



UNIVERSITATEA „DUNAREA DE JOS” DIN GALAȚI

FACULTATEA DE INGINERIE



SPECIALIZAREA: PROIECTARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA SUDĂRII

LUCRARE DE DISERTAȚIE

Coordonator proiect

Conf. dr. ing. MIRCEA OCTAVIAN

Absolvent

ENACHE GEORGE

GALAȚI – 2020



UNIVERSITATEA „DUNAREA DE JOS” DIN GALAȚI

FACULTATEA DE INGINERIE



SPECIALIZAREA: PROIECTARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA SUDĂRII

CERCETĂRI PRIVIND SUDAREA PRIN FRECARĂ A MATERIALELOR SIMILARE ȘI DISIMILARE

Coordonator proiect

Conf. dr. ing. MIRCEA OCTAVIAN

Absolvent

ENACHE GEORGE

GALAȚI – 2020



FACULTATEA DE INGINERIE
UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI

Str. Domnească nr. 111,
800201 - Galați, România
www.ing.ugal.ro

Tel.: +40 336 130208
Fax: +40 236 314463

AVIZ secretariat facultate
(pentru înscriere proiect)

Nr. înregistrare/data

LUCRARE DE DISERTAȚIE

Absolvent: Enache George
Domeniu: Inginerie Industrială
Specializarea: Proiectare și Simulare în Ingineria Sudării
Promoția: 2020

Tema:

CERCETĂRI PRIVIND SUDAREA PRIN FRECARĂ A MATERIALELOR SIMILARE ȘI DISIMILARE

Conținut:

1. Principiul Sudării prin frecare
2. Variate de Sudare prin frecare
3. Materiale pentru Sudarea prin frecare
4. Prezentarea echipamentului de Sudare
5. Realizarea îmbinărilor Sudate prin frecare a materialelor similare și disimilare
6. Determinarea Durității și a Compoziției Chimice a îmbinărilor Sudate prin frecare

Desene:

1. Desen de ansamblu „Stand pentru sudarea prin frecare”

Director departament

Prof. dr. ing. Gabriel Frumușanu

Coordonator proiect

Conf. dr. ing. Mircea Octavian

Absolvent

Enache George

Specializarea / Anul absolvirii

Proiectare și Simulare în Ingineria
Sudării/2020

DECLARAȚIE

Subsemnatul(a), **Enache George** identificat prin CNP **1950306170011** absolvent al Universității „Dunărea de Jos” Galați, Facultatea de Inginerie, specializarea **Proiectare și Simulare în Ingineria Sudării** promoția **2020**, declar pe proprie răspundere, cunoscând prevederile legale cu privire la falsul în declarații și dispozițiile Legii Educației Naționale nr. 1/2011 referitoare la plagiat, că lucrarea de disertație cu titlul **CERCETĂRI PRIVIND SUDAREA PRIN FRECARE A MATERIALELOR SIMILARE ȘI DISIMILARE**, pe care urmează să o susțin în fața comisiei este originală, îmi aparține și îmi asum ca autor, conținutul sau, în întregime.

Declar ca nu am folosit în mod tacit sau ilegal munca altora și ca nici o parte din lucrare nu încalcă drepturile de proprietate intelectuală ale cuiva, persoană fizică sau juridică. Toate sursele utilizate, inclusiv cele de pe internet, sunt indicate în bibliografia lucrării, cu respectarea regulilor de respectare a plagiatului.

Declar că lucrarea nu a mai fost prezentată sub această formă vreunei instituții de învățământ superior în vederea obținerii unui grad sau titlu științific sau didactic.

Am luat la cunoștință faptul că, în cazul în care, lucrarea va fi dovedită ca fiind plagiată, voi fi exmatriculat(ă) sau, dacă plagiatul va fi dovedit după absolvirea lucrării de disertație, îmi va fi retras titlu academic obținut.

Data

06.07.2020

Semnătura,



REZUMAT

Sudarea prin frecare este un procedeu modern și sigur de sudare cap la cap prin presiune la care căldura necesară este obținută prin transformarea energiei mecanice de frecare, dintre elementele de sudat, în energie termică.

Principiul sudării prin frecare, pentru cazul îmbinării cap la cap a două bare, poate fi urmărit în figura 1.1. Capătul din stânga este prins într-un universal de strung (mandrină) și este pus în mișcare de rotație în timp ce capătul din dreapta, este prins într-o menghină și execută mișcarea de avans longitudinal. Odată cu aducerea capetelor în contact și presarea lor cu o forță F , începe încălzirea pe baza frecării. Asperitățile în stare solidă sunt măcinate și amestecate cu impuritățile existente iar datorită încălzirii se transformă într-un metal plastifiat vâscos care este expulzat dintre capete formând o bavură sub forma a două inele netede. După un timp de frecare suficient de lung pentru a obține uniformizarea temperaturii pe secțiune, se comandă oprirea mișcării de rotație și se face refularea în vederea sudării prin presiune.

Din punct de vedere al mișcării relative dintre elementele îmbinării, soluția cea mai comodă și cea mai des utilizată este cea a folosirii mișcării de rotație ca în figura 1.1.

Ciclul de sudare prin frecare poate fi împărțit în următoarele etape: antrenare, încălzire, frânare și refulare. Datorită mișcării relative de rotație din timpul sudării prin frecare se îmbină, în general, piese cilindrice ca : bară cu bară, bară cu țeava sau țeava cu țeava, având diametre egale. Se recomandă o lungime liberă aproximativ egală cu diametrul pieselor de sudat.

În lucrare ne-am propus să analizăm comportarea la sudarea prin frecare a materialelor similare și disimilare, formarea bavurii, influența timpului de frecare asupra mărimii bavurii și a rezistenței îmbinării, caracteristicile mecanice și de rezistență, precum și analiza macroscopică și microscopică a îmbinărilor realizate.

SUMMARY

Friction welding is a modern and safe butt welding process in which the required heat is obtained by transforming the mechanical friction energy, between the elements to be welded, into thermal energy.

The principle of friction welding, for the case of the butt jointing of two bars, can be followed in figure 1.1. The left end is caught in a universal lathe (chuck) and is set in rotational motion while the right end is caught in a vise and performs the longitudinal feed movement. Once the heads are brought into contact and pressed with a force F , the heating starts based on friction. The solid state asperities are ground and mixed with the existing impurities and due to heating it is transformed into a viscous plasticized metal which is expelled from the ends forming a burr in the form of two smooth rings. After a friction time long enough to achieve uniformity of temperature on the section, it is ordered to stop the rotational movement and to make the discharge for pressure welding.

From the point of view of the relative movement between the joint elements, the most convenient and most frequently used solution is that of using the rotational movement as in figure 1.1.

The friction welding cycle can be divided into the following stages: drive, heating, braking and discharge. Due to the relative rotational movement during friction welding, cylindrical parts are generally joined, such as: bar with bar, bar with pipe or pipe with pipe, having equal diameters. A free length approximately equal to the diameter of the parts to be welded is recommended.

In the paper we aimed to analyze the frictional welding behavior of similar and dissimilar materials, burr formation, the influence of friction time on burr size and joint strength, mechanical and strength characteristics, and macroscopic and microscopic analysis of joints.

CUPRINS

CAPITOLUL 1. PRINCIPIUL SUDĂRII PRIN FRECARÉ

1.1 Principiu de lucru.....	10
1.2 Analiza procesului de frecare.....	11
1.3 Factori tehnologici la sudarea prin frecare.....	14
1.3.1 Pregătirea suprafețelor.....	14
1.3.2 Lungimea liberă inițială.....	16
1.3.3 Viteza relativă.....	16
1.3.4 Presiunea de frecare.....	19
1.3.5 Timpul de frecare.....	20
1.3.6 Tmpul de frânare.....	22
1.3.7 Presiunea de refulare.....	22
1.3.8 Scurtarea axială.....	23

CAPITOLUL 2. VARIANTE DE SUDARE PRIN FRECARÉ

2.1 Sudarea prin frecare continua.....	25
2.2 Sudarea prin frecare cu energie înmagazinată.....	26
2.3 Sudarea cu încălzire suplimentară.....	27
2.4 Sudarea prin frecare cu material de adaos.....	27
2.5 Sudarea prin frecare orbitală.....	28
2.6 Sudarea prin frecare oscilatorie.....	29
2.7 Sudarea prin frecare în linie.....	29
2.8 Sudarea prin frecare a bolțurilor.....	31
2.9 Sudarea prin frecare indirectă.....	33

CAPITOLUL 3. MATERIALE PENTRU SUDAREA PRIN FRECARÉ

3.1 Oțeluri utilizate la sudare.....	34
3.2 Oțeluri carbon.....	34
3.3 Oțeluri aliate.....	36
3.3.1 Influența elementelor de aliere.....	36
3.3.2 Clasificarea oțelurilor aliate.....	37
3.4 Oțeluri inoxidabile.....	40
3.4.1 Oțeluri feritice.....	40
3.4.2 Oțeluri austenitice.....	40
3.4.3 Oțeluri martensitice.....	40
3.4.4 Oțeluri duplex.....	40

CAPITOLUL 4. PREZENTAREA ECHIPAMENTULUI DE SUDARE

4.1 Echipamente pentru sudarea prin frecare.....	44
4.2 Descrierea instalației.....	45
4.3 Aplicații ale sudării prin frecare.....	46

CAPITOLUL 5. REALIZAREA ÎMBINĂRILOR SUDATE PRIN FRECARÉ A MATERIALELOR SIMILARE ȘI DISIMILARE

5.1 Materiale folosite pentru realizarea îmbinărilor sudate.....	49
5.2 Oțel S690.....	49
5.2.1 Aplicații.....	49
5.3 Inox 316L.....	50
5.3.1 Prelucrabilitate.....	50
5.3.2 Utilizare.....	50
5.4 Aspecte din timpul sudării.....	51
5.5 Sudarea prin frecare a îmbinarilor similare.....	55
5.6 Sudarea prin frecare a îmbinarilor disimilare.....	61

CAPITOLUL 6. DETERMINAREA DURITĂȚII ȘI A COMPOZIȚIEI CHIMICE A ÎMBINĂRILOR SUDATE PRIN FRECARÉ

6.1 Determinarea durității prin metoda Vickers.....	63
6.1.2 Aparatura și materiale folosite.....	65
6.1.3 Modul de lucru.....	66
6.2 Determinarea compoziției chimice prin metoda de fluorescență cu raze x.....	67
6.3 Microduritate prin metoda Vickers.....	68
6.4 Direcții viitoare de cercetare.....	73

CONCLUZII

BIBLIOGRAFIE

CAPITOLUL 1.

PRINCIPIUL SUDĂRII PRIN FRECARÉ

1.1 Principiu de lucru

Sudarea prin frecare este un procedeu modern și sigur de sudare cap la cap prin presiune la care căldura necesară este obținută prin transformarea energiei mecanice de frecare, dintre elementele de sudat, în energie termică. Acest mod de obținere a unei încălziri locale, concentrate, a fost cunoscut și folosit în antichitate pentru aprinderea focului prin rotirea alterativă, cu ajutorul unei coarde de arc, a unui băț din lemn presat pe o bucată de lemn uscat, ușor inflamabil^[1].

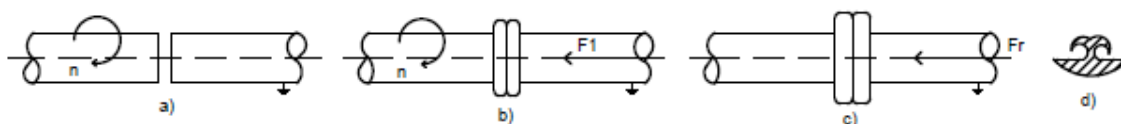


Fig. 1.1 *Principiul sudării prin frecare*

Principiul sudării prin frecare, pentru cazul îmbinării cap la cap a două bare, poate fi urmărit în figura 1.1. Capătul din stânga este prins într-un universal de strung (mandrină) și este pus în mișcare de rotație în timp ce capătul din dreapta, prins într-o menghină, este împiedicat să se rotească dar se poate deplasa axial (fig 1.1a).

Odată cu aducerea capetelor în contact și presarea lor cu o forță F , (fig 1.1b), începe încălzirea pe baza frecării. Asperitățile sunt măcinate și amestecate cu impuritățile existente iar datorită încălzirii se transformă într-un metal plastic vâscos (ca un aluat) care este expulzat dintre capete sub forma a două inele netede ca în figura 1.2.

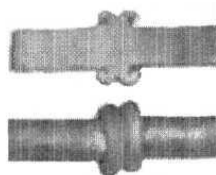


Fig. 1.2 *Forma bavurii*^[2]

Temperatura se stabilizează în domeniul plastic al materialului fără a putea atinge temperatura de topire, indiferent de durata frecării. După un timp de frecare suficient de

^[1] Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[2] Idem ^[1]

lung pentru a obține uniformizarea temperaturii pe secțiune, se comandă oprirea mișcării de rotație și refularea în vederea sudării prin presiune (fig 1.1c). Îmbinarea realizată prin frecare are o bavură caracteristică de tip "rulou" ce nu poate fi confundată (vezi fig 1.1d și 1.2). Prezintă caracteristici mecanice net superioare față de alte îmbinări deoarece sudarea se obține în stare solidă, sub temperatura de topire, între suprafețe perfect autocurățate. Înlocuiește sudarea prin scânteiere.

Sudarea prin frecare concentrează sursele termice în planul suprafețelor de sudat, rezultând o zonă încălzită îngustă, obținută cu o energie consumată mai mică decât în cazul sudării electrice prin presiune. Poate fi asemănată cu sudarea electrică, cap la cap, a unor bare cu rezistența electrică proprie zero și cea de contact foarte mare^[3].

Sudarea prin frecare presupune parcurgerea fazelor reprezentate schematic în figura 1.3.

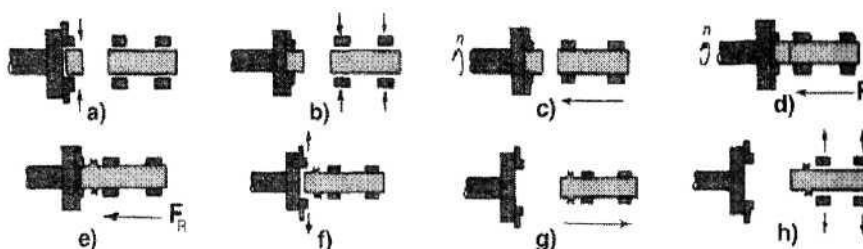


Fig. 1.3 Fazele schematizate ale sudării prin frecare, a - strângerea mandrinei; b - strângerea menghinei; c - cuplarea mișcărilor; d - încălzirea prin frecare; e - frânarea și refularea; f - desfacerea mandrinei; g - retragerea saniei; h - desfacerea menghinei.^[4]

Din punct de vedere al mișcării relative dintre elementele îmbinării, soluția cea mai comodă și cea mai des utilizată este cea a folosirii mișcării de rotație ca în figura de mai sus. Au fost dezvoltate și alte variante cu rotirea ambelor capete în sens contrar, cu menținerea nemișcată a componentelor și rotirea unui element intermediar (care rămâne sau nu în îmbinare), cu mișcare planetară, cu mișcare oscilatorie sau rectilinie alternativă etc.

1.2 Analiza procesului de frecare

În cursul procesului de sudare prin frecare au loc o serie de procese ca: formarea și distrugerea unor legături metalice între suprafețele în contact, deformări plastice ale proeminențelor de pe suprafețe, întrepătrunderea asperităților capetelor și smulgerea lor, amestecarea particulelor de metal cu impuritățile de pe suprafețe, etc.

Sucesiunea acestor procese poate fi sesizată analizând variația în timp a unor parametri ca: viteza de rotație n , presiunea axială de contact p_0 , scurtarea axială ΔL și momentul de frecare M_t (figura 1.4).

^[3]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[4]Idem ^[3]

Ciclul de sudare prin frecare poate fi împărțit în următoarele etape: antrenarea, încălzirea, frânarea și refularea.

a - Antrenarea uneia dintre componentele îmbinării și deplasarea componentei fixate în menșină în vederea realizării contactului între suprafețe, pe durata de timp t_1 .

b - Frecarea capetelor în vederea încălzirii are loc pe durata de timp t_2 , observându-se trei faze caracteristice ale procesului:

b_1 - faza frecării uscate. Odată cu realizarea contactului și aplicarea presiunii axiale, s-a observat creșterea rugozității suprafețelor și formarea unor legături (punți metalice) izolate care, solicitate la forfecare, conduc la smulgeri de particule de material de pe suprafețele în contact. Legăturile se concentrează într-o zonă inelară (ce depinde de poziție de mărimea vitezei relative și de lățime de forță axială) rezultând creștături circulare (rizuri) ce pornesc din această zonă către interior. Datorită joncțiunilor locale, presiunea de contact și momentul de frecare cresc continuu până când, prin creșterea temperaturii în aceste zone, materialul începe să se plastificeze. Procesul este zgomotos, cu vibrații importante și determină o mișcare neregulată a saniei (vezi variația scurtării ΔL din grafic). Se observă căderea unor particule metalice^[5].

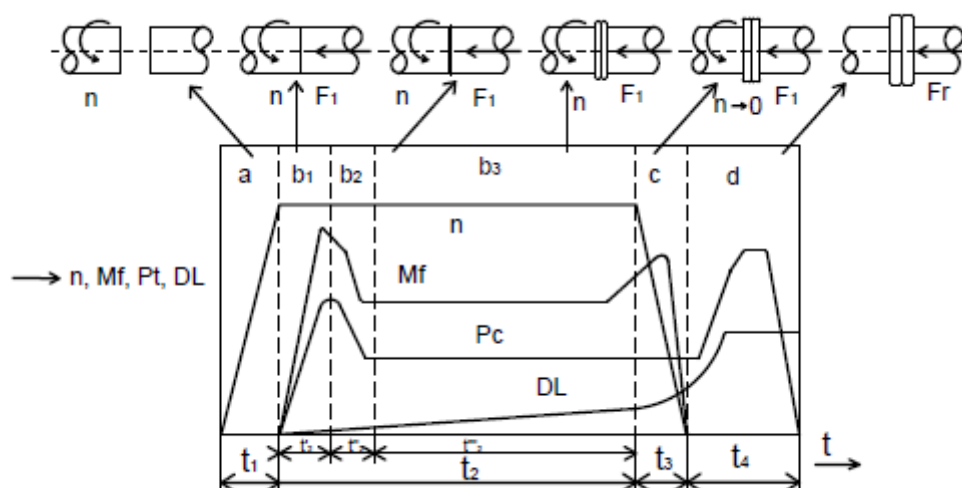


Fig. 1.4 Etapele și fazele sudării prin frecare^[6]

b_2 - faza frecării mixte. Metalul plastifiat, localizat într-o zonă inelară, se extinde și cuprinde treptat întreaga suprafață de contact; scade astfel presiunea de contact și momentul de frecare. Materialul plastifiat începe să fie eliminat dintre suprafețe în bucură, fiecare particulă descriind, în mișcarea sa spre exterior, o traiectorie elicoidală. În această fază mișcarea devine mai stabilă și mai puțin zgomotoasă;

^[5]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[6]Idem ^[5]

b₃ - faza frecării vâscoase. Cele două suprafețe sunt separate de un strat de metal vâscos care, împins în bavura ce se formează, determină începerea evidentă a scurtării axiale.

Momentul de frecare și presiunea de contact rămân constante deși, în continuare, sunt smulse particule metalice din ambele capete ale pieselor, amestecate cu metalul vâscos, încălzite și eliminate în bavură. În această fază se generează cea mai mare parte a căldurii necesare.

c - Frânarea se produce pe durata t₃, în acest timp viteza de rotație scăzând la zero. Timpul de frânare este foarte scurt (sub o secundă). Datorită scăderii rapide a temperaturii zonei îmbinării prin reducerea căldurii degajate și disiparea căldurii prin convecție, încep să se formeze din nou joncțiuni între capetele pieselor. În această etapă crește deci momentul de frecare datorită legăturilor locale în formare.

De reținut că această etapă este distinctă numai la echipamentele prevăzute cu dispozitive de frânare. Dacă frânarea este produsă de forța de refulare, etapele "c" și "d" se suprapun.

d - Refularea se execută pe durata de timp t₄, în timpul opririi mișcării relative a capetelor sau după oprirea acesteia, cu o forță egală cu aceea din timpul încălzirii sau cu o forță FR mai mare. Prin creșterea presării axiale o parte din metalul plastifiat este eliminat în bavură și se realizează gradul de deformare necesar activării atomilor în vederea sudării prin presiune.

La o analiză superficială procedeul pare nerentabil datorită transformărilor succesive ale formelor de energie, electrică-mecanică-termică (W → E → Q), cu o verigă în plus față de sudarea electrică prin presiune unde energia electrică este transformată direct în căldură (W → Q), cunoscut fiind faptul că orice transformare implică un randament subunitar. În realitate, prin concentrarea sursei termice pe suprafețele de sudat, se obține o reducere a energiei totale consumate^[7].

Energia degajată în timpul frecării poate fi calculată cu relația

$$E = \mu F_f \cdot v_m \cdot t = M_f \omega \cdot t = \frac{\pi}{30} \cdot n \cdot M_f \cdot t$$

În funcție de durata încălzirii t, coeficientul de frecare μ , forța axială din timpul frecării F_f, viteza relativă medie v_m, momentul de frecare M_f, viteza unghiulară relativă ω sau turația relativă n. Toți acești factori influențează direct procesul de sudare.

^[7]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de jos” din Galați

1.3 Factori tehnologici la sudarea prin frecare

La proiectarea tehnologiei de sudare prin frecare trebuie să avem în vedere următorii factori:

- 1 - pregătirea suprafețelor;
- 2 - lungimea liberă inițială;
- 3 - viteza relativă;
- 4 - presiunea de frecare;
- 5 - timpul de frecare;
- 6 - timpul de frânare;
- 7 - presiunea de refulare;
- 8 - scurtarea axială.

1.3.1 Pregătirea suprafețelor

Datorită mișcării relative de rotație din timpul sudării prin frecare se îmbină, în general, piese cilindrice ca : bară cu bară, bară cu țeava sau țeava cu țeava, având diametre egale sau puțin diferite.

