

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA ” DIN TIMISOARA

ing. RADU T. IOAN

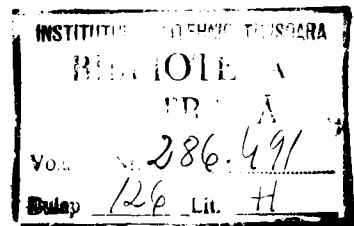
CONTRIBUTII PRIVIND CALIREA SUPERFICIALA PRIN
CONTACT ELECTRIC LA FRECVENTA INDUSTRIALA DE
50 H_z A PIESELOR DE TIPUL ARBORILOR

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCATOR STIINTIFIC

Prof.dr.ing. GH.SAVII

- 1 9 7 4 -



CAPITOLUL I

INTRODUCERE

Se cunoaște că prin tratamentul termic de călire se urmărește ridicarea durității materialului metalic, prin procese care influențează structura metalului în sensul obținerii unor alți constituenți.

În practica tratamentelor termice pînă nu de mult era concepția potrivit căreia o încălzire lentă este recomandabilă atît pentru considerente de evitare a formării unor tensiuni interne prea mari, cît și de favorizarea transformărilor structurale. La nivelul actual al cercetării se consideră că este avantajos din punct de vedere tehnologic și economic să se utilizeze o viteză mare de încălzire deoarece transformările structurale se produc foarte rapid atunci cînd temperatura de încălzire este mai ridicată față de punctul de transformare A_{c3} sau A_{c1} .

În scopul evitării apariției unor tensiuni prea mari în produse cu forme complexe și treceri bruște de secțiuni, de dimensiuni mari și confecționate din oțeluri cu conductibilitate termică și plasticitate scăzută, sînt recomandate preîncălziri prin trepte de temperatură, reducîndu-se astfel mult valorile tensiunilor interne.

La răcirea pieselor în scopul obținerii unei anumite repartizări a structurilor de călire și a proprietăților în secțiunea produsului, evitarea deformațiilor și a fisuri-

lor, trebuie acordată atenție la alegerea condițiilor de răcire care sînt determinate de capacitatea de călire a oțelului, de forma și dimensiunile produsului :

- călirea într-un singur mediu sau călirea obișnuită este călirea de cea mai largă utilizare în industrie. Caracteristic pentru acest procedeu de călire este modul de răcire;

- călirea întreruptă sau călirea în două medii. Aplicată în scopul dirijării tensiunilor interne în așa fel în cît fisurile să fie evitate. În acest scop raportul dintre tensiunile termice și cele structurale crește prin oprirea răcirii piesei deasupra punctului M_S , urmînd ca răcirea în continuare în domeniul $M_S - M_1$ să se continue într-un mediu cu capacitate mai mică de răcire ;

- călirea izotermă prezintă cele mai favorabile rezultate în privința reducerii deformațiilor prin menținerea izotermă a pieselor la temperatura din intervalul bainitic. Se înlătură aproape complet fisurile și deformația ;

- călirea superficială este tot mai răspîndită prin faptul că piesele astfel tratate au o comportare excepțională la oboseală și au deformații minime.

În construcția de mașini sînt multe cazuri cînd se impun pieselor și SDV-urilor rezistență ridicată la uzură, deci un strat marginal cu duritate mare și un miez tenace cu bună comportare la șocuri.

Aceste proprietăți contradictorii nu sînt îndeplinite în mod obișnuit în același material metalic. Alegerea judicioasă a materialului metalic și aplicarea unor

tratamente termice corespunzătoare poate asigura aceste condiții. Călirea straturilor marginale asigură pe o adâncime relativ mică , o duritate ridicată fără a modifica proprietățile în secțiune a piesei.

Față de călire în tot volumul piesei, călire superficială prezintă avantajele :

- productivitate ridicată ;
- deformări minime la călire ;
- oxidare minimă la încălzirea suprafeței ;
- distribuirea favorabilă a tensiunilor interne.

În comparație cu tratamentele termo-chimice aplicate în scopuri similare, călire superficială prezintă de asemenea avantajul unei productivități considerabil mai mare și cel al deformărilor de călire cu mult mai mici.

Instalațiile de călire superficială pot fi ușor automatizate și amplasate în flux tehnologic cu mașinile de prelucrare mecanică ale pieselor, contribuindu-se la o mai bună organizare a muncii în secțiile prelucrătoare.

Călire superficială și instalațiile respective sînt preferate călirii în întreaga masă și tratamentelor termo-chimice, numai în cazul producției de serie și masă, sau dacă proprietățile cerute pieselor satisfac condițiile de exploatare.

CAPITOLUL II

PARTICULARITATI ALE INCALZIRII IN VEDEREA CALIRII

SUPERFICIALE

Procedeele de călzire superficială cunoscute și aplicate pînă în prezent se deosebesc între ele prin modul în care se execută încălzirea rapidă a straturilor de la suprafață. Din acest punct de vedere se deosebesc :

- oălzirea superficială cu încălzirea în băi topite ;
- oălzirea superficială cu încălzirea cu flacără oxi-gaz ;
- oălzirea superficială cu încălzirea în electrolit;
- oălzirea superficială cu încălzirea prin C.I.F ;
- oălzirea superficială cu încălzirea prin contact electric.

În ceea ce privește condițiile în care trebuie efectuată încălzirea în vederea atingerii temperaturii de austenizare, acestea rezultă din considerentele teoretice privind transmisia de căldură la suprafața piesei și în adîncimea ei.

