

*Ministerul Educației și Învățămîntului
Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara.
Facultatea de Mecanică.*

Ing. Alexandru Ivancenco.

Studii și cercetări
asupra încărcării pieselor cu
vibrație și aplicații industriale
ale procedeului.

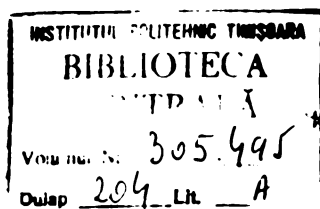
Teza de doctorat.

Vol. I.

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific
Prof. Dr. Docent ing. Vladimir Popovici.

1974.



C U P R I N S
=====

	<u>Pagină</u>
<u>I N T R O D U C E R E</u> =====	9
<u>Cap. 1. Sinteza literaturii tehnice asupra procedurii de încărcare și sudare cu vibroarcă</u>	18
1.1. Din istoricul procedurii vibroarcă	18
1.2. Primele cercetări științifice asupra procedurii vibroarcă	19
1.3. Căldura degajată și mersul în gol	20
1.4. Stadiul pe plan mondial și unele concluzii asupra procedurii vibroarcă. Diferite variante apărute. Zona de influență termică etc.	21
1.5. Teorii și concluzii contradictorii	33
<u>Cap. 2. Nivelul actual al cunoștințelor teoretice de bază specifice procedurii vibroarcă</u>	35
2.1. Prezentare	35
2.2. Esența fizică și particularitățile procedurii vibroarcă	35
2.2.1. Rolul vibrației la încărcarea automată	38
2.3. Studiu asupra topirii sârmei-electrod și autotreglării arcului la sudare la scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului	39
2.4. Caracteristicile de topire ale sârmei-electrod la sudare (încărcare) cu vibroarcă	43
2.5. Arderea elementelor componente din metalul de bază și a celui de adaos la încărcare cu vibroarcă	51
2.6. Distribuția temperaturii pe piese încălzite cu procedurii vibroarcă	56

2.7. Zona de influență termică	59
2.8. Rolul caracteristicii externe a sursei de alimentare cu curent la încărcare cu vibroarc	60
2.9. Rolul inductanței, a amplitudinii și formei vibrației sîrmei-electrod	62
2.10 Reducerea stropirii metalului și stabilitatea procesului de încărcare cu vibroarc	65
<u>Cap. 3. Caracteristicile statice în procesul vibroarc. Interdependența generală între parametrii procesului la încărcare cu vibroarc</u>	<u>67</u>
3.1. Caracteristicile statice ale sistemului de autoreglare a arcului	67
3.2. Determinarea caracteristicilor statice ale sistemelor cu autoreglare a procesului de sudare cu vibroarc	70
3.3. Caracteristicile statice și rapiditatea acțiunii sistemului de autoreglare la sudare cu arc instabil	72
3.4. Menținerea staționară a procesului la sudare cu autoreglare a regimului	74
<u>Cap. 4. Parametrii de bază și interdependența generală între parametrii procesului la încărcare cu vibroarc</u>	<u>77</u>
4.1. Interdependența generală între parametrii procesului la încărcare cu vibroarc.	77
4.2. Sistemul de ecuații ce reprezintă interdependența între parametrii de bază al procesului vibroarc	80

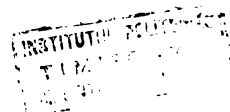
<u>Cap. 5.</u>	<u>Cercetări și studii asupra stabilității procesului de sudare cu vibroarc</u>	84
5.1.	Stabilitatea de ardere a arcului de sudare, concepții noi	84
5.2.	Studiul stabilității procesului de sudare-încărcare cu vibroarc	85
5.2.1.	Generalități	85
5.2.2.	Continuitatea procesului vibroarc	86
5.3.	Condiția stabilității procesului de încărcare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului	89
5.4.	Exprimarea cantitativă a stabilității și stării staționare în procesul de încărcare cu vibroarc	92
5.5.	Analiza în ansamblu a stabilității regimului de încărcare cu procedeul vibroarc	96
5.5.1.	Generalități	96
5.5.2.	Studiul condițiilor de stabilitate a procesului vibroarc în baza ecuației diferențiale de mișcare a sistemului	98
5.5.3.	Determinarea curbei de variație a vitezei maxime de avans a sârmei-electrod funcție de inductanța circuitului de sudare	107
5.5.4.	Concluzii	110
<u>Cap. 6.</u>	<u>Fundamentarea alegerii și realizarea instalației experimentale pentru încărcarea cu vibroarc</u>	112
6.1.	Schemele electrice ale instalațiilor folosite pentru încărcare cu procedeul vibroarc	112
6.1.1.	Generalități	112
6.1.2.	Schema electrică cu sursa de curent combinat(alternativ+continuu).	113

6.1.3.	Schema electrică cu sursa de curent alternativ	113
6.1.4.	Schema electrică cu sursa de curent continuu	114
6.1.5.	Schema electrică cu sursa de curent redresat	114
6.1.6.	Fundamentarea teoretică a alegerii sursei de curent.	115
6.1.7.	Considerații practice asupra alegerii sursei de alimentare cu curent	115
6.2.	Cîteva condiții ce trebuie să îndeplinească capul automat de încărcare cu vibroarc	116
6.2.1.	Capul automat al instalației experimentale	122
6.2.2.	Studiul și cercetările asupra uzurii diuzelor de ghidare legat de stabilitatea procesului la încărcare cu vibroarc	123
6.3.	Componența instalației cuprinzînd și capul automat pentru încărcare cu vibroarc	125
6.3.1.	Ansamblurile instalației experimentale fig. 6.10.	126
6.4.	Caracteristicile tehnice principale ale instalației vibroarc	125
6.4.1.	Caracteristicile capului automat pentru încărcare tip experimental.	127
6.5.	Descrierea funcționării părții electrice a automatului experimental	127
6.5.1.	Dulapul de comandă (poz.4, fig.6.10)	129
6.5.2.	Tabloul de comandă (fig.6.19)	129
6.5.3.	Sursa de alimentare cu curent.	130

6.5.4. Date tehnice	130
6.5.5. Tablou de distribuție (fig.6.10, poz.6)	130
6.6. Profilul și posibilitățile tehnice ale automatului experimental.	131
<u>Cap. 7. Cercetări cu privire la forma generală a condițiilor de stabilitate ale sistemului sursa de curent-arcul electric, cu aplicabilitate la procedeul de suflare vibroare . .</u>	132
<u>Cap. 8. Cercetarea influenței vitezelor de avans a sârmei-electrod și de mișcare a piesei (de încărcare), asupra parametrilor de încărcare și calității stratului încărcat. . .</u>	151
8.1. Stabilirea relațiilor de lucru pentru v_p , h , v_e , și n , aducerea lor la nivelul cunoștințelor actuale și practic accesibile	151
8.2. Dependența grosimii stratului încărcat funcție de raportul vitezelor $\frac{v_p}{v_e}$ rezultate experimentale.	154
8.3. Prelucrarea datelor experimentale prin metoda abaterilor medii pătratice, stabilirea ecuațiilor dreptelor de regresie pentru $d_e = 1,2; 1,6$ și 2 mm, precum și a formei generale empirice a ecuației. Construirea graficelor $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ în sistemul dublu logaritm	155
8.3.1. Concluzii asupra cercetărilor efectuate $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$	160
8.4. Calitatea straturilor încărcate.	170

<u>CAP. 9. Cercetări cu aplicarea statisticii matematice și a mijloacelor automate de calcul pentru determinarea raportelor $\frac{U_s}{U_o}$ și $\frac{U_s}{U_a}$ și interdependența cu alți parametri</u>	
9.1. Cercetări pentru determinarea valorii raportului $\frac{U_s}{U_o}$ ce asigură stabilitatea procesului vibroarc	174
9.2. Cercetări cu privire la determinarea valorii raportului $\frac{U_s}{U_a}$ ce asigură stabilitatea procesului ^a vibroarc	177
9.3. Cu privire la frecvența de vibrație a sîrmei-electrod	182
9.4. Cercetări prin metoda statisticii matematice și a mijloacelor automate de calcul a interdependenței între raportul $\frac{U_s}{U_a}$ și alți parametri ai procesului vibroarc ^a	182
9.5. Nomograma pentru determinarea unor parametri în vederea stabilirii regimului de încărcare cu vibroarc	193
<u>Cap. 10. Probe preliminare încărcate cu vibroarc</u>	195
10.1. Aplicarea procedurii de încărcare cu vibroarc pe piesele industriale.	199
<u>Cap. 11. Rezistența la oboseală ca mijloc de apreciere a influenței cumulate a parametrilor procesului vibroarc</u>	201
11.1. Rezistența la oboseală a pieselor după încărcare cu procedeul vibroarc (unele constatări)	201
11.2 Cu privire la aderența între materialul încărcat și cel de bază.	209

11.3.	Cercetări proprii - condiții	204
11.4.	Rezultatele încercărilor și con- cluziile asupra durității stratu- lui încărcat și rezistenței la obosea- lă	205
11.4.1.	Duritatea straturilor încăr- cate	206
11.4.2.	Încercările la oboseală.	208
<u>Cap. 12.</u>	<u>Practica folosirii instalației experi- mentale vibroarc, date orientative pen- tru predeterminarea regimului de lucru, pregătirea procesului de încărcare</u>	<u>213</u>
12.1.	Pregătirea suprafeței piesei înain- te de încărcare	215
12.2.	Sârma-electrod pentru încărcare cu procedeul vibroarc	216
12.3.	Procedeul de determinare a condiții- lor de încărcare conform nomogramei . (fig. 12.1)	218
12.4.	Instalația industrială pentru proce- deul vibroarc	217
<u>Cap. 13.</u>	<u>Cu privire la economicitatea aplicării procedeului vibroarc</u>	<u>219</u>
<u>Cap. 14.</u>	<u>Concluzii finale, contribuții originale și probleme de viitor</u>	<u>220</u>
14.1.	Concluzii finale	220
14.2.	Contribuții originale.	221
14.3.	Probleme de viitor	224
	Anexe, figuri și fotografii	233
	Bibliografie	1 - 27



I N T R O D U C E R E

=====

Fără îndoială deceniul al VII-lea va apare ca o etapă deosebit de însemnată în ce privește dezvoltarea tehnologiilor speciale avansate ale sudării. Aceasta, datorită apariției și perfecționării în această perioadă, a unor procedee de sudare cu totul speciale și de o deosebită importanță, contribuind la rezolvarea problemelor complexe ale industriei, la progresul tehnic general. S-ar putea afirma, că ultimii zece ani se caracterizează printr-o creștere vertiginoasă a produselor sudate.-

Printre procedeele noi de sudare, prezintă deosebit interes acele ce folosesc pentru reglarea procesului de sudare tensiunea impulsurilor. În aceste cazuri, variația continuă a unor parametri ai procesului, se transformă într-o variație discontinuă însă periodică.

Utilizarea unor astfel de procedee și metode de sudare, respectiv de încărcare a pieselor, asigură arderea mai stabilă a arcului iar procesul mai ușor de dirijat. Astfel de procedee, sînt în plină dezvoltare și au perspective largi în următorii ani /104/.

Unul dintre procedee, ce folosește, respectiv lucrează cu impulsuri, este sudarea și încărcarea pieselor cu arc electric cu electrod vibrator sau arc vibrator.-

Procedeul cu arc vibrator rezolvă și va rezolva cu succes domeniile și gama tot mai mare a problemelor puse de industrie, conform specificului și particularităților ce-l caracterizează și îl așează pe o treaptă bine determinată din scara procedeelelor moderne.-

În anul 1974, se împlinesc aproape 20 de ani, de la data primei apariții respectiv brevetării procedeului de încărcare pieselor cu arc vibrator, însă procedeul este foarte puțin cunoscut și se consideră a fi un procedeu nou.-

Încărcarea cu arc vibrator reprezintă o variantă a încărcării clasice cu arc electric și electrod vibrator, întrucât

În acest caz procesul de încărcare este însoțit de o serie de procese fizico-chimice și termice caracteristice procedurilor de încărcare cu arc electric. Însă, prin vibrarea electrodului (sau a electrodului) și folosirea lichidului de răcire (lichidul de lucru), determină deosebiri esențiale atât calitative cât și cantitative în ansamblul acestui procedeu de încărcare față de procedeele clasice.-

Aceste caracteristici și proprietăți deosebite ale procedurii, fac ca încărcarea cu arc vibrator să fie un procedeu de sine stătător și original de încărcare a diferitelor metale pe piese.-

Procedul de încărcare automată cu arc vibrator, fie sub un jet de lichid, fie sub strat de flux sau un gaz protector sau o altă formă de protecție (vapori de apă sau electrod cu auto-protecție) de la apariție și pînă acum a primit diferite denumiri: procedeu cu electrod vibrator, cu arc vibrator, chiar și vibro-contact.-

Bazîndu-ne pe terminologia folosită în documentele Institutului Internațional de Sudură (IIS/IIW) /211/, precum și prin traducerea termenului din limba rusă, țara de origine a procedurii, (vibrodugovaea naplavca = încărcare prin vibroare), se consideră cel mai indicat, ca procedul să fie numit „procedeu vibroarc”, denumire ce va fi folosită de acum în toată lucrarea.-

Procedeele clasice, ca și cele noi apărute de încărcare prin sudare, sînt caracterizate prin unele particularități. Aceste particularități limitează domeniile de aplicare a acestora, determinînd specializarea lor. Astfel, deformările ce apar la încălzirea pieselor, mai ales a celor cu diametre mici sau forme mai complicate, limitează și determină procedul de aplicat pentru încărcare. Tot astfel, dimensiunile zonei de influență termică, respectiv ale transformărilor structurale, limitează eficacitatea recondiționării pieselor prin procedeele clasice, care de multe ori, necesită un tratament termic ulterior destul de complicat. În acest context, orientarea în domeniul de sudare și încărcare se face către procedeele speciale și specializate.-

La încărcarea obișnuită cu arc electric, grosimea minimă a straturilor încărcate ajunge de obicei la 2-3 mm. În multe cazuri însă, este necesară și suficientă grosimea de numai 0,2 - 1,5 mm, urmînd deci, ca mare parte din metalul încărcat să

fie îndepărtate prin prelucrări mecanice.-

În anii 1951-1952 inginerul G.P.Klekovkin (URSS) a descoperit un procedeu nou de încărcare a pieselor, eliberat (scutit) în mare măsură de neajunsurile amintite mai sus, și a fost numit de autor „încărcare prin vibrocontact”. Procedeu constă în aceea, că piesa se rotește între vîrfurile unui strung și se încălzește cu ajutorul unui cap automat special prevăzut cu un tambur cu sîrma-electrod, care asigură avansul, vibrarea și rotirea sîrmei-electrod în jurul axei sale, cu un diametru de 1,2 - 2 mm, iar capul automat, prin deplasarea sa, asigură avansul (pasul de încărcare) deasupra piesei. Piesa și sîrma-electrod se conectau la un generator de joasă tensiune (tensiunea de mers în gol 12 V) și la tensiunea din secundarul unui transformator de 5-12 V.

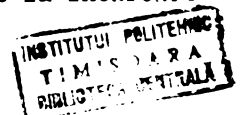
În zona de încărcare și în apropierea ei, pe piesa s-a trimis, printr-un ajutor special, lichidul de lucru, reprezentînd o soluție din apă cu sodă calcinată și săpun.-

Potrivit concepției ing. Klekovkin, procedeu de încărcare propus, avea un caracter de încărcare prin contact, la care topirea sîrmei-electrod se producea în principal pe seama căldurii Joule-Lenz ce se degaja la locul contactului între sîrma-electrod și piesă, precum și în apropierea acestui contact.-

Ulterior, deoarece procedeu a prezentat un interes deosebit, aceasta a început să fie studiat sub diferitele sale aspecte, punîndu-i-se treptat și bazele științifice. Procedeu a fost completat cu studii și cercetări formînd contribuții originale, printre care și lucrarea de față.-

În ultimul timp, procedeu de încărcare automată cu vibroarc se introduce în mai multe țări, mai ales pentru condiționarea pieselor uzate. Procedeu folosește ca mediu protector fie: jet de lichid, strat de flux, bioxid de carbon, argon, atmosfera vaporilor de apă, sau cu sîrma cu autoprotecție sau altfel de protecții.-

Cercetările au stabilit, că la încălzirea și sudarea cu vibroarc, trecerea metalului sîrmei-electrod în baia de sudare se efectuează în cantități (porții) mici, în principal în perioada scurtcircuitării spațiului arcului. Acest fapt, îmbunătățește formarea straturilor și cusăturilor subțiri, mai ales la încălzire și sudare în poziții dificile (verticale, etc.)



Printr-o alegere corespunzătoare a frecvenței și amplitudinii de vibrație a sîmci-electrod, a tensiunii de alimentare, a sursei de alimentare cu curent, a rezistenței, respectiv a inductanței circuitului, precum și a altor parametri ai încălzirii, respectiv sudării, este posibil să fie schimbat în mare măsură caracterul procesului, precum și dimensiunile picăturilor de metal, durata cît ele se află sub influența arcului electric, gradul de saturare al metalului cu gaze și oxidarea unor elemente componente ale aliajelor, adîncimea de topire (pătrundere) și dimensiunile zonei de influență termică.-

Lichidul de lucru folosit, protejează metalul topit contra influenței azotului și parțial contra oxigenului din aer, contribuind la formarea unor straturi compacte de metal ce se încărcă; astfel, se intensifică deionizarea gazelor formate în timpul descărcărilor arcului și contribuie la stingerea lui.-

În aceste condiții, apare rolul vibrării sîmci-electrod ca un factor stabilizator deosebit de eficient. Pe lângă faptul că vibrarea stabilizează trecerea metalului topit al sîmci-electrod, asigură periodic dese excitații ale arcului în momentele de întrerupere a circuitului de sudare, stabilizînd prin aceasta procesul în întregul său.-

Datorită acestor particularități, încărcarea cu procedeu de vibroarc sub jet de lichid, este un procedeu eficace și economic.- Tendința insistentă de mecanizare și automatizare, a proceselor respectiv a procedeelor de sudare, precum și a producției sudate în general, această tendință a devenit una dintre importantele direcții de dezvoltare a sudurii.-

Procedeul vibroarc răspunde acestei tendințe generale, deoarece este un procedeu în esență mecanizat cu procesul de încărcare automatizat, cu arc electric pulsator cu o strictă periodicitate.-

În ce privește tehnica încărcării pieselor în general, se subliniază că mecanizarea a ajuns la un nivel înalt.-

Trebuie scos în evidență însă, că încărcarea pieselor se folosește cu preponderență în lucrări de reconditionare (reparații) a pieselor, cu toate că există posibilitățile de a o folosi la fabricația pieselor noi, cu suprafețe (straturi) cu proprietăți speciale prescrise prin proiecte: rezistențe la uzură, rezistențe

la coroziune, termorezistente etc.-

Rezultatele obținute în cadrul tezei, permit ca procedeul vibroarc, să fie folosit la fabricația pieselor noi, care astăzi obțin suprafețe cu anumite proprietăți prin ajutorul unor procedee tehnologice mai dificile, cum este spre exemplu stili-tarea.-

Încărcarea pieselor cu procedeul vibroarc, poate fi fă-cută fie pe oțeluri înalt aliate caracterizate printr-o rezisten-ță înaltă la uzură, fie pe cele rezistente la coroziune, termore-zistente, sau cu alte proprietăți. Procedeul se aplică cu succes și la executarea pieselor bimetalice.-

Deseori, este necesar să se încarce grosimi mici de me-tal (zecimi de milimetru) sau pe piese de diametru mic 8-10 mm. (sub 40-50 mm), în aceste cazuri se recomandă încărcarea pieselor cu procedeul vibroarc /98/.-

Procedeul asigură obținerea unor straturi subțiri, uni-forme, cu o duritate ridicată (dorită).-

Un avantaj important al procedeeului este acela, că zona de influență termică este redusă și sînt eliminate complet, sau aproape complet, deformările pieselor ce se încarcă. Suprafețele ce urmează a fi încărcate nu necesită pregătiri speciale.-

Procedeul de încărcare și sudare cu vibroarc a apărut, după cum s-a amintit, pentru prima dată în URSS, unde este prac-ticat în mai multe ramuri industriale, apoi în R.S.Cehoslovacia și Japonia și în mai mică măsură se aplică sau în curs de asini-lare în R.P.Polonă, R.P.China, R.P.Ungară, R.D.Germană, Statele Unite ale Americii, R.F.Germania.-

Se subliniază faptul, că literatura de specialitate și mai ales cea din țările occidentale, nu oglindește sau oglindeș-te extrem de puțin rezultatele teoretice și experimentale obți-nute prin aplicarea acestui procedeu.-

O serie de lucrări apărute, prezintă rezultate contra-dictorii. În prezent, nu există încă o teorie încheiată asupra procesului vibroarc. În cadrul tezei, în limitele temei abordate, autorul încearcă să facă o sistematizare, legătura și corelarea rezultatelor obținute de unii autori cu cercetările proprii.-

Existența teoriilor contradictorii, a ridicat sericase

dificultăți în ce privește utilizarea practică a rezultatelor obținute de alți autori. Numărul factorilor respectiv a parametrilor variabili ce determină procesul vibroarc, este foarte mare, ceea ce a determinat ca autorul tezei, să caute mijloace de a le reduce, fie comasându-le, fie prezentându-le în grafice foarte accesibile utilizării practice, iar prin ajutorul numărului important de probe să elimine unele contradicții existente în literatură.-

Astfel, sistemul de fixare respectiv de predeterminare a parametrilor regimului de lucru cu vibroarc s-a simplificat, devenind mai accesibil.-

Pe drept cuvânt se poate afirma, că lucrarea științifică însoțită de partea experimentală efectuată, este rezultanta necesităților practice și nu numai pentru un domeniu restrâns al Întreprinderii de Mașini Grele București, ci pentru mai multe domenii de activitate industrială, în vederea aplicării procedurii vibroarc în general în construcții de mașini.-

Pentru a da oarecare dimensiune volumului de utilizare a procedurii vibroarc, mai jos sînt reproduse cîteva cifre, dintr-un articol apărut recent /69/, (pentru țara noastră se pot face numai prognoze).-

În întreprinderile de reparații de mașini agricole în URSS, anual se recondiționează 75-80% din piesele întregului parc de tractoare. Aceste întreprinderi, în majoritatea lor au secționare specializate pentru recondiționarea pieselor prin încărcarea cu procedeele vibroarc sub jet de lichid, în CO_2 sau în vapori de apă.

Volumul total al lucrărilor de recondiționare, se repartizează pe procedee astfel: procedee mecanizate de încărcare sub strat de flux 47%; încărcare cu procedeele vibroarc sub jet de lichid 10%; idem sub vapori de apă 5%, idem sub CO_2 1%; încărcarea manuală clasică 37%. Procentele indicate sînt semnificative și pot servi, într-o oarecare măsură, pentru orientare, în ce privește aplicabilitatea și dezvoltarea procedurii vibroarc la noi în țară.-

Primele începuturi de studii, cercetări și experimentări cu procedeele vibroarc, la noi în țară, au fost executate de autorul tezei, în anii 1963-1964 la Întreprinderea „23 August” din București. Apoi sînt cercetări teoretice publicate în 1965 /43, 44.

Tot în anul 1965, au fost prezentate rezultatele unor cercetări /189/ în cadrul comunicărilor celei de a - V - Conferințe de Sudură și încercări de metale, de către un colectiv de la Institutul de Cercetări pentru mecanizarea agriculturii din București.-

În prezent, urmarea studiilor și cercetărilor efectuate de autor, procedeul este pe cale de aplicare industrială la Întreprinderea de Mașini Grele din București și în curs de analizare a rezultatelor obținute, în vederea introducerii procedeu-ului la Întreprinderea Mecanică de Material Rulant din Craiova, pentru recondiționarea pieselor pentru locomotive diesel-electrice și electrice.-

Între timp, autorul tezei a publicat, fie a deșus sub formă de studii și cercetări la Catedra de Utilajul și tehnologia sudării lucrările /46,47,48,49,50 și 51/.-

Autorul a folosit în mare parte, pentru stabilirea unor relații și a dependenței între parametrii procesului vibra-re, drept mijloc de lucru metodele statisticii matematice.-

Legăturile corelaționale între o serie de parametri menționați în text, au fost stabilite pe baza relațiilor statisticii matematice prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate. Având în vedere numărul mare al corelațiilor și al datelor măsurătorilor experimentale, calculul pentru determinarea analitică a acestor legături a fost efectuat automat, cu ajutorul calculatorului electronic.-

În acest scop, a fost conceput și realizat un algoritm și un program de calcul, scris în limbaj FORTRAN IV, aplicabil pentru calculatorul I.B.M. 360 (de la Academia de Științe Economice București), precum și pentru calculatorul FELIX C 256 (de la Institutul Politehnic București).-

Calcululele mai complexe ce au la bază relații mai complicate, au fost efectuate cu un mini-calculator electronic marca HEWLETT-PACKARD tip HP-35, ceea ce a ușurat mult calcululele.-

Au fost studiate articole și lucrări publicate în periodice, în publicațiile institutelor de cercetări și de învățămînt superior, culegeri de referate ale simpozioanelor și congreselor naționale și internaționale, a conferințelor pe teme de specialitate ș.a.m.d.-

Bibliografia anexată prezintă 215 titluri de lucrări de referință.

De subliniat, că majoritatea articolelor prezintă rezultatele aplicării practice ale procedurii vibroarc, fără conținut teoretic.-

În ce privește partea teoretică, științifică și practică, ea este tratată într-un număr foarte restrâns de articole publicate, iar o monografie care să sistematizeze întregul material teoretic și experimental apărut și să stabilească o legătură între ele, nu există la această dată. Monografia apărută în 1958 „Vibrodogovaea naplavca”, de I.R.Patchevici, este singura lucrare de sinteză care oglindește nivelul cunoștințelor, la acea dată, asupra procedurii vibroarc, adică la începutul apariției procedurii.-

Partea experimentală a cercetărilor, este executată pe o instalație la origine de construcție cehoslovacă tip KV-301 cu un redresor de curent tip KV-200, reconstruită și adaptată noilor condiții și cerințe dictate de rezultatele ultimelor cercetări publicate în literatură de specialitate, sau constatate ca necesare în urma propriilor cercetări.-

Teza de doctorat, prin tematica sa, urmărește rezolvarea unor probleme teoretice, legate direct de rezolvarea unor probleme practice cu aplicabilitate imediată.-

Drept urmare, firul roșu conducător al autorului, a fost ca rezultatele cercetărilor științifice-teoretice, atât cele existente însă necorelate sau cu concluzii contradictorii, cât și cele obținute de autor după o rezolvare corespunzătoare, să îmbogățească baza științifică a procedurii vibroarc și să le apropie cât mai mult formei accesibile, devenind un mijloc în vederea aplicării lor directe în practică.-

Tema tezei de doctorat este urmare și în strânsă legătură, cu tema din planul tehnic al Întreprinderii de Mașini Grele din București, Capitolul A, poz. 20, cu titlul „Sudarea cu vibroarc a pieselor în loc de stelitare”, faza actuală „Studii și experimentări în vederea aplicațiilor industriale”.-

Având în vedere că produsul principal al întreprinderii căreia i se va aplica procedeul vibroarc este turbina cu abur de 330 MW, ce se fabrică în baza licenței de la firma Katerau din

Franța, modificări de tehnologie se vor putea face numai dacă primele turbine vor fi omologate. În consecință, experimentările pe piese concrete pentru turbine cu abur ca: tijă ventil, suprași și altele se vor face în etapa următoare.-

Autorul a procedat însă la recondiționarea unor piese de locomotive diesel-electrice, ce lucrează în condiții grele, care sînt în curs de experimentare la Întreprinderea Mecanică de Material Rulant din Craiova.-

Au fost executate peste 145 de epruvete, în diverse condiții de încărcare, putînd în baza acestui material experimental obținut, să tragă concluzii corespunzătoare.-

Prin tematica sa, și prin rezultatele obținute, teza se înscrie în indicațiile prevăzute în Raportul la Conferința Națională a Partidului Comunist Român din 19 - 21 iulie 1972, prezentat de Tovarășul Nicolăe Ceaușescu, Secretar General al Partidului Comunist Român, în care spune: „Este necesar ca cercetarea științifică să sprijine în mai mare măsură eforturile de reducere a consumurilor materiale, elaborarea de noi tehnologii de fabricație, introducerea în circuitul economic a înlocuitorilor materialelor scumpe și deficitare”, precum și în Documentele apărute în preajma Congresului al XI-lea al P.C.R.-

Rezultatele obținute acoperă aceste indicații.

Prin cercetările, studiile și experimentările efectuate au fost obținute o serie de rezultate, contribuții originale redate sintetic în Capitolul 14. În acel capitol sînt enunțate și cîteva probleme considerate încă deschise, putînd să formeze subiecte importante de cercetare în viitor.-

Studiile, cercetările și experimentările efectuate, prin rezultatele obținute, întregesc partea științifică teoretică a problemei, punînd la îndemîna industriei, totuși de soluționare a unor probleme tehnice, și de aplicare a unui procedeu nou de încărcare respectiv de recondiționare a pieselor, tehnice de superior prin particularitățile sale pentru o gamă largă de piese și domenii.-

Teza cuprinde în total 14 capitole și o serie de anexes, iar bibliografia de referință 215 titluri.-

Lucrările experimentale au fost executate în cadrul

Întreprinderii de Mașini Grele din București, în laboratorul Secției de Mecano-Sudură și respectiv în laboratorul de fizică și metalografie a întreprinderii.-

În încheiere, doresc să exprim cele mai sincere mulțumiri conducătorului științific al tezei Profesor-lector Vasile Ing.Vladimir Popovici, care a știut într-o manieră deosebită să-mi acorde sprijinul și îndrumările în rezolvarea unor probleme dificile.-

Mulțumesc colaboratorilor de la Întreprinderea de Mașini Grele - București, care m-au ajutat la executarea probelor și încercărilor de laborator, în primul rând celor de la Secția Mecano-Sudură și de la Laboratorul Fizic și de Metalografie.-

Figurile și fotografiile mele:

Vol. I.

CAP. I - SINTEZA LITERATURII ȘTIINȚIFICE ACUPRA PROCEDURII
DE ÎNCĂRCARE ȘI SUDARE CU VIBROARE

1.1. Din istoricul procedurii vibroare, idei și constatări.

Prima lucrare publicată asupra procedurii de încărcare cu vibroare a apărut în anul 1954, sub forma unei foi volante, cu titlul „Avtomaticescăca holodnăca vibrocontactnăca năplăvătă tallov”, autorul Ing.G.P. Klekovkin, cel ce a elaborat pentru prima dată acest procedeu, în varianta sa inițială. În același an și apoi în 1956 au apărut două articole despre încărcare cu vibroare a pieselor, în vederea recondiționării lor /97,98/.-

Analizând cele trei lucrări publicate de descoperitorii procedurii, respectiv în colaborare cu alții, constatăm că în primul rând elaboratorul procedurii, în timp scurt, a adus modificări importante în sensul perfecționării procedurii sale.-

De fapt, ing. G.P.Klekovkin a elaborat procedeu de încărcare cu vibroare în anii 1951-1952, însă a publicat rezultatele pentru prima dată în anul 1954 /97,98/.-

Procedeu, în varianta sa inițială, a constatat în aceeași timp că piesa ce se rotește, fiind prinsă între chernere ale unui strung și se încarcă cu ajutorul unui cap special construit, care mișcă și se încarcă pe piesă a sârmei-electrod vibrată și rotită în jurul axei sale, cu un diametru de 1,2 - 2 mm. (fig.1.1.). Piesa și sârma-electrod erau puse sub tensiune electrică de la un generator de joasă tensiune. Generatorul avea tensiunea de mers în gol de 12 V și era legat în serie cu ajutorul unui transformator cu tensiunea în secundar de 5 - 12 V, adică schema electrică, respectiv instalația, funcționa cu curent combinat. În zona de încărcare și pe piesă se trimitea lichidul de lucru, care era dizolvat într-o soluție de apă cu sodă calcinată și săpun. Astfel, se realizează automatizarea procesului de încărcare cu vibroare /97/.-

G.P.Klekovkin pornea de la părerea despre încărcarea

cu vibroarc ca pe un proces ce decurge prin contact, la care topirea sîrmei-electrod se produce în principal datorită câldurii Joule-Lenz, care se degaja în locul de contact între sîrma-electrod și piesa și în preajma contactului, ceea ce ulterior se vedește ca nefondat.-

Pentru ușurarea desprinderii picăturilor de metal topit de pe sîrma-electrod, a fost introdusă rotirea sîrmei-electrod în jurul axei sale. Procedul descris (în această variantă), are importante neajunsuri: procesul era insuficient de stabil, grosimea straturilor depuse în multe cazuri, era insuficientă, schema electrică foarte complicată.-

1.2. Primele cercetări științifice asupra procedeului vibroarc

Dezvoltarea în continuare a procedeului de încărcare cu vibroarc, în mare măsură este legată de cercetările științifice executate asupra procedeului elaborat de G.P.Klekovkin.-

Intre timp și mai ales în ultimii circa 10-15 ani, procedeul a fost supus unui șir de perfecționări esențiale.-

Perfecționările s-au referit în primul rînd la construcția capului automat. A fost eliminată rotirea sîrmei-electrod, au fost introduse roțile rotite de motoare electrice pentru avansul sîrmei-electrod, s-a stabilit științific poziția locului de aducere a sîrmei electrod la piesă. În multe cazuri vibratoarele electromagnetice au fost înlocuite cu cele mecanice, s-a studiat științific esența fizică a procedeului, au fost aduse importante modificări în schema electrică și în regimul de încărcare.-

În fig. 1.2, sînt reprezentate oscilogramele tensiunii (I), și a intensității de curent (II), în cazul încărcării cu vibroarc alimentat cu: curent continuu (a), curent alternativ (b) și curent combinat (c). Din oscilogramele prezentate se observă, ca în decursul unei perioade de vibrație a sîrmei-electrod apar: perioadă de scurtcircuit t_k , perioada de descărcare electrică t_d și perioada de mers în gol t_0 , durata ciclului t_c . Asupra acestor oscilograme se va reveni în text.-

Fig. 1.3, reprezintă oscilogramele ridicate pentru tensiunea (I) și intensitatea de curent (II) la o frecvență de vibrație a sîrmei-electrod de 100 Hz (a) și respectiv 50 Hz (b). Aceste

oscilograme se consideră drept tip pentru intensitatea curent și tensiunea între sârma-electrod și piese. În acest caz, căldura ce se degajă în perioada descărcărilor electrice este decca. 95-99,5 % /98/.-

1.3. Căldura degajată și mersul în gol.

În procesul de încărcare cu vibroarc se observă o alternare a descărcărilor electrice și de scurtcircuitări a circuitului de sudare la formarea contactului între sârma-electrod și piesă, adică are loc acțiunea a două surse de căldură. Într-o serie de lucrări /63, 65, și altele/ se exprimă părerea asupra rolului de prim ordin în procesul de încărcare a căldurii Joule-Lenz ce se dezvoltă în locul contactului.- În alte lucrări se remarcă, că rolul principal îl au descărcările electrice /97,98/.-

Cercetări asupra bilanțului termic al procesului de încărcare cu vibroarc executate în anii 1954 - 1955 /97/, au arătat, că existența intervalelor de mers în gol în fiecare perioadă de vibrație a sârmei-electrod, înrăutățește alierea metalelor de adaos cu celde bază. În aceste intervale de timp, căldura nu se degajă, ci numai se transmite prin conductivitate, îndepărtându-se de la locul de încercare și dela capătul sârmei-electrod. Rezultă, că pînă la momentul de trecere a metalului sârmei-electrod pe locul de încercare, piesa poate să nu fie suficient de caldă, pentru a asigura o bună aliere. Se poate deci trage concluzia, că pentru îmbunătățirea alierii este necesar a scădea sau să fie cu totul eliminate intervalele de mers în gol și să fie mărite intervalele sau durata de ardere a arcului (care însă are inconvenientul arderii unor elemente de aliere).-

În ce privește rolul inductanței, aceasta rezultă în special din lucrările/98, 117, 121, 199/, precizîndu-se că rolul inductanței este dublu. În primul rînd, inductanța circuitului trebuie să fie mai mare decît o anumă valoare minimă, care să asigure eliminarea din fiecare ciclu a perioadelor de mers în gol. Pe de altă parte, existența inductanței influențează în sens negativ asupra procesului de autoreglare, frînîndu-l. În general este de dorit ca inductanța circuitului să fie cît posibil mai mică/121/.-

! - // -
:

În paralel, se studiau și se perfecționau unele aparate necesare: cap automat de încălzire, sursele de alimentare cu curent, bobinele de inductanță, etc. iar gama pieselor de încălzire încarcă cu acest procedeu a crescut mult /7, 34, 120, 150, 151/.

1.4. Stadiul pe plan mondial al unele concluzii comparative ale procedurii vibroarc. Diferite variante aplicate. Sursele de alimentare

termică etc.

Admițem anul 1965 ca un an de etapă, întrucât până la sfârșitul acestui an se poate face, după datele din literatura de specialitate, un nomenclator al diferitelor variante aplicate în unele ale procedurii de sudare cu vibroarc, după cum urmează:

- Incărcarea cu vibroarc cu jetul de lichid deviat (61);
- Incărcarea cu vibroarc sub jet de lichid de răcire/97, 98, 189 și altele/;
- Incărcarea cu vibroarc cu electrod bandă /150/;
- Incărcarea cu vibroarc în atmosfera vaporilor de apă/162, 183/;
- Incărcarea cu vibroarc sub strat de flux /177, 178, 188, 175, 180/;
- Incărcarea cu vibroarc în mediu de CO₂ /61, 62, 68, 193/;
- Incărcarea cu vibroarc cu două sîrme-electrod /160/;
- Incărcarea cu vibroarc cu două sîrme-electrod și cu vibrația suplimentară a băii topite prin ajutorul ultrasunetelor, precum și alte variante despre care nu se amintește aici, deoarece ele în esență se abat de la procedeu propriu-zis.-

Pînă aici, se poate trage concluzia că:

- procesul ce se petrece la încărcarea și sudarea cu procedeu vibroarc, este unul din procesele cu impulsuri;

- arderea cu impulsuri a arcului și schimbarea puterii sub forma de impulsuri sînt asigurate prin scurtcircuitele locale sîrmei-electrod pe piesă, urmate de descărcările arcului, ce se realizează prin ajutorul vibrației capătului sîrmei-electrod;

- vibrația sîrmei-electrod permite reglarea proceselor, legate de topirea și trecerea metalului sîrmei-electrod pe piesă. Vibrația sîrmei-electrod îmbunătățește sensibil stabilitatea reglării mului de încălzire respectiv sudare.-

Incărcarea cu procedeu vibroarc, poate fi realizată într-un jet de lichid, sub protecția unor gaze sau fo-

losind sîrma-electrod cu protecția internă. Utilizarea acestor protectoare se corelează cu nevoia de reglare a stării termice în funcție de piesele ce se încăcă și acționînd eventual asupra jetului de lichid folosit pentru răcire.-

S-au făcut cercetări și respectiv experimentări pentru determinarea cantitativă a influenței vibrații sîrmei-electrod asupra intervalului regimurilor de încăcăre /104/. Menținînd constantele restul de parametri ai regimului, se determinau vitezele de avans minime și maxime ce asigurau o formare satisfăcătoare a straturilor la încăcărea cu sîrma-electrod vibrații și nevibrații (fig.14.).

Fig. 1.4., arată variația maximă și minimă a vitezelor de avans a sîrmei-electrod, în funcție de tensiunea de mers în gol a sursei de curent la încăcăre:

- a. - cazul cînd sîrma-electrod este din oțel 08 și încăcărea în jet de apă;
- b. - cazul cînd sîrma-electrod este din oțel H20N 10 și încăcărea în CO₂;
- I. - fără vibrarea capătului sîrmei-electrod;
- II - cu vibrarea capătului sîrmei-electrod.

După cum se vede din fig. 1.4., intervalul vitezelor de avans a sîrmei-electrod ce sînt satisfăcătoare pentru încăcărea cu vibroarc, în toate cazurile, este mai mare în raport cu încăcărea fără vibrarea sîrmei-electrod și crește cu ridicarea tensiunii de mers în gol a sursei de curent precum și cu scderea rezistenței circuitului (cu creșterea rigidității caracteristicii externe a sursei de curent).-

Dintr-un șir de lucrări publicate /93,104,123, 124/ ca urmare a cercetărilor și al aplicațiilor practice, rezultă că încăcărea cu vibroarc sub jet de lichid, are și unele neajunsuri. Cele mai importante din ele sînt: saturarea cu hidrogen a metalelor depus, formarea crăpăturilor în el și ca urmare micșorarea rezistenței la oboseală a pieselor încăcate, care duc în unele cazuri la ruperea lor.-

Deficiențele amintite limitează domeniile aplicării încăcării cu vibroarc în jet de lichid. Acest procedeu se recoman-

dă pentru recondiționarea pieselor ce sînt supuse la uzura și au suficientă rezervă din punct de vedere al rezistenței.-

Pentru a ridica cu mult rezistența la oboselă a pieselor încărcate în cazurile amintite mai sus, se recomandă înțărîrea mecanică sau termică a suprafețelor încărcate /147/.

În ultimii ani, concomitent cu încălzirea folosind jet de lichid, se aplică încălzirea cu vibrație sub flux, în bioxid de carbon, în azot (încălzirea bronzului pe oțel) /11, 101, 33, 177, 178, 185/ în atmosfera de vapori de apă.-

Ca mediu protector, în cazul încălzirii cu vibrație, se folosește cu succes, gaz de bioxid de carbon, care permite lărgirea nomenclaturii mărcilor de oțel pentru fabricarea sîrmei-electrod. Straturile încălzite obținute, sînt caracterizate prin lipsă de crăpături. Metalul depus are proprietăți mecanice mai bune. Viteza de avans a sîrmei-electrod în acest caz este mai mare /68, 189, 193, 207/. Prin acest procedeu se recondiționează în special piesele, ce lucrează în medii corozive. Lucrarea /189/ recomandă acest procedeu pentru recondiționarea arborilor cotiți uzurați /170, 206/.-

Pentru oțeluri aliate de tip sovietic st.40, 40K, 45 și altele, se recomandă preîncălzirea pieselor pînă la 300-350°C /61,62/.-

În unele cazuri, cînd lipsește CO₂ și flux, se poate folosi la încălzirea pieselor, mediu de vapori de apă. Prin acest procedeu se asigură un regim termic favorabil pentru cristalizarea metalului, iar formarea crăpăturilor este mult mai redusă în comparație cu procedeu de încălzire sub jet de lichid /102/.-

În comparație cu încălzirea sub jet de lichid, încălzirea în mediu de vapori, asigură o mai bună stabilitate a procesului, permițînd folosirea sîrmei-electrod mai bogată în carbon. Se obține și o neînsemnată reducere a grosimii stratului de metal încălzit /102/. Acest procedeu nu este încă suficient studiat /149, 68/.-

Ca mediu protector, la încălzire cu vibrație se folosesc argon și gazul argon sau amestecuri de gaze /68, 206/, fiecare din

aceste medii își are avantajele sale.-

O variantă a procedurii vibroare este când se aplică un jet de aer /39, 170/. S-a constatat că fisurația a fost mai redusă.-

Se consideră a fi de mare perspectivă, folosirea unei încărcare cu vibroare a sârmei-electrod cu pulbere (profesie internă). Astfel de sârme-electrod, exclude necesitatea utilizării protector din afară. În acest caz se simplifică capul automatului, precum și tehnica încărcării, se îmbunătățește calitatea metalei depus /68, 104/.-

Alte încercări și variante ce au apărut între timp, aplicând procedeul sudării cu vibroare, dovedesc largi posibilități de aplicare a acestui principiu nou, pentru care încă de acum se descoperă noi și noi posibilități de aplicare, în măsura în care și partea științifică pătrunde și descoperă aspecte necunoscute până acum, eliminând tot ce n-are bază teoretică și experimentală verificată.-

Astfel, procedeul de încărcare cu vibroare folosind electrod bandă recent încercat, se dovedește /158, 209/ a fi de mare perspectivă.-

Se dovedește posibilitatea încărcării cu vibroare a bronzului pe oțel, mai ales în cazurile unde este necesar a depune straturi subțiri de bronz pe piesele din oțel /101/.-

Prin acest procedeu de încărcare se asigură o dimensiune minimă a metalului încărcat în cel de bază, și practic nu se mai produce arderea Si și a Mn.-

Încărcarea cu vibroare a bronzului pe oțel s-a dovedit a fi mai eficace la executarea pistoanelor și a tijelor de piston bimetalice /11, 114/, adică piesele supuse la frecare.-

Un număr important de lucrări apărute, ca urmare a unor cercetări științifice, a unor aplicații în cazuri concrete de încărcare cu vibroare /12, 28, 29, 35, 36, 37, 52, 54, 60, 68, 90, 125, 153, 157/ dovedesc obținerea unor rezultate bune la recondiționarea pieselor cu acest procedeu.-

S-a constatat, că timpul necesar recondiționării pie-

selor cu procedeul de încărcare cu vibroare, este mult mai mare în comparație cu procedeul de încărcare manuală ca de exemplu, și anume pînă la de 2 - 2,6 ori/99/.-

Cînd diametrul sîrmei-electrod este de 3-4 mm. (fig. 1.5.), deci cînd este vorba de diametrele sîrmei-electrod considerate ca normale (pînă la 2 mm.), productivitatea încărcării crește mult. Astfel, pentru sîrma-electrod de 4 mm. diametru, productivitatea este aproape de 3 ori mai mare decît productivitatea încărcării cu sîrma-electrod de 2 mm. diametru, avînd pierderi de metal mai mici.-

Pentru o încărcare cu vibroare în mediul de CO_2 de bună calitate, cu sîrma-electrod de mare diametru, importanța esențială o are schema de aducerea sîrmei-electrod deasupra piesei. Această schemă, trebuie să asigure un astfel de raport între forțele ce acționează asupra picăturilor de metal în baia topită, încît să nu inunde spațiul arcului și în același timp, nu trebuie să-l expulzeze din baie în sens invers, cum arată fig. 1.5., altfel ar forma pe suprafața încărcată niște solzi. Pierderile au fost de cca. 4-5 %.-

În lucrările /97, 98, 121,161/ se arată acțiunile forțelor ce se nasc, în procesul de vibrare a sîrmei-electrod, asupra masei de metal Q ce se transportă de pe electrod pe piesă. Se stabilește o relație între masa de metal Q ce se transportă de pe sîrma - electrod vibrată într-o secundă și frecvența vibrației, adică:

$$Q = M_1 \cdot \varphi \cdot \frac{b + c\omega^2}{1 + n^2\omega^2}$$

în care M_1 - masa picăturii de metal topit; ω - frecvența circulară a oscilațiilor; n^2 - raportul între amplitudinea oscilației și accelerația gravitației; φ , b și c - coeficienți numerici experimentali

Productivitatea maximă de trecere a metalului de pe sîrma-electrod pe piesă se constată a fi la frecvența de vibrație egală cu 50 Hz.-

Evaluarea matematică a forței de inerție, ce se formează asupra picăturilor de metal, ce se formează la capătul sîrmei-electrod în vibrație, la o amplitudine de 0,14 cm. și frecvența de

vibrație de 100, respectiv 150 Hz, cu valori corespunzătoare și de 120 ori mai mari decât greutatea picăturii de metal.

Amplitudinea și forma vibrației, la fel, în mod similar, influențează asupra stabilității procesului de încălzire vibroarc /124/. Scăderea amplitudinii vibrației, legată de vâzcozitatea inductantei, poate să ducă la un scurtcircuit de durată, sau la o oprire a atingerii de către sîrma-electrod a piesei și astfel la o stingere a arcului.-

În concluzie, se poate spune, că fiecărui regim de încălzire prin vibroarc, îi corespunde amplitudinea și forma vibrației optime.-

În ce privește lichidul de răcire sau lichidul de lucru, literatura prezintă multitudinea de rețete. Astfel, în lucrarea /104/ se arată că soluția folosită se compune din apă cu 3-4% sodă calcinată, sau cu 10-20% glicerină; în lucrarea /68/ soluția folosită este la 10 litri apă 100 g. sodă calcinată plus 50 g. glicerină tehnică, în lucrarea /12/ această soluție este compusă din 6 % sodă calcinată.-

Lucrarea /21/ arată, că s-a folosit lichidul de răcire compus din 20% glicerină și 80% apă distilată, ridicînd conținutul de glicerină pînă la 30% răcirea piesei poate fi redusă, iar în lucrarea /37/ lichidul de răcire este compus din 100 g de Na_2CO_3 și 50 cm^3 glicerină pentru 10 l. apă.-

Lucrarea /135/ prevede o soluție de apă cu 10-20% glicerină tehnică. O altă lucrare /144/, folosește pentru răcire soluția de apă cu 12% glicerină și 2% Na_2CO_3 , iar lucrarea /143/ o soluție de apă cu 20% glicerină. La uzina de automobile din Praga /1/ soluția folosită este apă cu 3-4% Na_2CO_3 cu un adaos de ulei în apă cu 20-30% glicerina.-

După cum se observă, soluțiile folosite pentru răcire diferă destul de mult între ele, cunoscînd influența acestora asupra calității încălzirii și a apariției fisurilor etc, care desigur depinde și de felul materialului de bază, de debitul jetului de răcire, precum și de alți factori, reprezintă un vast domeniu de cercetare.-

În literatura de specialitate, se evidențiază că temperatura

studierii posibilităților de aliere a metalului fier cu procedeul vibroarc. Astfel, în lucrarea /5c/ se arată că procedeul mai eficace, simplu și care nu necesită schimbarea este introducerea elementelor de aliere prin sîrma-electrod aliată în mod corespunzător. Neajunsul acestui procedeu, într-o ardere puternică a unor elemente de aliere. În literatura rîențelor, asupra stabilirii cauzelor de ardere a componentelor oțelului, în cazul încărcării cu arc pulsator /5/, s-a stabilit că arderea C depinde în principal de durata de ardere a arcului, cu cît perioada lui de ardere este mai mare, cu atît sînt mai mari pierderile de C, la trecerea metalului prin spațiul arcului. Arderea Mn și a Si în principal depinde de suma timpilor perioadelor de ardere a arcului și a mersului în gol. La creșterea acestui timp, arderea Mn și Si crește. Se presupune că, cauză minorării arderii componentelor, în cazurile arcului cu întrerupere este existența procesului de trecere în timpul aprinderii și stingerii arcului.-

Pentru păstrarea componentelor sîrmei-electrod în timpul încărcat, trebuie să se tindă ca perioada de ardere a arcului să fie cît mai redusă și să fie eliminată perioada mersului în gol. Aceleași rezultate și concluzii sînt stabilite și în lucrarea /17/. S-a determinat coeficientul de trecere al elementelor din sîrma-electrod în funcție de regimul de încărcare /20/-

În literatură, se acordă atenția deosebită și a stabilității temperaturii pe piesă, în cazul aplicării procesului de încălzire cu vibroarc /2, 76, 100, 177, 178/.

Articolul din /2/ prezintă rezultatele cercetărilor pe epruvete ce aveau dimensiuni apropiate pieselor ce se încălzesc prin vibroarc, iar dimensiunile lor se apropiau de dimensiunile medii ale pieselor de tractoare. Piesele aveau forma unor buci cu diametrul exterior 65 mm., cel interior 40 mm. și lungimea de

Rezultatele măsurătorilor și a calculelor ciclului termic, sînt prezentate sub formă de distribuție a temperaturii în lungul unei drepte paralele cu axa de translație a arcului pe o distanță de 0,5 cm. de la axul cusăturii.-

În fig. 1.6, este reprezentată această dependență a temperaturii în lungul dreptei, paralela cu axul arcului la distanța de 5 mm: 1 - curba calculată; 2 - curba determinată experimental.-

Articolul /76/ expune metode pentru determinarea caracteristicilor cantitative (cu valori medii) ale surseilor de căldură și calculul proceselor termice la încălzire cu vibroarc în lichid a pieselor cilindrice. Lucrarea stabilește criteriul notat cu B_i - criteriu fără dimensiuni, care caracterizează intensitatea răcirii, superficiale și depinde de locul de răcire și de consumul lichidului de răcire. Se deduce, că la arderea stabilă randamentul efectiv al arcului în mică măsură depinde de răcirea cu jet de lichid a piesei.-

Lucrarea /100/ studiază zonele de influență termică, curbele de variație, a durității, în aceste zone: dependente dimensiunilor zonelor de influență termică în cazul oțelurilor necălite și necălite. Figura 1.7 arată dependența dimensiunilor zonelor de influență termică la piesele din oțel necălite (1) și călitate (2), funcție de energia totală liniară. Se trag următoarele concluzii:

- Dimensiunile zonei de influență termică, la epravele necălite, sînt aproximativ de trei ori mai mari decît la epravele necălite. Corespunzător cu aceasta, zona de revenire pe eprave necălite, este aproximativ de două ori mai mare decît zona călită.-

- În caz general, dimensiunile zonei de influență termică, sînt proporționale cu rădăcina pătrată a energiei liniare efective. La determinarea energiei liniare efective, trebuie să se țină cont de dependența randamentului efectiv de încălzire a metalului de către arc și de regimurile de încălzire.-

- În intervalul valorilor mai des folosite a energiilor liniare (400 - 1200 cal/cm), zona influenței termice la eprave necălite, este de aproximativ 0,6 - 1,3 mm, iar la cele călitate aproximativ de 1,9 - 3,8 mm.-

Cunoscînd, că dimensiunile zonei de influență termică la piesele necălite, în cazul sudării manuale cu arc, sînt de 1-7 mm, iar la sudarea automată sub flux de 1,5 - 5 mm, rezultă că zona de influență termică la încălzire cu vibroarc, este de cîteva ori mai mică. În aceasta constă un important avantaj al încălzirii cu vibro-

arc. Acest-avantaj determină folosirea procedurii de
respectiv recondiționarea pieselor tratate termic, în special
diametre mici, a pieselor de diametre mici și de forme asimetrice,
te, care în cazul procedurilor obișnuite de încălzire au suferit
formări importante.-

Studiile publicate /177, 178/ se ocupă de condiții
proceselor termice la încălzire cu vibroarc, a axelor după o linie
spirală. Cercetînd cîmpurile de temperaturi în procedurile de
care după spirala, aceasta a permis stabilirea caracterului de
distribuire a temperaturilor în lungul și în secțiunea axelor
cărcate.-

Fig. 1.8. reprezintă modelul spațial al cîmpului de tem-
peraturi, în cazul încălzirii unui ax după o traiectorie în
spirală. Experimentările au coincis cu datele calculate teoretic. Cîmpul
spațial al cîmpului de temperaturi din fig. 1.8., este de fapt
modelul izotermic al suprafeței axului în timpul încălzirii.
cum se vede, cîmpul de temperaturi este simetric în raport cu
longitudinală $x - x$ (timpul). Pe figura: 1 - epruveta încălzită,
2 - locul sursei de căldură - arcul de sudare.-

Rezultatele cercetării cîmpului de temperaturi au ară-
tat, că în cazul încălzirii cu vibroarc sub flux, piesa se încăl-
zește fără întreruperi. Lipsa unor schimbări bruște de temperatură,
în secțiunea epruvetei și nivelarea ei în procesul încălzirii,
contribuie la obținerea unor tensiuni și deformări mici.-

Rezultatul cercetărilor asupra încălzirii straturilor de
metal de diferite grosimi, sînt prezentate în lucrările [179, 180].-

Experimentările s-au executat pe epruvete din St. 45
diametre de 30, 60 și 80 mm, depunînd straturi de grosimi diferite.
a rezultat că: a) cu creșterea diametrului straturilor de metal
rea aderenței stratului încălzit cu metalul epruvetei crește, și
cu creșterea diametrului epruvetei scade; b) cu scăderea raportului
lui între viteza de avans a sîrmei-electrod și viteza de rotație
a piesei, se înrăutățesc condițiile de topire a metalului - se
ză (epruveta); c) în cazul încălzirii cu sîrmă - electrod cu diamet-
trul $< 1,4$ mm. raportul vitezelor de avans a sîrmei-electrod și
piesei nu poate fi > 2 ; d) în cazul încălzirii cu sîrmă - electrod
cu diametrul < 2 mm. pentru asigurarea unei aderențe satisfăcătoare

între metalul depus și cel de bază, este necesar ca pasul finei încărării să fie mai mic de 0,7 - 1,2 din diametrul sîrmei-electrode, iar raportul vitezelor trebuie să fie $< 2,5$.