În cazurile obișnuite de sudare, în afara debitării nu este necesară o prelucrare deosebită a capetelor (figura 1.5).

Elementele de sudat pot fi debitate pe strung, cu fierăstrău mecanic sau cu disc abraziv. Rugozitatea suprafețelor frontale nu influențează calitatea îmbinării deoarece se distrug în timpul frecării uscate. O atenție deosebită trebuie acordată bătăii frontale care poate accentua neuniformitatea (vibrațiile). După debitare, unghiul de înclinare al capetelor față de planul normal pe axă nu trebuie să depășească $5-7^\circ$ ^[8].

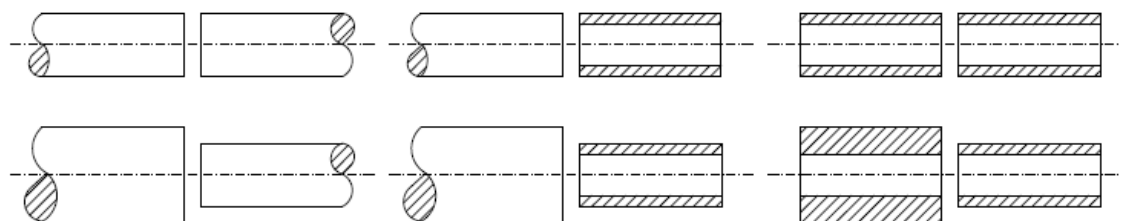


Fig. 1.5 Îmbinări clasice din bare și țevi

Gradul de curățare al suprafețelor capetelor nu influențează calitatea îmbinării deoarece eventualele impurități sau oxizi se distrug și se elimină în baură. Deoarece influențează coeficientul de frecare μ și prin acesta durata încălzirii, se întâlnesc două situații:

➤ îmbinare cu timp de frecare programat ($\mu=ct$); pentru păstrarea constantă a calității îmbinării de la o piesă la alta se recomandă curățirea mecanică a capetelor oxidate sau degresarea lor, dacă este cazul;

^[8]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de jos” din Galați

➤ îmbinare cu scurtare axială programată; capetele pot fi impurificate accidental (u diferit), frecarea decurgând în timpi diferiți.

În cazul sudării unor secțiuni mult diferite sau din materiale cu caracteristici termofizice diferite, se recomandă egalizarea suprafețelor în contact prin prelucrarea uneia din piese ca în figura 1.6. Față de soluțiile practicate la sudarea prin scânteiere apare în plus prelucrarea conică la 30° ^[9].

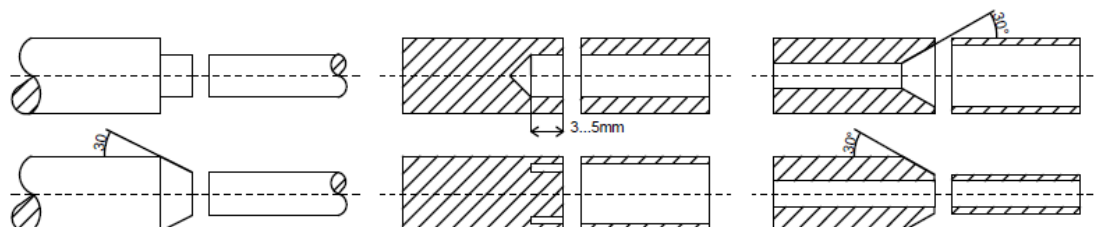


Fig. 1.6 Prelucrări de egalizare ale secțiunilor

Dacă dorim micșorarea înălțimii bavurii exterioare a barelor se pot executa prelucrări mai deosebite ale capetelor ca în figura 1.7a.

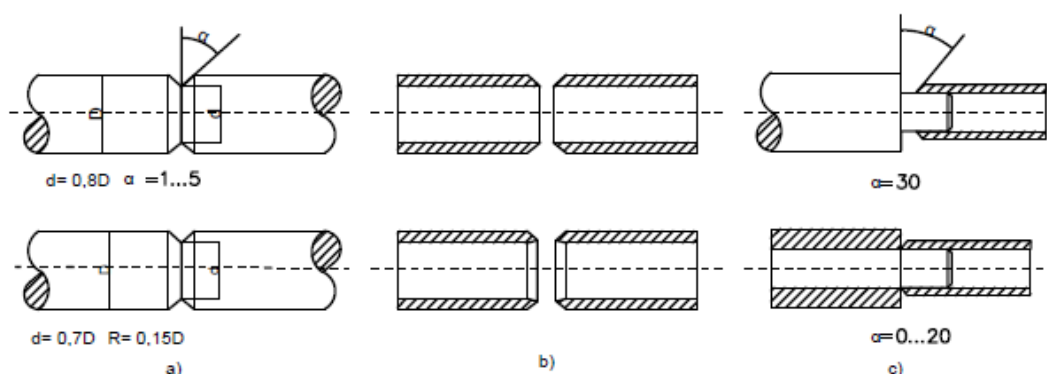


Fig. 1.7 Prelucrări pentru reducerea bavurii sau de centrare precisă

În cazul țevelor se poate reduce bavura exterioară sau interioară prin șanfrenări convenabile ca în figura 1.7b.

Prelucrarea din figura 1.7c este utilizată pentru o centrare mai precisă a îmbinărilor din țevi sau bare. Șanfrenarea nu este executată în scopul reducerii bavurii ci pentru dirijarea curgerii progresive a materialului plastifiat spre exterior.

În funcție de configurația îmbinării există și alte prelucrări pentru centrarea relativă a componentelor. Se pot suda direct bare sau țevi cu plăci pătrate sau cu flanșe ca

^[9]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de jos” din Galați

în figura 1.8. În astfel de situații, pentru a asigura o poziționare relativă (centrare) precisă a componentelor dar și pentru a permite curgerea metalului în ambele sensuri, se pot aplica soluțiile din figura 1.9.

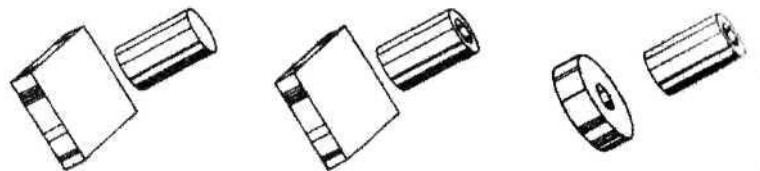


Fig. 1.8 Îmbinări placă/flanșă cu bară/țeavă^[10]

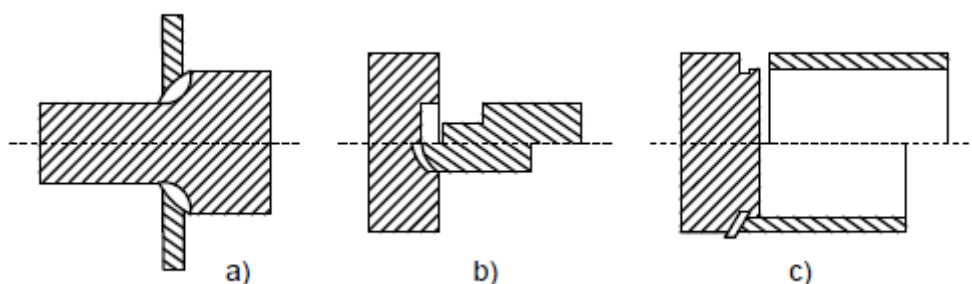


Fig. 1.9 Prelucrări pentru centrare precisă

1.3.2 Lungimea liberă inițiată

Se recomandă o lungime liberă aproximativ egală cu diametrul pieselor de sudat. În cazul unei lungimi mai mari pot apărea vibrații în timpul mișcării relative a pieselor. Este favorabilă folosirea unei lungimi cât mai reduse cu condiția să nu împiedice formarea liberă a bavurii^[11].

1.3.3 Viteza relativă

Influențează direct asupra poziției zonei inelare cu metal plastifiat care există între capete în timpul încălzirii. Odată cu creșterea vitezei de rotație, frecarea intensă are loc într-o zonă inelară mai apropiată de axa de rotație, fapt ilustrat în figura 1.10 prin variația presiunii de contact p_c în lungul razei, pentru diferite turații ale pieselor.

Se observă că, odată cu creșterea vitezei, valorile maxime ale presiunii locale de contact rămân aceleași, modificându-se numai poziția acestui maxim față de axa piesei.

La viteze mici generarea căldurii începe de la periferia pieselor, astfel că rezultă un câmp termic neuniform, cu o încălzire redusă în zona centrală a pieselor.

^[10]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[11] Idem ^[10]

Pentru uniformizarea temperaturii pe secțiune va trebui să prelungim timpul de frecare deși, vizual, observăm încălzirea periferică "la roșu". Dacă refulăm imediat, zona centrală poate rămâne nesudată. Prin urmare, trebuie prelungit timpul de frecare chiar dacă ni se pare că rezultă o bavură-rutou exagerat de mare.

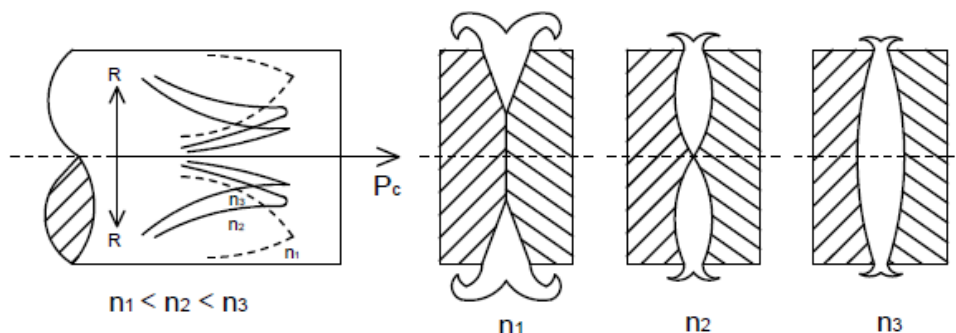


Fig. 1.10 Influența vitezei de rotație asupra presiunii de contact și formei zonei încălzite^[12]

Creșterea vitezei duce la deplasarea sursei termice (zona inelară cu presiune maximă de contact) spre axa pieselor. Se obține astfel mai repede uniformizarea temperaturii pe secțiune și se poate refula după un timp de frecare mai mic, rezultând și o bavură redusă.

Viteza de rotație determină și temperatura maximă ce poate fi atinsă în timpul frecării ca în figura 1.11 în care avem cuplurile de materiale:

- AlMg6 + oțel 12Cr18Ni;
- Aliaj CuNi + oțel carbon;
- Cupru + titan;
- Titan + oțel 12Cr18Ni.

Turații sub 500 rot/min nu permit obținerea temperaturii necesare (în cazul diametrelor mici). Sursa termică având o energie scăzută, căldura se împrășteie prin conductibilitate termică, fără a se concentra în zona de îmbinat. Turațiile mari (ca și timpii lungi de frecare) nu produc încălzirea peste domeniul plastic al materialului mai "moale" deoarece materialul odată plastifiat este evacuat în exterior fără a mai putea fi supraîncălzit^[13].

^[12] Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de jos” din Galați

^[13] Idem ^[12]

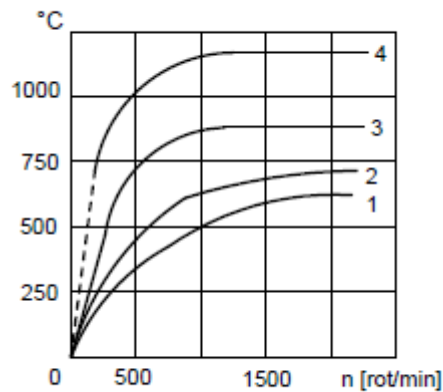


Fig. 1.11 *Influența turației asupra temperaturii îmbinării*

Se recomandă pentru produsul dintre diametrul piesei de sudat $d(\text{mm})$ și turația $n(\text{rot/min})$ valoarea $n \cdot d = (1,2 \dots 10)10^4$ și anume:

- pentru oțel carbon $n \cdot d = 3 \cdot 10^4$
- pentru cupru $n \cdot d = (4 \dots 4,5)10^4$
- pentru titan $n \cdot d = (8 \dots 10)10^4$.

Viteza relativă este indicată în domeniul 0,6...3 m/sec (pentru oțeluri carbon circa 1 m/sec). De menționat faptul că în cazul sudării unor piese pentru autovehicule (ax cardanic, arbore de transmisie) s-au folosit viteze periferice în jur de 5 m/s, la turații de 2200.. 4400 rot/min.

Viteza relativă influențează și caracteristicile mecanice ale îmbinării realizate. Astfel, odată cu creșterea turației n , crește reziliența KCU iar rezistența la oboseală a îmbinării crește față de a metalului de bază, atingând o valoare maximă la circa 2800 rot/min. Rezistența la rupere însă, rămâne constantă la orice valoare a turației, pentru presiunea de refulare constantă.

Viteza relativă influențează valoarea puterii specifice P_s necesare sudării. Cu creșterea turației la presiune constantă, crește valoarea maximă a puterii specifice (din timpul frecării uscate) și scade timpul fazelor de frecare.

Creșterea vitezei de rotație este avantajoasă prin scăderea timpului de frecare însă necesită puteri mari de antrenare. Din acest motiv se folosesc, în mod obișnuit, turații de 600...1450 rot/min^[14].

^[14]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de jos” din Galați

1.3.4 Presiunea de frecare

Influența presiunii axiale din timpul frecării asupra puterii specifice P_s necesare se poate urmări în figura 1.12. crescând presiunea la turație constantă, vârful de sarcină din timpul frecării uscate crește și este atins mai repede. De asemenea, crește și valoarea puterii specifice din faza frecării vâscoase (putere care se menține la aceeași valoare)^[15].

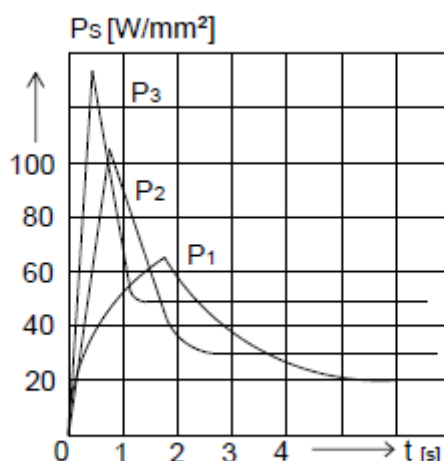


Fig. 1.12 Influența presiunii asupra puterii specifice

Presiunea de frecare influențează direct asupra valorii forței de frecare. Odată cu creșterea presiunii P_f , crește presiunea de contact P_c ca în figura 1.13. Observăm că nu se schimbă poziția sursei termice (zona inelară de plastifiere) ci numai intensitatea sa, deci crește cantitatea de căldură generată. Crescând presiunea de frecare, scade timpul de frecare dar sunt necesare puteri electrice (motoare) foarte mari.

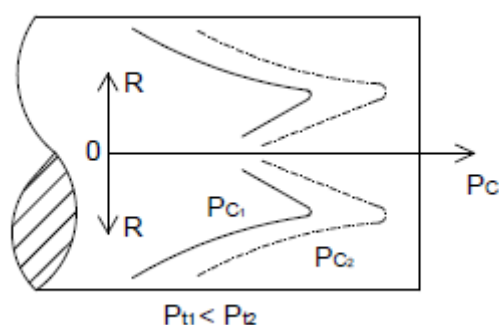


Fig. 1.13 Variația presiunii de contact^[16]

Alegerea concretă a presiunii din timpul frecării se face în strânsă legătură cu presiunea de refulare necesară sudării ținând cont și de puterea mașinii pe care se va suda.

^[15]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[16]Idem ^[15]

Soluția cea mai simplă este să folosim aceeași presiune în timpul frecării și a refulării ca în figura 1.14a. Acest lucru este posibil doar în cazul secțiunilor mici, asamblate pe mașini cu putere mare de antrenare.

Deoarece la începutul procesului momentul de antrenare are un maxim în timpul frecării uscate, pentru reducerea acestuia, în timpul frecării se recomandă o treaptă de presiune mai mică ca în figura 1.14b. Este varianta cea mai des folosită cu presiunea de frecare $P_F = (0.3...0.7) P_R$.

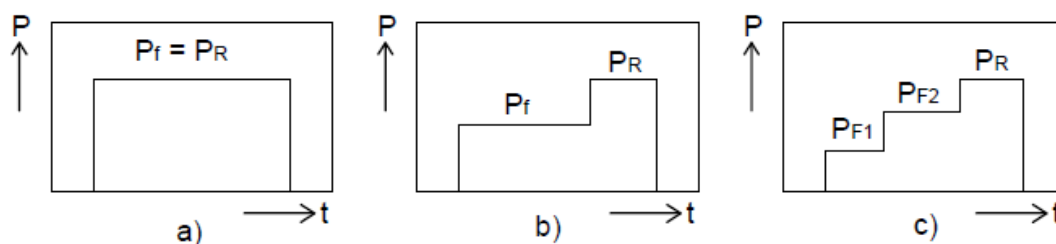


Fig. 1.14 Variația presiunii axiale

În cazul când vrem să îmbinăm secțiuni mari utilizând o mașină de sudat cu o putere mai mică, putem uniformiza sarcina motorului prin folosirea unei presiuni reduse în timpul frecării uscate (fig 1.14c). Soluția se aplică și în cazul unor suprafețe frontale neregulate care produc vibrații periculoase. Din acest motiv presiunea inițială redusă se mai numește și presiune de stabilizare a frecării^[17].

1.3.5 Timpul de frecare

Influențează cantitatea de căldură degajată, repartizarea temperaturii pe secțiune cât și cantitatea de metal eliminată în baură.

Distribuția radială a temperaturii, indicată de forma zonei influențate termic, poate fi urmărită în figura 1.15, în care $t_1 < t_2 < t_3$. Zona încălzită apare mai repede în piesa care se rotește și are o formă convexă datorită degajării mai intense de căldură în zona inelară de frecare intensă.

După timpul t_2 , odată cu formarea materialului plastifiat și evacuarea lui spre exterior, are loc o lărgire a zonei încălzite spre periferia piesei datorită transportului de căldură efectuat de metalul expulzat. Așa cum s-a mai precizat, avem senzația încălzirii suficiente a capetelor, numai că refularea produsă în acest moment prezintă pericolul ca centrul secțiunii să rămână neîmbinat^[18].

^[17]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[18]Idem ^[17]

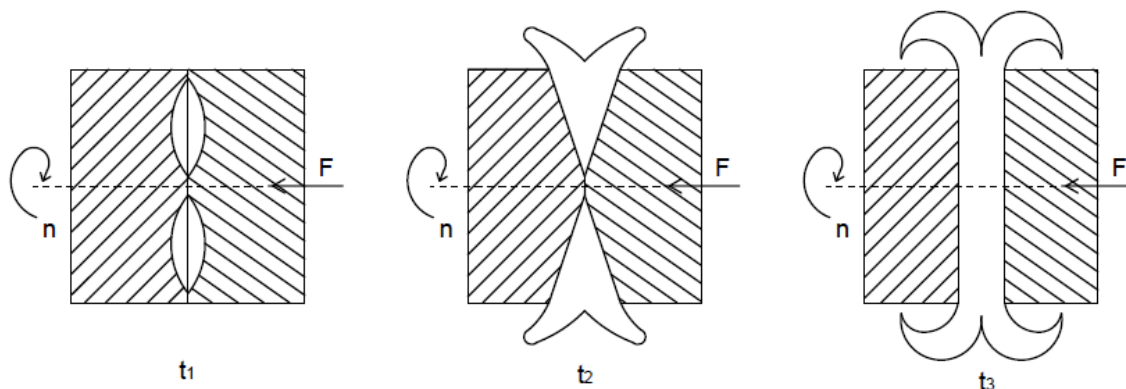


Fig. 1.15 Modificarea câmpului termic cu timpul de frecare

Creșterea în continuare a timpului de frecare la valoarea t_3 duce la uniformizarea temperaturii pe secțiune prin:

- ◆ conductivitate termică (difuzarea căldurii spre zonele reci);
- ◆ redistribuirea surselor termice; materialul încălzit în domeniul plastic opune o rezistență scăzută la deformare plastică, deci presiunea de contact va fi mai mare pe porțiunile centrale mai reci, intensificând procesul de degajare a căldurii în această zonă (zona inelară de frecare intensă se apropie de centrul secțiunii).

Timpul de frecare variază de la câteva secunde la câteva zeci de secunde ca în figura 1.16. El scade odată cu creșterea presiunii axiale aplicate și crește cu mărirea secțiunii de sudat^[19].

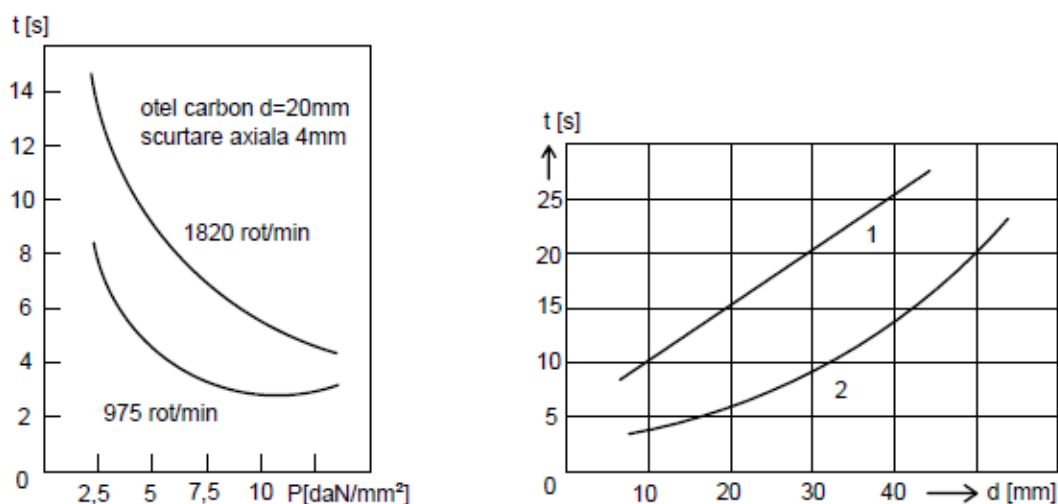


Fig. 1.16 Grafice pentru alegerea timpului de frecare^[20]

^[19]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[20]Idem ^[19]

Timpul de frecare poate fi ales din grafic în funcție de diametrul d al pieselor. Este cazul sudării unor bare cu următorii parametri: turație 1000 rot/min, presiune de frecare 3 daN/mm², presiune de refulare 6 daN/mm², timpul de refulare 1,5 secunde. Curba 1 corespunde sudării oțelurilor austenitice Cr-Ni, iar curba 2 oțelurilor carbon sau slab aliate.