Cunoscîndu-se că coeficientul de difuzivitate termică a lui Fourier [79] are forma : $a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \gamma}$ unde :

λ - conductibilitatea termică [kcal/m.h.°C]

C_p - căldura specifică [kcal/kg. °C]

γ - greutatea specifică [kg/dm³]

și ținîndu-se seama că la oțelurile supuse încălzirii,

$\lambda = 36 \dots 58$, $C_p = 0,10 \dots 0,15$ și $\gamma = 7,8$ rezultă că

$$a = 0,0024 \dots 0,052 \frac{m^2}{h}$$

Această valoare a lui $a = 0,0024 \dots 0,052$ este cu mult mai mare decât coeficientul de difuziune a carbonului în cazul cementării [35] care este de ordinul $D = 5,5 \cdot 10^{-9}$, ceea ce determină că la încălzirea pentru călirea superficială, durata de încălzire trebuie să fie extrem de scurtă pentru a nu permite repartizarea temperaturii în toată secțiunea.

În fig.1 în care se arată curba de repartizare a temperaturii pe secțiune, din considerentele teoretice, se presupune că temperatura inițială, este t_1 , iar temperatura t_m , este temperatura mediului în care se introduce brusc piesa. Suprafața piesei după un timp va atinge temperatura t_s în timp ce straturile interioare temperatura va fi între t_s și t_1 . Dacă α este coeficientul de cedare termică de la mediul cald la piesă, iar a coeficientul de difuzivitate termică a oțelului notîndu-se cu $\frac{\partial t}{\partial x}$ - gradientul de temperatură în secțiunea piesei (x fiind distanța de la suprafață către interiorul piesei) în fiecare moment de timp vom avea :

$$\frac{t_s - t_A}{os} = tg\alpha ; \quad os = \text{adîncimea de pătrundere fiind mică, trebuie ca } t_m \gg Ac_3 (Ac_1)$$

Pentru un anumit moment cînd temperatura minimă a punctului S este t_A se poate scrie relația [46] ;

$$\frac{t_m - t_s}{t_m - t_A} = \frac{a}{a + \alpha OS} \quad \text{II.2}$$

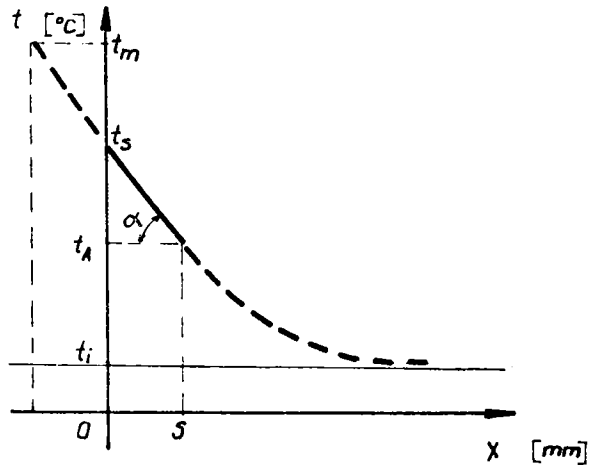


Fig.1.- Curba de repartizare a temperaturii pe secțiunea piesei încălzită prin imersie în băi de săruri.

Pentru ca zona de tranziție (zona cu temperatura cuprinsă între t_A și A_{03} sau A_{01} a oțelului) să fie cât mai îngustă posibilă față de grosimea de călire OS , este necesar ca $\frac{t_s - t_A}{OS}$ să fie cât mai înclinată , adică t_s să fie cât mai mare în raport cu t_A . Cum pe de altă parte, se urmărește ca OS să fie cât mai mic, această dublă condiție impune ca temperatura mediului t_m să fie foarte ridicată.

CAPITOLUL III

CONSIDERATII GENERALE ASUPRA METODELOR DE

INCALZIRE SI CALIRE SUPERFICIALA

III.1. Călirea prin încălzire cu flacără.

Această metodă se aplică la piesele din oțel carbon și mai rar celor din fontă sau celor din oțel slab aliat.

Metoda este avantajoasă în următoarele cazuri :

- producția de unicate și reparații ;
- în cazul călirii la "fața locului" a pieselor foarte mari fără a fi transportate sau demontate ;
- la piesele de formă nefavorabilă la care este greu de a se asigura distanțe constante între sursa de căldură și piesă.

Stratul călit corect are o structură de martensită cripto-cristalină [40] sau trosto-martensitică și prezintă o scădere lină de duritate de la suprafață către miez. Grosimea zonei de tranziție fiind de aproximativ aceeași mărime cu a stratului călit.

Dezavantajul călirii cu flacără constă în posibilitatea unei puternice supra încălziri a suprafeței și în greutatea reglării temperaturii și adâncimii stratului călit. Unii cercetători [39] au prevăzut un arzător suplimentar de preîncălzire a piesei, în scopul reducerii supraîncălzirii provocate de arzătorul principal.

Călirea cu flacără se poate realiza în trei forme constructive în funcție de raportul $\frac{L}{D}$, în care L - lungimea piesei ; D - diametrul.

a - călirea simultană rotativă. Arzător circular, răcitor circular. Se aplică la piese cu diametre mici și mijlocii și lungimi mici;

b - călirea succesivă circulară cu o singură rotație. Arzător segment, răcitor segment. Se aplică la piese cu diametre mari și lungime mică ;

c - călire succesivă axială cu rotație. Arzător inelar sau segment, răcitor inelar sau segment. Se aplică la piese cu diametre mici, mijlocii și lungime medie și mare.

