plasticitatea.

Scurtarea axială, deși nu reprezintă un parametru tehnologic în sensul strict al termenului, reprezintă o modalitate de apreciere a fazei de refulare. Stabilirea, pe cale experimentală sau predeterminarea ei permit

eliminarea parametrului timp, forța de presare acționând până la atingerea unei scurtări axiale impuse, moment în care se aplică forța de refulare.

Alegerea corectă a parametrilor tehnologici influențează calitatea sudurii, forma ZIT, figura #.7, dar și aspectul bavurii finale, care devine criteriu de control al calității sudurii pentru personalul experimentat.

O bavură corespunzătoare are diametrul mai mare decât diametrul piesei și este curbată spre piesă; bavura perpendiculară pe axul piesei denotă o viteză prea mare sau/și un timp și presiune de frecare de frecare prea scurt; bavura mare, mult curbată spre piesă se datorează unui timp, presiune de frecare prea mari.

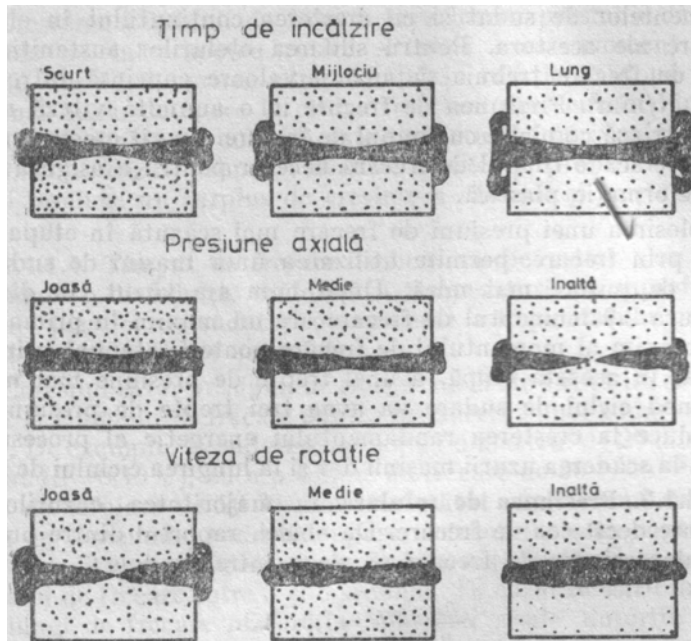


Figura #.7. Influența parametrilor de sudare asupra formei ZIT

MATERIALE CE SE POT SUDA PRIN FRECARĂ; PARTICULARITĂȚI

Oțeluri

- oțeluri carbon cu conținut mic sau mediu de carbon, oțeluri slab aliate: ușor sudabile, parametri de sudare comuni, fără tratament termic postsudare;
- oțeluri carbon cu conținut ridicat de carbon, oțeluri aliate: plasticitatea mică îngustează plaja parametrilor tehnologici, pot impune tratamente termice (recoaceri sau revenire) după sudare;
- oțeluri pentru prelucrări prin așchiere (conținut de plumb): pot genera un strat de interfață în proces de tip ungere uscată, ceea ce înrăutățește condițiile de frecare;
- oțeluri inoxidabile, austenitice sau feritice: sudabile, posibil necesar tratament termic;
- oțeluri durificabile prin precipitare: după sudare necesar tratament de punere în soluție și îmbătrânire sau măcar detensionare.

Aliaje bază aluminiu

Se preferă sudarea prin frecare continuă, deformația importantă duce la formarea unei ZIT înguste, cu structură fină. Parametri tehnologici diferă de cei ai oțelului, datorită conductivității termice ridicate. Valorile recomandate, raportate la cele pentru oțel: $v_{p\ Al} = (110...150)\%v_{p\ oțel}$ $F, F_R = (30...50)\%F_{oțel}$

Materiale neferoase, reactive (Ti) și refractare (W, Mo)

Titanul, se utilizează în industria aerospațială; viteza periferică este adoptată din plaja superioară a valorilor pentru oțeluri carbon, forțele de presare-refulare fiind 10...30% din cele pentru oțeluri, datorită conducției termice reduse.

Wolfram, Molibden: sudarea se utilizează în industria elementelor de iluminat, în vederea treflării.

Cupru: condiții asemănătoare celor pentru aluminiu: $v_{p\ Cu} = 2v_{p\ oțel}$ $F, F_R = 50\%F_{oțel}$

Ni, Co: $v_p = 50\%v_{p\ oțel}$ $F, F_R = 2 \cdot F_{oțel}$, (datorate proprietăților specifice la temperaturi nalte).

ÎMBINĂRI ETEROGENE

Parametrii tehnologici se vor adopta în funcție de materialul mai "tare". Pentru a limita deformația materialului mai "moale" și a reduce pierderile de material se folosesc bacuri de prindere tip matriță, figura #.8.

Sudare prin frecare cu element activ rotitor

Sudarea prin frecare cu element activ rotitor este varianta a sudării prin frecare. Reprezintă cel mai nou procedeu de sudare introdus în practică. A fost inventat la Cambridge, Institutul de tehnologii de sudare în 1991. Procedeu permite îmbinarea fără topire a părților, fără presarea lor relativă și fără material de adaos.

Sudarea prin frecare cu element activ rotitor este utilizată cu precădere la sudarea aluminiului și aliajelor sale, rezultând îmbinări rezistente și cu plasticitate bună, deși aluminiul este dificil de sudat. Este utilizat de preferință la sudarea componentelor plate și lungi (table, plăci) dar poate fi adaptat pentru suduri profilate și de poziție.

Sudurile sunt rezultatul unei acțiuni complexe de încălzire prin frecare și deformare plastică prin intermediul unei scule aflate în mișcare de rotație și translație. Temperatura maximă atinsă în componente este 0,8 din temperatura de topire. Spre deosebire de sudarea prin frecare clasică, aici se suprapune un efect de încălzire pe un efect mecanic, de amestecare. Schema de principiu este prezentată în figura fsw.1.

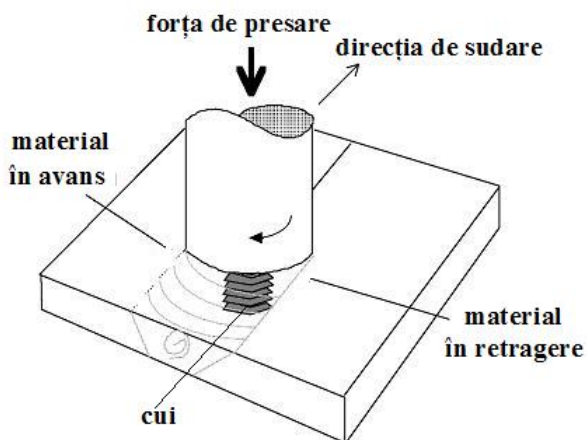


Fig. Fsw.1. Schema de principiu a sudării prin frecare cu amestecare

Procesul poate fi descris astfel: Elementul activ rotitor (EAR) este un corp pe care pot fi delimitate clar două părți. O porțiune cilindrică, masivă, capătul de prindere în mașină și capătul care amestecă efectiv materialul de îmbinat, care va fi denumită în continuare „cui”. După fixarea corespunzătoare a materialelor de îmbinat EAR este antrenat în mișcare de rotație și de translație spre piesele fixe. „Cuiul” pătrunde în materiale până când suprafața materialelor de îmbinat vine în contact cu partea masivă a EAR, numită umăr. Ca urmare a frecării între umăr și materialul de bază local se degajă o cantitate de căldură ce are ca efect plastifierea materialelor de îmbinat. În acest moment, EAR prin intermediul echipamentului este antrenat într-o mișcare de translație. Pe măsură ce elementul activ rotitor este deplasat în direcția de sudare, materialul din fața cuiului, înmuiat datorită încălzirii prin conducție, este antrenat în spațiul din spatele EAR rămas liber prin avansul sculei. Partea din spate a umărului forjează materialul deformat, lăsând un cordon neted. Orice strat de oxid aflat inițial pe suprafața materialului este dispersat datorită deformației intense. Procesul de deformare locală este asimilat unui proces de extrudare continuă pe lungimea îmbinării.

Secțiunea activă a EAR poate fi circulară sau poligonală (triunghiulară, pătrată). Pe înălțime cuiul poate avea aceeași secțiune sau secțiune variabilă, corpul geometric descris putând fi cilindric, tronconic, sau piramidal.

Macroscopic, sudurile obținute prin acest procedeu pot fi divizate în zone, figura fsw.2.

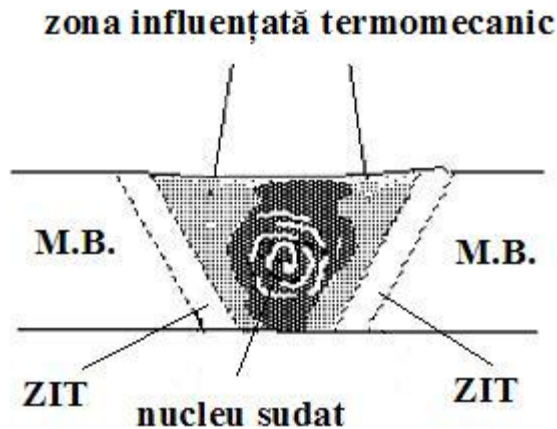


Fig. fsw.2. Zonele unei suduri obținute prin procedeu de sudare prin frecare cu amestecare

Zona influențată termic, ZIT, este identică cu ZIT-ul din sudurile convenționale realizate prin topire. Spre deosebire de sudurile prin topire unde prezența băii lichide aduce materialul din imediata vecinătate la temperaturi foarte apropiate de temperatura solidus a aliajului efectul fiind o subzonă din ZIT supraîncălzită, la sudarea frecare cu element activ rotitor aceasta lipsește.

Zona centrală, nucleu sudat N.S., este zona care suferă cele mai puternice deformații. Prezintă o textură tip „foi de ceapă”, decelabilă microscopic deși suferă o recristalizare dinamică care îi conferă pe ansamblu o microstructură cu grăunți fini, echiacși.

Zona afectată termomecanic este cuprinsă între nucleu și ZIT, zonă în care grăunții își păstrează caracteristicile inițiale (dimensiunile relative), dar în stare deformată, ecruisată. Microstructura suprafeței superioare este diferită datorită forfecării induse de umărul sculei.

Configurația și proprietățile mecanice ale cusăturii obținute prin sudarea prin frecare element activ rotitor depind de forma sculei, de vitezele de rotație / translație, presiunea de lucru și caracteristicile materialului de îmbinat.