Alegerea concretă a timpului de frecare se face, pentru fiecare caz în parte, în cadrul probelor tehnologice ce urmăresc obținerea unei rezistențe maxime. El se alege astfel încât să asigure o distribuție uniformă a temperaturii pe suprafețele frontale ale capetelor cât și o expulzare în baură a impurităților existente inițial pe aceste suprafețe. În cazul unor timpi de frecare mici, rezistența mecanică a îmbinării este scăzută datorită prezenței incluziunilor pe linia de sudare sau a unor zone insuficient încălzite. Rezistența poate să scadă puțin și în cazul unor timpi prea lungi, dacă apar structuri grosolane de supraîncălzire^[21].

1.3.6 Timpul de frânare

Are o valoare redusă, de regulă sub o secundă, depinzând de viteza de rotație inițială și de accelerația unghiulară de frânare realizată. La valori mici ale timpului de frânare, scăderea rapidă a vitezei îngreunează deplasarea metalului plastifiat spre baură. La valori mari ale timpului de frânare are loc o deplasare excesivă a metalului plastifiat spre periferie, se produce o baură mare, iar datorită frecării uscate a unor zone mai reci ale capetelor, crește momentul de frecare, putând apărea forfecarea îmbinării în curs de realizare. Acest timp poate fi impus la mașinile cu dispozitiv de frânare sau rezultă, la mașinile fără dispozitiv de frânare, prin intensitatea refulării^[22].

1.3.7 Presiunea de refulare

La sudarea prin frecare, presiunea de refulare se alege în funcție de rezistența la tracțiune a metalului după relația:

$P_R = (0,14...0,2) \sigma$ fiind ceva mai mare față de sudarea electrică la care $P_R = (0,08...0,1) \sigma$.

În cazul metalelor și aliajelor neferoase se folosesc presiuni mari, cu valori asemănătoare sudării oțelurilor aliate.

^[21]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[22]Idem ^[21]

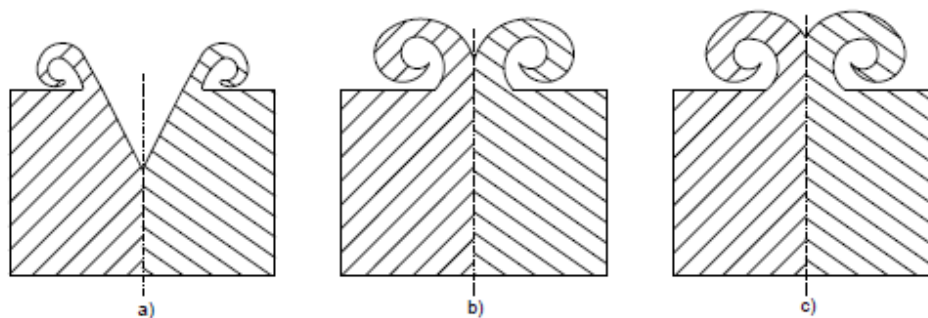


Fig. 1.17 *Influența presiunii de refulare asupra bavurii*

Valoarea corectă a presiunii de refulare poate fi apreciată după forma bavurii finale ca în figura 1.17. La presiuni mici se formează o creștătură între inelele bavurii. Deplasarea materialului spre bavură, în timpul refulării, este dorită pentru a umple această creștătură obținând astfel creșterea rezistenței îmbinării. Folosirea unor presiuni de refulare excesive este contraindicată, deoarece produce expulzarea masivă a materialului încălzit, rezultând o îmbinare între zone de metal cu temperatură insuficientă realizării unei îmbinări prin presiune cu caracteristici mecanice satisfăcătoare.

Aplicarea presiunii de refulare poate avea loc în timpul frânării sau după oprirea mișcării de rotație^[23].

1.3.8 Scurtarea axială

Se produce atât în timpul frecării cât și în timpul refulării, oferind informații asupra cantității din material încălzit și eliminat sau deformat. Pentru obținerea unei îmbinări rezistente este necesară asigurarea unei anumite deformări optime, recomandându-se:

- ♦ pentru oțeluri: $\Delta L = (0,25...0,35)d$;
- ♦ pentru neferoase: $\Delta L = (0,50...0,75)d$.

Realizarea unei scurtări axiale reduse are semnificația unui timp de frecare mic sau unei refulări insuficiente și invers. Poate fi apreciată după mărimea bavurii (figura 2.14). Valoarea concretă a scurtării se stabilește în cadrul probelor tehnologice^[24].

^[23]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

^[24]Idem ^[23]

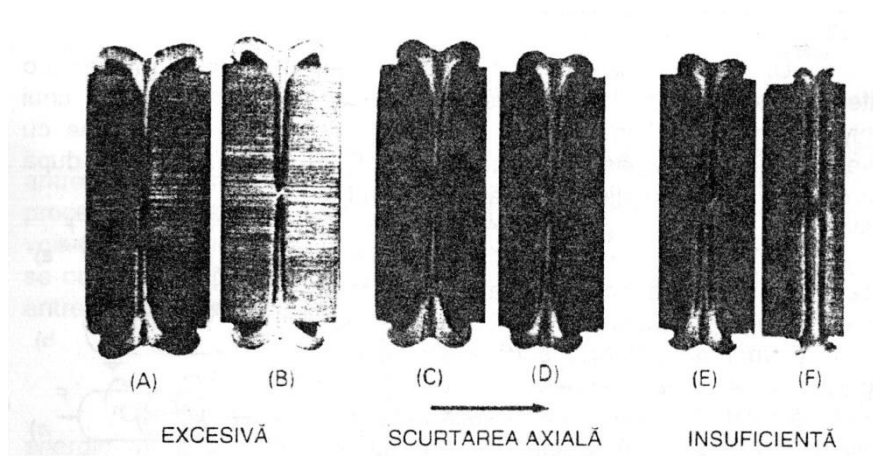


Fig. 1.18 Forma bavurii pentru scurtări diferite^[25]

Scurtarea axială din timpul frecării poate asigura controlul procesului de încălzire în locul timpului de frecare. Acest mod de conducere a procesului de îmbinare este recomandat la sudarea pieselor cu suprafețe frontale insuficient de curate sau la viteze de rotație scăzute, cu condiția unui contact inițial corect al capetelor, fără existența unor bavuri sau proeminențe pe suprafețele frontale ale acestora^[26].

^[25]Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea „Dunărea de jos” din Galați

^[26] Idem ^[25]

CAPITOLUL 2.

VARIANTE DE SUDARE PRIN FRECARE

2.1 Sudarea prin frecare continuă (directă)

Este vorba de sudarea obișnuită, directă, cel mai des folosită în majoritatea țărilor Europene. Este reprezentată schematic în figura 2.1.

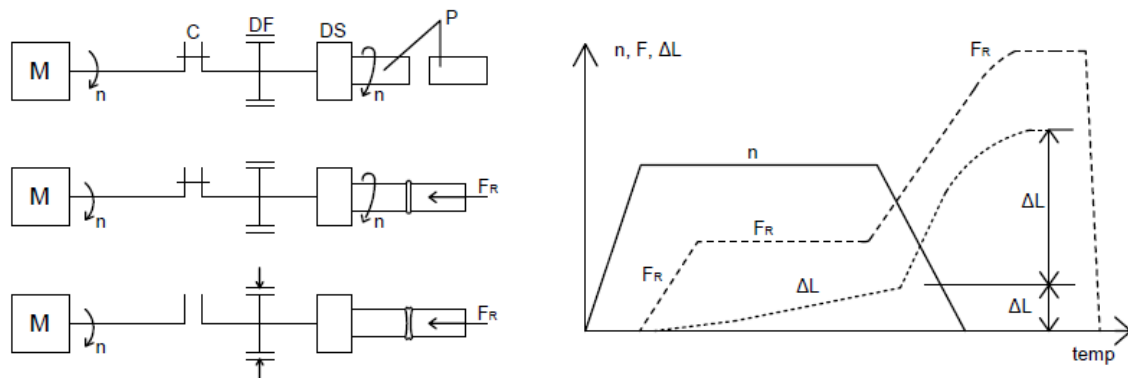


Fig. 2.1 *Principiul și ciclul sudării prin frecare continuă*^[27]

Una din piesele de sudat P este pusă în mișcare de rotație cu o viteză constantă, fiind fixată în dispozitivul de strângere DS, de tipul unui universal de strung (mandrină). Încălzirea se produce prin rotirea cu viteză constantă și apăsarea axială cu forța F_F pe o durată de timp, după care mișcarea de rotație produsă de motorul M este oprită brusc prin deschiderea cuplajului C și acționarea dispozitivului de frânare DF. În acest moment se execută refularea cu o forță F_R care asigură realizarea îmbinării prin presiune.

Urmărind ciclul de sudare din aceeași figură, în care sunt reprezentate variațiile în timp ale turației, forței axiale și scurtării axiale, putem identifica ușor etapele de antrenare, frecare, frânare sau refulare precizate anterior.

Ulterior au apărut și alte variante prezentate în figura 2.2. Față de sudarea directă din (poz. a) se propune ca piesa din stânga să execute și rotația și deplasarea axială (poz. b) necesitând complicații constructive ale axului principal. Justificarea discutabilă a acestei soluții constă în folosirea a două unități motoare identice stânga-dreapta care, prin rotire contrară, să realizeze o viteză relativă dublă. Indiscutabilă este însă posibilitatea sudării cu material de adaos fix, din poziția d^[28].

^[27] Georgescu, V., Iordăchescu, d., Mircea, O. *Tehnica sudării prin presiune*. Lucrări practice. Universitatea din Galați, 1992

^[28] Idem ^[27]

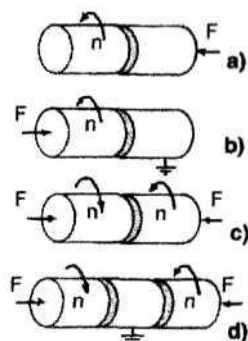


Fig. 2.2 Variantele sudării directe^[29]

2.2 Sudarea prin frecare cu energie înmagazinată

Procedeul, prezentat schematic în figura 2.3, a fost dezvoltat în special în țările nord-americane. Față de îmbinarea directă se renunță la dispozitivul de frânare și se montează un volant V care înmagazinează energie cinetică pe timpul schimbării semifabricatelor.

În momentul atingerii turației necesare pentru eliberarea unei anumite cantități de energie se deschide cuplajul de legătură motor-arbore principal, încălzirea producându-se prin rotirea relativă cu viteză variabilă descrescătoare până la zero. Singurii parametri controlați ai regimului de sudare sunt viteza de rotație inițială a sistemului și forța de apăsare axială^[30].

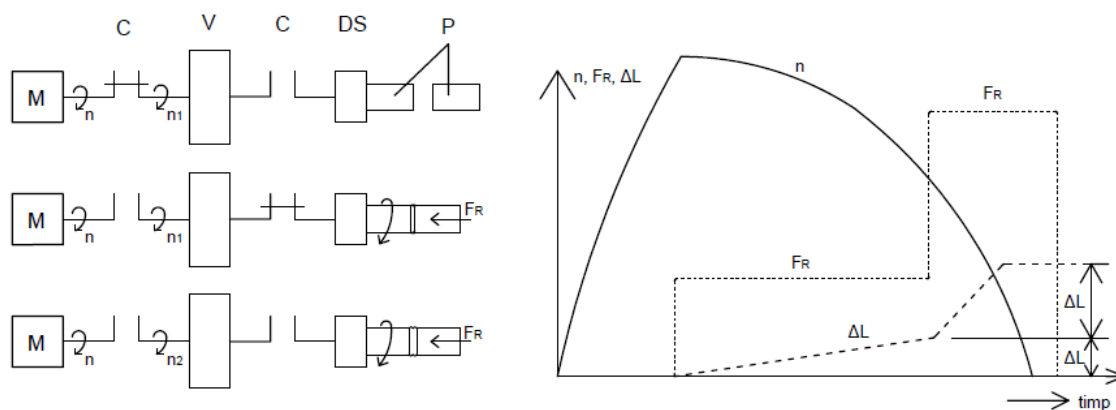


Fig. 2.3 Principiul și ciclul sudării prin frecare cu volant

Folosind două cuplaje automate, programabile, volantul poate antrena piesa într-o mișcare de rotație în intervalul n_1 - n_2 . Energia cedată procesului de sudare este determinată de momentul de inerție J al volantului, de turația n_1 la care se decuplează volantul față de motor și se cuplează la piesele de îmbinat și de turația n_2 la care se decuplează antrenarea pieselor de către volant:

^[29]Georgescu, V., Iordăchescu, d., Mircea, O. *Tehnica sudării prin presiune*. Lucrări practice. Universitatea din Galați, 1992

^[30]Idem ^[29]

$$E = E_1 - E_2 = \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) \quad ; \quad E = \frac{J}{180} (n_1^2 - n_2^2)$$

Comparativ cu sudarea prin frecare continuă, sudarea cu energie înmagazinată sub formă cinetică prezintă avantajul reducerii puterii consumate de la rețea de către instalația de sudare. Prezintă dezavantajul folosirii unor mașini de sudat mai rigide, mai mari.

2.3 Sudarea cu încălzire suplimentară

Această variantă este recomandată în cazurile în care avem de îmbinat secțiuni mari ce depășesc puterea de antrenare a mașini de sudat de care dispunem. Printr-o încălzire inițială în domeniul plastic, dorim să evităm faza frecării uscate. Frecarea ulterioară are ca scop autocurățirea suprafețelor și obținerea unei rezistențe mecanice bune a îmbinării.

Încălzirea suplimentară poate fi obținută prin procedee electrice sau neelectrice. Cea mai simplă soluție constă în utilizarea curenților de înaltă frecvență CIF (fig. 2.4) însă poate fi aplicată numai la țevi. În cazul îmbinării barelor soluția nu este eficientă deoarece încălzirea este superficială, în exteriorul zonei de frecare intensă. Mai simplă este utilizarea arzătoarelor cu flăcări multiple (fig. 2.5)^[31].

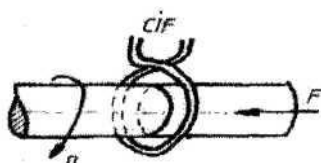


Fig. 2.4 Sudarea cu încălzire

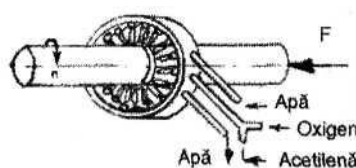


Fig. 2.5 Sudarea cu încălzire suplimentară CIF. suplimentară cu flacără

2.4 Sudarea prin frecare cu material de adaos

Încălzirea elementelor de îmbinat se realizează prin rotirea unei piese intermediare plasată între elementele de îmbinat ce execută numai deplasarea axială (figura 2.6). Schema este avantajoasă la sudarea unor piese curbe, cu ramificații sau de lungime mare, evitând rotirea lor^[32].

Piesa intermediară poate fi din același material sau dintr-un material diferit de cel al pieselor de îmbinat. Ea poate rămâne în îmbinare ca material de adaos sau poate fi eliminată la sfârșitul etapei de încălzire, înaintea refulării.

^[31]Georgescu, V., Mircea, O. *Studiul variației curentului la sudarea cap la cap prin rezistență*. Lucrările sesiunii științifice jubilară a Universității din Galați, oct. 1991, pag 253-254

^[32]Idem ^[31]

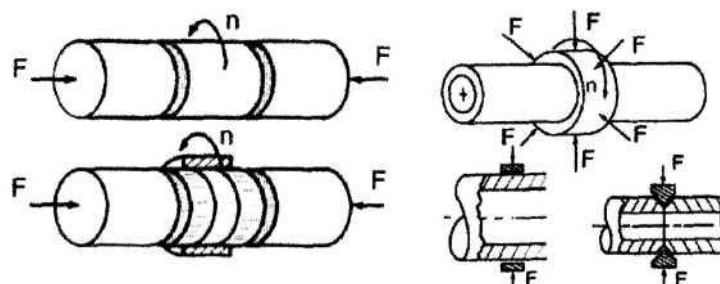


Fig.2.6 Variante de sudare cu material de adaos^[33]

Pornind de la procedeul de bază cu element intermediar rotativ au fost propuse și alte variante prezentate în figura 2.6. Astfel se propune (stânga jos) rotirea a două piese distincte pentru a obține simultan două îmbinări. În dreapta se propune ca elementul de adaos să execute atât rotirea cât și presarea radială. Se poate folosi un element exterior de tip manșon pentru o rigidizare locală sau un element inelar, dublu șanfrenat, pentru îmbinarea a două țevi. În aceste cazuri, cele două componente de bază sunt fixate fără a executa rotații sau deplasări.

2.5 Sudarea prin frecare orbitală

La variantele de sudare descrise până acum, viteza relativă de deplasare dintre elementele îmbinării este variabilă, de la valoarea zero în axă până la valoarea maximă atinsă pe periferia secțiunii. Tocmai acest dezavantaj este eliminat la sudarea prin frecare orbitală la care elementele de îmbinat execută mișcări contrare de rotație în jurul axelor proprii, iar axele, distanțate între ele, execută o mișcare de rotație orbitală n_2 una față de cealaltă (fig.2.7)^[34].

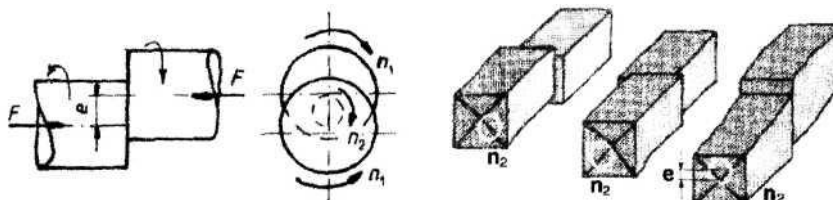


Fig. 2.7 Sudarea prin frecare orbitală

În timpul mișcării, elementele îmbinării sunt presate axial. La sfârșitul încălzirii, înaintea refulării, distanța dintre axele îmbinării (excentricitatea e) se reduce la zero.

Sudarea prin frecare orbitală are avantajul uniformizării vitezelor relative (viteza minimă nu mai are valoarea zero) iar prin aceasta se obține o uniformizare a încălzirii într-un timp mai scurt decât la variantele prezentate până acum. Se poate aplica și la îmbinarea unor piese cu secțiuni diferite de forma circulară, aplicând numai rotația n_2 .

^[33] Georgescu, V., Mircea, O. *Studiul variației curentului la sudarea cap la cap prin rezistență*. Lucrările sesiunii științifice jubilee a Universității din Galați, oct. 1991, pag 253-254

^[34] Idem ^[33]

2.6 Sudarea prin frecare oscilatorie

Energia necesară sudării este introdusă în componentele de îmbinat sub formă de oscilații unghiulare stânga-dreapta, determinate de forțele centrifugale ale unor mase rotitoare neechilibrate. Schema de principiu a unui asemenea mecanism se prezintă în figura 2.8^[35].

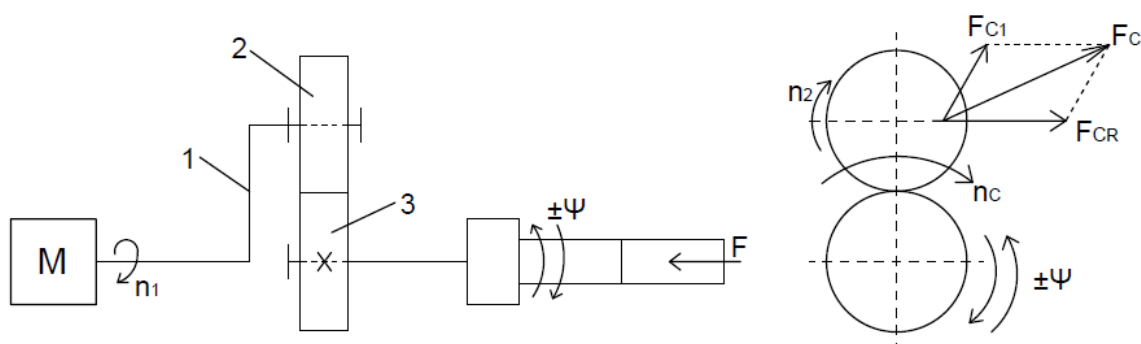


Fig. 2.8 Principiul sudării prin frecare oscilatorie

Motorul M antrenează brațul 1 cu o turație constantă, n_1 . Satelitul 2 neechilibrat, cu centrul de greutate la distanța "e" față de axa sa de rotație, execută o mișcare planetară în jurul diferențialului 3 montat pe axul principal al mașinii de sudat. Forța centrifugă totală F_c a satelitului are o mărime și o direcție permanent variabilă. Proiecțiile tangențiale stânga-dreapta produc în diferențialul 3 un moment alternativ, sub acțiunea căruia axul principal împreună cu piesa de îmbinat fixată pe acesta, oscilează alternativ cu unghiul $\pm \Psi$.

2.7 Sudarea prin frecare în linie

Sudarea prin frecare cu element activ rotitor, reprezintă un procedeu de sudare în fază solidă, dezvoltat în special pentru îmbinarea în linie a unor componente din aluminiu și aliajele acestuia.

Principiul procedurii derivă din sudarea convențională prin frecare și a fost inventat, patentat și dezvoltat la Cambridge, Anglia.