Prin aceste cercetări este stabilită legătura reciprocă între parametrii de bază electrici și cinetici ai încărării cu vibroarc /39/.

În lucrările /86, 154, 167/ și în alte lucrări, sînt redată rezultatele cercetărilor asupra rezistenței la oboseală a diferitelor piese încărcate sau recondiționate cu procedeul vibroarc. Astfel, în cazul arborilor cotiți pentru motoare de automobil, cercetările /154/ au stabilit că procedeul de încărcare cu vibroarc se recomandă numai însoțindu-l cu o prelucrare mecanică de durificare (cu rola sau cu bila) a racordărilor fusurilor cu manivele.

Încărcarea cu vibroarc în CO_2 a oțelurilor 1 H 18N9 pe piese din oțel cu conținutul mediu de carbon, nu reduce rezistența la oboseală a pieselor ci, din contră, o face să crească.

În lucrările /89/și/45/ sînt prezentate rezultatele recondiționării arborilor cotiți din fontă, aplicînd procedeul de încărcare în jet de aer, respectiv în jet de oxigen. Sînt două variante de încărcare și obțin succes în eliminarea deficiențelor ce apar la încărcarea arborilor cotiți din fontă, dacă încărcarea se face prin sudarea manuală cu arc, fie sub strat de flux, fie sub protecția unor gaze sau cu vibroarc în jet de lichid. Metodele sau procedeele enumerate au dezavantajul, în acest caz, deoarece apar fisuri, pori, iar suprafața obținută este foarte dură ce se prelucrează greu.

Probele efectuate, au arătat în exploatare, că arborii cotiți recondiționați astfel, asigură încă o funcționare de 50 - 60 mii km, iar costul lucrărilor este de cca. 33% din costul unui arbore nou. După doi ani de exploatare nu s-au constatat ruperi de arbori.

Un număr important de lucrări, acordă atenție deosebită parametrilor regimului de încărcare, la diferite piese, precum și perfecționării constructive a utilajelor ce se folosesc pentru încărcare cu vibroarc /15, 58, 72, 49, 60, 73, 77, 116, 202/.

Din aceste lucrări și altele, nespecificate aici, rezul-

tă că procedeul prezintă interes, a început să capete baze serioase științifice și experimentale.-

O suită de lucrări teoretice, publicate de autori bine cunoscuți în domeniu, cum sînt cele din /103, 106, 120, 122, 137, 145, 173/ vor fi prezentate în decursul expunerilor la capitolele respective legat de cercetările și contribuțiile proprii.-

În concluzie, rezultă că domeniile de aplicare a sudării și încărcării cu vibroarc se lărgesc mult și progresiv, pătrunzînd treptat din sfera reparațiilor în sfera pieselor noi bi-metalice și a pieselor subțiri sudate. Totuși, încă sînt multe goluri în ce privește cercetarea unor fenomene ca: stabilitatea procesului și regimului de lucru, problemele rezistenței la oboseală după încărcare cu vibroarc, valorile optime ale parametrilor de lucru, influența mediului protector asupra calității încărcării etc, și mai ales în ce privește utilajul necesar, cum ar fi: capul automat cu vibrator și sursele de curent cele mai potrivite, precum și alte aspecte.-

Un articol de sinteză /127/ ajunge la concluzia că mecanismul pentru avansul sîrmei-electrod în cazul sudării, respectiv încărcării cu vibroarc este recomandabil să fie sub forma crucii de Malta, iar reglarea vitezei de avans a sîrmei-electrod se poate face cu rol de avans conice.-

Ultimele lucrări apărute /158/ acordă atenție, arătînd avantajele încărcării cu vibroarc cu două sîrme-electrod. Fazele celor două sîrme-electrod sînt decalate între ele cu 180° , alimentarea făcîndu-se de la o aceeași sursă de curent. Coeficientul de încărcare în acest caz crește cu 20-25%, iar productivitatea este de două ori mai mare în comparație cu încărcarea cu o singură sîrmă-electrod. Pierderile de metal prin stropire scad cu 1,5 ori. Se fac încercări de introducere în baia topită a ultrasunetelor prin intermediul unei sîrme suplimentare (separat de sîrma-electrod) care este vibrată prin ultrasunete de la un generator de ultrasunete bazat pe principiul magnetostrictiei. Sîrma ce vibrează în baie, are diametru de 1,2 mm. Prin acest procedeu, productivitatea crește față de procedeul cu două sîrme-electrod, cu încă 15%, iar calitatea metalului depus, se îmbunătățește, reducîndu-se și stropirea metalului.-

1.5. Teorii și concluzii contradictorii.

Din materialul documentar studiat, rezultă că în stadiul actual încă multe teorii și diferite concluzii sînt contradictorii sau încă nedefinitivate. Cîteva din ele se amintesc mai jos.

- Cele mai multe contraziceri se referă la comportarea pieselor, la oboseală după încărcarea lor cu un strat, prin procedeul vibroarc /67, 54, 96, 167 și alții/.-

- Părerii contradictorii și în ce privește comportarea pieselor încărcate cu vibroarc cînd piesele lucrează în condițiile sarcinilor importante de șoc /86, 167/.-

- În mai multe lucrări, sînt contraziceri în ce privește valoarea inductanței optime a circuitului de sudare, precum și metodologia de calcularea ei /106, 107 și altele/.-

Datele din literatură, despre influența parametrilor regimului procesului asupra vitezei de topire a sîrmei-electrod, sînt contradictorii. În unele lucrări /105, 113/ se precizează că, cu creșterea tensiunii de lucru se mărește viteza de topire a sîrmei-electrod, iar în altele /53/, se stabilește tocmai invers, că viteza de topire se reduce cu creșterea tensiunii.-

În lucrarea /121/ se justifică ipoteza unei dependențe directe între viteza de topire a sîrmei-electrod și puterea medie a arcului ($I_s \times U_s$).

- Teoriile, relațiile, formulele nu sînt încă corelate între ele și întregul material documentar necesită o sistematizare și un limbaj bine definit.-

În concluzie se poate afirma, că există contradicții destul de importante.-

În continuarea tezei, autorul a privit critic contradicțiile în principalele probleme, realizînd sistematizarea și în mare corelarea materialului documentar-bibliografic.-

Sistematizarea și corelarea unor concluzii divergente, a permis alcătuirea unei baze teoretice valabile la nivelul cunoștințelor actuale.-

Această parte teoretică, confirmată și de rezultatele experimentale, intră și face parte din conținutul tezei, formând o contribuție la dezvoltarea și respectiv perfecționarea procedurii vibroarc.-

CAP. 2 - NIVELUL ACTUAL AL CUNOSTINTELOR TEORETICE DE BAZA

SPECIFICE PROCEDEULUI VIBROARC

2.1. - Prezentarea

Capitolul doi, înfățișează nivelul unor cunoștințe teoretice și experimentale de bază, specifice procedului vibroarc, sub forma unui material științific sistematizat și corelat de autorul tezei.-

Este rezultanta cercetării unui material documentar voluminos și disparat, depășind în unele cazuri cu mult documentarea bibliografică de referință.-

Aceste studii, combinate cu cercetări proprii cu dat un instrument științific-tehnic în a putea avea o linie de urmat în rezolvarea temei din teza de doctorat.-

2.2. - Esența fizică și particularitățile procesului vibroarc.

Esența procesului de încărcare cu vibroarc, constă în aceea, că metalul de bază și al sîrmei-electrod (de adaos) se încălzește pînă la topire prin căldura care se degajă, ca rezultat al descărcărilor ale arcului electric periodice-sistematice, adică arderea cu întreruperi sistematice ale arcului electric. Stratul încărcat se formează în procesul de cristalizare a metalului de bază și de adaos topit.-

Figura 2.1. reprezintă schema de principiu a unei instalații automate de încărcare cu vibroarc, cu curent redresat, din care rezultă esența procedului.-

În timpul încărcării, sîrma-electrod 4 este adusă fără întrerupere din caseta 5, prin ajutorul rozelor 3 printr-un ajutor vibratîr 9. Acesta transmite capătului sîrmei-electrod lo oscilații cu o amplitudine ce variază conform relației

$$\lambda = (0,75 - 1) \text{ de.}$$

La aceste vibrații, se produce conectarea și întreruperea circuitului electric de lucru, în locul de contact între sîrma-electrod lo, cu piesa ce se încarcă. Vibrațiile se real-

zează printr-un electromagnet 6 (sau pe cale mecanică) și se reglează printr-un arc 7 sau prin variația tensiunii, în limita electromagnetului vibratorului în limitele ce pot varia în genere între 10 - 36 V printr-un transformator.-

Circuitul de sudare se alimentează cu curent de la bornele 1, printr-o rezistență variabilă 12. Lichidul de răcire din rezervor este trimis în zona de încărcare prin ajutorul unei pompe 8 și furtun 2, după aceea în ajutorul vibratorului 9.-

În timpul contactului la scurtcircuit, densitatea curentului este foarte mare (pînă la 400 A/mm^2). Drept urmare, metalul la locul de contact se încălzește cînd la temperatura de topire metalului. Mai departe, capătul sîrmei-electrod se desprinde de piesă cu ajutorul vibratorului, lăsînd pe ea partea metalului depusă al sîrmei-electrod. În acest timp, distanța între vîrfurile sîrmei electrod. În acest timp, distanța între vîrfurile sîrmei-electrod și piesa ce se încarcă se mărește, arcul electric se stinge și are loc perioada de mers în gol (vezi fig.1.2), care după ce se va vedea, trebuie și poate fi redus la zero.-

Încălzirea și topirea metalului la acest proces, se produce ca urmare a căldurii provenite din scurtcircuit și căldurii degajate de arcul electric. Din bilanțul general al căldurii, cînd ca 10% din căldură se degajă ca urmare a scurtcircuitelor și 90% la descărcarea arcului electric /98/. Prin urmare, influența principală asupra procesului și calitatea încărcării, o exercită arcul electric.-

La parametrii de lucru specifici procedeului vibroarc, se produce transferul metalului de pe sîrma-electrod și piesă sub forma de picături mici. Cu cît tensiunea arcului este mai mare, cu atît este mai intensă trecerea picăturilor de metal pe piesă și cu atît grosimea stratului încărcat este mai mare.-

Procedeul vibroarc este destinat pentru încărcarea unor straturi în general subțiri de la 0,3 - 1,5 mm (putînd realiza și straturi mult mai groase) a unor piese cu diametre mici de 5-10 (se folosește însă și pentru diametre mult mai mari).-

Procedeul are următoarele avantaje: încărcă straturi subțiri cu adaos de prelucrare mecanică foarte mic, deformarea pieselor neînsemnată, duritatea mare a suprafețelor și durabilitatea

încărcate, utilajul necesar simplu, productivitatea mare.

Calculul regimului de încărcare se efectuează în funcție de grosimea stratului de încărcare.

Lichidul trimis în zona de încărcare o protejează de oxigenul și azotul din aer și răcește piesa ce se încarcă, ceea ce permite încărcarea pieselor terminate fără ca ele să se deformeze. Un astfel de lichid, este o soluție cu 4-6% sodiu cianhidrat.

Lichidul folosit, servește și pentru deionizarea surselor ce se formează în timpul descărcării electrice și a arcului electric. Însă, folosirea lichidului înrăutățește condițiile de lucru ale arcului. Prin vibrarea sârmei-electrod se reduce influența nefavorabilă a lichidului asupra stabilității procesului de încărcare a arcului.

După cum s-a amintit în cap.1, fiecare ciclu de încărcare a sârmei-electrod, de obicei constă din trei perioade consecutive: scurtcircuit, descărcarea arcului electric și mersul în gol (fig. 1.2). Perioada de scurtcircuit se termină la deconectarea sârmei-electrod de piesă, ca rezultat intensitatea curentului în circuit scade și se naște f.e.m. de autoinducție, care este în aceeași direcție și sens cu tensiunea sursei de curent. Astfel, crește tensiunea între sârma-electrod și piesă și creșterea condițiilor pentru apariția unei scurte descărcări cu o tensiune mai mică decât aceea de conectare. Pe parcurs, distanța între electrozi crește, iar intensitatea curentului scade. Apoi, descărcarea arcului se termină și începe perioada mersului în gol. În timpul mersului în gol, distanța între electrozi începe să se reducă și perioada de mers în gol se termină prin scurtcircuit, după care ciclul se repetă.

Procesul de încărcare se realizează cu polaritatea inversă: polul pozitiv al sursei de curent continuu (sau rețeaua de alimentare) se leagă la sârma-electrod, iar cel negativ la piesă (fig. 1.1). În cazul polarității directe, crește mult stropirea metalului de la sârma-electrod, se înrăutățește pătrunderea în metalul de încărcat și finețea suprafeței stratului încărcat. La polaritatea inversă sunt condiții favorabile pentru transferarea metalului de la sârma-electrod precum și pentru formarea stratului de încărcare. În timpul mersului în gol sârma-electrod avansează cu viteză constantă, viteza de avansare este invers proporțională cu frecvența

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE
MATERIEI

constantă, ceea ce duce la o frecvență constantă de trecere a picăturilor metalului și se înmățășesc astfel condițiile de formare a cusăturilor încărcate. Procedul nu pretinde o pregătire specială a sârmei-electrod, asigură o bună aderență între metalul încărcat cu cel de bază și calitatea superioară a metalului încărcat. La o viteză de topire a sârmei-electrod cu diametru de 2 mm. de 100 m/h, productivitatea procedurii vibroarc este de 2,6 kg/h.

2.2.1. - Rolul vibrației la încărcare automată.

La încărcare normală cu arc electric, dimensiuni^{le} mari ale picăturilor de metal și lipsa unor stricte periodicități de formare a lor, fac să fie imposibilă formarea unor straturi subțiri și uniforme de metal încărcat. Cum s-a amintit, la încărcare cu vibroarc sârma-electrod primește vibrația cu o frecvență și amplitudine constantă.-

Ca rezultat al unor vibrații mari la care este supusă sârma-electrod, trecerea metalului ce se încăcă pe suprafața piesei, se efectuează sub forma unor picături mici, și astfel straturile încărcate se obțin subțiri și uniforme.-

Prin vibrare se dă posibilitatea realizării unor încărcări de straturi de bună calitate, cu oțeluri carbon și aliaje la valori mici ale energiei care se degajă în procesul de ardere a arcului la fiecare ciclu de vibrare și care produce o mică încălzire a piesei. Prin urmare, încărcarea cu vibroarc se caracterizează printr-o adâncime mică de pătrundere, o zonă de influență termică mică și un volum mic al băii demetal topit, în care se produce amestecul între metalul de bază și cel de adăug. Existența unei frecvențe mari de vibrație, permite variația într-un interval destul de larg, cantitatea de căldură ce se degajă la fiecare ciclu de vibrație, pe calea variației puterii arcului și duratei lui de ardere. Prin micșorarea duratei de ardere a arcului (descărcării arcului) brusc se reduce arderea elementelor de aliere a oțelului. Astfel, spre exemplu la încărcare obișnuită cu un oțel inoxidabil cu titan în mediu de CO_2 , arderea titanului este circa 60%. La încărcare cu procedul vibroarc cu același oțel și tot în mediu de CO_2 , arderea titanului este de numai 30%.-

Caracteristică specifică procesului de sudare cu vibroarc, este valoarea mai ridicată a intensității de curent și valoarea mai mică a tensiunii arcului în comparație cu procesul de încărcare obișnuit. Aceasta, se explică prin aceea, că procesul de încărcare cu vibroarc decurge cu spațiul arcului mult mai mic.

Astfel, după cercetările efectuate de /166/, rezultă următoarele date:

Valori medii ale intensității curentului și tensiunii în cazul încărcării obișnuite și cu vibroarc.

Sârma-electrod	Valorile parametrilor încărcării cu vibroarc		Valorile parametrilor încărcării cu metodă obișnuită	
	I_s în A	U_s în V	I_s în A	U_s în V
1H18N9T	135	16,0	130	16,5
H23N18	150	15,5	130	16,5
2H18 N 9	170	15,0	150	16,0
45	185	14,5	170	15,5
70	200	13,5	180	14,5

Experiențele de încărcare s-au executat în ambele cazuri în mediu de protecție CO_2 cu $d_e = 2$ mm; $U_0 = 21$ V; $v_e = 17,9$ mm/s (64,4 m/h), frecvența $f = 47$ Hz; piesa avea $v_p = 0,50$ m/min, avans longitudinal $s = 3$ mm/rot. valorile I_s și U_s sînt valori medii.

2.3. Studiul asupra topirii sîrmei-electrod și autoreglării arcului la sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului (vibroarc)

Decurgerea procesului de topire a sîrmei-electrod la sudare și de autoreglarea arcului nu este tratată în literatura de specialitate, ele reprezintă însă o deosebită importanță. De aceea, mai jos, se face un studiu ce contribuie la rezolvarea acestei probleme.

O condiție necesară pentru stabilitatea sistemului de autoreglare, cînd lipsesc perturbările, este egalitatea între viteza de avans a sîrmei-electrod (v_e) și viteza de topire (v_t) adică:

$$v_e = v_t$$

- // -

După cum rezultă din fig. 2.2, în decursul procesului de sudare, intensitatea de curent și deci I_{max} legat de această viteză de topire a sârmei-electrod se schimbă continuu și numai la sfârșitul fiecărui ciclu capătă o anumite valoare (I_{max}).

Pornim de la faptul, că practic, variația vitezei de topire urmează fără inerție variația intensității curentului /41,92/. În figura 2.3. este o reprezentare grafică a dependenței vitezei de topire a sârmei-electrod (v_t) și a intensității de curent funcție de timp.-

Din acest grafic rezulta, că valoarea stabilită a curentului nu asigură viteza de topire a sârmei-electrod fiind această este egală cu viteza de avans a ei. Sursa de curent folosită avea caracteristica externă rigidă, diametrul sârmei-electrod 2 mm, iar tensiunea arcului 20 V. Valoarea curentului stabilizat este de circa 60 A, iar viteza de topire corespunzătoare este de 0,45 m/min. la o viteză de avans a sârmei-electrod de 1,15 m/min. Deci, viteza de avans a capătului sârmei-electrod (către piesă) rezultă că este $v_r = v_s - v_t = 1,15 - 0,45 = 0,7$ m/min. îndreptate spre micșorarea spațiului arcului ceea ce duce la scurtcircuitarea spațiului arcului, deci la o funcționare anormală.-

La scurtcircuitare se produce acumularea energiei în inductanța circuitului de sudare. Curentul crește și la un moment dat se produce ruperea punții metalice și arcul se excită din nou. După aceea, începe micșorarea curentului pînă la valoarea stabilizată. Din momentul ruperii punții, se produce schimbarea continuă a spațiului arcului. Pînă la punctul A (fig.2.3) lungimea spațiului arcului crește, întrucît $v_t > v_e$. În punctul A avem $v_t = v_e$, după punctul A lungimea spațiului arcului scade, întrucît $v_t < v_e$.-

Valoarea de vîrf a curentului, în momentul scurtcircuitului depășește valoarea stabilizată de 3-5 ori. În mod corespunzător valoarea la început avitezei de topire depășește viteza de avans a sârmei-electrod de 5-6 ori /41/.-

Viteza de topire a sârmei-electrod poate fi exprimată prin relația:

$$v_t = v_{ts} - (v_{tmax} - v_{ts}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2.1)$$

unde: v_{ts} - valoarea stabilizată a vitezei de topire;

$v_t \text{ max}$ - viteza maximă de topire; T - constantă de timp a sarcinii
lui de sudare.-

Dacă admitem că variațiile curentului se produc identice
în fiecare ciclu, atunci în limitele fiecărui ciclu viteza medie
de topire este egală cu viteza de avans a sîrmei-electrod. Această
condiție poate fi exprimată după cum urmează:

$$\frac{\int_{t_k}^{t_c} v_t(t) dt}{t_c} = v_e \quad (2.2)$$

În lucrarea /199/ se constată, că la sudarea cu scurt-
circuitări periodice ale spațiului arcului, constanta de timp a
circuitului de sudare T și inductanța L au mare influență asupra
stabilității procesului și asupra stropirii metalului.-

Cu creșterea constantei de timp, viteza medie de topire
a sîrmei-electrod pe timpul arderii arcului crește, dar în același
timp crește durata scurtcircuitului, adică intervalul de timp, în
care nu se produce topirea sîrmei-electrod.-

Viteza medie de topire pe durata întregului ciclu rămâne
neschimbată.

Este stabilit /199/, că energia acumulată în inductanță
pe timpul scurtcircuitului, este suficientă pentru topirea întregii
să a sîrmei-electrod în perioada variației curentului, de la va-
loarea sa maximă pînă la valoarea stabilizată.-

Pentru două valori ale inductanței circuitului de sudare
 $L_1 = 0,15 \times 10^{-3} \text{H}$ și $L_2 = 0,55 \times 10^{-3} \text{H}$ se obțin următoarele cantități
acumulate de energie (în inductanța pe timpul scurtcircuitu-
lui) și apoi cedate: $W_1 = 13,4 \text{ W.s}$ și $W_2 = 13,5 \text{ W.s}$

Pe timpul cedării energiei de către inductanță, cantitatea
totală de energie ce se eliberează în spațiul arcului, este
corespunzător 29,4 și 58,4 W.s. Se constată deci, că energia câmpu-
lui magnetic pentru valorile arătate ale inductanței formează
46 și 32% din totalul energiei. În baza datelor prezentate, se
poate trage concluzia că energia acumulată în inductanță, formează
o parte importantă a energiei, ce se eliberează în spațiul ar-
cului în perioada scăderii curentului, și în mod sensibil influențează
viteza de topire a sîrmei-electrod. Se subliniază

că la valori mici ale inductanței, influența ei asupra vitezei de topire a sârmei-electrod pe timpul cedării energiei este simte mai puternic.-

După unele aprecieri /41/, pentru topirea sârmei-electrod se consumă circa 40% din energia ce se dezvoltă în spațiul arcului. In aceste condiții se obțin vitezele medii de topire ale sârmei-electrod pe durata descărcării inductanței (corespunzător celor două inductanțe L_1 și L_2):

$$v_{t_1} = 3,0 \text{ m/min și } v_{t_2} = 2,25 \text{ m/min.}$$

Creșterea inductanței, în general, reduce valoarea de vîrf a curentului și încetinește eliberarea energiei, prin ceea ce previne apariția vîrfurilor mari ale curenului.-

In cazul sudării cu electrod fuzibil, cazul nostru, și dacă se neglijează oscilațiile băii de sudare putem scrie:

$$\frac{dl}{dt} = v_t - v_e \quad (2.3)$$

unde l - lungimea spațiului arcului.

Din relațiile (2.1) și 2.3) prin înlocuiri și apoi integrînd obținem:

$$l = (v_{ts} - v_s) t - T(v_{t \text{ max}} - v_{ts}) e^{-\frac{t}{T}} + C$$

Constanta de integrare C se determină din condițiile inițiale: la $t = 0$; $l = 0$.

In final obținem:

$$l = T(v_{t \text{ max}} - v_{ts}) (1 - e^{-\frac{t}{T}}) - t(v_e - v_{ts}) \quad (2.4).$$

cînd $\frac{dl}{dt} = 0$, avem $v_t = v_s$, iar lungimea spațiului arcului are valoarea maximă și se determină prin:

$$t = T \cdot \ln \frac{v_{t \text{ max}} - v_{ts}}{v_e - v_{ts}}$$

Din relația (2.4) se poate determina timpul de ardere a arcului t_a . La $t = t_a$ și $l = 0$ și ținînd cont de faptul că t_a este mai mare decît T (stabilit pe calcule experimentale), în final avem:

$$t_a = T \cdot \frac{v_{t \text{ max}} - v_{ts}}{v_e - v_{ts}} \quad (2.5)$$

Din această relație rezultă că, cu creșterea lui T

timpul de ardere al arcului crește. În cazul când $v_0 = v_{0,cr}$ se obține un proces fără scurtcircuitările spațiului arcului, deci ceea ce este caracteristic pentru sudare cu arc lung.-

Procesul de sudare cu arc scurt cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, poate fi considerat ca o acțiune periodică a perturbărilor în lungimea arcului.-

2.4. Caracteristicile de topire ale sîrmei-electrod la sudare (sudare) cu vibroarc.

Caracterul de topire al sîrmei-electrod și transferul metalului pe piesă, are influența determinată asupra: compoziției chimice și a proprietăților metalului încărcat, formării cascadelor, apariției defectelor în metalul încărcat etc.

Se știe, că la sudare fără scurtcircuitările spațiului arcului, cum este cazul sudării sub strat de flux sau în CO_2 , viteza de topire a sîrmei-electrod scade cu micșorarea curentului de sudare și cu creșterea diametrului sîrmei-electrod și a tensiunii arcului.-

În cazul sudării (încărcării) cu vibroarc, adică cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului (oscilogramă caracteristică fig. 2.1), din literatura de specialitate apărută până în prezent, această dată, rezultă că încă nu există o concepție științifică unică, privitor la influența parametrilor regimului de lucru, în procesul de sudare (încărcare), asupra vitezei de topire a sîrmei-electrod.-

Astfel, spre exemplu, lucrările/55, 138/ arată că viteza de topire a sîrmei-electrod crește cu creșterea tensiunii arcului, iar în lucrarea /53/ se arată că această viteză scade cu creșterea tensiunii arcului.-

Luînd în considerare faptul, că schimbarea tensiunii medii (de lucru) la încărcare cu vibroarc se produce în principal în contul schimbării duratei relative a descărcărilor arcului, în cazul unei lungimi medii aproximativ constante a spațiului arcului, în lucrarea /121/ se argumentează ipoteza unei dependențe directe a vitezei de topire a sîrmei-electrod, funcție de puterea medie arcului ($P_a = U_s \cdot I_s$).-

Topirea sîrmei-electrod, practic se produce numai în perioada de ardere a arcului, iar viteza de topire a sîrmei-electrod la un moment dat (inștăntanee) este proporțională cu curentul ce trece prin arc. Viteza medie de topire însă, pe un ciclu, este proporțională cu valoarea medie a curentului și în afară de aceasta, cu timpul de ardere relativă a arcului $\frac{t_a}{t_c}$ și ca urmare cu tensiunea medie U_s .-

De aceea se poate considera, că viteza medie de topire a sîrmei-electrod, pastrînd condiții identice de încărcare, este proporțională cu produsul între tensiunea medie și intensitatea medie a curentului, care la $U_a = \text{constr. admisă dinainte}$, reprezintă puterea medie a arcului.-

Viteza medie de topire a sîrmei-electrod determină variațiile spațiului mediu al arcului. Dacă viteza de topire este mai mare decît viteza de avans a sîrmei-electrod, atunci spațiul arcului se lungeste și invers.-

Astfel, între mărimile de bază ce caracterizează procesul de încărcare prin vibroarc (valorile medii ale tensiunii, intensității curentului, puterii, vitezei de topire, lungimii spațiului arcului și raportul între timpii de ardere a arcului și de scurtcircuit), există o anumită corelație. Schimbarea uneia din ele duce la schimbarea celorlalte /121/.-

Pentru obținerea unei încărcări de calitate este necesar ca procesul să fie staționar, adică aceste mărimi în procesul de încărcare să rămînă neschimbate. Dacă regimul de încărcare este stabil, atunci dereglările întîmplătoare ale regimului normal de încărcare suficient de rapid se reglează în procesul de autoreglare.-

Pentru verificarea ipotezei emisă asupra dependenței directe a vitezei de topire a sîrmei-electrod funcție de puterea medie, și pentru obținerea dependenței cantitative între puterea arcului și parametrii regimului procesului vibroarc, au fost executate cercetări încercînd epruvețe cu diametre de 40-50 mm. cu sîrme de diferite calități. Sursa de curent fiind un redresor, cu caracteristică externă lin coborîtoare (intinsă). Diametrul sîrmei-electrod se schimbă în limitele $d_e = 0,12 - 0,25$ cm, viteza de avans a sîrmei-electrod $v_e = 1,5 - 9,0$ cm/s, lungimea capătului liber $l = 1,0 - 2,0$ cm, frecvența de vibrare a capătului sîrmei-electrod $f = 20 - 100$ Hz, amplitudinea vibrației $\lambda = 0,1 - 0,3$ cm.

tensiunea de mers în gol $U_0 = 17,5 - 27,5$ V, rezistența echivalen-
tă a circuitului de lucru și a sursei de alimentare cu curent $R_c =$
 $0,025 - 0,060$ ohmi, inductanța circuitului $L = 0,15 - 0,55$ mH.

Încărcarea s-a executat cu polaritatea inversă și di-
rectă. Mediul protector folosit a fost apa și CO_2 . Puterea medie
de lucru se determină cu relația $P = U_s \cdot I_s$ (U_s și I_s sînt ten-
siunea și respectiv intensitatea de curent medie la încărcare -
de lucru).-

Prelucrarea datelor experimentale a permis să se stabi-
lească o formulă pentru determinarea puterii medii a arcului, la
încărcare cu polaritate inversă:

$$P = 1000 k_A k_R U_0^{3/4} d_e^{5/3} (k_V + k_C \cdot v_e) \quad (2.6)$$

în care k_A și k_V - coeficienți experimentali prin care se ține
cont de amplitudinea, lungimea liberă și frec-
vența vibrației capătului sîrmei - electrod;

k_R - coeficientul, prin care se ține cont de influen-
ța rezistenței circuitului de sudare;

k_C - coeficientul, ce ține cont de compoziția chi-
mică a sîrmei - electrod și de proprietățile
ei termice.

Coeficienții k_A , k_V și k_R se determină cu ajutorul
unor formule empirice /105/.

$$\left. \begin{aligned} k_A &= 0,90 + 0,5 \cdot \lambda \\ k_R &= 1,20 - 3,55 \cdot R_e \\ k_V &= \sqrt{(1,25 - 0,5 \cdot l) (1,25 - 0,005 \cdot f)} \end{aligned} \right\} (2.7)$$

Valoarea coeficientului k_C poate fi luată egală cu
1,45 pentru sîrma-electrod din oțel St 85 oțel echivalent cu Arc
7, și egal cu 1,1 în cazul oțelului H 20 N 10 G 6.-

Cercetările speciale /105,121/ au arătat, că în
toate cazurile cercetate încărcarea cu polaritatea inversă satis-
face relația $I_s \cdot U_a \cdot t_a / t_c = N U_0^{3/4}$, unde $N = 1000 k_A k_R d_e (k_V + k_C v_e)$
este o constantă în condițiile de lucru date. Creșterea lui R_e
duce la o importantă scădere a duratei relative de ardere a ar-
cului t_a și la o reducere a puterii.-

$$\frac{t_a}{t_c}$$

Cu creșterea diametrului sîrmei-electrod, cantitatea de metal topit al acestuia în unitatea de timp, crește la puterea *concomitent scade durată relativă a descărcărilor arcului electric*. Tocmai de aceea, diametrul sîrmei-electrod în formula (2.6) este cu un exponent al puterii de numai $5/3$.

Analiza cantitativă a influenței diferiților parametri de lucru, luați separat, asupra mărimii puterii arată că folosirea formulei (2.6), în cele mai multe cazuri, poate fi simplificată (în practică), atribuind valori constante coeficienților k_A și k_V . Amplitudinea vibrațiilor capătului sîrmei-electrod, de obicei se află în limitele de $0,15 - 0,25$ cm, iar capătul liber al sîrmei-electrod este în limitele de $0,8 - 1,5$ cm, iar frecvența vibrației este de obicei $47-100$ per/s. În aceste condiții se poate adapta $k_A = 1,0$, iar $k_V = 0,7$ pentru frecvența de 100 per/s. și $0,77$ la frecvența de 47 per/s.

Rezultatele cercetărilor au arătat o bună coincidență a rezultatelor obținute prin calcul cu cele experimentale, ceea ce confirmă o bună alegere a formulelor empirice și a coeficienților folosiți.-

Eroarea sumară nu depășește valori mai mari de $\pm 5\%$, deci normal acceptabilă.-

În cazul polarității directe, stabilirea formulei generale de calcul a puterii arcului, este mai dificilă din cauza schimbării coeficienților ei concomitent cu schimbarea diametrului sîrmei-electrod. Necesitatea alegerii, în cazul polarității directe, a unor relații deosebite pentru fiecare diametru a sîrmei-electrod este notată și în lucrarea /31/.-

Figura 2.4 reprezintă funcția $P = f(v_e)$ în baza calculului, precum și puncte determinate experimental ale puterii arcului la încărcarea cu vibroarc cu polaritate inversă, pentru sîrme-electrod din oțel 85 în jet de lichid. Diametrele sîrmei-electrod: 1 - $0,25$; 2- $0,20$; 3- $0,15$; 4- $0,12$ cm; $U_0 = 25,25$ V.

Figura 2.5, reprezintă dependența puterii medii a arcului în funcție de viteza sîrmei-electrod $P = f(v_e)$ la încărcare cu vibroarc cu polaritate directă. Sîrma-electrod din oțel 85, în-

cărcarea se face în jet lichid: 1-1 = 1,5 cm; f = 70 Hz;
 $\lambda = 0,20$ cm; $d_e = 0,20$ cm; $U_o = 23,75$ V; 2 - $d_e = 0,15$ cm; $U_o = 23,75$ V; 3 - $d_e = 1,15$ cm; $U_o = 15,25$ V; 4 - $d_e = 0,15$ cm; $U_o = 23,75$ V.

După cum se observă și în acest caz, dependența este liniară (ca și la polaritate inversă). Deci, conform /70/ este necesar să se alcătuiască relații pentru fiecare diametru al sîrmei electrod-

Experiența a demonstrat /105/, că influența inductanței circuitului asupra puterii medii a arcului în condițiile cercetate este minimală. Tot astfel, puțin influențează compoziția mediului de protecție în care arde arcul, cu toate că a fost observat că la un consum mai mare de lichid (mai mult de 2 l/min) puterea arcului crește.-

Anterior s-a arătat, că viteza de avans a sîrmei-electrod, în cazul decurgerii stabile a procesului de sudare, este egală cu viteza medie de topire a ei. Dependența directă stabilită a vitezei de topire funcție de puterea arcului, permite să se tragă concluzia, că v_e se mărește atît la creșterea intensității curentului de lucru I_s cît și a tensiunii de lucru U_s .

Dependența cantitativă între v_e , I_s și U_s se determină dacă relația (2,6), se rezolvă în raport cu v_e împreună cu relația $P = I_s \cdot U_s$ și din ecuația caracteristicii externe a sursei de curent

$$U_o = U_s + I_s R_e \quad (2.8)$$

Rezolvînd aceste relații se obține:

$$v_e = \frac{U_s I_s}{1000 k_A k_r k_c (U_s + I_s R_e)^{3/4} d_e^{5/3}} - \frac{k_v}{k_c} \quad (2.9)$$

Dependența coeficientului de topire α_t funcție de d_e , I_s și U_s se poate determina în baza formulei cunoscute /105/

$$\alpha_t = \frac{900 \cdot d_e^2 \cdot v_e \cdot g}{I_s} \quad (2.10)$$

înlocuind valoarea lui v_e din relația (2.9) obținem:

$$\alpha_t = \frac{900 \pi \cdot d_e^2 \cdot g}{k_c} \left[\frac{U_s}{1000 k_A k_r (U_s + I_s R_e)^{3/4} d_e^{5/3}} - \frac{k_v}{I_s} \right] \quad (2.11)$$

unde g = densitatea metalului sîrmei-electrod în g/cm³.

Fig. 2.5, reprezintă curbele de dependență a vitezei de topire (a) și a coeficientului de topire (b) a sîrmei-electrod funcție de intensitatea de curent de lucru (la $U_s = \text{const.}$) și în funcție de tensiunea de lucru (la $I_s = \text{const.}$). Sîrma-electrod, oțel 85, (echivalent Arc 7) încărcare cu vibroarc cu polaritate inversă: $d_e = 0,2 \text{ cm}$; $l = 1,0 \text{ cm}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $\lambda = 0,2 \text{ cm}$; $R_e = 0,03 \text{ ohmi}$.

Fără a mai intra în calcule de detaliu, putem folosi rezultatele cercetărilor făcute de /121/ și de autorul tezei /44/ unde se precizează, că stabilitatea procesului de sudare cu vibroarc se asigură numai cînd punctele de funcționare (a sistemului) cad pe ramura urcătoare a curbei de dependență a puterii sursei de curent, funcție de circuitul de sudare (vezi fig.2.8).-

Relația (2.11), poate servi la determinarea dependenței lui α_t în funcție de U_o , r_e sau în funcție de unul din parametrii inițiali sau de pornire ai regimului de încărcare cum sînt: d_e , v_e , l , λ , f .

Figura 2.7, reprezintă valorile experimentale ale lui α_t și grafice construite în baza calculelor cu relația (2.11) transformată corespunzător, adică înlocuind valorile lui I_s și U_s prin ajutorul relațiilor $P = I_s U_s$ și (2.8). Graficul reprezintă curba $\alpha_t = f(v_e)$ pentru încărcarea cu vibroarc cu sîrma-electrod din oțel 85 și respectiv din oțel H 20 N 10 G 6. La experimentări și în calcule, sînt folosite următoarele date: $d_e = 0,20 \text{ cm}$; $R_e = 0,03 \text{ ohmi}$; $U_o = 22,75 \text{ V}$; $\lambda = 0,20 \text{ cm}$; $l = 1 \text{ cm}$. Punctele obținute pe cale experimentală coincid suficient de bine cu cele de pe curbele determinate prin calcul. Curbele (a) sînt în cazul încărcării cu polaritate inversă și curbele din (b) cu polaritate directă: 1 - sîrma-electrod din oțel H 20 N 10 G 6 și 2 - cu sîrma-electrod din oțel 85. Aceste rezultate se vor folosi în cercetările referitoare la determinarea vitezei maxime a simeii-electrod funcție de inductanță.-

Condițiile în care s-au executat experiențele, sînt identice la încărcarea cu polaritate inversă ca și la cea directă, afară de lungimea capătului liber care era de 1,5 cm. în cazul polarității directe.-

În concluzie se poate spune:

- La încărcarea cu vibroarc în jet de lichid, viteza de topire a sîrmei-electrod, în gama curenților ce asigură o formare de bună calitate a cusăturilor încărcate, depinde direct proporțional de puterea ce se produce în arc.-

Concluzia este valabilă și pentru cazul sîrmei-electrod din oțel cu Cr, Ni și Mn cînd mediul de sudare este CO_2 /105/. Rezultă evident, că coeficientul de topire al sîrmei-electrod în acest caz este sensibil mai mare, în raport cu cel cînd sîrma-electrod este din oțel carbon. În ambele cazuri α_t este mai mare la polaritatea directă decît la cea inversă.-

- Datele calculate cu formulele stabilite empiric, coincid suficient de bine cu cele experimentale.-

- Pentru încărcarea cu procedeul vibroarc, este caracteristic creșterea coeficientului de topire a sîrmei-electrod cu creșterea intensității de curent și a tensiunii de lucru, frecvenței de vibrare a sîrmei-electrod, a diametrului și a lungimii capătului liber a sîrmei-electrod, precum și cu scăderea amplitudinii de vibrare.-

- Caracteristicile de topire ale sîrmei-electrod și formulele stabilite au o deosebită importanță la alegerea parametrilor regimului de încărcare cu vibroarc, precum și la cercetarea autoreglării procesului și a stabilității regimului de lucru.-

În lucrarea /79/ se stabilește (ca și de alți autori) că în perioada de scurtcircuit sîrma-electrod se topește numai datorită căldurii Joule-Lenz, cu o viteză ce poate fi calculată (v_{ek}).-

Intr-un regim stabilit (fixat) de încărcare, cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, există o valoare medie integrală a vitezei de topire pe un ciclu (v_{mek}) și această valoare poate fi calculată. Dar aplicarea practică a acestor relații, prezintă greutăți din lipsa valorilor pentru diferiți coeficienți folosiți, iar acolo unde ele există sînt cu totul orientative cum ar fi în lucrarea /31/. De aceea, nu vom reproduce decît rezultatele unor calcule și cercetări experimentale din acest studiu /79/.-

Relațiile stabilite pentru viteze de topire precum și altele exprimă corect și cu suficientă precizie legătura recipro-

că între parametrii inițiali (prederminați), și cei de lucru ai procesului de sudare vibroarc, ceea ce se confirmă prin compararea datelor experimentale cu cele stabilite prin calcul, din relațiile teoretice și prezentate în tabela 2.1.-

TABELA 2.1.

d _e diametrul sîrmei-e- lectrod mm.	l mm.	I _s A	U _a V	v _t cm/s.	
				Calculata	după datele/156/
0,8	12,7	100	18,0	8,32	8,48
1,2	12,7	120	18,5	3,70	4,24
1,6	12,7	185	19,0	3,15	3,39

Rezultă existența unei relații de dependență neliniară între viteza de topire (v_t) a sîrmei-electrod, atît cu intensitatea curentului de sudare (de lucru) și tensiunea arcului, cît și cu puterea, ce consuma sursa de alimentare cu curent a arcului, pentru topirea sîrmei-electrod.-

Este cunoscut ca o influență importantă asupra transferului metalului de pe sîrma-electrod pe piesă, în cadrul procedurii cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, o au proprietățile dinamice ale sursei de alimentare cu curent.-

În consecință pentru fiecare procedeu de sudură și dimensiunile sîrmei-electrod, se pot stabili proprietățile dinamice ale sursei de alimentare cu curent cele mai corespunzătoare. La îndeplinirea acestor condiții se obține stropirea minimă a metalului topit și formarea cea mai bună a cusăturii.-

Din acest studiu /79/, autorul tezei trage concluzia, că la sudarea (încărcarea) cu procedeul vibroarc, unde fenomenele decurg conform oscilogramelor din fig. 2.1., topirea sîrmei-electrod se produce fără trecerea metalului în intervalele de timp cînd arde arcul, această trecere a metalului se produce în timpul perioadelor de scurtcircuit, cînd sîrma-electrod practic nu se topește.-

Conform unor studii prezentate de Prof. I.Ia.Rabinovici

/141/, rezultă că procesul de formare a picăturii la capătul sîrmei-electrod, poate provoca o oarecare lungire a spațiului arcului, însă acest fenomen numai foarte puțin reduce viteza de avans rezultată a sîrmei-electrod, care în cazul nostru totdeauna este mai mare decît viteza de lungire a spațiului arcului. Schimbarea regimului de încărcare, are caracter tranzitoriu ciclic ce se repetă.-

Deoarece nu există o dependență directă între viteza de topire a sîrmei-electrod și viteza de lungire a spațiului-arcului în cazul procedurii vibroarc, fenomenul de autoreglare sub forma lui pură nu există.-

Totuși, dacă se analizează un ciclu al procesului de topire și de trecere a metalului în ansamblu, se poate aplica noțiunea de autoreglare integrală, la care viteza medie de topire și de trecere a metalului în cazul unui proces staționar ce se repetă (cu regularitate) este egală cu viteza de avans a sîrmei-electrod.-

Prin cele de mai sus se stabilește un principiu fundamental pe care se bazează construcția capetelor automate moderne de încărcare cu vibroarc ce realizează $v_e = v_t$ (viteza de avans a sîrmei-electrod egală cu viteza de topire a ei).-

2.5. Arderea elementelor componente din metalul de bază și a celui de adaos la încărcarea cu vibroarc.

După cum rezultă din unele lucrări /44,19 / la încărcarea cu procedeul vibroarc pînă la circa 50% din carbon și mangan arde în timpul procesului de încărcare. Prea puține studii și cercetări au apărut în această problemă. Este o temă deschisă.

O lucrare ce rezolvă această problemă, în mare măsură, a apărut în 1965 /17/, care va servi pentru a putea trage unele concluzii în ce privește arderea unor elemente componente ale oțelului la încărcare cu vibroarc.-

Diferite metode de prevenire contra arderii compușilor metalului de adaos, se bazează fie pe limitarea accesului oxigenului în zona spațiului arcului și deci reducerea corespunzătoare a oxidării compușilor oțelului, fie pe limitarea intensității de ardere a lor prin conducerea procesului prin întreruperea in-

termitentă a areului.-

De altfel, cel de-al doilea procedeu nu este mai puțin efectiv decât primul, ceea ce se poate vedea din tabela ce urmează /17, 100, 19/ (tabela 2.2).

Eficacitatea protejării contra arderii compusilor simei-electrod

TABELA 2.2.

Obiectul cercetării	Componente în %					U	V
	C	Mn	Si	Gr	P		
Simna - electrod	0,2	0,33	0,23	-	-	-	-
Incarcarea cu desc în apă	0,08	0,21	0,023	-	-	-	-
Simna - electrod	0,72	1,6	0,31	2,79	9,2	0,4	0,34
Incarcarea sub flux AN - 30	0,42	1,46	0,25	2,65	9,92	-	0,32
Incarcarea sub flux AN - 20	0,37	0,94	0,65	2,44	0,6	-	0,32
Incarcarea sub flux AN - 22	0,33	2,35	0,32	1,06	0,05	-	0,30
Incarcarea sub flux AN - 10	0,20	0,44	0,34	2,09	0,44	-	0,41
Simna - electrod	0,70	1,5	0,32	2,95	10,4	-	0,41
Incarcarea în mediul de argon tehnic	0,56	1,41	0,31	2,91	10,3	-	0,40
Incarcarea cu desc	0,20	0,96	0,23	2,76	10,0	-	0,22
Simna - electrod	0,57	0,37	-	-	-	-	-
Incarcarea cu flux cu impulsuri	0,35	0,25	-	-	-	-	-
Simna - electrod	0,13	0,35	-	-	-	-	-
Incarcarea cu flux cu impulsuri	0,07	0,10	-	-	-	-	-
Simna - electrod	0,59	0,6	-	-	-	-	-
Incarcarea cu flux	0,41	0,36	-	-	-	-	-

Autorii lucrării /17/ au efectuat o serie de cercetări experimentale pentru a scoate în evidență cauzele arderii elementelor componente ale oțelului, în cazul încărcării cu procedeul vibroarc și determinarea posibilităților în perspectiva de îmbunătățire calitativă a trecerii metalului.-

Rezultatele cele mai caracteristice ale experimentărilor efectuate, sînt prezentate în tabela 2.3 (ce urmează).

Epruvetele aveau diametrul 25 mm, iar sursa de curent un redresor cu o bobină de inductanță. Încărcarea se făcea în jet de lichid la distanța de 10 mm. de sîrma-electrod. Capătul liber al sîrmei-electrod 8-10 mm.-

Analizînd datele din tabela 2.3 rezultă că eficacitatea protejării contra arderii compușilor oțelului în principal depinde de t_1 și t_2 . Această concluzie intră însă, în contradicție cu o serie de alte lucrări care susțin, că la încărcarea cu vibroarc și jet de lichid acesta protejează metalul încărcat de aerul înconjurător.-

De exemplu, încărcarea nr.4 s-a executat fără lichid de lucru, iar compoziția încărcării nu a suferit pierderi mari. Acest fapt contrazice părerii că jetul de lichid parțial închide zona arcului, influențează asupra compoziției gazului în arc, precum și caracterul acțiunii reciproce în sistemul metal-gaz. Încărcarea nr.8 s-a executat fără vibrarea sîrmei-electrod, iar arderea compușilor sîrmei-electrod în comparație cu o încărcare analoagă nr.7 executată cu vibrarea sîrmei-electrod, nu s-a schimbat. Astfel, se poate considera că îmbunătățirea caracterului de trecere a metalului și îmbunătățirea stabilității de ardere a arcului prin vibrarea sîrmei-electrod nu poate forma cauza principală de protejare a metalului de adaos față de oxigenul din aer.-

Considerentele de mai sus, precum și altele, expuse în lucrarea/17/ se cer să fie confirmate. Problema ar putea să formeze un studiu separat.-

Ceea ce trebuie de subliniat, ca fiind foarte important, este ca autorii demonstrează experimental, că toate rezultatele obținute pentru procedeul vibroarc în întregime este valabil și în cazul încărcării în mediu de CO_2 și în mediul de argon tehnic,

Eficiența protecției contra arderii compresiei simetrice electrod.

TABELA 2.3

Nr. cat.	Obiectul cercetării	Regimul de încălzire		Viteza de avans a simnei a electrodului / m/min	Viteza de rotație la picul de lucru / rot/min	Concentrația lichidului de lucru / g/cm ³	Avans liniar / mm/min	Conținutul elementelor în %						
		Intens. curent. în acc	Tensi. V					Templ. °C	C	Mn	Si	O	Mn	Si
-	Metelul de bază	-	-	-	-	-	-	0,41	0,37	0,034	0,11	0,37	0,034	0,11
-	Sinea - electrod	-	-	-	-	-	-	0,52	0,43	0,105	1	1	1	1
1.	Încalzire	190	0,5	0,75	6	0,7	2	0,02	0,36	0,13	1,01	0,34	0,13	0,99
2.	Idem	129	11	0,75	4	0,7	2	1,1	0,32	0,11	0,94	0,75	0,05	0,95
3.	Idem	140	-	0,75	6	0,7	2	2	0,41	0,16	0,72	0,96	0,07	0,97
4.	Idem	180	17	1,25	6	0,9	2	4,2	0,36	0,13	0,73	0,94	0,06	0,96
5.	Idem	170	22,5	1,7	12	0,7	2	0,5	0,34	0,1	0,5	0,75	0,06	0,76
6.	Idem	220	-	1,7	12	0,7	2	4,2	0,50	0,14	0,75	0,95	0,02	0,97
7.	Încalzire	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	-	1	1	1	1
8.	Idem	100	10	1,5	10	1,5	2	5,2	0,54	-	0,02	0,02	-	-
9.	Idem	120	10	1,5	10	1,5	2	5,0	0,56	-	0,03	0,02	-	-
10.	Idem	200	-	1,5	10	1,5	2	3,0	0,51	-	0,25	0,01	-	-
11.	Idem	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	1	1	-	-
12.	Idem	100	10	0,25	6,2	0,7	2	0,1	0,01	-	0,02	0,01	-	-
13.	Idem	100	10	1,0	6	0,7	2	6,0	0,01	-	0,02	0,01	-	-
14.	Idem	100	10	1,0	6	0,7	2	6,0	0,01	-	0,02	0,01	-	-

atunci cînd aceste procese au loc la încărcare cu vibroarc.-

În concluzie, se stabilește că arderea carbonului la încărcare cu vibroarc, în principal depinde de durata relativă de ardere a arcului. Cu cît perioada de ardere a arcului este mai mare, cu atît sînt mai mari pierderile carbonului în timpul trecerii metalului prin spațiul arcului.-

Arderea manganului și a siliciului la încărcare cu vibroarc în principal depinde de durata totală între timpii perioadei de ardere a arcului și a celei de mers în gol (frecvența impulsurilor). La creșterea acestui timp arderea compușilor crește.