Principalele condiții tehnologice Mașina, scula de lucru, montajul și sudura rezultată

Mașina de lucru este de tipul mașinilor unelte, respectiv un cap de acționare care asigură mișcările relative ale sculei. Capul de acționare trebuie să asigure și o forță de apăsare, o presiune necesară pe durata procesului, figura fsw.3. Deplasarea relativă piese – cui de sudare este de obicei asigurată de masa mașinii



Fig. Fsw.3. Mașină pentru sudare prin frecare cu amestecare

Scula este obținută din materiale caracterizate de rezistență ridicată la uzură, cu caracteristici mecanice adecvate materialului de sudat. Prelucrarea mecanică asigură obținerea celor două secțiuni, unite prin umărul de frecare, figura fsw.4. Cuiul lucrează în materialul de îmbinat aflat în stare solidă.



Fig. fsw.4. Scule pentru sudarea prin frecare cu amestecare: partea activă și ansamblul.

Piesele de îmbinat trebuie **rigidizate** corespunzător, figura fsw.5. Cuiul este introdus în material, încălzirea fiind asigurată mai ales prin frecarea umărului de materialele de îmbinat. La încheierea sudurii, scula este retrasă, rămânând în locul respectiv o gaură, figura fsw.6. Prezența acesteia nu este de dorit, dar apare tehnologic, fiind necesară o proiectare corespunzătoare a îmbinării. Piesele vor fi debitate cu un adaos necesar îndepărtării ulterioare a găurii tehnologice.



Fig. fsw.5. Fixarea pieselor de îmbinat pe masa mașinii de lucru.



Fig. fsw.6. Aspectul unor cusături sudate pe aliaje de aluminiu. Capătul sudurii.

Particularitățile sudării prin frecare cu amestecare pentru câteva aliaje cu utilizare largă Sudarea oțelului

Problema principală la sudarea oțelului prin acest procedeu este uzura rapidă a sculei. Analiza sudurii finite pune în evidență particule din materialul sculei rămase în îmbinare ca urmare a uzării abrazive suportate de aceasta. Se recomandă ca acest procedeu să fie utilizat doar în situațiile în care procedeele clasice nu asigură caracteristicile solicitate. Avantajul principal ar fi acela că prin menținerea unei temperaturi reduse se reduce nivelul tensiunilor în îmbinare, nivelul porozității, al segregării chimice și mai ales, pentru mediul înconjurător este redus nivelul noxelor. Pe de altă parte, pe durata procesului materialul ajunge la roșu, oxidarea materialului de bază neputând fi neglijată. Aplicațiile pentru oțel sunt deocamdată reduse.

Sudarea aluminiului și aliajelor lui:

Aluminiu este cel mai răspândit metal în scoarța terestră, este un metal alb – argintiu, ușor ($2,7\text{g/cm}^3$), cristalizat în sistemul cubic cu fețe centrate. Este un metal ușor, mult mai ușor decât fierul și cuprul, dar mai puțin dur decât cuprul. Aluminiu are plasticitate, maleabilitate și ductilitate foarte mari; ceea ce asigură condiții prielnice aplicării procedurii de sudare cu EAR.

Din punct de vedere chimic, aluminiul este un element **activ**, reacționând intens cu oxigenul. Deși are caracter puternic electropozitiv la temperatura obișnuită aluminiul pur devine stabil în aer, deoarece este apărat de pelicula subțire de oxid de aluminiu formată la suprafața lui. Tot așa de stabil este față de apă. La încălzire, aluminiul reacționează mai intens cu oxigenul, o altă caracteristică importantă fiind densitatea oxidului, mai mare decât cea a aluminiului lichid.

Prin aliere se urmărește îmbunătățirea anumitor proprietăți fizico-mecanice și tehnologice, necesare unei anumite clase de produse atât din punct de vedere al produsului finit cât și din cel al procesului tehnologic de fabricație.

Pentru aluminiu, principalele elemente de aliere sunt: Cu, Mg, Mn, Zn, Si iar mai rar, Li, Fe și altele.

Probleme specifice la sudarea prin topire

Sensibilitatea la fisurare

Este maximă în cusătura sudată, care reprezintă este punctul slab al îmbinării, în special în cazul aliajelor cu conținut de Mg. Există un domeniu al conținutului de Mg în care susceptibilitatea la fisurare este maximă. Domeniul acesta este cuprins între $0,5...2,5\%$ Mg în cusătură. Acest lucru trebuie atent monitorizat și este recomandată utilizarea unor materiale de adaos cu un procent de magneziu mare în asocieră cu un coeficient de participare al materialului de bază ales astfel încât să se asigure în cusătură un procent de magneziu corespunzător. Structura columnar dendritică între ale cărei ramuri segregă constituenți eutectici $(\text{FeMn})\text{Al}_6$ și/sau Mg_3Al_2 reprezintă punctele slabe ale cusăturii.

Modificările în zona influențată termic

În zona influențată termic modificările privesc doar deteriorarea structurii obținute fie prin deformare plastică (fenomene de restaurare, recristalizare și creștere a grăunților) sau prin tratament termic (înmuierea secundară dizolvării precipitatelor obținute prin tratament termic). Efectele negative sunt cu atât mai evidente cu cât gradul de deformare inițial este mai mare. Pentru reperatele care sunt supuse sudării în stare recoaptă, efectul în zona influențată termic este minim.

Porozitatea

Porozitatea prezintă o problemă comună tuturor tipurilor de aliaje din familia aluminului.

Incluziuni

Principalele incluziuni în cazul sudării aliajelor de Al sunt particulele de Al_2O_3 , mai grele decât Al lichid, care pe durata sudării rămân captive în cusătură.

Reducerea temperaturii în zona cusăturii și implicit în ZIT, precum și absența pericolului de formare / antrenare a oxidului reduc substanțial efectele negative din îmbinările pe al realizate prin sudare EAR.

Aliaje pentru turnare: Al cu Si

Cel mai utilizat aliaj pentru turnare al aluminiului este siluminul, familia aliajelor aluminiului cu siliciu. Si. Aliajele de interes tehnic sunt cele situate în jur de concentrația eutectică (10% Si) În cazul aliajelor cu conținut ridicat de Al - mai mare decât concentrația eutectică din - lichid se separă inițial dendrite bogate în aluminiu. La temperatura eutectică se solidifică eutecticul, un amestec de soluție

solidă a Si în Al și siliciu aproape pur. Particulele grosolane de siliciu sunt fragile, iar aliajul este caracterizat de o oarecare porozitate. Sudarea prin procedeele clasice este foarte dificilă.

Sudarea cu amestecare prezintă avantajul că fărâmițează siliciul grosolan, închide pori existenți fără să inducă apariția altora, așa cum se poate observa în figura fsw.7.

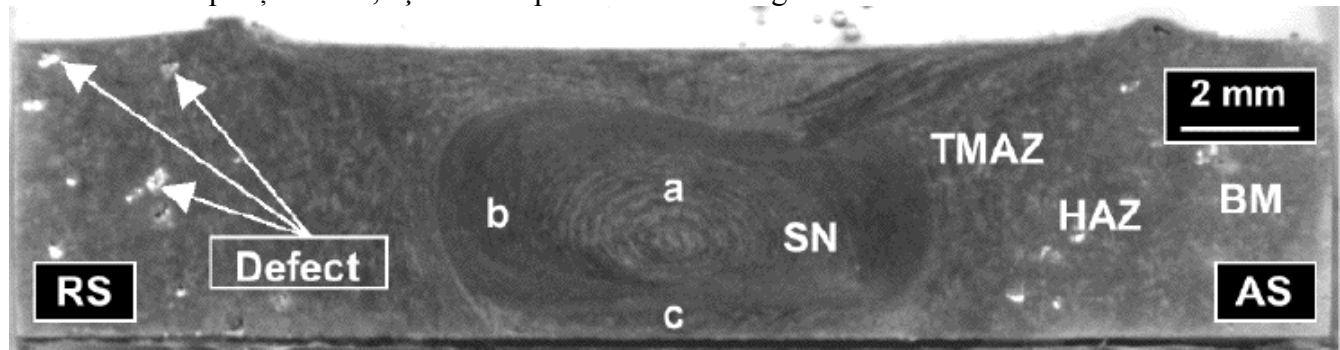


Fig. fsw.7. Macostructura unei suduri prin amestecare într-un aliaj Al-Si: BM – metal de bază; S.N. – nucleu sudat; TAMZ – zona influențată termomecanic; AS – metal antrenat înaintea cuiului; RS – metal împins în spate.

Microstructura corespunzătoare principalelor zone este prezentată în figura fsw.8.