Tablele de îmbinat sunt fixate, sigur și puternic, cu forțe de strângere orizontale și verticale, pe masa unei mașini de frezat (fig. 2.9). Îmbinarea se formează prin împingerea forțată a vârfului în zona de contact dintre cele două semifabricate. Vârful pătrunde în material, fără a depăși grosimea acestuia, până când umărul uneltei intră în contact cu suprafața superioară a tablelor. forțată, între tablele alăturate, a unei unelte rotative (dorn), care are ca parte activă un vârf cu conicitate redusă, urmat de un umăr. Procesul de sudare propriu-zis începe cu introducerea.

^[35] Georgescu, V., Mircea, O. *Studiul variației curentului la sudarea cap la cap prin rezistență*. Lucrările sesiunii științifice jubilară a Universității din Galați, oct. 1991, pag 253-254

Frecarea produsă prin rotirea vârfului dornului în material duce la creșterea temperaturii și, implicit, la plastifierea unui volum de formă tubulară din metalul tablelor de îmbinat. Prin deplasarea dornului rotitor în lungul îmbinării, metalul fărâmițat, amestecat și plastifiat din față trece în spatele dornului, unde se formează linia de îmbinare în stare solidă^[36].

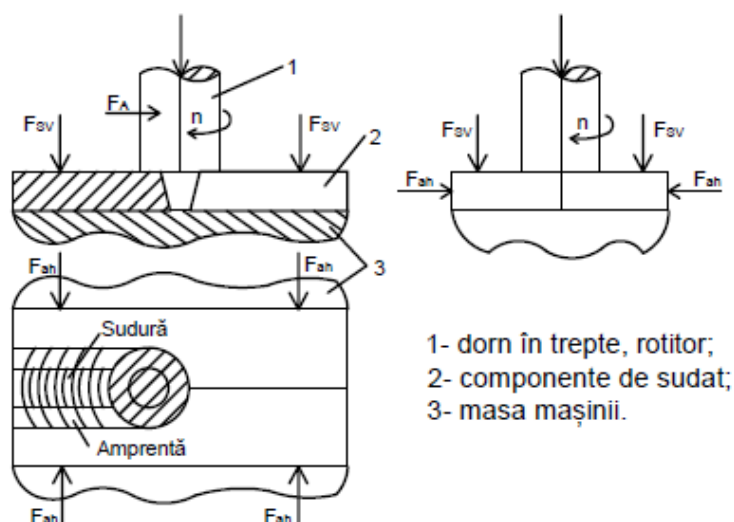


Fig. 2.9 Principiul sudării cu SVW

În acest proces un rol deosebit de important îl are umărul dornului. Dacă am folosi un dorn drept, fără umăr, în timpul rotirii și deplasării longitudinale în față lui s-ar forma un "val" de material care ar coborâ spre lateral iar în spate s-ar crea un gol (ca la o barcă ce se deplasează pe apă). Deci suprafața umărului împiedică formarea valului și golului obligând doar mutarea materialului pe lângă vârf. Diametrul umărului trebuie să fie mai mare ca diametrul zonei cu metal plastifiat astfel ca materialul încălzit să se găsească permanent într-un spațiu rigid delimitat de "vârf-umăr-metal de bază rece-masa mașinii de frezat".

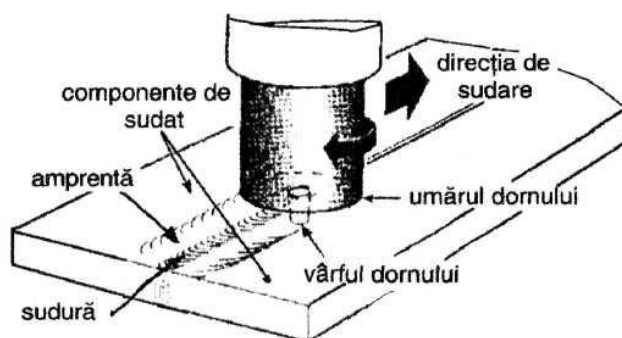


Fig. 2.10 Principiul sudării prin frecare, în linie, cu element activ rotitor^[37]

^[36]Boarnă, C., Dehelean, D., Arjoca, I. *Procedee neconvenționale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980

^[37]Idem ^[36]

Prin acest procedeu au fost îmbinate liniar, cap la cap, table alăturate (fig. 2.11a) sau table suprapuse cu o a treia, de grosime dublă (fig. 2.11b). De asemenea există posibilitatea realizării îmbinărilor de colț ca în figura 2.11c sau, prin îmbinare circulară, a celor teavă-placă ca în figura 2.11d.

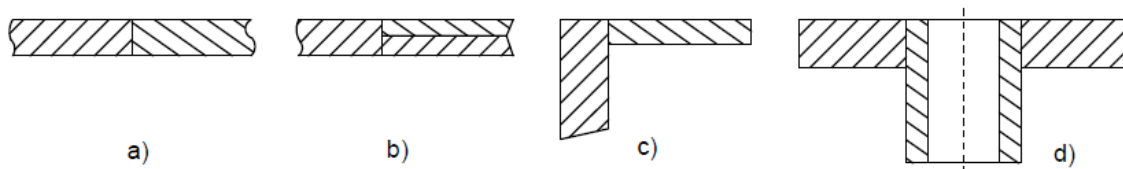


Fig. 2.11 *Moduri de poziționare a componentelor în vederea sudării*

În literatură se prezintă o serie de avantaje, printre care:

- > în timpul procesului nu se produc stropi sau fum;
- > metalul pieselor de îmbinat nu atinge temperatura de topire;
- > îmbinarea prezintă proprietăți mecanice bune;
- > nu este necesară o autorizare specială a operatorului;
- > sunt permise și posibile toate pozițiile de sudare (și plafon);
- > nu necesită material de adaos;
- > nu sunt necesare gaze de protecție;
- > nu este necesară o pregătire specială a suprafețelor;
- > procesul prezintă o înaltă eficiență energetică;
- > metoda este aplicabilă și în atmosfere umede, subacvatice.

Principalul dezavantaj al acestei metode îl constituie necesitatea unor echipamente robuste, cu dispozitive de strângere puternice. Pot fi chiar mașini așchietoare de tip freză sau echipamente specializate cu cinematică mult simplificată.

2.8 Sudarea prin frecare a bolțurilor (sudare în T)

Pentru sudarea bolțurilor pe plăci se pot aplica diverse procedee ca sudarea electrică clasică în T, sudarea cu condensatoare sau sudarea cu arc electric. Datorită caracteristicilor mecanice superioare, sudarea prin frecare a fost extinsă și la îmbinarea bolțurilor^[38].

^[38] Boarnă, C., Dehelean, D., Arjoca, I. *Procedee neconvenționale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980

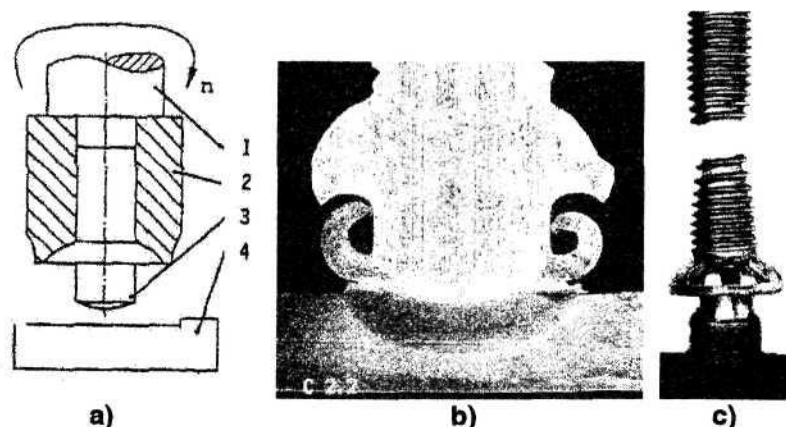


Fig. 2.12 *Principiul sudării prin frecare în T*^[39]

Principiul sudării poate fi urmărit în figura 2.12a unde 1 este axul principal care execută mișcarea de rotație, 2- dispozitivul de fixare-antrenare a bolțului, 3- bolț cu cap și flanșă specială, 4- placa de bază. Bolțul, antrenat în mișcare de rotație cu ajutorul unor locașuri prevăzute în flanșă, este presat pe placa de bază. După câteva secunde se oprește mișcarea de rotație rezultând o îmbinare ca în fig.2.12b, cu o bavură caracteristică sudării prin frecare. Macrostructura prezintă cazul sudării unui bolț cu diametrul de 9 mm din X2CrNiMo17132 pe o placă din oțel carbon cu grosimea de 5 mm.

Solicitând bolțul la tracțiune ruperea se produce în afara zonei îmbinate ca în figura 2.12c (bolț de 9 mm pe placă de 5 mm, ambele din oțel cu procent redus de carbon).

Se sudează în T bolțuri cu diametrul de 1...25 mm pe plăci (carcase) de orice grosime. Sudarea se face cu pistoale (dispozitive) portative apăsată (presate) cu dispozitive mecanice, electromagnetice, cu vacum etc. De exemplu, modelul S - 1004 produs de TRW Nelson, Elyria-SUA, conține un motor pneumatic de antrenare, un cilindru pneumatic axial, mandrina pentru prinderea bolțului și dispozitivul de aplicare pe perete. Turbina are o putere de 3,5 kW și necesită un debit de aer comprimat de 8 l/min.

Sudarea prin frecare a bolțurilor se caracterizează prin turație mare (8500 rot/min) și forță axială redusă (max 7 kN). Timpul de sudare variază de la 1 s pentru aluminiu la 15 s pentru oțel inoxidabil.

Aplicații deosebite ale acestei variante se găsesc în domeniul repărațiilor subacvatice de conducte, rezervoare sau alte construcții. În figura 2.12 se prezintă aplicarea unor plăci cu strat de etanșare pentru astuparea unor spărturi (găuri) sau pentru fixarea unor nervuri de rigidizare în zonele avariate^[40].

^[39] Boarnă, C., Dehelean, D., Arjoca, I. *Procedee neconvenționale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980

^[40] Idem ^[39]

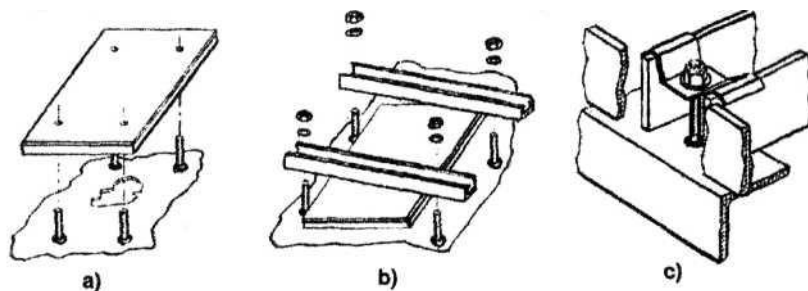


Fig. 2.13 Aplicații ale sudării prin frecare în T

2.9 Sudarea prin frecare indirectă

Căldura este generată de un disc care se rotește între capetele de îmbinat până când se atinge temperatura necesară, după care este îndepărtat și se execută refularea (figura 2.14).

Deși principiul este simplu, considerăm necesară precizarea unor mici amănunte:

➤ pentru a nu impurifica suprafețele de îmbinat, discul nu trebuie confecționat dintr-un material cu anumite caracteristici termofizice inferioare materialului de bază ce urmează a fi sudat;

> pentru a fi folosit la îmbinarea unui număr mare de piese discul rotativ trebuie confecționat dintr-un material mai rezistent la uzură decât materialul de sudat;

> materialul de îmbinat trebuie să nu se oxideze și să nu se răcească pe durata retragerii discului.

Din aceste motive, metoda se aplică la sudarea țevelor și barelor din material plastic, la o temperatură de 220...250 °C. Discul din oțel trebuie protejat contra aderării materialului plastic topit^[41].

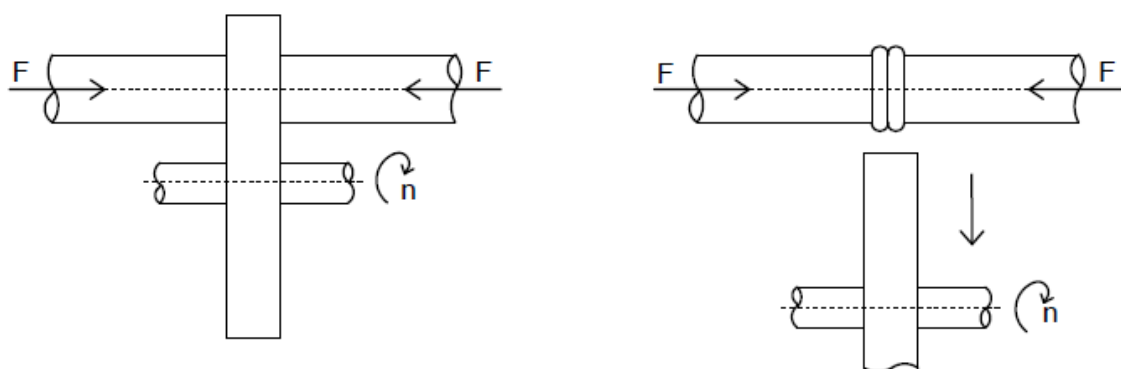


Fig. 2.14 Sudarea prin frecare indirectă

^[41]Boarnă, C., Dehelean, D., Arjoca, I. *Procedee neconvenționale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980

CAPITOLUL 3.

MATERIALE PENTRU SUDAREA PRIN FRECARÉ

3.1 Oțeluri utilizate la sudare

Datorită multitudinilor proprietăților care se cer în diferite ramuri industriale, gama calităților de oțeluri a ajuns să fie foarte largă, cuprinzând un foarte mare număr de mărci.

Clasificarea este necesară, atât pentru clarificarea proprietăților și destinațiilor diferitelor categorii de oțeluri, cât și pentru a înțelege principiul care stă la baza simbolizării mărcilor de oțeluri.

Oțelul este un aliaj de fier și carbon, dar obținerea oțelului nu se realizează prin simpla adăugare a carbonului în fier. Oțelul conține o proporție foarte mică de carbon- mult mai mică decât fonta de turnătorie.

Producerea oțelului implică îndepărtarea carbonului și altor impurități din fier, și adăugarea ulterioară a unor cantități exacte de carbon și alte metale, precum cromul, manganul, nichelul și vanadiul. Carbonul conferă oțelului capacitatea de a se întări prin tratare termică, iar alte metale se adaugă pentru a îi spori calitățile, cum ar fi duritatea, maleabilitatea, rezistența la coroziune și termorezistența.

Oțelul poate fi prelucrat prin deformare plastică – laminare (în profiluri laminate, rotund pătrat, cornier: table, țevi, sârme groase), tragere (în sârme subțiri), forjare (în piese) - poate fi prelucrat prin așchiere; oțelul cu conținut mic de carbon poate fi sudat.

Proprietățile mecanice ale oțelului sunt superioare celor ale fontei și ale majorității metalelor și aliajelor utilizate în tehnică^[42].

3.2 Oțeluri carbon

Oțelurile-carbon sunt oțelurile care, în afară de fier, carbon și elemente însoțitoare (mangan, siliciu, sulf, fosfor), mai conține și alte elemente însoțitoare (introduse în mod voit).

În funcție de destinație, se deosebesc:

- oțeluri-carbon pentru construcții;
- oțeluri-carbon obișnuite ;
- oțeluri-carbon de calitate ;
- oțeluri-carbon pentru scule.

^[42]Prof. Dr. Ing. Lucian Scorobetu, *Materiale speciale proprietăți și posibilități de îmbinare*, Brașov

Oțelurile - carbon obișnuite pentru construcții (simbol OL 00...OL 70) sunt produse folosite în mod curent fără tratament chimic, la construcții metalice (sârme, nituri, table, șuruburi ,cuie ,oțel beton, balamale, etc.) și în construcția de mașini, putând fi livrate cu garantarea caracteristicilor mecanice și cu garantarea compoziției chimice.

Oțelurile - carbon de calitate pentru construcții (simbol OLC 10...OLC 60) sunt oțeluri elaborate mai îngrijit carora li se garantează atât caracteristicile chimice cât și compoziția chimică. Se folosesc cu tratament termic sau termochimic în construcții de mașini (pentru piesele care lucrează în condiții mecanice grele).

Oțelurile - carbon pentru scule (simbol OSC 7...OSC 13) sunt materiale cu o bună calibrabilitate și tenacitate, rezistența ridicată la uzură și o mare stabilitate (menținere a durtății) la revenire. Aceste proprietăți se datorează unor elemente de aliere (Cr, W, V, Mo, Mn, Co) care, alături de un conținut ridicat de carbon, formează carburi simple sau complexe mai dure și mai stabile decât cementita^[43].

Tabelul 3.1 *Compoziția chimică ale oțelurilor carbon SR EN 10083:2007^[44]*

Nume	Numar	C	Si (Max)	Mn	P (Max)	S (Max)	Cr (Max)	Mo (Max)	Ni (Max)	Cr+Mo+Ni
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
C35	1.0501	0,32-0,39	0,40	0,5-0,80	0,045	0,045	0,40	0,10	0,4	0,63
C40	1.0511	0,37-0,44	0,40	0,5-0,80	0,045	0,045	0,40	0,10	0,4	0,63
C45	1.0503	0,42-0,50	0,40	0,5-0,80	0,045	0,045	0,40	0,10	0,4	0,63
C55	1.0535	0,52-0,60	0,40	0,6-0,90	0,045	0,045	0,40	0,10	0,4	0,63
C60	1.0601	0,57-0,65	0,40	0,6-0,90	0,045	0,045	0,40	0,10	0,4	0,63

^[43]Prof. Dr. Ing. Lucian Scorobețiu, *Materiale speciale proprietăți și posibilități de îmbinare*, Brașov

^[44]Idem ^[43]

Tabelul 3.2 *Proprietăți mecanice ale oțelurilor carbon SR EN 10083:2007*^[45]

Nume	Echiv. STAS 880-80	d < 16 t < 8			16 < d < 40 8 < t < 20			40 < d < 100 20 < t < 60		
		Re	Rm	A	Re	Rm	A	Re	Rm	A
		Mpa	Mpa	%	Mpa	Mpa	%	Mpa	Mpa	%
C35	OLC35	430	630-780	17	380	600-750	19	320	550-700	20
C40	OLC40	460	650-800	16	400	630-780	18	350	600-750	19
C45	OLC45	490	700-850	14	430	650-800	16	370	630-780	17
C55	OLC55	550	800-950	12	490	750-900	14	420	700-850	15
C60	OLC60	580	850-1000	11	520	800-950	13	450	750-900	14

3.3 Oțeluri aliate

Oțelurile aliate sunt aliaje complexe care conțin în afara de Fe și C, elemente de aliere introduse în mod voit în scopul îmbunătățirii unor proprietăți.

Elementele de aliere se pot repartiza în oțeluri:

- dizolvate în fier sub forma de soluții, formând ferită și austenită aliată;
- combinații cu carbonul: carburi simple, complexe, cementită aliată sau faze de pătrundere. Sunt elementele tradiționale de la stânga Fe în tabelul periodic (Ti, V, Cr, Mo, W, etc);
- compusi intermetalici (FeCr, FeV, Fe₃Ti, Fe₂W, Fe₂Mo, etc.)
- în stare liberă (Pb, Cu > 1%)^[46].

3.3.1 Influența elementelor de aliere

Elementele de aliere acționează asupra punctelor critice ale fierului (A₃, A₄) deplasându-le pe axa temperaturii. Din acest punct de vedere elementele de aliere se clasifică:

- γ -gene, care deschid sau largesc domeniul austenitic și-l reduc pe cel feritic (Mn, Ni, Pt, C, N, etc.- prin ridicarea punctului A₄ și coborârea lui A₃, iar Co prin ridicarea ambelor puncte critice);
- α -gene, care închid sau îngustează domeniul austenitic lărgindu-l pe cel feritic (Si, Mo, W, Ti, V, etc. Prin coborârea punctului A₄ și ridicarea lui A₃, iar Cr prin coborârea ambelor puncte critice).

^[45] Prof. Dr. Ing. Lucian Scorobetiu, *Materiale speciale proprietăți și posibilități de îmbinare*, Brașov

^[46] Idem ^[45]

Prin această acțiune elementele de aliere modifică temperatura de tratament termic la recoacere, călire, normalizare și stabilizează anumite structuri la temperatura ambiantă (de exemplu Mn și Ni stabilizează austenita)^[47].

3.3.2 Clasificarea oțelurilor aliate

Dupa gradul de aliere pot fi:

- slab aliate: $\sum EA < 2,5\%$, mediu aliate: $2,5 < \sum EA < 10\%$, înalt aliate: $\sum EA > 10\%$

După numărul elementelor de aliere pot fi ternare (un singur element de aliere), cuaternare (2 EA), polinare (>2 EA)^[48].

După structura în stare normalizată:

- perlitice – oțeluri slab aliate;
- martensitice (autocalibile) – oțeluri mediu aliate;
- austenitice - bogat aliate.

După structura în stare recoaptă:

- hipoeutectoide, cu ferită aliată structural liberă;
- hipereutectoide, cu carburi secundare, precipitate din austenită;
- ledeburitice, în stare turnată prezintă în structură un eutectic ce conține carburi primare (separate din lichid);

Oțelurile aliate, cu cantitate mare de elemente δ -gene mai pot fi:

- austenitice, care nu suferă transformări la încălzire;
- semiaustenitice, cu transformări la încălzire și care se pot supune unei căliri incomplete.

La oțelurile aliate cu cantități mari de elemente α -gene mai apar:

- feritice, fără transformări la încălzire;
- semiferitice, cu transformări la încălzire și cu posibilitatea aplicării unei căliri incomplete;

Dupa destinație oțelurile sunt:

- pentru construcții mecanice;
- pentru construcții metalice;

Oțelurile pentru construcții mecanice, după tratamentul termic final sunt: de cementare (% C $< 0,25$), de îmbunătățire (% C $> 0,25$), și de nitrurare.

^[47]Prof. Dr. Ing. Lucian Scorobetu, *Materiale speciale proprietăți și posibilități de îmbinare*, Brașov

^[48]Idem ^[47]

Oțelurile pentru construcții metalice sunt destinate realizării unor ansambluri îmbinate prin șuruburi, nituri sau sudare:

- pentru scule: de aschiere și aparate de măsură și control, pentru deformare plastică la rece, la cald sau pentru scule pneumatice;
- cu destinație specială: pentru cazane și recipiente sub presiune, inoxidabile și refractare, pentru rulmenți, etc.