III.1.1. Unele particularități ale călirii prin încălzire cu flacără oxigaz.

Considerându-se "călirea succesivă axială cu rotație" în literatura de specialitate [39] se indică ca parametri de influență asupra rezultatelor călirii, următorii parametri : dimensiunile semifabricatului, parametri mecanici de lucru; avansul și viteza de rotație, caracteristicile arzătorului precum și proprietățile fizico-chimice ale materialului.

În urma cercetărilor efectuate [40] s-a stabilit corelația dintre diametrul piesei și valoarea avansului de lucru, așa cum se vede în fig. 2, avansul fiind cuprins între $S = 5 \dots 30 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$ iar turația fiind de $n = 75 \dots 200 \text{ rot/min}$.

Consumul de gaz este cu atât mai mare cu cât diametrul piesei este mai mare. În tabelul 1 sînt date caracteristicile unor dispozitive de încălzire - răcire și limitele diametrelor de călire.

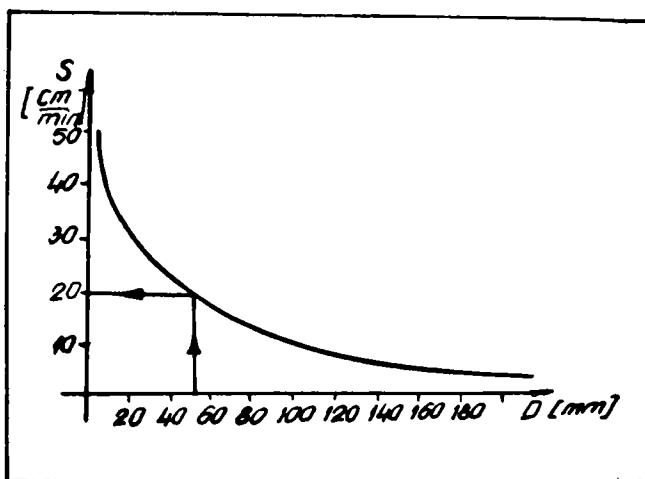


Fig. 2.- Influența diametrului piesei asupra avansului.

Caracteristicile dispozitivelor de încălzire-
răcire cu flacără oxigen-gaz

TABELA 1

Tip	Limitele de călire [mm]	Datele arzătorului					Datele răcitorului				
		cite un segment			întreg arzătorul		cite un segment			întreg răcitorul	
		i	d	f	Σi	Σf	Z	D	F	ΣZ	ΣF
1	70-80	16	0,9	10,11	48	30	26	1,1	24,5	78	73,5
2	110-180	26	0,9	16,4	78	49,2	50	1,1	47,5	150	142,5
3	50-60	17	0,7	6,6	51	14,8	34	1,1	26,5	102	79,5

Proprietățile fizico-chimice ale materialului influențează în mare măsură asupra rezultatelor călirii (HRC, d') precum și alegerea parametrilor de lucru.

În tabela 2 și fig. 3 se dau rezultatele obținute asupra oțelului C 60 și C 35 - mărci de oțel din R.P.U., iar în fig.4 influența avansului de lucru asupra durității HRC și adâncimi de pătrundere δ , la oțelul C 55 îmbunătățit. Se observă că tranziția spre rezistența miezului se face cu atât mai repede, cu cât avansul este mai mare.

Duritatea stratului superficial și parametri utilizați la călirea superficială a oțelurilor C 60 și C 35.

TABELA 2

Marcă oțel	Compoziția materialului		Duritatea suprafeței HRC	Avans cm/min	Turație rot/min
	C	Mn			
C 60	0,57	0,59	56	13	134
C 35	0,32	0,32	46	13	134

presiunea : $O_2 = 4 \text{ at.}$; $C_2H_6 = 0,8 \text{ at.}$; $H_2O = 2 \text{ at.}$

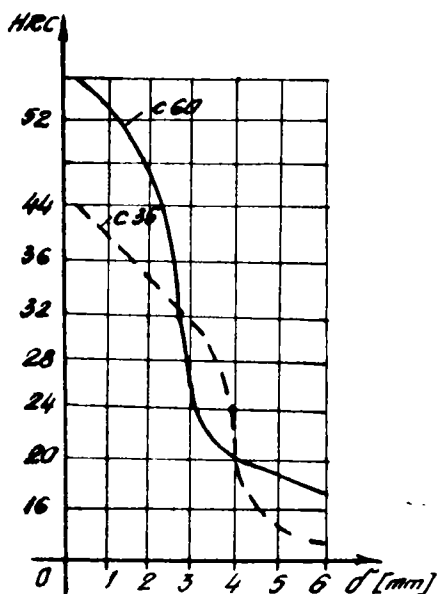


Fig. 3 Influența materialului asupra durității și adâncirii de pătrundere

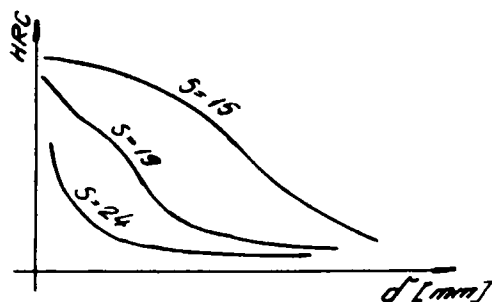


Fig.4 Influența avansului de lucru asupra adâncirii de pătrundere.

III.2. Călirea ou încălzire în electrolit.