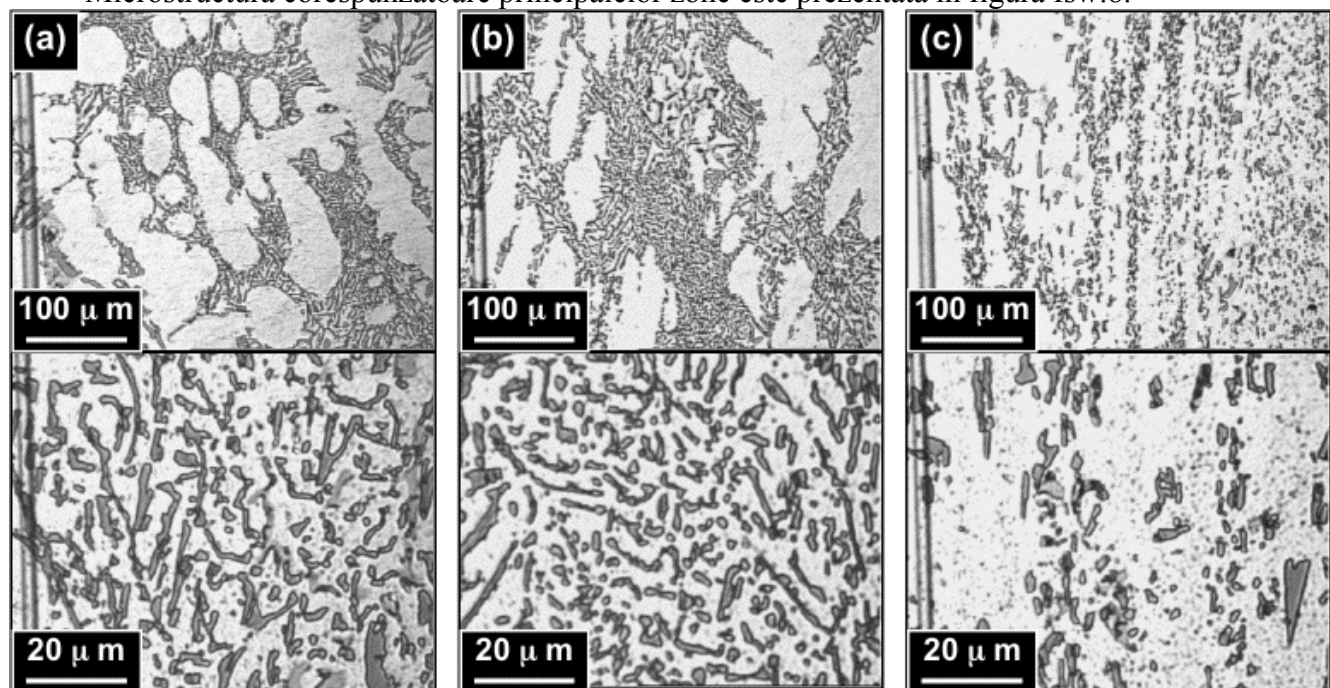
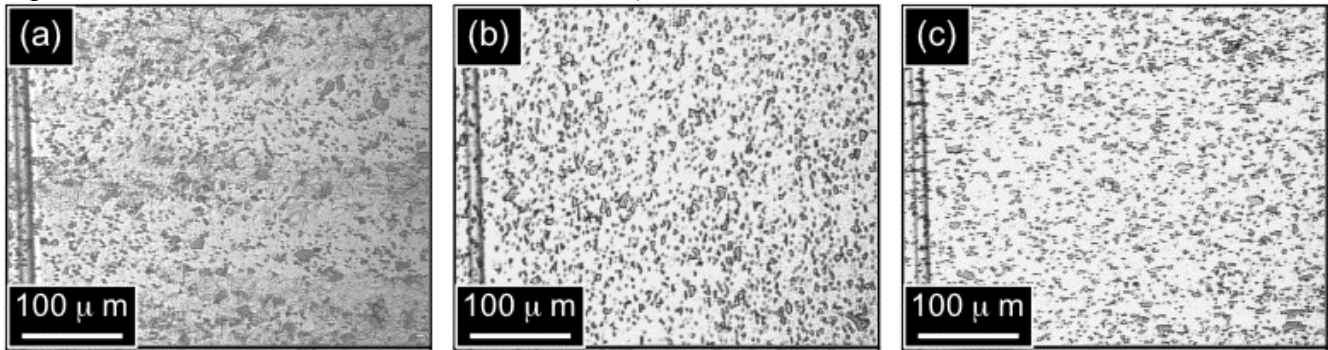


Fig. fsw.8. Microstructura principalelor zone ale sudurii obținute prin amestecare pe un aliaj AlSi: a – metalul de bază (stare turnată); b – ZIT; c – zona de influență termomecanică.

M.B. este caracterizat de prezența dendritelor cu contur rotunjit, între brațele lor fiind eutecticul cu siliciu. În figura 8.a jos este prezentată la mărire mai mare o zonă din eutectic. Se observă separările de Si. În ZIT conturul dendritelor este modificat, modificările microstructurale fiind puțin importante, figura 8.b jos. ZITM este evident caracterizată de o structură fină, cu siliciul fin dispersat.

Microstructura nucleului este la rândul ei diferită în funcție de localizare, figura fsw.9. Pozițiile a, b, c corespund dispunerilor din figura 7. Pe ansamblu se observă o structură fină, omogenă în tot

nucleul. Determinarea proprietăților mecanice ale diferitelor zone demonstrează o calitate net superioară a materialului din nucleu, datorită fineții structurii, tabelul fsw.1.



Aliaje ale aluminiului pentru prelucrare prin deformare plastică

Aliajul T6061 este un aliaj al aluminiului cu magneziu și cu siliciu, de rezistență medie, care suportă tratament termic, cu sudabilitate bună și rezistență bună la coroziune, utilizat pentru reperi supuse la solicitări importante. Semifabricatele sunt furnizate sub formă de table, plăci sau profile extrudate.

Microstructura obținută pe un astfel de aliaj de aluminiu de compoziție chimică Al-0,71Si-0,18Fe-0,3Cu-0,07Mn-1,14Mg-0,14Cr-0,03Zn-0,02Ti, tratat termic (călire de punere în soluție și îmbătrânire artificială – T6), demonstrează aceleași caracteristici microstructurale. Figura fsw.10. prezintă microstructura nucleului, modul de analiză evidențiind neuniformitățile de structură, datorate gradului de deformare diferit și încălzirii diferite pe durata procesului. Se remarcă orientarea grăunților din zona de încălzire (sub umăr).

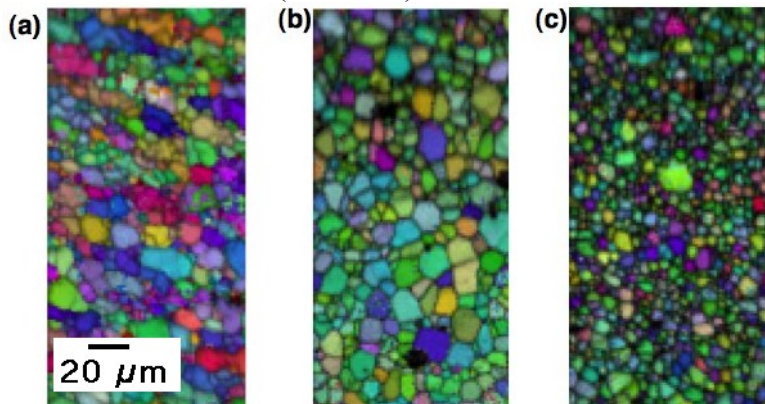


Fig. Fsw.10. Microstructura aliajului 6061 în cusătura sudată: a – zona de suprafață (sub umăr); b – centrul nucleului (corespunde poziției a din figura fsw.9); c – sub zona de amestecare, (corespunde poziției c din figura fsw.9).

SUDAREA PRIN EXPLOZIE

Se pare că sudarea prin explozie a fost descoperită în timpul războiului, când cineva a mai găsit puterea să observe că bucăți de proiectile se sudau de blindajele tancurilor. Ulterior încercările privind procedeele de deformare cu viteze mari au deschis calea acestui procedeu de sudare.

Generalitati . principiul procedeiului

Sudarea prin explozie, consta in îmbinarea a doua sau mai multe componente din metale identice sau diferite, prin provocarea între ele a unei coliziuni dirijate, cu viteza mare și presiune înaltă.

În principiu, deci, sudarea prin explozie consta în proiectarea cu o viteză convenabilă a unei componente – placă de adaos, pe o a doua componentă – placă de bază. Mișcarea necesară se obține prin amorsarea unui exploziv amplasat pe placa de proiectat. Energia eliberată în timpul exploziei determină mișcarea accelerată a plăcii și presiunea necesară formării îmbinării sudate.

Se poate spune că, sudarea prin explozie este un procedeu de sudare prin presiune, cu energie înmagazinată într-un exploziv.

Variante de dispunere a materialelor

În figurile 3.1. - 3.3. sunt prezentate trei moduri de dispunere a componentelor în vederea sudării lor prin explozie.

Dispunerea în diedru a componentelor de sudat (figura 3.1.)

Placa de bază se așază pe un dispozitiv suport sau pe un pat de nisip, iar placa de adaos se așază astfel încât să formeze un unghi α cu placa de bază. Explozivul se repartizează uniform pe întreaga suprafață a plăcii de adaos, după ce în prealabil aceasta a fost protejată cu un strat amortizor. Amorsarea explozivului se face în lungul liniei inițiale de contact între cele două componente de sudat. În timpul operației de sudare placa de adaos suferă o inflexie, formând cu placa de bază, la linia de impact, un unghi β numit unghi de placare dinamic.

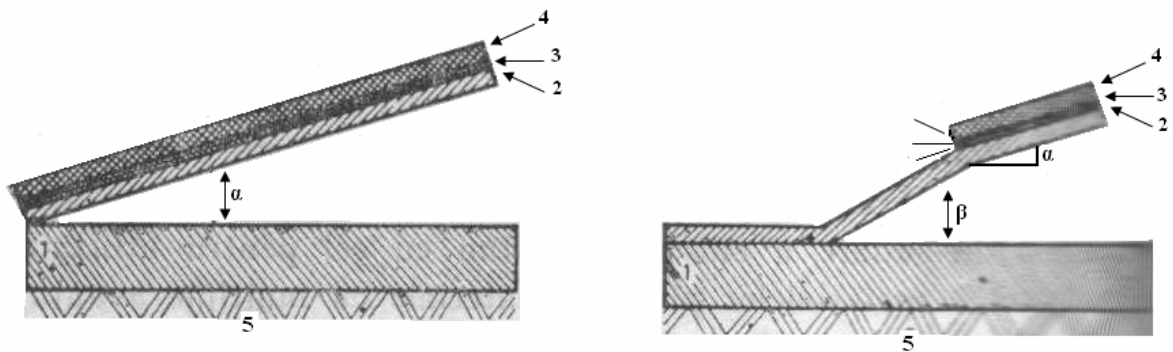


Figura 3.1. Dispoziție în diedru a componentelor de sudat: 1 - placa de bază; 2 - placa de adaos; 3 - amortizor; 4 - șarjă explozivă; 5 - dispozitiv suport.

Dispunerea paralela a componentelor de sudat (figura 3.2.)

La momentul inițial componentele sunt paralele, așezate la o distanță de una față de cealaltă. Datorită energiei eliberate la detonația stratului exploziv, are loc inflexiunea plăcii de adaos și se formează același unghi de placare dinamic β și în acest caz placa de baza se așază pe un dispozitiv suport.

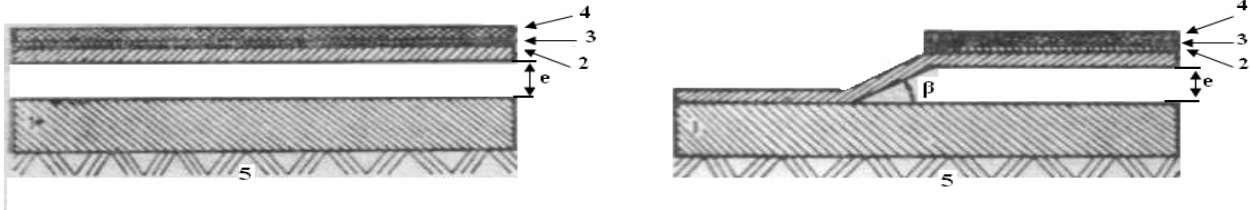


Figura 3.2. *Dispoziție paralela a componentelor de sudat* 1 - placa de placa; 2 - placa de adaos; 3 - amortizor; 4 - șarja explozivă; 5 – dispozitiv suport.