Tabelul 3.3 *Proprietăți mecanice ale oțelurilor aliate*^[49]

Marca de oțel	Limita de curgere [N/mm]	Rezistența la rupere [N/mm]	Alungire A5 [%]	Rezistența KCU/2 [J/cm]
15Cr08	410	690-880	11	78
18MnCr10	540	790-1080	10	69
21MoMnCr12	740	980-1270	10	59
18MoCrNi13	690	930-1220	9	78
13CrNi30	640	880-1170	10	78
20MoNi35	690	930-1220	11	78
21TiMnCr12	78	1030-1320	9	69
28TiMnCr12	980	1230-1320	8	59
35Mn16	510	740-930	12	59
40Cr10	790	980-1180	10	39
40BCr10	740	880-1080	11	69
33MoCr11	780	980-1180	12	69
41MoCr11	880	1080-1227	10	59
50VCr11	880	1080-1227	9	59
34MnCrNi15	980	1180-1370	9	59
30MoCrNi20	1030	1230-1420	9	59
38MoCrA109	790	980-1180	10	59
41CrNi12	830	980-1180	11	69
35MnSi12	740	980-1180	14	39

^[49] Acselrod, FA., s.a. *Contactnaia svarca*. Vsesoiuznoe uciebno-pedagogicescoe izdatelstvo PROFTEHIZDAT, Moskva, 1962.

Tabelul 3.4 Compoziție chimică ale oțelurilor aliate SR EN 10083-1:1994^[50]

Marca de oțel SR EN 10083-1:1994	Marca de oțel STAS 791--88	Compoziția chimică pe oțel lichid [%]									HB max. în stare TS	HB max. în stare TA
		C	Si max.	Mn	P max.	S	Cr	Mo	Ni	Altele		
28 Mn6	-	0,25...0,32	0,40	1,30...1,65	0,035	max. 0,035	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40	Cr+Mo+Ni max. 0,63	255	223
38Cr2	-	0,35...0,42		0,50...0,80		max. 0,035	0,40...0,60	-	-	-	255	207
38CrS2	-					0,020...0,040	0,60					
46CR2	-	0,42...0,50		0,60...0,90		max. 0,035	0,40...0,60	-	-	-	255	223
46CrS2	-					0,020...0,040	0,60					
34Cr4	-	0,30...0,37		0,60...0,90		max. 0,035	0,90...1,20	-	-	-	255	223
34CrS4	-					0,020...0,040	1,20					
37Cr4	-	0,34...0,41		0,60...0,90		max. 0,035	0,90...1,20	-	-	-	255	235
37CrS4	-					0,020...0,040	1,20					
41Cr4	40Cr10X	0,38...0,45		0,60...0,90		max. 0,035	0,90...1,20	-	-	-	255	241
41CrS4	40Cr10XS					0,020...0,040	1,20					
25CrMo4	26MoCr11X	0,22...0,29	0,40	0,60...0,90	0,035	max. 0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	-	-	255	212
25CrMoS4	26MoCr11XS					0,020...0,040	1,20					
34CrMo4	34MoCr11X	0,30...0,37		0,60...0,90		max. 0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	-	-	255	223
34CrMoS4	34MoCr11XS					0,020...0,040	1,20					
42CrMo4	41MoCr11X	0,38...0,45		0,60...0,90		max. 0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	-	-	255	241
42CrMoS4	41MoCr11XS					0,020...0,040	1,20					
50CrMo4	-	0,46...0,54		0,50...0,80		max. 0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	-	-	-	248
36CrNiMo4	34MoCrNi16X	0,32...0,40		0,50...0,80		max. 0,035	0,90...1,20	0,15...0,30	0,90...1,20	-	-	248
34CrNiMo6	34MoCrNi16X	0,30...0,38		0,50...0,80		max. 0,035	1,30...1,70	0,15...0,30	1,30...1,70	-	-	248
30CrNiMo8	30MoCrNi16X	0,26...0,34		0,30...0,60		max. 0,035	1,80...2,20	0,30...0,50	1,80...2,20	-	-	248
36NiCrMo16	-	0,32...0,39		0,30...0,60		max. 0,035	1,60...2,00	0,25...0,45		-	-	269
51CrV4	51VMnCr11X	0,47...0,55		0,70...1,10		max. 0,035	0,90...1,20	-	-	0,10...0,25	-	248

^[50] Acselrod, FA., s.a. *Contactnaia svarca*. Vsesoiuznoe uciebno-pedagogicescoe izdatelstvo PROFTEHIZDAT, Moskva.

3.4 Oțeluri inoxidabile

Oțelurile inoxidabile sunt materiale înalt aliate cu un conținut de 10,5% Cr, rezistente la coroziune. Aceste aliaje au o afinitate crescută pentru oxigen, formând o peliculă de oxid de crom la suprafața materialului conferindu-i acestuia inoxidabilitatea și rezistența la coroziune. Datorită spectrului mare de utilizare și a compoziției chimice, oțelurile inoxidabile se împart în patru mari grupe : feritice, austenitice, martensitice și duplex^[51].

3.4.1 Oțelurile feritice.

Oțelurile inoxidabile feritice includ clasa 430 și conțin ca principal element de aliere , cromul. Pot fi întărite prin tratament termic, se utilizează în stare recoaptă, au ductibilitate și formabilitate bună. Se utilizează pentru confectionarea placilor arhitecturale, la fabricarea cuvelor pentru mașinile de spălat, la fabricarea ustensilelor folosite în bucatarie (cuțite din inox, tacamuri din inox, diferite cuve din inox , oale din inox), la confectionarea diferitelor matrițe pentru industria grea.

3.4.2 Oțelurile austenitice

Sunt acele aliaje utilizate frecvent pentru aplicații inoxidabile. Clasele austenitice nu sunt magnetice. Aliajele cele mai frecvente sunt oțelurile austenitice de fier-crom-nichel și sunt cunoscute ca seria 300. Din cauza conținutului ridicat de Cr și Ni, sunt cele mai rezistente la coroziune din grupul oțelurilor inoxidabile. Clasa "L" oferă rezistență superioară la coroziune datorită conținutului redus de carbon.

3.4.3 Oțelurile martensitice

Sunt oțeluri înalt aliate cu un conținut de crom între 12-18% și conținut de carbon de peste 0,1%, devin austenitice la 950-1050°C și prin călire duc la crearea unei structuri martensitice. Aceste oțeluri au o duritate ridicată ce evoluează o dată cu creșterea conținutului de carbon. Se utilizează la confectionarea produselor ce necesită o duritate ridicată (lame de ras, cuțite, foarfeci etc). Pentru o mai bună rezistență la presiune este necesară o prelucrare în prealabil a suprafeței, eventual slefuirea materialului.

3.4.4 Oțelurile duplex

Combină proprietățile inoxurilor feritice și a celor austenitice. Sunt utilizate datorită rezistenței mari la temperaturi (<1150°C) și în medii corozive, de exemplu în industria metalurgică pentru cuptoarele de tratament termic^[52].

^[51] Althouse, A.D., a.o Modern Welding. Willcox Comp. Inc., 1980

^[52] Idem ^[51]

Tabelul 3.5 Compoziție chimică ale oțelurilor inoxidabile SR EN 10283:1998^[53]

Marca de oțel	Ma rca oțel	Compoziția chimică [%]										Trat am. term ic	Rm [N/m m²] min.	A [%] min .	KV [J] min .
		C ma x.	Si ma x.	M n ma x.	P ma x.	S ma x.	Cr	M o	Ni	Nb	Altele				
SR EN 10283:1998	ST AS														
Oțeluri martensitice															
GX12Cr12		0,1 5	1, 0	1, 0	0,0 35	0,0 25	11, 5... 13, 5	ma x. 0,5	max. 1,0	-	-	+QT	620	15	20
GX7CrNiMo 12-1		0,1 0					12, 0... 13, 5	0,2 .. 0,5	1,0... 2,0	-	-		590	15	27
GX4CrNi13- 4		0,0 6						ma x. 0,7	3,5... 0	-	-		700.. 900*	12.. .16	35.. .50
GX4CrNiMo 16-5-1		0,0 6	0,8			15, 0... 17, 0	0,7 .. 1,5	4,0... 6,0	-	-	760		15	60	
GX4CrNiMo 16-5-2		0,0 6			1,5 ... 2	-	-		760	15	60				
GX5CrNiMo 16-4		0,0 7			ma x. 0,5	3,5... 5,5	max. 0,35	Cu=2,5.. .40 N=max. 0,05	900.. 1100 *	5... 12	0... 20				
Oțeluri austenitice															
GX2CrNi19- 11		0,0 3	1, 5	2, 0	0,0 35	0,0 25	18, 0... 0,0 30	-	9,0... 12,0	-	N=max. 0,05	+AT	440	30	80
GX5CrNi19- 10		0,0 7		1, 5	0,0 40			-	8,0... 11,0	-	-			60	
GX5CrNiNb 19-11								-	9,0... 12,0	8%C.. .1,0	-			40	
GX2CrNiMo 19-11-2		0,0 3		2, 0	0,0 35			2,0 ... 2,5	9,0... 12,0	-	N=max. 0,20			80	
GX5CrNiMo 19-11-2		0,0 7		1, 5	0,0 40					-	-			60	
GX2CrNiMo Nb19-11-2								8%C.. .1,0		-	40				
GX5CrNiMo 19-11-3									3,0 ... 3,5	10,0. .. 13,0	-			-	60
GX2CrNiMo N17-13-4		0,0 3			16, 5... 18, 5			4,0 ... 4,5	12,5. .. 14,5	-	N=0,12.. ..0,22			20	50
Oțeluri complet austenitice															
GX2NiCrMo 28-20-2		0,0 3	1, 0	2, 0	0,0 35	0,0 25	19, 0... 22, 0	2,0 ... 2,5	26,0. .. 30,0	-	N=max. 0,20 Cu=max .2,0		430	30	
GX4NiCrCu		0,0	1,	1,	0,0	0,0		2,0 ... 2,5	27,5. .. 30,0	-	Cu=3,0..		35		

^[53]American welding society. *Welding handbook, volume 2, Weding processes.* Miami, 1991

Mo30-20-4		6	5	5	40	30		3,0	30.5		.4,0	+AT			60
GX2NiCrMo Cu25-20-5		0,0 25		2, 0		0,0 20	19, 0...	4,0 ...	24,0. ..	-	N=max. 0,20 Cu=1,0.. .3,0		450		30
GX2NiCrMo N25-20-5		0,0 3		1, 0				4,5 ...		-	N=0,12. ..0,20				
GX2NiCrMo CuN29-25-5				2, 0		0,0 25	24, 0...	4,0 ...	28,0. ..	-	N=0,15. ..0,25 Cu=2,0.. .3,0		480		
GX2NiCrMo 25-20-6		0,0 25				0,2 0	19, 0...	6,0 ...	24,0. ..	-	N=0,10. ..0,25 Cu=0,5.. .1,5				
GX2CrNiMo CuN20-18-6				1, 2	0,0 30	0,1 0	19, 5...		17,5. ..	-	N=0,18. ..0,24 Cu=0,5.. .1,0		500	35	50
Oțeluri austenito-feritice															
GX6CrNiN2 6-7		0,0 8	1, 5	1, 5	0,0 35	0,0 20	25, 0...	-	5,5... 7,5	-	N=0,10. ..0,20	+AT	590	20	30
GX2CrNiMo N22-5-3		0,0 3		2, 0		0,0 25	21, 0...	2,5 ...	4,5... 6,5	-	N=0,12. ..0,25		600		
GX2CrNiMo N25-6-3							24, 5...		5,5... 7,0	-			650	22	50
GX2CrNiMo CuN25-6-3-3				1, 5			26, 5			-	N=0,12. ..0,22 Cu=2,5.. .3,5				
GX2CrNiMo N25-7-3					0,0 30	0,0 20	3,0 ...	4,0	6,0.. 8,5	-	N=0,15. ..0,25 Cu=max . 1,0 W=max. 1,0	+AT	650	22	50
GX2CrNiM					0,0	0,0	25, 0...	3,0 ...	6,0...	-	N=0,12. ..0,22				

ON26-6-4					35	25	27, 0	5,0	8,0		Cu=max . 1,3				
----------	--	--	--	--	----	----	----------	-----	-----	--	-----------------	--	--	--	--

Tabelul 3.6 *Proprietăți mecanice ale oțelurilor inoxidabile*^[54]

Proprietate	Prescripții ASTM			Tip de oțel inox		
	Recopt	Finisat la rece	Prelucrat la rece	316 recopt	316L recopt	317 recopt
R (psi)	75000	90000	125000	85000	78000	90000
Limita de curgere (psi)	80000	45000	100000	35000	30000	40000
Alungire (%)	40	35	12	55	55	50
Duritate Rockwell	B95	-	-	B80	B76	B85

^[54]American welding society. *Welding handbook, volume 2, Welding processes*. Miami, 1991

CAPITOLUL 4.

PREZENTAREA ECHIPAMENTULUI DE SUDARE

4.1 Echipamente pentru sudarea prin frecare

Mașinile de sudat prin frecare se compun, în general, din sub-ansamblurile principale schematizate în figura 4.1 în care : 1 este batiul mașinii, 2- mecanism de rotire, 3- cuplaj, 4- mandrină, 5- coloane de ghidare, 6-menghină, 7- sanie, 8- sprijin axial (deschide menghina), 9- cilindri hidraulici pentru presare axială, 10- instalație hidraulică, 11- instalație electrică. Instalațiile 10 și 11 pot fi separate sau înglobate^[55].

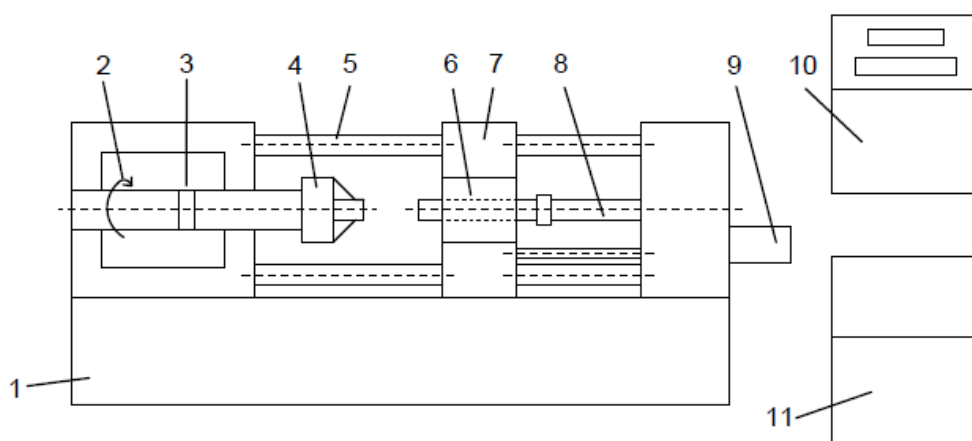


Fig. 4.1 Schema unei mașini de sudat prin frecare

În țara noastră au fost fabricate numeroase tipuri de mașini de sudat prin frecare MSF-5...MSF-250, cu puteri de 15...180 kW. Mașinile sunt universale sau specializate pentru sudarea arborilor cotiți, arbori de la Dacia 1300, prăjini de foraj etc.

În lipsa unei mașini de sudat prin frecare, putem folosi un strung normal pentru recondiționarea unor scule rupte având diametrul până la 10 mm. Este preferabilă executarea unor standuri simple, fără cutie de viteză, cu axul principal antrenat direct la 3000 rot/min și presare manuală în trepte^[56].

^[55] Boarnă, C., Dehelean, D, Arjoca, I. *Procedee neconvenționale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980

^[56] Idem ^[55]

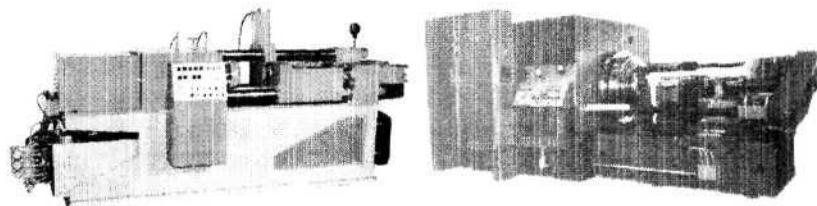


Fig. 4.2 Mașini de sudat prin frecare tip MSF și cu volant^[57]

4.2 Descrierea instalației

Probele sudate au fost realizate în laborator, pe un stand pentru sudare prezentat în figura 4.3 .

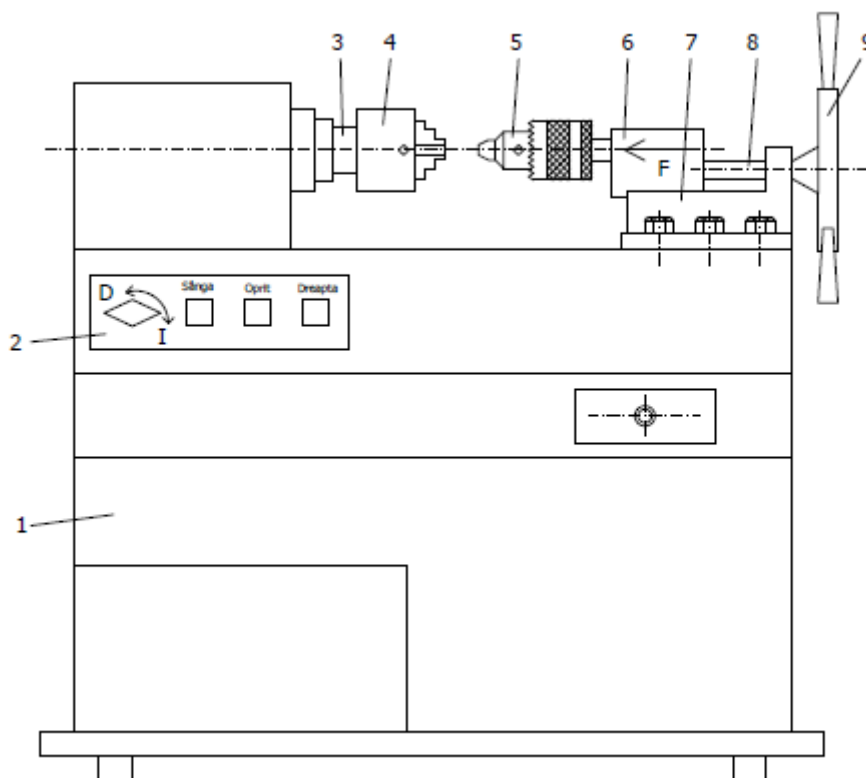


Fig. 4.3 Stand pentru sudare

1 - batiul instalației; în interiorul acesteia se găsește motorul electric ce antrenează axul principal prin intermediul unei transmisii prin curele trapezoidale;

2 - panou electric de comandă ce conține un întrerupător și trei butoane STÂNGA, OPRIT și DREAPTA pentru cuplarea și decuplarea motorului electric de antrenare;

3 - ax principal;

^[57] Boarnă, C., Dehelean, D., Arjoca, I. *Procedee neconvenționale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980

- 4 - universal de strung;
- 5 - mandrină de mașina de găurit;
- 6 - sanie mobilă;
- 7 - ghidaj în coadă de rândunică;
- 8 - șurub conducător pentru deplasarea saniei;
- 9 - roată de manevră prin rotirea căreia se deplasează sania și se obține presarea axială.

4.3 Aplicații ale sudării prin frecare

Sudarea prin frecare se extinde înlocuind sudarea electrică cap la cap cu topire intermediară (prin scânteiere) datorită avantajelor:

- puterea electrică de 2...2,5 ori mai redusă față de cea utilizată la sudarea electrică prin presiune; la o putere de 100 kw se pot suda bare cu diametrul până la 180 mm ;
- economie de energie prin încălzirea numai în domeniul plastic (fără topire) a unei zone mai înguste ca la alte procedee de sudare;
- calitate superioară a îmbinărilor realizate (rezistența la rupere a îmbinării mai mare sau egală cu rezistența materialului de bază);
- posibilitatea sudării unor materiale mult diferite din punct de vedere a compoziției chimice, cu temperaturi de topire diferite.

Se sudează astfel, cu rezultate bune, materiale ca :

- oțel carbon laminat cu el însuși sau cu oțel turnat, fontă cenușie,
- oțeluri aliate, oțeluri inoxidabile, aluminiu și aliajele sale, cupru, bronzuri, titan;
- aluminiu cu el însuși sau cu aliajele sale, cu alamă, cupru, magneziu, nichel, oțel carbon sau inoxidabil, titan;
- cupru cu el însuși sau cu alamă, aluminiu, argint, oțel^[58].

În cazul sudării unor materiale cu conductivitate termică ridicată (cupru, aluminiu, molibden) se folosesc viteze mari de rotație și timpi de sudare scurți (regimuri dure ce evită disiparea căldurii).

La sudarea a două materiale cu plasticitate diferită rezultă bavuri inegale ca în figura 4.4. Dacă ne deranjează, putem folosi o matriță de formare a bavurii . Acesta se montează pe capătul care se deformează mai ușor, împiedicând astfel formarea unei bavuri excesive în acest material și obligând deformarea celui alt material.