Pentru mărirea trecerii compușilor sîrmei-electrod în stratul depus la încărcare cu vibroarc, se recomandă să fie reduse perioada de ardere a arcului și a mersului în gol (să fie mărită frecvența impulsurilor).-

2.6. Distribuirea temperaturii pe piese încărcate cu procedeul vibroarc.

Încărcarea cu procedeul vibroarc, se deosebește față de celelalte procedee de încărcare cu arc electric, prin acțiuni termice mai mici ale arcului asupra metalului și prin viteze mari de răcire. Aceste deosebiri contribuie la formarea unei zone de influență termică mai mică, desigur cu modificări structurale specifice.-

La încărcarea prin procedeul vibroarc a piesei, aceasta este supusa încălzirii locale intermitente, printr-o sursă concentrată de căldură, care se mișcă pe suprafața ei. Concomitent, suprafața piesei se răcește printr-un jet de lichid de lucru. Combinarea regimurilor de încălzire și răcire condiționează cinetica oîmpului termic și prin urmare și astfel de fenomene ca modificările structurale și de volum în materialul piesei, deformările elastice și plastice și, în fine creșterea tensiunilor interne și formarea fisurilor.-

Experiența arată, că prin modificarea parametrilor regimului de încărcare și mai ales a locului de aducere precum și a consumului lichidului de răcire, se poate obține la încărcare cu vibroarc ca stratul încărcat să aibe durități diferite cu numărul

de fisuri admisibile sau nu.-

Pentru ca, prin ajutorul calculului să se poată evalua influența parametrilor de bază a regimului de încărcare asupra proceselor termice în piesă, este necesar, în primul rând, să existe o apreciere cantitativă asupra caracteristicilor termice a surselor de căldură, folosite la încărcare cu vibroarc.-

Literatura de specialitate nu dispune de astfel de date, sau acolo unde ele există sînt cu totul limitate.-

Astfel, valorile randamentului efectiv de încălzire a metalului cu arcul electric pentru cazul încărcării cu vibroarc, sînt obținute pe căi indirecte și sînt aproximative. În afară de aceasta, creșterea numai a valorii lui η_{in} fără a cunoaște și intensitatea răcirii nu este suficientă /76/. Pentru calculele aproximative pot fi luate valorile $\eta_{in} = 0,45 - 0,6 /100/$.-

În lucrarea /2/ sînt arătate rezultatele cercetărilor asupra măsurării temperaturii în piesa ce se încarcă și sînt făcute comparațiile cu calculele efectuate în cazul proceselor de sudare și încărcare cu arc electric.-

Epruvetele sînt din oțel 40 (norma sovietică) sub formă de cilindru găurit lung de 80 mm. și cu diametru de 65/40 mm. Dimensiunile epruvetei au fost alese astfel, că să corespundă în medie dimensiunilor pieselor reale ce sînt recondiționate prin procedeul vibroarc (tactoare, automobile). Încărcarea se execută cu un cap automat și sîrma-electrod cu conținut înalt de carbon, cu diametrul de 1,5 mm. Tensiunea și intensitatea de curent, au variat în limitele de 16 - 18 V și 140 - 160 A. Viteza de avans a sîrmei-electrod 1,35 m/min. numărul de rotații al piesei 3 rot/min, grosimea stratului încărcat (pe o parte) 1,5 mm.

Capacitatea calorică efectivă a arcului la încărcare cu vibroarc, se determină prin metoda calorimetrică. Corectura datorită întreruperilor în arderea arcului intră în valoarea randamentului efectiv de încălzire a epruvetei, care pentru regimurile de încărcare cu care s-a lucrat, a fost luat de 0,6. Restul condițiilor și date sînt cuprinse în lucrarea /2/. Încărcarea se face depunînd oțte o singură cusătură și fără lichidul de răcire.-

Rezultatele măsurărilor și a calculului ciclului ter-

mic, sînt prezentate în fig. 1.6, și anume sub forma distribuiri temperaturii în lungul dreptei paralele cu axa de deplasare a arcului la distanța de 0,5 cm. de la axa cusăturii depuse (încărcate).-

Calcululele au fost făcute în baza schemei unui corp semiinfinite, pe suprafața căruia se mișcă cu o viteză constantă o sursă concentrată de căldură. Alegerea acestei scheme se justifică prin raportul între dimensiunile geometrice ale epruvetei și a sîrmei-electrod precum și de puterea mică a arcului în cazul procesului vibroarc și comparativ viteza mare de deplasare a sursei de căldură.-

În concluzie, calcululele făcute conform teoriei profesorului N.N.Rikalın /146/ și/150/ pentru procesele termice la sudare și încărcare cu arc electric coincid suficient de bine cu rezultatele experimentale prezentate.-

Caracterul intermitent de ardere a arcului, în cazul procesului vibroarc, nu introduce schimbări esențiale în distribuirea temperaturii.-

Schema de calcul a corpului semiinfinite, pe suprafața căruia se mișcă o sursă de căldură punctiformă poate fi aplicată pentru calculul temperaturii în zona apropiată cusăturii, la încărcare cu vibroarc a pieselor, dimensiunile cărora depășesc dimensiunile epruvetei folosite pentru cercetare.-

În fig. 1.7. sînt reprezentate curbele dependenței dimensiunilor zonei de influență termică a cusăturilor izolate pe epruvetele necălite și călite în funcție de energia termică liniară totală (determinată ca un raport între puterea termică totală a arcului și viteza de încărcare) pentru valorile randamentului efectiv de încălzire a metalului cu arcul $\eta_{in} = 0,45 - 0,60$. Limitele zonelor de temperaturi sînt luate pentru epruvete necălite 723-1400°C, iar pentru cele călite 300-1400°C, căldura specifică volumetrică a metalului $C_p = 1,15 \text{ cal/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$.-

Din această figură rezultă, că dimensiunile zonei de influență termică pe epruvetele călite sînt de aproximativ trei ori mai mari decît pe cele necălite. În intervalul valorilor mai des folosite a energiei termice totale liniare (400-1200 cal/cm), zona de influență termică pe epruvetele necălite este de aproxima-

tiv 0,6 - 1,3 mm, iar pe cele călite aproximativ 1,9 - 3,8 mm.

Materialul documentar /100/ arată, că zona de influență termică, la încărcare cu vibroarc, este de câteva ori mai mică față de alte procedee de încărcare cu arc electric. Acest fapt reprezintă unul din cele mai importante avantaje de încărcare cu vibroarc, care permite utilizarea lui cu succes pentru recondiționarea pieselor tratate termic, a pieselor cu diametre mici, a pieselor cu diametre mici și cu lungimi mari sau forme complicate, care în cazul folosirii altor procedee de încărcare sînt supuse unor importante deformări.-

În ce privește particularitățile modificărilor structurale ale metalului în zona de influență termică, la încărcarea cu vibroarc, ele se caracterizează în general prin următoarele. În condițiile vitezelor mari de încălzire valorile punctelor critice (de transformare) ale oțelului se ridică și se limitează creșterea grăunților austenitei. Aceasta contribuie la îngustarea zonei de influență termică și în particular, a zonei de supraîncălzire la încărcarea oțelurilor cu puțin carbon. Viteze mari de răcire favorizează formarea structurilor călite, iar încălzirea rapidă îngreunează egalizarea prin difuzie a concentrațiilor de carbon în austenită, ajutînd prin aceasta formarea zonelor călite în regiunile unde începe formarea graunților de perlită a oțelurilor cu carbon puțin.-

Cercetările metalografice arată, că structurile martensitice pot fi observate la încărcarea pieselor din oțel, carbon, cu un conținut de carbon de 0,2% și mai puțin. În zona de influență termică a pieselor din oțeluri slab aliate, se observă clar structurile austenitice sau austenitomartensitice.-

2.7. Zona de influență termică.

Încărcarea cu vibroarc se deosebește de alte procedee de încărcare, în special printr-o acțiune termică mai mică a arcului asupra metalului și prin viteze mari de răcire a acestuia. Aceste deosebiri determină particularitățile esențiale ale structurii și proprietățile metalului la încărcare cu vibroarc.-

În procesul de încărcare a stratului se observă o des-

tul de complicată schemă de influență termică a arcului asupra metalului.-

Limitele de temperatură a zonei de influență termică la încărcare cu vibroarc depind de starea structurală a pieselor încărcate.-

Dimensiunile liniare ale zonei de influență termică depind de regimurile de încărcare (tensiunea arcului, intensitatea curentului, viteza de încărcare, debitul lichidului de lucru-răcire, de proprietățile termofizice ale materialului piesei, de dimensiunile piesei și de alți factori).

Utilizarea lichidului de lucru și viteze relativ mari ale încărcării, contribuie la reducerea dimensiunilor zonei de influență termică.-

Schemele de influență termică a arcului asupra metalului, pentru mai multe variante ale încărcării au fost studiate și detaliat cercetate de prof. I.Ia.Pațchevici /100/ și nu ne vom ocupa de ele.-

Unele rezultate sînt prezentate în sub capitolul 1.4, le considerăm valabile și nu se va mai insista asupra acestei probleme.-

2.8. Rolul caracteristicii externe a sursei de alimentare cu curent la încărcare cu vibroarc

În concluziile unui amplu studiu prezentat în lucrarea /97/, rezultă că: generatoarele de sudură cu caracteristica externă brusc coborîtoare, fie că nu pot asigura regimurile stabile de încărcare, fie că îl asigură într-un interval îngust al regimurilor.-

Este rațională utilizarea, pentru alimentarea instalațiilor vibroarc, a generatoarelor cu caracteristicile externe rigide, ce au curenți mari de scurtcircuit la tensiuni de mers în gol relativ joase (10 - 30 V) . În cazul caracteristicilor rigide la generator deranjarea stabilității, ce ar putea duce la un scurtcircuit complet, practic nu este posibil, deoarece chiar și o mică micșorare a spațiului arcului mediu duce la o creștere bruscă a curentului, puterii și vitezei de topire a sîrmei-electrod.-

În consecință, generatoare cu caracteristicile externe rigide, asigură regimurile de încărcare stabile într-un interval destul de larg (punctele a, a', a'', a''' fig.2.8, c). Figura 2.8.b - reprezintă determinarea regimurilor de încărcare stabilă în cazul caracteristicilor externe coboritoare (fig.2.8,a) și rigide (fig.2.8.c) /44/.- Curbele 1, 1', 1'', 1''', reprezintă caracteristicile externe ale generatorului pentru diferite tensiuni de mers în gol. Introducând rezistența în circuitul înfășurării de excitație a generatorului, printr-un reostat, sau acolo unde acest lucru este posibil, prin mutarea periiilor pe colecto-
rul generatorului de sudare, se poate micșora tensiunea de mers în gol și deci a tensiunii punctului de funcționare U_1 . Dar cu reducerea tensiunii de mers în gol se reduce, într-o mai mare măsură, curentul de scurtcircuit, iar caracteristicile externe ale generatorului capătă forma reprezentată în fig. 2.8, c - prin curbele 1, 1', 1'', 1'''. Începând cu o oarecare urcare a tensiunii de mers în gol, puterea maximă pe care o poate asigura generatorul, devine mai mică decât cea necesară, adică caracteristicile externe ale generatorului nu interesează curba regimurilor puterii constante date (curba 4 fig.2.8, b). În acest caz, viteza de topire a sârmei-electrod va fi mai mică decât viteza de avans, ceea ce inevitabil duce la un scurtcircuit continuu și oprirea procesului de încărcare.- Dacă tensiunea u_1'' , ce corespunde punctului de tangentă cu curba 4, varezulta mai mare decât tensiunea normală a arcului U_a , atunci procesul stabilit de încărcare nu poate fi obținut de la acest generator de alimentare.-

În felul acesta, ajungem la ceea ce am afirmat mai sus, că generatoarele de sudură, cu caracteristicile externe brusc coboritoare, fie ca nu pot asigura regimurile stabile de încărcare, fie că îl asigură într-un interval foarte îngust al regimurilor. În consecință sursele de curent pentru instalațiile de încărcare cu vibroarc vor avea caracteristica externă rigidă.-

La fiecare caracteristică externă a sursei de curent, corespunde o dependență a puterii ce dă sursa (generator) funcție de intensitatea curentului (curba 2, fig. 2.8, a). Într-un regim staționar, când viteza de topire este egală cu viteza de avans a sârmei-electrod, din partea sursei (generatorului) se cere o a-
a putere, practic independentă de regimul de încărcare (curba 3, fig. 2.8,a). Dependența tensiunii funcție de intensitatea de

curent la o putere dată invariabilă este reprezentată prin curba 4 (fig.2.8).-

Această curbă este locul geometric al punctelor, ce reprezintă regimurile posibile pentru încărcare, corespunzătoare vitezei de avans constante date a sîrmei-electrod. Puterea necesară la o caracteristică externă dată generatorul poate da numai cu două regimuri, determinate de punctele a și b, corespunzător punctelor a' și b' (fig.2.8, a).-

Cu toate că în ambele cazuri, determinate de punctele a și b, este asigurată puterea necesară pentru un proces staționar și viteza de topire a sîrmei-electrod, din punct de vedere al stabilității aceste două regimuri principial diferă. Regimul corespunzător punctului b (U_2 și I_2) este instabil. Orice micșorare, chiar întîmplătoare, a spațiului arcului duce la micșorarea valorii medii a tensiunii, intensitatea curentului va crește în circuit, însă puterea va scădea producînd o micșorare a vitezei de topire a sîrmei-electrod și prin urmare, o reducere în continuare a spațiului arcului pînă la un scurtcircuit complet. Procesul de încărcare se va opri.-

Dacă însă se va produce o creștere întîmplătoare a spațiului arcului, atunci valoarea medie a tensiunii va crește și va provoca micșorarea intensității curentului. Dar puterea și viteza de topire a sîrmei-electrod în acest caz vor crește, producînd lungirea în continuare pînă cînd intensitatea de curent va scădea la valoarea I_1 , la care viteza de topire a sîrmei-electrod va ~~va~~egală cu viteza de avans a sîrmei-electrod.-

Aceste rezultate le folosim și la determinarea curbei $v_{e \max} = (L)$.

2.9. - Rolul inductanței, a amplitudinii și formei vibrației sîrmei-electrod.

Cercetările arată, că încărcarea cu vibroarc se caracterizează printr-un număr mare de parametri principali electrice și cinematiici variabili interdependenți. Pentru obținerea unui proces stabil, a unui strat încărcat de buna calitate și a unor pierderi cît mai mici din materialul sîrmei-electrod ^{trebuie} să corespundă vitezei de topire a ei. Pentru îndeplinirea acestei condiții este necesar, ca pentru fiștare regim de lucru concret

să fie asigurată valoarea strict determinată a inductanței.-

De fapt, existența inductanței în circuitul principal îndeplinește un dublu rol. Pe de o parte, inductanța trebuie să fie mai mare decât o anumită valoare minimă ce asigură anihilarea perioadelor de mers în gol (din fiecare ciclu), atât pentru îmbunătățirea calității depunerii, cât și pentru îmbunătățirea eficienței procesului. Pe de altă parte, existența inductanței influențează negativ asupra procesului de autoreglare, reținându-l. Ea poate să lucreze chiar în sens opus.-

Spre exemplu, la o scurtare întâmplătoare a spațiului arcului se reduce durata perioadelor de ardere a arcului și crește durata perioadelor de scurtcircuit, adică scade tensiunea medie U_s . În cazul caracteristicii externe rigide al sursei de curent, aceasta trebuie să provoace creșterea bruscă a curentului, puterii și a vitezei de topire a sîrmei-electrod. Însă, la o valoare importantă a inductanței în circuit curentul va crește încet. Această reducere a duratei perioadelor de ardere a arcului și corespunzător cu aceasta, a tensiunii medii la un curent aproape neschimbat, duce la reducerea puterii și vitezei de topire a sîrmei-electrod, adică la o scurtare în continuare a spațiului arcului.-

Durata acestei dezvoltări anormale a procesului, este determinată de valoarea inductanței. La o inductanță mare, dezvoltarea procesului va fi atât de lungă, încît poate să ducă fie la un scurtcircuit continuu în cazul scurtării întâmplătoare a spațiului arcului, fie la o completă eliminare a atingerilor de către sîrma-electrod a piesei și, posibil, la stingerea arcului la o lungire întâmplătoare (accidentală) a spațiului arcului.-

Astfel, procesul de încărcare poate să devină instabil și în cazul sursei de curent cu caracteristică externă rigidă, dacă inductanța circuitului este prea mare. De aceea, este de dorit, ca valoarea inductanței circuitului să fie cît mai mică, dar mai mare decât o valoare minimă pe care o vom determina ulterior.-

Amplitudinea și forma vibrației la fel influențează sensibil asupra stabilității procesului. Cu reducerea amplitudinii vibrațiilor, cele descrise mai sus, în legătura cu existența in-

ductanței în circuit, dezvoltarea anormală a procesului de autoreglare, duce la un scurtcircuit continuu sau la o eliminare a atingerilor de către sîrma-electrod a piesei și la stingerea arcului. De aceea, este de dorit mărirea amplitudinii vibrațiilor. Totuși mărirea importantă a amplitudinii este limitată de factorii tehnologici (înrăutățirea formării stratului încărcat, creșterea pierderilor de metal prin stropire, arderea elementelor componente din sîrma-electrod și altele).-

Este necesar de subliniat, că vibratoarele electromagnetice și cele mecanice cu excentric, practic realizează forma sinusoidală a vibrației sîrmei-electrod. Această formă nu nvan-tajează stabilitatea procesului la tensiunii medii înalte și joase /97/. Încărcarea la tensiuni înalte, apropiate de valoarea tensiunii arcului U_a , corespunde unei durate a perioadelor de scurtcircuit. În acest caz o mică alungire a spațiului arcului poate să ducă la neatingerea de către sîrma-electrod a piesei /97/.

Desfășurarea anormală a procesului de autoreglare, în cazul unei inductanțe mai mari a circuitului, favorizează lungirea spațiului arcului și dereglarea procesului. Studiindu-se oscilogrammele /97/ a mai multor experimentări, se constată, că regimurile de încărcare, mai stabile, se obțin cu tensiuni medii de 15-20 V, adică aproximativ jumătate din valoarea tensiunii arcului U_a , la care durata de ardere a arcului este aproape egală cu durata scurtcircuitului. În această privință autorul are cercetări ale căror rezultate sînt redată în continuare.-

În felul acesta, legătura reciprocă a parametrilor procesului de încărcare cu vibroarc ~~se~~ este sensibil de legătura reciprocă ce există în cazul unui proces de sudare cu arc obișnuit.-

Cum s-a văzut, stabilitatea procesului se obține prin folosirea unor surse de curent cu caracteristicile externe rigide și printr-o alegere corespunzătoare a inductanței circuitului. De dorit o inductanță minimă, care asigură eliminarea ~~mersurilor~~ în gol în fiecare ciclu. Rezultă, că pentru fiecare regim concret de lucru trebuie asigurată strict o valoare determinată a inductanței.-

În afară de aceasta, fiecărui regim de încărcare corespund amplitudinea și forma vibrației sîrmei-electrod optime.-

În capitolul care se ocupă cu determinarea parametrilor ciclului procesului de încărcare cu vibroarc, se va arăta relația prin care se calculează valoarea minimă a inductanței circuitului de sudare, care asigură eliminarea mersului în gol în ciclurile procesului.-

2.10. - Reducerea stropirii metalului și stabilitatea procesului de încărcare cu vibroarc

Reducerea stropirii metalului formează o problemă de bază în perfecționarea procesului de sudare și încărcare cu vibroarc.-

În cazul sudării cu arc scurt-vibroarc, scurtcircuitările dese ale spațiului arcului, printr-o alegere corectă a parametrilor electrici ai circuitului de sudare, se poate reduce stropirea pînă la anumite limite admisibile. La sudarea cu sîrma-electrod cu diametru de 1,2 - 2 mm, este recomandabil a se folosi diferite sisteme de comandă și conducere a procesului, în vederea ridicării stabilității lui și reducerea stropirii.-

Intrucît, în problema stropirii metalului la sudare sau încărcare cu procedeul vibroarc, nu s-au făcut încă cercetări sistematice, se redau mai jos rezultatele unor cercetări ce în multe privințe pot servi ca o orientare pentru viitoarele cercetări.-

Conform celor stabilite în lucrările/41,194/, rezultă drept cauza principală a stropirii la sudare cu arc scurt, explozia electrică în momentul excitării arcului după scurtcircuit.-

În lucrarea /42/, s-a exprimat părerea asupra posibilității reducerii stropirii și ridicării stabilității procesului de sudare cu arc scurt, pe calea reducerii pe timp foarte scurt a puterii exploziei în perioada de început a arderii arcului, după producerea scurtcircuitului.-

Autorul lucrării /23/, arată complexitatea acestui sistem, dar și căile de rezolvare, propunînd trei scheme:

1. Cu două surse de alimentare, avînd tensiuni diferi-

te. Pe timpul scurtcircuitului se conectează sursa cu tensiunea mai mare, iar după ruperea punții metalice la sfârșitul scurtcircuitului, se deconectează sursa cu tensiunea mai mare și se conectează sursa de alimentare cu tensiunea mai mică. Cea din urmă se introduce pe un timp determinat dinainte și stabilit printr-un bloc de comandă a timpului. Sursa de curent se conectează după program, determinat de desfășurarea procesului.-

2. Prin ajutorul a două surse de curent, una de bază, iar cea de-a doua contribuie cu o tensiune suplimentară. În perioada scurtcircuitului, sînt conectate în serie ambele surse. La începutul perioadei de excitație a arcului, sursa cu tensiunea suplimentară se deconectează pe un timp determinat, stabilit dinainte.

3. De la o singură sursă de alimentare cu un rezistor în circuitul de sudare.- În momentul de repere al punții de metal la sfârșitul scurtcircuitului, un comutator introduce în circuit un rezistor și puterea arcului scade. Timpul cît este conectat rezistorul, stabilit la numai cîteva milisekunde, este dirijat de un bloc de comandă, iar momentul conectării se determină de mersul procesului de sudare, ca și în schemele de mai sus. Drept comutator, fără contacte, se folosesc teristoare.-

La sudare, folosind unul din sistemele de dirijare a procesului arătate mai sus, curentul minim în perioada de ardere a arcului, care premerge scurtcircuitului, crește, ceea ce mărește stabilitatea procesului.-

În felul acesta, pe timpul de ardere a arcului în limitele ciclului, energia se redistribuie: micșorarea curentului imediat după excitarea arcului se compensează prin creșterea lui către sfârșitul ciclului (fig.2.9) /23/-

Cercetările efectuate au arătat că, curbele $\psi = f(R)$ au un minim, care corespunde valorii lui $R = 0,05 - 0,1$ ohmi și $\psi = 4\%$ (fig. 2.10, a).

Caracteristic este faptul că și cu creșterea rezistenței frecvența scurtcircuitelor într-o oarecare măsură crește (Fig.2.10, b) ceea ce are explicația prin reducerea tensiunii arcului, cînd celelalte condiții sînt egale.-

CAP. 3 - CARACTERISTICILE STATICE IN PROCESUL VIBROARC
=====

3.1. - Caracteristicile statice ale sistemului de autoreglare a arcului

Fenomenul de autoreglare la sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, este specific în întregime sistemului și nu numai descărcărilor arcului și se determină prin variația valorilor medii și nu celor instantanee ale lungimii arcului, tensiunii și intensității curentului /42, 121/. În baza acesteia se face studiul și analiza cantitativă a stabilității regimului încălzirii cu vibroarc.-

Sistemele de autoreglare a arcului sînt determinate în primul rînd prin caracteristicile sale statice, care exprimă dependența $I_a = f(U_a)$ la $v_e = \text{const.}$ numite curbe de funcționare stabile a capului automat cu viteza de avans constantă a sîrmei-electrod /91/.- Aceste caracteristici se determină experimental.-

Însă, în baza lucrărilor /25,111,91/ se stabilește metoda analitică de determinare a caracteristicii statice de autoreglare a arcului.-

Particularitățile de autoreglare a lungimii arcului și a altor parametri a sudării cu arc electric, se determină în principal prin caracterul dependenței vitezei de topire a sîrmei-electrod în funcție de valoarea intensității curentului și a tensiunii arcului.-

Cele de mai sus, se referă însă la cazul autoreglării arcului lung. În acest caz ecuația caracteristicii statice a sistemului de autoreglare este conform /139/.-

$$U_a = \frac{k_{ai}}{k_{au}} I_a - \frac{v_t}{k_{au}} \quad (3.1.)$$

unde k_{ai} , k_{au} - coeficienți de autoreglare a arcului după intensitatea de curent în cm/A.s și după tensiune în cm/V.s acești coeficienți se determină experimental pentru diferite diametre ale sîrmei-electrod și densității de curent.-

Se consideră că viteza de avans a sîrmei-electrod v_e

este egală cu viteza de topire a ei v_t .

În lucrările /111, 133, 139/ se arată, că sistemul de autoreglare se poate considera ca un sistem de reglare automată a curentului arcului. De aceea, ecuația caracteristicii statice a sistemului de autoreglare /91/ poate fi scrisă sub forma $I_a = f(U_a)$.-

Relația (3.1.) arată, că la sudarea fără scurtcircuitări a spațiului arcului, caracteristicile statice de autoreglare au forma lineară, iar valoarea derivatelor $\frac{\partial U_a}{\partial I_a}$ este totdeauna pozitivă, adică înclinarea caracteristicii este spre dreapta. Aceasta condiționează o creștere bruscă a puterii arcului cu creșterea curentului. Cele afirmate mai sus, de fapt se confirmă prin caracteristicile statice obținute pe cale experimentală de cercetările publicate în lucrarea /139/.-

În lucrarea /113/ se arată, că la sudarea cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, independent de cum se produc ele "de la sine" sau sînt un rezultat al vibrației sîrmei-electrod (vibroarc), viteza de topire a sîrmei-electrod este proporțională cu puterea necesită de proces, adică produsul între intensitatea medie de curent și tensiunea medie între sîrma-electrod și piesă /121/. Din lucrarea /110/ rezultă, că această particularitate de topire a sîrmei-electrod, condiționează diferențele esențiale a "mecanismului" de autoreglare și a condițiilor de stabilitate a procesului de sudare și încărcare cu scurtcircuitările spațiului arcului, în comparație cu sudarea cu arc electric lung. Natural, trebuie să difere și caracteristicile statice de autoreglare.-

În literatura tehnică de specialitate, nu sînt comunicate cercetările asupra caracteristicilor de autoreglare a procesului de sudare cu scurtcircuitări sistematice ale spațiului arcului. Forma acestor caracteristici este cunoscută de fapt numai în baza unor experiențe ce urmăreau rezolvarea ^{cu} totului altor probleme /111/.-

În lucrarea /25/ se demonstrează analitic și se trasează grafic forma caracteristicii statice a sistemului de autoreglare a arcului pentru cazul arcului lung (fig.3.1). Înclinarea caracteristicii de autoreglare este condiționată, așa cum este a-

rătat în lucrarea amintită, în principal de coeficientul k_{au} . La un $k_{au} = 0$ aceste caracteristici devin verticale, și sistemul de autoreglare se transformă într-un sistem astatic de stabilizare a curentului arcului.-

Inclinarea caracteristicilor statice de autoreglare, arată că, cu creșterea tensiunii intensitatea curentului arcului, crește, asigurând egalitatea vitezelor de avans și de topire a sîrmei-electrod (fig.3.1).-

Rezultatele obținute, au fost verificate experimental pentru trei medii de protecție: argon, bioxid de carbon și amestec între argon și bioxid de carbon.-

Problemele prezentate mai sus, se referă la sudarea cu arc lung, adică, atunci cînd are loc o autoreglare ideală, ele servesc nouă drept orientare pentru cazul procesului vibroarc (cu arc scurt).-

La sudarea cu scurtcircuitările dese periodice ale spațiului arcului, nu se produce o autoreglare a arcului, ci o autoreglare a topirii sîrmei-electrod, sau așa numita autoreglare integrală - noțiunea introdusă la subcapitolul (2.4).-

În acest caz, funcția $I_a = f(U_a)$ la $v_t = \text{const.}$ poate fi numită curba de reglare și nu caracteristica statică, întrucît procesul este cvasistaționar. Cercetările au arătat /25/ că, curbele $I_a = f(U_a)$ au înclinație opusă în comparație cu caracteristicile analoge, construite pentru cazul arderii neîntrerupte a arcului.-

Acest fenomen se explică prin aceea, că sîrma-electrod se topește numai în timpul arderii arcului. Cu creșterea tensiunii se mărește durata de ardere a arcului, în limitele ciclului și scade timpul de scurtcircuit, ceea ce duce la mărirea vitezei de topire a sîrmei-electrod la $I_a = I_s = \text{const.}$ și la reducerea intensității de curent la $v_t = \text{const.}$

x

x x

Automatele cu viteză constantă de avans a sîrmei-electrod, care sînt bazate pe principiul autoreglării arcului au atîta o largă utilizare.-

- // -



3.2. - Determinarea caracteristicilor statice ale sistemelor cu autoreglare a procesului de sudare cu vibroarc.

Caracteristicile statice ale sistemelor de autoreglare a proceselor de sudare cu arc (numite și caracteristicile de funcționare stabilă a sistemului) și caracteristicile statice ale arcului la viteza de avans constantă a sârmei-electrod /95/ reprezintă curbele de dependență între tensiunea arcului și intensitatea curentului la valorile constante ale tuturor parametrilor regimului, afară de tensiunea de mers în gol a sursei de alimentare cu curent și a rezistenței circuitului de sudare /139/.

În fig. 3.2, a, sînt prezentate caracteristicile statice de autoreglare la încărcare cu vibroarc, determinate pe cale experimentală și publicate în lucrarea /111/. Datele au fost obținute cu ocazia studierii parametrilor ciclurilor procesului vibroarc. Încărcarea se execută cu sârma-electrod de 2 mm. diametru din oțel 1 H 18 N 9 T, iar mediul protector era CO₂, viteza de avans a sârmei-electrod a fost 1,79 cm/s, frecvența de vibrație 47,5 Hz, încărcarea cu polaritatea inversă.-

În fig. 3.2^b, sînt reprezentate caracteristicile statice de autoreglare la sudare automată cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului tot în mediul de CO₂. Curbele din fig. 3.2.b, sînt trasate în baza datelor publicate în /156/ și /111/, cercetătorii însă au urmărit rezolvarea altor probleme.- S-a lucrat cu polaritatea inversă. Caracteristicile statice de autoreglare sînt construite luînd în considerare valorile medii ale tensiunii între electrod și piesa și intensitatea medie de curent, aceste valori le numim de lucru, respectiv U_s și I_s, deoarece încărcarea cu vibroarc este însoțită de variațiile tensiunii și intensității curentului.-

Relațiile ce pot fi folosite la calcularea și analiza valorilor U_s și I_s sînt cele deduse în lucrarea /113/ și anume:

$$U_s = \frac{1}{2} \left[U_0 + \sqrt{U_0^2 - 4000 k_r r_e U_0^{3/4} d_e^{5/3} (k_v + k_c v_e)} \right] \quad (3.2)$$

$$\text{și} \quad I_s = \frac{U_0 - U_s}{r_e} \quad (3.3)$$

semnificația literelor este aceeași cu cele arătate și explicate

în sub capitolul "Caracteristicile de topire ale sîrmei-electrod la încărcarea cu vibroarc".-

Cele de mai sus arată clar că, caracteristicile statice de autoreglare a procesului de sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, se deosebesc cu totul evident de caracteristicile de autoreglare a procesului de sudare cu arc lung. Particularitățile de bază, ale celor dintîi, constau în aceea că ele au forma aproximativ hiperbolică cu derivata $\frac{\partial U_s}{\partial I_s} < 0$. Totodată valoarea absolută a derivatei scade (înclinarea caracteristicii spre stînga se mărește) cu creșterea curentului.-

În fig. 3.3, sînt reprezentate caracteristicile statice de autoreglare la încărcarea cu vibroarc în jet de lichid (apa) cu sîrma - electrod marca $S_v - 08$ (compoziția chimică: $C=0,10\%$ max; $Mn = 0,35 - 0,60\%$; $Si = 0,03\%$; $Cr \leq 0,15\%$; $Ni = 0,30\%$; $S=0,04\%$ max; $P = 0,04\%$ max), $d_e = 2$ mm; $l = 1,0$ cm; $f = 47$ Hz, cantitatea de lichid $Q_a = 1,0$ l/min. Caracteristicile statice de autoreglare la sudarea cu curent cu polaritate directă au aceeași formă ca și la sudarea cu polaritate inversă (fig.3.3).

Astfel de formă a caracteristicilor determină particularitatea schimbărilor a intensității de curent și tensiunii de sudare odată cu schimbarea parametrilor sursei de curent și a circuitului de sudare.- Astfel, de exemplu, reducerea tensiunii de mers în gol a sursei de alimentare cu curent, cu caracteristica externă alungită, trecînd punctul de funcționare de regim din A în B (fig. 3.4), duce în cazul sudării cu arc lung, la reducerea tensiunii și intensității de curent a arcului (fig. 3.4, a), iar la sudarea cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, duce la reducerea tensiunii de sudare (de lucru) și la creșterea acesteia la reducerea tensiunii de sudare (de lucru) și la creșterea intensității curentului de lucru (fig. 3.4, b). Cu creșterea rezistenței circuitului, punctele de funcționare trec din A în C, ca urmare, în primul caz scade intensitatea de curent și tensiunea, iar în cel de-al doilea - tensiunea scade, iar intensitatea de curent crește.-

În concluzie, sudarea (încărcarea) cu vibroarc cînd viteza de topire a sîrmei-electrod crește cu creșterea și a intensității de curent și a tensiunii de lucru, caracteristicile sta-

tice de autoreglare, sînt înclinate spre stînga în raport cu axa curenților. Înclinarea lor crește cu creșterea curentului.-

3.3. Caracteristicile statice și rapiditatea acțiunii sistemului de autoreglare la sudarea cu arc instabil

Relația (3.1.) s-a dedus pornind de la formula stabilită în lucrarea /139/ -

$$v_t = k_{ai} I_a - k_{au} U_a \quad (3.4)$$

unde k_{ai} - coeficient de autoreglare a procesului după intensitatea de curent;

k_{au} - coeficient de autoreglare a procesului după tensiune;

I_s - intensitatea curentului de sudare; U_s - tensiunea la sudare;

U_a - tensiunea arcului; $a = \frac{t_a}{t_e}$ - durata relativă a ciclului

v_t - viteza de topire a sîrmei-electrod; v_e - viteza de avans a sîrmei-electrod;

valabilă pentru sudare cu arc lung. Pentru sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului (și fără suprapunerea impulsurilor de curent peste arc), relația devine:

$$v_t = k_{ai} I_a + k_{au} U_a \quad (3.5)$$

Înlocuind U_a respectiv I_a prin valorile lor la sudare (adică $I_a = I_s$ și $U_s = U_a \cdot \frac{t_a}{t_e} = U_a \cdot a$) obținem:

$$v_t = k_{ai} I_s + k_{au} U_s \quad (3.6)$$

Ținînd cont, că la stabilitatea statică a sistemului, viteza de topire a sîrmei-electrod (v_t) este egală cu viteza ei de avans (v_e) putem scrie:

$$I_s = \frac{v_e}{k_{ai}} - \frac{k_{au}}{k_{ai}} \cdot U_s \quad (3.7)$$

sau notînd cu $I_d = \frac{v_e}{k_{ai}}$, obținem:

$$I_s = I_d - \frac{k_{au}}{k_{ai}} U_s \quad (3.8)$$

În ecuația (3.8) I_d - curentul, ce depinde de v_e , iar

$\frac{k_{au}}{k_{ai}} U_s$ - mărimea, ce caracterizează abaterea lui I_s ca rezultat

al influenței U_s asupra lui v_t .-

În urma experimentărilor efectuate /133/ a rezultat, că cu creșterea densității de curent k_{ai} și k_{au} cresc, iar raportul

$\frac{k_{ai}}{k_{au}}$ scade.-

Analizînd ecuația (3.8), rezultă, că, la creșterea tensiunii de lucru a procesului, curentul de sudare scade. Prin urmare, caracteristica statică (tensiune-curent) a sistemului de autoreglare a procesului de sudare cu scurtcircuitările spațiului arcului (fig.3.5) va avea derivata negativă, adică $\frac{\partial U_s}{\partial I_s} < 0$. Tocmai aceasta formă a caracteristicilor a fost obținută și în lucrările /111, 25/.-

Din /140/ se știe, că abaterea intensității de curent este legată de schimbarea lungimii arcului, adică $\Delta I_a = \frac{l_a}{K_s} \cdot E_c$ iar abaterea tensiunii este $\Delta U_{al} = \Delta l_a \cdot E_c$. Aceste relații, evident, sînt valabile și pentru procesul de sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, dacă luăm în considerare valorile medii pe ciclu ale mărimilor (din relații).-

În cazul nostru, avem:

$$I_s = - \frac{l_{a,md}}{K_s} \cdot E_c, \quad (3.9)$$

$$U_{s,l} = l_{a,md} \cdot E_c \quad (3.10)$$

unde $l_{a,md}$ - lungimea medie a arcului; E_c - intensitatea cîmpului electric în coloana arcului; K_s - coeficientul de stabilitate a sistemului.-

Schimbarea lungimii medii a arcului $l_{a,md}$ este posibilă prin deranjarea egalității $v_e = v_t$. Însă la $v_e = \text{const.}$ schimbarea lungimii medii a arcului este legată, evident, de schimbarea lui v_t cu valoarea

$$\Delta v_t = k_{ai} \Delta I_s + k_{au} \Delta U_s \quad (3.11)$$

Ținînd cont de relațiile (3.9) și (3.10), precum și de cele stabilite în lucrările /134, 140/ efectuînd transformările necesare se obține:

$$\Delta v_t = -\Delta l_{a,md} E_c \cdot \frac{k_{au}}{K_s} \cdot \left(\frac{k_{ai}}{k_{au}} + \frac{\partial U_s}{\partial I_s} \right) \quad (3.12).$$

Semnele lui v_t și ale lui $l_{a,md}$ vor fi diferite, adică sistemul va acționa asupra acelor abateri ce sînt legate de schimbarea lungimii arcului și va menține egalitatea $v_a = v_t$, dacă:

$$\frac{k_{ai}}{k_{au}} + \frac{\partial U_s}{\partial I_s} > 0 \quad (3.13)$$

Din datele experimentale obținute rezultă că, cu creșterea densității de curent, raportul $\frac{k_{ai}}{k_{au}}$ scade. De aceea panta de coborîre a caracteristicii externe $\frac{k_{ai}}{k_{au}}$ a sursei de alimentare cu curent a arcului de sudare în acest caz, este necesar să fie micșorată. Iată, încă o constatare importantă pentru alegerea sursei de alimentare cu curent.-

Rapiditatea (sensibilitatea) restabilirii echilibrului în sistem (intensitatea autoreglării) se evaluează prin raportul /12, 13/.

$$K_{ra} = \frac{\Delta v_t}{\Delta I_a} \quad (3.14)$$

În cazul sudării cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului (vibroarc), obținem:

$$K_{ra} = - E_c \cdot \frac{k_{au}}{K_s} \left(\frac{k_{ai}}{k_{au}} + \frac{\partial U_s}{\partial I_s} \right), \quad (3.15)$$

adică, coeficientul de rapiditate acționării sistemului K_{ra} crește cu creșterea intensității cîmpului electric în colana arcului (E_c) și a densității de curent în sîrma-electrod, precum și cu micșorarea pantei de cădere a caracteristicii externe a sursei de alimentare cu curent și a coeficientului de stabilitate.-

În concluzie, putem spune că intensitatea de autoreglare a procesului de sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, crește cu creșterea densității de curent în sîrma-electrod și cu scăderea pantei de cădere a caracteristicii externe a sursei de curent.-

3.4 - Menținerea staționară a procesului la sudare cu autoreglare a regimului

Problema menținerii staționare a procesului de sudare cu arc electric cu autoreglare, de obicei se leagă de stabilitatea structurală a sistemului: arc - sursa de alimentare cu curent și

de caracterul perturbărilor ce acționează. Totuși, stabilitatea structurală a sistemului de autoreglare nu reprezintă condiția suficientă de menținere staționară a procesului de sudare cu arc electric, chiar și în lipsa a oricăror perturbări /24/.-

Conform celor arătate în lucrarea /24/, se recomandă ca analiza staționării procesului să fie făcută fără a ține cont de procedeul de sudare cu arc electric (manual, sub flux, vibroarc, etc), ci varietatea ce caracterizează procedeul sudării cu arc electric. În acest sens se propun variantele: sudarea cu arc scurt (proces cu scurtcircuitările periodice dese ale spațiului arcului) deci este cazul procesului vibroarc, sudarea cu arc lung, (scurtcircuitările și întreruperile arcului lipsesc), și sudarea cu întreruperile periodice nesistematice ale arcului.-

Funcționarea instabilă a sistemului cu autoreglare la sudare cu arc scurt este provocată de necorespondența între tensiunea sistemului de alimentare a parametrului prescris a sistemului cu autoreglare și viteza de avans a sârmei-electrod /41,24/.

Decurgerea stabilă a procesului cu arc scurt, este posibilă îndeplinind următoarele condiții, care asigură trecerea neîntreruptă a curentului /27/.-

- Tensiunea arcului trebuie să fie astfel, ca valoarea curentului ce se stabilește în arc să fie mai mică decât curentul necesar pentru topirea sârmei-electrod cu o viteză egală vitezei ei de avans.-

- Este necesară existența unei anumite inductanțe în circuitul de sudare.-

- Valoarea maximă (de vîrf) a curentului, trebuie să fie mai mică decât curentul de scurtcircuit stabilizat.-

Prima condiție, rezultă din lucrarea /41/, de fapt aceeași condiție determină existența procesului de sudare cu arc scurt.-

Din lucrările/27, 41/ se pot trage concluzii asupra caracteristicilor surselor de alimentare cu curent.-

Astfel, la deranjarea corelației între tensiunea arcului și viteza de avans a sârmei-electrod, cînd sistemul de auto-

reglare funcționează în regim instabil, proprietățile dinamice ale surselor de curent joacă un rol important. Acest lucru este confirmat de practica sudării cu arc scurt.-

De altfel, s-a mai precizat, că la sudarea cu arc scurt sursa de alimentare cu curent trebuie să aibă caracteristica externă rigidă sau alungită.-

După părerea exprimată în lucrarea /24/, această caracteristică rigidă este necesară nu pentru intensificarea autoreglării, ci pentru ruperea sigură a punții metalului lichid la sfârșitul scurtcircuitului. Practica arată, că sursele de alimentare cu curent cu caracteristicile externe brusc coborâtoare, adică cu un curent de scurtcircuit stabilizat nu prea mare, nu asigură ruperea punții, ca urmare se observă perturbarea în funcționare staționară provocată de "înghețarea" sârmei-electrod.-

Din acest punct de vedere, se poate explica rolul vibrațiilor sârmei-electrod ca pe un factor, ce ridică stabilitatea procesului de sudare (încărcare).-

Se poate deci afirma, că rolul principal al vibrației sârmei-electrod constă în a facilita ruperea punții de metal topit și limitarea timpului de scurtcircuit, ceea ce este extrem de important la tensiuni mici ale arcului (vibroarc).-

CAP. 4 - PARAMETRII DE BAZA SI INTERDEPENDENTA GENERALA INTRE
=====

PARAMETRII PROCESULUI LA INCARCARE CU VIBROARC
=====

4.1. - Interdependența generală între parametrii procesului la
încărcare cu vibroarc

Particularitatea principală a procesului la încărcare cu procedeul vibroarc, condiționată de vibrarea impusă a sârmei-electrod, este alternarea perioadelor de ardere a arcului cu perioadele de scurtcircuitare când sârme-electrod atinge piesa. Durata acestor perioade de ardere, respectiv de scurtcircuitare a arcului, este mică, atunci când frecvența de vibrație a sârmei-electrod este mare (de obicei între 25-100 Hz). În aceste condiții, circuitul electric principal fig.1.1. se află mereu în regim tranzitoriu, iar caracterul acestuia în mare măsură se determină prin inductanța sa.-

În perioadele de scurtcircuit, curentul în circuit crește. Viteza de creștere a curentului este cu atât mai mare, cu cât este mai mare f.e.m. a generatorului și mai mică inductanța circuitului.-

La un regim dat, în perioada scurtcircuitării spațiului arcului capătul sârmei-electrod se află în metalul topit al băii de sudare.-

La îndepărtarea sârmei-electrod de baia metalică (piesa), se produce arcul electric. Arcul se produce în toate cazurile, independent de valoarea f.e.m. a generatorului. Dacă f.e.m. a generatorului este mai mică decât tensiunea arcului (aceasta este regim normal de încărcare cu vibroarc), atunci curentul în circuit scade. F.e.m. de autoinducție ce se produce în acest caz se adună cu f.e.m. de bază și se asigură astfel tensiunea necesară pentru arc (în limitele de circa 15-35 V).-

În cazul când inductanța circuitului este insuficientă, curentul scade până la valoarea zero, arcul se stinge înainte de a se produce următorul scurtcircuit. În acest caz, ciclul constă din trei perioade: scurtcircuit, arderea arcului și mersul în gol. Existența perioadei de mers în gol cauzează, în acest regim, o

foarte slabă calitate a stratului încărcat. Dacă inductanța circuitului de sudare este suficientă, în momentul scurtcircuitului curentul nu reușește să scadă la zero, arcul arde pînă la următorul scurtcircuit, cînd curentul crește din nou (fig.4.1, a) /97/, iar fig. 4.1., b. reprezintă procesul instabil de încărcare.-

Dacă în prima aproximație se admite că tensiunea în perioada de ardere a arcului U_a este constantă, iar în perioada de scurtcircuit egală cu zero, atunci conform relației din /177/, avem:

$$\frac{t_a}{t_c} = \frac{U_s}{U_a} \text{ sau } U_s = U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} \quad (4.1.)$$

adică, tensiunea medie U , indicată de voltmetru este proporțională cu raportul între $\frac{t_a}{t_c}$ (t_a - durata perioadei de ardere a arcului și t_c - durata totală a ciclului).

Raportul între durata de ardere a arcului și cea de scurtcircuit la o amplitudine și forma vibrației sîrmei-electrod date, depinde de lungimea medie a spațiului arcului, cu creșterea căruia crește durata de ardere a arcului, iar durata scurtcircuitului scade /97/.-

La încărcare cu vibroarc, dependența între tensiunea medie funcție de lungimea medie a spațiului arcului se explică, în principal, prin modificarea duratei relative de ardere a arcului $\frac{t_a}{t_c}$ și nu prin modificarea tensiunii arcului U_a .

La variațiile spațiului arcului, în limitele amplitudinii de vibrație a sîrmei-electrod (1,5 - 3 mm), cînd se produc încă atingerile piesei de către capătul sîrmei-electrod, se poate admite că tensiunea arcului nu depinde de lungimea spațiului arcului.-

Dacă lipsesc rezistența de șuntare R_s (vezi schema fig.1.1) și perioadele de mers în gol, valoarea medie a intensității de curent pe perioada de ardere a arcului, se poate admite că este egală cu valoarea medie pe perioada de scurtcircuit egală cu valoarea medie pe ciclu, indicată de ampermetru /97/. Valoarea medie a intensității curentului I la o tensiune medie dată U_s se determină din caracteristica externă a generatorului de alimentare cu curent.-

Topirea sîrmei-electrod, practic se produce numai în

perioada de ardere a arcului. Viteza instantanee de topire este proporțională cu intensitatea curentului prin arc. Viteza medie de topire pe durata unui ciclu este proporțională cu valoarea medie a curentului, precum și cu timpul relativ de ardere al arcului $\frac{t_a}{t_c}$, și ca urmare și cu valoarea medie a tensiunii U /97/.

Urmare celor de mai sus, se poate admite, că viteza medie de topire a sîrmei-electrod, în condițiile egale de încărcare, este proporțională cu produsul între tensiunea medie și intensitatea medie de curent care la valoarea admisă de $U_s = \text{const.}$ reprezintă de fapt puterea medie consumată,

$$P = U_s \cdot I_s$$

Viteza medie de topire a sîrmei-electrod, determină variația (schimbările) spațiului arcului. Cu alte cuvinte, dacă viteza de topire este mai mare decît viteza de avans a sîrmei-electrod, atunci spațiul arcului se lungeste și invers.-

În felul acesta, conform celor de mai sus, între mărimile de bază ce caracterizează procesul de încărcare cu ~~arc~~ vibroarc, adică: valorile medii ale tensiunii, intensității de curent, puterii, vitezei de topire, lungimile spațiului arcului și raportul timpilor de ardere a arcului și cel al scurtcircuitului, există o anumită dependență. Modificarea uneia din ele duce la modificarea celorlalte.-

Pentru o încărcare de calitate este necesar ca procesul să fie staționar, adică mărimile amintite să rămînă neschimbate în procesul de încărcare.-

Totuși, în condițiile reale de lucru, a obține un proces perfect staționar nu este posibil din cauza unor factori perturbatori ocazionali, cum ar fi de exemplu: alimentarea neuniformă cu lichidul de lucru, variațiile tensiunii în rețea de alimentare cu curent și altele.- Dacă regimul de lucru este stabil, atunci aceste abateri ocazionale, chiar și cele foarte mici duc la perturbații de durată a procesului de încărcare sau chiar la oprirea sau întreruperea acestuia.-

Stabilitatea regimului de încărcare este determinată de mai mulți factori și mai ales de: caracteristica externă a

sursei de curent, amplitudinea și forma vibrației sîrmei-electrod.

Sub forma dispartată, unele interdependențe au fost arătate și în alte capitole, însă nu sub forma unui principiu general, care este valabil la procedeul vibroarc.-

4.2. - Sistemul de ecuații ce reprezintă interdependența între parametrii de bază ai procesului vibroarc

Procesul de sudare (încărcare) cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului - vibroarc - se caracterizează printr-un șir de Parametri, ce pot fi divizați în două grupe: inițiale (de plecare) și de lucru. Cele inițiale sînt: tensiunea de mers în gol a sursei de curent U_0 ; rezistența echivalentă r_e ; inductanța circuitului de sudare L ; diametrul sîrmei-electrod d_e ; viteza de avans a sîrmei-electrod v_e ; compoziția chimică a sîrmei-electrod; lungimea capătului liber al sîrmei-electrod H și altele.

Cele de lucru sînt: valorile medii ale intensității curentului I_s și ale tensiunii U_s ale procesului; tensiunea arcului U_a ; durata de ardere a arcului t_a și lungimea medie a spațiului arcului l_{md} ; valorile maximă I_{max} și minimă I_{min} ale intensității curentului în circuit; frecvența scurtcircuitelor f și durata unui scurtcircuit t_k ; durata unui ciclu t_c a procesului și altele.-

S-a arătat mai înainte, existența unor legături reciproce între parametrii făcînd parte din aceste două grupe.-

Mai jos sînt prezentate expresiile matematice ale interdependenței între parametrii enumerați mai sus ale procesului la sudarecu curent de polaritate inversa, ținînd cont de următoarele aproximări admisibile:

- parametrii luați separat ai ciclurilor procesului coincid între ei. În același timp, la fiecare ciclu de variație a intensității curentului și a tensiunii lipsește mersul în gol, iar derivata $\frac{dI}{dt}$ pe perioada de ardere a arcului este mai mică de zero;

- Caracterul real de variație a intensității curentului și a tensiunii procesului (fig.2.2, a) - se înlocuiește printr-o schemă simplificată (fig. 2.2,b);

- suprafața băii de sudare și picătura metalului topit la capătul sârmei-electrod nu sînt în mișcare, ceea ce permite ca lungimea arcului să fie determinată în baza schemei din fig. 4.2.;

- sursa de alimentare cu curent de putere limitată, are rezistență echivalentă independentă de sarcină.-

Admițînd cele de mai sus se poate alcătui prin deducere folosindu-ne de figurile 2.2. și 4.2, următoarele ecuații:

$$l_{md} = \frac{v_e}{2} \cdot t_a \quad (4.2)$$

$$t_c = t_a + t_k \quad (4.3.)$$

$$\frac{t_a}{t_c} = \frac{U_s}{U_a} \quad (4.4.)$$

$$I_s = \frac{U_o - U_s}{r_e} \quad (4.5.)$$

$$f = \frac{1}{t_c} \quad (4.6.)$$

care împreună cu cele ce urmează și sînt cunoscute în literatură /90/:

$$U_a = a + b l_{md} + c I_s \quad (4.7)$$

$$U_s = \frac{1}{2} \left[U_o + \sqrt{U_o^2 - 4000 k_r r_e U_o^{0,75} a^{1,7} (k_v + k_e v_e)} \right] \quad (4.8.)$$

$$t_k = \frac{2I_s}{U_s} (I_{max} - I_s) \quad (4.9.)$$

$$I_{max} = (1,2 - 550 L) (115 + 1,33.I_s) \quad (4.10)$$

reprezintă expresiile matematice de interdependență între parametrii de bază de pornire și de lucru ai procesului.

În expresiile de mai sus: a - este suma căderilor de tensiune anodică și catodică; b- este intensitatea cîmpului electric în coloana arcului; c - coeficientul ce caracterizează panta caracteristicii statice a arcului față de axa curenților; k_r , k_v , k_c - coeficienții ce depind de rezistența echivalentă a circuitului de sudare, lungimea capătului liber și analiza chimică a sârmei-electrod, valorile lor sînt date în literatura de specialitate.-

În ceea ce privește relația(4.9) se precizează, ca la bază este luată în considerare (fig.2.2 ,b,)adică schema simplificată, a oscilografei intensității de curent și a tensiunii. Pornim de la ecuația diferențială ce exprimă regim nestaționar a circuitului electric în perioada de scurtcircuit:

$$U_0 = i_k \cdot r_e + L \cdot \frac{d i_k}{d t}$$

Pentru cazul cînd $i_k = I_s$ și ținînd cont că:

$$\frac{d i_k}{d t} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{t_k}$$

obținem:

$$U_0 = I_s \cdot r_e + L \cdot \frac{I_{\max} - I_{\min}}{t_k}$$

Rezolvînd această relație în funcție de t_k și ținînd cont de relația (4.5) și că $I_s = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}$ obținem formula (4.9)

Relația(4.10) este obținută ca rezultat al studierii unui număr important de oscilograme ale intensității de curent și tensiunii executate cu ocazia încărcărilor cu vibroarc și publicate în lucrările/100, 105/.

Condițiile de lucru asigură precizia de calcul în limitele de $\pm 15\%$.

Conform sistemului de ecuații (4.2-4.10) se poate pornind de la parametrii inițiali ai regimului - determină parametrii de lucru ai procesului.-

Din sistemul de relații prezentat mai sus, se observă că este simplu de calculat următoarele valori: U_s , I_s , I_{\max} și t_k din relațiile (4.8, 4.5, 4.10, 4.9). După aceea, rezolvînd ecuațiile (4.2, 4.3, 4.4, 4.7) în funcție de t_c se obține o ecuație de gradul doi, al cărei rădăcină reală este:

$$t_c = \frac{-(a+cI_s - U_s - b v_e t_k) + \sqrt{(a+cI_s)^2 - 2U_s(a+cI_s - b v_e t_k - \frac{1}{2} U_s)}}{b \cdot v_e} \quad (4.11)$$

După ce se calculează t_c , folosind ecuațiile (4.3, 4.2, 4.6, 4.7) este ușor de determinat valorile lui l_{md} , t_a , f și U_a .