La dispunerea în diedru și paralela a componentelor, stratul exploziv se plasează numai pe placa de adaos, de grosime mai mică, care se proiectează pe placa de baza.

Dispunerea simetrică în unghi a componentelor de sudat (figura 3.3.), face posibilă sudarea prin explozie a două componente cu grosimi comparabile. Ele sunt așezate simetric față de un plan orizontal și sunt acoperite, fiecare în parte, cu un strat exploziv, în acest caz, unghiul inițial se modifică în cursul operației de placare într-un unghi dinamic rezultat prin inflexiunea simultană a celor două componente.

În fiecare din cele trei cazuri descrise, amorsarea explozivului se face de-a lungul unei linii și detonația se va propaga paralel cu această linie; presiunea care se produce determină placarea cu viteză mare a plăcii de adaos pe placa de baza.

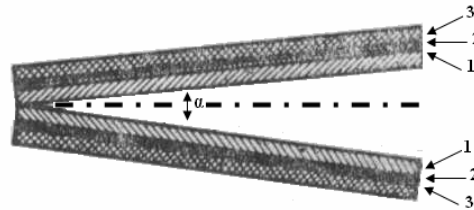


Figura 3.3. *Dispoziție simetrică a componentelor de sudat*: 1 - componente de sudat; 2 – amortizor; 3 – șarja explozivă.

3.4. Mecanismul formării sudurii

S-a constatat că, la viteze mari și presiuni înalte, cele două plăci metalice se comportă în mod analog cu două fluide, având vâscozitate nulă și se pot asimila, pentru o mai bună înțelegere, cu două lame lichide nemiscibile. Astfel, placa de baza se poate asimila cu scurgerea orizontală a unui lichid, cu o viteză egală cu cea de sudare, în

direcția opusă acesteia Placa de adaos poate fi considerată cu o lamă subțire dintr-un al doilea lichid, nemiscibil cu primul, care lovește primul lichid în originea sistemului de coordonate și este dirijată tot în direcția opusă.

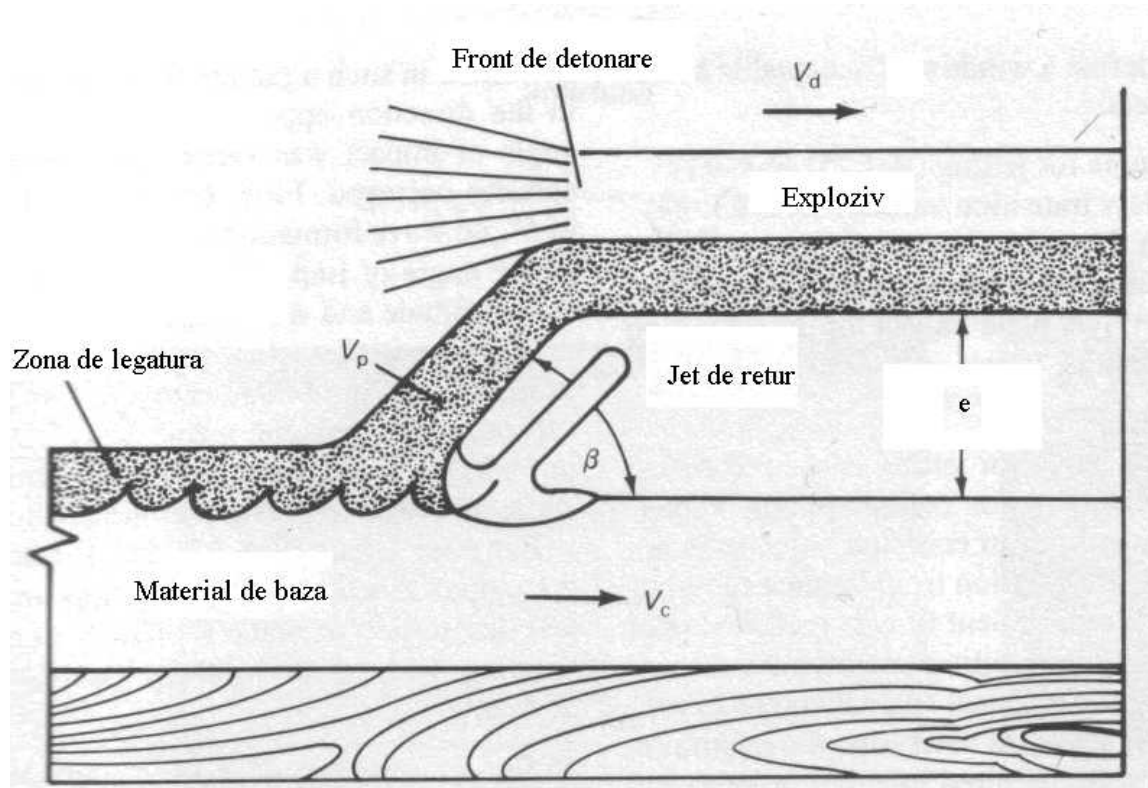


Figura 3.4. *Mecanismul formării sudurii*: 1. placa de baza; 2 - placa de adaos; 3 - amortizor; 4 - șarja explozivă; 5 - dispozitiv suport.

Modul de realizare a îmbinării depinde de unghiul dintre cele două lame de lichid în punctul de impact. Dacă unghiul dintre cele două lame de lichid este egal cu zero și vitezele celor două lame sunt perfect egale, nu se va produce nici o turbulență la suprafața de contact și lichidele își vor păstra viteza și direcția inițiale. Dacă, din contra, unghiul de impact al “lamei de adaos” pe “lama de baza” se mărește mult, “lama de adaos” se va desparti în două și o parte a ei se va proiecta (rejecta) înspre interiorul unghiului de impact. În același timp, se formează turbulențe în suprafața de contact a celor două lame lichide.

La anumite unghiuri de incidență apare un jet de retur, proiectat în afara diedrului format de cele două piese care se sudează. Acest jet, compus din particule de material aparținând suprafețelor care vin în contact cu timpul sudării, asigură o curățire a lor de stratul de oxizi care se formează în timpul impactului. Apariția acestui efect de decapare, respectiv de rupere a filmului de oxizi, este favorizată dacă alegerea parametrilor de sudare se face astfel încât să se asigure deplasarea frontului de sudare cu o viteză ceva mai mică decât viteza sunetului în cele două metale. Într-un asemenea caz,

unda de presiune, care ia naștere în linia de impact a celor două plăci și care se propaga cu viteza sunetului în cele două metale, va fi mereu în fața liniei de impact (front de sudură), provocând vibrații ale suprafețelor componentelor. Aceste vibrații conduc la ruperea filmului de oxizi și facilitează eliminarea lui. Este deci important ca, pentru fiecare cuplu de metale care se sudează, să se aleagă explozivul cu viteza de detonare corespunzătoare.

Tehnologia sudării prin explozie

Condiții de lucru

Aplicarea sudării prin explozie necesită utilizarea unor instalații corespunzătoare și luarea unor măsuri de precauție pentru asigurarea unor condiții severe de securitate. Aceasta este ușor de înțeles dacă se ține seama de faptul că, în funcție de aplicație, șarja de exploziv cu care se lucrează poate atinge sute de kilograme. Pentru limitarea repercusiunilor asupra mediului înconjurător, trebuie adoptate dispozitive adecvate și se recomandă ca șarja explozivă și componentele de sudat să fie securizate adecvat - incinte sigure, ventilație corespunzătoare, componente acoperite cu materiale de amortizare (de exemplu nisip sau baloturi de paie). Rezultate analoge se pot obține în incinte cu vid, fabricate special în acest scop și astfel dimensionate, încât să poată absorbi, fără o creștere semnificativă a presiunii, totalitatea gazelor de explozie care iau naștere în timpul detonației șarjei.

Condițiile de realizare a sudurii sunt determinate de următoarele *elemente de baza*:

- √ natura stratului exploziv, definite prin viteza de detonare a acestuia;
- √ natura metalelor de sudat;
- √ unghiul de incidență α (figurile 3.1. și 3.3.) sau distanța e (figura 3.2.) între cele două componente de sudat. Acestea, la rândul lor, determină următorii *factori de influență* directă asupra formării îmbinării:

- unghiul dinamic β între componentele în curs de sudare ($\beta > \alpha$);
- viteza de deplasare imprimată plăcii de adaos de șarja explozivă cu care este acoperită;
- dilatarea plăcii de adaos;
- viteza de deplasare a liniei de impact între cele două componente (viteza de sudare).

Acești factori în realitate nu sunt independenți, ei interacționându-se reciproc.

Parametri de lucru

Principalii *parametri* care caracterizează o șarja explozivă sunt:

- √ densitatea explozivului;
- √ viteza de detonare;
- √ modul de amorsare.

Densitatea șarjei se alege astfel încât să se obțină o accelerație suficientă a plăcii de adaos. S-a introdus, din punctual de vedere al explozivului, noțiunea de “impuls specific pe unitatea de suprafață”, care depinde numai de tipul explozivului și de grosimea lui.

Metalurgia sudării prin explozie

În condiții normale, procesul de sudare prin explozie este asociat cu formarea unor unde. Dacă componentele care se sudează au densități similare, în fața și spatele

fiecărei unde se afla câte un vârtej, în care sunt detectabile, cu microscopie electronică, zone topite. Dacă energia de impact este prea mare, zonele topite cresc, formând o pelicula continuă.