^[58] Georgescu, V., Iordăchescu, d., Mircea, O. *Tehnica sudării prin presiune*. Lucrări practice. Universitatea din Galați, 1992

Datorită avantajelor tehnice și economice ale sudării prin frecare, aceasta a găsit aplicare la fabricarea economică a unor piese de importanță deosebită din numeroase domenii ca de exemplu :

- la confecționarea sculelor așchietoare combinate de tipul burghie, freze, tarozi etc. prin îmbinarea celor două părți ale sculei, partea activă din oțel rapid Rp 5 și coada din OLC 45;
- elemente din componența motoarelor diesel mari: supape (21.4N + 40MoCrNM5), antecamere de injectare a motorinei (W4989 + 21MoMnCr12), țeava telescopică (10TiNiCr180), bară conducătoare (OL50 + OLT35);

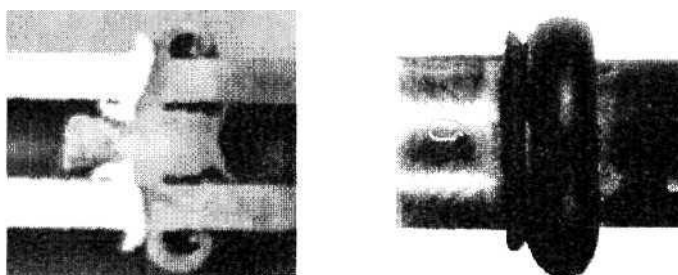


Fig. 4.4 *Bavura formată la sudarea materialelor diferite*^[59]

- în industria de autovehicule: pentru ARO arbore cardanic (40Cr10 + OLC45 + OLT35), pentru autocamioane: arbore planetar (50VCM1 + 18MnCr10), furcă cu butuc (OLC45 + OLT65), ax cu came (OLC60), tijă de amortizor (OLC40 + OT50), arbore volan (OLC35 + OLT35), coloană direcție (OLC35 + 40CM0), arbore de direcție cu melc (35C10 + 41MoC11), arbore conducător cu pinion de atac (21TiMnCr12 + 18MnCr10);
- sudarea arborilor cotiți pentru tractoare (OLC45) pe un echipament specializat MSF 60;
- sudarea arborilor primari de la cutia de viteză DACIA 1300 pe un echipament specializat MSF 30 S-AP;
- piese pentru combine agricole: pinioane conice (18MnCr10 + OLC45), roți de lanț cu butuc (OLC45 + OLT35)^[60];

^[59]Georgescu, V., Iordăchescu, d., Mircea, O. *Tehnica sudării prin presiune*. Lucrări practice. Universitatea din Galați, 1992

^[60] Idem ^[59]

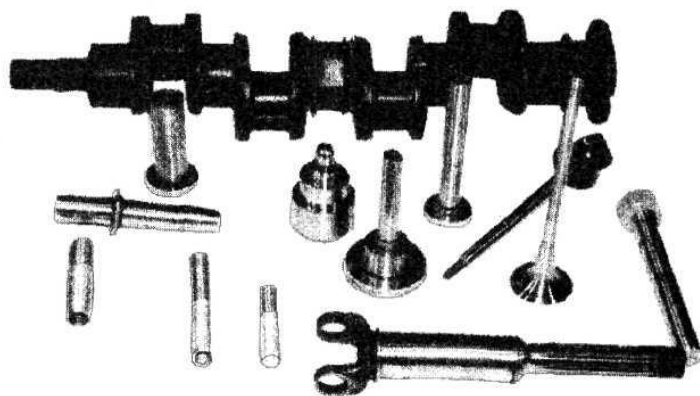


Fig. 4.5 Aplicații ale sudării prin frecare^[61]

- în industria minieră: role de benzi rulante (OL50 + OLT35), piston perforator (VSCW20), cilindri hidraulici (OL52 + 20VM12) și pistoanele lor (21TiMnCr12)
- diverse: șuruburi de păsuire (30MoCr11), elemente de arbori cotiți (41MoC11 sau OLC45) pentru compresoare, rotori de turbosuflante (W4989 + OLC45), poansoane pentru stanțat (VMoC120 + OL37), bolțuri pentru frâne CFR (OLC45)

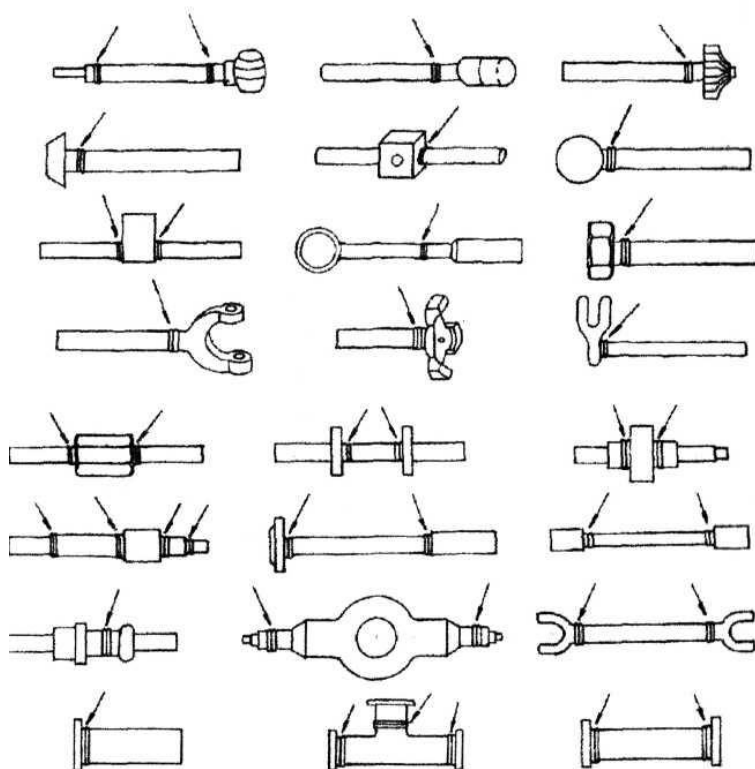


Fig. 4.6 Schițele unor piese sudate prin frecare^[62]

Exemplele prezentate (dar și altele) pot fi observate în imaginile din figura 4.5 sau în schițele din figura 4.6.

^[61]Georgescu, V., Iordăchescu, d., Mircea, O. *Tehnica sudării prin presiune*. Lucrări practice. Universitatea din Galați, 1992

^[62]Idem ^[61]

CAPITOLUL 5.

REALIZAREA ÎMBINĂRILOR SUDATE PRIN FRECARĂ A MATERIALELOR SIMILARE ȘI DISIMILARE

5.1 Materiale folosite pentru realizarea îmbinărilor sudate

În industriile alimentară, chimică, petrochimică, navală, apare adesea necesitatea realizării unor îmbinări sudate între materiale diferite. Cel puțin din punct de vedere economic, este evidentă stabilirea unor soluții tehnologice de sudare, prin care materiale aparținând unor clase structurale diferite să satisfacă cerințele impuse unor astfel de structuri^[63].

Modelarea matematică și analiza cu element finit a proceselor termice, cu mult mai complexe la sudarea metalelor diferite din punct de vedere al compoziției chimice și structurii, au permis investigarea și aprofundarea fenomenelor de transfer termic și stabilirea unei noi variante tehnologice de sudare pentru îmbinările S690 – inox 316L.

5.2 Oțel S690

S690 este un grad de oțel structural cu randament ridicat produs în conformitate cu EN 10025: 6: 2004. Materialul este tratat termic folosind procesul de stingere și temperare și are proprietăți bune de îndoire și sudare^[64].

5.2.1 Aplicații

O combinație excepțională de rezistență ridicată, ductilitate, prelucrabilitate și rezistență excelentă la coroziune, cu o combinație a gamei sale de prețuri, face din oțelul S690 material util pentru diverse aplicații precum pompe, supape, arbori, schimbătoare de căldură, containere de combustibil nuclear, componente structurale, elemente de fixare, feronerie marină și piese chimice.

Tabelul 5.1 *Compoziția chimică a oțelului S690*

C	Si	Mn	P	S	N	B	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	V
0,20	0,80	1,70	0,020- 0,025	0,010- 0,015	0,015	0,005	1,50	0,50	0,70	0,06	2,00	0,12

^[63] Bobrinskii, IUN, Sergheev, N.P. *Ustroistvo i naladea contactnah svarocinah masin*. Masinostroenie Moscva, 1967

^[64] Idem ^[63]

Tabelul 5.2 *Proprietăți mecanice ale oțelului S690*^[65]

Clasa de oțel	Grosime	MPa	Rezistența la tracțiune MPa	Elongație min %
S690Q, QL, QL1	$\geq 8 \text{ t} \leq 50$	690	770-940	14
S690Q, QL	$> 50 \text{ t} \leq 100$	690	760-930	14

Clasa de oțel	Energie de impact KV, min J			
	0	-20	-40	-60
S690Q	40	30	-	-
S690QL	50	40	30	-
S690QL1	60	50	40	30

5.3 Inox 316L

5.3.1 Prelucrabilitate

Se deformează ușor la rece. Nu se recomandă aplicarea tratamentelor termice ulterioare. Încălzirea la culoarea de revenire a suprafeței sau formarea stratului de oxizi în cursul prelucrării la cald reduc rezistența la coroziune. Acesta se va îndepărta prin decapare, rectificare sau sablare cu nisip. Se recomandă ca prelucrarea mecanică prin așchiere să se facă cu scule de oțel rapid sau cu plăcuțe dure, din cauza tendinței de ecruisare și a conductibilității termice reduse. Se va asigura o răcire corespunzătoare.

5.3.2 Utilizare

Din cauza conținutului redus de carbon, este rezistent la coroziunea intercrystalină la toate dimensiunile, chiar și în stare sudată până la temperatura de 400°C. Conținutul de molibden asigură o bună rezistență la coroziune în medii cu conținut de clor și față de acizi neoxidanți. Frecvent se utilizează pentru construcția instalațiilor din industria chimică și textilă, precum și pentru mijloace de depozitare și transportare a mediilor agresive. În stare calită este ușor magnetizabil.

Tabelul 5.3 *Compoziția chimică a inoxului 316L*^[66]

C	Cr	Fe	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
0,03	17	65	2	2,5	12	0,045	0,03	1

^[65] Ghelman, A.S. *Contactnaia electrosvarca*. Masghiz, Moskva, 1949

^[66] Idem ^[65]

Tabelul 5.4 *Proprietăți mecanice ale inoxului 316L*^[67]

Duritate, Brinell	149	149
Duritate, Rockwell B	80	80
Duritate, Vickers	155	155
Rezistență la tracțiune, Final	515 MPa	74700 psi
Rezistența la tracțiune, Randament	205 MPa	29700 psi
Alungire la rupere	60 %	60%
Modul de elasticitate	193 GPa	28000 ksi
Charpy Impact	103 J	76 ft-lb
Izod Impact	150 J	111-lb

5.4 Aspecte din timpul sudării

Pentru a putea vizualiza macrostructura îmbinărilor, am prelucrat pe lungimea de 20mm pe o parte și de alta a sudurii până la jumătatea grosimii câte una din fiecare probă sudată. După prelucrare am rectificat suprafața pe mașina de rectificat plană, prelucrarea am făcut-o prin frezare și debitare pe strung. Pentru a putea rectifica suprafața prelucrată am realizat un dispozitiv pentru asezarea pe masa mașinii de rectificat plan. Bavură inegală apare datorită caracteristicilor termofizice diferite ale materialelor care se îmbină, oțel S690 cu inox 316L.

În momentul sudării am observat încălzirea mai rapidă a piesei din inox 316L datorită rezistivității mari care face posibilă concentrarea căldurii în zona îmbinării. Vizual culoarea piesei din inox 316L este de un roșu albicios comparativ cu piesa din oțel S690 care este de un roșu închis. Cu toate că piesa din inox 316L se încălzește mai rapid, aceasta se deformează mai greu datorită elementelor de aliere ale oțelului inoxidabil, din cauza cărora aceasta se deformează mai greu. Acest lucru se observă în repartizarea neuniformă a bavurii de tip rulou care este mai mare în piesa de oțel carbon. De asemenea se observă o bavură distribuită uniform în cele două piese în cazul sudurii materialelor similare.

Dacă ne gândim să mărim timpul de frecare pentru certitudinea că realizăm o îmbinare sudată corectă, nu facem decât să obținem o bavură exagerată deoarece prin încălzirea materialului ajunge la temperatura de deformare plastică (1200-1250C) temperatură la care rezistența la deformarea plastică a materialului de bază se reduce de 10 ori față de rezistența la rupere a acestuia. În consecință marind durata de frecare nu facem decât să consumăm inutil energie și să mărim nejustificat dimensiunea bavurii.

^[67]Ghelman, A.S. *Contactnaia electrosvarca*. Masghiz, Moskva, 1949

Pregătirea probelor în vederea sudării

S-a realizat operația de strujire.



Fig. 5.1 *Strujire exterioară cu cuțit drept*

S-a realizat operația de găurire pentru egalizarea găurilor în vederea sudării probelor, țeavă cu bară din materiale similare și disimilare.



Fig. 5.2 *Prelucrare de egalizare a găurilor*

Particulele de metal solid antrenează materialul plastifiat de la mijlocul piesei către exterior formând canale elicoidale cum se poate observa în fig. 5.3 și fig. 5.4 .



Fig. 5.3 *Formarea canalelor elicoidale*



Fig. 5.4 *Formarea canalelor elicoidale*

De remarcat etapa frecării uscate când datorită frecărilor mari se produce un zgomot puternic , vibrații mari și se desprind particule de metal solid de pe suprafețele frontale ale pieselor cum se poate vedea în fig. 5.5 și fig. 5.6.



Fig. 5.5 *Particule de metal solid*



Fig. 5.6 *Particule de metal solid*

5.5 Sudarea prin frecare a îmbinărilor similare



Fig. 5.7 Țeavă de oțel S690 Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8



Fig. 5.8 Țeavă de oțel S690 Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8

Gradul de curățare al suprafețelor capetelor nu influențează calitatea îmbinării deoarece eventualele impurități sau oxizi se distrug și se elimină în baură în timpul frecării.



Fig. 5.9 Bară de oțel S690 Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6

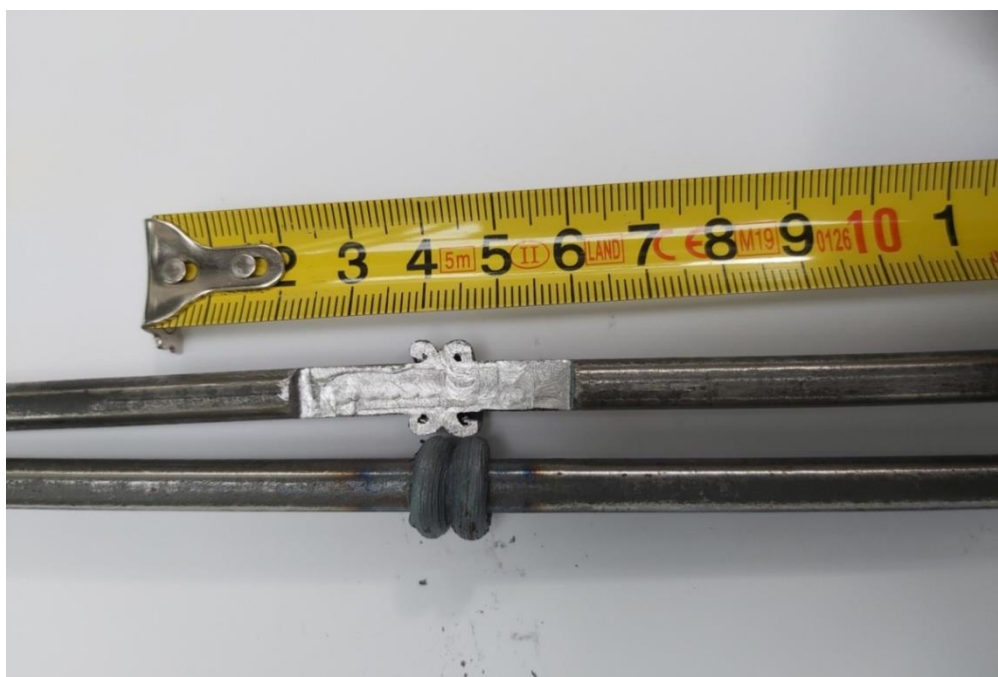


Fig. 5.10 Bară de oțel S690 Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6

În fig. 5.11 avem o sudură incorectă din cauza grosimii diferite a pereților care au fost prelucrați greșit.

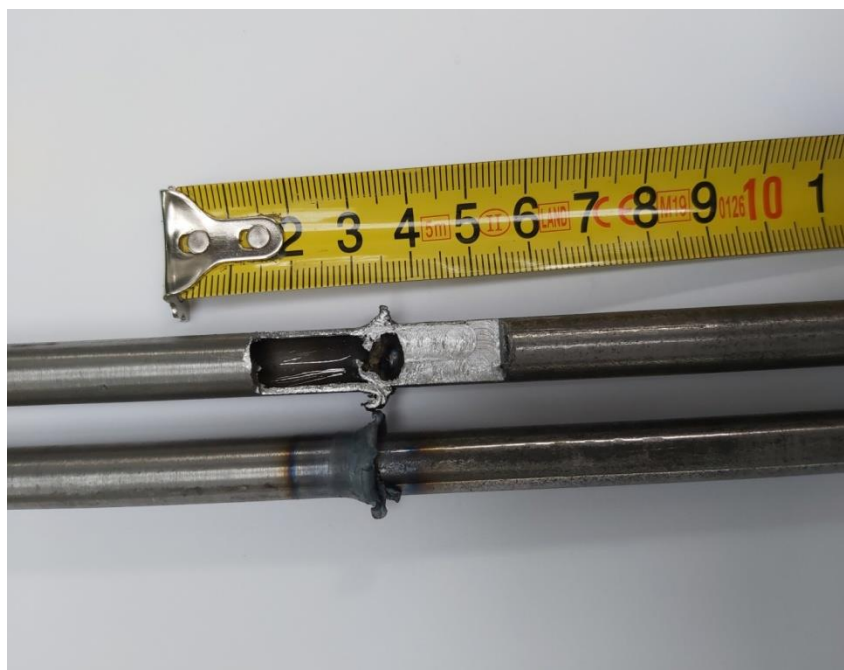


Fig. 5.11 Bară de oțel S690 Ø8-Țeavă de oțel S690 Ø8

În fig. 5.12 proba a fost refăcută iar sudura este corectă.



Fig. 5.12 Bară de oțel S690 Ø8-Țeavă de oțel S690 Ø8

În cazul țevelor se poate reduce bavura exterioară sau interioară prin șanfrenări ca în figura 5.14.

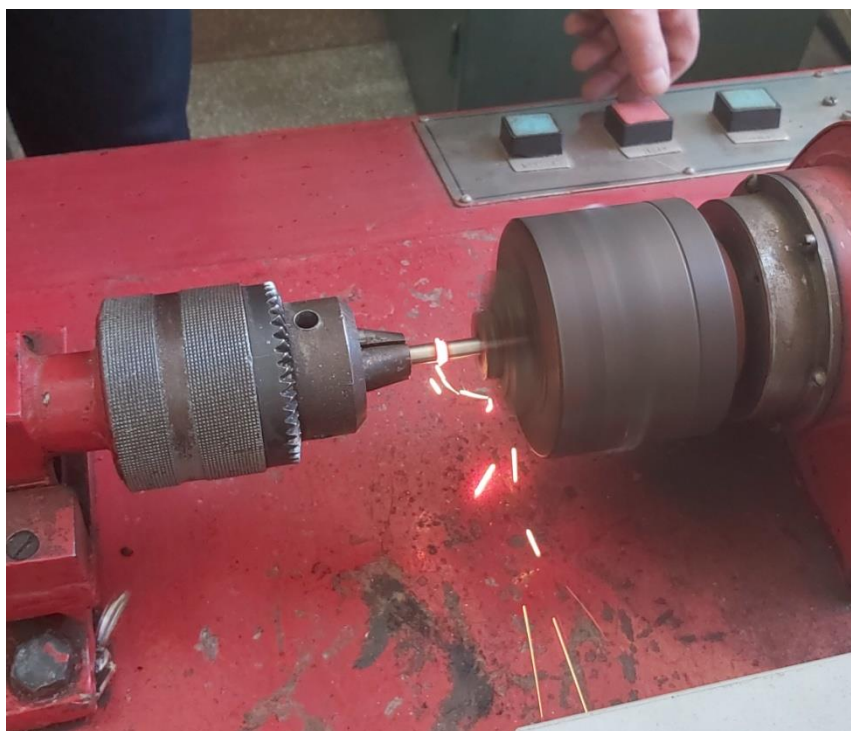


Fig. 5.13 Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8



Fig. 5.14 Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8

Se recomandă o lungime liberă aproximativ egală cu diametrul pieselor de sudat.

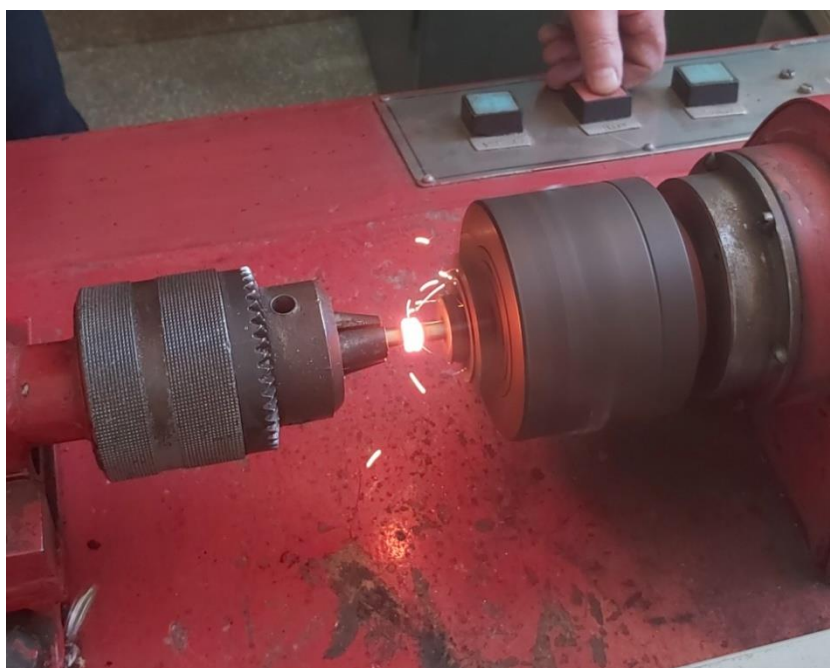


Fig. 5.15 Bară de inox 316L Ø8 - Bară de inox 316L Ø8

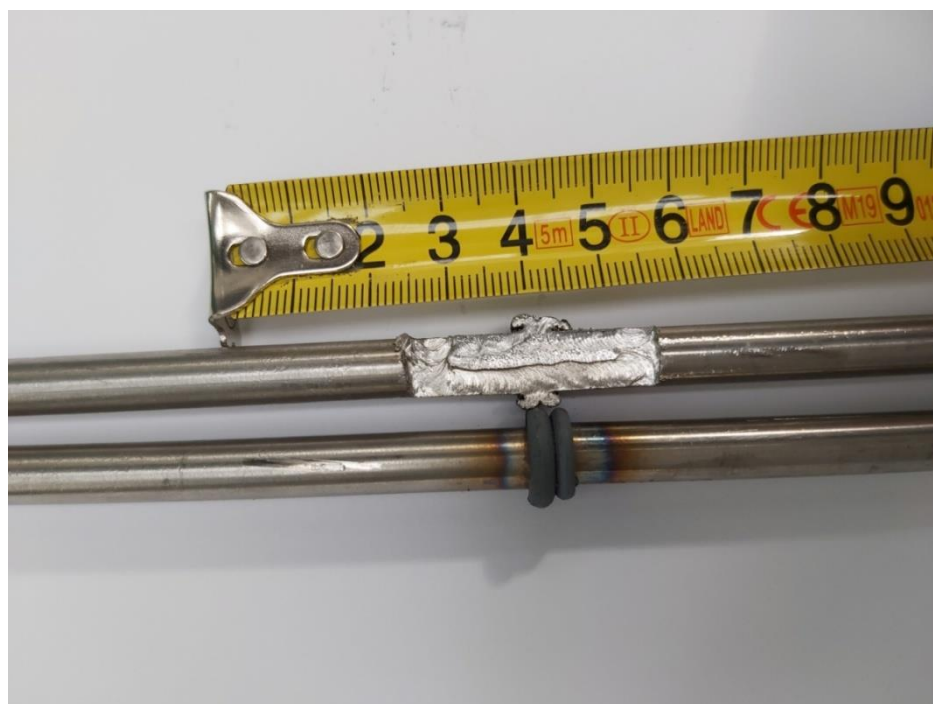


Fig. 5.16 Bară de inox 316L Ø8 - Bară de inox 316L Ø8

Alegerea concretă a presiunii din timpul frecării se face în strânsă legătură cu presiunea de refulare necesară sudării.