Trasînd curbele de dependență între f și v_e (fig.4.3,) a și b și f funcție de d_e și r_e (fig.4.4, a și b) observăm că acestea au câte un maximum. Valoarea frecvenței maxime a scurtcircuitărilor crește cu scăderea diametrului sîrmei-electrod. Calculele executate de /112/ la fel arată că în mod analog există dependența între f și U_0 . În toate cazurile frecvența maximă scade cu creșterea inductanței circuitului. După cum se vede din fig. 4.4., asupra valorii maxime a lui f influențează compoziția chimică, precum și viteza de avans a sîrmei-electrod. Cu creșterea inductanței circuitului frecvența scurtcircuitelor scade (fig.4.5).

Caracterul dependenței stabilit în baza calculelor matematice, se confirmă experimental. Astfel, unele din date experimentale sînt redate în lucrările /109, 156, 193/ din care se reproduc sub formă de tabel.

Tabela: 4.1.

Parametrii regimului de sudare					Frecvența sc.circ.	
v_e cm/s	d_e mm.	U_s V	I_s A	L mH	calculată	experimentată
3,17	2,0	18,5	195	0,32	43	39 /109/
7,00	0,8	20,0	95	-	125	100 /193/
4,24	1,2	18,5	120	-	94	90 /156/

Din aceste cifre se poate face aprecierea preciziei cu care se calculează parametrii regimului de sudare, care după cum se vede, este acceptabilă.-

În fig. 4.6 sînt trasate curbele determinate prin calcul, precum și cele obținute pe cale experimentală, exprimînd dependența între durata relativă a descărcărilor și tensiunea arcului funcție de viteza de avans a sîrmei-electrod. De aici, rezultă că, cu creșterea vitezei de avans a sîrmei-electrod durata relativă a descărcărilor scade, iar tensiunea lor crește.-

În concluzie, se poate spune, că sistema de ecuații stabilită exprimă calitativ just interdependența parametrilor procesului vibroarc și asigură suficientă precizie la calcularea lor.

CAP. 5 - CERCETARI SI STUDII ASUPRA STABILITATII PROCESULUI DE SUDARE CU VIBROARC

5.1. - Stabilitatea de ardere a arcului de sudare.

Stabilitatea de ardere a arcului se determină de un șir de factori, care pot fi grupați în două categorii:

- prima categorie cuprinde condițiile de desfășurare a proceselor electrice și termice în zonele în preajma electrozilor și în coloana arcului;
- cea de a doua categorie se referă la caracteristicile circuitului electric ce cuprinde sursa de curent și arcul;

Condiția stabilității statice, ce se bazează pe factorii din categoria a doua se exprimă după cum se știe sub forma:

$$K_s = \frac{\partial U_a}{\partial I} - \frac{\partial U_s}{\partial I} > 0 \quad (5.1)$$

unde K_s - coeficientul de stabilitate statică în V/A;

$\frac{\partial U_a}{\partial I}$ - rezistența dinamică (diferențială) a arcului, în ohmi;

$\frac{\partial U_s}{\partial I}$ - rezistența dinamică (diferențială) a sursei de alimentare cu curent, corespunzătoare punctului de funcționare a caracteristicii externe a sursei de curent, în ohmi;

$I = I_a = I_s$ - curentul arcului și a sursei de curent în A.

Arcul poate să fie stabil chiar dacă condiția (5.1.) nu se îndeplinește. Astfel, în lucrările /214/ sînt arătate posibilitățile obținerii arcului stabil în cazul unei caracteristici externe a sursei de curent crescătoare cînd $K_s < 0$. Mai mult decît atît, elasticitatea care de obicei se apreciază prin valoarea întinderii arcului pînă la rupere, crește sensibil, dacă caracteristica externă a sursei de curent este crescătoare. Folosirea unor astfel de caracteristici a surselor de curent, pentru alimentarea arcului,

mai ales de putere mică, la sudare cu impulsuri (vibroarc) rezultă a fi recomandabilă.-

Cele de mai sus, sînt arătate pentru a scoate în evidență, că unele teorii în această privință trebuiesc să sufere corecturile necesare, în sensul că:

Criteriul stabilității statice de ardere a arcului ($K_s > 0$), nu totdeauna apare ca necesar și suficient pentru a aprecia stabilitatea sistemului sursă de curent-arc electric de sudare. Adică unul din criteriile exprimate de relația (5,1) și condiția $L > 0$ stabilite de Acad. Prof. V.P.Nikitin, trebuie completat în cazul general, prin cele de mai sus.-

În continuare autorul tezei stabilește forma generală a stabilității sistemului sursă de curent-arc electric, care să cuprindă și procedeul vibroarc.-

5.2. Studiul stabilității procesului de sudare (încărcare) cu vibroarc

5.2.1. - Generalități

Calitatea stratului încărcat, prin procedeul vibroarc, în esență depinde de stabilitatea procesului de încărcare /121/.

În scopul eliminării unor confuzii ce apar în literatură, se precizează, că sub stabilitatea procesului, în cazul nostru, se înțelege proprietatea sau capacitatea sistemului complex sau a mecanismului de acționare, ca în mod automat să restabilească starea sa staționară, atunci cînd este scos din această stare, de un factor exterior sau interior, printr-o acțiune de scurtă durată (brusc).-

În literatura de specialitate, pe plan mondial, problemele stabilității procesului vibroarc nu sînt precis rezolvate și nici oglindite. Studiile apărute, sînt încă în faza incipientă pe felii, nelegate între ele și desigur fără o sistematizare unitară a întregii teorii.-

In consecință, sînt încă greutăți mari atît la alegerea surselor de alimentare cu curent, a parametrilor circuitului de sudare, precum și la alegerea regimurilor de lucru.-

In această lucrare se face o încercare de sistematizare a studiilor apărute, în acest domeniu și se prezintă rezultatele și concluziile studiilor și cercetărilor proprii (ale autorului tezei).-

5.2.2. - Continuitatea procesului vibroarc.

Schema de principiu a procesului de încărcare cu vibroarc este prezentată în fig. 2.1. Incărcarea se execută cu sîrma-electrod de 1,2 - 2,0 mm. diametru, care este avansată mecanic continuu spre piesă.- Prin ajutorul unui mecanism special capătul sîrmei-electrod este supus vibrațiilor cu o frecvență de la cîteva zeci pînă la 120 Hz.-

In aceste condiții (descrise în cap.2), schema electrică echivalentă admitînd o sursă de curent cea mai simplă este reprezentată în fig. 5.1., iar în fig. 5.2. sînt reprezentate sub forma simplificată curbele intensității de curent și a tensiunii la încărcare cu vibroarc. Tensiunea arcului este considerată constantă, cu toate că lungimea spațiului arcului se schimbă continuu. Aceasta aproximare se admite, avînd în vedere că amplitudinile vibrațiilor sînt mici. Din schema fig. 5.1. rezultă, că trecerea fără întrerupere a curentului prin circuit, este posibilă dacă parametrii circuitului de sudare sînt aleși în mod corespunzător. Fenomenele ce sînt reprezentate în fig. 5.2,a, se caracterizează printr-o trecere continuă a curentului electric în circuitul de sudare. In timpul scurtcircuitului curentul crește de la valoarea sa minimă I_{\min} pînă la valoarea maximă I_{\max} . In timpul arderii arcului, curentul scade pînă la valoarea I_{\min} , apoi crește din nou ș.a.m.d. Curbele reprezentate în fig. 5.2 ,b, corespund unei treceri discontinue a curentului în circuitul de sudare. Cercetările tehnologice au arătat, că regimul cu un curent discontinuu nu este recomandat din cauza înrăutățirii alierii aderenței metalului încărcat cu cel de bază /94/.-

Determinarea condiției de trecere neîntreruptă a curentului, se face pornind de la studiile și cercetările publicate în /103, 107/.-

Circuitul de sudare se află mereu în regim tranzitoriu, ceea ce permite folosirea ecuațiilor ce exprimă această stare a circuitului electric.-

La scurtcircuitarea circuitului de sudare, avem:

$$U_0 = I_k \cdot R + L \frac{di_k}{dt} \quad (5.2)$$

În timpul arderii arcului:

$$U_0 = U_a + i_a R + L \frac{di_a}{dt} \quad (5.3)$$

Rezolvînd ecuațiile (5.2) și (5.3) în funcție de i_k și i_a și înlocuind și notînd cu:

$$I_k = \frac{U_0}{R};$$

$$I' = \frac{U_a}{R};$$

$$T = \frac{L}{R};$$

unde U_0 - tensiunea de mers în gol în V; U_a - tensiunea arcului în V; i_k și i_a - sînt respectiv valorile instantanee ale curenților în perioadele de scurtcircuit și de descărcare a arcului în A; R - rezistența ohmică a circuitului de sudare în ohmi; L - inductanța circuitului în Henry.

valorile instantanee ale curenților capătă forma:

$$i_k = I_k (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + I_{\min} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.4)$$

$$i_a = (I_k - I_s) (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + I_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.5)$$

din expresiile curenților, deducem durata perioadelor de scurtcircuit t_k și de ardere a arcului t_a :

$$t_k = T \cdot \ln \frac{I_k - I_{\min}}{I_k - I_{\max}} \quad (5.6)$$

$$t_a = T \cdot \ln \frac{I_{\max} + I_s - I_k}{I_{\min} + I_s - I_k} \quad (5.7)$$

în care: I_{\min} - intensitatea de curenț la începutul scurtcircuitului, în A;

- I_{\max} - intensitatea curentului la sfârșitul scurtcircuitului în A;
 I_k - intensitatea curentului la scurtcircuit în A; I_s - intensitatea medie de curent la sudare, în A;
 T - Constanta de timp a circuitului de sudare.-

La trecerea neîntreruptă a curentului, durata ciclului este:

$$t_c = t_k + t_a$$

din relațiile (5.6) și (5.7) se determină valoarea lui t_c .

Valoarea minimă a constantei de timp când procesul se petrece la limita ($I_{\min} = 0$), avem:

$$t_c = T_{\min} \left(\ln \frac{I_k}{I_k - I_{\max}} + \ln \frac{I_{\max} + I_s - I_k}{I_s - I_k} \right) \quad (5.8)$$

de unde:

$$\frac{T_{\min}}{t_c} = \frac{1}{\ln \frac{I_k}{I_k - I_{\max}} \left(1 - \frac{I_{\max}}{I_k - I_s} \right)} \quad (5.9)$$

Dacă în prima aproximație admitem $I_{\max} = 2 \cdot I_s \cdot /107/$, relația poate fi scrisă sub forma:

$$\frac{T_{\min}}{t_c} = \frac{1}{\ln \frac{\beta - 1 + \alpha \cdot (1 - 2\beta)}{(1 - 2\alpha)(\alpha + \beta - 1)}} \quad (5.10)$$

unde: $\alpha = \frac{I_s}{I_k}$ și $\frac{t_a}{t_c} = \beta$

Caracterul funcției obținute este ilustrat de curbele, reprezentate în fig. 5.3. La creșterea lui α raportul $\frac{T_{\min}}{t_c}$ scade. Timpul relativ de ardere al arcului $\beta = \frac{t_a}{t_c}$ influențează mult asupra valorii $\frac{T_{\min}}{t_c}$.

Conform experimentărilor redată în lucrările /103,107/ timpul relativ de ardere al arcului depinde de un mare număr de factori. El scade pe măsura scăderii tensiunii de mers în gol, cu creșterea vitezei de avans a sârmei-electrod, cu intensificarea răcirii arcului ș.a.m.d. Experiențele au arătat, că această mărime practic nu depinde de frecvența vibrației sârmei-electrod și de inductanța circuitului de sudare și simplifică alegerea parametrelor circuitului de sudare pe calea calculului prin ajutorul formu-

lelor redade mai sus.-

O oarecare creștere a constantei de timp a circuitului de sudare peste valoarea lui T_{\min} nu duce la efecte negative, ci tocmai invers, deoarece prin aceasta se realizează reducerea stropirii de metal.-

În majoritatea cazurilor, caracterul proceselor tranzitorii în circuitul de sudare este determinat în principal de inductanță și nu de rezistența ohmică a circuitului. În consecință neglijând valoarea lui R , putem obține expresia pentru inductanța minimă la care curentul, în circuitul de sudare, trece fără întrerupere:

$$L_{\min} = \frac{t_c U_o}{2 \cdot I_s} (1 - \beta) \quad (5.11)$$

Se precizează că $U_a = \frac{U_o}{\beta}$; întrucît însă β este totdeauna subunitar, valoarea medie a tensiunii în arc este totdeauna mai mare decît tensiunea de mers în gol.-

Relația (5.11) nu poate fi folosită în practică deoarece la stabilirea unui regim, în anumite condițiuni concrete nu se cunoaște nici t_c și nici U_a . Aceste date pot fi cunoscute din oscilograme, deci necesitatea unui oscilograf și instalații complicate de laborator plus experimentări ceea ce nu poate fi făcut în condițiile unei uzine.-

Autorul va reveni, în continuare, la stabilirea unei relații practic acceptabile.-

5.3. - Condiția stabilității procesului de sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului

Procesul de sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului, constă din două faze:

- aprinderea și arderea arcului, faza în care se topește electrodul și se formează picătura de metal;
- scurtcircuitul, faza în care se efectuează trecerea metalului de pe sîrma-electrod de piesă.-

Instabilitatea procesului poate să se producă în orice fază. Pentru proiectarea și alegerea surselor de alimentare cu cu-

rent, deosebit de important este cunoașterea stabilității în faza de scurt-circuit.-

Din punct de vedere al stabilității, rolul important îl joacă următoarele fenomene în timpul scurtcircuitului: apropierea cu viteza constantă a sîrmei-electrod de baia de metal topit (în prezent, în acest scop, aproape exclusiv se utilizează mecanisme cu viteza constantă de avans a sîrmei-electrod); acumularea energiei în puntea cu metal lichid între sîrma-electrod și baie; reducerea secțiunii și evaporarea punții metalice ce are caracterul unei explozii electrice. Momentul de evaporare a punții determină stabilitatea procesului în faza de scurtcircuit.- Se consideră, că stabilitatea se va deranja în acest moment, cînd capătul sîrmei-electrod netopit va atinge oglinda băii și puntea de metal topit va fi lichidată.-

Dacă pentru asigurarea stabilității procesului de sudare, în faza de scurtcircuit timpul t , în decursul căruia se va acumula suficientă energie pentru a putea evapora puntea lichidă de metal, acest timp trebuie să fie mai mic decît timpul t_{at} necesar atingerii oglinzii băii de către capătul netopit al sîrmei-electrod, adică:

$$t < t_{at}$$

Făcînd o serie de considerații de natură fizică, transformări și simplificări matematice [191], se obține relația:

$$I_{k_{min}} > \frac{6,54 \cdot q_{ev} \cdot \rho \cdot d_e^2 \cdot E_c}{\rho \cdot j (U_a - U_{ka})} \cdot v_e \quad (5.12)$$

unde: $I_{k_{min}}$ - curentul de scurtcircuit minim (A); j - densitatea de curent ($A \cdot m^{-2}$); U_a - tensiunea arcului (V); U_{ka} - suma căderilor de tensiune pe catod și anod (V); d_e - diametrul sîrmei-electrod (mm); v_e - viteza de avans a sîrmei-electrod (m/s); ρ - rezistivitatea metalului punții topite ($m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$); q_{ev} - căldura de evaporare a metalului ($m^2 \cdot s^{-2}$); ρ - densitatea metalului topit ($kg \cdot m^{-3}$); E_c - intensitatea cîmpului electric (V/m).-

Relația (5.12) de mai sus, reprezintă condiția de stabilitate a procesului de sudare cu scurtcircuitările spațiului arcului. Acest proces, este stabil numai în cazul cînd curentul de scurtcircuit va fi mai mare decît o anumită valoare, invers pro-

porțională tensiunii coloanei arcului ($U_c = U_a - U_{ka}$). Această valoare, va fi cu atât mai mare, cu cât diametrul și viteza de avans a sîrmei-electrod este mai mare. Condiția stabilită permite să se prescrie anumite cerințe față de caracteristicile surselor de alimentare cu curent, în funcție de regimul de sudare.

Relația de mai sus, conține o serie de constante fizice ce caracterizează proprietățile materialului (q_{ev}, γ, ϱ) precum și vâzarea lui j . Valoarea lui E_c este dată în literatura de specialitate de exemplu în /41,42/.-

Ceea ce trebuie remarcat, și considerăm de o deosebită importanță, este că relația dedusă nu conține nici un fel de coeficienți de corecție, ce ar trebui folosiți pentru ca rezultatele calculului teoretic să corespundă cu cele determinate pe cale experimentală, aceasta atestă că, condiția stabilită este universal valabilă.-

Exemplu, pentru un oțel obișnuit cu carbon puțin, avem:

$$\frac{q_{ev} \cdot \gamma}{\varrho \cdot j} = 2,72 \cdot 10^5 \frac{A \cdot s}{m^2} \quad (5.13)$$

În sistem SI de unități: $q_{ev} = 1,45 \text{ kcal/g} = 6,1 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$;
 $\gamma = 7 \cdot 10^3 \text{ kgf} \cdot \text{m}^{-3}$; $\varrho = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kgf} \cdot \text{s}^{-3} \text{ A}^{-2}$; $j = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$.

În calcul s-a luat: $E_c = 3 \cdot 10^3 \text{ V/m}$; $U_{ka} = 16,5 \text{ V}$; U_c - se determină cu oscilograf.-

În aceste condiții relația (pentru sîrma-electrod din oțel cu carbon puțin) capătă forma:

$$I_{k_{\min}} > \frac{1,78 \cdot 10^6 \cdot E_c \cdot d_e}{U_a - U_{ka}} \cdot v_e \quad (5.14)$$

Fig. 5.4, reprezintă rezultatele obținute pe cale experimentală și exprimă dependența $I_k = f(v_e)$. Rezultă, că datele determinate prin calcul coincid suficient de bine cu cele experimentale.-

Relația obținută pentru stabilitate (5.12) /196/, permite prestabilirea prescripțiilor în vederea calculării și proiectării surselor noi de alimentare cu curent, precum și la alegerea

lor în cazul sudării cu scurtcircuitările spațiului arcului.-

In concluzie, se poate spune:

- Stabilitatea procesului de sudare cu scurtcircuitările spațiului arcului poate fi deranjată fie în faza de scurtcircuit, fie în momentul de reaprindere și ardere a arcului.-

- Procesul este stabil, dacă curentul de scurtcircuit depășește o anumită valoare invers proporțională cu tensiunea spațiului arcului și cu atât mai mare cu cât este mai mare diametrul și viteza de avans a sârmei-electrod (relația 5.14).-

- Relațiile matematice de stabilitate obținute (5.12) sau (5.14) permit ca prin ajutorul lor, să putem prevedea prescripțiile științifice justificate, la calcularea (proiectarea) noilor surse de alimentare cu curent, sau la alegerea acestor surse, pentru a fi folosite la sudare cu scurtcircuitările sistematice ale spațiului arcului.-

5.4. Exprimarea cantitativă a stabilității și stării staționare în procesul de încărcare cu vibroarc

Sînt apărute extrem de puține lucrări ce se ocupă cu stabilitatea procesului de încărcare cu vibroarc, cît și de menținerea lui staționară /107, 68/. De cele mai multe ori însă, interpretarea noțiunilor este numai aproape aceeași. În ceea ce privește aprecierea, respectiv evaluarea cantitativă a acestora, fie că nu este suficient fundamentată, fie că ea lipsește complet.-

Procesul de încărcare cu vibroarc constă dintr-un șir de cicluri ce se repetă, care însă la un moment dat poate să se deosebească între ele, atît prin durată cît și prin valoarea intensității de curent cît și a tensiunii. O astfel de diferență între cicluri, este provocată de schimbările ce se produc în însăși procesul de încărcare la parametrii lui neschimbați (oscilațiile picăturii de metal topit, rătăcirile petei anodice ș.a.m.d.). Instabilitatea procesului sau staționabilitatea lui, trebuie să caracterizeze precizia de repetare a ciclurilor. Cu cît este mai precisă această repetare (reproducere) a ciclurilor cu atît procesul este mai staționar.-

Din punct de vedere practic, procesul staționar de încărcare trebuie să asigure trecerea uniformă a elementelor chimice ale sîrmei-electrod în stratul încărcat, o structură cît mai uniformă a lui, reducerea pierderiilor metalului sîrmei-electrod ș.a.m.d. Aplicarea sau introducerea în practică se face numai a acelor regimuri de încărcare, care (indiferent de natura perturbărilor ce apar la încărcare) asigură stratul de metal încărcat de bună calitate.-

Intrucît, asupra calității picăturii metalului topit a sîrmei-electrod influențează durata perioadelor, se introduce noțiunea de durata medie a ciclului și a abaterii lui medii /17, lll, 31/.-

Durata medie a ciclului, poate fi calculată ca fiind raportul între durata procesului și numărul de cicluri. Diferența între durata ciclului și valoarea lui medie reprezintă abaterea duratei. Media aritmetică a acestei mărimi fără a ține cont de semn, este tocmai abaterea medie a duratei ciclului. Totuși, această mărime nu poate fi luată drept indicator al stării staționare de încărcare, întrucît la o durată mică a ciclului o abatere mică schimbă cursul procesului, în timp ce o aceeași abatere în cazul duratei mari nu va influența procesul. De aceea, se consideră că procesul de încărcare staționar este corect evaluat în baza raportului:

$$K_{st} = \frac{t_{cmd}}{\Delta t_{cmd}} \quad (5.15)$$

în care K_{st} - coeficientul de stare staționară a procesului;
 t_{cmd} - durata medie a ciclului; Δt_{cmd} - abaterea medie a duratei ciclului. Cu cît este mai mare K_{st} cu atît procesul de încărcare este mai staționar, cu cît este mai precisă reproducerea ciclurilor în timp. În unele cazuri poate să apară mai convenabil ca reproducerea ciclurilor să fie determinată în baza puterii medii sau intensității de curent mediu.-

După cum au arătat cercetările /17, lll/ carbonul se consumă în principal în perioada de ardere a arcului. În consecință, durata de ardere a arcului trebuie să fie strict determinată; se poate să fie luată drept criteriu de bază pentru aprecierea stabilității procesului de încărcare în cazul scurtcircuitărilor sis-

tematice ale spațiului arcului.-

În acest caz, drept indicele stabilității procesului de încărcare poate fi considerat raportul între timpul mediu de ardere a arcului față de abaterea duratei acestei perioade la o perturbare mică

$$K_s = \frac{t_{a_{md}}}{\Delta t_{a_{md}}} \quad (5.16)$$

în care: K_s - coeficientul de stabilitate a procesului; $t_{a_{md}}$ - durata medie a perioadei de ardere a arcului; $\Delta t_{a_{md}}$ - abaterea medie a duratei perioadei de ardere a arcului.-

Pentru a putea determina influența regimului de încărcare asupra funcționării staționare și a stabilității procesului au fost executate o serie de experimentări /18/. Sursa de curent era formată din două redresoare legate în serie cu un regulator de tensiune primară.-

S-a folosit sîrma-electrod cu ϕ 1,6 mm cu un conținut de 0,69% C și 0,43% Mn. Variațiile curentului și a tensiunii au fost controlate printr-un oscilograf.-

Durata de ardere a arcului se determină începînd cu momentul terminării scurtcircuitului între electrozi și pînă la începerea scurtcircuitului următor sau mersului în gol. Începutul scurtcircuitării spațiului arcului se fixează începînd cu momentul scăderii bruște a tensiunii și pînă la valoarea apropiată de zero, iar sfîrșitul scurtcircuitării la începutul creșterii bruște a tensiunii. Frecvența scurtcircuitelor se calculează din raportul între numărul ciclurilor și durata de fotografiere (oscilograma).

Drept durată medie a ciclurilor se lua valoarea inversă a frecvenței scurtcircuitărilor, spațiului arcului. Abaterea medie a duratei perioadelor se determină în baza oscilogramei dintr-un astfel de număr de cicluri, care asigură exactitatea datelor experimentale egală cu 0,95 la o eroare admisă de 3% stabilitatea procesului se calcula conform formulei (5.15).-

Stabilitatea încărcării se determină prin schimbarea tensiunii sursei de curent și prin introducerea în circuit în serie cu ea a inductantei bobinei de self cu un miez magnetic cu circuit închis.-

Experimental s-a stabilit, că stabilitatea procesului depinde de tensiunea sursei de curent. Cu creșterea tensiunii, stabilitatea scade pentru toate vitezele de avans a sîrmei-electrod. Cu cît viteza de avans a ei este mai mare, cu atît procesul este mai puțin stabil (fig. 5.5).-

Cu creșterea numărului de spire introduse în circuit ale inductanței, stabilitatea procesului crește lin (se îmbunătățește) fig. 5.6.

Astfel, pentru mărirea stabilității procesului este recomandabil ca în serie cu sursa de curent să fie legată bobina de inductanță. În cazul încărcării de la un generator cu caracteristica externă rigidă, necesitatea introducerii inductanței suplimentare cade.-

Variațiile tensiunii din rețea, formează una din perturbările esențiale în cazul încărcării de la un redresor drept sursa de curent. De aceea, a fost dedusă dependența duratei de ardere a arcului în funcție de tensiunea sursei de curent (fig.5.7). Cu schimbarea tensiunii la o viteză de avans a sîrmei-electrod $v_e = 370$ m/h durata de ardere a arcului se schimbă mult mai rapid, decît la un $v_e = 200$ m/h. În mod corespunzător, stabilitatea procesului de încărcare la creșterea vitezei de avans a sîrmei-electrod scade. Astfel, la $U_0 = 26$ V și $v_e = 200$ m/h la o creștere a tensiunii în rețea cu 10% durata de ardere a arcului crește cu 1,5 μ s. În acest caz $K_s = 3,1$. La $U_0 = 32, V$ și $v_e = 262$ m/h la creșterea tensiunii în rețea cu 10% durata de ardere a arcului crește pînă la 3,8 μ s. Coeficientul de stabilitate variază foarte puțin, la fel se schimbă acest coeficient și la $v_e = 300$ m/h. Și, în sfîrșit, la $v_e = 370$ m/h coeficientul de stabilitate scade pînă la 2,3.-

Aplicarea practică a încărcării cu $v_e = 300$ m/h este greu de realizat, din cauza unei stabilități reduse a procesului.-

Se consideră important faptul, că în cele de mai sus s-a găsit o metodă și un criteriu de apreciere cantitativă a stabilității și a stării staționare a procesului de încărcare cu vibroarc.

Desigur, important este și faptul stabilirii influenței tensiunii sursei de curent și a inductantei suplimentare asupra stării staționare a procesului de încărcare cu arc deschis, precum

de autoreglare a regimului de la sursele de alimentare cu curent avînd caracteristicile externe rectilinii.-

Din oscilogramele ridicate cu ocazia cercetărilor (fig. 5.8) rezultă că în funcție de corelație între parametrii inițiali ai regimului de încărcare, caracterul variației tensiunii și intensității de curent în circuit, poate fi diferit. Fig. 5.8., reprezintă formele de bază ale oscilogramelor tensiunii între electrod și piesă și a intensității de curent, pentru o stare stabilizată a circuitului. Variind un oarecare parametru de pornire sau mai mulți, forma oscilogramelor poate fi modificată. Astfel, espre exemplu, cu creșterea inductanței circuitului oscilogramelor din figură sînt corespunzător formelor a, b și c. Cu creșterea vitezei de avans a sîrmei-electrod, forma oscilogramelor se va schimba corespunzător cu pozițiile din fig. 5.8, d și e.-

Din punct de vedere al productivității încărcării, a fineții suprafeței stratului încărcat, calității de îmbinare a metalului de bază cu cel de adaos (încărcat), cantitatea de metal de adaos pierdut și a majorității altor indicatori tehnico-economici ai procesului, este de dorit procedeul de încărcare ce se caracterizează prin oscilogramele de forma b. În acest caz, durata ciclului procesului t_c aproximativ este egală cu durata perioadei de vibrație a sîrmei-electrod t_v . Procesul decurge fără să se formeze perioade de mers în gol pe durata ciclului procesului. Lipsesc, la fel și mersurile în gol lungi (de durată) sistematice precum și scurtcircuitările.-

Un astfel de proces trebuie considerat ca normal. Corespunzător celor de mai sus, sub stabilitatea regimului, se înțelege capacitatea sistemului de autoreglare, cu parametri de pornire determinați ale regimului, se asigură caracterul de variație prevăzut al tensiunii și intensității de curent în circuit (corespunzător fig. 5.8, b) și să anihileze influențele perturbărilor asupra sistemului.-

În baza considerațiilor despre esența autoreglării regimului de încărcare cu vibroarc, așa cum ele rezultă și din lucrările /42, 121/ toate calculele ce urmează se vor baza pe valori medii ale parametrilor procesului.

5.52. Studiul condițiilor de stabilitate a procesului vibraționar în baza ecuației diferențiale de mișcare a sistemului.

Drept bază pentru metoda de cercetare a stabilității, luăm analiza ecuației diferențiale de mișcare a sistemului cercetat. Pentru alcătuirea ecuației diferențiale amintite, se adoptă următoarele ecuații de bază:

1. Ecuațiile ce exprimă variația mediei lungimii arcului l_{md} pe perioada descărcării arcului și a mediei lungimii arcului pe un ciclu al procesului l_{md_c} ;

$$l_{md} = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{1}{\frac{t_a}{t_c} \pi} \cdot \sin \frac{t_a}{t_c} \pi \cdot \cos \frac{t_a - 2nt_a}{t_c} \pi - \cos \frac{2nt_a}{t_c} \pi \right) - \frac{1}{2} v_e \cdot t_a \quad (5.17)$$

$$l_{md_c} = l_{md} \cdot \frac{t_a}{t_c} \quad (5.18)$$

în care λ - amplitudinea vibrației sîrmei-electrod;

v_e - viteza de avans a sîrmei-electrod;

t_a - durata descărcării arcului;

Ecuația(5.17) este publicată în lucrarea /106/, în care:
 $n = 0,5 + \frac{1}{\frac{t_a}{t_c} \cdot 2\pi} \cdot \arcsin \frac{v_e \cdot t_a}{\lambda \sin \frac{t_a}{t_c} \pi}$

2. Ecuația ce exprimă dependența valorii medii a tensiunii de descărcare a arcului U_a , funcție de media lungimii arcului l_{md} pe perioada de descărcare a arcului și de intensitatea medie de curent I: $U_a = a + b \cdot l_{md} + c \cdot I$ (5.19)

unde a, b, c - sînt coeficienții ale căror valori pentru simplitate se consideră a fi constante, ale reprezentă: a - suma căderilor de tensiune anodică și catodică; b - intensitatea cîmpului electric în coloana arcului; c- coeficientul ce caracterizează înclinarea caracteristicii statice a arcului.-

3. Ecuația ce determină puterea medie, ce se degajează în zona de lucru: $W = U \cdot I$

unde U = tensiunea medie pe ciclu.
 ținînd cont că $U = U_a \cdot \frac{t_a}{t_c}$ rezultă că: $W = U_a \cdot I \cdot \frac{t_a}{t_c}$ (5.20)

4. Ecuația stării circuitului electric, în condițiile enunțate, adică scurtcircuitările sistematice ale circuitului creează condițiile la care circuitul electric tot timpul se află în regim tranzitoriu. Aceasta permite, ca pentru relațiile de dependență a parametrilor ciclului în funcție de diferiți factori, să fie aplicate ecuațiile de stare nestaționară a circuitului electric, care pentru perioada de descărcare a arcului are forma:

$$E - U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} = I \cdot r + L \frac{dI}{dt}$$

unde E - f. e. m. a sursei de curent;

r - rezistența sursei de curent și a circuitului.

Dacă în locul lui r se introduce r_e , care reprezintă suma rezistenței echivalente a sursei de curent și rezistenței circuitului (simbolic această rezistență s-o numim rezistența echivalentă a circuitului), atunci în locul lui E putem introduce tensiunea de mers în gol a sursei de curent U_0 (cu alte cuvinte folosind metoda rezistențelor echivalente) avem:

$$U_0 = U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} = I \cdot r_e + L \frac{dI}{dt} \quad (5.21)$$

5. Ecuația, care determină creșterea vitezei medii de topire a sîrmei-electrod v_t (după cum se știe egală cu $\frac{dl}{dt} \frac{md_c}{d}$), la o abatere pe un ciclu a lungimii medii a arcului față de valoarea lui stabilizată. Conform rezultatelor obținute de [113], viteza medie de topire a sîrmei-electrod este proporțională cu puterea medie degajată în zona de lucru. În consecință putem scrie:

$$\frac{dl}{dt} \frac{md_c}{d} = k_w (W_t - W) \quad (5.22)$$

unde W_t - puterea medie "instantanee" (prin abaterea mediei pe ciclu a lungimii arcului față de valoarea de regim), corespunzătoare vitezei medii "instantanee" de topire a sîrmei-electrod v_t ;
 W - puterea medie de regim (stabilizată) care se degajă în zona de lucru, corespunzătoare vitezei medii de topire a sîrmei-electrod v_e .

Conform relației (2.6) la topire, putem scrie:

$$W_t = 1000 k_A \cdot k_r \cdot U_0^{3/4} \cdot d_e^{5/3} (k_v + k_c \cdot v_t) \quad (5.23)$$

Valorile coeficienților k_A , k_r , k_v și k_c se determină conform relațiilor (2.7). Coeficientul k_w poate fi exprimat sub forma:

$$k_w = \frac{V_t}{w_t} \quad \text{sau cînd } \Delta l_{mdc} \rightarrow 0$$

$$k_w = \frac{dv_t}{dw_t}$$

Determinînd derivata $\frac{dv_t}{dw_t}$ din ecuația (5.23), obținem:

$$k_w = \frac{1}{1000 k_A k_r k_c U_o^{3/4} d_e^{5/3}} \quad (5.24)$$

În ecuațiile alese (5.17 - 5.22) pentru alcătuirea ecuației diferențiale, mărimile variabile sînt l_{md} , l_{mdc} , t_a , U_a , I și w_t . Numărul variabililor este egal cu numărul ecuațiilor, deci sistemul de ecuații este determinat. Ecuațiile (5.17 - 5.21) la $\frac{dI}{dt} = 0$, exprima suficient de precis, starea de regim a circuitului (acest lucru rezultă și din lucrările) /105, 121/.-

Ecuațiile (5.17; 5.18; 5.20 și 5.21) sînt neliniare. Pentru simplificarea analizei se efectuează linearizarea lor după metoda Leapunov și se scrie întregul sistem de ecuații sub forma creșterilor mici, obținem:

$$l_{md} = M \cdot \Delta t_a ;$$

$$l_{mdc} = \frac{1}{t_c} (l_{md} \cdot \Delta t_a + t_a \cdot \Delta l_{md}) ;$$

$$\Delta U_a = b \cdot \Delta l_{md} + c \cdot \Delta I ;$$

$$\Delta W_t = \frac{1}{t_c} (U_a \cdot I \cdot \Delta t_a + U_a \cdot t_a \Delta I + I \cdot t_a \cdot \Delta U_a) ;$$

$$- \frac{1}{t_c} (U_a \cdot \Delta t_a + t_a \cdot \Delta U_a) = r \cdot \Delta I + L \cdot \frac{d\Delta I}{dt} ;$$

$$\frac{d \Delta l_{md}}{dt} = k_w \cdot \Delta W_t$$

Aici:

$$M = \frac{\lambda}{2 \cdot t_a} \left[\cos \frac{2(1-n)t_a}{t_c} \pi + 2n \sin \frac{t_a}{t_c} \pi \cdot \frac{\sin(1-2n)t_a}{t_c} \pi + 2n \pi \frac{t_a}{t_c} \times \right. \\ \left. \times \sin \frac{2nt_a}{t_c} \pi - \frac{t_c}{t_a} \sin \frac{t_a}{t_c} \pi \cdot \cos \frac{(1-2n)t_a}{t_c} \pi \right] - \frac{1}{2} \cdot v_e \quad (5.25)$$

Ecuatia diferențială a mișcării sistemului poate fi formată în raport cu oricare variabilă. Mai comod este ca rezolvarea să se facă în raport cu creșterea intensității curentului, deoarece I și ΔI pot fi destul de precis determinați pe cale experimentală prin ajutorul oscilogramelor, ca rezultat al rezolvării sistemului de ecuații în raport cu ΔI astfel să obține o ecuație diferențială liniară de ordinul doi /lo6/:

$$\frac{L}{k_w \cdot b \left(U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - r_e I \right)} \left(1 - \frac{a + c \cdot I}{U_a + M \cdot b \cdot t_a} \right) \cdot \frac{d^2 \Delta I}{dt^2} + \frac{1}{U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - r_e I} \cdot \frac{d \Delta I}{dt} + 1 = 0 \quad (5.25)$$

unde l_{md} , U , U_a , t_a și I reprezintă valorile parametrilor la starea de regim staționară.-

Pentru simplificarea expresiei introducem următoarele înlocuiri:

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U - U_a \cdot \frac{t_a}{t_c}}{r_e} \\ 1 - \frac{a + c \cdot I}{U_a + M \cdot b \cdot t_a} &= \xi \end{aligned} \right\} \quad (5.26)$$

Astfel, obținem ecuația diferențială caracteristică, ca urmare a înlocuirilor în ecuația (5.25) cu cele stabilite în (5.26).

$$\frac{L \cdot \xi}{k_w \cdot b \left(2U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - U \right)} \cdot p^2 + \frac{1}{2U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - U} \cdot p + 1 = 0 \quad (5.27)$$

unde p - este operatorul ecuației caracteristice.

Introducem următoarele notații pentru coeficienții ecuației caracteristice:

$$\frac{L \cdot \xi}{k_w \cdot b \cdot \left(2U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - U \right)} = T_2^2 \quad (5.28)$$

$$\frac{1}{2U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - U} \cdot \left[\frac{\xi (r_e + c \cdot \frac{t_a}{t_c})}{k_w \cdot b} - \frac{I_e}{r_e} (U - U_a \frac{t_a}{t_c}) \right] = T_1 \quad (5.27)$$

Deci relația (5.27) capătă forma:

$$T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1 = 0 \quad (5.30)$$

Ecuația (5.27) permite determinarea caracterului proceselor tranzitorii în circuit, analizarea condițiilor stabilității regimului, evaluarea cantitativă a eficacității autoreglării parametrilor procesului și să se determine limitele stabilității regimului pentru un șir de parametri ai acestuia în cazul perturbărilor mici.-

Stabilitatea sistemului de reglare cercetat, al cărui stare este dată prin parametri determinați ai scurtcircuitului, se asigură dacă toți coeficienții ecuației diferențiale formate sînt pozitivi.-

După cum se știe, caracterul proceselor tranzitorii în sistem exprimat de ecuația diferențială liniară de gradul doi, se determină de raportul între constantele de timp T_1 și T_2 . Dacă $\frac{T_1}{2T_2} < 1$, atunci în sistem se observă procese tranzitorii oscilatorii. Dacă $\frac{T_1}{2T_2} > 1$ atunci procesele tranzitorii devin aperiodice.

Calcululele practice, efectuate de Prof. Pațhevici I.Ia. /106/ pentru un larg domeniu de parametri ai regimului, au arătat, că în toate cazurile reale de încărcare cu vibroarc, procesele tranzitorii în circuit au caracter oscilatoriu.-

Această concluzie, a fost confirmată pe cale experimentală prin oscilogramele ridicate pentru tensiune și intensitate de curent după o scurtă intrerupere a circuitului (mai puțin de 0,1 s), adică în timpul unei creșteri bruște a tensiunii de la zero pînă la valoarea ei de lucru.-

Analizînd coeficienții ecuației (5.27), se pot obține următoarele condiții de stabilitate ale sistemului, (de fapt scopul urmărit de autor, în acest subcapitol):

1. Inegalitatea $2U_a \cdot \frac{t_a}{t_c} - U_0 > 0$, poate fi scrisă sub

forma $U > \frac{1}{2} U_0$. După cum se știe, la sursele de curent cu caracteristicile externe în linie dreaptă, dependența puterii sursei funcție de intensitatea curentului în circuit, are un maximum. Acest maximum în cazul curentului de sudare egal cu jumătate din valoarea curentului de scurtcircuit, sau ceea ce este același lucru la tensiunea de lucru, egală cu jumătatea tensiunii de mers în gol. De aceea, în condiția obținută, rezultă că stabilitatea regimului este asigurată numai atunci când aceasta se află pe ramura urcătoare a curbei ce reprezintă dependența puterii sursei de alimentare funcție de intensitatea de curent (vezi fig.2.a).-

Această condiție nu este obligatorie în cazul sudării cu arc lung (fără scurtcircuitări sistematice). Ea este o condiție specifică pentru încărcarea cu procedeul vibroarc.

Trebuie subliniat, că de obicei tensiunea minimă de lucru U_{min} este sensibil mai mare decât jumătate din tensiunea de mers în gol. Valoarea raportului $\frac{0,5 U_0}{U_{min}}$, care caracterizează gradul de apropiere a limitei către puterea maximă a sursei de curent (regimul maxim după putere), depinde de un șir de factori.-

Din inegalitatea analizată rezultă și o altă condiție, care determină valoarea minimă admisă a duratei relative a descărcărilor arcului:

$$\frac{t_a}{t_c} > \frac{U_0}{2 U_a} \quad (5.31)$$

2. Din inegalitatea $\gamma > 0$, obținem condiția:

$$M > - \frac{1}{t_a} m d \quad (5.32)$$

Acestei condiții răspund toate valorile lui M ce se află în fig. 5.9. la stînga punctului C, care determină valoarea maximă a duratei relative a descărcării arcului t_a . Condiția obținută explică cazurile ce câteodată se observă în practică, cînd la încărcarea cu vibroarc de la o sursă de curent cu tensiunea de mers în gol mai ridicată, aducerea jetului de apă în zona de lucru îmbunătățește stabilitatea regimului de încărcare. Explicația este, că tensiunea medie de descărcare a arcului la încărcare sub jet de apă, este cu mult mai mare decât în aer. De aceea



aducerea apei reduce valoarea lui $\frac{t_a}{t_c}$, trecîndu-l din zona nestabilă în zona stabilă.

Astfel, inegalitățile (5.31) și (5.32) determină întregul cîmp (zona) valorilor $\frac{t_a}{t_c}$, ce asigură stabilitatea sistemului.

3. Din inegalitatea:

$$\frac{(r_e + c \frac{t_a}{t_c})}{k_w \cdot b} - \frac{L}{r_e} (U_o - U_a \frac{t_a}{t_c}) > 0$$

obținem condițiile:

$$r_e + c \frac{t_a}{t_c} > \frac{k_w \cdot b \cdot I \cdot L}{r_e} \quad (5.33)$$

$$L < \frac{r_e (r_e + c \frac{t_a}{t_c})}{k_w \cdot b (U_o - U_a \frac{t_a}{t_c})} \quad (5.34)$$

Conform condiției (5.33) rezistența dinamică a circuitului, egală în cazul nostru cu $r_e + c \frac{t_a}{t_c}$, trebuie să depășească o anumite valoare, în particular, proporțională cu inductanța circuitului. Relația (5.34) determină inductanța maximă admisibilă a circuitului care asigură funcționare stabilă a regimului de încărcare.-

Este important de scos în evidență, că această condiție (5.33) corectează teoria stabilită de prof. V.P.Nikitin*) că această valoare să fie simplu mai mare de zero. Vom reveni la această simplă constatare în capitolul (7).

La analiza stabilității sistemelor de sudare cu autoreglare, de obicei drept criteriu a stabilității sistemului se ia timpul procesului tranzitoriu (timpul de reglare) sau coeficientul de stabilitate /140/, care reprezintă mărimea inversă constantă de timp a procesului tranzitoriu. Se consideră mai potrivit, să se folosească coeficientul de stabilitate, deoarece între această și stabilitate există dependența directă. Metoda analoagă poate fi aplicată în cazul nostru pentru aprecierea cantitativă a stabilității.

*) V.P.Nikitin - Electriceschie generatori i transformatori dle: dugovoi svarchi. ONT I 1937 și /194/.

Intr-un sistem cu procese tranzitorii oscilatorii, constanta de timp T_c este într-un raport de:

$$T_c = \frac{2 \cdot T_2^2}{T_1}$$

sau dacă ținem cont de (5.28) și (5.29), după formula:

$$T_c = \frac{2 \cdot L \cdot \xi}{(r_e + c \frac{t_a}{t_c}) - \frac{L \cdot k_w \cdot b}{r_e} \cdot (U_0 - U_a \cdot \frac{t_a}{t_c})}$$

Mărimea inversă constantei de timp ($\frac{1}{T_c}$) va fi:

$$K_{ra} = \frac{r_e + c \frac{t_a}{t_c}}{2 \cdot L} - \frac{k_w \cdot b (U_0 - U_a \frac{t_a}{t_c})}{2 \cdot r_e \cdot \xi} \quad (5.35)$$

Coeficientul K_{ra} are o mare asemănare cu coeficientul de stabilitate amintit, și la fel cu ultimul, caracterizează rapiditatea de acțiune a sistemului.-

De aceea, putem numi acest coeficient de rapiditate a acțiunii și pe viitor este folosit pentru determinarea stabilității.-

In fig. 5.10. sînt reprezentate curbele de variație ale coeficientului de rapiditate a acțiunii K_{ra} funcție de diametrul sîrmei-electrod (a) și de frecvența vibrației (b).

In fig. 5.11, sînt reprezentate curbele variației coeficientului K_{ra} în raport de viteza de avans a sîrmei-electrod (a) și a tensiunii de mers în gol a sursei de curent (b).-

In fig. 5.12 sînt prezentate curbele de variație ale lui K_{ra} funcție de rezistența echivalentă a circuitului.

Figurile 5.10 - 5.12, reprezintă curbele calculate exprimînd dependența coeficientului de rapiditate a acțiunii funcție de parametrii de bază, de pornire, a regimului la inducția diferită a circuitului. Calculele au fost executate pe mașina electronică de calcul.-

Toate graficele cuprind și curbele valorilor lui K_{ra} ce corespund inductanței minime a circuitului. Aceste curbe împart întregul cîmp de valori a lui K_{ra} în două zone: superioară

ce corespunde procesului de încărcare cu formarea mersului în gol în fiecare ciclu al procesului (fig.5.8 ,a) și inferioară - corespunzătoare procesului adaptat la aceste cercetări (fig.5.8.b

Punctul de intersecție al curbei valorilor lui K_{ra} , trasate pentru o anumite inductanță a circuitului, cu curba K_{ra} corespunzătoare inductanței L_{min} , determină una din limitele stabilității pentru parametrul analizat. O altă limită ne dă punctul de intersecție a curbei K_{ra} cu axa absciselor. Într-o serie de cazuri, când regimul nu trece în regiunea cu mersurile în gol, ambele limite ale stabilității se determină de punctele de intersecție ale curbei corespunzătoare cu axa absciselor.-

Ca o regulă generală ce se observă pe toate figurile, este creșterea coeficientului de acționare rapidă - cu scăderea inductanței circuitului. În legătură cu aceasta, trebuie subliniată convenția stabilită asupra divizării câmpului valorilor K_{ra} în două regiuni. Din punct de vedere energetic, regimurile regiunii superioare (având mersurile în gol în ciclurile procesului) sînt de o mai înaltă stabilitate. De aceea, în unele cazuri de încărcare a straturilor subțiri (pînă la 1,5 mm. grosime), când alierea necesară între metalul de bază și cel de adaos este asigurată și la existența mersului în gol, iar productivitatea procesului și cantitatea pierderilor prin stropire nu are importanța esențială, sau pur și simplu ele sînt neglijate, aceste regimuri au aplicabilitate practică.-

Curbele din fig. 5.10, a, arată că, coeficientul de acțiune rapidă scade cu creșterea diametrului sîrmei-electrod. Valorile diametrelor maximale (din condiția stabilității regimului) scad cu creșterea inductanței.-

Coeficientul de acțiune rapidă scade cu reducerea vibrației sîrmei-electrod, mai ales în regiunea valorilor mici ale frecvenței (fig. 5.10,b). Pentru fiecare valoare a inductanței (cînd sînt dați toți parametrii ai regimului) există valoarea minimă a frecvenței de vibrație, mai jos de care regimul devine instabil.-

Coeficientul de acționare rapidă scade cu creșterea vitezei de avans a sîrmei-electrod, iar viteza de avans maximă scade cu creșterea inductanței circuitului (fig.5.11,a).-

5.5.3. Determinarea curbei de variație a vitezei maxime de avans a sîrmei-electrod funcție de inductanța circuitului de sudare

Problema vitezei maxime de avans a sîrmei-electrod prezintă interes deosebit, înainte de toate din punct de vedere al productivității procedurii și apoi din punct de vedere al stabilității regimului.-

Datele publicate în literatura de specialitate, în ce privește influența parametrilor regimului procesului asupra topirii sîrmei-electrod la încărcare cu vibroarc, sînt contradictorii/105/.-

În regim staționar, precum și pentru respectarea condițiilor de stabilitate a regimului, viteza de avans a sîrmei-electrod trebuie să fie egală cu viteza de topire a ei $v_e = v_t$, cunoscînd că v_t este viteza medie de topire a sîrmei-electrod. Viteza de topire a sîrmei-electrod depinde și ea de mai mulți factori: puterea arcului, analiza chimică a metalului și de diametrul ei.

Găsirea unei dependențe directe între viteza maximă de avans a sîrmei-electrod și inductanța circuitului, prezintă un important avantaj practic și teoretic.-

Fără îndoială, că atunci cînd stabilim viteza maximă de avans a sîrmei-electrod, pentru ^{arcului} un regim și în anumite condiții, valoarea ei este de fapt viteza optimă de avans a sîrmei-electrod.-

Se amintește și aici, că pe principiul egalității celor două viteze $v_e = v_t$, se bazează întregul procedeu, sistemul instalației și în primul rînd capul automat.-

Determinăm curba de variație $v_e \text{ max} = f(L)$ pentru sîrma-electrod de 2 mm diametru folosindu-ne de curbele ce reprezintă dependența coeficientului de acționare rapidă a sistemului K_{ra} funcție de viteza de avans a sîrmei-electrod v_e din fig.5.11. Aceste curbe sînt trasate în baza calculelor analitice, folosind relațiile de dependență cunoscute. Urmărind fig.5.11., vedem că în abscisă sînt date vitezele de avans ale sîrmei-electrod, iar în ordonată coeficientul de acționare rapidă K_{ra} . Din grafice rezultă că, coeficientul K_{ra} scade cu creșterea lui v_e și L , to-

todată valoarea maximă a vitezei de avans a sîrmei-electrod v_e la care procesul este încă stabil ($K_{ra} > 0$), scade cu creșterea inductanței circuitului. Deci, din aceste curbe putem avea v_e max. Vitezele maxime din ordonate (fig.5.13) sînt determinate deci din condiția de stabilitate a regimului (preluate direct din fig.5.1 și din condiția puterii maxime a sursei de alimentare cu curent prin ajutorul relației cunoscute:

$W = 1000 k_A \cdot k_R \cdot U_0^{3/4} \cdot d_e^{5/3} (k_D + k_C \cdot v_e)$, -curba 2 din fig.5.13.

Pe fig. 5.13, sînt prezentate dependențele între viteza maximă de avans a sîrmei electrod v_e max în funcție de inductanța circuitului în condițiile stabilității minime a procesului ($K_{ra} = 0$) și max. mului puterii sursei de curent (fără a ține cont de influența inductanței).-

Punctele determinate pe cale experimentală de /106/ confirmă caracterul variației determinate prin calcul și indică o precizie acceptabilă a calculelor analitice. Cu creșterea inductanței, diferența între viteza maximă, calculată fără a ține cont de inductanță (curba 1, fig.5.13) și viteza maximă, determinată în condiția de stabilitate, crește, ea devine apreciabilă pentru valori mari ale inductanței.-

Parametrii intrați în calcul sînt: $U_0 = 25$ V; $d_e = 2$ mm; $\lambda = 2,0$ mm, și $f = 50$ Hz.-

Pentru o altă, valoare a diametrului sîrmei-electrod trebuie trasată altă curbă.-

Curba 1, rezultă pentru v_e max. din condiția puterii maxime, iar curba 2 din condiția $K_{ra} = 0$ al cărui expresie este dată în(5.35).-

Figura 5.11, luată după /106/ are curbele coeficientului de acțiune rapidă K_{ra} ce corespund inductanței minime a circuitului, determinată conform relației dată de autorul lucrării /106/ în studiu /107/, relația destul de incomodă pentru practică, de aceea se va reveni asupra determinării valorilor L_{min} .

$$L_{min} = \frac{R}{f \cdot I_{max} \sqrt{\frac{E}{E - R I_{max}} \left(1 + \frac{R I_{max}}{U_a - E} \right)}}$$

unde: $I_{max} = 2 \cdot I_s$; E - f.e.m. a sursei de alimentare cu curent în V; U_a - tensiunea arcului în V; R - rezistența circuitului de

sudare în ohmi; L_{\min} - inductanța minimă, în H; f -frecvența de vibrație a sârmei-electrod în Hz.

Se consideră necesar de a reaminti, că sub stabilitate se înțelege aptitudinea sistemului de a menține caracterul comandat (prescris) de variație a tensiunii și intensității curentului în circuit (fără formarea perioadelor de mers în gol în fiecare ciclu al procesului), trecerea regimului în zona ce este caracterizată prin apariția mersurilor în gol în ciclurile procesului, trebuie să fie privită convențional, ca dispariția stabilității regimului.-

De aceea, punctul de intersecție a curbei valorilor lui K_{ra} , construită pentru o anumită inductanță a circuitului, cu curba K_{ra} , corespunzătoare inductanței L_{\min} , determină una din limitele a stabilității după parametrul analizat. Cealaltă limită este dată de punctul de intersecție a curbei analizate cu axa absciselor.-

Din acest subcapitol rezultă, cu caracter de lege generală, ceea ce de altfel confirmă toate figurile prezentate, creșterea coeficientului de acționare rapidă cu scăderea inductanței circuitului de sudare.-

Fig. 5.10, a, arată că, coeficienții de acționare rapidă scade cu creșterea diametrului sârmei-electrod. Valorile diametrelor maxime se reduc cu creșterea inductanței (din punct de vedere al condițiilor de stabilitate al regimului).-

Coeficientul de acționare rapidă se micșorează cu scăderea frecvenței de vibrație a sârmei-electrod, mai ales în regiunea valorilor mici ale frecvenței (fig.5.10,b). Pentru fiecare valoare a inductanței există valoarea minimă a frecvenței de vibrație, mai jos de care regimul devine instabil.-

Dependența coeficientului de acționare rapidă funcție de tensiunea de mers în gol are un maxim (fig.5.11,b). Valoarea maximului depinde de parametrii regimului. Valorile parametrilor pentru care sînt construite curbele lui $K_{ra}(U_0)$, tensiunea de mers în gol corespunzător valorii maxime a lui K_{ra} , este egală aproximativ cu 25 V. Această valoare a tensiunii coincide bine cu datele ce rezultă din practica încărcării cu vibroarc. La fel are un maximum dependența lui K_{ra} , funcție de rezistență

circuitului (fig.5.12). Acest maximum, se mută spre valorile mai mici ale valorilor rezistenței cu creșterea inductanței. Poziția pe grafic și valoarea lui $K_{ra}(r_e)$ depinde de alți parametri ai regimului.-

Existența punctelor maxime pe curbele lui $K_{ra}(U_0)$ și $K_{ra}(r_e)$ pretinde de la sursele de curent și circuit posibilitatea de reglare a lui U_0 și r_e , pentru asigurarea unei mai bune stabilități ai regimului. În practică, pare că, este suficient să fie reglată una din aceste mărimi. Recomandabil este să fie reglată tensiunea de mers în gol.