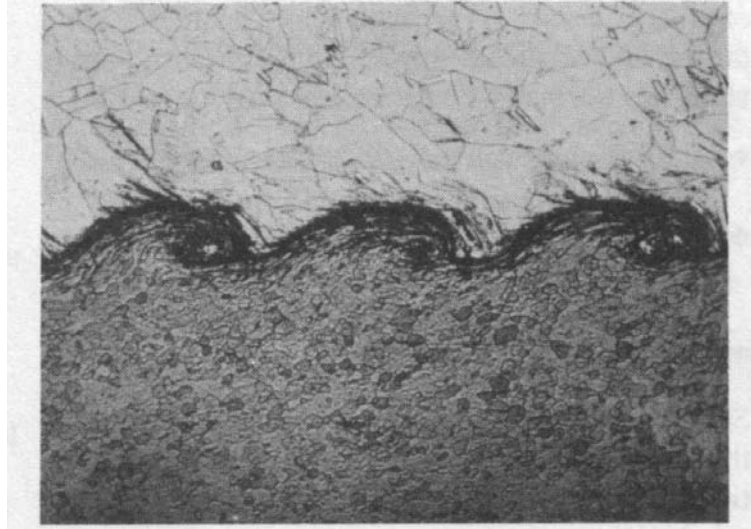


Fig. 3.6 Structura unei îmbinări prin explozie a două mărci de oțel. Suprafața vălurită cu posibile zone topite în vârtej

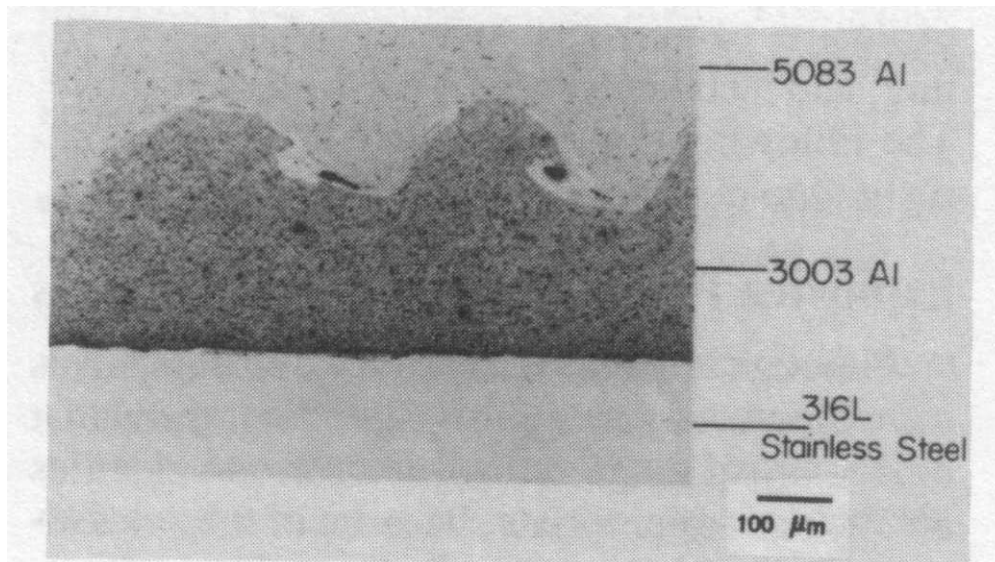


Fig. 3.7. Secțiune printr-o îmbinare prin explozie realizată pe o structură în trei straturi, oțel, aluminiu – Mn (3003) și aluminiu – magneziu (5083). Între oțel și aluminiu interfață netedă, cu formare de compuși, între straturile de aluminiu o morfologie pregnant vălurită, cu prezența de zone topite.

La un proces normal de sudare, zonele topite apar numai în centrul vârtejului. În afara acestor zone natura legăturii este de stare solidă, figura 3.6.

În cazul sudării unor metale sau aliaje metalice similare, suprafața de separație nu se poate evidenția clar; ea se remarcă doar prin graunți alungiți, determinați de o recristalizare locală.

În cazul sudării unor metale sau aliaje metalice diferite, se observă un strat foarte subțire intermetalic, de obicei format chiar dintr-o fază intermetalică, figura 3.7.

În vârtejuri unde apar zonele topite se presupune că vitezele de răcire sunt de ordinul a $10^5 \dots 10^7 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{s}$ și că acestea ar determina proprietăți electrice utile, care pot fi exploatate.

APLICATII

Aplicarea sudării prin explozie este eficientă numai în acele cazuri în care metalele sau aliajele de sudat sunt incompatibile cu alte procedee de sudare.

Pricipalele aplicații ale sudării prin explozie sunt următoarele:

√ placarea tablelor având grosimea egală cu cea de utilizare a lor în structurile sudate; după sudare este necesară planarea ansamblului sudat și corectarea marginilor acestuia;

√ placarea tablelor având grosimea mai mare decât cea de utilizare a lor în structurile sudate; după sudare urmează laminarea ansamblului placat la grosimea dorită;

√ asamblarea țevilor pe plăci;

√ asamblarea țevilor pe țevi, figura 3.8;

√ fixarea diferitelor componente de rigidizare pe structuri sudate având dimensiuni mari.

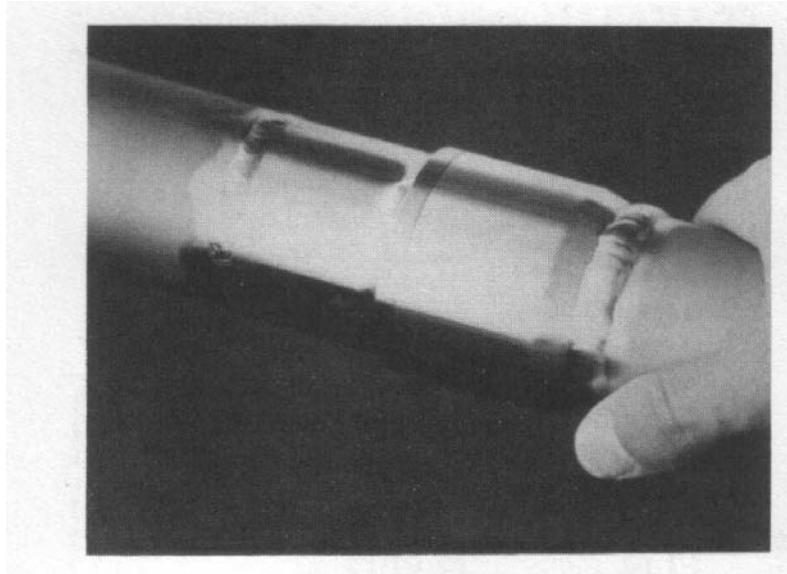


Fig. 3.8. Îmbinare aluminiu – oțel: piese de trecere sudate prin explozie, sudate ulterior clasic de țevile din același material.

Sudarea prin explozie se aplică la ora actuală la realizarea structurilor sudate destinate industriei chimice, aeronautice, navale, nucleare. Din punctul de vedere al naturii materialelor, se sudează prin explozie aliaje ușoare, titan, zirconiu precum și diferite combinații de materiale ca: oțel carbon cu oțel inoxidabil, cupru cu oțel carbon, cupru cu oțel inoxidabil, alama cu oțel carbon, aluminiu și aliaje de aluminiu cu oțel

carbon sau cu oțel inoxidabil, titan cu oțel carbon sau cu oțel inoxidabil, aliaje de nichel cu oțel.

In industria chimica, sudarea prin explozie se aplica la placarea rezervoarelor care trebuie sa reziste la coroziune sau eroziune. la sudarea componentelor placate prin explozie trebuie sa se tina seama de regulile tehnologice generale de sudare a materialelor placate.

In industria criogenica se folosesc rezervoare cu perete dublu, oțel si aluminiu, iar tubulatura tehnologica se face din oțel inoxidabil, a cărui conductibilitate termica scăzuta minimalizează transferul de căldura. Pentru îmbinarea etanșă a acestor țevi cu peretele de aluminiu al rezervorului, se folosesc piese tubulare intermediare, bimetalice, sudate prin explozie. Dacă se folosesc piese tubulare din aluminiu sudat prin explozie cu oțel inoxidabil, legătura între tubulatura tehnologica si rezervor se face sudând cu procedee clasice aluminiu cu aluminiu, respectiv oțel inoxidabil cu oțel inoxidabil.

In industria electrotehnica, pentru conductorii electrici supuși unor tensiuni înalte si parcurși de curenți electrici mari se folosesc cuprul, aluminiu si oțelul. Aluminiu are avantajul conductibilitatii electrice ridicate asociate cu greutatea specifica mica; cuprul este apreciat pentru bunele sale proprietati de contact electric la închiderea si deschiderea repetata a conexiunilor. Deseori, pentru combinarea acestor proprietati, in vederea minimalizării pierderilor de energie se impune folosirea unor piese bimetalice. Îmbinarea mecanica a pieselor din aluminiu, atunci când ele fac parte din circuite electrice, introduce insa pierderi însemnate de energie prin rezistenta de contact ridicata determinate de oxidul de aluminiu care se formează pe suprafața pieselor care se îmbina. Datorita fenomenului de autosablare care are loc la sudarea prin explozie, îmbinarea sudata are proprietati electrice bune, ceea ce determina aplicarea procedeeului in industria electrotehnica. Astfel, spre exemplu, sudarea prin explozie se aplica la realizarea unor piese bimetalice, masive din oțel si aluminiu; aceste piese bimetalice se sudează apoi in continuare cu noi componente de oțel, respectiv aluminiu, aplicând procedee clasice de sudare. Un exemplu, in acest sens, il constituie fabricarea anozilor pentru industria aluminiului. Îmbinarea oțel-aluminiu astfel realizata nu este supusa efectelor de imbatranire caracteristice îmbinărilor mecanice si nu necesita nici un fel de intretinere.

SUDAREA PRIN IMPULS MAGNETIC

Câmpurile magnetice impulsive reprezintă sursa de energie la procedeul de sudare în câmp magnetic. Câmpurile magnetice impulsive au fost descoperite încă din anul 1924 se către Kapitza, care a obținut prin descărcarea unei baterii de condensatoare într-o bobina cu inductivitate mică și rezistență foarte redusă un câmp magnetic oscilatoriu amortizat având inducția magnetică de 50 T. Utilizarea în scopuri tehnice a acestor câmpuri magnetice s-a făcut abia în jurul anilor 60, odată cu necesitatea prelucrării unor materiale din industria aeronautică.

Particularitățile procedeului și principiul de lucru

Impulsul de câmp magnetic apare la descărcarea unui condensator într-o bobină. Dacă în apropierea bobinei se așează o piesă metalică, în ea se induce un curent de înaltă intensitate, al cărui câmp interacționează cu cel al bobinei, dând naștere unor forțe de respingere care produc deplasarea piesei. Dacă în calea piesei mobile este dispusă o a doua piesă, de formă geometrică adecvată, la o distanță convenabil aleasă, piesa în mișcare este posibil să suporte următoarele consecințe după coliziune:

- dacă piesa fixă este masivă, cu rigidizare corespunzătoare, piesa mobilă va lua forma celei fixe și în anumite condiții există chiar posibilitatea sudării lor (placarea piesei groase);
- pentru două plăci de grosime mică, apropiată, se realizează sudarea.