Această metodă se aplică pieselor din oțel carbon, fontă, oțeluri aliate și slab aliate. Încălzirea în electrolit permite încălzirea atât locală, cât și la suprafață, pentru piese masive sau muchii, cum sînt cele a sculelor tăietoare. Viteza de încălzire este foarte mare.

III.2.1. Unele particularități ale călirii prin încălzire în electrolit.

Principiul încălzirii constă din cufundarea piesei într-o soluție de carbonat de potasiu, clorură de sodiu sau o altă soluție de sare, prin care trece curent electric continuu, hidrogenul care se degajă la catod, iar oxigenul la anod, formează un înveliș compact fin. Această peliculă are o rezistență electrică mare și nu este străpunsă decît la tensiuni de 220 ... 380 volți aplicate electrozilor [31]. Ca rezultat se degajă o cantitate foarte mare de căldură, care asigură o viteză ridicată de încălzire.

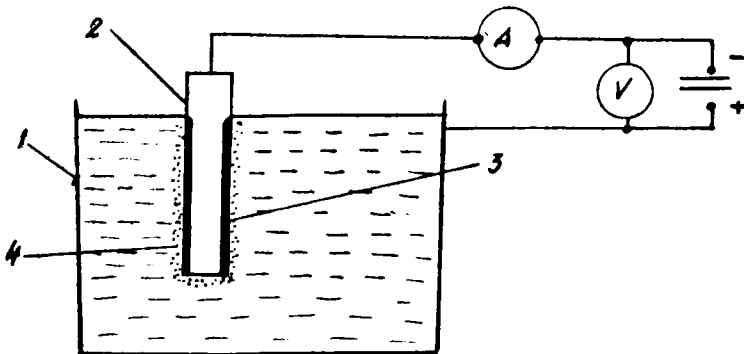


Fig.5 Schema încălzirii în electrolit.

1- corpul băii; 2- piesa; 3- adîncimea stratului încălzit; 4- înveliș de hidrogen.

În fig.5 este reprezentată schema încălzirii în electrolit.

Din această schemă se observă că anodul îl formează corpul băii care este metalic 1, catodul este chiar piesa 2, care se va încălzi pe adâncimea zonei 3, cu formarea învelișului de hidrogen 4.

Încălzirea în electrolit se desfășoară în două faze:

- faza întâia durează pînă cînd electrolitul din jurul învelișului compact de hidrogen ajunge la o stare stabilă. Durata este de miimi de secundă ;

- faza doua începe cînd învelișul are o rezistență electrică suficient de mare, pentru a se produce încălzirea intensă a piesei.

În cazul încălzirii în electrolit viteza și temperatura de încălzire sînt în funcție de proprietățile fizico-chimice ale materialului, modul de suspendare al piesei, temperatura electrolitului, cît și tensiunea curenților.

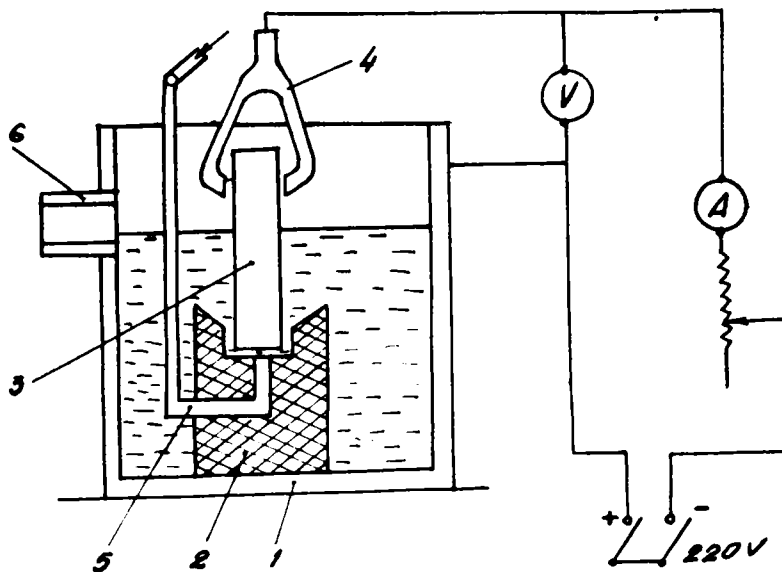


Fig.6.- Schema încălzirii în electrolit cu suspendare verticală
1- corp baie; 2-ecran de protecție; 3-piesa; 4-clește de susținere; 5- țevă pentru electrolit; 6- preaplin

În fig.6 este prezentată schema de suspendare verticală a unei piese cu ecran de protecție din serpentine.

Suspendarea orizontală atrage după sine luarea unor măsuri deosebite de ecranare a extremităților piesei pentru a evita concentrarea deosebită de curent.

Temperatura electrolitului are influență asupra temperaturii de austenitizare așa după cum s-a constatat [28], o temperatură a electrolitului de 20... 40°C și o tensiune de lucru de 220 ... 240 V încălzește piesele insuficient, duritatea lor fiind necorespunzătoare.

Cercetările [31] au stabilit temperaturile minime și optime ale electrolitului pentru a asigura o duritate corespunzătoare așa cum se vede în fig.7.