Analiza stabilității, prin ajutorul graficelor de dependență a coeficientului de rapiditate a acțiunii funcție de diferiți parametri ai regimului, reprezentate parțial în fig. 5.10-5.12, permite să se determine valorile de pornire ale parametrilor, care asigură eliminarea perioadelor de mers în gol în ciclurile procesului și înalta eficacitate de autoreglare a regimului.-

O mare importanță practică au graficele dependenței limitelor stabilității după unul sau altul din parametrii. Curba $v_{max}(L)$ pe fig. 5.13 în esență reprezintă granița superioară a stabilității în funcție de parametrii v_e și L . Cu ajutorul relației(5.35) sau a graficelor coeficientului de rapiditate, calculate pentru un interval suficient de larg a regimului de încărcare, se poate construi graficele stabilității în funcție de oricare alți parametri, de ex. v_e și U_0 , d_e și U_0 ș.a.m.d.-

5.5.4. Concluzii

Sînt redate pe scurt concluziile stabilite.

- S-a stabilit ecuația diferențială de mișcare a sistemului, legat de stabilitatea regimului de încărcare cu vibrații mici. Pentru simplificare nu s-a ținut cont de nelinearitatea sistemului.-

- Conform celor stabilite, rezultă că în circuitul de sudare la încărcare cu vibrație, procesele tranzitorii au caracter oscilant.-

- O importantă condiție de stabilitate a regimului de încărcare cu vibrație constă în aceea, că regimul de încărcare

trebuie să se afle pe ramura crescătoare a curbei de dependență a puterii sursei de curent funcție de intensitatea curentului. De aici, în cazul folosirii surselor de curent cu caracteristicile externe în linie dreaptă, tensiunea de lucru trebuie să fie totdeauna mai mare decât jumătatea tensiunii de mers în gol.-

- Rezistența dinamică a circuitului, în baza condițiilor de stabilitate a regimului, trebuie să fie mai mare de o anumită valoare pozitivă, proporțională, în particular cu inductanța circuitului.-

- Coeficientul de acționare rapidă a sistemului, crește cu micșorarea inductanței circuitului, diametrul sârmei-electrod, viteza de avans a sârmei-electrod, și cu creșterea frecvenței de vibrație a sârmei-electrod. Dependența coeficientului de acțiune rapidă funcție de tensiunea de mers în gol a sursei de curent și de rezistența echivalentă a circuitului au valori maxime. De aceea valorile optime pentru U_0 și v_0 depind de valorile altor parametri ai regimului.-

CAP. 6 - FUNDAMENTAREA ALEGERII SI REALIZAREA INSTALATIEI
=====

EXPERIMENTALE PENTRU INCARCARE CU VIBROARC
=====

6.1. - Schemele electrice ale instalațiilor folosite pentru încărcarea prin procedeul vibroarc.

6.1.1. - Generalități

În principiu, așa cum rezultă din literatura de specialitate /97,98,104/ încărcarea cu vibroarc poate fi realizată folosind schemele electrice cu surse de curent: continuu, redresat, alternativ și combinat (continuu și alternativ).-

Pentru a ne putea orienta, se analizăm oscilogramele din fig. 1.2, care reprezintă variațiile tensiunii (I) și a intensității de curent (II) pentru cazurile când schemele electrice sînt alimentate cu curent: continuu (a), alternativ (b) și combinat (c) în jet de lichid, din care rezultă pentru toate felurile de curent:

- durata perioadelor de descărcare electrică este de $6,5 \cdot 10^{-4}$ - $2,3 \cdot 10^{-3}$ și ocupă 7-21% din timpul unui ciclu (perioada de vibrație);
- durata mersului în gol este de 29,5 - 64% dintr-un ciclu;
- durata scurtcircuitelor este de 35-50% dintr-un ciclu;

Cantitatea de căldură ce se degajă în diferite perioade s-a determinat prin ajutorul curbelor de variație a puterii construite folosindu-se oscilogramele intensității de curent și a tensiunii din fig.1.2. Suprafața cuprinsă între curba puterii astfel rezultată și axa de timp, este proporțională cu căldura ce se degajă.-

Rezultatele calculelor care țin cont de rapoartele între suprafețele cuprinse de curba puterii și duratele perioadelor amintite mai sus, sînt cuprinse în tabela 6.1 /208/

Dehajarea căldurii în perioadele de descărcare a arcului și de scurtcircuit

Tabela 6.1.

Nr.crt.al experienței.	Sursa de alimentare cu curent a instalației	Distribuirea căldurii degajate în %	
		Perioada de descărc.a arcului	Perioada de scurtcircuit
1.	Generator de curent continuu	86,0	14,0
2.	Transformator	94,0	6,0
3.	Generator de curent continuu și transformator (curent combinat).	82,0	12,0

Din tabela 6.1 rezultă, că cea mai mare parte din căldură (82-94,0%) se degajează în perioadele de descărcare ale arcului.

Atunci când perioadele de mers în gol lipsesc, fiind sursa de curent este un generator de sudură de curent continuu, în acest caz, cantitatea de căldură ce se degaja în perioadele descărcării arcului, formează 98-99,5% (fig.1.3). Figura 1.3. reprezintă oscilogramele pentru frecvențele de vibrație de 100 Hz (a) și 50 Hz (b).-

6.1.2. - Schema electrică cu sursa de curent combinat (alternativ - continuu)

Experiențele executate pînă acum, folosind sursa de curent combinat pentru încărcare cu procedeul vibroarc n-ău dat rezultate bune din cauza instalațiilor prea complicate.

6.1.3. - Schema electrică cu sursă de curent alternativ

În aceste cazuri drept surse de curent se folosesc transformatoarele cu tensiunea secundară mică (12-28 V). Aceste surse de curent sînt mai ieftine, mai ușoare în greutate și mai simple în exploatare, însă din cauza formării unor scurtcircuite simple în exploatare, însă din cauza formării unor scurtcircuite de durată prea mare, de către sîrma-electrod pe piesă, în momentele de scădere a tensiunii în rețea electrică, nu asigură calitatea stratului încărcat.-

Problema poate fi rezolvată prin introducerea în circuitul de sudare a unui stabilizator de tensiune, care elimină influența variației tensiunii din rețea în limitele de pînă la circa $\pm 10\%$, ceea ce complică instalația și nu satisface întotdeauna.-

6.1.4. - Schema electrică cu sursa de curent continuu

În cazul folosirii schemelor electrice cu surse de curent continuu, inductanța circuitului de sudare se alege astfel încît să se prevină formarea perioadelor de mers în gol.-

Respectarea acestei condiții impune, ca în momentul scurtcircuitelor curentul din circuitul de sudare să nu scadă pînă la zero.-

Sistemul de alimentare cu curent continuu, reprezintă avantaje deoarece permite încărcări într-un interval larg de tensiuni. Schema electrică este simplă și dă rezultate bune în practică. Tensiunea la bornele generatorului practic nu depinde de variațiile tensiunii rețelei, asigurînd o bună stabilitate a regimului de lucru. Inductanța folosită trebuie să fie reglabilă.

6.1.5. - Schema electrică cu sursa de curent redresat

Cercetări recente /68,126/ arată, că prin ajutorul curentului redresat, încărcările cu vibroarc se fac în mod rațional și la tensiuni mai ridicate (15 - 30 V), iar sîrma-electrod folosită poate fi mai grosă (2-3mm), deci și o productivitate mai mare.-

Instalațiile de acest fel se folosesc astăzi pe scară mare la recondiționări de piese de automobile, tractoare, mașini unelte și altele.-

În cazul curentului redresat, ca și în cazul curentului continuu se lucrează cu polaritatea inversă, asigurîndu-se o mai bună calitate a stratului de metal încărcat.-

În cazul cînd inductanța circuitului de sudare sau încărcare cu vibroarc este mică (insuficientă), se produce o stropire abundentă a metalului sîrmei-electrod (pînă la 35-40%)/97/ și brusc se înrăutățește stabilitatea procesului. Din acest punct de vedere redresare cu germaniu dau rezultate mai bune

(pierderi prin ardere și stropire 11 - 15%).

Pentru toate cazurile se recomandă, să se introducă în circuitul de sudare, drept inductanță suplimentară, o bobină cu inductanța variabilă.-

6.1.6. - Fundamentarea teoretică a alegerii sursei de curent

La alegerea sursei de curent, trebuie ținut cont de influența deosebită ce o au vibrațiile electrodului asupra procesului de ardere a arcului. Pe de altă parte, alegerea corespunzătoare a sursei de curent este unul din factorii ce determină arderea stabilă a arcului.-

Deci, sursei de curent i se impun anumite condiții deosebite, pe care trebuie să le îndeplinească. Aceste condiții sînt dictate de caracterul descărcării arcului, ceea ce se limitează la cunoașterea formei caracteristicii statice a arcului $U_a = f(I_a)$, pentru o anumită lungime a arcului constantă ($l_a = \text{const.}$) (vezi sub cap. 2.8. și 5.1).

6.1.7. - Considerații practice asupra alegerii sursei de alimentare cu curent.

Sursa de curent trebuie să satisfacă condițiile arătate mai sus.

Forma caracteristicilor statice ale arcului în cazul procedurii vibroarc se aseamănă adomă cu forma general cunoscută a arcului electric de sudare, însă parametrii celor trei zone sînt mult diferiți.-

În zona de mijloc a caracteristicilor, cea rigidă pentru care $\text{tg. } \alpha_a = 0$ (fig.6.1), permite să se lucreze cu curenți de circa 100-200 A și pot fi folosite surse de curent cu caracteristicile coborîtoare întinse, dar rezultate mai bune dau cele rigide. Aceste limite de curent corespund cel mai bine parametrilor încărcării cu vibroarc, deoarece curenții între aceste limite asigură pe deplin o aderență (aliere) între metalul depus și cel de bază la o adîncime mică de pătrundere respectiv de topire a metalului de bază /177/. Aceasta corespunde atât din punct de vedere economic cît și din punct de vedere al tehnicii moderne. §

Rezultă, că unul din criteriile importante la alegerea sursei de curent, este coeficientul de stabilitate K_g , definit la Cap.5.-

În studiul /177/ sînt reprezentate grafic dependențele între coeficienții de stabilitate K_g și curenții "I" pentru un număr de patru surse de curent (generatoare de curent) (fig.6.2). Ţurbele sînt determinate experimental. Cele patru generatoare sînt de tipuri diferite. Din fig. 6.2. se vede clar că, caracteristica 1 reprezintă sursa de curent cu cea mai mare stabilitate.

Rezultatele cercetărilor efectuate /177/, duc la concluzia că pentru alimentarea instalațiilor cu vibroarc, sursele de curent - se recomandă - să aibă caracteristica externă rigidă, adică cu, curenții mari de scurtcircuit la tensiuni de mers în gol relativ mici (10-30V). Ele asigură regimurile de lucru la încărcare ce poate fi variat în limitele destul de largi.-

În ultimul timp se realizează instalații pentru încărcarea cu vibroarc, avînd surse de curent redresoare cu germaniu, siliciu sau seleniu.-

6.2. - Cîteva condiții ce trebuie să îndeplinească capul automat de încărcare cu vibroarc.

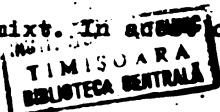
Pentru automatizarea procesului de sudare cu arc, este foarte important crearea unui automat cît mai simplu și comod și care ar putea cu succes să execute operația de avans a sîrmei-electrod cu o schemă cinematică acceptabilă.-

Mecanismele de avans ale sîrmei-electrod cunoscute astăzi pot fi împărțite, în mare, în trei tipuri:

1. Mecanisme pentru avans, la care viteza de avans a sîrmei-electrod depinde de numărul de rotații a transmisiei, fie de la electromotor, pneumotor sau hidromotor.-

2. Mecanisme pentru avans, la care schimbarea vitezei de avans a sîrmei-electrod depinde de raportul de transmisie a mecanismului. În acest caz de obicei sînt folosite transmisiile cu roți dințate și șurub fără fine, roți dințate schimbabile, variatoare de viteză, fricțiune ș.a.-

3. Mecanismele pentru avans, de tip mixt. În acest caz



reglarea vitezei de avans a sîrmei - electrod se produce ca urmare a variației turației motorului, precum și schimbării rapoartelor de transmisie la mecanismele de transmisie. Acest sistem a apărut ca urmare a necesității de a mări limitele de reglare a vitezei de avans a sîrmei-electrod.-

Studiul important, în ce privește alegerea unui sistem și chiar de principii noi pentru capetele automate, respectiv mecanismele de avans și reglarea avansului sîrmei-electrod, au fost efectuate de A.M.Naidenoff și publicate în /81,82,83,84,191 192/.-

Lucrarea /81/, sintetizează schemele cinematice ale mecanismelor de avans ale sîrmei -electrod ce funcționează în baza unei legi de mișcare stabilă prin ajutorul cărora se poate realiza o conducere mecanică a trecerii metalului topit /83/.-

Cercetări științifice asupra capetelor automate pentru încărcarea cu vibroarc, se referă în primul rînd la influența lor asupra stabilității procesului și calității stratului încărcat.- Factorii de luat în considerare sînt: menținerea constantă a vitezei de avans a sîrmei-electrod, stabilitatea procesului de vibrație, protejarea sigură a zonei de ardere a arcului și în fine posibilitatea menținerii în decursul unei lungi perioade de timp, a parametrilor de reglare proprie a capului automat.-

S-au cercetat diferite mecanisme de avans ale sîrmei-electrod: sub forma de avans cu mecanism tip clește cu role globoidale sau zimțuite. Viteza de avans în prima variantă se schimbă prin ajutorul unui variator (fără trepte), iar în cel de al doilea caz - prin ajutorul roților dințate schimbabile.-

Toate aceste forme de avans realizate cu diferite tipuri de capete automate au arătat, că în circuitul cinematic începînd cu motorul electric și pînă la mecanismele de propulsie nu trebuie să existe transmisii ce ar permite lunecarea sîrmei-electrod.

Altfel, procesul devine instabil, încărcarea din loc în loc se întrerupe, iar calitatea metalului încărcat devine slabă. Rezultatele mai bune se obțin la utilizarea concomitentă a mecanismului cu role zimțuite și cu roți dințate schimbabile.-

O importantă influență asupra stabilității încărcării

are menținerea stabilă a procesului de vibrație. Unele capete automate pentru încărcare cu vibroarc sînt prevăzute cu vibratoare electromagnetice. Experiența de lucru cu astfel de capete /166/ arată, că vibratorul electromagnetic nu asigură o stabilitate pretinsă de procesul vibroarc. Funcționarea unor astfel de vibratoare, depinde de reglarea și dispoziția reciprocă a ansamblurilor și posibilitatea ca timp mai îndelungat să se păstreze reglarea staționară neschimbată. O cît de mică deranjare a reglării, duce la o completă intrerupere a vibrațiilor. În cazul unei activități intense este necesar ca reglarea vibratorului să fie refăcută des.-

Ca un neajuns esențial al vibratorului electromagnetic, este faptul că există posibilitatea de oprire a vibrațiilor în procesul de funcționare. Aceasta se poate întîmpla la scurtcircuitarea sîrmei-electrod, deoarece în această fază armătura se găsește la cea mai mare distanță de electromagnet; o mărire suplimentară a acestei distanțe poate să ducă la oprirea procesului de vibrație. Cauza ce poate provoca mărirea distanței între armătură și electromagnet, este creșterea amplitudinii de vibrație, care depinde de existența neregularităților pe suprafața încărcată, de viteza de topire, iar cea din urmă, la rîndul său, depinde de fluctuațiile inevitabile ale puterii arcului, de analiza chimică și dimensiunile secțiunii transversale ale sîrmei-electrod.

Oprirea vibrațiilor poate să se producă și din cauza uzurilor în articulațiile sistemului.-

Toate observațiile de mai sus, au dus la crearea unor construcții de vibratoare mecanice. De toate aceste observații s-a ținut cont la crearea capului automat experimental care a dat rezultate bune.-

O influență determinantă asupra calității stratului încărcat este protejarea sigură a zonei de ardere a arcului de mediul înconjurător. Ajutajul prin care se aduce fluidul de protecție trebuie să asigure o astfel de scurgere a fluidului care asigurînd o protecție cît mai perfectă a arcului de aerul înconjurător, să nu provoace stingerea lui. Fluidul adus trebuie să realizeze o bună răcire a ajutorului și a piesei ce se încarcă, înșă trebuie să asigure garantat și o poșhiță neîntre-

ruptă a fluidului de protecție.-

Totuși, în ultimii circa 3-4 ani au apărut câteva brevete, pe plan mondial, care încearcă să elimine neajunsurile amintite ale vibratoarelor electromagnetice. Astfel, în scopul ridicării calității stratului încărcat, se adoptă un sistem de menținere a tensiunii medii a arcului (tensiunea fiind cea prescrisă), în acest scop sistemul de oscilare este înzestrat cu un regulator de opunere la vibrații care este executat sub forma unui demper hidraulic fixat rigid de ajutoraj, cu o supapă diferențială legată de miezul electromagnetului. În felul acesta înfășurarea electromagnetului este supusă diferenței de tensiuni între tensiunea dată și tensiunea spațiului arcului.-

Construcția, cum este spre exemplu capul automat tip VG.- 2 (URSS), aplică un vibrator mecanic cu came, care permite să stabilească un raport optim între durata perioadelor ciclului de încărcare pe calea profilării corespunzătoare a camei. Vibrațiile nu se transmit ajutorajului ci direct sîrmei-electrod, ceea ce asigură valoarea constantă a amplitudinii și stabilitatea procesului de vibrare. Linia de desfășurare a sîrmei-electrod, este lipsită de curbe putînd astfel folosi fără greutate sîrma-electrod din oțel inoxidabil pînă la 2,5 mm. diametru.-

Lichidul de lucru (răcire), este adus în capul de ghidare și se scurge sub presiune printr-un ajutoraj special, formînd un con de protecție, care, ca urmare a imobilității capului de ghidare protejează sigur zona de încărcare de acțiunea aerului înconjurător.-

Construcția capului de ghidare este astfel făcută, în cît permite să fie folosit ca mediu protector fie lichid, fie gaz.-

Acest model de cap automat, este recomandat pentru suprafețe de încărcare pînă la circa 400 cm^2 .

Important de scos în evidență, că neajunsul capetelor automate realizate este că ansamblul de producerea vibrațiilor, posedă o masă destul de mare. Urmare inerției maselor în vibrare, frecvența vibrațiilor nu poate depăși 30-40Hz., cît că frecvența ce poate fi realizată de vibrator electromagnetic sau mecanic poate fi mult mai mare.- În afară de aceasta, mișcările

vibratorii a masselor mari, sînt urmate de trepidațiile întregii instalații, ceea ce cum s-a mai amintit, dereglează întregul sistem. De aceea, se elimină sistemul vibrator cunoscut transmițînd vibrațiile direct sîrmei-electrod printr-o camă cu excentric.- Condiția principală ce trebuie s-o îndeplinească un cap automat, din punct de vedere constructiv, este durata de viață cît mai mare și posibilitatea să asigure stabilitatea procesului de încărcare, la o funcționare de durată fără întreruperi.-

Realizările și patentele amintite, sînt de cele mai multe ori numai realizări încă de laborator.-

Important este de a menține raportul optim, între viteza de topire a sîrmei-electrod și aceea de avans a ei. Viteza de topire a sîrmei-electrod depinde de puterea arcului, de analiza ei chimică și de diametrul ei.-

Reducînd valoarea tensiunii de mers în gol și puterea arcului, se reduce cantitatea de căldură, ce se degajă în zona de încărcare în unitate de timp, se reduce adîncimea de topire și zona de influență termică.-

Pentru lărgirea posibilităților tehnologice a procedeu-ului, s-au executat modele de capete automate ce pot încărcă piese cilindrice în exterior și în interior, precum și suprafețe conice sau curbilini oarecare, conducîndu-se sîrma - electrod după un calibru special de copiat.-

Prin măsurile și metodele arătate mai sus, s-a putut realiza capul automat de încărcare ce poate varia frecvența de vibrație în intervalul de circa 20-100 Hz, asigurînd condițiile stabile de încărcare. În acest caz s-a înlăturat influența nefavorabilă a inerției ansamblului producător de oscilații, s-a realizat un mecanism de vibrație mult ușurat.-

Lucrarea /84/ studiază sincronizarea impulsurilor electrice și mecanice, precum și forțelor electromagnetice și de inerție, care joacă un rol hotărîtor în desprinderea și trecerea metalului topit de pe sîrma-electrod în cazul încărcării cu vibroarc

x

x x

Rezultă de fapt, că tipul cel mai potrivit în cazul nos-

tru este cel de sub trei care a fost realizat prin modificările și completările făcute de autor capului NVE - 301 de construcție cehoslovacă.-

Acționarea suportului cu capul automat, ceea ce stabilește și pasul încărcării, care este variabil și prin intermediul unei perechi de roți dințate amplasate la capătul din dreapta al batiului putând astfel să varieze pasul între 1,5 - 4 mm. (pentru o turație a fluxului principal.)

Pasul spiralei pentru o rotație a fusului principal este dat de formula:

$$S = 2,53 \frac{d_1}{d_4}$$

unde: S - pasul în mm;

d_1 - diametrul teoretic al roții dințate de pe fusul principal al mașinii;

d_4 - diametrul teoretic al roții dințate pe fusul păpușii fixe.

În cazul necesității creării unei trepte noi, se pun încă două roți dințate intermediare d_2 și d_3 , iar pasul se va calcula cu formula:

$$S = 2,53 \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_4}{d_3}$$

Cu ajutorul roților dințate cu care s-a înzestrat instalația experimentală, se pot realiza următoarele avansuri, longitudinale (pași): 1,50; 1,80; 2,07; 2,27; 2,50; 2,80; 3,10; 3,60 și 4,22 mm.

Schema de angrenare este prezentată în fig. 6.3.

Capetele automate pentru încărcarea cu vibroarcă constau în principal din: ansamblul pentru avansul sîrmei-electrod, ansamblul pentru vibrarea sîrmei-electrod, ansamblul de alimentare cu lichidul de lucru, ansamblul de sprijin și fixare a capului, precum și caseta pentru sîrma-electrod.-

Astăzi nu există utilaj unificat sau tipizat pentru încărcarea cu vibroarcă.-

Există câteva capete automate realizate mai ales în UR și Cehoslovacia, dar nu s-a ajuns la o soluție ce să permită o

bricație de serie.-

Caracteristicile tehnice ale câtorva capete automate
pentru încărcarea cu vibroarc fabricate în U.R.S.S-

Tabel: 6.2

Caracteristica	Tipul capului automat				
	CTZ	KM-5	KUMA-5	CPHZ- CTZ	UANJ 5
Puterea motorului de acționare în W.	150	250	-max.300A	125	85 max. 250 A
Aducerea sîrmei-electrod față de piesă.	later.	deasupra	deasupra	deasupra	later
Tipul vibratorului	electromagnet.	electromagnet.	mișc. circ.	electromagnet.	electromagnet.
Limitele de reglare a vitezei de avans a sîrmei-electrod mm/s.	12,5-22	6,7-50	3,3-25	15,2-24	5-25
Diametrul sîrmei-electrod mm.	pnă la 2,2	0,7-2,5	0,5-2	pnă la 1,2-3	3

Au mai apărut cîteva modele pe care le prezentăm mai jos.

6.2.1. - Capul automat al instalației experimentale

Baza instalației experimentale, folosită de autor la cercetările pentru procedeul vibroarc, a fost automatul de construcție cehoslovacă tip NVE-301 în cadrul unui ansamblu tip KP NVE-301. Atît automatul cît și întreaga instalație au suferit o serie de modificări constructive în sensul perfecționării funcționale și în scopul asigurării performanțelor mai ridicate a instalației, precum și a unei mai bune calități a stratului încărdat.-

Modificările constau în următoarele:

- Toată instalația a fost adaptată constructiv și funcțional pentru sîrma-electrod pnă inclusiv 2 mm. diametru în loc de normal 1,6 mm și maximum de 1,8 mm. Modificarea importantă din punct de vedere al performanțelor cunoscînd că scopul final al instalației este folosirea ei industrială.-

Cu creșterea diametrului sîrmei-electrod cantitatea de metal topit, în unitatea de timp, crește la pătrat.-

- Pentru mărirea duratei de viață a diuzelor ajutatoarelor, acestea, după o îndelungată observație, au fost înlocuite cu diuze din material dur T 15 K 6 care au dat rezultate bune fig. 6.4.

Fig. 6.5, arată capătul ajutoarelor cu diuza (bucșă) din metal dur.-

În continuare este redat studiul efectuat în legătură cu uzura diuzelor.-

6.2.2. - Studiul și cercetările asupra uzurii diuzelor de ghidare legat de stabilitatea procesului la încărcare cu vibroarc.

Stabilitatea procesului la încărcare cu procedeul vibroarc, este una din temele centrale ale studiului de față.-

În afară de factorii analizați pînă acum, ce influențează asupra stabilității procesului vibroarc, mai sînt și alți factori destul de importanți care contribuie în bună măsură la stabilitatea procesului cît și la o bună funcționare a instalației de încărcare cu vibroarc. Ne referim la uzura ajutoarelor respectiv a diuzelor de ghidare de care depinde și siguranța de funcționare a instalației.-

Experiența cîștigată cu ocazia executării lucrărilor, legate de cercetările și studiile din teză, confirmate de alții și de lucrările /10, 195/ arată, că se produce o eroziune destul de pronunțată a diuzelor-ajutoarelor, de obicei executate din aliaje de cupru, alamă sau chiar din oțel.-

Din cauza uzurii rapide a canalelor diuzelor ajutoarelor, cum arată fig. 6.6.a și b durata de funcționare a lor nu depășește 10 ore. Prin rotirea lor cu 180° , acestea mai pot fi folosite încă circa 10 ore, total deci 20 ore.-

La începutul experiențelor, în prima variantă a automatului de încărcare am avut diuzele ajutoarelor executate din bronz, care se uzau așa cum este arătat în fig. 6.6.a și b.-

în bune condițiuni fără înlocuire 450-500 ore.-

Figura 6.6, reprezintă formele de uzură ale ajutorajelor, executate din: a - aliaj de cupru; b- oțel tratat termic; c - aliaj dur T 15 K 6 și d - aliaj dur Bk 8 /10/.-

Pentru studierea influenței uzurii diuzelor ajutorajului asupra stabilității procesului de încărcare cu vibroarc, desigur și asupra calității stratului încărcat, au fost executate oscilogrammele tensiunii și intensității de curent ale arcului.-

Analiza acestor oscilogramme (fig.6.7) executate lucrând cu diuze ce aveau uzura de 0,7 mm(fig. 6.7, a) și 0,1 mm. (fig. 6.7, b), a arătat, că în primul caz stabilitatea procesului de încărcare este evident deteriorată, nu există o periodicitate a ciclurilor în procesul vibroarc. În cel de al doilea caz, procesul a decurs stabil, iar indicele ce reprezintă gradul de umplere al curbei impulsurilor tensiunii, corespunde cifrei recomandate de studiul /143/, adică aproape egal cu 2.-

Coefficientul de pierderi a metalului prin stropire, în cazul uzurii de 0,7 mm. a fost de 25-30%, iar la uzura de 0,1 mm 10-15%, ceea ce corespunde cu cele stabilite în studiul /143/.-

Din punct de vedere al duratei de viață al ajutorajului, rezultă că ajutorajele executate din aliaj dur T 15 k6, corespund cel mai bine.-

Uzura găurii diuzei ajutorajului mai mult de 0,5 mm, față de diametru nominal, influențează în mod sensibil asupra stabilității procesului de încărcare. Uzura de 0,5 mm. a ajutorajului reprezintă limita când trebuie să fie schimbat ajutorajul.-

Aceste cercetări /143/ precum și propriile constatări la efectuarea lucrărilor de încărcare a epruvetelor și pieselor diferite au dus la modificarea constructivă a ajutorajului și diuzei inițial existentă, cu cele conform descrierii (din T 15 k6) îmbunătățind astfel performanțele instalației, în ansamblu mărinind durata de funcționare cu peste 22 ori, cunoscând că acesta este punctul cel mai slab al instalației.-

6.3. Componenta instalației cuprinzând și capul automat, pentru încărcarea cu vibroarc

Fig. 2.1. reprezintă o schemă desfășurată de principiu a inste-

lației pentru încărcare cu vibroarc, tot acolo este și descrierea

Pentru încărcarea pieselor din oțeluri înalt aliate, inoxidabile, rapide se adaugă instalația pentru protejarea zonei de încărcare cu CO₂, argon sau amestecurile lor.-

Figura 6.8, reprezintă schema de principiu a ansamblului instalației.-

Figura 6.9, reprezintă schema electrică de principiu a instalației experimentale folosite pentru încărcare cu vibroarc

6.3.1. Ansamblurile instalației experimentale, fig.6.10.

1. Cap universal de prinderea pieselor rotunde (cu păpușa fixă).
2. Cap automat de alimentare și vibrare a sirmei-electrod.
3. Tabloul de comandă.
4. Dulapul de comandă.
5. Sursa de alimentare cu curent (un redresor de curent tip kV200)
6. Tablou de distribuție.
7. Alimentarea cu gaz de protecție (CO₂ sau argon, etc).
8. Instalația de absorbție a gazelor arse din zona de lucru.

Instalația este reprezentată în fotografiile fig.6.11 și

6.12.

6.4.- Caracteristicile tehnice principale ale instalației

- Tensiunea rețelei	3 x 380 V la 50 Hz
- Curent nominal în cablul de alimentare	9,3 A
- Tensiunea de sudare (încărcare)	22 V
- Curentul de sudare (încărcare) la DRS-100%	50-200 A
- Tensiunea de mers în gol (reglare fină)	13-26 V
- Puterea absorbită la tensiunea nominală	6,1 kVA
- Puterea absorbită la mers în gol	290 W
- Randamentul redresorului de curent (tip kV 200)	86 %
- Factor de putere	0,83
- Diametrul pieselor ce pot fi încărcate	8 -600 mm.
- Lungimea maximă a piesei de încărcat	1000 mm.

6.4.1. - Caracteristicile capului automat de încărcare cu tip experimental

→ Curentul de sudare c.c.	300 A max.
- Tensiunea de sudare	22 V max.
- Viteza de avans a sârmei-electrod	0,3 - 2,0 m/min.
- Frecvența de vibrare	25 - 100 Hz.
- Diametrele sîrmelor	1,2; 1,4; 1,6; max. 2 mm.
- Tensiunea rețelei	3x330 V la 50 Hz.
- Puterea maximă a automatului	cca. 300 VA.
- Greutatea capului	cca. 100 kg.

Vezi fotografiile fig. 6.16 și 6.17.

Prin schimbarea angrenajelor se poate schimba treptele vitezei de avans.-

Instalația are turația reglabilă continuă (fără trepte) de la 0,15 - 30 rot./min.-

Poate fi folosită pentru oțeluri carbon (nealiat) oțeluri inoxidabile și metale neferoase.-

La încărcări normale pe oțeluri cu carbon, puțin și mai puțin pretențioase, arcul se protejează cu lichid de lucru, la oțeluri inoxidabile cu bioxid de carbon, iar pentru materiale neferoase cu argon.-

Instalația este prevăzută cu ventile speciale de reducere a presiunii (pentru CO₂ și Ar) și cu măsurători de debit și elemente de încălzire pentru uscarea gazului. Debitul maxim al gazului 25 l/min.-

6.5. - Descrierea funcționării părții electrice a automatului experimental

Funcționarea părții electrice poate fi urmărită în schema fig. 6.18. Curentul de la rețea de 220 V, 50 Hz. se conectează la placa de borne D₁ și prin întrerupătorul principal V₁, iar lampa de control H₁ semnalizează dacă instalația se află sub tensiune.-

Prin întrerupătorul principal se alimentează transformatorul cu trei înfășurări secundare T₁. Înfășurarea de 35 V este racordată la redresorul cu siliciu U₁. Prin acest redresor este alimentată excitația motorului pentru realizarea avansului sârmei-electrod M₁ și circuitul bobinei releului auxiliar B₁, în

în al cărui circuit se găsește întreruptorul A_1 notat pe tabloul de comandă (fig. 6.19) cu inscripția "tensiunea arcului".-

Infășurarea de 150 V la derivațiile în intervalele 70 - 150 V și 0 - 130 V alimentează prin comutatorul V_4 , redresorul U_5 al electromotorului vibratorului M_2 . Acesta este conectat de întreruptorul V_3 (pe tabloul de comandă scris "Vibrator" (fig. 6.19)). Tensiunea de ramificație 0-150 V se transmite traductorului T_3 care prin redresoarele U_2 și U_3 alimentează prin întreruptorul V_2 , indusul micromotorului electric M_1 , pentru avansul sîrmei-electrod. Tensiunea de 220 V este stabilizată cu un element normal de curent al traductorului T_2 și redresate de redresorul U_4 . Rezistența R_1 , reglează valoarea tensiunii redresate.- De la redresorul U_4 tensiunea curentului continuu este transmisă potențiometrului R_2 . Tensiunea reglată cu potențiometrul se compară cu tensiunea de la bornele rezistenței R_4 . Tensiunea de la rezistența R_4 este transmisă, după redresoare prin U_6 , la tahnogeneratorul montat pe arborele micromotorului electric M_1 , pentru avansul sîrmei-electrod.-

Diferența dintre tensiunea stabilizată, reglată de potențiometrul R_2 , și tensiunea de la tahnogenerator se aduce la infășurarea de comandă a traductorului T_3 . În funcție de tensiunea de comandă adusă, traductorul lasă să treacă prin infășurarea lui, o cantitate de energie electrică mai mare sau mai mică în indusul motorului M_1 , care se va roti astfel mai repede sau mai încet. Prin aceasta comparație permanentă a tensiunii tahnogeneratorului cu tensiunea reglată stabilizată, se menține constantă turația reglată a micromotorului electric, pentru avansul sîrmei - electrod.-

Partea electrică a automatului (fig. 6.18) asigură următoarele funcțiuni:

- reglarea continuă a avansului sîrmei-electrod;
- reglarea continuă a frecvenței vibrațiilor;
- întreruperea (deconectarea) tensiunii de la sîrmă-electrod, astfel ca în timpul manipulării piesei încărcate să nu se poată forma un scurtcircuit;
- legătura dintre comanda electromagnetului și stabilirea conexiunii cu sursa de curent;

- legătura dintre pornirea dispozitivului de așezare a automatului în poziție și conectarea sursei de curent ;
- legătura cu pompa pentru lichidul de lucru, și conectarea tensiunii sursei de curent.

x

x

x

Automatul are două subansamble independente

- tablou de comandă (fig. 6.19)

- dulap de comandă (fig. 6.20)

Automatul se assemblează cu dispozitivul de așezare respectiv orientarea în poziție de lucru (dorită), fig. 6.21.

6.5.1. - Dulapul de comandă (poz.4, fig. 6.10).

Toate elementele funcționale sînt repartizate pe dulapul vertical. Pe dulapul vertical, este amplasat releul B_1 , pentru comanda sursei de curent în vederea încărcării și a dispozitivului de așezare în poziție, redresoarele cu siliciu $U_1 - U_5$, comutatorul pentru frecvența vibrațiilor V_4 și rezistența R_1 .

În afara de elementele amintite, se mai găsesc transformatorul de alimentare T_1 , transformatorul T_3 și stabilizatorul de curent T_2 . Pe peretele exterior al dulapului se află întreruptorul cu pîrghie V_1 pentru cuplare la rețea de alimentare cu curent.-

6.5.2 - Tabloul de comandă fig. 6.19

În tabloul (cutia) de comandă sînt concentrate toate elementele pentru controlul și comanda procesului de încărcare cu vibroarc - de fapt totul este într-o cutie. Pe partea din stînga a cutiei de comandă sînt fixate aparatele de măsură (pentru frecvența vibrațiilor ajutorului Q_3). Prin întreruptorul V_3 se conectează motorul electric al vibratorului, iar cu maneta R_3 (rezistența de reglare) se face reglarea frecvenței ajutorului. Întreruptorul A_1 conectează sursa de curent pentru încărcarea, iar cu butonul potențiometrului R_3 se reglează viteza de avans a sîrmei-electrod. Comutatorul V_2 servește pentru stabilirea sensului de avans a sîrmei-electrod. D_6 , respectiv D_5 sînt două prize multipolare pentru racordarea capului automat cu

cu cablu de încărcare și respectiv cu cutia de reglare.-

In cutia de comandă este amplasat și un redresor trifazat pentru redresarea tensiunii tahogeneratorului, precum și rezistențele suplimentare pentru diferite aparate de măsură.-

6.5.3. - Sursa de alimentare cu curent (fig.6.10.poz.5)

Drept sursă de alimentare cu curent a instalației este un redresor de curent tip KV - 200 de construcție cehoslovacă fig. 6.13. foto. fig. 6.14. Curent nominal de sudare 200 A (funcționare continuă), tensiunea rețelei 3 x 380 V la 50 Hz., răcire cu ventilație forțată.-

6.5.4. - Date tehnice.

- Curentul de alimentare de la rețea	9,3 A
- Tensiunea nominală pentru sudare	22 V
- Curentul nominal pentru sudare la DRS - 100%	200 A
- Reglarea fină a tensiunii (la mersul în gol)	13-26 V.
- Puterea nominală	6100 VA
- Randament	86%
- Factorul de putere	0,83
- Greutatea	190 Kg.

Redresorul are un comutator cu 16 poziții putând obține astfel 16 tensiuni în intervalul de 13 - 26 V.

In circuitul de sudare se află și o bobină de inductanță pentru reglarea și diminuarea la minimum a stropirii metalului.

Redresorul este insensibil la variația tensiunii rețelei în limitele de $\pm 7,5\%$.-

Bobina de reactanță este reglată prin variația întrefierului miezului bobinei 2 (2,5-30 mm) și prin variația numărului de spire (printr-un comutator).-

Caracteristice externe ale redresorului sînt reprezentate în fig. 6.15. Inclinarea caracteristicilor externe; 1,2 V pe 100 A.

6.5.5. - Tablou de distribuție (fig.6.10. poz.6)

Se compune din 7 cutii standardizate cuprinzînd un întreruptor tripolar de 100 A, siguranțe, lămpi de control, ra-

cordul la o priză bipolară a panoului de comandă, iar sursa de curent la priza cu patru poli de 60 A și pentru o lampă de iluminat (a locului de muncă) transportabilă. Cutia este pusă la pământ.-

6.6. - Profilul și posibilitățile tehnice ale automatului experimental

Automatul tip experimental, adaptat nevoilor cercetărilor urmărite, poate fi folosit pentru încărcarea prin procedeul vibroarc atât sub jet de lichid, cât și în atmosfera cu gaze de protecție (CO₂, argon sau combinații de diferite gaze și cu oxigen). Pot fi încărcate materialele de diferite calități pe suprafețele cilindrice în exterior și în interior, precum și pe suprafețele plane.-

Deci se fac încărcări în funcție de protecția arcului:

- încărcare sub jet de lichid (de lucru);
- încărcare sub gaze de protecție (pentru uscarea gazelor folosite instalația are un dispozitiv de uscare);

In funcție de calitatea sîrmei-electrod se pot încărca

piesele:

- cu sîrma-electrod din oțel cu conținut mic de carbon;
- cu sîrma-electrod din oțel cu conținut ridicat de carbon;

- cu sîrma-electrod din oțel inoxidabil;

- cu sîrma-electrod din metale neferoase;

In funcție de calitatea materialului de bază:

- încărcarea pe oțel și fontă oțelite;

- încărcare pe fonta cenușie;

- încărcare pe oțel inoxidabil;

- încărcare pe metale neferoase;

In funcție de forma și poziția suprafeței de încărcare:

- suprafețe cilindrice exterioare;

- suprafețe cilindrice interioare;

- suprafețe plane

- unele cazuri speciale

CAP. 7 - CERCEȚARI CU PRIVIRE LA FORMA GENERALĂ A CONDIȚIILOR
DE STABILITATE ALE SISTEMULUI SURSA DE CURENT-ARCUL
ELECTRIC CU APLICABILITATE LA PROCEDEUL DE SUDARE VI-

BROARC
=====

Funcționarea stabilă a sistemului energetic format din sursa de alimentare cu curent - arcul electric de sudare, este o problemă de o deosebită importanță, atât din punct de vedere al menținerii regimului stabil de sudare cât și pentru alegerea și conceperea utilajului rațional de sudare.-

Intre timp însă, condițiile clasice de stabilitate nu mai sînt valabile decît în parte, ceea ce se va cerceta în acest capitol.-

În ce privește stabilitatea arderii arcului, există două categorii de factori care determină această stabilitate. Prima din ele, cuprinde condițiile în care se desfășoară procesele electrice și termice în spațiul arcului. Cea de a doua categorie se referă la caracteristicile circuitului electric format din sursa de curent și arcul electric (de sudare). Ne vom preocupa de cea de a doua categorie de factori.-

Din teoria arcului electric, se cunoaște forma generală clasică a condițiilor de stabilitate a sistemului energetic amintit. Aceste condiții determină corelația ce trebuie să existe între forma caracteristicii externe a sursei de alimentare cu curent cu forma caracteristicii statice a arcului de sudare.-

Pornind de la relația echilibrului dinamic al sistemului sursă de curent-arcul electric, integrînd-o și analizînd, rezultă, că pentru ca sistemul să fie stabil, este necesar să fie îndeplinite următoarele condiții /88/, clasic cunoscute:

$$L_s > 0 \quad (7.1)$$

$$\frac{\partial U_a}{\partial I} - \frac{\partial U_s}{\partial I} > 0 \quad (7.2)$$

unde. U_a - tensiunea arcului electric în V;

U_s - tensiunea sursei de curent în V;

L_s - inductanța sursei de alimentare cu curent în H;

I - intensitatea curentului prin arcul electric, în A;

$\frac{\partial U_a}{\partial I} = R_a$ - rezistența dinamică a arcului electric în ohmi;

$\frac{\partial U_s}{\partial I} = -R_s$ - rezistența dinamică a sursei de alimentare cu curent, în ohmi.

Condiția de sub (7.1), în cazul surselor de curent de tip electromagnetic (cu inerție magnetică), de obicei - totdeauna este satisfăcută.-

Pentru un regim dat, relația (7.2) poate fi scrisă sub forma:

$$k_s = \frac{\partial U_a}{\partial I_a} - \frac{\partial U_s}{\partial I_a} > 0 \quad (7.3)$$

este condiția stabilității statice,

unde k_s - este numit coeficientul de stabilitate;

I_a - intensitatea curentului prin arc la regimul dat, în A.

Dacă ne referim la fig. 6.1, relația (7.3) poate fi scrisă sub forma:

$$k_s = t_g \alpha_a - t_g \alpha_s > 0 \quad (7.4)$$

mai ușor aplicabilă în practică.

Deci, sistemul este stabil, dacă diferența derivatelor (7.3) caracteristicii statice externe a arcului electric și a caracteristicii externe a sursei de alimentare cu curent, în punctul de funcționare analizat, numită coeficientul de stabilitate k_s , este pozitivă.-

În limitele posibile de variație a parametrilor, care determină forma caracteristicii statice a obiectului energetic, acesta posedă o familie de caracteristici statice. Fiecare din ele corespunde diferitelor valori ale aceluiași parametru.-

În cazul existenței unui regulator, acesta acționează asupra obiectului reglat și realizează astfel formarea caracteristicii lui statice, înlocuind familia de caracteristici statice posibile ale parametrului, printr-o caracteristică statică complexă, pentru valori programate (impuse) de regulator pentru

acel parametru.-

Astfel, regimurile posibile de funcționare, la obiectul ce se reglează automat, în regim static se determină, - spre deosebire de cele ce nu se reglează-, de către o singură caracteristică statică, ce se conturează sub acțiunea regulatorului automat. Aceasta caracteristică statică "automată" /141/ a obiectului ce se reglează, sau a sistemului, de fapt este curba regimurilor statice stabile, menținute automat în sistem.-

Coefficientul de stabilitate k_g , de fapt reprezintă rezistența dinamică a întregului sistem, alcătuit din sursa de alimentare cu curent și arcul de sudare, iar condiția stabilității poate fi enunțată astfel: " sistemul va fi static stabil, dacă rezistența dinamică exprimată prin k_g , numit coeficientul de stabilitate, va fi pozitiv" /140/.-

Se precizează, că fenomenul de autoreglare, amintit mai sus, în cazul încărcării cu procedeul vibroarc, aparține sistemului în ansamblu și nu numai descărcărilor arcului de sudare.-

Conform studiului /141/ rezultă că, condițiile de stabilitate pentru surse de alimentare cu curent cu inerție de gradul unu - pentru orice valori ale coeficientului de stabilitate k_g - sînt analoge condițiilor de stabilitate pentru surse de alimentare cu curent considerate fără inerție pentru un $k_g > 0$.

Sursele de alimentare cu curent cu inerție de gradul unu, sînt considerate în primul rînd generatoarele de curent continuu cu excitația independentă. Tot aci aparțin și redresoare de sudură avînd în circuitul redresat o inductanță adică cazul studiat.-

Practic, sursele de curent fără inerție sînt considerate surse ce sînt folosite în cazul sudării cu curent alternativ precum și în cazul sudării cu curent continuu cu redresare de sudare ce nu au inductanță în circuitul de sudare (circuitul curentului redresat).-

La sudare cu scurtcircuitările periodice-sistematice (vibroarc) topirea firmei-electrod se produce fără trecerea metalului în perioada de timp cînd arde arcul, această trecere a metalului se realizează în timpul scurtcircuitelor, cînd firul

electrod se produce fără trecerea metalului în perioada de timp când arde arcul, această trecere a metalului se realizează în timpul scurtcircuitelor, când sîrma-electrod practic nu se topește. Prin urmare în acest caz, viteza de lungire a arcului $v_{al} = 0$ în timpul arderii arcului. Conform cercetărilor /141/, procesul de formare a picăturii pe capătul sîrmei-electrod, poate provoca o oarecare lungire a arcului, dar acest fenomen numai foarte puțin reduce viteza de avans rezultantă a sîrmei-electrod, care la sudare cu scurtcircuitările periodice totdeauna este mai mare decît viteza de lungire a arcului. Variațiile regimului de sudare au caracterul ciclic tranzitoriu ce se repetă. Deoarece nu există dependență directă între viteza de topire a sîrmei-electrod și viteza de lungire a arcului la sudare cu scurtcircuitările periodice, la vibroarc, fenomenul de autoreglare sub forma sa pură nu se observă (nu există).-

Totuși, analizînd un ciclu al procesului de topire și de trecere a metalului în ansamblu, se poate adapta noțiunea de autoreglare "integrală", la care viteza medie de topire și de trecere a metalului la un proces stabil ce se repetă, este egală cu viteza de avans a sîrmei-electrod.-

Condițiile de mai sus (7.1 și 7.2) stabilite de /88/ au fost reproduse în manuale, studii și articole din reviste /93, 94 140, 141 și alții/.-

Între timp însă, au apărut mai multe procedee noi de sudare și încărcare a pieselor, care au ciclurile de sudare cu totul deosebite. În funcție de piesa de sudat se alege și procedeul de aplicat. Vorbînd în general, sînt posibile variațiile lungimii arcului în trepte, periodice cu variații bruște și lente sau cum sînt cele ce ne interesează în mod deosebit procedeele pulsatorii și în special procedeul vibroarc.-

Procedeul vibroarc, în esență, este un procedeu mecanizat de sudare (încărcare) cu arc electric pulsator, cu o stricte periodicitate într-un mediu protejat și în ansamblu procedeul este automatizat.-

Evident, asupra alegerii formei caracteristicii sursei de alimentare cu curent, o mare influență au proprietățile dispozitivului care realizează avansul sîrmei-electrod în zona de

ardere a arcului, precum și particularitățile tehnologice ale procesului de sudare.-

Deci, condiția clasică $k_s > 0$ este necesară dar insuficientă pentru asigurarea stabilității sistemului în condiții reale.-

În cazul procedurii vibroarc oscilogrammele într-un caz general, pentru curent continuu și redresat sînt prezentate în fig. 1.2,a.-

Conform cu /107/ rezultă că, creșterea inductanței circuitului de sudare L, duce la mărirea lui t_a și t_k . Prin urmare, asupra sumei $t_a + t_k$ influențează într-o mai mare măsură inductanța circuitului.-

La valorile inductanței L, mai mici de o oarecare valoare minimă L_{min} , suma $t_a + t_k$ va fi mai mică decît t_c . În aceste condiții, în fiecare ciclu al procesului vibroarc, se constată apariția perioadelor de mers în gol (fig.1.2,a), iar durata lor se exprimă prin:

$$t_o = t_c - (t_a + t_k) \quad (7.4)$$

În aceste perioade de mers în gol, căldura nu se degajă, ci numai se conduce de la locul încărcării și de la vârful sîrmei-electrod. De aceea, la momentul trecerii metalului de pe sîrma-electrod, piesa în locul de încărcare poate să nu fie încălzită suficient pentru ca să asigure o bună aliere respectiv, aderență între metalul de adaos și cel de bază și o bună inter-pătrundere a metalelor.-

Existența perioadelor de mers în gol, înseamnă întreruperea trecerii curentului electric în acea perioadă. Deci, formarea perioadelor de mers în gol nu este dorită atît din punct de vedere al productivității încărcării cît și din punct de vedere al finetii suprafeții stratului încărcat, al cantității pierderilor metalului sîrmei-electrod și cum s-a mai amintit al calității slabe de aliere între metalul depus și cel de bază. Este de dorit, ca procesul de încărcare să decurgă conform oscilogrammei reprezentată în fig. 5.8. În acest caz, durata ciclului procesului t_c este aproximativ egală cu durata perioadei de vibrație t_v a sîrmei electrod.-

Un astfel de proces, se consideră a fi normal, și în felul acesta este luat în considerare în teză. În astfel de condiții, indicii tehnico-economici ai încărcării, sînt mult mai buni, de aci și interesul practic deosebit, pentru determinarea inductanței minime necesare care asigură, pentru parametrii dați ai ciclului și ai circuitului de sudare, eliminarea, perioadelor de mers în gol, asigurînd trecerea continuă a curentului prin circuit.-

O altă precizare necesară de făcut este, că relațiile stabilite mai jos, se referă la cazurile cînd încărcarea se execută cu capete automate ce asigură viteza de avans constantă a sîrmei-electrod, de altfel așa cum se procedează în practică. În aceste cazuri, stabilitatea procesului este asigurată prin fenomenul de autoreglare a regimului cu surse de alimentare cu curent de tip electromagnetic, cu inerție de gradul unu cu caracteristicile externe liniare.-

Trecerea neîntreruptă a curentului în procesul vibro-arc este posibilă, dacă parametrii circuitului de sudare sînt stabiliți în mod corespunzător.-

La trecerea neîntreruptă a curentului condiția este ca $t_0 = 0$, deci:

$$t_c = t_a + t_k \quad (7.4)$$

și rezolvînd ecuațiile ce exprimă starea de scurtcircuit (5.2) și pe aceea de ardere a arcului (5.3) și rezolvînd sistemul conform celor stabilite în sub. cap.5.2, obținem relația pentru inductanța minimă (5.11), care însă practic nu convine.

Adică:

$$L_{min} = \frac{t_c U_0}{2 \cdot I_s} \cdot (1 - \beta)$$

unde:

$$\beta = \frac{t_a}{t_c} = \frac{U_s}{U_a}$$

Relația obținută sub (5.11) o transformăm după cum urmează:

ținem cont că:

$$\frac{U_s}{U_0} = 0,750 - 0,850$$

cea ce se va demonstra în continuare la Cap.9, putem admite

astfel că:

$$U_0 = 1,18 \cdot U_s$$

și avem

$$f = \frac{1}{t_c}$$

obținem:

$$L_{min} = \frac{1,18 \cdot U_s}{2 \cdot I_s \cdot f} \left(1 - \frac{U_s}{U_a}\right) \text{ sau}$$

$$L_{min} = \frac{0,6 \cdot U_s}{f \cdot I_s} \left(1 - \frac{U_s}{U_a}\right) \quad (7.5)$$

adică valori ce pot fi ușor predeterminate în condiții practice. unde: U_0 - tensiunea de mers în gol a sursei de alimentare cu curent în V; U_a - tensiunea arcului electric în V; U_s - tensiunea medie de sudare în V; I_s - intensitatea medie a curentului în A.; t_a/t_c - timpul relativ de ardere a arcului și f - frecvența de vibrație în Hz.

Relația (7,5), reprezintă condiția ce asigură trecerea continuă a curentului prin circuitul de sudare, eliminând perioadele de mers în gol. Este valoarea minimă a inductanței ce asigură ca procesul vibroarc să decurgă stabil.