Principiul procedeului are la baza legea inducției electromagnetice și poate fi explicat pe baza figurii 4.1.

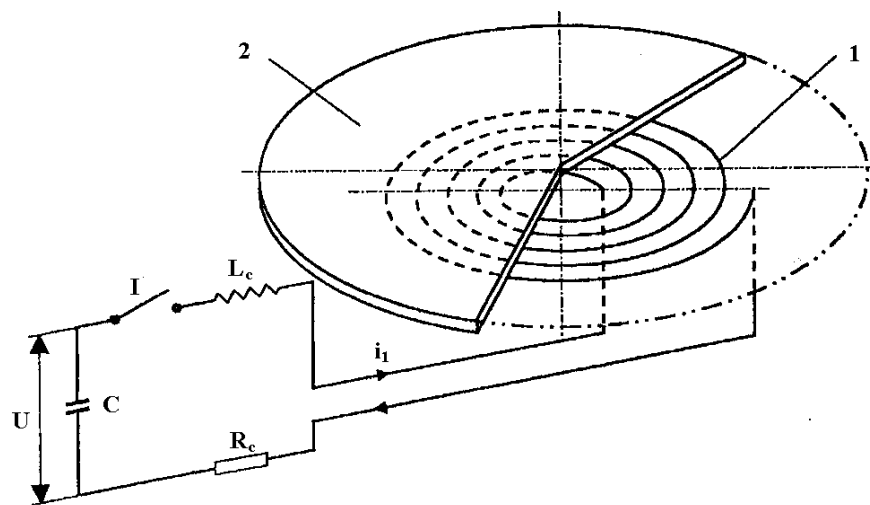


Fig. 4.1. Principiul de lucru la prelucrările în câmp magnetic

În placa conductoare electrică aflată în câmp magnetic variabil se induce un curent. Câmpul magnetic variabil se obține prin descărcarea stocatorului de energie - condensatorul de capacitatea C , încărcat la tensiunea U , prin bobina 1 de formă adecvată. La închiderea întrerupătorului I , prin conductorii bobinei, caracterizați de inductanța L_c și rezistența R_c , va trece un curent i_1 (inductor) în timp ce prin piesa plată 2 va circula un curent i_2 (indus) de sens contrar. Datorită sensului opus al curentilor din inductor / indus între cele două piese se dezvoltă o presiune magnetică care deplasează piesa 2. În

funcție de scop, piesa va lua forma plăcii active folosite sau va adera la piesa conjugată, cu condiția ca valoarea presiunii să depășească limita la curgere a materialului piesei de lucru.

Curentul primar poate atinge valori de până la 10^6 A. Energia eliberată poate fi de aproximativ 100 kJ; în aceste condiții, viteza plăcii mobile este posibil să atingă valori de 15000 m/s. Aceste valori nu au aplicabilitate practică deoarece sistemul mecanic și electric nu ar suporta un astfel de șoc. Viteza maximă admisă se încadrează în domeniul 600...1000 m/s.

În semifabricatele parcurse de câmpul magnetic iau naștere curenți turbionari, figura 4.2.. Intensitatea curenților depinde de proprietățile materialelor, conductivitatea lor electrică, permeabilitatea magnetică dar și de intensitatea câmpului ce i-a generat. Forța electromagnetică ce va rezulta depinde de caracteristicile semifabricatului dar și de parametri de intrare – curent primar. Efectul de puls magnetic este cu atât mai intens cu cât câmpul magnetic este mai puternic și conductivitatea semifabricatului mai mare.

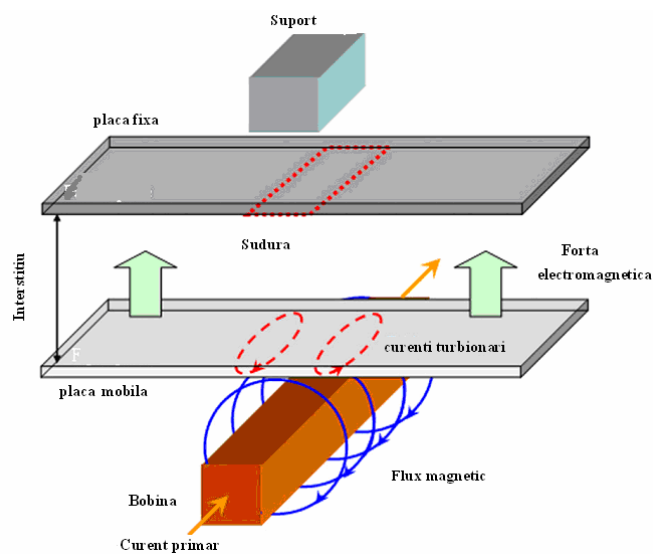


Fig. 4.2.. Schema de principiu a sudării în câmp magnetic; câmpul electromagnetic și formarea curenților turbionari

Parametri de lucru

Desfășurarea procesului de prelucrare prin câmp magnetic depinde, de caracteristicile câmpului magnetic impulsiv, adică de intensitate și de variația în spațiu și timp, precum și de proprietățile fizico-mecanice ale materialului piesei(lor) de lucru și dimensiunile acesteia. În particular, o mare importanță la prelucrare o are alegerea corectă a formei și duratei impulsului și a amplitudinii curentului de descărcare ce trece prin bobina.

Curenții turbionari și presiunea de origine magnetică pot fi calculate cu relațiile:

- curenții turbionari:
$$\nabla \times i = -\kappa \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)$$

- presiunea:
$$p = \frac{(B_0^2 - B_i^2)}{2\mu}$$

unde: B_0 , B_i – inducția magnetică; κ – conductibilitatea electrică; t – timpul; μ – permeabilitatea magnetică.

Intensitatea curenților din semifabricat și efectul de proiecție a acestuia vor fi cu atât mai intense cu cât:

- câmpul magnetic este mai intens;

- câmpul magnetic va avea o variație mai rapidă în timp;
- materialul va fi mai gros;
- materialul va prezenta o rezistivitate mai mică.

Inducția magnetică obținută la începutul procesului în momentul impactului a fost calculată cu relația:

$$B = \mu \cdot I \cdot \frac{\left[\operatorname{tg}\left(\frac{b}{2d_1}\right) + \operatorname{tg}\left(\frac{b}{2d_2}\right) \right]}{\pi \cdot b}$$

Unde: I – curentul de descărcare [A]

b - lățimea medie a bobinei

d₁, d₂ – distanțele între bobina și plăci (valoare superioară înainte de puls / valoare inferioară, după puls) [m]

În momentul inițial $d_1 = d_2 = 0,07 \times 10^{-3}$

În momentul final $d_1 = d_2 = 1,5 \times 10^{-3}$

În aceste condiții, la un curent maxim (primul puls) de 202 kA câmpul magnetic rezultat este de B = 50T și ajunge în momentul impactului 33T. Acesta corespunde unei presiuni inițiale de 950 MPa, care la impact ajunge la 425 MPa. Pentru calculul presiunii s-a folosit ecuația:

$$p = \frac{B^2}{2 \cdot \mu} \left[1 - e^{-\frac{2t}{\delta}} \right]$$

Unde: t – grosimea plăcii;

δ – adâncimea de pătrundere a curenților turbionari;

S-a urmărit: - influența energiei de lucru;

- influența distanței inițiale între plăci;

- influența formei conductorului bobinei.

SCHEME TEHNOLOGICE PENTRU SUDAREA ÎN PULS MAGNETIC

Aplicațiile de tip sudare în câmp magnetic de tip puls sunt limitate ca dimensiune a semifabricatelor și formă geometrică. Astfel procedeul se aplică la piese de formă tubulară de dimensiuni mici sau a pieselor plate de asemenea de dimensiuni limitate. Avantajul net este că permite sudarea materialelor în stare solidă, deci este o soluție excelentă pentru îmbinările eterogene, aluminiu de cupru, aluminiu de oțel și altele. De asemenea, nu trebuie neglijat faptul că sudarea reperelor mici / subțiri este dificilă sau imposibilă cu procedeele clasice și costisitoare în cazul procedeelelor tip fascicul de electroni, laser sau plasmă.

Variante ale îmbinărilor prin impuls magnetic raportate la geometria pieselor care se sudează sunt arătate în figura 4.3.

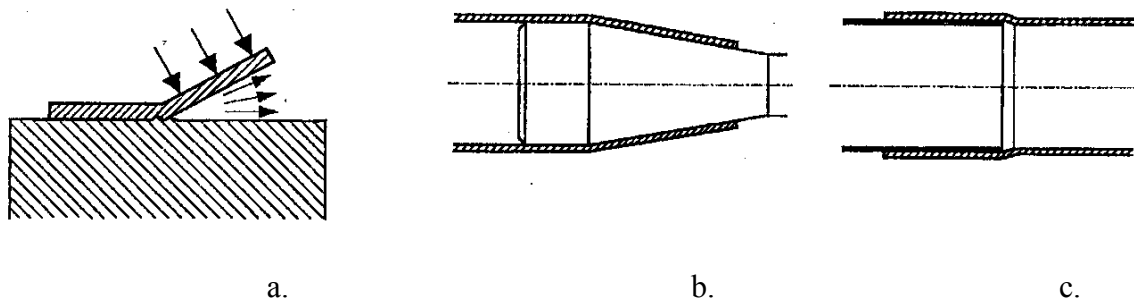


Fig. 4.3. Principalele scheme de sudare cu impuls magnetic: a. Sudare prin suprapunere; b. Sudarea pieselor tubulare prin comprimarea tubului exterior; c. Sudarea pieselor tubulare prin expansiunea tubului interior.

Sistemele de prindere precum și forma geometrică a bobinelor se adaptează reperelor de obținut. Există sisteme pentru două variante de suprafețe:

- suprafețe închise, cu axă de simetrie, tuburi, figura 4.4
- suprafețe plane, figura 4.2.

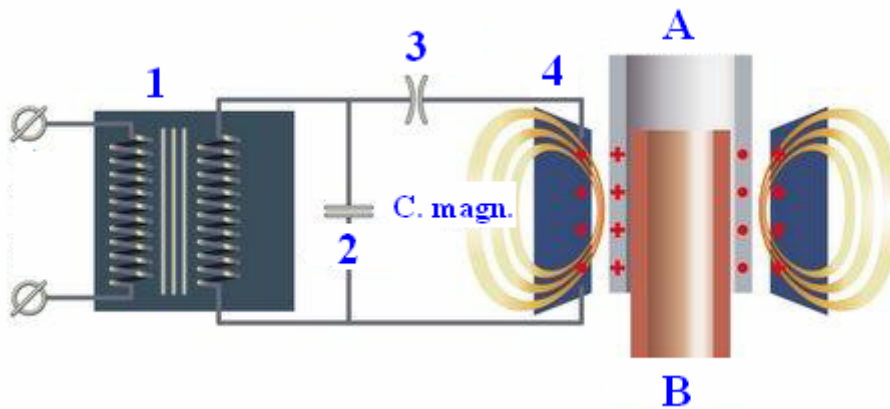


Fig. 4.4. Schema de lucru pentru sudarea tuburilor: 1 Transformator, 2 condensator; 3 eclator; 4 bobina A. piesa exterioră B. Piesa interioară.