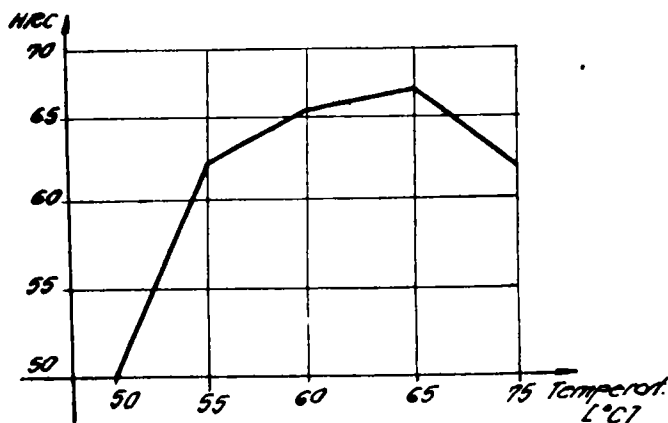


Fig.7. Influența temperaturii electrolitului asupra durității.

În ceea ce privește duritatea stratului oălit are influență atât tensiunea curentului, fig.8, cât și durata de încălzire și mediul de răcire, fig.9.

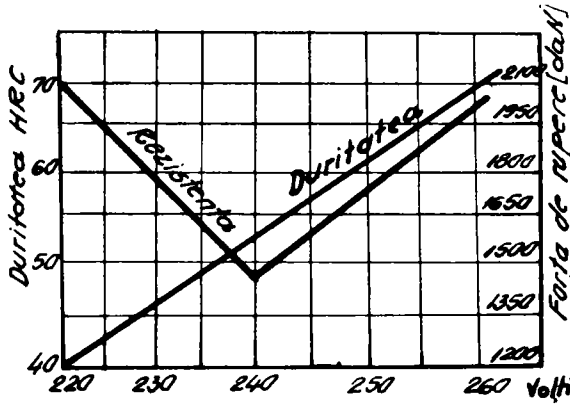


Fig. 8.- Influența tensiunii curentului asupra durității

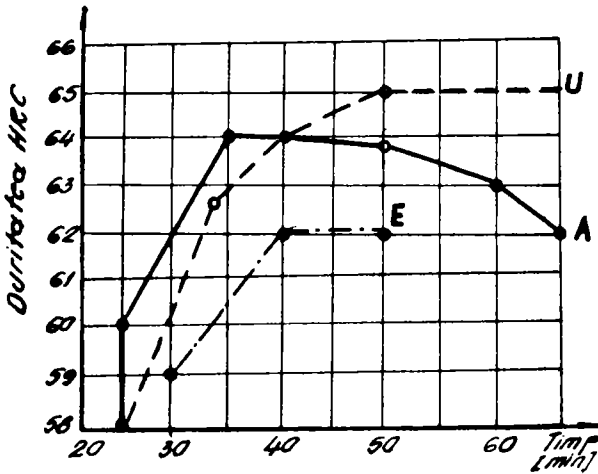


Fig. 9.- Influența duratei și mediului de răcire asupra durității.

S-a constatat că la această metodă sînt strîns legate între ele : tensiunea curentului, densitatea de curent și durata. Exemplu : avînd tensiunea de alimentare de 220 V, o densitate de $1,6 \text{ A/cm}^2$, durata va fi de 45 - 50 secunde; sau la 230 V, o densitate de $2,0 \text{ A/cm}^2$, durata va fi de 30 secunde [37] .

III.3. Călirea cu încălzire prin C.I.F.

Această metodă folosind curenții de înaltă frecvență, căldura se generează în interiorul piesei și tot stratul dinspre exterior se încălzește rapid la temperatura necesară.

La încălzirea unei piese prin C.I.F. până la temperatura $T^{\circ}\text{K}$ și admitînd că cementita se dizolvă fără întîrire și că tensiunile termice sînt complet eliminate se pot distinge pe secțiune 4 zone succesive [16] :

- zona de la suprafață adusă peste temperatura A_{c_3} ; complet austenitizat;
- zona de tranziție cu temperatură între A_{c_1} și A_{c_3} ;
- zona sub A_{c_1} care este mai adîncă ;
- miezul rămas rece.

III.3.1. Unele particularități ale călirii- încălzirii prin C.I.F.

În cazul încălzirii prin inducție electromagnetică, încălzirea se datorește a celor trei efecte caracteristice acestui procedeu :

- efectul inducției electromagnetice care constă în apariția unei forțe electromotoare într-un conductor la așezarea acestuia într-un câmp magnetic produs de 1... n spire prin care trece curentul electric [82]

F.e.m. are valoarea :

$$E = 4,44 \cdot f \cdot n \cdot \emptyset \text{ [v]} \quad \text{III.1}$$

care va da naștere unui curent :

$$I = \frac{E}{Z} \text{ [A]}; \quad \text{III.2}$$

f - frecvența curentului electric [Hz] ;

n - numărul de spire al inductorului ;

Φ - fluxul magnetic [Mx] ;

Z - impedanța conductorului [Ω] .

- efectul pelicular , care constă în repartizarea neuniformă a densității curentului alternativ în secțiunea conductorului este mai mare la suprafața acestuia. Curentul alternativ i_1 , trecînd prin conductor induce în acesta , F. e. m. sub acțiunea căreia iau naștere curenții i_2 , fig.10.

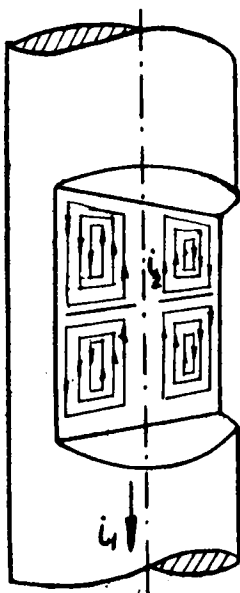


Fig.10.- Repartizarea curenților care determină efectul pelicular.