Din analiza stabilității regimului de încărcare cu procedeul vibroarc (sub.cap.5.5)a. rezultat condiția prin care se determină valoarea rezistenței dinamice a circuitului de sudare, dedusă din ecuația diferențială de mișcare a sistemului (relația 5.33), din care se determină condiția extrem de importantă pentru determinarea valorii maxime admisibile a inductanței circuitului de sudare, ce asigură stabilitatea regimului de lucru cu procedeul vibroarc.

$$L_{max} < \frac{R_e (R_e + c \frac{t_a}{t_c})}{k_w \cdot b(U_0 - U_a \cdot \frac{t_a}{t_c})} \quad (7.6)$$

unde:

$$\xi = 1 - \frac{a + c \cdot I_s}{U_a + b \cdot t_a \cdot M} > 0 \quad (7.7)$$

$$k_w = \frac{1}{1000 \cdot k_A \cdot k_r \cdot K_c \cdot U_0^{3/4} \cdot d_e^{5/3}}$$

M - este o funcție trigonometrică complexă dată în (5.24) care însă pentru $\xi > 0$ trebuie să îndeplinească condiția:

$$M > - \frac{1_a \text{ md}}{t_a}$$

care, cu o anumită aproximație poate fi admisă

$$M > - \frac{v_e}{2} \quad - // \quad -$$

Valorile coeficienților k_w , k_A , k_r și k_c sînt date în cap.2.

Prin acești coeficienți se ține cont de influența: amplitudinii de vibrație a sîrmei-electrod, rezistența echivalentă a circuitului de sudare, lungimea capătului liber a sîrmei-electrod, frecvența vibrațiilor și compoziția chimică a sîrmei-electrod.-

Valorile acestor coeficienți sînt date în literatura de specialitate /213, 105,134, 156/.-

Pentru regimurile de lucru și materialele sîrmelor-electrod curent folosite în cercetările și experimentările efectuate, cu aplicabilitate la: supape și tije ventil pentru turbine cu abur, și alte piese asemănătoare și pentru cîteva piese pentru locomotive diesel-electrice ca: bulon tijă de distribuție, diferite axe, bulon pentru culbotor, ventil de admisie, bolțul tachețului etc, valorile medii ale acestor coeficienți pot fi acceptate (în cadrul erorilor practic admise); $a = 20$ V; $b = 30$ V/cm; $c = 0,0055$ V/A; $k_A = 1,90$; $k_r \approx 1,10$; $k_c \approx 1,20$; $\lambda \approx 0,2$ cm.

În aceste condiții și făcînd unele înlocuiri, relația (7.6) capătă forma mai simplă și mai ușor aplicabilă în practică:

$$L_{\max} < \frac{(Re + 17 \frac{U}{U_a})^2}{30 \cdot k_w \cdot I_s} \quad (7.8)$$

În consecință, condițiile clasice stabilite în /88/ exprimate prin relațiile /7.1/ și /7.2/ și considerate ca universal valabile, de fapt sînt necesare dar insuficiente. În ce privește relația (7.1), $L > 0$, în cazul procedurii vibroarc este fără sens, deoarece s-a văzut că inductanța circuitului de sudare trebuie să aibă o valoare strict în intervalul a două valori limită L_{\min} și L_{\max} , trebuind să îndeplinească un dublu rol: să asigure continuitatea trecerii curentului prin circuitul de sudare, eliminînd perioadele de mers în gol și să asigure stabilitatea regimului de încărcare, respectiv a sistemului.-

Practic, aceste condiții pot fi realizate printr-o inductanță variabilă (reglabilă), așa cum este prevăzută în instalația experimentată de la Întreprinderea de Mașini Grele din București, unde s-au executat cercetările, ale căror rezultate sînt prezentate în teză.-

In concluzie, forma generală a condițiilor de stabilitate ce cuprinde o largă gamă de procedee inclusiv procedeul de sudare (încărcare) cu vibroarc, cuprinde grupul de trei relații fundamentale (7.2), (7.5) și (7.6) sau (7.8).-

Se precizează, că specific procedeeului vibroarc, mai trebuiesc satisfăcute unele condiții preliminare, în vederea asigurării stabilității regimului de lucru și anume:

$$U_s > \frac{1}{2} U_o \text{ și } \frac{t_a}{t_c} > \frac{U_o}{2U_a} \quad (7.8')$$

În baza lucrării /106/ și respectiv a relației (7.8) dedusă, s-a trasat curba valorilor maxime ale inductanței L_{max} , funcție de frecvența de vibrație a sîrmei-electrod (fig.7.1, curba 1), iar în baza rezultatelor cercetărilor și experimentărilor proprii (tabelele nr.7.1 și 7.2), s-au trasat curbele pentru valorile minime ale inductanței L_{min} funcție de frecvența fig. 7.1, curbele 2 și 3) suprapunîndu-le în acelaș grafic cu L_{max} .

Pentru a putea face o comparație și corelarea cît mai concludentă între rezultatele obținute în lucrarea /106/ pentru valorile lui L_{max} (fig. 7.1 curba 1), cu rezultatele cercetărilor proprii la determinarea valorilor lui L_{min} fig. 7.1, curbele 2 și 3, au fost folosite atît materialele (cel de bază și sîrma-electrod) cît și regimurile de lucru cît mai apropiate cu cele folosite în lucrarea /106/ indicate în tabelele 7.1 și 7.2, iar materialul de bază OLC45.-

Din figura 7.1, se vede, că domeniul valorilor inductanțelor ce asigură funcționarea stabilă a sistemului este destul de mare. Rezultă, că valoarea inductanței trebuie să satisfacă cele două limite respectiv intervalele L_{max} și L_{min} la o anumită frecvență.-

În afară de aceasta, se constată că inductanța L_{min} pentru un acelaș diametru de sîrmă-electrod și același frecvență este cu atît mai mare cu cît puterea medie a arcului este mai mică ($W_{md} = U_s \cdot I_s$). Astfel, dacă calculăm această putere pentru fiecare punct din tabelele 7.1 și 7.2, constatăm, că în cazul sîrmei-electrod S 10 NC 180 cu Cr = 19,7% și Ni = 9,26% (tabela 7.2) puterea medie pentru toate 6 puncte este de 2450 W, inductanțele L_{min} se așează pe curbă 2 fig. 7.1, iar

punctele din-tabela 7.1, care au puterea medie de 3480 W se așează cu inductanța L_{\min} pe o curbă 3 fig. 7.1, dedesubtul curbei 2. Sîrma-electrod în experimentările prezentate în tabela 7.1, este de marca 15124 (cehoslovacă) normal aliată.-

Din forma curbelor 2 și 3 rezultă, că valorile minime ale inductanței L_{\min} , au și o valoare maximă a sa pentru fiecare sîrmă-electrod, în intervalul de circa 60-70 Hz.-

Din relația (7.5) și fig. 7.1 se poate trage concluzia importantă, că valoarea minimă necesară a inductanței este determinată în principal de frecvența vibrației sîrmei-electrod și de puterea medie a arcului, care la rîndul său depinde de diametrul și viteza de avans a sîrmei electrod.-

Mărirea frecvenței de vibrație, a diametrului sîrmei-electrod și a vitezei ei de avans, impun reducerea inductanței circuitului de lucru.-

Din fig. 7,1 - rezultă, că inductanța minimă practic variază foarte puțin și este aproape constantă în intervalul frecvențelor 50 - 75 Hz.

Mai departe rezultă, că variind în anumite limite puterea medie a arcului, se poate influența asupra procesului de încărcare putînd astfel să se obțină o structură dorită și deci și duritatea metalului încărcat.-

În fig. 7.2 - este reprezentată grafic, în baza datelor obținute experimental (tabelele 7.1 și 7.2), dependența frecvenței de vibrație a sîrmei-electrod funcție de inductanța minimă L_{\min} .

Rezultă evident, că frecvențele mici însemnează necesitatea unor inductanțe mari, ceea ce din mai multe puncte de vedere nu este recomandabil, și în special din punct de vedere economic. Frecvențele recomandabile rezultă a fi în jurul valorilor 50 - 75 Hz.-

În fig. 7.3, este prezentată grafic, în baza datelor experimentale (tabelele 7.3 și 7.4) funcția $L_{\min} = f(U_0)$, care asigură stabilitatea regimului de lucru cu procedeul vibroarc.

O primă concluzie ce se poate trage din aceste curbe, este că, cu cît diametrul sîrmei-electrod este mai mic inductanța

Tabela: 163

U	U _s	I _s	U _a	d _e	f	CO ₂	W _{ind} = = I _s · U _s W	L _{min}
V	V	A	V	mm.	Hz.	l/min.		mlt
25,0	21,4	165	24,5	2,0	40	14	3500	0,214
25,0	20,0	165	24,2	2,0	50	14	3300	0,205
25,0	20,0	170	25,0	2,0	60	14	3400	0,212
25,0	20,0	165	24,2	2,0	80	14	3300	0,163
25,0	20,0	160	24,0	2,0	100	14	3360	0,023

Prima-electrod: marca 15124 (Cehoslovacă), cu analiza chimică
 C = 0,17 ± 0,24%; Mn = 0,4 ± 0,7%; Si = 0,17 ± 0,37%; Cr = 0,9 ± 1,1%; Ni = max. 0,4%;
 P = max. 0,035%; S = max. 0,03%; Cu = max. 0,25%; Mo = 0,15 ± 0,25%;
 (otel aliat Cr-Mo)

I_s și U_s sînt valori medii citite pe aparate;
 Puterea medie a arcului pentru 5 poziții este: 3150 W;
 R_{ind} ≈ 1,1 lungimea medie a arcului;
 λ = 1,5 mm; înărcarea se face cu polaritate inversă.
 V_s = 16 mm/s.
 Curba : 3

$\frac{U_s}{U_a} = 0,873; 0,827; 0,800; 0,828; 0,834.$

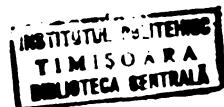


Tabela : 100.

U_0 V	U_s V	I_s A	U_a V	d_e mm	f Hz	CO_2 l/min.	$W_{md} = I_s \cdot U_s$ W	L_{min} ml
22,5	19,0	195	25,6	2,0	40	14	3750	0,292
18,3	15,5	155	23,6	2,0	50	14	2100	0,325
23,6	20,0	130	25,9	2,0	60	14	2600	0,326
21,3	18,0	100	23,4	2,0	70	14	1800	0,330
23,6	20,0	95	25,8	2,0	95	14	1500	0,281
21,8	18,5	120	24,0	2,0	100	14	2220	0,193

- Sirna-electrod: marca SIONC180 cu analiza chimică:

$C = 0,08\%$; $Mn = 0,52\%$; $Si = 0,30\%$; $Cr = 19,77\%$; $Ni = 9,26\%$;

$Cu = 0,13\%$; $P = 0,019\%$; $S = 0,003\%$;

- S-a lucrat cu polaritate inversă;

- $l_{md} \approx 1,1 mm$; $\lambda = 1,5 mm$.

- Puterea medie a arcului pentru 6 poziții este 2450 w.

- $v_0 \approx 25 mm/s$.

- Curba: 2

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,743; 0,658; 0,775; 0,775; 0,775.$$

Tabela: 7.2

Nr. ser.	U_0 V	U_s V	I_s A	U_a V	d_e mm.	f Hz.	CO_2 l/min	L_{min} ml.
1	13,8	11,5	110	22,5	1,2	70	18	0,1440
2	15,0	12,0	120	23,0	1,2	60	18	0,500
3	15,2	12,2	115	23,0	1,2	65	18	0,473
4	18,0	15,8	100	23,5	1,2	65	18	0,1457

Sirna-electrod: marca SIM2S, analiza chimică:

C = max 0,11%; Mn = 1,8 ÷ 2,1%; Si = 0,7 ÷ 0,95%; Cr = max 0,2%.

Ni = max 0,25%; P = 0,03%; S = 0,03%.

Curba : 2

Tabela: 7.3

Nr. ser.	U_0 V	U_s V	I_s A	U_a V	d_e mm	f Hz.	CO_2 l/min.	L_{min} ml.
1	14,50	12,5	180	22,8	2,0	70	18	0,258
2	18,50	15,8	160	23,5	2,0	70	18	0,272
3	22,50	19,2	140	24,6	2,0	70	18	0,253
4	25,20	21,5	130	25,8	2,0	70	18	0,223

- Sirna-electrod: marca SIONC180, cu analiza chimică:

C = 0,08%; Mn = 0,52%; Si = 0,30%; Cr = 19,7%; Ni = 2,25%; Cu = 0,13%; S = 0,003%; P = 0,019%.

- $l_{nd} \cong 1,1 mm$; $\lambda = 1,5 mm$.

Curba: 1.

minimă a circuitului crește. La cele două grupe de încercări experimentale, frecvența vibrațiilor s-a menținut în limitele de 60-70 Hz. În intervalul tensiunilor de mers în gol de 16-22 V, inductanța minimă are valoare aproape constantă.-

O concluzie importantă, este și aceea, că sârmele-electrod aliate, mai ales cu Cr, Ni și Mn, au rezistența electrică mai mare și în consecință cantitatea de căldură ce se dezvoltă în porțiunea între contacte și capătul sârmei-electrod este mai mare, ceea ce se confirmă și prin caracteristicile de topire ale sârmei-electrod în cazul încărcării cu vibroarc. Cercetările noastre confirmă și dezvoltă cercetările cuprinse în [103]. Aceste cercetări arată, că, coeficienții de topire α_z ale sârmelelor-electrod cu Cr, Ni, și Mn este cu mult mai mare decât la cele nealiate. În ambele cazuri α_z este mai mare, când se sudază cu polaritatea directă decât cu polaritatea inversă (fig.2.7).

Este deci de mare importanță, ca la stabilirea inductanței minime necesare, să se cunoască analiza chimică a sârmei-electrod.-

Pentru o aceeași frecvență de vibrație, inductanța minimă L_{min} , este cu atât mai mare cu cât sârma-electrod este mai aliată (fig.7.2) și la o aceeași tensiune de mers în gol, inductanța este cu atât mai mare cu cât sârma-electrod este mai puțin aliată (fig. 7.3).-

Revenind asupra fig. 7.1., rezultă, că pentru asigurarea unei stabilități a procesului vibroarc valoarea inductanței circuitului de sudare (încărcare) trebuie să satisfacă cele două limite, adică una maximă (relația 7.8) și una minimă (relația 7.5). Fiecare din aceste valori L_{max} sau L_{min} determinate conform relațiilor amintite, satisfac condițiile impuse și în special eliminarea mersului în gol. Din acest punct de vedere ambele valori ar putea fi în felul lor valori optime ale inductanței. Dacă ar putea fi în felul lor valori principale, ce intră în joc la asigurarea ansamblului factorilor principali, ce intră în joc la asigurarea unei încărcări de bună calitate și instalația să fie economică, atunci inductanța optimă ar putea fi prezentată astfel:

$$L_{min} < L_{opt} < L_{max} \quad (7.9)$$

Se recomandă ca această valoare optimă a inductanței

să fie determinată pe cale experimentală, mai ales dacă este vorba de un număr important de piese de acelaș fel sau asemănătoare între ele. Experiența demonstrează, că unele valori numite "optimale" ale inductanței date în literatură /98/ nu corespund realității, deoarece nu țin cont de condițiile fundamentale care stau la baza determinării inductanței ce asigură stabilitatea procesului vibroarc.-

După cum am văzut, pentru fiecare diametru al sârmei-electrod, analiza ei chimică și regim de lucru (adică pentru condiții concrete de încărcare), există o valoare bine determinată a inductanței circuitului de lucru.-

Ca o indicație practică, ce rezultă, este că sursele de alimentare cu curent trebuie să fie construite cu o inductanță regulabilă, având trepte ce corespund diametrelor sîrmelor - electrod utilizate curent. În prezent în majoritatea țărilor, aceste sîrme-electrod c se folosesc curent, au diametre de: 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,5; și 3 mm., diametrul de 0,8 mm se folosește mai rar. Sîrmele-electrod cu diametre mai mari 3,5 și 4 mm încă se folosesc mai rar, ele reprezent nd perspectiva apropiată, aceasta din lipsa capetelor automate pentru care trebuie să fie căutate soluții constructive corespunzătoare. În această categorie intră și sîrmele-electrod bandă. O dată construită aceste capete automate pentru sîrme-electrod de diametre mai mari de 3 mm, respectiv pentru electrozi sub formă de bandă, productivitatea inc rc rilor prin procedeul vibroarc se va mări considerabil. Amintim aici numai at t că, cu creșterea diametrului sîrmei-electrod cantitatea de metal topit-în unitatea de timp-al sîrmei-electrod crește la pătrat (de fapt la puterea 5/3 din cauza unor fenomene colaterale).-

În vederea predeterminării rapide orientative a valorii inductanței minime necesare, în fig. 7.4 este trasată curba $L_{min} = f(U_0)$ reprezent nd valoarea medie ale inductanțelor minime, drept rezultat a 14 probe (tabele 7.5, 7.6 și 7.7) grupate după trei calități diferite ale sîrmelor-electrod. Diametrul sîrmelor-electrod la toate probele 1,6 mm, frecvența de vibrație 60-70 Hz, iar mediu protector $CO_2 + Ar. CO_2 = (2,5 - 9) \text{ l/min.}$ Argon = (10 - 15) l/min. Un singur caz (tabela 7.5 poz.3) mediu

Tabela:

Nr. exp.	U ₀ V	U _s V	I _s A	U _a V	d _e mm	f Hz.	Gaz protector		L ml.
							CO ₂ l/min.	Argon l/min.	
1	13,8	10,5	150	22,5	1,6	65	8	15	0,370
2	13,8	10,5	150	22,5	1,6	70	9	15	0,357
3	13,8	10,5	150	22,5	1,6	60	-	20	0,143

- Sirna-electrod: marea „Chromenar 410”, analiza chimică:
 C=0,10%; Mn=0,50%; Si=0,30%; Cr=13,0%.

Punctul 1. de pe curbă.

Tabela: 5.5.

Nr. exp.	U ₀ V	U _s V	I _s A	U _a V	d _e mm	f Hz.	Gaz protector		L ml.
							CO ₂ l/min.	Argon l/min.	
1	14,9	13,2	100	23	1,6	70	8	10	0,455
2	14,9	13,2	100	23	1,6	70	8	10	0,455
3	14,9	13,2	100	23	1,6	70	8	10	0,455
4	14,9	13,2	100	23	1,6	70	8	10	0,455
5	14,9	13,2	100	23	1,6	70	8	10	0,455

- Sirna-electrod: marea S80Cr1 analiza chimică:
 C=0,73%; Mn=0,73%; Si=0,27%; Cr=0,86%; Ni=0,12%; Cu=0,13%;
 S=0,009%; P=0,018%.

Punctul 2 de pe curbă:

Tabela: 2.

Nr. crt.	U_0 V	U_s V	I_s A	U_a V	d_e mm.	f Hz.	Gaz protector		$L_{min.}$ ml.
							CO ₂ l/min.	Argon l/min.	
1	17,0	15,0	120	24	1,6	70	2,5	15	0,300
2	17,0	15,0	120	24	1,6	70	2,5	15	0,300
3	17,0	15,0	120	24	1,6	70	2,5	15	0,300
4	17,0	15,0	120	24	1,6	70	2,5	15	0,300
5	17,0	15,0	120	24	1,6	70	2,5	15	0,300
6	15,6	13,8	110	22,8	1,6	70	2,5	15	0,3

- Sirna-electrod: marca S10NC180, analiza chimică:
 $C = 0,08$; $Mn = 0,52\%$; $Si = 0,30\%$; $Cr = 19,7\%$; $Ni = 9,28\%$.

-Punctul 3 de pe curbă.

protector a fost numai Argon cu 20 l/min.

Și cu fig. 7.4, se confirmă influența importantă a elementelor de aliere din sârmele-electrod Cr, Ni, Si și Mn, în ce privește valorile inductanței minime necesare, pentru asigurarea unei bune stabilități a procesului de încărcare cu vibroarc.-

Punctele 1 și 3 (fig.7.4) reprezintă sârmele-electrod cu un conținut ridicat de Cr și cu aproape acelaș conținut de Mn, Si și C. Punctul 2 - reprezintă o sîrmă-electrod din oțel slab aliat, cu conținutul de carbon mai ridicat.-

Analizele chimice ale sîrmelor-electrod sînt indicate în tabele.

In concluzie:

Forma generală a condițiilor de stabilitate, ce cuprind o gamă largă de procedee inclusiv cele cu impulsuri, deci și procedeul vibroarc, constau din următoarele relații:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U_a}{\partial I} - \frac{\partial U_s}{\partial I} &> 0, \\ L_{min} &= \frac{0,6 \cdot U_s}{f \cdot I_s} \cdot \left(1 - \frac{U_s}{U_a}\right), \\ L_{max} &< \frac{8 \cdot (R_e + 17 \cdot \frac{U_0}{U_a})}{30 \cdot k_w \cdot I_s} \end{aligned} \right\} \quad (7.10)$$

x
x

In afară de rezultatele generale obținute și prezentate mai sus, sau stabilit relațiile pentru calculul valorilor inductanțelor maxime și minime, care verificate pe cale experimentală dau rezultate foarte apropiate de cele reale (în toleranțe admise).-

In felul acesta, unele formule prezentate în literatură, cărora se afectează diferiți coeficienți pentru a obține valoarea cît mai aproape de cea reală a inductanței, se pot scoate din circulație.-

Astfel, formula inductanței dată în lucrarea '98/ este.

$$L = \frac{2 \cdot U_a^2 \cdot t_c}{27 \cdot P} \quad (7.11)$$

(semnificația literelor este cunoscută, iar $P = I_s \cdot U_s$),
autorul formulei recomandă ca inductanța calculată cu relația
(7.11) să fie mărită cu (50-100)%, determinînd astfel valoarea
inductanței reale necesare. După cum se vede un domeniu foarte
larg de incertitudini.-

Prin cercetările prezentate mai sus, precizarea formule-
lor pentru L_{\min} și L_{\max} această incertitudine se elimină.-

CAP. 8 - CERCETAREA INFLUENTEI VITEZELOR DE AVANS A SIRMII-
ELECTROD SI LINIARA A PIESEI, ASUPRA PARAMETRILOR
DE INCARCARE SI CALITATII STRATULUI INCARCAT

8.1. - Stabilirea relațiilor de lucru pentru v_p , h , v_e și n ,
aducerea lor la nivelul cunoștințelor actuale și prac-
tic accesibile.

Regimurile de încărcare a pieselor cu procedeul vibro-arc, au o deosebită influență asupra calității stratului încărcat. În afară de parametrii ce au fost analizați în alte capitole, aici se va cerceta influența celor două viteze, adică viteza de avans a sîrmei-electrod v_e și viteza de încărcare v_p .

Se constată, că grosimea stratului încărcat, intensitatea curentului de sudare și tensiunea, depind de viteza de avans a sîrmei-electrod și de raportul între viteza de încărcare a piesei și a vitezei de avans a sîrmei-electrod $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$, ceea ce rezultă din următoarea relație matematică pe care o deducem:

În baza notațiilor prezentate mai jos, putem calcula volumul de metal încărcat într-o secundă q exprimat prin dimensiunile stratului încărcat:

$$q = h \cdot s \cdot v_p \cdot a$$

Pe de altă parte, q poate fi determinat în baza cantității de metal ce trece în stratul încărcat de pe sîrma-electrod

$$q = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot v_e \cdot k$$

sau prin egalarea celor două relații, avem:

Viteza de încărcare a piesei:

$$v_p = \frac{0,785 \cdot d_e^2 \cdot v_e \cdot k}{h \cdot s \cdot a}$$

iar grosimea stratului încărcat rezultă.

$$h = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4 \cdot s} \cdot \frac{v_e}{v_p} \cdot k = 0,785 \frac{0,8 \cdot d_e^2}{\left(\frac{v_p}{v_e}\right) \cdot s} \quad (8.1)$$

unde d_e - diametrul sîrmei electrod în mm.

h - grosimea stratului încărcat în mm;
 s - avansul longitudinal al capului;
 $\frac{v_p}{v_e}$ - raportul între vitezele de rotație a piesei și de avans
 a sîrmei-electrod.

k - coeficientul de trecere a metalului sîrmei-electrod în
 metalul încărcat apreciat după un șir întreg de experien-
 țe egal aproximativ cu 0,8 ($k = 1-p$, unde p - reînnozi-
 tă pierderile metalului topit al sîrmei-electrod prin
 ardere și stropire);

a - coeficientul prin care se ține cont de abaterea de la
 secțiunea faptică a cusăturii depuse, față de dreptun-
 ghiul cu înălțimea egală grosimii încărcate. Practic,
 admitem $a = 1$ deoarece se tratează problema straturilor
 subțiri.-

Iar viteza de avans a sîrmei-electrod poate fi expri-
 mată prin relația:

$$v_e = \frac{4 \cdot I_s \cdot \alpha_t}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho} \quad (8.2)$$

unde: I_s - intensitatea curentului de sudare în A;

α_t - coeficientul de topire a sîrmei-electrod în g/As;

d_e - diametrul sîrmei-electrod în mm;

ρ - densitatea metalului sîrmei-electrod în g/mm³

Pentru regimurile normale de lucru coeficientul de topi-
 re admitem egal cu $2,0 \cdot 10^{-3} \rightarrow 3,3 \cdot 10^{-3}$ g/As.

Dependența grosimii metalului (stratului) încărcat h,
 de raportul vitezelor $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ este deosebit de importantă din punct
 de vedere practic.

Relația obținută pentru calculul grosimii stratului
 încărcat, reprezintă ecuația unei hiperbole.-

Pentru sîrmele-electrod de 2; 1,6 și 1,2 mm diametru
 putem admite $s = 1,5 \cdot d_e$ și $K = 0,8$.

In acest caz relația (8.1) pentru $d_e = 2$ mm. capătă for-

ma:
$$h_2 = \frac{0,84}{\left(\frac{v_p}{v_e}\right)} \quad (8.3)$$

iar pentru $d_e = 1,6$ și respectiv $d_e = 1,2$ mm. relațiile sînt:

$$h_{1,6} = \frac{0,67}{\left(\frac{v_p}{v_e}\right)} \text{ și } h_{1,2} = \frac{0,50}{\left(\frac{v_p}{v_e}\right)} \quad (8.4)$$

Viteza de rotație a piesei de încărcat în funcție de viteza de avans a sîrmei-electrod, diametrul ei, grosimea stratului și pasul încărcării, se poate calcula din relația:

$$n = \frac{12 \cdot d_e^2 \cdot v_e}{D \cdot h \cdot s} \quad (8.5)$$

în locul relației clasic cunoscută stabilită de /98/ sub forma

$$n = \frac{15 \cdot d_e^2 \cdot v_e \cdot k}{(D+h) \cdot h \cdot s \cdot a} \quad (8.6)$$

Simplificarea formulei (8,6), respectiv aducerea ei la o formă practic mai accesibilă, constă în: acceptarea coeficientului $a = 1$ deoarece în general straturile sînt (foarte subțiri); $k = 0,8$ ceea ce corespunde valorii medii a acestui coeficient în condiții normale de încărcare; mărimea $D + h \cong D$ deoarece h are valori mici, iar D este mult mai mare decît h . Dealtfel semnificația lui k și a este dată mai sus.-

În formulele (8.5) și (8.6), avem:

n - numărul de ture, al piesei de încărcat pe minut;

d_e - diametrul sîrmei-electrod în mm;

v_e - viteza de avans a sîrmei- electrod în mm/s;

D - diametrul piesei de încărcat în mm;

h - grosimea stratului de încărcat în mm;

s - avansul longitudinal al capului automat mm/rot.

În tabela 8.1. sînt redate rezultatele experimentale pentru verificarea practică a relației $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$. Din analiza-rea datelor obținute, rezultă importanța rapor-ului $\frac{v_p}{v_e}$, care devine astfel un parametru hotărîtor la alegerea respectiv fixarea grosimii stratului încărcat. Astfel, funcția $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ devine un criteriu.-

3.2. - Dependența grosimii stratului încărcat funcție de raportul vitezelor $\frac{v_p}{v_e}$ rezultatele experimentale.

Condițiile teoretice și practice de experimentare au fost: materialul piesei (materialul de bază) OLC 45, sîrma-electrod din acelaș material cu diametrul 2 mm, încărcarea sa executat sub jet de lichid de lucru circa 2,5 - 3 l/min, amplitudinea de vibrare $\lambda \cong 1,5$ mm, pasul încărcării $s = 3$ mm, $k = 0,8$. Viteza piesei în timpul încărcării s-a menținut constantă.-

Tabela: 8.1

Influența vitezelor sîrmei-electrod și a piesei asupra parametrilor de încărcare

Nr. probei	Vitezele sîrmei-electrod și a piesei în m/h.		$\frac{v_p}{v_e}$	Grosimea stratului în mm.		Intensit. curentului în V A		Tensiunea arcului în V	
	v_e	v_p		Frecvența vibrațiilor, în Hz					
				25	50	25	50	25	50
1.	38,7	20,8	0,54	1,85	1,76	100	100	27	25
2.	50,2	20,8	0,415	2,42	2,35	115	120	25	22
3.	64,2	20,8	0,325	2,81	2,66	120	150	23	20
4.	82,5	20,8	0,254	3,40	3,12	150	180	20	19

- Încărcarea s-a făcut sub jet de lichid de lucru de circa 2,5- 3 l/min; $d_e = 2$ mm;
- Prin ajutoraj central se trimitea circa 0,1 l/min. din lichidul de lucru.

Probele au fost continuate, schimbînd condițiile și parametrii. Astfel, au fost executate 10 probe, dintre care 5 cu sîrma-electrod marca S 11M2S cu diametrul de 1,2 mm. și 5 cu sîrma-electrod marca "CROMENAR 410" cu diametrul de 1,6 mm. Restul parametrilor regimului de lucru sînt dați în tabela 8.2.

De scos în evidență și schimbarea mediului protector respectiv CO_2 și Ar.

Analiza sîrmelor - electrod folosite:

S 11 M 2 S: C = max 0,11%; Mn = 1,8 - 2,1%; Si = 0,7-0,95%;
Cr.=max 0,2%, Ni=max 0,25%; P =0,03%; S =0,03%

"CROMENAR 41o" C=0,10%; Mn = 0,50%; Si =0,30%;
Cr=13%.

8.3. Prelucrarea datelor experimentale prin metoda abaterilor medii pătratice, stabilirea ecuațiilor dreptelor de regresie pentru $d_e = 1,2; 1,6$ și 2 mm, precum și a formei generale empirice a ecuației. Construirea graficelor $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ în sistemul dublu logaritmic.

Analiza structurală a relației de calcul (8.1), stabilită pe considerente teoretice, a condus pe autor la utilizarea în cadrul prelucrării datelor experimentale de măsurători a sistemului de coordonate dublu logaritmic. Prelucrarea datelor de măsurători referitoare la grosimea h a stratului încărcat și la raportul $\frac{v_p}{v_e}$ a fost efectuată cu ajutorul relațiilor puse la

dispoziție de către statistica matematică și anume de metoda abaterilor medii pătratice, rezultând în final o corelare a parametrilor studiați de următoarea formă generală:

$$\frac{v_p}{v_e} = b \cdot h^a$$

unde a și b sînt constantele caracteristice dreptelor de regresie și a căror valoare se va determina pentru fiecare caz particular în parte.-'

Calculul valorilor a și b , bazat pe metoda mai sus menționată, referitor la șirul valorilor experimentale prezentate în tabelele 8.1 și 8.2. se conduce astfel:

- Se calculează valorile medii cu relațiile:

$$\log \bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log h)_i$$

$$\log \left(\frac{\bar{v}_p}{\bar{v}_e} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\log \frac{v_p}{v_e} \right)_i$$

- Se calculează abaterile medii pătratice cu relațiile:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta(\log h)_i^2}$$

Influența raportului $\frac{V_f}{V_e}$ asupra gravimiei stratului de măsurare.

Tabela: B.2.

Nr. probe	Tipul-marca sirmei-electrod	de mm.	V_f mm/s	V_e mm/s	$\frac{V_f}{V_e}$	f Hz.	η rot/min.	Mediu protector ϕ mm.			Grosimea stratului h mm	Observații
								Lichid de lucru	Ar.	CO2		
1	S.H.1.2S	1,2	1,34	1,7	0,790	70	7,0	3	-	18	0,64	
2	"	1,2	1,02	1,9	0,520	60	5,3	3	-	18	0,67	
3	"	1,2	0,67	1,8	0,370	65	3,5	3	-	18	1,36	
4	"	1,2	0,56	1,5	0,560	65	3,0	3	-	18	0,895	
5	"	1,2	0,47	1,5	0,315	65	2,5	3	-	18	1,59	
6	Chromonar 110°	1,6	0,61	1,65	0,370	70	3,2	1,5	15	8	1,81	
7	"	1,6	0,67	1,7	0,395	60	3,5	1,5	15	9	1,7	
8	"	1,6	0,67	1,65	0,407	60	3,5	2,5	20	-	1,65	
9	"	1,6	0,524	1,00	0,565	65	3,0	5	20	-	1,18	Repetarea probei din prima.
10	"	1,6	0,524	1,00	0,565	65	3,0	2,5	20	-	1,18	

- Diferența dintre măsurarea V_e 60 mm.

- Metodă tehnologică: lucru cu electrodul de 1,2 mm. Scara de măsurare este de 1 mm. Scara de măsurare este de 1 mm.

- În timp ce se schimbă viteza de măsurare a electrodului, se schimbă și viteza de măsurare.

$$\sigma_{\frac{v_p}{v_e}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta \left(\log \frac{v_p}{v_e} \right)_i^2}$$

unde n = numărul de măsurători experimentale,

$$\Delta(\log h)_i = (\log h)_i - \log \bar{h};$$

$$\left(\log \frac{v_p}{v_e} \right)_i = \left(\log \frac{v_p}{v_e} \right)_i - \log \left(\frac{v_p}{v_e} \right)$$

- se calculează coeficientul de corelare al regresiei cu relația:

$$r = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \Delta(\log h)_i \cdot \Delta \left(\log \frac{v_p}{v_e} \right)_i}{\sigma_h \cdot \sigma_{\frac{v_p}{v_e}}}$$

- se calculează parametrii drepte de regresie cu relațiile:

$$a = r \cdot \frac{\sigma_{\frac{v_p}{v_e}}}{\sigma_h}$$

$$\log b = \log \left(\frac{v_p}{v_e} \right) - a \cdot \log \bar{h}$$

Calcululele astfel conduse se prezintă rezumativ în tabelele 8.3. și 8.4, conducînd în final la următoarele ecuații ale dreptelor de regresie:

- pentru $d_e = 1,2 \text{ mm}$ $\frac{v_p}{v_e} = 0,51 h^{-1,01}$;

- pentru $d_e = 1,6 \text{ mm}$ $\frac{v_p}{v_e} = 0,67 h^{-1,01}$;

- pentru $d_e = 2,0 \text{ mm}$ $\frac{v_p}{v_e} = 0,85 h^{-1,02}$

Aceste ecuații, reprezentate grafic în fig. 8.1, generalizate au forma:

$$\frac{v_p}{v_e} = b h^{-1}$$

formă care concordă foarte bine cu forma teoretică reprezentată prin relația 8.1, fapt care arată că analiza statistică a rezultatelor experimentale confirmă justetea relației teoretice.-

Adoptînd aceiași cale de rezolvare pentru determinarea valorii coeficientului b în funcție de diametrul d_e al sîmei-electrod utilizată, rezultă următoarea corelare:

$$b = 0,33 d_e^{1,10}$$

relație care se prezintă grafic în fig. 8.2.

TABELA PENTRU CALCULUL COEFICIENTILOR STATISTICI

Tabela 2.12

coef	$\sum_{i=1}^n (\log h_i)$	$\sum_{i=1}^n (\log \frac{V_i}{V_n}) \log h_i$	$\log \left(\frac{V_n}{V_1} \right)$	$\sum_{i=1}^n A (\log h_i)^2$	$\sum_{i=1}^n A (\log \frac{V_i}{V_n})^2$	$\sum_{i=1}^n A (\log h_i) \Delta \left(\log \frac{V_i}{V_n} \right)$	σ_h^2	$\sigma_{\frac{V_i}{V_n}}^2$	r	α	b	Ecuatia dreptei de regresie log. a. i. e.
I	0,10971	2,42833	0,02194	0,09729	0,05372	-0,05777	0,1559	0,157	-0,929	-1,01	0,510	$\frac{V_2}{V_1} = 0,515^{-1,01}$
II	0,17115	2,52644	1,05566	1,03161	0,01229	-0,02009	0,0912	0,0321	-0,999	-1,01	0,679	$\frac{V_2}{V_1} = 0,674^{-1,01}$
III	1,20187	2,164910	0,40262	1,54010	0,04100	-0,04817	0,1445	0,161	-0,929	-1,02	0,610	$\frac{V_2}{V_1} = 0,605^{-1,02}$

RELATII DE CALCUL

$$\log h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log h_i)$$

$$\log \left(\frac{V_n}{V_1} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\log \frac{V_i}{V_1} \right)$$

$$\sigma_h^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A (\log h_i)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_{\frac{V_i}{V_n}}^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A \left(\log \frac{V_i}{V_n} \right)^2}{n-1}}$$

$$\alpha = r \frac{\sigma_{\frac{V_i}{V_n}}}{\sigma_h}$$

$$b = \left(\frac{V_n}{V_1} \right)^{-\alpha \log h}$$

Pentru calculul de regresie
 $U = b \cdot X^a$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n A (\log h_i) \Delta \left(\log \frac{V_i}{V_n} \right)}{(n-1) \sigma_h \cdot \sigma_{\frac{V_i}{V_n}}}$$

coeficient de corelare

TABELA PENTRU CALCULUL CORELAȚIEI $\frac{y}{x} = f(h)$

X		y		Tabelaj			
Nr. ord.	$\log h$	$\log \frac{V_p}{V_c}$	$\Delta(\log h)$	$\Delta(\log \frac{V_p}{V_c})$	$\Delta(\log h)^2$	$\Delta(\log \frac{V_p}{V_c})^2$	$\Delta(\log h) \cdot \Delta(\log \frac{V_p}{V_c})$
I Electrode SIMENS, $d_c = 1,2 \text{ mm.}$							
1	1,80618	1,89763	-0,21576	0,21197	0,046140	0,04500	-0,01550
2	1,98677	1,71600	-0,03517	0,03034	0,00124	0,00099	-0,001035
3	0,13354	1,56820	0,11160	-0,11746	0,01245	0,01300	-0,01310
4	1,95182	1,74819	-0,07012	0,05253	0,00450	0,00350	-0,00437
5	0,20140	1,49831	0,17946	-0,19735	0,03220	0,03510	-0,03333
Σ	0,10971	2,42833			0,09729	0,09372	-0,09177
II Electrode „CHROMENAR 413”, $d_c = 1,6 \text{ mm.}$							
1	0,25768	1,56820	0,05489	-0,0634	0,00120	0,00101	-0,00111
2	0,23045	1,59660	0,03766	-0,035	0,00142	0,00122	-0,00132
3	0,21748	1,60959	0,02459	-0,022	0,00051	0,00049	-0,00051
4	0,07555	1,75205	-0,1124	0,12044	0,01376	0,01453	-0,01412
Σ	0,77116	2,52644			0,01999	0,02027	-0,02009

Se menționează că corelațiile matematice stabilite pe baza metodei abaterilor medii pătratice, au un caracter empiric, deși concordă foarte bine cu formele teoretice.-

8.3.1. - Concluziile asupra cercetărilor efectuate $h = f\left(\frac{V_p}{V_e}\right)$.

Analizînd graficele fig.8.1. obținute, respectiv tabelele 8.1. și 8.2 cuprinzînd rezultatele experimentale se trag următoarele concluzii mai importante:

- Relația $h = f\left(\frac{V_p}{V_e}\right)$ nu este numai o relație matematică ci un principiu, ce în cazul procedurii vibroarc poate să formeze drept un criteriu tehnologic.-

- Se demonstrează dependența grosimii stratului încărcat funcție de raportul vitezelor $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$, deci o interdependență logică.

- Pentru un același raport al vitezelor $\left(\frac{V_p}{V_e}\right)$ se poate obține diferite grosimi ale straturilor încărcate în funcție de diametrul și de analiza chimică a sîrmei-electrod;

- Cu cît diametrul sîrmei-electrod este mai mic, cu atît grosimea stratului pentru un același raport al vitezelor, este mai mică.-

La acest punct se poate adăuga, în conformitate cu studiul /86/, că încărcarea cu sîrma-electrod cu diametru mai mic de 1,4 mm și pentru un raport al vitezelor $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ (invers raportului analizat $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$) mai mic de 2, procesul de încărcare devine instabil, $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ iar aderența între stratul încărcat și pîsa este nesatisfăcătoare.-

- O altă concluzie importantă, ce decurge din graficul stabilit, aplicînd statistica matematică este că, cu cît sîrma-electrod este mai bogat aliată sau cu conținut de carbon mai ridicat, cu atît pentru o aceeași grosime a stratului încărcat raportul vitezelor $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ crește, deci viteza de avans a sîrmei-electrod poate să $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ crească.-

Creșterea raportului vitezelor $\left(\frac{V_p}{V_e}\right)$ în limitele de 1,5-1,7 - 1,8 reduce pronunțat grosimea stratului încărcat. Este impor-

tant pentru cazurile cînd se cere obținerea unor straturi subțiri și foarte subțiri.-

- Grosimea stratului de încărcat, intensitatea curentului și tensiunea arcului depind de viteza de avans a sîrmei-electrod.

- Diferențele de valori determinate teoretic și cele obținute experimental practic sînt acceptabile.-

Din curbele 2 și 3 se constată că aceste diferențe se reduc aproape la zero cînd încărcarea se face într-un mediu protector gazos (CO_2 , Ar, $\text{CO}_2 + \text{Ar}$), tabela. 8.2.

- Cu creșterea vitezei de avans a sîrmei-electrod, crește grosimea stratului încărcat și intensitatea curentului, iar tensiunea arcului scade (tabela 8.1).

- Cu creșterea frecvenței de vibrație domeniul regimurilor de încărcare, care asigură straturile compacte calitativ bune, crește. După cum rezultă din tabela 8.1, frecvența de vibrație nu are influență hotărîtoare asupra grosimii stratului încărcat.

8.4. - Calitatea straturilor încărcate.

În cazul nostru, calitatea straturilor încărcate a fost apreciată vizual, și prin procedee metalografice. În continuare se vor prezenta rezultatele metalografice.-

În concluzie, rezultă că încărcarea de bună calitate presupune alegerea unui raport corespunzător între viteza de încărcare și viteza de avans a sîrmei-electrod, și deci viteza ei de topire.-

Mărind viteza de avans a sîrmei-electrod, trebuie mărită și viteza de topire a ei. Aceasta, se poate face fie pe calea măririi puterii arcului fie la nevoie, pe calea creșterii puterii sursei ^{de} alimentare cu curent. Dacă însă, a fost folosită toată puterea sursei de alimentare cu curent, o creștere în continuare a vitezei de avans a sîrmei-electrod nu este posibilă. În acest caz, pentru o viteză constantă de avans a sîrmei-electrod, grosimea stratului încărcat poate fi reglată - în anumite limite - pe calea variației vitezei periferice a piesei.-

Problema ce se mai pune în continuare, este determinarea,

în fiecare caz în parte, a vitezei de avans optime a sîrmei-electrod.-

Cercetările efectuate /86/ au stabilit, că unii din indicatorii principali ai încărcării precum sînt: coeficientul de pierderi a metalului, coeficientul de încărcare, productivitatea, alierea între materialul de adaos cu cel de bază, aderența, sînt cele mai bune cînd raportul vitezelor $\frac{v_e}{v_p} = 1,75 - 2,2$. Pasul de încărcare trebuie să asigure o bună aliere a cusăturilor între ele și cu metalul de bază, și pentru o cît mai uniformă distribuție a stratului pasul trebuie să fie în limitele $d = (1,0 - 1,3) \cdot d_e$.-

La schimbarea raportului $\frac{v_e}{v_p}$ în sensul reducerii lui, față de limitele amintite, se deranjează stabilitatea procesului, iar aderența între stratul încărcat și cel de bază devine nesatisfăcătoare.-

Procedeul de urmat este simplu, cunoscînd piesa și proprietățile stratului de încărcat se alege calitatea sîrmei-electrod; după grosimea stratului h , se alege raportul $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$, apoi cunoscînd că $\frac{v_e}{v_p} = 1,75 - 2,2$ se alege v_e viteza de avans a sîrmei-electrod. În calcule intervin relațiile enunțate mai înainte (8.1), (8.2) și (8.5).-

Conform aceluiași studiu /86/ rezultă, că la încărcarea cu sîrmă-electrod cu un diametru mai mic de 2 mm, aderența stratului încărcat este nesatisfăcătoare dacă grosimea stratului crește în contul unei reduceri peste măsură a pasului pînă la $(0,7 - 1,2)d_e$ și mărirea raportului vitezelor $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ peste 2,5. Desprinderea stratului încărcat, în aceste condiții, poate să se producă chiar la prelucrarea mecanică a stratului.-

În toate celelalte cazuri, la schimbarea grosimii stratului încărcat, atît prin variația diametrului sîrmei-electrod cît și prin raportul $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$; rezistența la aderență a stratului încărcat cu materialul de bază trebuie să fie cel puțin 30 kgf/mm^2 , ceea ce asigură funcționalitatea stratului încărcat.-

Una din caracteristicile de bază ale calității stratului încărcat, este gradul de aderență a metalului încărcat cu cel

de bază. Calitatea aderenței se înrăutățește cu scăderea tensiunii arcului, cu creșterea grosimii stratului încărcat și cu creșterea grosimii stratului încărcat și cu creșterea consumului lichidului de lucru. Așupra calității de aliere (aderare) influențează la fel și viteza de avans a sîrmei-electrod amplitudinea de vibrație și o serie de alți factori, care sînt studiați în amănunt în lucrarea /86/.-

În procesul de încărcare, lichidul de lucru se trimite pe piesă prin ajutorul de ghidare și pentru răcire direct printr-un alt ajutor special în acest scop. Este necesar să se observe că intrarea lichidului în zona de încărcare face ca arcul să se stingă și preia o parte din căldură și în consecință se înrăutățește calitatea aderenței. Din această cauză, prin ajutorul de ghidare este necesar să treacă cantitatea minimă de lichid, cît este necesar ionizării spațiului arcului suficientă pentru prevenirea "înghețării" sîrmei-electrod de pereții canalului ajutorului.-

Cantitatea importantă de lichid, în cazul încărcării sub jet de lichid de lucru, se trimite pe piesă lateral la o distanță suficientă de zona de încărcare.-

Constatarea precizată mai sus, avertizează că trimiterea lichidului de lucru (răcire) nu trebuie făcută prin ajutorul (de ghidaj) vibrat. Vibrarea ghidajului strică (deranjează) continuitatea peliculei de lichid, și prin aceasta nu dă posibilitatea protejării sigure a zonei de încărcare de sub influența aerului înconjurător și formarea porozităților. O protejare eficientă și sigură, contra aerului înconjurător este extrem de importantă la încărcarea cu sîrme-electrod înalt aliate.-

Ținînd cont de aceste constatări, capul automat experimental a fost executat în consecință.-

Din tabelele cu rezultatele obținute (tabelele: 0.1. și 8.2) se mai confirmă, că procesul de încărcare cu vibrație se face cu o intensitate de curent destul de mare, iar tensiunea arcului este mică, în comparație cu încărcările obișnuite cunoscute.- Această se explică prin aceea, că procesul de încărcare cu vibrație decurge la o lungime mult mai mică a spațiului arcului.-

Este stabilit /166/, că o bună calitate a stratului în-

cărcat se asigură la o frecvență de vibrație mai mare (de la 30-100 Hz). Experimentările în cadrul lucrării arată că frecvența cea mai potrivită în general este în intervalul de 50-75 Hz, afară de câteva cazuri speciale. Se subliniază, că asupra calității stratului încărcat, în afară de frecvență, o importantă influență are stabilitatea procesului de vibrație.-

Pentru îndeplinirea condiției de stabilitate un rol important îl joacă capul automat cu care se face încărcarea și numai o construcție cu totul specială ar putea să coboare frecvența sub 30 Hz. Dar și aceasta, numai la o anumită viteză de avans a sîrmei-electrod și așa cum s-a stabilit la un anumit raport $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ și o anumită tensiune de mers în gol a sursei de curent.-

De aci, rezultă, că pentru scopuri practice industriale, frecvențele ce se recomandă în vederea asigurării unei bune calități a stratului încărcat se află în intervalul 30-100 Hz. Iar amplitudinea vibrațiilor, depinde în primul rînd de diametrul sîrmei-electrod și de valoarea tensiunii arcului.-

Cu creșterea acestora (d_e și U_a) crește și amplitudinea vibrațiilor și viceversa. Valoarea amplitudinii se alege practic în limitele de $(0,75 - 1) \cdot d_e$ cunoscînd că pentru valorile mai mici ale tensiunii corespund amplitudinile mai mici și invers.-

CAP. 9 - CERCEȚĂRI CU APLICAREA STATISTICII MATEMATICE ȘI A
 MIJLOACELOR AUTOMATE DE CALCUL PENTRU DETERMINAREA
 RAPOARTELOR $\frac{U_s}{U_o}$ ȘI $\frac{U_s}{U_a}$ ȘI INTERDEPENDENȚA CU ALII
 PARAMETRI

9.1. - Cercetări pentru determinarea valorii raportului $\frac{U_s}{U_o}$
 ce asigură stabilitatea procesului vibroarc.

La determinarea valorilor inductanței minime L_{min} , cât și a celei maxime L_{max} , valori ce condiționează stabilitatea și în mare măsură economicitatea procesului vibroarc, este necesar să se cunoască valoarea duratei relative a descărcărilor arcului electric $\frac{t_a}{t_c}$. Acest raport poate fi determinat în condiții de laborator în prezența unui oscilograf înregistrator, sau indirect aplicînd relația cunoscută $\frac{t_a}{t_c} = \frac{U_s}{U_a}$.

Însă, pentru aceasta este necesar să fie determinate fie valorile lui t_a și t_c separat, fie valoarea raportului $\frac{t_a}{t_c}$.

Raportul $\frac{t_a}{t_c}$ este dat în lucrarea /107/ sub forma:

$$\frac{t_a}{t_c} = \frac{\ln \frac{U_a - E + R \cdot I_{max}}{U_a - E + R \cdot I_{min}}}{\ln \frac{(E - R \cdot I_{min}) (U_a - E + R \cdot I_{max})}{(E - R \cdot I_{max}) (U_a - E + R \cdot I_{min})}} \quad (9.1.)$$

sau în lucrarea /94/, sub forma:

$$\frac{t_a}{t_c} = \frac{T \cdot \ln \frac{I_{max} + I' - I_k}{I_{min} + I' - I_k}}{T \cdot \ln \frac{I_k}{I_k - I_{max}} + \ln \frac{I_{max} + I' - I_k}{I' - I_k}} \quad (9.2)$$

după cum se vede, sînt relații complicate, ce necesită cunoașterea unui șir de valori ai parametrilor regimului de lucru, ceea ce în condițiile de uzină este greu de obținut, la conceperea regimului de lucru respectiv a tehnologiei. Scopul este să ocolim necesitatea acestor calcule (în consecință nici nu se dau semnificația literelor).-

În cadrul cercetărilor efectuate la cap.7, s-a dedus formula pentru inductanța minimă fără a cunoaște valoarea raportului $\frac{t_a}{t_c}$, ceea ce prezintă, printre altele, avantajul de a putea calcula inductanța fără a avea oscilograma regimului de lucru ridicată.-

Din ecuația generală diferențială de mișcare a sistemului ce realizează procesul vibroarc /84/, rezultă că în vederea asigurării stabilității regimului de lucru, trebuiesc satisfăcute și unele condiții numite "preliminare".-

Printre aceste condiții, este și:

$$U_s > \frac{1}{2} U_0 \quad (9.3)$$

Această condiție este satisfăcută în cadrul experimentărilor pentru teză (vezi spre exemplu tabela experimentărilor preliminare sau tabela 9.1) cu rezultatele încercărilor executate special în acest scop.-

La calcularea inductanței minime și a celei maxime, ce asigură stabilitatea regimului de lucru este necesară cunoașterea în prealabil a raportului $\frac{U_s}{U_0}$.-

Analizînd rezultatele obținute de autorul tezei (tabela 9.1, poz. 1 și 2), precum și o serie de rezultate ale altor cercetători /103, 107/, care au executat experimentări, urmărind rezolvarea cu totul altor probleme, însă prin datele lor permit determinarea raportului $\frac{U_s}{U_0}$ (poz.3,4,5 și 6 din tabela 9.1) se constată că:

- valorile rapoartelor $\frac{U_s}{U_0}$ obținute, se înscriu în anumite limite restrînse și nu prea mult diferite între ele;
- valorile acestor rapoarte, practic nu sînt afectate de felul mediului de protecție.

Valori ale raportului $\frac{U_s}{U_0}$ determinate pe cale experimentală

Tabela: 9.1.

Nr. crt	Valorile experimentale ale raportului $\frac{U_s}{U_0}$						Val. medie a rap. $\frac{U_s}{U_0}$	Mediu protector	Cursa biooliografică
	2	3	4	5	6	7			
1.	0,762	-	-	-	-	0,762	CO ₂ + Argon	- " -	
2.	0,835	0,804	-	-	-	0,818	CO ₂	Propriile cercetări	
3.	0,765	0,730	-	-	-	0,750	Argon	/103/	
4.	0,820	0,800	0,825	0,700	-	0,782	CO ₂	/103/	
5.	0,785	0,668	0,735	0,840	0,810	0,768	Lichid de lucru	/103, 107/	
6.	0,785	0,750	0,668	0,418	0,826	0,760	-fără-	/107/	

- Autorul din /107/ numai la o singură experiență a lucrat cu regimul instabil $\frac{U_s}{U_0} = 0,418 < 0,5$.

Din tabela 9.1., coloana 7 al valorilor medii a rapoartelor $\frac{U_s}{U_0}$ se poate observa, că regimurile stabile ale procesului vibroare și care îndeplinesc condițiile de a fi mai mare de 0,5, se înscriu într-un interval de valori cu limite foarte restrinse, deci, condiția preliminară $\frac{U_s}{U_0} > 0,5$, practic capătă forma:

$$\frac{U_s}{U_0} = 0,750 - 0,850 \quad (9.4)$$

Se precizează, că cercetările autorilor /103 și 107/ din care s-au extras rapoartele $\frac{U_s}{U_0}$ (poz.3-6 incl.) pentru a lărgi probele rezultate a cercetărilor au fost efectuate când condiția preliminară $\frac{U_s}{U_0} > 0,5$ nu era stabilită teoretic și deci nu era încă cunoscută. Lucrarea /103/ a apărut în anul 1963, și /107/ în anul 1964, iar ecuația generală diferențială a sistemului vibroare a apărut pentru prima dată în anul 1966 când s-a adăugat condiția preliminară $U_s > \frac{1}{2} U_0$.