Pentru îmbinarea suprafețelor plane, în principiu, se utilizează două variante de lucru: cu proiectarea simetrică a componentelor (rar) și cu susținerea materialului de bază și proiectarea celui de adaos (a doua componentă).

Tot pentru suprafețele plane există o varietate de solicitări privind forma îmbinării, ceea ce generează o diversitate de geometrii ale bobinei. Câteva forme de bobine cu îmbinările rezultante sunt prezentate în figura 4.5.

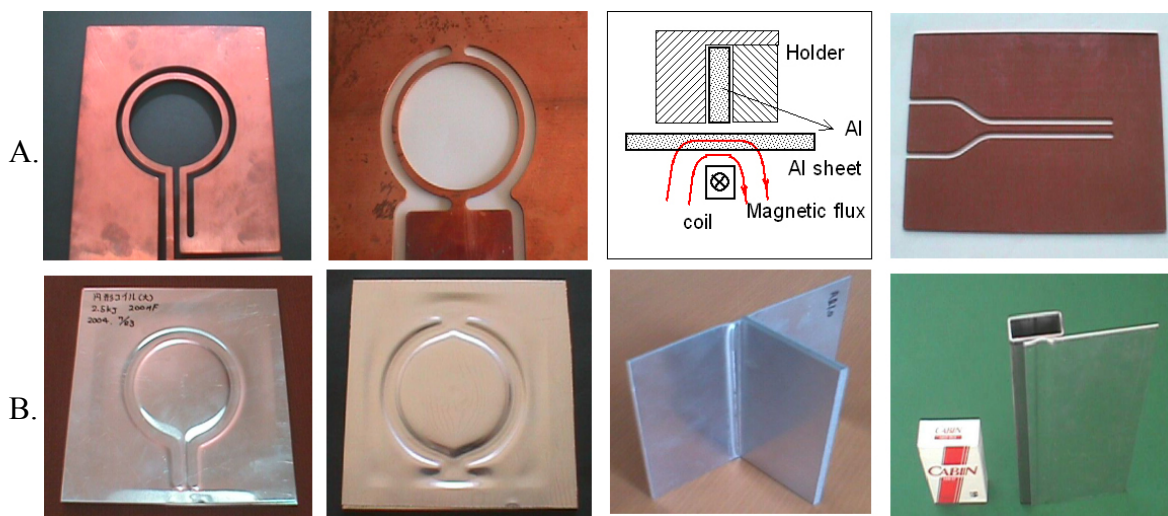


Fig. 4.5. variante geometrice de bobine pentru îmbinări plane și îmbinările rezultate: A. Forma bobinei; B. Forma îmbinării; a., b. îmbinări de plăci; c. îmbinare de colț; d. îmbinare placă – profil.

Parametri tehnologici specifici sudării prin puls magnetic sunt:

- energia de impuls (influențată de capacitate condensatori, curent sudare,
- dimensiunile transversale a bobinei;
- forma conductorului spirei bobinei;
- distanța între piesele de îmbinat.

INFLUENTA UNOR PARAMETRI TEHNOLOGICI ASUPRA REZISTENȚEI ÎMBINĂRILOR LA SUDAREA LINIARĂ A PLĂCILOR

Schema de lucru este prezentată în figura 4.6.

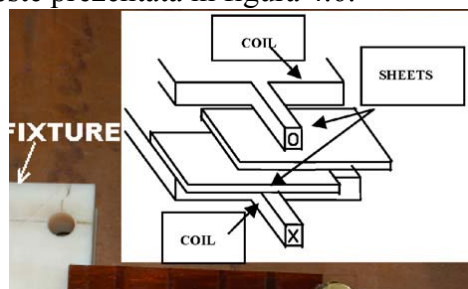


Fig. 4.6. Dispozitiv de sudare plan, schemă

Pentru acest tip de bobină calculul principalilor parametri se face conform relațiilor:

$$B = \mu \cdot I \cdot \frac{\left[\operatorname{tg}\left(\frac{b}{2d_1}\right) + \operatorname{tg}\left(\frac{b}{2d_2}\right) \right]}{\pi \cdot b}$$

Unde: I – curentul de descărcare [A]

b - latimea medie a bobinei
d1, d2 – distantele între bobina și plăci (valoare superioară înainte de puls / valoare inferioară, după puls) [m]

În momentul inițial $d_1 = d_2 = 0,07 \times 10^{-3}$

În momentul final $d_1 = d_2 = 1,5 \times 10^{-3}$

În aceste condiții, la un curent maxim (primul puls) de 200 kA câmpul magnetic rezultat este de $B = 50T$ și ajunge în momentul impactului $33T$. Acesta corespunde unei presiuni inițiale de 950 MPa, care la impact ajunge la 425 MPa.

Pentru calculul presiunii sse folosește ecuația:

$$p = \frac{B^2}{2 \cdot \mu} \left[1 - e^{-\frac{2t}{\delta}} \right]$$

Unde: t – grosimea plăcii;

δ – adâncimea de pătrundere a curenților turbionari;

În conformitate cu relațiile de calcul, rezultă că un rol în obținerea unei suduri corespunzătoare îl au parametri tehnologici de tip: dimensiune conductor bobină, forma conductor bobină, distanța inițială dintre plăcile de sudat și de bună seamă, energia de impact.

Influența exercitată de energia descărcării

Rezistența îmbinărilor manifestă o creștere evidentă cu creșterea energiei impulsului. Rezistența îmbinării este însă neuniformă pe lungimea îmbinării în cazul îmbinărilor plane. La creșterea excesivă a energiei de impact bobina și sistemele de prindere ale materialului pot ceda.

Influența geometriei spirei

Variante de secțiuni ale conductorului de Cu (bobină) sunt prezentate în figura 4.8.

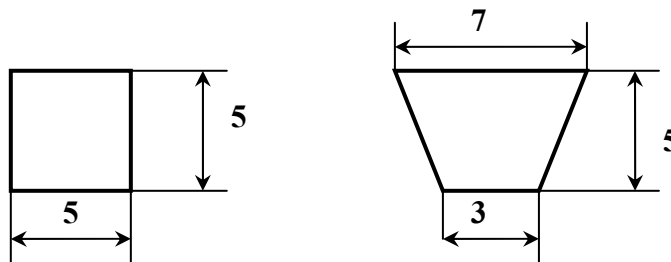


Fig. 4.8. Forma și dimensiunile secțiunii bobinelor utilizate

- asupra rezistenței cusăturii

Secțiunea de lucru mai mică corespunzătoare bobinei cu secțiune trapezoidală are ca efect o creștere a densității de curent, creșterea fluxului magnetic și a forței Lorentz. Rezultă o îmbinare mai rezistentă decât cea cu conductor rectangular.

- latimii cusăturii

Geometria spirei are o influență nesemnificativă asupra formei cusăturii.

Influența distanței dintre plăci

Plăcile aflate în momentul inițial la o distanță prestabilită sunt proiectate accelerat datorită impulsului electromagnetic. Ele „zboară” una peste alta cu viteze enorme. La distanțe precise, plăcile ating vitezele maxime, având astfel și energii cinetice maxime. Când are loc ciocnirea, energia cinetică se transformă în energie de coliziune, de impact. Datorită efectului de curățare a oxizilor are loc sudarea. Pentru distanțe mici, impactul are loc înainte de atingerea vitezei maxime. Pentru distanțe mari, viteza la momentul impactului scade față de viteza maximă. În concluzie, rezistența maximă va fi atinsă doar la valoarea optimă a distanței dintre plăci, distanța ce trebuie corelată cu ceilalți parametri.

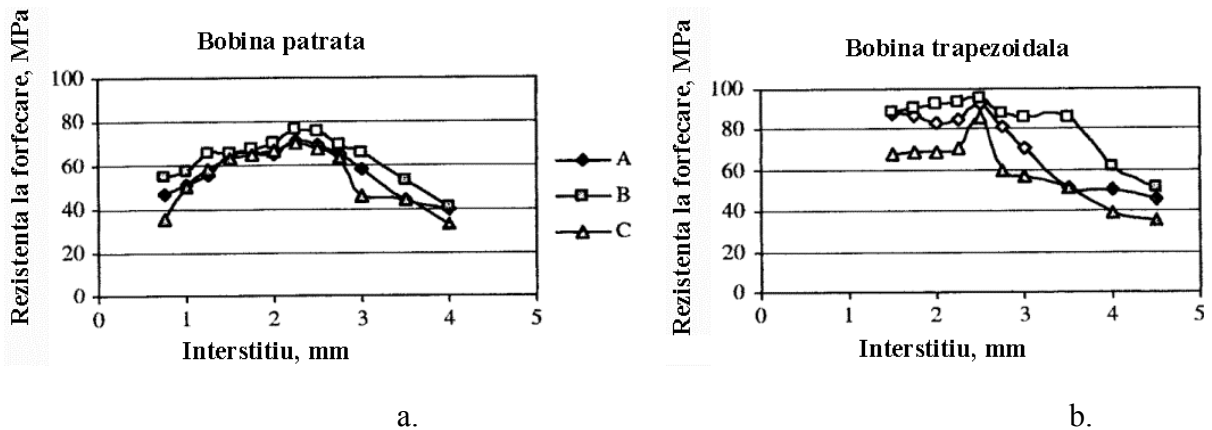


Fig. 4.11. Efectul distanței inițiale asupra rezistenței la forfecare a îmbinării pentru energia de 5kJ; a. Bobină cu secțiune pătrată; b. Bobină cu secțiune trapezoidală

Particularitati privind formarea îmbinărilor

Atât în cazul îmbinărilor omogene, cât și în cazul celor eterogene se constată că îmbinarea prezintă un element comun: zona centrală a porțiunii deformate nu participă la formarea legăturilor.

Modul în care are loc deformarea și îmbinarea materialelor eterogene este reprezentat schematic în figura 4.15.