În apropierea axei conductorului, curenții i_2 au sensuri opuse față de curentul principal i_1 , micșorînd astfel valoarea acestuia, deci și densitatea curentului. Spre suprafața conductorului, aceștia au același sens ca și curentul principal, mărindu-i astfel valoarea, deci și densitatea.

În cazul unei secțiuni destul de mari sau a unei frecvențe înalte, cea mai mare parte a curentului alternativ trece prin stratul de la suprafața conductorului. Adîncimea acestui strat δ este cu atît mai mică, cu cît frecvența este mai mare.

$$\delta = 5,03 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad [\text{cm}] \quad \text{III.3}$$

în care :

ρ - rezistivitatea conductorului $[\Omega]$;
 μ - permeabilitatea magnetică

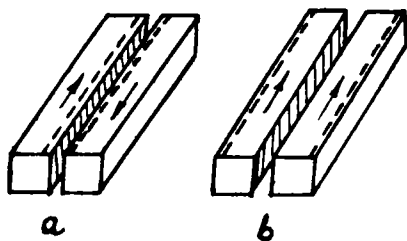


Fig.11.- Efectul de vecinătate.

- efectul de vecinătate apare la așezarea a două conductoare unul lângă celălalt și prin ele trece un curent electric alternativ de aceeași frecvență. Dacă sensul este același, densitatea de curent va fi maximă, în porțiunile mai depărta-

te ale secțiunilor , iar dacă sensurile sînt opuse, în conductoare densitățile maxime vor fi în părțile mai apropiate ale secțiunilor, fig. 11.

La încălzirea prin inducție se disting 4 etape succesive, fig. 12.

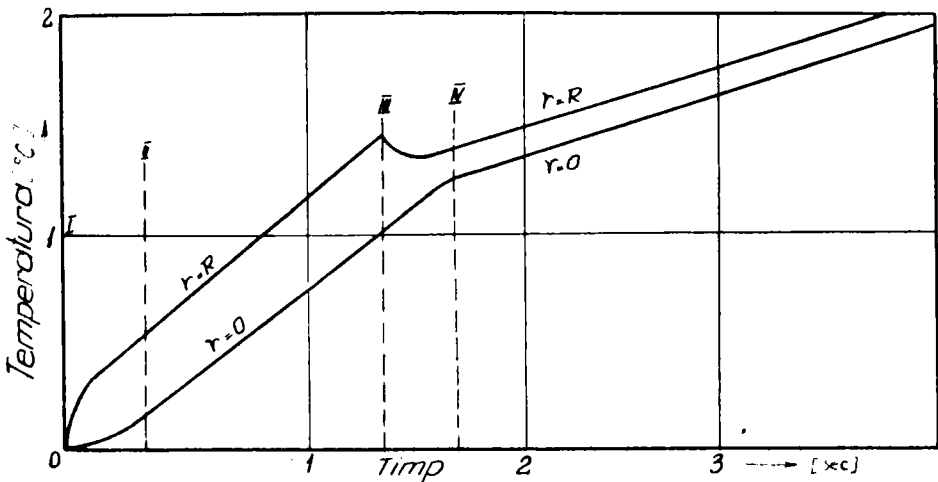


Fig.12.- Variația temperaturii la încălzirea prin inducție.

- introducerea curentului la suprafață aduce o încălzire a suprafeței și o creștere continuă a gradientului de temperatură pe secțiune (etapa I) ;

- la atingerea gradientului maxim de temperatură care se păstrează constant (etapa II) ;

- se constată o ușoară scădere a temperaturii la suprafața piesei , datorită transformărilor alotropice și cele din sistemul electromagnetic (etapa III) ;

- temperatura crește din nou, datorită încălzirii și a straturilor interioare (etapa IV).

CAPITOLUL IV

CALIREA SUPERFICIALA PRIN CONTACT ELECTRIC LA

FRECVENTA INDUSTRIALA DE 50 Hz.

Metodele prezentate și descrise pe scurt în cap.III au fiecare avantajul și dezavantajul lor, însă nu se exclud una pe alta. Perfecționarea acestor metode și cercetarea altora face să crească avantajele pe care le are călirea superficială față de tratamentele termochimice.

Prin prezenta lucrare se încearcă să se scoată în evidență o utilizare importantă a încălzirii prin contact electric în domeniul construcțiilor de mașini și anume, la încălzirea straturilor marginale în vederea călirii superficiale.

IV.1. Unele elemente ale încălzirii prin contact electric.

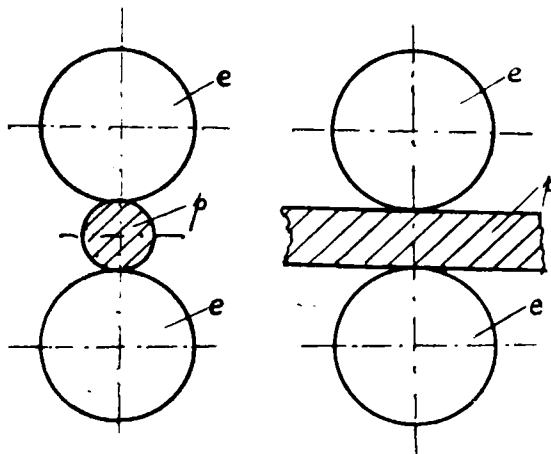


Fig.13. Variante ale încălzirii prin contact.