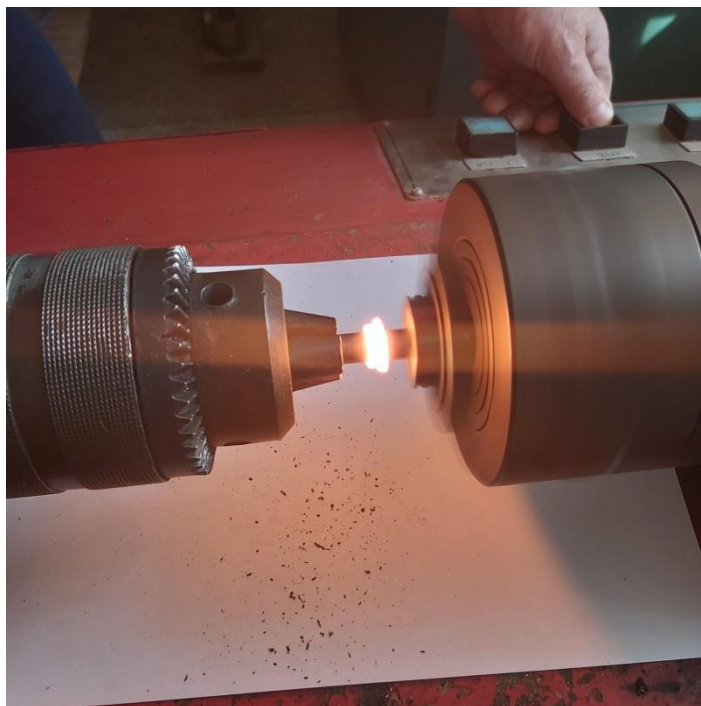


Fig. 5.17 Bară de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8



Fig. 5.18 Bară de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8

5.6 Sudarea prin frecare a îmbinărilor disimilare

Datorită elementelor de aliere, inoxul 316L se încălzește mai rapid dar se deformează mai greu.



Fig. 5.19 Bară de inox 316L Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6



Fig. 5.20 Bară de inox 316L Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6

Creșterea vitezei duce la deplasarea sursei termice pe axa pieselor.

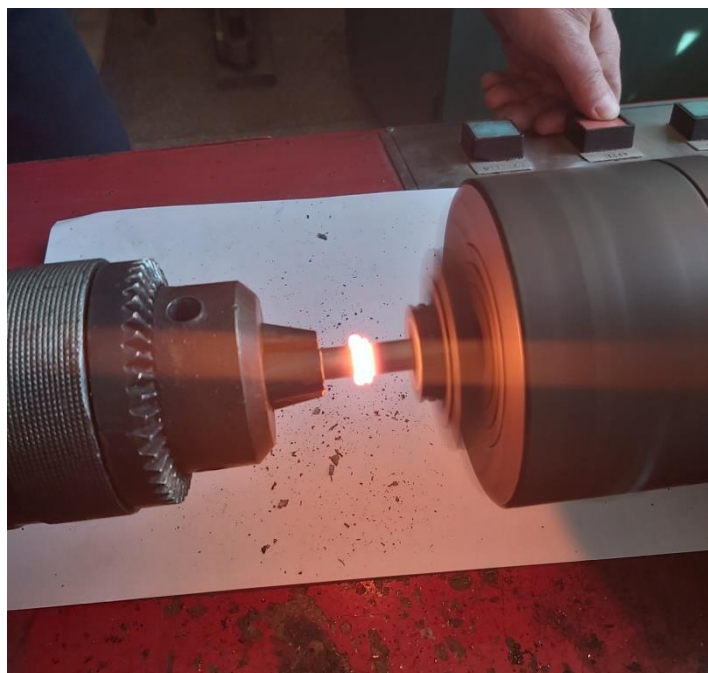


Fig. 5.21 Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8



Fig. 5.22 Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8

CAPITOLUL 6.

DETERMINAREA DURITĂȚII ȘI A COMPOZIȚIEI CHIMICE A ÎMBINĂRILOR SUDATE PRIN FRECARÉ

6.1 Determinarea durității prin metoda Vickers

Metoda de determinare a durității cu un penetrator de diamant având formă de piramidă dreaptă cu bază pătrată, inițiată de R.L. Smith și G.E. Sandland, a fost denumită după prima firmă care a construit acest tip de aparat, firma Vickers. Metoda Vickers are cel mai larg interval de măsurare, putând fi folosită aproape universal^[68].

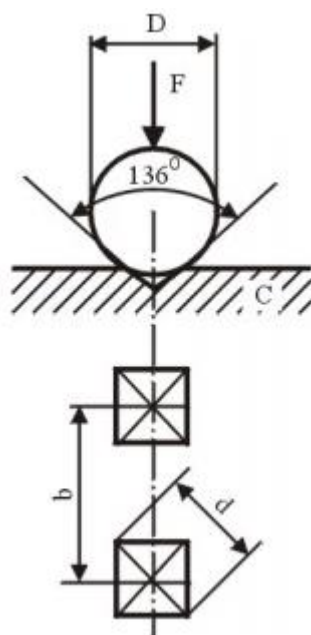


Fig. 6.1 Schema de principiu a măsurării durității Vickers

Metoda Vickers se aseamănă, în principiu, cu metoda Brinell. Ea constă în apăsarea pe suprafața materialului de încercat a unui penetrator, cu viteză redusă și cu o anumită forță predeterminată. Duritatea Vickers, simbolizată HV, se exprimă prin raportul dintre forța de apăsare F și aria suprafeței laterale a urmei lăsată de penetrator pe piesă. Urma este de forma unei piramide drepte cu bază pătrată, cu diagonala d , având la vârf același unghi ca penetratorul. Unghiul dintre două fețe opuse ale acestuia este 136° și a fost ales pentru a se stabili o legătură cu duritatea Brinell. Standardele britanice au stabilit intervalul diametrelor urmelor Brinell la valori cuprinse între $0,25...0,5 D$ (unde D este diametrul penetratorului bilă). Valoarea medie între acestea este $0,375 D$ și piramida cu unghiul între fețele opuse de 136° are fețele tangente la o sferă de diametru D după un cerc de diametru $d = 0,375 D$ ^[69].

În practică se măsoară lungimea diagonalei cu un microscop de măsurare sau cu un proiector, iar valoarea corespunzătoare a durității Vickers se citește din tabele.

^[68]Ghelman, A.S., *Osnovîsvarki davleniem*. Izdatelistvo Masino-stroenie, Moskva, 1970.

^[69]Idem ^[68]

La încercarea Vickers, pentru că se folosesc penetratoare cu unghiuri la vârf identice, se obțin urme geometrice asemenea oricare ar fi forța de încercare, cel puțin în domeniul sarcinilor obișnuite, între 4,9 daN și 98 daN, duritatea obținută fiind independentă de mărimea sarcinii de încercare. Acest fapt permite o aplicabilitate foarte largă a metodei Vickers, practic cu un interval cuprins între 10 și 1900 HV. Adâncimea de penetrare a piramidei Vickers este de numai 1/7 d, ca urmare metoda se pretează și pentru determinarea durității pieselor subțiri, a straturilor tratate termic, depuse galvanic, etc.

Cu toate că, practic, duritatea obținută prin metoda Vickers nu variază cu mărimea forței de încercare, din motive practice, standardele 492-78 și 7057-78 prescriu anumite sarcini discrete și clasifică încercările Vickers în:

- încercări de duritate Vickers;
- încercări de duritate Vickers cu sarcini mici;
- încercări de duritate Vickers cu microsarcini (microduritate Vickers)

Tabelul 6.1 Tipuri de încercări Vickers

Încercare	Sarcini de încercare F [daN] (kgf)					
Vickers	4,903 (5,00)	9,806 (10,00)	19,61 (20,00)	29,42 (30,00)	49,3 (50,00)	98,07 (100,00)
Vickers cu sarcini mici	0,49 (0,5)	0,89 (1,00)	1,96 (2,00)	2,94 (3,00)	3,92 (4,00)	- -
Vickers cu microsarcini	0,0049 (0,005)	0,0098 (0,01)	0,0196 (0,02)	0,049 (0,05)	0,098 (0,1)	0,196 (0,2)

Pentru evitarea influențării reciproce a urmelor prin zonele durificate din jurul lor se recomandă:

- păstrarea distanțelor b între centrele urmelor;
- păstrarea distanțelor c între centrul urmelor și marginea piesei,

În vederea determinării durității prin metoda Vickers, suprafața materialului este pregătită anterior prin prelucrare la o rugozitate care să asigure o măsurare în condiții bune a diagonalelor urmelor, acestea trebuind să aibă conturul clar. La fiecare urmă se măsoară cele două diagonale, calculându-se valoarea medie a lor. Între cele două diagonale ale unei urme se admite o diferență maximă de 2%. Dacă această valoare este depășită se controlează dacă suprafața piesei este perpendiculară pe direcția de acționare a penetratorului sau dacă materialul nu este anizotrop^[70].

^[70]Ghelman, A.S., *Osnovîsvarki davleniem*. Izdatelistvo Masino-stroenie, Moskva, 1970.

Tabelul 6.2 Durițăți Vickers

Duritate Vickers	Timpu de menținere a sarcini [s]	b	c
Peste 100	10...15	2,5 d	2,5 d
36...100	27...33	3,5 d	2,5 d
10...36	115...125	4,5 d	3,5 d
Sub 10	170...190	5,5d	4,5d

Duritatea Vickers se indică cu o precizie de 0,1 HV pentru durițăți sub 100 HV, iar la durițăți mai mari de 100 HV numai prin cifre întregi. Valoarea durițății este urmată de simbolul HV, urmat de un prim indice care reprezintă sarcina de încercare (exprimată în daN) și de un al doilea indice reprezentând durata medie de menținere a sarcinii de încercare (exprimată în secunde)^[71].

6.1.2 Aparatură și materiale folosite

Încercarea Vickers diferă de încercarea Brinell numai prin forma penetratorului și mărimea sarcinilor de încercare. De aceea, multe aparate de încercare a durițății sunt construite pentru a fi utilizate pentru ambele metode. Aparatul prezentat în figura 6.2 este susținut de o coloană 1, montată pe o placă de bază 2, care cuprinde și masa aparatului. În funcție de mărimea piesei de încercat, aparatul poate fi deplasat pe coloană și fixat prin strângere cu ajutorul toții de mână 9. Sarcina se realizează cu ajutorul manetei 5. La coborârea acesteia, penetratorul 3 care este sprijinit în partea superioară cu un arc elicoidal se așează pe suprafața piesei de încercat. Continuând coborârea manetei, aceasta va acționa, prin intermediul unei piese în partea superioară a arcului tratat din interiorul cilindrului, exercitând forța de încercare care devine nominală în poziția atingerii conului de protecție 4. După realizarea urmei, aparatul se rotește în jurul coloanei astfel încât deasupra urmei să ajungă microscopul de măsurare cu ocularul 6 și micrometrul ocular 7. Urma este iluminată de becul 8 alimentat printr-un transformator înglobat în aparat. Cursa de rotire este reglată astfel încât urma să ajungă în centrul câmpului vizual al microscopului. Valoarea diviziunii micrometrului ocular este de 1 μm . Pregătirea suprafețelor pieselor de încercare trebuie să fie făcută cu o deosebită atenție folosind, în general, tehnica pregătirii probelor metalografice. E va evita ca în timpul pregătirii să apară modificări structurale generate de încălziri și ecruisări. După prelucrarea suprafeței, în cazul determinării de microduritate, se poate face și un tratament cu reactivi pentru evitarea structurii metalografice^[72].

^[71]Ghelman, A.S., *Osnovîsvarki davleniem*. Izdatelistvo Masino-stroenie, Moskva, 1970.

^[72]Idem ^[71]

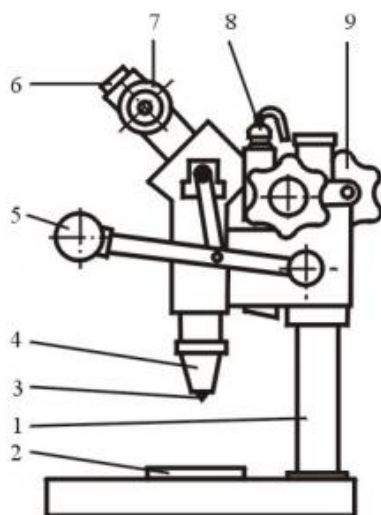


Fig. 6.2 Aparat pentru măsurarea durtății Vickers

6.1.3 Modul de lucru

Pentru buna desfășurare a lucrării se parcurg următoarele etape:

- Se pregătește suprafața piesei sau a materialului la o rugozitate care permite determinarea și măsurarea urmelor în condiții bune. Aceste urme trebuie să aibă un contur clar și neafectat de urmele prelucrării;
- Se stabilește forța cu care se va face încercarea. Aparatul frecvent utilizat în laborator lucrează cu două sarcini. O sarcină de 30 daN sau una de 10 daN, când între conul de protecție și piulițele reglabile se introduce o șaibă calibrată;
- Se execută încercarea. Pentru aceasta se așează piesa pe masa aparatului, se aduce microscopul deasupra acesteia și se analizează suprafața piesei stabilindu-se locul în care se face determinarea. Se deplasează sistemul de penetrare deasupra piesei prin rotirea consolei în jurul coloanei și se execută încercarea, după care se revine cu microscopul deasupra urmei;
- Se măsoară diagonalele urmei cu ajutorul micrometrului ocular. Pentru aceasta se rotește dispozitivul de măsurare până când axa orizontală a scalei devine paralelă cu una din diagonalele urmei de măsurat. Cu ajutorul unui șurub se aduce scala gradată cu diviziunea 0 tangentă la unul dintre colțurile urmei, iar cu un alt șurub micrometric se aduce fanta de culoare închisă tangent la celălalt colț al diagonalei. Mărimea diagonalei este egală cu numărul intervalelor întregi dintre diviziunile ce se suprapun peste urmă înmulțite cu 100 (μm) la care se adaugă o valoare în μm citită pe tamburul șurubului micrometric. După aceasta se măsoară, în același mod, cealaltă diagonală și se face media valorilor obținute;
- Se execută cel puțin trei încercări. Pentru fiecare urmă se determină duritatea, din tabele, iar duritatea finală va fi media durtăților parțiale obținute la fiecare dintre aceste măsurători^[73].

^[73]Ghelman, A.S., *Osnovîsvarki davleniem*. Izdatelistvo Masino-stroenie, Moskva, 1970.

6.2 Determinarea compoziției chimice prin metoda de fluorescență cu raze x

Una dintre tehnicile folosite în identificarea elementelor chimice constitutive ale unei probe este metoda de fluorescență de raze X.

Din analiza datelor de fluorescență de raze X se pot găsi energia și intensitatea fotonilor caracteristici emiși de către probă. Aceste caracteristici ne permit să identificăm elementul chimic care intră în compoziția probei precum și determinarea masei sau concentrației în care acesta se găsește. Elementele folosite în astfel de analize pornesc de la Be ($Z=4$) și merg până la U ($Z=92$). Această metodă utilizează surse de raze X de energii mici, identificând materialele cu ajutorul creștelor de absorbție. Datorită energiilor mici se detectează radiația de fluorescență emisă înapoi la suprafața obiectului. Pentru detecție se folosește un detector spectroscopic sau un cristal difractor, care permite selecția canalului energetic prin selecția unghiului fascicolului împrăștiat. Energia creștelor de absorbție corespunde energiei straturilor energetice interioare, mai puternic legate (în general startul K), aceasta fiind de ordinul keV, în domeniul razelor X moi^[74].

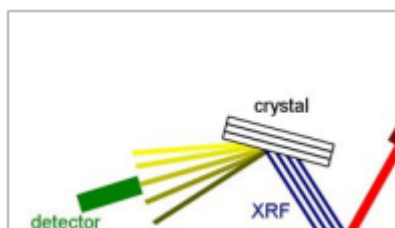


Fig. 6.3 Schema dispozitivului de fluorescență cu raze X

Razele X primare obținute în tubul de raze X în urma bombardării anodului cu electroni emiși de filamentul tubului, au din punct de vedere energetic două componente:

1. O componentă continuă - radiația de frânare
2. O componentă discretă de linii - radiația de dezexcitare caracteristică atomilor anodului

Razele X de fluorescență sau secundare sunt tot radiații de dezexcitare caracteristice atomilor, dezexcitarea acestora făcându-se cu ajutorul emisiei de radiații X de joasă energie. Mecanismul de producere a acestora este următorul:

Dacă pe un atom cu numărul atomic Z , cade un foton cu energie $h\nu \geq E_K$, unde E_K este energia de legătură a unui electron din pătura K a atomului, unul dintre cei doi electroni ai acestei pături poate primi o energie suficient de mare ca să părăsească pătura respectivă și să ajungă pe o stare superioară, ori să părăsească atomul.

Golul pozitiv astfel apărut în pătura K este ocupat de un electron din pătura L sau M, tranziția respectivă executându-se cu respectarea regulilor de selecție. Rezultatul tranzițiilor

^[74]Ghelman, A.S., *Osnovîsvarki davleniem*. Izdatelistvo Masino-stroenie, Moskva, 1970.

este mutarea golului din pătura K în pătura L, M, N și apariția radiațiilor X caracteristice de fluorescență sub forma de linii de energie $h\nu K\alpha = E_K - E_L$, $h\nu K\beta = E_K - E_M$ sau $h\nu K\gamma = E_K - E_N$.

Totalitatea razelor X apărute în urma trecerii golului din pătura K în păturile superioare formează seria K de linii de raze X. Astfel, liniile care se obțin în urma tranzițiilor a căror stare finală este nivelul K ($n=1$), formează seria K, cele ale căror stare finală este nivelul L ($n=2$) formează seria L, la fel avem seria M, seria N, etc.

Tranziția cea mai probabilă este cea dintre pătura L și K, astfel încât aceasta este cea mai intensă. Nu toate tranzițiile posibile de pe păturile superioare pentru ocuparea golului pozitiv sunt permise. Sunt permise doar acele tranziții care respectă regulile de selecție pentru radiația de dipol electric.

Pentru realizarea unei analize cantitative a compoziției chimice a unei probe, vom folosi faptul că înălțimea picului detectat este proporțională cu numărul atomilor care emit pe frecvența respectivă, n . Pentru spectrul de referință acest număr, n_0 , este determinat de densitatea substanței, ρ , masa atomică A , suprafața iradiată S , și grosimea efectivă a stratului iradiat, d .

6.3 Microduritate prin metoda Vickers

Proba 1.