În cazul sudurilor omogene, efectul de “încetare” nu este evident, dar lipsa legăturii intermetalice în centrul zonei deformate este evidentă, figura 4.16. Se emit următoarele ipoteze privind prezența zonei nesudate:

- a) în momentul impactului forța Lorentz este perpendiculară pe suprafața plăcilor. Coliziunea are loc pe direcția forței, ceea ce creează un efect de recul. La distanța mică de axul câmpului, forțele au orientare diferită și efectul de recul nu mai apare, astfel ca îmbinarea se poate produce.
- b) datorită poziției relative inițiale, respectiv paralelismului plăcilor, stratul de oxizi nu poate fi eliminat din axul îmbinării.
- c) se poate presupune prezența unei stări de deformare complexă la interfață.

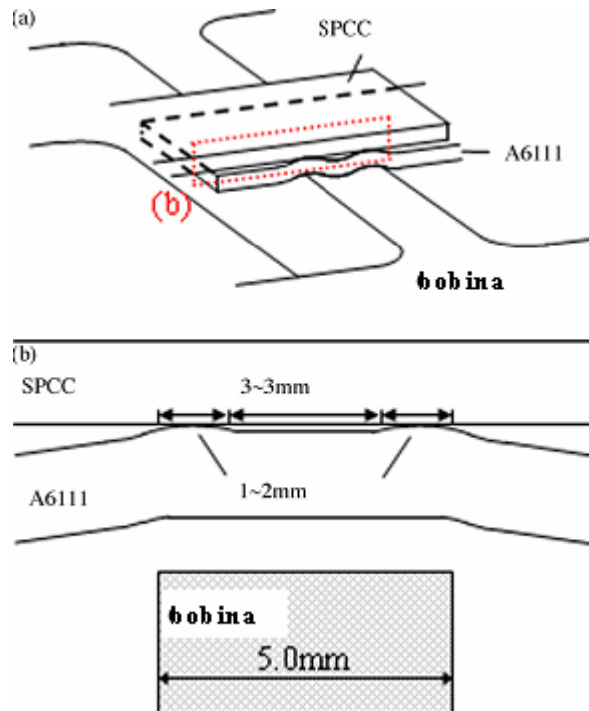


Fig. 4.15. Schemă de principiu a aspectului îmbinării pentru cazul îmbinării plane prin puls magnetic: a. Aspect exterior; b. Secțiune transversală prin îmbinare.șMF1ț

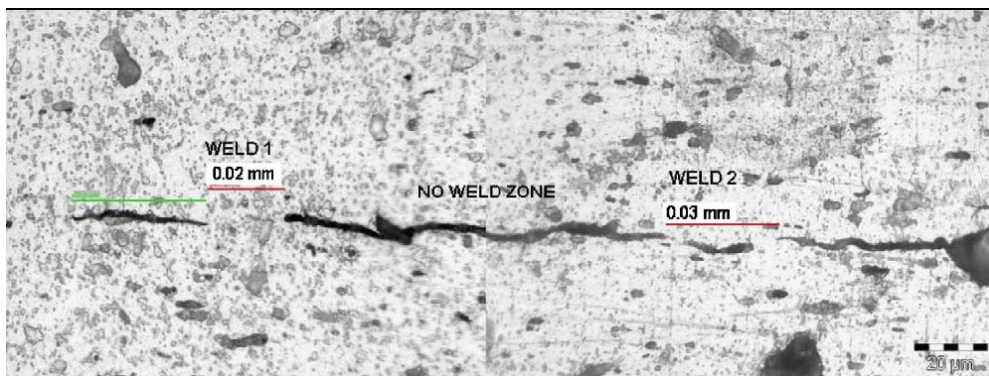


Fig. 4.16. Microstructura unei îmbinări: weld 1, weld 2 – sudură; no weld zone – zona fără îmbinare (microstructur; pe sudură omogenă).

Morfologia interfeței

Sudura omogena prezintă o serie aspecte diferite la interfața in funcție de zona analizata si de parametri de lucru.

Astfel pe îmbinare se pot pune in evidenta pe lângă zonele cu legături evidente si cele nesudate, zone in care interfața este posibil de observat, zone de tranziție între zona sudata si cea nesudata, figura 4.17.

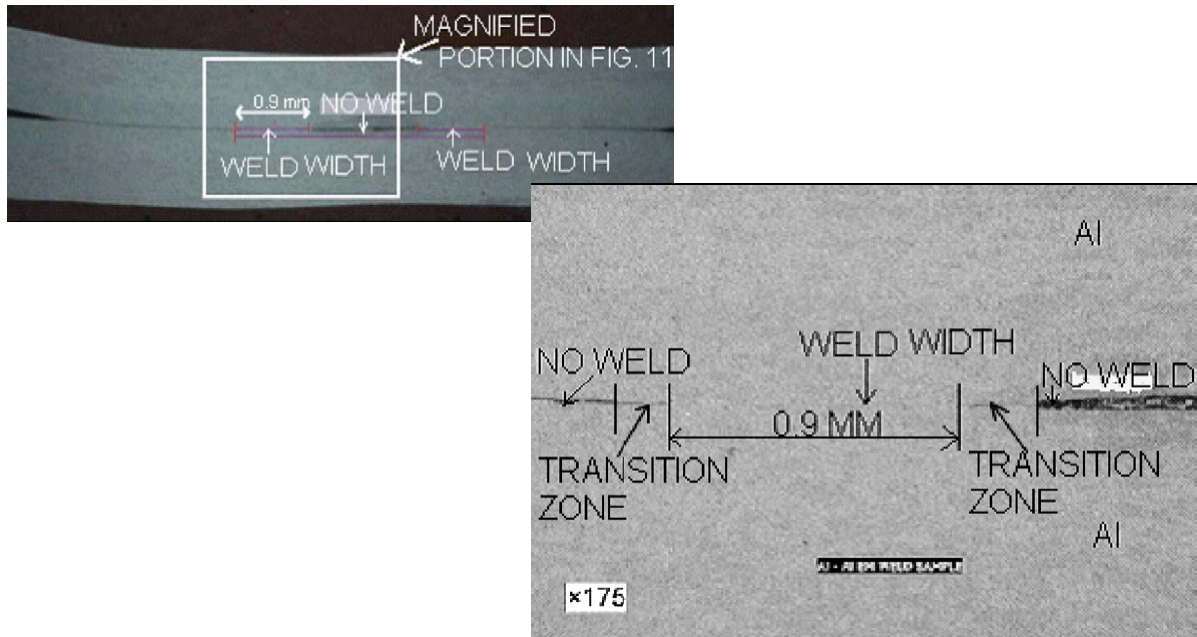


Fig. 4.17. Interfața. Macrostructură și microstructură

În zona sudată continuitatea materialului este aproape perfectă, figura 4.18.a ; la putere de mărire mare se observa aspectul valurit al interfaței, aspect întâlnit în cazul sudării prin explozie, figura 4.18. b și c. Rezultă că aspectul vâlurit este specific sudării în stare solidă cu viteze mari.

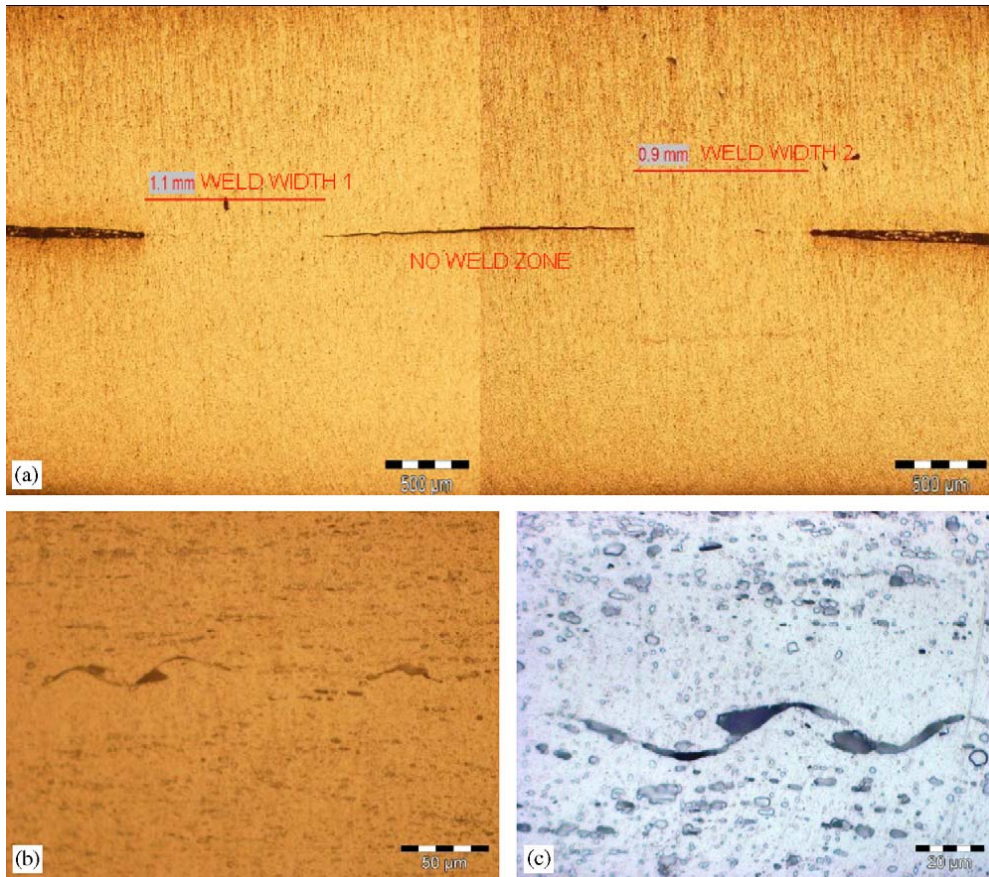


Fig. 4.18.. Dispunerea zonelor de legătură la sudarea prin puls magnetic și aspectul interfeței în zonele îmbinate: a. Zona îmbinării la $E=5\text{kJ}$, $U=7,2\text{KV}$, $d=2,5\text{mm}$; b. și c. aspectul interfeței la $E=3,6\text{kJ}$, $U=6\text{kV}$, $d=2,5\text{mm}$ la mărituri de $x 500$, respectiv $x1000$

O altă caracteristică este legată de nivelul de ecruisare în vecinătatea sudurii. Deși se realizează o activare corespunzătoare conectării rețelei atomice, nivelul de ecruisare redus, aproape neglijabil, și mult mai redus decât în cazul sudării prin frecare.