Încălzirea prin contact electric se bazează pe încălzirea locală a piesei p care se află între electrozii e ca urmare a trecerii curentului electric prin rezistența pieselor ce se află în contact, fig.13.

Cantitatea de căldură Q care se degajă în conductorul- piesă se determină cu ajutorul legii lui Joule-Lenz

$$Q = 0,24 I^2 \cdot R \cdot \zeta \text{ [cal]}$$

unde:

I - curentul electric [A]

R - rezistența electrică a sistemului [Ω];

ζ - timpul de trecere a curentului [sec]

Pentru înțelegerea fenomenului se pot considera două cazuri :

- cazul unui conductor continuu (fig.14)

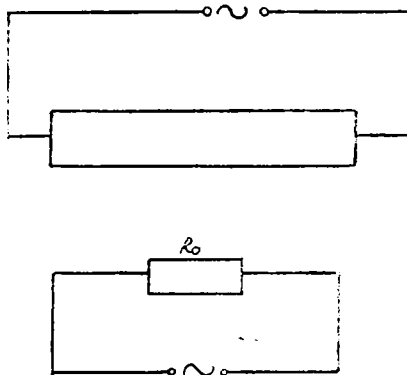


Fig.14.- Circuitul electric - conductor continuu
Schema echivalentă.

Conductorul considerat avînd rezistența R_0 și fiind străbătut de curentul I , puterea P care se dezvoltă sub formă de căldură are expresia cunoscută [51] :

$$P = \frac{0,24 I^2 R_0}{1000} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{Sec}} \right]$$

Al doilea caz considerat este:

- cazul conductorului întrerupt (fig.15)

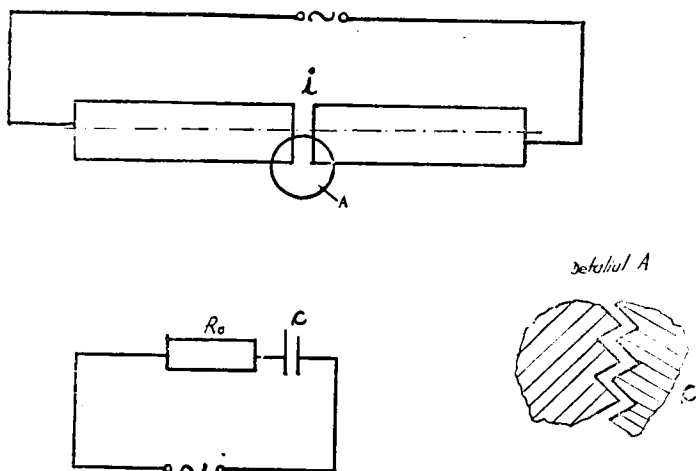


Fig.15.- Circuitul electric - conductor întrerupt
- schema echivalentă

În acest caz stratul de aer se va comporta și ca un condensator, astfel că în acest caz intervine o impedanță avînd expresia:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Interpunînd între cele două capete ale conductorului piesa p , se obține situația corespunzătoare încălzirii prin contact electric (fig.13).

În prezența teză de doctorat accentul fiind pus pe realizarea unei instalații și efectuarea cu aceasta a unor încercări tehnologice în vederea stabilirii parametrilor optimi atât electricei cât și mecanici în scopul durificării superficiale a pieselor de tipul arborilor din construcția de mașini, nu mi-am propus să fac o analiză detaliată a fenomenelor electromagnetice legate de trecerea curentului prin zona de contact electric.

IV.2. Particularități ale încălzirii prin contact electric

Încălzirea prin contact electric prezintă două particularități, care favorizează procesul de încălzire avînd influență asupra rezistenței electrice în zona contactului și anume:

1. Efectul de condensator. Ca urmare a rugozității suprafețelor electrodului și a piesei, acestea nu se vor atinge pe toată suprafața, astfel că vor rămîne mici interstiții care se vor comporta ca niște condensatori. Dacă suprafețele ar fi plane și paralele, capacitatea ar avea expresia cunoscută :

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{4\pi \cdot d} \quad [F]$$

care intervine în expresia impedanței ;

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

2. Efectul de apăsare. Rezistențele electrodului și piesei cresc invers proporțional cu efortul de apăsare dat de relația

$$R_{ap.} = \frac{r_c}{a^\alpha} \quad \left[\frac{\Omega}{N} \right]$$

r_c - rezistența unitară a contactului la un efort de 1N ;

a - efortul de apăsare aplicat pe contact N ;

α - coeficient ce caracterizează calitatea suprafețelor în contact.

Rezistența unitară de contact r_0 [51]

contact Cupru - Cupru	$r_0 = 10^{-4}$
" Cupru - Aluminiu	$r_0 = 1,3 \cdot 10^{-4}$
" Cupru - Fier	$r_0 = 7 \cdot 10^{-4}$
" Fier - Fier	$r_0 = 35 \cdot 10^{-4}$

Valoarea coeficientului α [51]

Suprafețe plane cu rugozitate mică $\alpha = 1$

Suprafețe plane cu rugozitate ridicată $\alpha = 0,5 \dots 0,7$

Suprafețe punctiforme (sferă - sferă) $\alpha = 0,5$

IV.3. Transmisia căldurii în zona de contact

Procesul încălzirii electrice prin contact electric are un caracter tranzitoriu, exprimat prin faptul că temperatura zonei de contact crește după o curbă exponențială [39] , fig.17.