Considerăm, ca o contribuție de importanță deosebită stabilirea limitelor pentru valorile raportului $\frac{U_s}{U_a}$, eliminând astfel necesitatea efectuării unor calcule greoaie și de cele mai multe ori inaccesibile din lipsa datelor.-

9.2.- Cercetări cu privire la determinarea valorii raportului $\frac{U_s}{U_a}$ ce asigură stabilitatea procesului vibroarc.

Analizînd în continuare șirul relațiilor teoretice care condiționează funcționarea stabilă a sistemului, respectiv a regimului de încărcare cu procedeul vibroarc, care exprimă legătura între anumiți parametri ai regimului de lucru printre cele este și relația:

$$\frac{t_a}{t_c} = \frac{U_s}{U_a} \quad (9.5)$$

S-a mai amintit, că raportul $\frac{t_a}{t_c}$ este greu de determinat analitic. Este evident, că pentru condiția de stabilitate este necesar ca $\frac{t_a}{t_c} < 1$ sau această condiție conduce la $U_a > U_s$ conform relației (9.5).

Este evident, că $\frac{U_s}{U_a} < 1$, iar după unii autori, pentru valori maxime ale inductanței $\frac{U_s}{U_a} = \frac{2}{3} = 0,67$ /107/

Conform cercetărilor /103/ la valori mari ale raportului $\frac{t_a}{t_c}$ adică în limitele de 0,65 - 1, lungimea medie a arcului l_{md} variază relativ puțin, iar la $\frac{t_a}{t_c} = 0,85$ această lungime are valoarea maximă.-

Din condiția de trecere neîntreruptă a curentului electric prin circuitul de sudare rezultă relația /94/:

$$\frac{T_{min}}{t_c} = \frac{1}{\ln \frac{I_k}{I_k - I_{max}} \left(1 - \frac{I_{max}}{I_k - I'} \right)} \quad (9.6)$$

(a se urmări fig.5.2)

unde, în prima aproximație avem $I_{max} = 2 \cdot I_s$; I_s - intensitatea medie a curentului de sudare; $I' = \frac{U_a}{R}$; T_{min} - constanta de timp

minima pentru $I_{min} = 0$ și $t_c = t_k + t_a$

notînd cu: $\alpha = \frac{I_s}{I_k}$ și $\beta = \frac{t_a}{t_c}$

obținem relația:

$$\frac{T_{\min}}{t_c} = \frac{1}{\ln \frac{\beta - 1 + \alpha \cdot (1 - 2)}{(1 - 2\alpha)(\alpha + \beta - 1)}} \quad (9.7)$$

Reprezentînd grafic relația $\frac{T_{\min}}{t_c} = f\left(\frac{I_s}{I_k}\right)$, obținem valorile limită pentru $\beta = \frac{t_a}{t_c}$, care asigură trecerea continuă a curentului prin circuitul de sudare (fig. 9.1) și stabilitatea regimului de funcționare.-

După cum se vede clar, aceste valori sînt:

$$\frac{t_a}{t_c} = 0,5 - 0,7 \quad (9.8)$$

În cele de mai sus s-au conturat limitele de variație pentru raportul $\frac{t_a}{t_c}$ stabilite pe diferite considerente teoretice.

În (5.5.2), este dată condiția preliminară pentru stabilitatea procesului vibroarc, reeșită din ecuația diferențială la mișcare a sistemului $\frac{t_a}{t_c} > \frac{U_0}{2 U_a}$,

relația ce determină valoarea minimă admisibilă a duratei relative de ardere a arcului. Si de aci rezultă că raportul $\frac{t_a}{t_c}$ variază între anumite limite restrînse.-

Analizînd rezultatele experimentărilor proprii, executate pe epruvete din oțel OLC 45, cu sîrmele-electrod arătate în tabelul 7.1 și 7.2, centralizate și așezate corespunzător în tabela 9.2 pozițiile 1 - 9 incl. asociindu-le cu rezultatele publicate în /103, 107 și 113/ în tabela 9.2. poz. 10-38 inclusiv, putem trage următoarele concluzii (observăm, că autorii cercetărilor /103, 107 și 113/ au urmărit determinarea raportului $\frac{t_a}{t_c}$ pentru procesul vibroarc stabil):

- Cu creșterea tensiunii de mers în gol U_0 a sursei de alimentare cu curent, se produce creșterea duratei relative de ardere a arcului $\frac{t_a}{t_c}$. Practic se poate aprecia că această variație este proporțională cu valoarea lui U_0 :

Măsurători pentru determinarea
raportului $\frac{U_s}{U_a}$

Tabela: 2.2

U_0 V	U_s V	I_s A	f Hz	U_a V	d_0 mm.	$\frac{t_a}{t_e}$	$\frac{U_s}{U_a}$ calculat	Mediu protector	Sursa
25,0	21,4	165	40	24,5	2,0	-	0,880	CO ₂	Cercetări proprii
25,0	20,0	165	50	24,2	2,0	-	0,824	-	-
22,5	19,0	135	40	25,6	2,0	-	0,743	-	-
18,3	15,5	155	50	23,6	2,0	-	0,656	-	-
21,8	18,5	120	100	24,0	2,0	-	0,770	-	-
14,5	12,5	180	70	22,8	2,0	-	0,548	-	-
13,8	11,5	110	70	22,5	1,2	-	0,511	-	-
13,8	10,5	150	65	22,5	1,6	-	0,467	CO ₂ + Ar.	-
14,9	13,2	100	70	23,0	1,6	-	0,574	-	-
14,75	11,5	180	70	22,95	2,0	0,502	0,502	CO ₂	[113]
18,75	15,5	155	70	23,65	2,0	0,643	0,653	-	-
22,75	20,0	140	70	24,74	2,0	0,805	0,814	-	-
25,25	23,0	135	70	25,94	2,0	0,883	0,890	-	-
25,5	20,0	180	60	29,5	2,2	0,777	0,680	fără	[107]
25,5	20,0	180	60	25,7	2,2	0,791	0,780	-	-
25,5	20,0	180	60	25,5	2,2	0,788	0,788	-	-
25,5	20,0	180	60	25,9	2,2	0,755	0,775	-	-
24,0	18,0	200	60	25,8	2,2	0,675	0,698	-	-
24,0	16,0	300	60	26,1	2,2	0,555	0,614	-	-
24,0	18,0	200	80	27,4	2,2	0,625	0,660	-	-
24,0	10,0	250	60	25,4	2,2	0,368	0,394	-	-
25,5	20,0	180	60	32,9	2,2	0,577	0,611	lichid	-

continuare vezi pagina următoare.

Continuare tabel: 0.2.

U_1 V	U_2 V	I_s A	f Hz	U_a V	d_e mm.	$\frac{t_a}{t_e}$	$\frac{U_s}{U_a}$ calculat	Mediu protector	Sursa
25,5	21,0	170	87	26,5	2,2	0,65	0,794	fără	[103]
13,5	9,0	240	87	26,7	2,2	0,29	0,338	lichid	-
17,0	12,5	210	87	27,9	2,2	0,42	0,450	-	-
26,0	21,5	170	87	29,0	2,2	0,70	0,742	-	-
26,0	21,0	180	87	33,5	2,2	0,61	0,628	-	-
25,0	20,5	165	87	25,0	2,2	0,76	0,820	CO ₂	-
25,0	20,0	165	87	25,8	2,2	0,71	0,746	-	-
25,0	20,0	170	87	25,9	2,2	0,71	0,774	-	-
25,0	20,0	165	87	26,8	2,2	0,70	0,747	-	-
25,5	21,0	160	87	29,0	2,2	0,69	0,724	-	-
16,5	11,5	215	87	25,6	2,2	0,43	0,450	-	-
17,0	13,0	230	87	22,0	2,2	0,57	0,532	Argon	-
16,5	12,0	230	87	21,8	2,2	0,57	0,550	-	-
16,5	12,0	240	87	23,3	2,2	0,48	0,515	-	-
16,5	12,0	230	87	23,0	2,2	0,49	0,522	-	-
16,5	12,0	240	87	22,8	2,2	0,49	0,527	-	-

- se verifică justețea simplificărilor făcute în /107/, în vederea obținerii unei formule simple $\frac{t_a}{t_c} = \frac{U_s}{U_a}$. Aceasta rezultă din comparația valorilor (din tabela 9.2) $\frac{t_a}{t_c}$ și valorilor $\frac{U_s}{U_a}$ calculate.

- durata relativă de ardere a arcului scade cu creșterea intensității curentului de sudare, iar ca urmare crește viteza de avans a sîrmei-electrod (poz. 1.6 și 19 din tabela 9.2); viteza de avans a sîrmei-electrod crește de la 16,5 mm/s la 25,0 mm/s /107/;

- în baza rezultatelor obținute cu ocazia probelor pentru determinarea inductanțelor minime funcție de frecvență (tabelele 7.1 și 7.2), la care dacă calculăm valorile rapoartelor $\frac{U_s}{U_a}$ se constată că ele sînt aproape constante și nu variază cu frecvența. Rezultă din tabele că frecvența a variat în limitele de 40 - 100 Hz.

În consecință, durata relativă de ardere a arcului $\frac{t_a}{t_c}$ practic nu depinde de frecvența de vibrație a sîrmei-electrod.

- din numărul de 38 probe prezentate în tabela 9.2 și 11 probe prezentate în tabelele 7.1 și 7.2 rezultă că raportul $\frac{U_s}{U_a}$ practic variază între limitele de 0,50 - 0,85, adică corespund valorilor obținute teoretic și expuse mai înainte.-

Din tabela 9.2, rezultă că unele valori sînt mai mici de 0,50 și altele mai mari de 0,85. Astfel, la poz.21, raportul este de 0,394, iar la poz. 24 raportul este de 0,338. Aceste probe iese din competiție, deoarece nu satisfac condiția preliminară de stabilitate $\frac{U_s}{U_0}$ (relația 9.4) care rezultă respectiv de 0,417 și 0,666, deci valori mai mici de 0,750 (valoarea minimă ce asigură stabilitatea).-

Analizînd celelalte două cazuri poz.1 cu $\frac{U_s}{U_a} = 0,880$ și poz.13 cu $\frac{U_s}{U_a} = 0,890$ se constată că tensiunea arcului la experimentare este prea mică față de restul parametrilor de lucru.

Pe de altă parte condiția preliminară de stabilitate nu este satisfăcută, adică pentru poz. 1 $\frac{U_s}{U_o} = 0,855$ este deci chiar la limită, iar pentru poz. 13, $\frac{U_s}{U_o} = 0,91$ depășește cu mult limita superioară.-

În concluzie, practic raportul între tensiunea de sudare și cea a arcului pentru funcționare stabilă a sistemului între limitele de:

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,50 - 0,85 \quad (9.6)$$

9.3. - Cu privire la frecvența de vibrație a sîrmei-electrod

Conform datelor a mai multor cercetători, precum și a autorului tezei, s-a stabilit, că buna calitate a stratului încărcat se asigură la o mai mare frecvență de vibrare a sîrmei-electrod (de la 30 pînă la 100 Hz). Dar totuși trebuie subliniat, că un factor deosebit de important al calității stratului încărcat este stabilitatea procesului vibroarc, Capetele automate în funcțiune, în țările ce au aplicat procedeul vibroarc, nu sînt în măsură să asigure stabilitatea procesului /166/ din cauze constructive.

Sînt cîteva tipuri de capete automate care asigură stabilitatea procesului la frecvențe mici, cum este de exemplu tipul VG - 1 (URSS) care asigură o bună stabilitate a procesului de vibrație și un strat încărcat de bună calitate la frecvențele de 17-34 Hz. Aceasta se explică și este valabil pentru oțeluri carbon și numai pentru anumite valori ale vitezelor de avans a sîrmei-electrod, și de încărcare, adică la un anumit raport $\frac{v_p}{v^g}$ și a tensiunii de mers în gol. Deci capul automat VG-1, este un caz excepțional și servește numai pentru anumite condiții de lucru.

În consecință, frecvențele vibrațiilor cu bune rezultate calitative, rămîn cele precizate mai sus, adică 30-100 Hz urmare celor de mai sus, experimentările efectuate de autor, au fost executate folosind frecvențele în limitele de 50-75 Hz.

9.4. - Cercetări prin metoda statisticii matematice și a mijloacelor automate de calcul a interdependenței între raportul $\frac{U_s}{U_a}$ și alți parametri ai procesului vibroarc.

Sirurile valorilor obținute pe cale experimentală de către autorul tezei, și cele obținute de către alți cercetători și publicate în /103, 107, 117/ se consideră ca necesară o analiză a acestora din punct de vedere matematic.-

Această analiză, efectuată cu mijloace ale statisticii matematice, urmărește stabilirea pe cale pur matematică a "domeniului de încredere" în care are loc variația diverșilor parametri urmăriți, respectiv depistarea anumitor valori eventual ieșite din normal "grosolane", apărute ca urmare a unor erori în experimentare și eliminarea lor.-

În acest sens autorul a apelat la "Criteriul Chauvenet", aplicat în cazul șirului valorilor raportului dintre tensiunea de sudură și tensiunea arcului $\frac{U_s}{U_a}$. Calculul se conduce etapizat, după cum urmează:

1. Se calculează media șirului de valori:

$$\left(\frac{\bar{U}_s}{\bar{U}_a}\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{U_s}{U_a}\right)_i = \frac{1}{38} \cdot 24,781 = 0,652$$

2. Se calculează suma abaterilor medii pătratice:

$$s = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\bar{U}_s}{\bar{U}_a}\right) - \left(\frac{U_s}{U_a}\right)_i \right]^2 = 0,707222$$

3. Se calculează modulul de precizie:

$$h = \sqrt{\frac{n}{2s}} = \sqrt{\frac{38}{2 \times 0,707222}} = 5,184$$

4. Se determină din tabele /151/ produsul (hx) pentru n = 38:

$$(h \cdot x) = 1,754$$

5. Se calculează abaterea maxim admisă:

$$\bar{x} = \frac{(hx)}{h} = \frac{1,754}{5,184} = 0,338$$

6. Extremele teoretice ale șirului sînt:

$$\left(\frac{U_s}{U_a}\right)_{\max} = \left(\frac{\bar{U}_s}{\bar{U}_a}\right) + \bar{x} = 0,652 + 0,338 = 0,990$$

$$\left(\frac{U_s}{U_a}\right)_{\min} = \left(\frac{\bar{U}_s}{\bar{U}_a}\right) - \bar{x} = 0,652 - 0,338 = 0,314$$

7. Deoarece nici o valoare nu se elimină, toate fiind cuprinse în domeniul teoretic de "valori normale" (0,990 - 0,314), rezultă că acestea sînt valorile extreme teoretice definitive.

- // -



Din analiza statistică efectuată (aplicarea criteriului Chauvenet) asupra valorilor experimentale obținute pentru raportul U_s/U_a , rezultă că în cadrul procesului experimental nu au fost efectuate manevrări eronate și nici nu au intervenit factori secundari perturbatori care să conducă la valori "grosolane". Deci, din punct de vedere teoretic (statistic matematic) absolut toate valorile sînt "de încredere" și ele sînt utilizabile integral în cadrul procesului de prelucrare a datelor.-

Totuși, din punct de vedere practic, anumite valori nu se vor lua în considerare și anume: poz.1, 13, 21 și 24 din tabelul 9.2, asupra cărora au fost date explicațiile necesare.-

Problema prelucrării analitice a rezultatelor experimentărilor realizate cu scopul stabilirii legăturilor corelaționale semiempirice între parametrii caracteristicii regimului de funcționare al procesului de încărcare cu vibroarc, a fost soluționată cu ajutorul mijloacelor automate de calcul, așa după cum se va prezenta în cele ce urmează.-

Următorii parametrii ce determină regimul de funcționare a procesului de încărcare cu vibroarc au fost considerați ca principali:

- raportul U_s/U_a , unde U_s este tensiunea de lucru la sudare, iar U_a este tensiunea arcului;
- tensiunea de mers în gol a sursei de alimentare cu curent U_0 ;
- Diametrul sîrmei-electrod d_e ;
- Frecvența devibrație a sîrmei-electrod f ;
- Mediul protector al zonei de încărcare, experimentat cu gaz CO_2 , argon, lichid de lucru și fără mediu de protecție, parametri prezentați în tabela 9.2.

Legăturile corelaționale între parametrii mai sus menționați au fost stabilite pe baza relațiilor statisticii matematice prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate. Avînd în vedere numărul mare al corelațiilor, și al datelor măsurătorilor experimentale, calculul pentru determinarea analitică al acestor legături a fost efectuat automat, cu ajutorul calculatorului electronic.-

În acest sens, a fost conceput și realizat un algoritm și un program de calcul, scris în limbaj FORTRAN IV aplicabil pentru calculatorul I.B.M. 360 (de la Academia de Științe Economice București), precum și pentru calculatorul FELIX C 256 (de la Institutul Politehnic București), ambele calculatoare de mare capacitate și viteză de compilare și execuție.-

Programul, denumit convențional JOB TARA 5ool, se prezintă în anexa 1, sub forma imprimantei originale, iar datele de bază (rezultatele experimentărilor) se prezintă în anexa 2, sub forma fișelor - instrucțiuni FORTRAN.-

Programul constă dintr-un număr de 106 instrucțiuni (caractere), pentru compilarea căruia sînt necesare 135 secunde.-

Algoritmul de calcul, bazat așa după cum s-a menționat mai sus, pe metoda celor mai mici pătrate, are un caracter iterativ în scopul obținerii celor mai buni coeficienți de corelare posibili, adică pentru obținerea relațiilor analitice ce caracterizează procesul studiat cu probabilitatea cea mai mare posibilă.-

Principalele etape de calcul pe care le comportă algoritmul adoptat sînt:

a. - Alegerea parametrilor între care se dorește stabilirea de corelație, și anume:

$$\frac{U_s}{U_a} = F(d_e); \quad \frac{U_s}{U_a} = F(f); \quad \frac{U_s}{U_a} = F(U_0).$$

Corelații care au fost determinate pentru diverse valori ale diametrului d_e al sîrmei-electrod (2 și 2,2 mm) precum și pentru diverse tipuri de medii protectoare a zonei de încărcare.-

b. - Odată aleși parametrii în perechi, (de ex. $\frac{U_s}{U_a}$ și U_0) se determină mediile lor aritmetice (după logaritmarele lor prealabilă, considerîndu-se că între parametrii există o legătură de tip exponențial) cu relațiile:

$$\log \left(\frac{\bar{U}_s}{U_a} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\log \frac{U_s}{U_0} \right)_i$$

$$\log (\bar{U}_0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log U_0)_i,$$

unde n este numărul șirului de date experimentale.

- // -

c.- Se calculează abaterile medii pătratice cu relațiile:

$$\sigma_{U_s/U_a} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta \log \frac{U_s}{U_a})_i^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_{U_o} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta \log U_o)_i^2 \right]^{1/2}$$

unde: $(\Delta \log \frac{U_s}{U_a})_i = (\log \frac{U_s}{U_a})_i - \log (\bar{\frac{U_s}{U_a}})$

$$(\Delta \log U_o)_i = (\log U_o)_i - \log (\bar{U}_o)$$

d. - Se calculează coeficientul de corelație cu relația:

$$r = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \log \frac{U_s}{U_a})_i (\Delta \log U_o)_i}{\sigma_{U_s/U_a} \cdot \sigma_{U_o}}$$

e.- Se calculează parametri drepte de regresie cu relația:

$$a = r \frac{\sigma_{U_s/U_a}}{\sigma_{U_o}} ; b = \log (\bar{\frac{U_s}{U_a}}) - a \cdot \log (\bar{U}_o)$$

f. - Se scrie ecuația drepte de regresie sub forma:

$$\frac{U_s}{U_a} = b \cdot U_o^a$$

adică tocmai legătura corelaționară de tip exponențial căutată.-

g.- Calculul de la punctele b.c.d.e și f. reprezintă prima etapă a procedurii iterativ. Dacă după efectuarea acestei prime etape rezultă un coeficient de corelare $r \geq \pm 0,97$ atunci calculul se consideră încheiat, deoarece o astfel de valoare a coeficientului de corelație corespunde unei legități perfecte.-

h.- In caz contrar, deci dacă $r < \pm 0,97$, calculul se reia în etapa corespunzătoare a lui r, considerîndu-se că în șirul datelor de bază au apărut valori care sînt perturbate și care de ci trebuie eliminate.-

Pentru eliminarea valorilor care depășesc domeniul de confidență, se calculează distanța $(ge)_i$ de la fiecare punct de coordonate $\log \frac{U_s}{U_a}$, $\log U_o$ pînă la dreapta de regresie determinată în cadrul primei etape de calcul și se determină valoarea medie a acestor distanțe, notată în program cu $(Ge)_j$, unde j este numărul etapei de aproximare.-

Se stabilește domeniul datelor corecte (fără erori grosolane sau întâmplătoare detectabile imediat) sub forma $\pm 1,2\sigma$ (Ge)_j și se elimină toate punctele a căror distanță (ge) _j $> \pm 1,2\sigma$ (Ge)_j.

- i. - Pe baza noii distribuții de puncte (astfel corectate ca la punctul h) se reia calculul de la punctul b și se determină noua poziție a dreptei de regresie, respectiv noua ecuație a acesteia. Dacă se îndeplinește condiția de la punctul g-calculul se întrerupe automat.-
- j. - Calculul iterativ se conduce pentru un număr maxim de 9 (nouă) pași, deoarece s-a observat că în această limită procesul de aproximații succesive se stabilizează la valoarea optimă a coeficientului de corelare.-
- k. - Odată calculul încheiat la punctul j (sau g) se trece la următoarea legătură corelațională.-

Calcululele conduse pe baza algoritmului mai sus prezentat au condus în final, așa după cum se vede din imprimanta originală, atașată în anexa 1, la următoarele rezultate finale:

1. - Variația generală a raportului U_s/U_a în funcție de diametrul sîrmei-electrod, independent de mediul de protecție:
$$\frac{U_s}{U_a} = 0,4216 \cdot d_e^{0,681} \text{ cu } r = 0,6156 \text{ (acceptabil).}$$

2. - Variația generală a raportului U_s/U_a în funcție de frecvența de vibrație a sîrmei-electrod, independent de mediul de protecție și de diametrul d_e :
$$\frac{U_s}{U_a} = 7,7732 \cdot f^{-0,601} \text{ cu } r = -0,7674 \text{ (bun)}$$

3. - Variația generală a raportului U_s/U_a în funcție de tensiunea de mers în gol, independent de mediul de protecție și de diametrul d_e :
$$\frac{U_s}{U_a} = 0,0764 \cdot U_0^{0,713} \text{ cu } r = 0,9316 \text{ (foarte bun)}$$

4. - Corelații pentru cazul utilizării CO_2 ca mediu de protecție:
a. Variația raportului U_s/U_a în funcție de frecvența de vibrație a sîrmei-electrod cu diametrul $d_e = 2,0$ mm.
$$\frac{U_s}{U_a} = 0,8484 \cdot f^{-0,023} \text{ cu } r = -0,0605 \text{ (foarte slab)}$$

- // -

b. Idem cu diametrul oarecare al sîrmei-electrod

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,8463 \cdot f^{-0,022} \quad \text{cu } r = -0,0729 \text{ (foarte slab)}$$

c. Variația raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de tensiunea de mers în gol, pentru diametrul $d_e = 2,0$ mm.

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,0445 \cdot U_0^{0,920} \quad \text{cu } r = 0,982 \text{ (excelent)}$$

d. Idem cu diametrul $d_e = 2,2$ mm.

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,0130 \cdot U_0^{1,265} \quad \text{cu } r = 0,9764 \text{ (excelent)}$$

e. Idem cu diametrul oarecare al sîrmei-electrod:

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,0585 \cdot U_0^{0,817} \quad \text{cu } r = 0,9785 \text{ (excelent)}$$

5. - Corelații pentru cazul utilizării lichidului de lucru (carbonat de sodiu 6% + rest apă), ca mediu de protecție:

a. Variația raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de frecvența de vibrație a sîrmei electrod cu diametrul $d_e = 2,2$ mm.

$$\frac{U_s}{U_a} = 2,8328 \cdot f^{-0,375} \quad \text{cu } r = -0,4344 \text{ (slab)}$$

b. Variația raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de tensiunea de mers în gol, pentru diametrul sîrmei-electrod $d_e = 2,2$ mm.

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,0254 \cdot U_0^{1,002} \quad \text{cu } r = 0,9726 \text{ (excelent)}$$

6. - Corelații pentru cazul utilizării argonului ca mediu de protecție:

a. Variația raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de tensiunea de mers în gol, pentru $d_e = 2,2$ mm.

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,000006 U_0^{4,056} \quad \text{cu } r = 0,9977 \text{ (excelent)}$$

7. - Corelații pentru cazul cînd nu se utilizează mediu de protecție:

a. Variația raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de frecvența de vibrație a sîrmei-electrod cu diametrul $d_e = 2,2$ mm.

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,0897 \cdot f^{0,488} \quad \text{cu } r = 0,8609 \text{ (foarte bun)}$$

b. Variația raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de tensiunea de mers în gol, pentru $d_e = 2,2 \text{ mm}$.

$$\frac{U_s}{U_a} = 0,00026 \cdot U_0^{2,4635} \text{ cu } r = 0,7919 \text{ (bun)}$$

Se menționează faptul că relațiile de calcul obținute și prezentate mai sus, au fost stabilite pe baza rezultatelor experimentale proprii, efectuate în cadrul Întreprinderii de Mașini Grele din București și asociate cu rezultatele experimentale publicate în literatura /103, 107, 113/, cum s-a mai amintit.-

Se precizează, că atât experimentările proprii, cât și cele preluate din literatură au fost executate în aceleași condițiuni (acelaș material de bază, dimensiunile exterioare a epruvetelor, sursa de curent un redresor cu aceleași caracteristici externe, principiul de funcționare al capului automat, polaritate inversă etc. restul se vede în tabela 9.2.).

În fig. (9.2-9.6) se reprezintă grafic relațiile corelaționale astfel obținute, împreună cu împrăștierea corespunzătoare a valorilor determinate experimental. Studiarea relațiilor analitice și a diagramelor permite să se tragă concluziile expuse mai jos.-

a. Din fig.9.2., rezultă, că indiferent de mediul de protecție a zonei arcului, raportul $\frac{U_s}{U_a}$ are o variație exponențială direct proporțională cu diametrul sârmei-electrod ($\frac{U_s}{U_a} = 0,4216 \cdot d_e^{0,681}$).

Aria de împrăștiere a punctelor rezultate din experimentări este aceea cuprinsă de o linie combinată (linie punctată și punct linie).-

Se observă, că ponderea diametrelor ce satisfac raportul $\frac{U_s}{U_a}$, în condiții bune de stabilitate, cade asupra diametrului sârmei-electrod de 2 mm. în tot intervalul raportului 0,50-0,85. Diametrele sîrmelor-electrod ce corespund mai bine decurgerii stabile a procesului vibroarc, variază între 1,30-2,80 mm, adică practic 1,20 - 3,00 mm.

b. Indiferent de mediul de protecție utilizat și de diametrul sârmei-electrod, raportul $\frac{U_s}{U_a}$ variază exponențial direct proporțional cu tensiunea de mers în gol a sursei de alimentare cu curent ($\frac{U_s}{U_a} = 0,0764 \cdot U_0^{0,713}$) și invers proporțional cu frecvența de vibrație a sârmei-electrod ($\frac{U_s}{U_a} = 7,7732 \cdot f^{-0,601}$) așa cum rezultă din fig. 9.3.

După cum se vede, în fig. 9.3, partea $\frac{U_s}{U_a} = f(U_0)$ există trasă curba 3 (cu punct linie) paralelă cu curba 1. Această curbă 3 reprezintă exclusiv rezultatele experimentărilor proprii, în timp ce curba 1 reprezintă rezultatul tuturor cercetărilor (ale autorului împreună cu cele preluate din literatură). Această diferență, scoasă în evidență intenționat, se datorește lichidului adus direct în zona arcului, care în cazul experimentărilor proprii s-a dovedit a fi mai ionizant iar experimentările s-au efectuat cu un raport $\frac{U_s}{U_a}$ în medie mai mare decât cercetătorii de la care au fost preluate unele date.-

c. Din fig. 9.2 și 9.3 se observă, că pentru valorile limită rezultate ale raportului ($\frac{U_s}{U_a} = 0,5 - 0,85$), astfel că procesul să fie stabil, rezultă următoarele domenii de variație practic recomandate pentru: tensiunea de mers în gol, frecvența de vibrație și diametrul sârmei-electrod (valorile sînt rotunjite în sens admisibil). Limitele acestor valori sînt centralizate în tabela 9.3).

Tabela: 9.3

$\frac{U_s}{U_a}$	U_0 (V)	f (Hz)	d_e (mm)	Observații
	2	3	4	
0,50	15	95	1,20	
0,85	29-30	40	3,0	

Aceste valori prealabile, împreună cu alte condiții determinate în capitolele anterioare, asigură procesul vibro-arc, respectiv sistemul să decurgă în condiții de stabilitate.

te.

Unele din date, cuprinse în tabela 9.3, confirmă sau se suprapun cu recomandările disparate din literatură.-

d. În cazul utilizării ca mediu de protecție a gazului CO_2 , influența diametrului sîrmei-electrod utilizate, asupra variației exponențiale $\frac{U_s}{U_0} \rightarrow U_0$ este reprezentată în fig. 9.4. Din analiza acestei diagrame rezultă că, creșterea diametrului sîrmei-electrod de la 2,0 la 2,2 mm (10%) influențează tensiunea de mers în gol astfel:

- pentru limita superioară a raportului $\frac{U_s}{U_a} = 0,85$ (ce asigură procesul stabil), U_0 crește cu 10% față de creșterea secțiunii de 21% a sîrmei-electrod; - pentru limita inferioară a raportului $\frac{U_s}{U_a} = 0,50$ se constată o creștere a tensiunii U_0 cu 28% față de aceeaș creștere a secțiunii sîrmei-electrod (21%).-

Limita inferioară a tensiunii de mers în gol corespunzînd raportului $\frac{U_s}{U_a} = 0,50$ este de (14,2 - 18,0)V, iar pentru 0,85 este de cca $\frac{U_s}{U_a}$ (24,5 - 27,5)V. Valorile mai mici ale tensiunii de mers în gol între (10-14)V corespund unor rapoarte $\frac{U_s}{U_a}$ mai mici de 0,5 ceea ce nu asigură condiții prealabile de desfășurare stabilă a procesului vibroarc. De altfel, aceste valori sînt mai puțin utilizate în practica curentă.-

e. În fig. 9.5, se prezintă influența generală a mediului de protecție utilizat curent în cadrul procedurii de încărcare cu vibroarc (CO_2 , Argon, lichid de lucru sau fără mediu de protecție), asupra variației exponențiale a raportului $\frac{U_s}{U_a}$ în funcție de tensiunea de mers în gol U_0 a sursei de curent, în cazul experimentărilor efectuate cu sîrma-electrod de 2,2 mm. diametru.-

Din analiza curbelor și relațiilor analitice stabilite, rezultă:

- se observă o oarecare similitudine (destul de accentuată) a variației $\frac{U_s}{U_a} - U_0$, pe de o parte în cazul utilizării gazului CO_2 și a lichidului de lucru, iar pe de altă parte în

cazul argonului și a cazului când nu se utilizează mediu de protecție.-

In primul caz CO_2 - lichid de lucru pentru $\frac{U_s}{U_a} = 0,50$, U_0 scade cu 10% la CO_2 față de lichid de lucru și la $\frac{U_s}{U_0} = 0,85$, U_0 scade cu 15% la CO_2 față de lichid de lucru.-

In cazul al doilea adică argon-fără mediu protector, respectiv când $\frac{U_s}{U_a} = 0,5$, U_0 scade cu 22% la argon față de cazul fără mediu de protecție și când $\frac{U_s}{U_a} = 0,85$, U_0 scade cu 34% la argon față de cazul fără mediu de protecție.- Aceste rezultate conduc la concluzia că alegerea mediului de protecție la încărcarea cu vibroarc, trebuie făcută pe considerente ce sînt legate mai mult de calitatea materialului de bază și respectiv de calitatea stratului încărcat ce trebuie obținut.-

O constatare importantă ce se remarcă este că, curbele celor trei medii de protecție (argon, CO_2 și lichid) au un punct practic comun, ce corespunde coordonatelor $\frac{U_s}{U_a} = 0,4$ și $U_0 = 15 \text{ V}$, în care fenomenele cercetate au comportare identică, indiferent de mediul de protecție utilizat.-

Dacă nu se utilizează mediul de protecție valoarea $\frac{U_s}{U_a} = 0,4$ se regăsește la $U_0 = 20 \text{ V}$.-

In concluzie, indiferent de mediul folosit pentru sîrma-electrod de 2,2 mm diametru, procesul vibroarc la $\frac{U_s}{U_a} = 0,4$ este instabil. Ideea ce reconfirmă concluzia anterioară, că stabilitatea procesului vibroarc are loc la un raport minim $\frac{U_s}{U_a} = 0,5$.

O constatare generală este, că pe măsura ce scade $\frac{U_s}{U_a}$ scade și tensiunea de mers în gol.-

Cu creșterea tensiunii arcului U_a scade $\frac{U_s}{U_a}$ când se adaugă lichid în arc (scade $\frac{t_a}{t_c}$).

f. In fig. 9.6, se prezintă relația funcțională dintre raportul $\frac{U_s}{U_a}$ și frecvența de vibrație a sîrmei-electrod.

g. Din analiza acestui grafic rezultă că indiferent de mediul de protecție utilizat, raportul $\frac{U_s}{U_a}$ practic nu depinde de

frecvența de vibrație a sîrmei-electrod dreptele verticale I și II.

Linii drepte III și IV constituie rezultatul luării în considerare în calcul (cu mașina electronică de calcul) a absolut tuturor punctelor, respectiv și a punctelor notate cu 1 și 1' precum și a punctului notat cu 2 care de fapt ies din competiție ca ne concludente (reprezentînd o abatere "grosșlană"). Aceste puncte totuși au fost prezentate în grafic datorită modului cel mai general în care a fost alcătuit algoritmul de calcul. Ele nu au fost eliminate de calculatorul electronic tocmai din cauza erorii exagerate.-

x
x x

Astfel de cercetări complexe de interdependență a parametrilor procesului vibroarc s-au efectuat de-aurea, pentru prima dată pe plan internațional.-

Rezultatele obținute, stabilesc și rezolvă, fie pornind de la concluzii pur teoretice la verificări experimentale, fie invers de la constatări stabilite pe cale experimentală la relații teoretice.-

În cadrul acestui procedeu, ce se caracterizează printr-un număr mare de parametri cu o largă interdependență, stabilirea unor relații precise sau domenii de valabilitate a parametrilor ce au fost cercetați reduce mult din câmpul larg al incertitudinilor, dînd posibilitatea predeterminării parametrilor procesului vibroarc.

9.5. - Nomograma pentru determinarea unor parametri în vederea stabilirii regimului de încărcare cu vibroarc.

Procedul vibroarc, cum s-a mai amintit, se deosebește și printr-un număr mare de parametri electrici și cinetici interdependenți, ceea ce prezintă unele greutăți în stabilirea regimului de lucru.-

În baza cercetărilor și rezultatelor obținute pe parcursul tezei, a fost arătată o anume interdependență între parametrii principali ai procesului vibroarc. În multe cazuri, aceea interdependență are caracter legic.-

- // -

Pentru a ușura și mai ales pentru predeterminarea celor mai principali parametri ai procesului vibroarc s-a trasat nomograma complexă - fig. 9. Nomograma reprezintă dependența între:

- diametrul piesei și turația ei;
- viteza de încărcare și viteza de avans a sîrmei electrod și raportul între aceste viteze $\frac{v_e}{v_p}$;
- diametrul sîrmei-electrod și viteza ei^p de avans v_e ;
- diametrul sîrmei-electrod și grosimea stratului încărcat;
- diametrul sîrmei-electrod și puterea arcului electric;
- diametrul sîrmei-electrod și raportul între viteza de avans a sîrmei-electrod și viteza de încărcare $\frac{v_e}{v_p}$;

Premizele, construirii nomogramei sînt:

$$v_e = \frac{I_s \cdot U_s}{1000 \cdot d_e^2} \quad [m/min];$$

$$h = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4 \cdot s} \cdot \frac{v_e}{v_p} \cdot k \quad [mm];$$

$$\frac{v_e}{v_p} = 1,70 - 2,2 ;$$

$$\frac{U_s}{U_0} \approx 0,80;$$

$$s = 1,5 \cdot d_e \quad [mm];$$

$$I_{max} = 2 \cdot I_s \quad [A];$$

Nu s-a prezentat legătura cu inductanță, deoarece curbele de variație a inductanței au fost trasate (în funcție de diferiți parametri) în cap. 7.-

CAP. 10 - PROBE PRELIMINARE ÎNCĂRCATE CU VIBROARC
=====

Pentru cercetarea diferiților factori ce influențează în special asupra calității straturilor încărcate, precum și pentru reglarea întregii instalații experimentale au fost executate o serie de probe preliminare.-

În acest scop s-au executat $5 + 4 = 9$ probe preliminare cu măsurarea respectiv determinarea unui șir de parametri ai regimului de lucru conform tabelului 10.1.-

Materialul de bază un oțel de largă întrebuințare în construcții de mașini OLC 45 cu diametru de 60 mm. Diametrul exprivetelor a fost ales de 60 mm. ce corespunde în medie pieselor ce se încarcă mai des.- Primele cinci probe s-au încărcat cu sîrmă-electrod marca S11M2S cu analiza chimică: C = 0,11%; Mn = 1,8 - 2,1%; Si = 0,7 - 0,95%; Cr = max 0,2%; Ni = max. 0,25%; P = 0,03% și S = 0,03%, diametrul sîrmei-electrod 1,2 mm, în mediul protector CO₂. Restul de patru probe au fost încărcate pe același material de bază, cu sîrma-electrod marca "Chromenar 410" cu diametru de 1,6 mm, cu analiza chimică: C=0,10%; Mn= 0,50%; Si=0,30%, Cr = 13%, mediu protector CO₂ + Argon, iar poziția 8 din tabel a fost încărcată numai sub argon.-

Grosimea straturilor încărcate h, a fost determinată prin măsurători directe.-

Fig. 10.1; 10.2 și 10.3 - reprezintă fotografiile probelor încărcate cu sîrma-electrod marca S11M2S, respectiv poz. 1,2 și 3 din tabela 10.1 cu regimurile ale căror parametri electrice și cinematici sînt arătate în tabel.-

Figurile 10.4; 10.5 și 10.6, reprezintă fotografiile probelor încărcate cu sîrma-electrod "Chromenar 410", cu diametru de 1,6 mm, în mediu protector de CO₂ + Argon, respectiv sînt poz. 6,7 și 8 din tabela 10.1.-

Fotografiile sînt cîte două de fiecare probă văzută diametral opus.-

Ca o primă constatare este, că încărcarea cu sîrma-electrod marca S11M2S, cu conținut mic de carbon și slab aliată, rea-

Rezultatul experimentelor pe probe
- preliminare industriale

Tabela: 10.1.

Nr. probei	Marca sârmei-etc. trod	Regim de lucru											$\frac{V_e}{V_p}$	$\frac{V_p}{V_e}$				
		U_0 V	U_k V	I_s A	de min	f Hz.	n rot./min.	D mm.	s mm/hot.	λ mm.	CO ₂	Ar			lichid de lucru	h mm.	V_e m/min.	V_p m/min.
1	SMM2S	13,8	11,5	110	1,2	70	4,0	60	1,5	1,0	18	-	0,1	0,64	1,70	1,34	1,27	0,79
2	S11M2S	15	12,0	120	1,2	60	5,3	60	1,8	1,0	18	-	0,1	0,97	1,30	1,02	1,90	0,52
3	S11M2S	15,2	12,2	115	1,2	65	3,5	60	1,8	1,0	18	-	0,1	1,36	1,80	0,67	2,69	0,37
4	S11M2S	15,2	12,2	115	1,2	65	3,0	60	1,8	1,0	18	-	0,1	0,895	1,50	0,56	2,67	0,56
5	S11M2S	15,2	12,2	115	1,2	65	2,5	60	1,8	1,0	18	-	0,1	1,59	1,50	0,47	3,18	0,315
6	Chromen ¹⁴⁰	13,8	10,5	150	1,6	65	3,2	60	2,07	1,0	8	15	0,1	1,81	1,65	0,61	2,70	0,37
7	-	13,8	10,5	150	1,6	90	3,5	60	2,07	1,2	9	15	0,1	1,70	1,90	0,67	2,54	0,395
8	-	13,8	10,5	150	1,6	60	3,5	60	2,07	1,2	-	20	0,1	1,65	1,65	0,67	2,47	0,407
9	-	13,8	10,5	150	1,6	65	3,0	60	2,07	1,2	8	15	0,1	1,19	1,00	0,564	1,77	0,565

- Grosimea stabili măsurat s-a determinat prin măsurători directe.
- Capătul fiber al sârmei-etc.trod 6-10 mm.
- Materialul de la: OL C45

lizează o depunere mai netedă și mai uniformă. Acest factor de fapt este și în funcție de pasul încărcării.-

Încărcările cu sîrma-electrod marca "Chromenar 410" cu 13% Cr, are spirele depuse mult mai pronunțate, chiar dacă pasul încărcării este redus la valoarea sa minimă. Acest lucru impune ca adausurile pentru prelucrare mecanică să fie majorate, iar duritatea pe suprafață să distribuie în valuri. În consecință cusăturile vecine trebuie să aibă un grad mai mare de suprapunere (acoperire), adică coeficientul de formă a cusăturii a trebuie să se apropie cît mai mult de unu.-

Probele efectuate au confirmat regimurile predeterminate teoretic și au corespuns așteptărilor.-

O mare influență asupra calității stratului încărcat, o are valoarea tensiunii arcului asupra căreia s-a vorbit în cap.9.-

În fig. 10.7, sînt reprezentate microstructurile pentru proba poz.1 din tabela 10.1. După cum se vede în fig. 10.7, a - zona de trecere este subțire și cu structura fină. Materialul de bază are o structură ferito-perlitică foarte fină cu o granulație mai mică de 8, în zona de coalescență structura este de același tip dar mult mai fină. Stratul încărcat este o perlită orientată bainitică, apar și insule de ferită.-

În fig. 10.8, proba 2, din tabel materialul de bază la fel ca la proba 1, în zona de coalescență la fel, stratul încărcat idem ca la 1, dar cu o orientare mai pronunțată a cristalelor care s-ar datora unei răcirii mai intense, ceea ce poate avea explicația numai în faptul că turația piesei (epruvetei) a fost cu sca. 24% mai mică; proporția de ferită față de proba unu nu diferă prea mult. Zona de aliere, respectiv pătrunderea între metalul sîrmei-electrod și cel de bază este bună.-

În fig. 10.9., proba 3 din tabel, structura materialului de bază foarte fină (pozab) zona transformată are structura și mai fină. Poza e strat încărcat are structură feritică cu puțină perlită, granulație fină.-

Se constată lipsa aderenței, respectiv a interpătrunderii între metalul de bază cel de adaos.- Acest lucru apare ca evident deoarece raportul $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ este prea mare (2,69) cumulat și cu pasul

$s = 1,8$ mm (cam mare).-

Proba fig.10.10, poz.6 din tabel, structura materialului de bază ferită perlitică granulație <8, în zona de coalescență structura este mult mai fină, zona de legătură distinctă, materialul de adaos (sîrma-electrod) nu a fost atacat de reactivul folosit-rital (pozele 1 și 2) poza 3 - în zona de limită apare un strat decarburat cu o grosime de cca. 0,05 mm (ferită). Pe o grosime de circa 0,005 mm. se constată o difuzie a elementelor de aliere din stratul încărcat în metalul de bază în special de Cr. Sîrma-electrod în acest caz este "Cromenar 410" cu 13% Cr. La această probă se constată o zonă de difuzie a elementelor de aliere, se poate considera ca cea mai reușită depunere.-

Fig. 10.11, proba 7 din tabel (pozele a, b, c și d). În poza a. materialul de bază cu granulație 7-6 separată de stratul încărcat (poza. b), structura martensitică revenită ceea ce se explică prin pasul mare de încărcare $s = 2,07$ mm ($d_g = 1,6$ mm). Poza c, materialul de adaos nu a fost atacat de reactivul folosit, în rest identic cu poza a. Poza d - aproape identică ca în poza c. Se constată goluri între materialul de bază și cel de adaos, ceea ce poate fi explicat prin lipsa de concordanță între grosimea stratului încărcat și raportul vitezelor $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$. Fig.8.1 confirmă această discordanță. Pe de altă parte raportul vitezelor $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ cu mult depășește limitele practic stabilite (1,70-2,2), ceea ce nu asigură aderența între materialul de bază și cel al sîrmei-electrod.-

Fig.10.12, proba 8 din tabel, pozele a, b, c, și d. Situația la fel cu proba 7 (fig.10.11). Este normal să fie așa, dacă urmărim parametrii de încărcare din tabela 10.1.-

Prin probele numite aci "prealabile", la care s-au analizat rezultatele încărcărilor prin probe metalografice arătate mai sus, în primul rînd s-a confirmat justetea relațiilor teoretice stabilite cum este: $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$; raportul $\left(\frac{v_e}{v_p}\right) = 1,70 - 2,20$ valoarea pasului s funcție de diametrul sîrmei-electrod etc.-

Se dovedește importanța practică a acestor dependențe stabilite pe calea teoretică.-

La fel, se constată influența regimurilor de lucru asu-

pra structurii și proprietăților metalului stratului încărcat.

10.1 - Aplicarea procedurii de încărcare cu vibroarc pe piesele industriale

Pentru introducerea efectivă în industrie a procedurii de încărcare cu vibroarc, s-au executat încărcările unor piese uzate pentru locomotive diesel-electrice de 2300 CP. Motoarele diesel avînd regimurile de încărcare mecanică și termică a pieselor comparabile cu multe mașini și utilaje energetice, putînd forma astfel punct de plecare și eventual comparație.-

Lista pieselor uzate supuse încărcării cu vibroarc a fost:

1. Bulon pentru culbător, fig. 10.13;
2. Ax articulație, fig. 10.14;
3. Bolțul tachetului, fig. 10.15;
4. Ventil de admisie și evacuare, fig.10.16;
5. Bulon fig. 10.17.

Piesele au fost încărcate cu regimurile de lucru arătate în tabela 10.2.-

Regimurile de încărcare a pieselor pentru locomotive diesel-electrice de 2300 CP

Tabela: 10.2

Nr. Denu- cert mirea pie- sei	Mate- rial. piesei	Marca sîrmei elec- tro- d.	U_s V	I_s A	v_p mm/s	v_e mm/s	$\frac{v_p}{v_e}$	n rot/ min	f Hz.	Duri- tate HV
1. Bulon pt. culbător	13CN 35	S10N Cl80	15	120	10,6	28,4	0,375	4,15	70	
2. Ax arti- culație	35HM SUA	"	15	120	11,7	28,4	0,415	10,1	70	
3. Bolțul tache- tului	13CN 35	"	15	120	10,5	28,4	0,372	8,45	70	
4. Ventil de admisie	13CN 35	"	15	120	10,6	28,4	0,375	9,15	70	
5. Bulon	13CN35	"	15	120	10,5	28,4	0,372	9,15	70	

- Diametrul sîrmei-electrod $d_e = 1,6$ mm;
 - Mediu de protecție CO_2 (2,5 l/min) + Ar (15 l/min);
 - $\lambda = 1,6$ mm; $s = 1,5 \cdot d_e = 2,4$ mm.

Pentru experimentare s-a pus la dispoziție o singură garnitură de piese reprezentative, care au fost încărcate conform regimurilor din tabela 10.2.-

Avînd în vedere calitatea materialelor pieselor (oțeluri aliate speciale), destinația lor, alegerea definitivă a parametrilor s-ar fi putut face cunoscîndu-se rezultatele comportării lor după circa 50-60.000 km. de parcurs a locomotivei. Piese sînt în stadiu de probe în exploatare.-

În ce privește duritatea straturilor încărcate, aceasta poate fi realizată folosind sîrma-electrod potrivită.-

Avînd în vedere, că în cazul analizat, toate piesele supuse recondiționării prin procedeul vibroarc sînt de formă cilindrică (fig. 10.13 - 10.17 inclusiv), cu diametre ce diferă puțin între ele, s-au executat o serie de epruvete de tip special (vezi capitolul următor), încărcate cu diverse sîrme-electrod și cu regimurile diferite, iar concluziile ce se trag vor deveni niște concluzii cu caracter mai general.-

În fotografiile anexate fig. (10.18 - 10.22) sînt reprezentate piesele încărcate pentru locomotivele diesel-electrice, corespunzătoare desenelor fig. (10.3 - 10.17). Piesele au fost fotografiate după încărcare, înainte de prelucrare mecanică prin rectificare.-

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMISOARA
BIBLIOTECA CENTRALA

CAP. 11 - REZISTENȚA LA OBOSEALA CA MIJLOC DE APRECIERE A

INFLUENȚEI CUMULATE A PARAMETRILOR PROCESULUI

VIBROARC

11.1. - Rezistența la oboseală a pieselor după încărcare cu
procedeul vibroarc (unele constatări)

Cu toate că recondiționarea pieselor cu procedeul vibroarc, câștigă tot mai multe domenii de utilizare, cu toate acestea, astfel de probleme ca influența compoziției chimice a sîrmei-electrod și regimurilor de încărcare asupra rezistenței la oboseală a pieselor sînt încă nestudiate. Nu este studiată decît în mică măsură problema influenței situării locului de aducere a lichidului de lucru față de poziția și locul sîrmei-electrod.-

Se poate afirma, că în general, această problemă este foarte puțin cercetată. În articolele apărute pînă acum sînt contradicții în ce privește concluziile finale /54,167/ asupra rezistenței la oboseală a pieselor încărcate cu vibroarc. Aceste contradicții, pot avea în unele cazuri explicații, fie datorită direcțiilor diferite în care se făceau aceste cercetări, ~~fie că~~ piesele supuse recondiționării prin încărcare aveau destinații cu totul deosebite, trebuind să îndeplinească și condiții speciale.-

Rezultatele cercetărilor prezentate în /167/, arată că încărcarea cu procedeul vibroarc sub jet de lichid de lucru a oțelului 45 (echivalent OLC 45) pe același oțel provoacă în straturile de suprafață formarea unor tensiuni de compresiune pînă la 40-50 kgf/cm². Pe linia de aliere se nasc tensiuni de întindere, ce ajung la 40 kgf/mm². Prin cercetări s-a stabilit, că rezistența acestor epruvete este mai mică cu 23% decît rezistența la oboseală a epruvetelor nefîncărcate, ceea ce se explică prin existența unor crăpături, o distribuție nefavorabilă a tensiunilor remanente, neomogenitatea structurii și proprietăților mecanice a metalului încărcat.

În general, în literatură este cunoscut, că prin încărc-

carea straturilor pe piese ce se recondiționează, rezistența lor la oboseală de obicei scade.-

Totuși, cele expuse mai sus nu demonstrează, că toate metodele de încărcare, respectiv materialele de adaos folosite, duc la reducerea rezistenței la oboseală a pieselor.-

În ce privește încărcarea cu procedeul vibroarc, concluzia de mai sus nu se confirmă în toate cazurile.-

Astfel, unele cercetări au stabilit /86/, că la încărcare cu vibroarc anumite regimuri nu reduc rezistența la oboseală a pieselor încărcate.-

O altă serie de încercări /167/ arată, că epruvetele încărcate în mediu de CO_2 cu un oțel austenitic 1H18N9T (URSS) corespunzător sârmei-electrod produsă la noi în țară marca SloNC 180, adică un oțel cu $Cr = 17,0-20\%$; $Ni=8,0 - 11,0\%$ și $Mn \leq 2,0\%$, pe un oțel de tip OLC 45 nu reduce rezistența la oboseală a pieselor, ci, dimpotrivă o ridică.-

O deformare plastică a metalului încărcat, cu sârma-electrod ca mai sus, mărește suplimentar rezistența la oboseală a pieselor din oțel OLC 45.-

Rezistența la oboseală a epruvetelor ecruisate după încărcare, este cu 27-47% mai mare decât la cele neîncărcate.-

Aceeași sursă arată, că reducerea rezistenței la oboseală a epruvetelor după încărcare, se explică - în primul rând - prin existența unor defecte, fie sub forma unor pori, a incluziunilor mici, fie a fisurilor.-

Din diferitele studii și cercetări /54,167,215/ rezultă că, cu cât materialul este mai plastic, cu atât capacitatea lui de „netezire” a vîrfurilor tensiunilor nefavorabile rezistenței la oboseală, este mai mare.-

- Piese executate din oțeluri carbon și oțeluri aliate, tratate termic pînă la duritatea HRC 45 și mai mare, după ce sînt încărcate la recondiționare, pot redobîndi această duritate folosind pentru încărcare sârma-electrod corespunzătoare, cum este spre exemplu sârma „Chromenar 410” cu $C = 0,10\%$ și $Cr = 13\%$, folosită des la noi în țară și de autorul tezei, în cercetările executate (vezi tabelele cu rezultatele cercetărilor) sau sârma-

electrod marca SloNC 180 cu C = 0,08% și Cr. = 19,7%, Ni = 9,26% Mn = 0,52% sau sîrma-electrod folosită în URSS-2H13 eventual 2H14 ce au crom între 12-15%.-

- La încărcarea unor straturi subțiri mai mici de 0,5-0,6 mm, dacă nu se cere ca piesă să aibă o rezistență la oboseală mare și diametrul ei este mic, pentru reducerea adausurilor la prelucrare prin șlefuire, se poate folosi sîrma-electrod de diametre mici, mai mici de 1,5 mm, menținînd însă raportul vitezelor $\frac{V_e}{V_p} \approx 2$ și pasul $s = (1,6-1,9)d_e$. Pentru asigurarea unei înalte productivități, viteza de avans a sîrmei-electrod trebuie aleasă să fie maximum posibilă pentru diametrul ei /86/.-

- La încărcarea unor straturi relativ subțiri, cînd se cere o înaltă rezistență la oboseală, trebuie folosită sîrma-electrod cu diametre mai mari de 2 mm. Pentru asigurarea unui adaus minim pentru prelucrarea mecanică este necesar să fie micșorat raportul vitezelor $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$. Această nu reduce rezistența la oboseală a piesei, cît că indicatorii de bază ale procesului intrucțiva se înrăutățesc /86/.-

- La încărcarea straturilor groase, mai groase de 2-3 mm, este necesar să fie utilizată sîrma-electrod cu diametrul de 2,5-3 mm și mai groasă dacă este posibil. Inșă, limita superioară este determinată de rigiditatea sîrmei electrod și de puterea sursei de alimentare cu curent. In acest caz duritatea stratului este mai mare decît în cazul unei încărcări în două straturi cu sîrma-electrod subțire, aderența în acest caz este mai sigură, iar productivitatea procesului mult mai mare.-

11.2. - Cu privire la aderența între materialul încărcat și cel de bază.