Fig. 6.4 Bară de oțel S690 Ø8-Țeavă de oțel S690 Ø8, proba 1

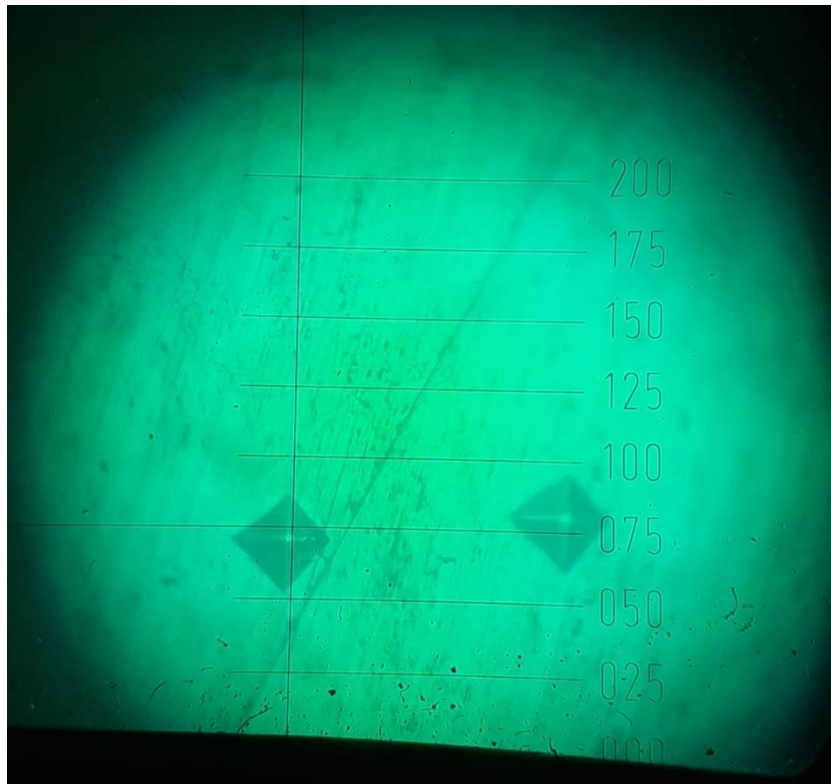


Fig. 6.5 Amprente proba 1

Calculul microdurității prin metoda Vickers, proba 1

$$MHV = 1,8544 \frac{F}{d^2} [daN / mm^2]$$

$$F = 0,208 daN$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$d_1 = (29 \cdot 10^{-3})^2 = 0,000841$$

$$MHV = 1,8544 \frac{0,208}{0,000841} = 458,63 daN / mm^2$$

$$d_2 = (44 \cdot 10^{-3})^2 = 0,001936$$

$$MHV = 1,8544 \frac{0,208}{0,001936} = 199,23 daN / mm^2$$

Determinarea compoziției chimice prin metoda de fluorescență cu raze x, proba 1

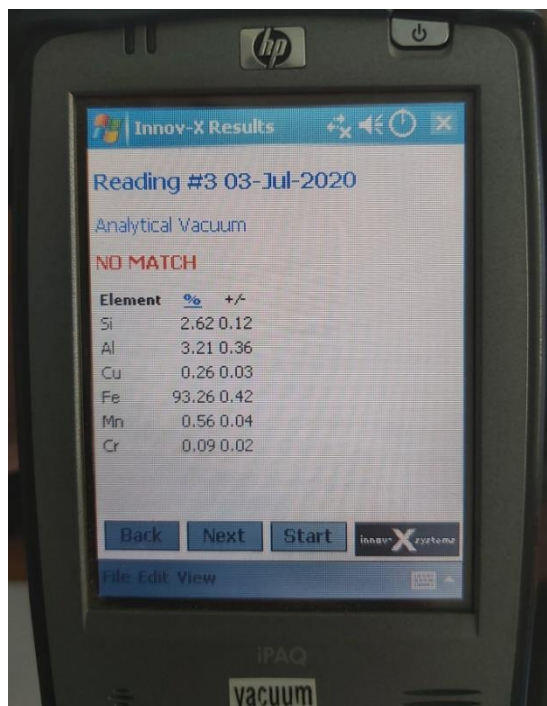


Fig. 6.6 Compoziția chimică zona 1, proba 1

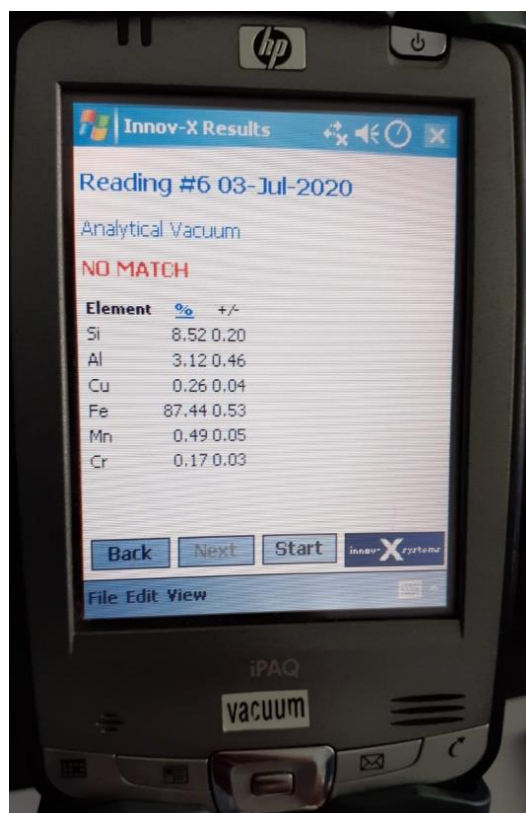


Fig. 6.7 Compoziția chimică zona 2, proba 1

Proba 2



Fig. 6.8 Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8, proba 2

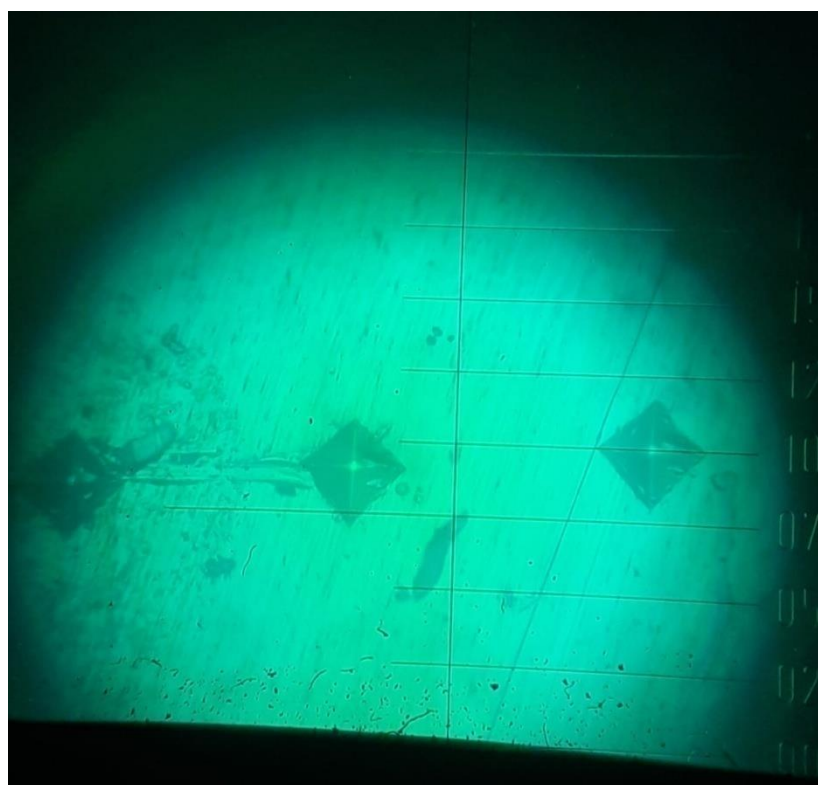


Fig. 6.9 Amprente proba 2

Calculul microdureității prin metoda Vickers, proba 2

$$MHV = 1,8544 \frac{F}{d^2} [daN / mm^2]$$

$$F = 0,208 daN$$

$$MHV = 1,8544 \frac{0,208}{0,001296} = 297,61 daN / mm^2$$

Determinarea compoziției chimice prin metoda de fluorescență cu raze x, proba 2

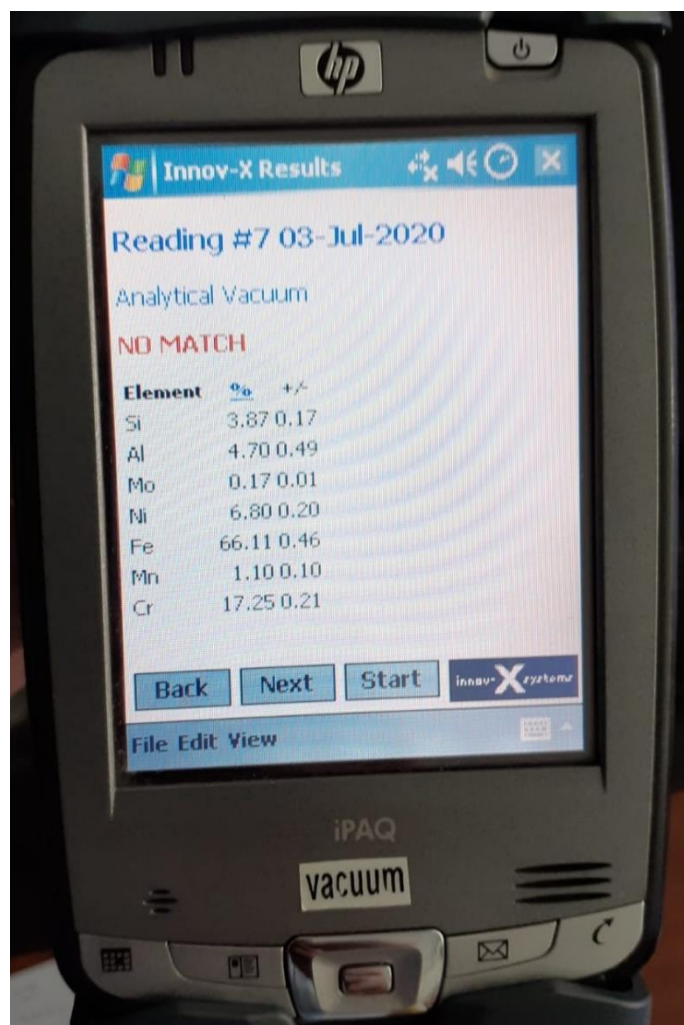


Fig. 6.10 Compoziția chimică zona 1, proba 2

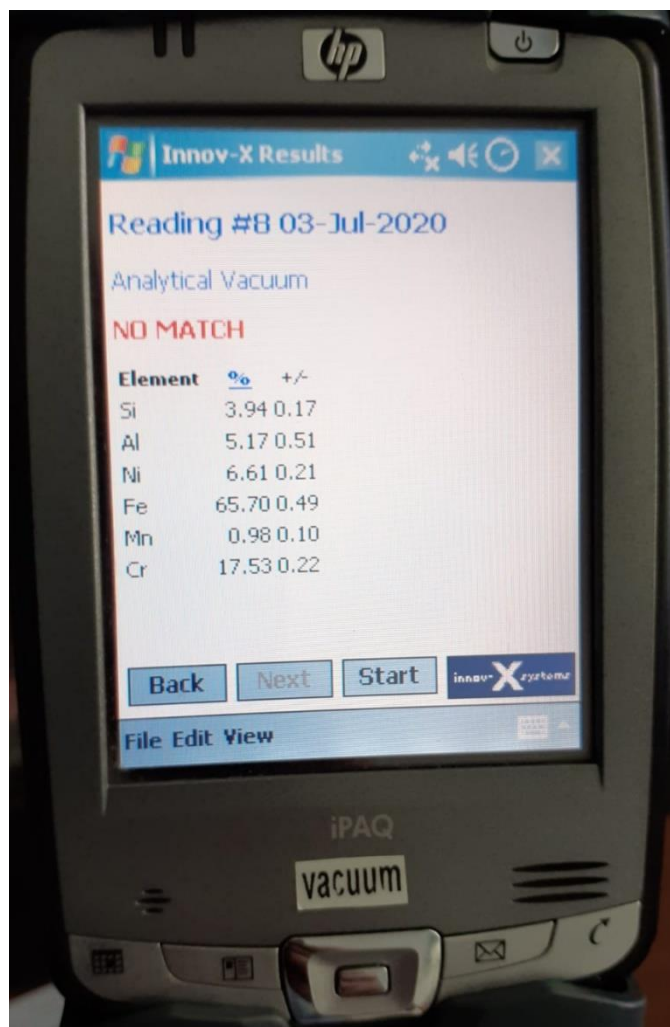


Fig. 6.11 Compoziția chimică zona 2, proba 2

6.4 Direcții viitoare de cercetare

Modelarea cu elemente finite a procesului de sudare prin frecare directă.

Cercetări privind sudarea cu element activ rotitor a materialelor similare și disimilare.

Studiul formelor constructive și al materialului elementului acativ la sudarea prin frecare cu element activ rotitor.

Studiul comportării mecano-metalurgice a oțelurilor cu conținut ridicat de carbon sudate prin frecare.

CONCLUZII

- Am observat distribuția uniformă a bavurii de tip rulou în cele două piese în cazul sudării materialelor similare.
- Bavura inegală apare în cazul sudării materialelor disimilare, datorită încălzirii în mod diferit.
- Am observat încălzirea mai rapidă a piesei de inox 316L care datorită rezistivității mai mari concentrează mai mult căldura în zona îmbinării.
- Cu toate că piesa din inox 316L se încălzește mai rapid, aceasta se deformează mai greu datorită elementelor de aliere, fapt ce explică și bavura de dimensiuni mai mici.
- În timpul frecării am observat culoarea piesei din inox 316L care este de un roșu albicios comparativ cu piesa din oțel S690 care este de un roșu închis, acest lucru ducându-mă la concluzia că piesa din inox 316L ajunge mai repede la temperatura de sudare care este 1200-1250 °C.
- Mărind timpul de frecare nu facem decât să consumăm inutil energie și să marim nejustificat dimensiunea bavurii, temperatura rămânând la aceeași valoare, materialul încălzit fiind eliminat în bavura.
- Macrostructura îmbinarilor realizate prin frecare pe probele tăiate longitudinal și rectificate, arată că piesele au fost sudate corect și nu prezintă defecte.
- Formarea canalelor elicoidale în timpul frecării uscate se formează datorită antrenării particulelor de metal solid către exterior de către materialul plastifiat.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Dr. Ing. Bogdan Georgescu, *Tehnologii Neconvenționale de Sudare prin Presiune*, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
- [2]. Georgescu, V., Iordăchescu, d., Mircea, O. *Tehnica sudării prin presiune*. Lucrări practice. Universitatea din Galați, 1992
- [3]. Georgescu, V., Mircea, O. *Studiul variației curentului la sudarea cap la cap prin rezistență*. Lucrările sesiunii științifice jubiliare a Universității din Galați, oct. 1991, pag 253-254.
- [4]. Boarnă, C., Dehelean, D, Arjoca, I. *Procedee neconventionale de sudare*, Editura Facla, Timișoara, 1980
- [5]. Prof. Dr. Ing Lucian Scorobetiu, *Materiale Speciale Propretăți și Posibilități de Îmbinare*, Brașov
- [6]. Acselrod, F.A., s.a. *Contactnaia svarca*. Vsesoiuznoe uciebno-pedagogicescoe izdatelstvo PROFTEHIZDAT, Moskva, 1962.
- [7]. Althouse, A.D., a.o *Modern Welding*. Goodheart, Willcox Comp. Inc., 1980
- [8]. American welding society . *Welding handbook* , volume 2, *Welding processes*. Miami, 1991
- [9]. Bobrinskii, IU.N, Sergeev, N.P. *Ustroistvo i naladca contactnah svarocinah masin*. Masinostroenie Moscva, 1967.
- [10]. Ghelman , A.S. *Contactnaia electrosvarca*. Masghiz, Moskva, 1949
- [11]. Ghelman, A.S., *Osnovîsvarki davleniem*. Izdatelistvo Masinostroenie, Moskva, 1970.

LISTA FIGURILOR INCLUSE ÎN TEXT

Figura	Denumire figură	Pag.
Fig. 1.1	<i>Principiul sudării prin frecare</i>	10
Fig. 1.2	<i>Forma bavurii</i>	10
Fig. 1.3	<i>Fazele schematizate ale sudării prin frecare</i>	11
Fig. 1.4	<i>Etapele și fazele sudării prin frecare</i>	12
Fig. 1.5	<i>Îmbinări clasice din bare și țevi</i>	14
Fig. 1.6	<i>Prelucrări de egalizare ale secțiunilor</i>	15
Fig. 1.7	<i>Prelucrări pentru reducerea bavurii sau de centrare precisă</i>	15
Fig. 1.8	<i>Îmbinări placă/flanșă cu bară/țeavă</i>	16
Fig. 1.9	<i>Prelucrări pentru centrare precisă</i>	16
Fig. 1.10	<i>Influența vitezei de rotație asupra presiunii de contact și formei zonei încălzite</i>	17
Fig. 1.11	<i>Influența turației asupra temperaturii îmbinării</i>	18
Fig. 1.12	<i>Influența presiunii asupra puterii specifice</i>	19
Fig. 1.13	<i>Variația presiunii de contact</i>	19
Fig. 1.14	<i>Variația presiunii axiale</i>	20
Fig. 1.15	<i>Modificarea câmpului termic cu timpul de frecare</i>	21
Fig. 1.16	<i>Grafice pentru alegerea timpului de frecare</i>	21
Fig. 1.17	<i>Influența presiunii de refulare asupra bavurii</i>	23
Fig. 1.18	<i>Forma bavurii pentru scurtări diferite</i>	24
Fig. 2.1	<i>Principiul și ciclul sudării prin frecare continuă</i>	25
Fig. 2.2	<i>Variantele sudării directe</i>	26
Fig. 2.3	<i>Principiul și ciclul sudării prin frecare cu volant</i>	26
Fig. 2.4	<i>Sudarea cu încălzire</i>	27
Fig. 2.5	<i>Sudarea cu încălzire suplimentară CIF, suplimentară cu flacără</i>	27
Fig. 2.6	<i>Varante de sudare cu material de ados</i>	28

Fig. 2.7	<i>Sudarea prin frecare orbitală</i>	28
Fig. 2.8	<i>Principiul sudării prin frecare oscilatorie</i>	29
Fig. 2.9	<i>Principiul sudării cu SVW</i>	30
Fig. 2.10	<i>Principiul sudării prin frecare, în linie, cu element activ rotitor</i>	30
Fig. 2.11	<i>Moduri de poziționare a componentelor în vederea sudării</i>	31
Fig. 2.12	<i>Principiul sudării prin frecare în T</i>	32
Fig. 2.13	<i>Aplicații ale sudării prin frecare în T</i>	33
Fig. 2.14	<i>Sudarea prin frecare indirectă</i>	33
Fig. 4.1	<i>Schema unei mașini de sudat prin frecare</i>	44
Fig. 4.2	<i>Mașini de sudat prin frecare tip MSF și cu volant</i>	45
Fig. 4.3	<i>Stand pentru sudare</i>	45
Fig. 4.4	<i>Bavură formată la sudarea materialelor diferite</i>	47
Fig. 4.5	<i>Aplicații ale sudării prin frecare</i>	48
Fig. 4.6	<i>Schițele unor piese sudate prin frecare</i>	48
Fig. 5.1	<i>Strujire exterioară cu cuțit drept</i>	52
Fig. 5.2	<i>Prelucrare de egalizare a găurilor</i>	52
Fig. 5.3	<i>Formarea canalelor elicoidale</i>	53
Fig. 5.4	<i>Formarea canalelor elicoidale</i>	53
Fig. 5.5	<i>Particule de metal solid</i>	54
Fig. 5.6	<i>Particule de metal solid</i>	54
Fig. 5.7	<i>Țeavă de oțel S690 Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8</i>	55
Fig. 5.8	<i>Țeavă de oțel S690 Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8</i>	55
Fig. 5.9	<i>Bară de oțel S690 Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6</i>	56
Fig. 5.10	<i>Bară de oțel S690 Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6</i>	56
Fig. 5.11	<i>Bară de oțel S690 Ø8-Țeavă de oțel S690 Ø8</i>	57
Fig. 5.12	<i>Bară de oțel S690 Ø8-Țeavă de oțel S690 Ø8</i>	57
Fig. 5.13	<i>Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8</i>	58
Fig. 5.14	<i>Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8</i>	58
Fig. 5.15	<i>Bară de inox 316L Ø8 - Bară de inox 316L Ø8</i>	59

Fig. 5.16	<i>Bară de inox 316L Ø8 - Bară de inox 316L Ø8</i>	59
Fig. 5.17	<i>Bară de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8</i>	60
Fig. 5.18	<i>Bară de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8</i>	60
Fig. 5.19	<i>Bară de inox 316L Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6</i>	61
Fig. 5.20	<i>Bară de inox 316L Ø6 - Bară de oțel S690 Ø6</i>	61
Fig. 5.21	<i>Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8</i>	62
Fig. 5.22	<i>Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de oțel S690 Ø8</i>	62
Fig. 6.1	<i>Schema de principiu a măsurării durtății Vickers</i>	63
Fig. 6.2	<i>Aparat pentru măsurarea durtății Vickers</i>	66
Fig. 6.3	<i>Schema dispozitivului de fluorescență cu raze X</i>	67
Fig. 6.4	<i>Bară de oțel S690 Ø8-Țeavă de oțel S690 Ø8, proba 1</i>	68
Fig. 6.5	<i>Amprente proba 1</i>	69
Fig. 6.6	<i>Compoziția chimică zona 1, proba 1</i>	70
Fig. 6.7	<i>Compoziția chimică zona 2, proba 1</i>	70
Fig. 6.8	<i>Țeavă de inox 316L Ø8 - Țeavă de inox 316L Ø8, proba 2</i>	71
Fig. 6.9	<i>Amprente proba 2</i>	71
Fig. 6.10	<i>Compoziția chimică zona 1, proba 2</i>	72
Fig. 6.11	<i>Compoziția chimică zona 2, proba 2</i>	73

LISTA TABELELOR INCLUSE ÎN TEXT

Tabel	Denumire tabel	Pag.
Tabelul 3.1	<i>Compoziția chimică ale oțelurilor carbon SR EN 10083:2007</i>	35
Tabelul 3.2	<i>Proprietăți mecanice ale oțelurilor carbon SR EN 10083:2007</i>	36
Tabelul 3.3	<i>Proprietăți mecanice ale oțelurilor aliate</i>	38
Tabelul 3.4	<i>Compoziție chimică ale oțelurilor aliate SR EN 10083-1:1994</i>	39
Tabelul 3.5	<i>Compoziție chimică ale oțelurilor inoxidabile SR EN 10283:1998</i>	41

Tabelul 3.6	<i>Proprietăți mecanice ale oțelurilor inoxidabile</i>	43
Tabelul 5.1	<i>Compoziția chimică a oțelului S690</i>	49
Tabelul 5.2	<i>Proprietăți mecanice ale oțelului S690</i>	50
Tabelul 5.3	<i>Compoziția chimică a inoxului 316L</i>	50
Tabelul 5.4	<i>Proprietăți mecanice ale inoxului 316L</i>	51
Tabelul 6.1	<i>Tipuri de încercări Vickers</i>	64
Tabelul 6.2	<i>Durități Vickers</i>	65

LISTA PLANȘELOR ANEXE LA LUCRARE

Anexă	Denumire anexă
Anexa 1	<i>Desen de ansamblu „Stand pentru sudare”</i>