Cercetările autorului nu s-au extins și asupra aderenței, deoarece ar însemna repetarea unor cercetări efectuate de /86/ și destul de detaliat prezentate în articolul publicat, iar condițiile de încărcare ca: materialul sîrmei-electrod, diametrul ei, materialul de bază, pasul încărcării, raportul vitezelor $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ etc. sînt aproape aceleași cu care a lucrat autorul tezei.-

Concluziile la care s-a ajuns sînt următoarele: /86/:

a) O aceeași grosime de strat încărcat poate fi obținută cu diferite regimuri de încărcare. Prin aceasta însă se schimbă sensibil aderența metalului încărcat cu cel de bază. Cu creșterea diametrului sîrmei-electrod, valoarea aderenței crește, aderența scade cu creșterea diametrului epruvetei.-

b) Prin reducerea raportului $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ scade energia liniară. Aceasta înrăutățește condițiile de topire a metalului de bază, ceea ce, la rîndul său, reduce într-o oarecare măsură aderența stratului.-

c) La încărcarea cu sîrma-electrod cu diametru mai mic de 1,4 mm, schimbarea grosimii stratului prin schimbarea raportului $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ nu este posibilă. Acesta trebuie să fie egal cu circa 2. Schimbînd acest raport, mai ales în sensul micșorării lui, se strică stabilitatea procesului, iar aderența stratului devine insuficientă.-

d) La încărcare cu sîrma-electrod cu diametru mai mic de 2 mm. aderența stratului devine insuficientă, dacă grosimea lui se realizează pe seama unei reduceri pronunțate a pasului pînă la (0,7 - 1,2) d_e și creșterea raportului vitezelor mai mult de 2,5.-

În toate celelalte cazuri, prin schimbarea grosimii stratului încărcat, fie prin diametrul sîrmei-electrod, fie prin raportul $\frac{v_e}{v_p}$, aderența stratului încărcat cu metalul de bază trebuie să fie minimum 30 kgf/mm², ceea ce asigură buna funcționalitate a stratului încărcat /86/.-

11.3 - Cercetări proprii-condiții

Incercările la oboseală au fost executate pe o mașină specială VIBROFOR tip HFP 10 AMSLER, de 10 tf, cu ciclul de vibrații reglabil între 60-300 Hz, iar forma și dimensiunile geometrice a epruvetei sînt prezentate în fig. 11.1. Epruveta are un concentrator de tensiune.-

S-au executat patru diferite grupe de epruvete. Primele două grupe au câte șase serii, fiecare serie este alcătuită din cîte cinci sau șase epruvete. Restul de două grupe sînt al-

cătuite din câte opt serii a câte cinci epruvete. Total sînt 146 epruvete.-

Prima grupă a fost încărcată cu sîrma-electrod marca S12M2 diametru 1,6 mm a doua cu S11M2S cu diametru 1,2 mm, a treia cu S 10NC180 cu diametru 1,6 mm, și a patra cu S80Cr1 cu diametru 1,6 mm,-. Încărcarea în toate cazurile s-a executat cu polaritatea inversă.-

Diametrele epruvetelor variază din jumătate în jumătate milimetru, între 19 și 17 mm. Încărcarea se face cu mediul protector arătat în tabelul 11.1 și 11.2, variînd distanța jetului de lichid față de sîrma-electrod cu 20 respectiv 10 mm. Restul parametrilor electrice și cinetici sînt indicați în tabele.-

O parte din epruvete, au servit pentru determinarea influenței asupra rezistenței la oboseală a următorilor factori: calitatea sîrmei-electrod (conținutul de carbon și a altor elemente de aliere), grosimea stratului încărcat, felul mediului protector și distanța jetului de lichid de la locul sîrmei-electrod.-

Restul epruvetelor au servit pentru studierea influenței rapoartelor $\left(\frac{v_e}{v_p}\right)$ și $\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$ care după cum rezultă din lucrările efectuate în cadrul tezei, sînt factori de o deosebită importanță teoretică și practică.-

Epruvetele sînt din OLC 45 normalizat, structura lor etalon (neîncărcate) este ferito-perlitică cu HB 175 - 185.-

După încărcare, epruvetele au fost prelucrate mecanic prin rectificare cu răcire abundentă. Determinarea grosimii stratului încărcat se făcea prin măsurători directe (înainte de încărcare și după prelucrarea lor).-

11.4. - Rezultatele încercărilor și concluziile asupra durității stratului încărcat și rezistenței la oboseală.

Rezultatele încercărilor precum și regimurile de lucru sînt prezentate în tabellele 11.1 și 11.2, în graficele din fig. 11.2 - 11.7 inclusiv, precum și în micrografiile și fotografiile secțiunilor rupte și al șlifurilor (fig. 11.8 - 11.38).-

11.4.1. - Duritatea straturilor încărcate.

Ca o constatare generală, ce poate fi observată din fig. 11.2, este existența unei variații bruște a microdurității, în zona de legătură între metalul încărcat și cel de bază. Această scădere bruscă a microdurității la granița de aliere, poate fi explicată printr-o mare diferență de structură a metalului de bază (OLC 45 normalizat) și metalul încărcat, precum și existenței unei zone de influență termică, care constă din grăunțe destul de mari de metal încălzit (vezi micrografiile cu explicațiile fig. 11.8; 11,29, 11.30 și 11.31).-

Analizând toate tabelele și graficele, rezultă o influență sensibilă asupra stratului încărcat a conținutului de carbon din sîrma-electrod, precum și distanța de aducere a lichidului pe piesă față de locul sîrmei-electrod.-

În toate cazurile straturile sînt încărcate cu sîrme-electrod normal aliate, elementul clar diferențiat fiind carbonul (0,11 respectiv 0,73%) rezultă o duritatea stratului încărcat corespunde între un oțel îmbunătățit pînă la un oțel călit, adică între (225-325)HV.

Imprăștierea valorilor practic bună.-

Cu reducerea distanței între sîrma-electrod și jetul de lichid, duritatea maximă a stratului încărcat se deplasează între zona de legătură și cea de influență (fig.11.2).

Se observă un număr mare de factori ce influențează asupra durității stratului încărcat.-

11.4.2. Încercările la oboseală.

Așa cum s-a amintit mai sus, încercările la oboseală s-au efectuat cu mașina specială VIBROFOR.-

Gradul de asimetrie a solicitării a fost impus de dimensiunile epruvetei (fig.11.1) și $\max = 26-30 \text{ kgf/mm}^2$, adică circa 5600 kgf.-

- Probele 342 și 344 (fig.11.32 și 11.32 s-au rupt în zona încărcată. Proba 342 avînd un por pronunțat (vezi fig.11.28). La fel se constată și la ruperea probei 344 (fig.11.34). Proba

346 (fig.11.35), s-a rupt avînd o fisură în exterior, direcția de rupere în stratul de sudură are unghi de cca. 45° față de suprafața exterioară.-

- Aspectul general al straturilor încărcate este bun, așa cum se vede în macrofotografiile anexate cît și în analiza ȝlifurilor și secțiunilor rupte. Grosimea lor este uniformă, iar zona de influență în adîncime este foarte redusă, (fig.11.11, 11.16, 11,14, etc).-

Din diagramele de oboseală (fig. 11.3 - 11.7) se constată, că rezultatele obținute pe probele ce au răcirea cu jetul de lichid la distanță de 10 mm. de la sîrma-electrod, conduc la rezultate mai bune, din punct de vedere al rezistenței la oboseală față de probele ce au această distanță egală cu 20 mm.-

Din micrografiile făcute la probele cu mediu de protecție CO_2 amestecat cu argon se constată că, cantitatea de oxizi microscopici în secțiunile rupte, este mai mică decît în straturile încărcate în atmosfera de CO_2 , spre exemplu probele: 306, 334, față de 562 și 563 (vezi fig. 11.13; 11.19; 11.30; 11.9 și 11.31).

Legătura între straturile încărcate și materialul de bază, rezultă a fi bună la toate epruvetele. Supuse la ciclurile alternante tensiune-compresiune, straturile nu s-au desprins la nici o probă. Nu se observă ruperi în afară de zona concentratorului, decît la două probe (342, 344) și o probă (564) s-a rupt la începutul cusăturii (încărcare la racordări nu s-a făcut - fig. 11.11).-

Analizînd ȝlifurile epruvetelor secționare constatăm, că straturile încărcate (fig.11.11, 11.16, 11,14, 11.17, 11,20; 11.27) se disting printr-o pătrundere în materialul de bază, sub forma unor dinți de fierăstrău. Această formă de pătrundere, este aproape ideală din punct de vedere al aderenței, creînd o suprafață mare de contact între cele două suprafețe (vezi și fig.11.29).

- O altă concluzie de ordin general este, că pentru creșterea limitei de elasticitate este bine ca sîrma-electrod să conțină nichel.-

- În cazul cînd piesele trebuie să aibă rezistența mare la oboseală, un tratament de detensionare a stratului încărcat ar produce un efect de îmbunătățire al rezistenței la oboseală, -

chid și sîrma-electrod - proba 564).-

La proba 336, fig. 11.36, structura stratului încărcat este fină, cu dendrite scurte, perlită și ferită, perlită sorbitizată.-

În zonele transformate apare trostită, trostită martensită-sorbită.-

La proba 306, fig. 11.30, încărcarea s-a făcut tot cu distanța de 10 mm. între jetul de lichid și sîrma-electrod. Se constată o structură ferito-perlitică, cristale columnare ce interpătrund de la un strat la altul.-

În general, se formează, în stratul încărcat structura trostito-martensitică.-

Conform unei analize /215/, asupra influenței cumulate a diferiților factori asupra rezistenței la oboseală a metalului după ce aceasta a fost încărcat cu procedeul vibroarc, se constată, că o reducere a limitei rezistenței la oboseală nu provine ca urmare a tensiunilor termice ca la alte procedee. Aceasta importanță concluzie, se explică printr-o mai redusă sensibilitate la concentratori de tensiune a straturilor încărcate cu procedeul vibroarc.-

La acest capitol, în concluzie, se poate spune, că procedeul de încărcare cu vibroarc, este foarte bun pentru lucrările pe care le acoperă cu specificul său - cele precizate pe tot parcursul tezei.- Piesele unde este important ca rezistența la oboseală să nu scadă (sau să fie mare) suprafața prelucrată a stratului încărcat să fie cât mai fină și lipsită de amoreș.-

Adică: se vor încărca racordările, se va menține stric pasul de încărcare, zona arcului să fie bine și fără întrerupere protejată, adică regimul de încărcare să fie riguros stabil și staționar.-

Cercetările autorului tezei confirmă rezultatele altor cercetători /167/, că rezistența la oboseală a pieselor după încărcare cu vibroarc este determinată de sîrma-electrod, precum și de regimul de încărcare (parametrii regimului).-

Incărcarea cu procedeul vibroarc cu sîrma-electrod de tip *S10.NC180* cu conținut mare de crom și nichel în mediu protector de CO_2 , pe un oțel cu conținut mediu de carbon, nu reduce rezistența la oboseală a piesei ci dintr-o dată o ridică.-

CAP. 12 - PRACTICA FOLOSIRII INSTALATIEI EXPERIMENTALE VIBROARC,
=====
DATE ORIENTATIVE PENTRU PREDETERMINAREA REGIMULUI DE
=====
LUCRU, PREGATIREA PROCESULUI DE INCARCARE
=====

12.1. - Pregătirea suprafeței piesei înainte de încărcare.

Suprafețele piesei trebuie să fie curate, fără urme de coroziune și ulei. Suprafețele murdare cu unsori sau uleiuri, trebuie spălate cu un solvent, cel puțin cu benzină și șterse pînă la uscare. Petele de rugină se înlătură cu hîrtie emeri.-

Dacă pe suprafața ce se încarcă sînt orificii sau canale utile, cum sînt șanțuri de ungere, lăcașuri de pană, etc, ele trebuie astupate fie cu material din cupru, fie din oțel, după caz, eventual se poate face încărcarea fără astuparea găurilor și a canalelor utile ce se găsesc pe suprafețele de îndărcat.-

Dacă piesele au defecte de suprafață mai adînci de 2 mm, se recomandă ca înainte de încărcare aceste defecte să fie sudate manual, apoi îndepărtînd plusul de metal depus.-

12.2. Sîrma-electrod pentru încărcare cu procedeul
vibroarc

Calitățile sîrmei - electrod, respectiv analiza chimică ei se alege de la caz la caz, care este o funcție de funcție (funcție de metal de bază, scop, mediu de protecție) problema ce totdeauna trebuie să formeze o atență preocupare.-

Automatul experimental folosit poate întrebuința sîrma-electrod cu diametre de 1,2 pînă la 1,6 și adaptat prin reconstrucție pentru 2 mm. și maximum 2,2 mm.-

In ce privește sîrma-electrod se mai precizează.-

- Sîrma-electrod trebuie să fie curată, deoarece impuritățile de la suprafață provoacă trecerea necorespunzătoare a curentului prin ajutaje de alimentare cu sîrma-electrod și produce încălzirea acesteia, putînd cauza incluziuni nemetalice. Sîrma-electrod nu se admite să fie ruginită sau acoperită cu ulei. Uleiul se

curăță prin degresare cu acetona.-

Diferitele impurități de pe suprafața sîrmei-electrod, precum și petele de coroziune de pe suprafață provoacă formarea porozităților în stratul încărcat, stropirea mai intensă a metalului topit și în consecință îmbălsirea (înfundarea) rapidă a ajutorului pentru gaze.-

Se va urmări ca sîrma să nu fie răsucită și ondulată, altfel asemenea defecte duc la întreruperea avansului uniform al sîrmei-electrod și deci la instabilitatea procesului de încărcare.

În funcție de grosimea stratului ce trebuie încărcat, diametrul sîrmei-electrod se alege în limitele de 1-3 mm, tabela 12.1.

Alegerea orientativă a diametrului sîrmei-electrod pentru încărcarea cu : vibroare /2o8/

Tabela: 12.1

Grosimea stratului de încărcat în mm.	Diametrul sîrmei electrod în mm.
Mai subțire de 1,0	1,0 - 1,5
1,0 - 2,0	1,5 - 2,5
2,0 și mai mult	2,0 - 3,0

Felul gazului de protecție influențează sensibil asupra stabilității de ardere a arcului, precum și prin compoziția sîrmei-electrod, prin elementele de aliere care sînt mai mult sau mai puțin ionizante.-

Pentru încărcarea în mediu de CO_2 , trebuie să fim atenți la compoziția chimică a sîrmei-electrod, deoarece atmosfera de protecție (CO_2) are un caracter oxidant și se produce arderea unor elemente chimice componente.-

Deci, marca sîrmei-electrod se alege în funcție de proprietățile ce dorim să aibă stratul de metal încărcat, și în principal ce duritate trebuie să aibă și în funcție de fisurile ce eventual pot fi acceptate (în raport de funcțiile și importanța piesei ce se încarcă).-

Cu ocazia lucrărilor pentru teza de doctorat, instala-

ția experimentală modificată poate fi folosită ca instalația cu utilizări industriale. Pentru utilizarea ei frecvență la încărcarea pieselor, avînd suprafețe cilindrice cu diametre considerate mai uzuale și din materiale de calitate obișnuită, s-a elaborat o nomogramă (fig.12.1) care în condițiile descrise (sursa de curent un redresor și cu o bobină de inductanță variabilă) determină celelalte condiții tehnologice și în special viteza de încărcare v_p și viteza de avans a sîrmei-electrod v_e în funcție de grosimea stratului încărcat h_N .

Nomograma este valabilă pentru folosirea sîrmei-electrod de diametru 1,4 mm. avînd analiza chimică: C = 0,05 - 0,10%; Mn = 0,40-0,65%; P = max. 0,03%; S = 0,03%; P+S = 0,05%; Cr=0,15%; Ni = 0,15%; sîrma obișnuită de sudare, pasul de încărcare 1,5 mm/rot., tensiunea arcului 11 V.-

În continuare folosim următoarele notații:

- v_p - viteza de încărcare în m/h;
- v_e - viteza de avans a sîrmei-electrod în m/min;
- h_n - grosimea medie a stratului ce trebuie depus în mm;
- h_N - grosimea maximă a stratului ce rămîne depus în mm;
- k_o - adaos pentru prelucrare în mm;
- n - turația piesei la încărcare în rot/min;
- D - diametrul piesei de încărcat în mm;
- f - frecvența vibrațiilor în Hz.;
- λ - amplitudinea oscilațiilor capătului sîrmei-electrod în mm;
- Q - cantitatea de lichid (de lucru) în l/min.;

12.3. - Procedeeul de determinare a condițiilor de încărcare conform nomogramei (fig. 12.1.)

- a) Conform grosimii h_N necesare, se stabilește grosimea stratului de încărcat h_n ;

$$h_n = h_N + k_o \text{ (mm)}$$

în care:

$$k_o \simeq (1,0 - 1,5) \text{ mm.}$$

- b) Avînd valoarea lui h_n din nomograma se determină v_p și v_e .

- c) În funcție de viteza v_p și diametrul piesei încărcate

D se determină turația piesei (fig.12.2.)

d) Celelalte condiții de încărcare se stabilesc practic astfel:

- pasul încărcării în funcție de diametrul sârmei-electrod d_e pentru asigurarea unei bune alieri a cusăturilor între ele și cu materialul de bază, precum și pentru o cât mai uniformă duritate pe toată suprafața încărcată se ia:

$$s = (1,5 - 1,9) d_e$$

- frecvența vibrațiilor se ia 50 - 100 Hz (conform cercetărilor autorului tezei);
- coeficientul de formă al cusăturii se recomandă să fie cca. 0,6;
- amplitudinea oscilațiilor $\lambda = 1,0 - 2,5$ mm;
- cantitatea de lichid de răcire $Q_r = 0,4 - 1,5$ l/min; *secol de protecție $Q_p = 0,16$ l/min;*
- lungimea capătului liber al electrodului $H = 6-10$ mm;
- geometria de așezare a electrodului (vezi fig.12.3)

$$\alpha = 35 - 45^\circ$$

$$\beta = 60 - 80^\circ$$

Pentru încărcare în atmosfera de CO_2 , se recomandă următoarele parametrizii:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| - tensiunea de încărcare | 14 - 20 V |
| - Diametrul sârmei-electrod | 1,2 - (1,6) mm |
| - Pasul de încărcare | 1,2 - 2,3 mm/rot |
| - Capătul liber al sârmei-electrod | 8 - 10 mm |
| - Frecvența vibrațiilor | 70 - 100 HZ |
| - Amplitudinea vibrațiilor | 1,0 - 2,5 mm. |
| - Cantitatea de CO_2 | cca. 15 litri/min. |
| - Cantitatea de lichid de răcire | 0,4 - 1,5 l/min. |
| | eventual pînă la 2l/min |

Diagrama $v_p = f(h)$ (fig. 12A)

In cazul diagramei din figură au fost luați parametri:

$$d_e = 1,4 \text{ mm.}$$

$$s = 1,5 \text{ mm/rot.}$$

$$U_s = 10,5 \text{ V.}$$

In cazul tensiunii de încărcare mai mari, curbele $v_p = f(h)$ se deplasează spre valorile v_p și h_n mai mari.-

Diagrama (D - n - v_p) fig. 12.5.

este trasată pentru vitezele de încărcare impare de:
30; 50; 70; 90 și 110 m/h.

Diagrama (D - n - v_p) fig. 12.6.

este trasată pentru vitezele de încărcare pare de:
40; 60; 80; 100 și 120 m/h.

Diagrama v_e = f (v_p) . fig. 12.7

valabila pentru U_s = 10,5 V; d_e = (1,3 - 1,4) mm și s = 1,5 mm/rot.

x

x

x

12.4 - Instalația industrială pentru procedeul vibroarc

Automatul de încărcare, schimbătorul de viteze etc., sînt așezate pe un batiu de strung. Păpușa fixă prevăzută cu un universal, servește pentru prinderea piesei de încărcat, iar păpușa mobilă cu un vîrf servește pentru sprijinirea capului piesei de încărcat, exact ca la un strung. Pe suportul mobil al acestui "strung" se fixează coloana cu automatul.-

De altfel, schița de ansamblu este reprezentată în fig.6.8.

Batiul este utilizat cu toate mecanismele și accesoriile, necesare realizării tehnologiei încărcării prin vibroarc. Se compune dintr-un cadru din profile laminate cu stativ cu păpușă fixă, suportul mobil și mecanismul de acționare. Acționarea întregii unități se realizează de un electro-motor asincron printr-un variator mecanic de viteze și o cutie de viteze cu trei trepte. Întregul sistem permite variația turației axului de la 0,15 pînă la 30 rot/min. Acest interval de viteze a fost ales pentru a permite încărcarea pieselor cu o gamă largă de diametre de la 8 pînă la 600 mm, diametrul maxim fiind 800 mm, iar lungimea piesei este pînă la circa 1000 mm.-

Intervalul de diametre stabilit, s-a determinat adoptînd gama vitezelor de încărcare între 30-80 m/h, iar la limită (cele mai mici și cele mai mari) între 20-120 m/h.

Turația fusului se modifică prin variația, precum și

prin schimbarea roților dințate din cutia de transmisie. Cele trei trepte de turații sînt: 0,16 - 0,9; 0,93-5 și 5,3 - 30 rot/min.

Viteza de avans a suportului este variabilă, funcție de necesități, putîndu-se acționa prin ajutorul unei perechi de roți dințate interschimbabile. Intervalul de variație a pasului este de 1,4 - 4,2 mm. pentru o turație a piesei (a fusului principal).-

Pasul spiralei pentru o rotație a piesei este dat de relația:

$$s = 2,53 \frac{d_1}{d_2}$$

în care: s - pasul în mm;

d_1 și d_2 - diametrele primitive ale roților dințate (fig. 6.3.).

Felul de angrenare a roților dințate, pentru avansul suportului (pentru determinarea pasului încărcării) este arătat în fig. 6.3.

1. - axul de acționare;
2. - axul antrenat;
3. - fusul roții intermediare.

Pentru cazul de schimbare a sensului (adică sensul de la păpușa mobilă spre păpușa fixă - care se consideră a fi sens normal) se folosesc roți dințate intermediare d_2 și d_3 , atunci relația de calcul a pasului este:

$$s = 2,53 \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_4}{d_3}$$

Suportul mai poate fi deplasat rapid manual, sau și mecanic, prin ajutorul motorului electric și a unor cuplaje electro-magnetice.

Pentru lichidul de lucru, este un rezervor și o pompă pentru transportul acestui lichid. Lichidul folosit se adună într-un rezervor de colectare, de unde trece prin filtre înapoi la rezervorul de lichid.-

Din experiența autorului lichidul de lucru ce a dat rezultatele cele mai bune, în cadrul experimentărilor este soluția de 6% CO_3Na_2 (soda calcinată).-

Regimul de încărcare - la încărcare tensiunea arcului poate varia între 10-13 V și 15 - 30 V.-

La tensiuni mici corespund viteze mai mici de avans ale sîrmei-electrod (v_e) și deci productivitatea mai mică.-

Micșorarea tensiunii contribuie la reducerea pierderilor metalului de adaos prin ardere și stropire.-

Încărcarea se face cu polaritatea inversă. La încărcarea cu c.c. și cel redresat inductanța circuitului de sudare trebuie să fie minimă (vezi textul tezei), desigur suficientă pentru prevenirea formării perioadelor de mers în gol în fiecare ciclu de vibrație a sârmei-electrod.-

Intensitatea curentului de sudare - se stabilește funcție de diametrul sârmei-electrod, viteza ei de avans și tensiunea arcului. Orientativ, se poate recomanda regimurile de lucru prezentate în tabelul ce urmează (tabela 12.2).

Regimurile de lucru orientative pentru încărcarea
cu vibroarc /208/

TABELA: 12.2

Parametri regimului	Încărcarea în jet de lichid				
	La tensiuni mici	La tensiuni de 15 V și mai mari	La c.c.de la gener. $U_g = 20 V.$		
Diametrul sârmei-electrod în mm.	1,8 - 2,2	1,8 - 2,2	2,0		
Viteza de avans a sârmei-electrod, mm/s	13 - 17	15 - 22	16	20	22
Intensitatea curentului de lucru A.	110 - 130	150 - 180	130	180	210

De regulă regimurile se aleg pe baza experimentală funcție de sursa de alimentare cu curent și caracterul încărcării.

Partea teoretică la capitolele respective arată posibilitatea calculării tuturor parametrilor, cifrele din tabel reprezintă o primă aproximație ce poate fi luată în considerare.

Proprietățile mecanice ale metalului încărcat. - în principal sînt determinate de regimul de încărcare și de compoziția sârmei - electrod.- Structura lui depinde în primul rînd de conținutul în carbon și a altor elemente de aliere a sârmei-electrod.

Unele date orientative asupra durității metalului încărcat folosind diferite sîrme-electrod (mărci sovietice) sînt date în tabelul 12.3.-

Duritatea orientativă a stratului încărcat
și formarea fisurilor în funcție de marca sîrmei-electrod
(U.R.S.S.) /208/

Tabela: 12.3

Marca sîrmei - electrod	Duritatea stratului încărcat	Fisurile
S _v - 0,8	HV 180 - 350	nu sînt
S _v - 20	HV 220 - 370	"
S _v - 40	HRC 12 - 45	"
S _v - 60	HRC 20 - 60	sînt
30 HGSA	HRC 15 - 50	"

La încărcare cu sîrma-electrod marca S_v - 0,8 suprafața piesei se prelucrează ușor prin așchiere.-

Dacă sîrma-electrod este aliată, în vederea obținerii unor suprafețe rezistente la uzura, stratul încărcat se prelucrează prin șlefuire.-

Productivitatea orientativă ce se obține la încărcare cu vibroarc (Tabela: 12.4).

Tabela: 12.4

Productivitatea la încărcare cu vibroarc

/201/

Tensiunea sursei de curent V	Diametrul sîrmei-electrod mm	Intensit. curentului de sudare A	Viteza de avans a sîrmei-electr. mm/s	Amplitudinea vibrației. mm.	Productivitatea încărcării kg/h.
12 - 15	1,8-2,2	90-100	13 - 17	1,3-2,2	0,9-1,1
15 - 18	2,0-2,5	110-130	15- 20	1,5-2,5	1,2-1,3
18 - 20	2,5-3,0	130-180	16 - 22	1,6-3,0	1,5-1,6
20 - 22	2,5-3,0	180-210	16 - 23	1,6-3,0	1,8-2,2

În general coeficientul de încărcare se ia egal cu 8-10,0 g/Ah. Pierderile materialului de adaos prin ardere și stropire sînt circa 11-30%.-

Coeficientul de trecere a carbonului din sîrma-electrod în metalul încărcat 0,40-0,50, iar a manganului 0,50 - 0,60.-

În urma oxidării ard carbonul, manganul, siliciul și alte elemente, astfel cum este arătat în tabelul de mai jos (tabela 12.5).

Tabela: 12.5

Trecerea carbonului și a manganului din sîrma-electrod în cusătura de încărcare cu vibroarc (amplitudinea sîrmei-electrod) 2 mm / 20l/.

Conținutul în sîrmă-electrod în %		Regimul de încărcare			Conținutul în metalul încărcat în %	
		Tensiunea arcului	Intensit. curent.	Consumul lichid. de lucru l/min.	C	Mn
C	Mn	V	A		6	7
1	2	3	4	5		
0,57	0,37	21	135	0	0,25	0,16
		31	115		0,08	0,13
0,39	0,69	21	135	5	0,35	0,25
		31	115		0,23	0,23
0,13	0,35	21	135	5	0,22	0,37
					0,07	0,18

Prin faptul vibrării sîrmei-electrod se crează posibilitatea realizării unei încărcări de bună calitate cu oțeluri carbon și înalt aliate la valori mici ale energiei, ce se degajă în procesul de ardere al arcului la fiecare ciclu de vibrație, care produce o mică încălzire a piesei. La reducerea duratei de ardere a arcului (descărcarea arcului) sensibil scade arderea elementelor de aliere. Un exemplu luat după /145/ la o încărcare cu procedeu normal (clasic) cu oțel inoxidabil de tip 1 H 18 N 9 T (1x18 H9T) în mediu de CO₂, arderea titanului formează 60%. La încărcare cu procedeu vibroarc cu același oțel în mediu de CO₂, arderea titanului formează numai 30%.-

Tabela de mai jos reproduce unele recomandări în alegerea regimurilor de încărcare cu procedeu vibroarc, stabilind legătura complexă între parametri încărcării.

Regimurile recomandate pentru încărcare cu vibroarc.

Tabela: 12.6.

Grosimea stratului încărcat în mm.	Diametrul sîrmei- electrod în mm.	Intensitatea curen- tului la încărcare în A.	Tensiunea pe elec- trozi în V.	Viteza de încărcare în m/min.	Viteza de avans a sîrmei-electrod în m/min.	Consumul lichidului de lucru în l/min.	Pasul încărcării în mm/rot.	Amplitudinea capă- tului sîrmei-elec- trod în mm.	Unghiul sîrmei-elec- trod față de piesă în grade.
0,3	1,6	120-150	12-15	2,2	0,6	0,2	1,0	1,5	35
0,7	1,6	120-150	12-15	1,2	0,7	0,4	1,3	1,8	35
1,1	2,0	150-210	15-20 12-15	1,0	0,8	0,5	1,6	2,0	45
1,5	2,0	150-210	15-20 12-15	0,6	1,0	0,6	1,8	2,0	45
2,5	2,8	150-210	20-28 12-15	0,3	1,1	0,7	2,0	2,0	45

Pentru încărcarea pieselor din oțel OLC 45, sînt recoman-
dabile valorile medii din tabl.-

În cazurile ce se întîlnesc cel mai des, cu regimurile dele-
tibile obișnuite, pierderile metalului sîrmei-electrod prin ardere și
topire formează 11-15%, coeficientul de topire 9-12 g/Ah, coeficien-
de încărcare 8 -10 g/Ah.

CAP. 13 - CU PRIVIRE LA ECONOMICITATEA APLICARII PROCEDEULUI
=====

VIBROARC
=====

Efectul economic, de pe urma folosirii încărcării respectiv recondiționării pieselor prin procedeul vibroarc, este în primul rând, acela că permite recuperarea pieselor uzate sau fabricarea pieselor noi cu un strat de metal încărcat ce satisface anumite condiții speciale (rezistență la uzură, la coroziune, eroziune, etc), fără ca materialul de bază să fie un material special. Deci, apare posibilitatea de utilizare repetată a unei cantități foarte mari de metal. Se știe, că pierderile de metal prin uzură, în general, nu depășesc 3-5% din greutatea lor. Acest fapt este cu atât mai valabil pentru piesele ce se recuperează prin procedeul vibroarc.-

O largă introducere a recondiționării sau a fabricării pieselor noi, folosind procedeul vibroarc, devine o problemă a economiei naționale.-

Spre deosebire de metalizare, acest procedeu nu necesită nicio pregătire specială a suprafeței ce urmează să fie încărcată.

Alegînd parametrii de lucru conform celor stabilite în această lucrare, și îndeplinind condițiile de stabilitate ale procesului respectiv ale sistemului, procedeul asigură o bună aliere (aderență) a metalului de bază cu cel încărcat și o înaltă calitate a stratului încărcat.-

Încărcarea cu procedeul vibroarc, dă posibilitatea ca printr-o singură trecere să se obțină straturi de grosimi de la 0,5 pînă la 3 mm., iar prin mai multe treceri și pînă la 10 mm. Procedeul se deosebește printr-o productivitate înaltă. La o viteză de topire a sîrmei-electrod cu diametru de 2 mm., de 100 m/h, productivitatea încărcării prin vibroarc este de circa 2,6 kg/h /166/.-

Cercetările arată, că în ce privește indicatorii specifici procedeului vibroarc, există unele deosebiri între cifrele ce apar în literatură. Aceasta se datorește în primul rând, regimurilor cu care au lucrat autorii și mai ales nerespectarea corelă-

rii riguroase a parametrilor regimului de lucru.-

Cifrele medii ce pot fi acceptate funcție de regimurile de lucru, cifrele ce în mare parte au fost verificate prin cercetările autorului, sînt:

- pierderile de metal prin ardere și stropire 10-30% ;
- cantitatea de metal încărcat 1,20-1,50 kg/l
- coeficientul de topire (α_t) /31/ 9-12 g/Ah
- coeficientul de încărcare (α_c) 8-10 g/Ah
- coeficientul de trecere a carbonului în metalul încărcat /208/ 0,40-0,50 %
- Idem a manganului /208/ 0,50-0,60 %

Încărcarea pieselor cu sîrma-electrod dintr-un material înalt aliat rezistent la uzură, în general mărește durata de serviciu a pieselor și permite ca acestea să fie recondiționate de mai multe ori. Din acest punct de vedere, procedeul vibroarc, pentru specificul său, corespunde în mod cu totul deosebit.-

Sîrma-electrod trebuie aleasă cu mult discernămint și din punct de vedere riguros economic. Se întîmplă foarte des, că unele și aceleași piese, în uzini diferite, se încarcă cu materiale diferite și prin procedee diferite /64, 171/.-

La alegerea materialului rezistent la uzură, de cele mai multe ori sîntem tentați să ne conducem numai după prețul de cost al metalului ce se încarcă și după cifra durtății metalului încărcat. Acest fel de alegere a metalului de adaos, desigur, nu poate fi considerat ca just, deoarece el nu ține cont de durata de serviciu a pieselor încărcate, de prețul de cost al încărcării și de eficiența economică a aplicării procedeeului.-

Practica demonstrează /64/, că majoritatea pieselor încărcate pierd din capacitatea lor de lucru din cauza insuficienței rezistențe la uzură a stratului încărcat și numai o mică parte din cauza reducerii rezistenței la oboseală (în cazul sarcinilor alternante), cum este cazul arborilor cotiți recondiționați prin procedeul vibroarc.-

Trebuie precizat, că în prezent nu există o metodă unică de calcul a eficienței economice a încărcării pieselor, fie

pentru recondiționarea pieselor, fie pentru fabricarea pieselor noi.-

Nu este în intenția autorului de a stabili o metodologie general valabilă pentru stabilirea eficienței economice la încărcarea pieselor cu procedeul vibroarc, aceasta ar forma un subiect - o temă cu totul separată.-

Metodica existentă pentru calculul eficienței economice, pentru o producție curentă, care se bazează pe calculul prețului de cost, nu răspunde cerințelor și nu permite ca în mod just să se evalueze munca pentru recondiționarea pieselor utilajelor.- Problema rămîne de mare actualitate.-

Abia acum, după ce în industria noastră, în diferitele ei ramuri, urmează să fie introdus procedeul vibroarc, pentru recondiționare cît și pentru fabricația de piese noi (în scop de economisire a materialelor scumpe sau deficitare), se vor putea stabili o serie de indici verificați pe cale tehnicoștiințifică. Urmind ca după aceea să se procedeze la stabilirea unei metodologii valabile.-

În aceste condiții, vom prezenta unele rezultate din experiența altor țări.-

Costul pieselor recondiționate, în cele mai multe cazuri, este 10 - 30% din costul piesei noi /209/.-

Reluînd cele afirmate anterior, că alegerea sîrmei-elektrod bazată numai pe considerente de preț minim, fără a ține cont de durata de uzură a piesei, poate să ducă la importante pierderi economice, cu toate că acest fel de a proceda se practică destul de des.-

Totodată, alegerea acestor materiale numai pe considerente de durată de uzură, la fel poate să ducă la mari pierderi economice.-

Din experiența întreprinderilor din China /182/, rezultă că productivitatea muncii a acestui procedeu crește de 2,5-3 ori față de procedeul de încărcare manuală, reduce consumul de material și energie electrică de 3-4 ori, reduce timpul și în general prelucrarea mecanică de finisare (ulterioară) de 1,5 ori.-

După o propunere /64/, verificată pe un număr important

de piese recondiționate, timpul necesar încărcării, în cazul cînd se cunoaște coeficientul de încărcare α_f se poate calcula conform relației (specific pentru vibroarc) :

$$t_f = \frac{10^3 \cdot Q_f}{\alpha_f \cdot I_s} \cdot K_a \quad (13.1)$$

unde α_f - coeficientul de încărcare în g/Ah;

I_s - intensitatea curentului de sudare în A;

Q_f - greutatea sîrmei-electrod încărcate pe o piesă, în kg;

K_a - coeficientul, prin care se ține cont de timpul auxiliar (deservirea tehnico-organizatorică și pentru odihnă). Pentru calcule se poate lua $K_a = 1,3 - 1,5$.

Cînd α_f nu este cunoscut, atunci calculul timpului necesar se poate face cu relația:

$$t_f = \frac{10^3 \cdot K_p}{0,786 \cdot d_e^2 \cdot v_e \cdot \rho} \quad (13.2)$$

unde: d_e = diametrul sîrmei-electrod, în mm;

v_e = viteza de avans a sîrmei-electrod în m/h;

ρ = densitatea sîrmei-electrod, în g/cm³;

K_p = coeficientul, prin care se ține cont de pierderile materialului de adaos prin ardere, stropire etc, pentru vibroarc cu jet de lichid de lucru $K_p = 1,25$.

În ce privește calculul prețului de cost al pieselor încărcate sau recondiționate cu procedeul vibroarc, în URSS s-a lansat o metodologie cu scop experimental în anul 1974 /171/. Deoarece nu se cunosc încă rezultatele aplicării relațiilor stabilite se renunță a le prezenta..

Întreprinderile de reparații din agricultură, în principal recondiționează /69/ piesele cum sînt la tractoare: șenilele și alte piese importante, iar la motoare de automobile arborii cotiți, axe de distribuție (fusurile), tacheții etc. Mai rar se recondiționează arborii (axe) cu canale de pană, roți dința-

te. Se recondiționează bolțurile de piston, ventile, came, bucșe, cămăși de cilindru etc.-

Repartizarea pe procedee de recondiționare și

și prețul mediu de recondiționare /69/

Tabela: 13.1

DENUMIREA PIESEI (pt.tract.)	Costul piesei noi în ruble	Incărcarea cu vibroarc în lichid		Incărcarea în CO ₂		Incărcarea manuală	
		% de piese	Preț de cost me- diu, ru- ble +)	% de piese	Preț de cost me- diu, ru- ble +)	Proc. de piese %	Preț de cost me- diu, ru- ble +)
Rola de sprijin	3,16	5,0	3,0	-	-	-	-
Axa ro- lei	3,35	3,10	1,7	5,0	1,2	2,0	1,5
Axa din spate.	6,90	25,0	7,0	15,0	5,0	5,0	4,0
Axa coti- tă	9,00	2,10	4,2	4,0	3,4	4,0	3,1
Axa osci- lantă	1,05	30,0	0,7	8,0	0,7	4,0	0,6
Axa mufei de cuplaj	4,48	50,0	3,7	8,0	2,7	9,0	2,0
+) Preț de cost mediu a recondiționării							

Se constată, că prețul de cost de recondiționare, a unor și aceleași piese, cu procedeul vibroarc este puțin mai mare decât în CO₂ sau în cazul încărcării manuale. Acest lucru este explicabil prin: calificarea mînei de lucru folosite, costul sîrmei-electrod folosite, etc. Din procentul pieselor, astfel încarcate, rezultă alte avantaje că: înalta productivitate, buna calitate a suprafețelor încărcate, adausurile minime la prelucrare, straturile foarte subțiri ce pot fi depuse și ceea ce este foarte important, piesele aproape că nu se deformează. Incărcarea putîndu-se face pe piese anterior tratate termic.-

Mai jos se face o altă comparație pentru piese de automobile, recondiționate cu procedeul vibroarc.-

Eficiența economică la recondiționarea pieselor uzate
prin procedeul vibroarc /166/

Tabela: 13.2

Denumirea piesei (pentru automobile)	Prețul piesei noi în ru- ble.	Cheltuieli cu recondi- ționarea pieselor, ruble.	Economia pentru o singură piesă ruble.
Arbore cotit	23,0	3,02	19,98
Arbore cutiei de viteză	6,0	0,08	5,92
Semiaxa punții din spate.	9,0	0,15	8,85
Crucea cardanică	5,50	0,32	5,18
Axele pîrghiilor de jos	1,50	0,23	1,27
Bucșa roții din spate.	3,00	0,30	2,70

Rezultatele arătate în tabelul de mai sus, sînt edificatoare. Mai ales, că autorul a cules datele direct din mai multe uzine ce folosesc procedeul vibroarc.-

La unele piese pentru utilaj petrolier, recondiționate cu procedeul vibroarc, prețul de cost al recondiționării nu depășește 35% din costul pieselor noi /166/.-

În literatură sînt arătate /135 și alți/multe exemple cu realizarea unor importante economii (la pompe centrifugale, ventilatoare,utilaj petrolier, motoare diesel, electromotoare etc).

În concluzie, se poate spune fără reticențe, că din punct de vedere economic încărcarea cu procedeul vibroarc este recomandabilă într-o serie de domenii industriale și scopuri.-

CAP. 14 - CONCLUZII FINALE, CONTRIBUTII ORIGINALE SI PROBLEME
DE VIITOR.
=====

14.1 - Concluzii finale.

De la data apariției procedurii vibroarc, pe parcursul vremii i s-au adus o serie de perfecționări i s-au lărgit mult domeniile de utilizare. Procedura a obținut o bază științifică suficient de consistentă. Se poate afirma, că i s-a definit profilul cu toate că esența fizică a fenomenelor încă mai are unele pete albe.-

Cu tot ce s-a prezentat în materialul sistematizat și cu contribuțiile din teză, procedura devine ușor accesibil și aplicabil în industrie.-

Literatura de specialitate prezentată pe parcursul tezei, aduce la cunoștință un șir de rezultate foarte bune, atunci când procedura a fost aplicată luând în considerare rezultatele științifice obținute.-

Însă, cercetările efectuate și date publicității pînă acum, sînt insuficiente și în multe cazuri contradictorii.-

Teza de doctorat își aduce contribuția la rezolvarea unor probleme noi, fie contribuie la stabilirea unei apropieri a procedurii de condițiile de lucru în practică, fie corelează un șir de teorii ce în literatură sînt prezentate separat.-

Numărul important de probe de încărcare, cercetări teoretice, metalografice și corelări de rezultate, încercări de laborator au permis autorului să tragă unele concluzii cu totul noi.-

Prin perfecționarea instalației experimentale, mărinduși performanțele, siguranța ei de funcționare, industria obține un model verificat și modernizat pentru procesul vibroarc.-

Astfel, procedura devine aplicabil deîndată la întreprinderea de Mașini Grele, unde s-a experimentat cu posibilități de lărgire a utilizării.-

Procedeul vibroarc este unul din procedeele moderne-avansate de recondiționare a pieselor uzate și poate fi folosit cu succes pentru producția de bimetal precum și pentru durificarea suprafețelor pieselor ce prin funcțiunile lor se uzează repede. În acest fel, crește durata de serviciu a mașinilor.

Încărcarea cu vibroarc se face atât cu sîrma-electrod din oțel carbon, cît și din oțeluri înalt aliate cu proprietăți deosebit caracterizate fie printr-o rezistență mare la uzură, fie la coroziune sau eroziune, fie termorezistență. etc.

Încărcarea cu vibroarc, se poate face practic la orice grosimi de strat în limitele de la zecimi de milimetri pînă la 10 mm. La grosimea straturilor mai mari de 1,5 - 2 mm, încărcare poate fi realizată în două sau mai multe treceri.-

Procedeul vibroarc asigură obținerea straturilor subțiri, uniforme, cu duritate ridicată (la nevoie). Zona de influență termică este foarte mică. Mică este și pătrunderea între metalul încărcat și cel de bază.-

Piesele cele mai mici ce se încarcă pot avea 8 mm. diametru fără ca să se deformeze sau aproape că nu se deformează.

La alegerea corespunzătoare a parametrilor regimului de lucru, aderența între metalul încărcat și cel de bază este foarte bună.-

O mare influență asupra calității stratului încărcat o are valoarea tensiunii arcului. Prin introducerea în circuitul de excitație a unui reostat (cînd este vorba de generator de ca drept sursă de curent), tensiunea arcului scade, intensitatea curentului crește, stratul de metal încărcat devine compact și uniform. Această dependență este însă valabilă în cadrul unei variații a tensiunii între 19 - 20 V.-

- Ca o altă particularitate specifică procesului vibroarc este viteza mare de răcire, care cauzează producerea unor structuri caracteristice metalelor călitate, cînd încărcarea se face cu oțeluri cu conținut de carbon de 0,4%. Metalul încărcat are o structură neuniformă, ceea ce este urmare influenței termice a cusăturilor ce încălesc peste cele încărcate mai înainte.-

- O anumită neomogenitate a structurii metalului încărcat, cauzează existența unei durități neuniforme a stratului încărcat. Limitele acestei variații a durității pe o aceeași epruvetă depind de analiza chimică a sîrmei-electrod, intensitatea răcirii cu lichidul de lucru și de restul parametrilor de încărcare.

4.2 - Contribuții originale

Mai jos sînt redate sintetic, unele contribuții originale realizate de autorul tezei, fără a le clasifica după importanță.-

- S-a efectuat un studiu și sistematizarea a celor mai importante probleme ce definesc procedeul de încărcare cu vibroarc, la nivelul celor mai noi cunoștințe teoretice și practice. Acestea sînt cuprinse în special în Cap.1,2, 3 și 4.-

Acest studiu, sistematizarea lui și în multe probleme corelarea (spre exemplu în ce privește interdependența generală între parametrii procesului vibroarc sau în ce privește stabilitatea arcului procesului, a sistemului etc) este rezultatul unui studiu bibliografic foarte voluminos.-

- Stabilirea pe calea experimentală și prin aplicarea metodelor statisticii matematice, a criteriului (teoretic și practic) de dependență între grosimea stratului încărcat și raportul vitezelor de încărcare a piesei v_p și viteza de avans a sîrmei-electrod v_e $h = f\left(\frac{v_p}{v_e}\right)$.

S-au trasat curbele în sistemul coordonatelor dublu logaritmice ce pot fi folosite în practică sau în calcule teoretice.-

Prin aceste cercetări, se scoate clar în evidență influența diametrului sîrmei-electrod asupra grosimii stratului și importanța în general neglijată a raportului între cele două viteze $\frac{v_p}{v_e}$. Pentru fiedare caz (în parte, s-au stabilit ecuațiile analitice pornite de la rezultatele obținute pe calea experimentală.-

- S-a stabilit forma generală a condițiilor de stabilitate ale sistemului, sursă de curent - arcul electric, cuprinzînd și procesul vibroarc. O contribuție teoretică cu consecințe practice deosebite, corectează în felul acesta forma generală

clasic cunoscută, stabilită de Prof. V.P.Nikitin.

- S-a stabilit limitele valorilor rapoartelor $\frac{U_s}{U_0}$ și $\frac{U_s}{U_a}$ mărimi ce intră în calculul inductanțelor și în re-

lațiile condițiilor preliminare de stabilitate a procesului vibroarc. Pe deoparte, în felul acesta se elimină necesitatea cunoașterii oscilogramei de variație a tensiunii și intensității curentului, la stabilirea parametrilor regimului de lucru, pe de altă parte valorile celor trei tensiuni U_0 , U_a și U_s ce rezultă din relațiile astfel stabilite, îndeplinesc condițiile de stabilitate a regimului de funcționare a procesului vibroarc.-

Valorile acestor rapoarte, au fost stabilite pe calea studiului teoretic și pe calea experimntală aplicînd metodele statisticii matematice.-

- S-a stabilit domeniul frecvențelor optime de vibrare a sîrmei-electrod.-

- S-au stabilit legături corelaționale între $\frac{U_s}{U_0}$ funcție de: frecvență, mediu de protecție, diametrul sîrmei-electrod și tensiunea de mers în gol.-

- S-au făcut și studii comparative, între parametrii indicați mai sus, funcție de $\frac{U_s}{U_a}$, stabilind astfel noi relații, noi concluzii și ecuații analitice.-

Este un studiu complex de interdependență a factorilor principali ce determină funcționarea stabilă a procesului vibroarc efectuat pentru prima dată. Pentru acest studiu, s-a aplicat metoda statisticii matematice, și calculul automat (mașina electronică de calcul).

- S-a trasat, pe baze teoretice și experimentale nomograma de corelare între parametrii mai principali ce determină regimul de lucru al procesului vibroarc, stabilind relația complexă între: diametrul sîrmei-electrod, viteza de avans a sîrmei-electrod viteza de încărcare a piesei, diametrul piesei de încărcat, turația piesei, grosimea stratului încărcat, raportul $\frac{v_e}{v_p}$ și puterea arcului.-

- Prin stabilirea limitelor pentru rapoartele $\frac{U_s}{U_0}$ și

$\frac{U_s}{U_a}$ s-a simplificat sistemul de ecuații pentru procesul vibroarc, deoarece rapoartele amintite au trecut în șirul unor coeficienți experimentali (parametri practici) și nu mai reprezintă relații cu factori necunoscuți.-

- S-a stabilit graficul cîmpului de valori maxime și minime pentru inductanța din circuitul de sudare, ce asigură regimurile stabile ale procesului vibroarc. Cu alte cuvinte, cîmpul valorilor inductanțelor optime. Curbele pentru inductanță minimă s-au stabilit pe cale experimentală.- -

Valorile din cîmp, elimină perioadele de mers în gol ale procesului, mărindu-și astfel productivitatea și îmbunătățindu-i calitatea stratului de metal încărcat.-

Din grafic rezultă, că inductanța variază atât în funcție de frecvență de vibrație a sîrmei-electrod, cît și funcție de diametrul și analiza chimică a ei.-

- S-a stabilit graficul de dependență între inductanță minimă și tensiunea de mers în gol. Se constată, că inductanța variază atât funcție de diametrul sîrmei-electrod cît și în funcție de calitatea ei. Cu cît diametrul sîrmei-electrod este mai mic, inductanța crește.-

- S-a trasat curba valorilor orientative pentru inductanța minimă funcție de tensiunea de mers în gol, pentru un grup de sîrme-electrod cu același diametru ($d_e = 1,6$ mm) de diferite calități, diferite medii de protecție și aproximativ aceeași frecvență (70 Hz).-

- S-a stabilit curba de variație a vitezei de avans maximă a sîrmei-electrod funcție de inductanța circuitului de sudare, important pentru determinarea parametrilor optimi ai regimului de lucru vibroarc.-

- S-a studiat și cercetat uzura diuzelor ajutatoare de ghidare a sîrmei-electrod, factor al asigurării unui regim stabil de funcționare, precum și a siguranței de funcționare a instalației (a automatului), mărindu-i durata de funcționare prin înlocuirea diuzelor din materiale obișnuit folosite inițial (cupru, oțel) prin material dur tip T15 K6.

- S-au îmbunătățit performanțele de exploatare a instalației experimentale prin lărgirea gamei sîrmelor-electrod ce pot fi folosite de la max. 1,8 mm. pînă la max. 2,2 mm, s-au trasat curbele(etalon) de utilizare a instalației experimentale vibroarc.-

- S-au stabilit condițiile ce trebuie să îndeplinească un cap automat pentru procedeul vibroarc, în special necesar de a avea greutatea cît mai mică în mișcare și echilibrarea cît mai precisă a forțelor de inerție. Ajutajul de aducere a lichidului nu trebuie supus vibrației - deci trebuie să fie separat față de ajutajul sîrmei-electrod, pentru a asigura o protecție a zonei de încărcare cît mai bună și fără întreruperi (ceea ce în construcțiile realizate pînă acum nu se aplică).-

- S-a stabilit că rezistența la oboseală a pieselor după încărcarea cu vibroarc devine un mijloc de apreciere a influenței cumulate a parametrilor procesului vibroarc, astfel s-a stabilit: influența sîrmei-electrod asupra rezistenței la oboseală, influența mediului de protecție, influența distanței jetului lichidului de răcire de la sîrma-electrod.-

În cadrul acestor studii și cercetări metalografice s-au tras concluzii, asupra calității straturilor încărcate, corelîndu-le cu valorile rapoartelor $\frac{v_p}{v_e}$ și $\frac{v_e}{v_p}$.-

14.3. - Probleme de viitor

- Se consideră necesară continuarea cercetărilor în vederea perfecționării pe mai departe a procedeului vibroarc, precum și a tehnologiei de încărcare.-

- Extinderea procedeului vibroarc pentru încărcări cu sîrme-electrod cu pulberi metalice și electrod bandă.-

În acest scop trebuie studiate și executate capete automate corespunzătoare.-

- Continuarea cercetărilor, proiectarea și fabricarea capetelor automate (unei serii de capete automate), corespunzătoare celor mai actuale concluzii stabilite de cercetările pînă acum, în acest scop.-

- Continuarea cercetărilor asupra rezistenței la oboseală a pieselor după încărcare cu vibroarc, stabilind procedee și tehnologii prin care să se asigure că după încărcare rezistența la oboseală va crește.

- Necesitar să se creeze instalații (utilaje) complete, pentru încărcare cu vibroarc.-

- În vederea răspîndirii procedurii în cît mai multe uzine, să se procedeze la un larg schimb de experiență organizarea de simpozioane și publicarea unor broșuri pentru diferite niveluri de cunoștințe tehnice.

Realizarea celor arătate mai sus și eventual a altor probleme nearătate aci, va permite o largă răspîndire a procedurii vibroarc în diferite ramuri industriale.-

Este o problemă a economiei naționale.-

Ing. Ivencenco Alexandru