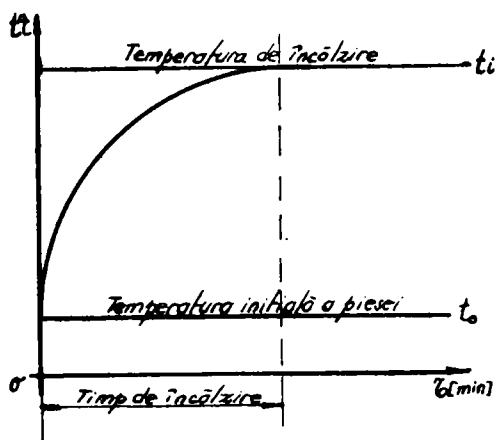


Fig.17. Curba de variație a temperaturii

Stabilizarea temperaturii la valoare maximă t_1 se datorește egalizării căldurii dezvoltate datorită contactului electric, cu căldura absorbită de părțile reci ale piesei din zonele interioare, cât și cu pierderile de căldură în mediu ambiant.

Din aceste motive, căldura obținută datorită contactului electric, trebuie să fie suficient de mare pentru a asigura încălzirea piesei pe adâncimea $\delta + \gamma$ în domeniul austenitic și austenito-feritic dar, să compenseze și pierderile de căldură care însoțesc procesul.

Distribuția temperaturii în piesă se determină plecând de la legea conductibilității termice, care stabilește diferența dintre fluxul și gradientul termic [41, 79];

$$q = - \lambda \frac{dt}{dx} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h}} \right] \quad \text{IV.7}$$

unde :

$\frac{dt}{dx}$ - gradientul termic sau creșterea de temperatură pe unitatea de distanță în direcția normalei la suprafața izotermă $\left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} \right]$;

λ - coeficientul de conductibilitate termică $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \right]$

Cantitatea de căldură transmisă la suprafața S [m^2] în timpul ζ [sec] va fi dată de relația :

$$dQ = - \lambda \frac{dt}{dx} \cdot S \cdot \zeta \left[\frac{\text{cal}}{\text{m}} \right]. \quad \text{IV.8}$$

Se consideră în fig.18 paralelipipedul elementar în cazul încălzirii prin contact.

După legea conservării energiei, cantitatea de căldură transmisă dQ va fi egală cu diferența dintre cantitatea de căldură adusă în paralelipipedul dQ_1 în timpul ζ și cea

cedată în același timp straturilor interioare dQ_2

$$dQ = dQ_1 - dQ_2 \quad \text{IV.9}$$

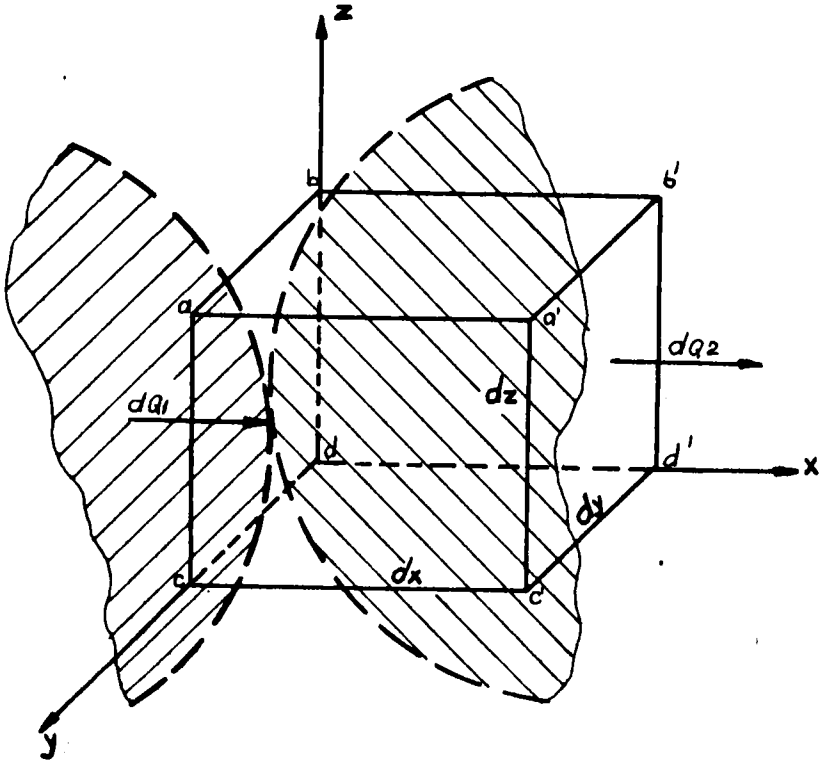


Fig.18.- Paralelipipedul elementar al încălzirii prin contact

Conform legii conductibilității [79] vom avea pe suprafața abcd, cantitatea de căldură dată de relația :

$$dQ_1 = -\lambda \frac{dt}{dx} dy dz d\zeta \quad \text{IV.10}$$

Variația gradientului termic pe direcția OX pe distanța dx adică pe suprafața a'b'c'd', va fi chiar cantitatea de căldură cedată dQ_2 , adică :

$$dQ_2 = -\lambda \left(-\frac{dt}{dx} + \frac{d^2t}{dx^2} dx \right) dy dz d\zeta \quad \text{IV.11}$$

Variația temperaturii paralelipipedului în unitatea de timp este dată de relația :

$$dQ = C_p \gamma dx dy dz \frac{dt}{d\zeta} d\zeta \quad \text{IV.12}$$

După înlocuirea lui IV.10, IV.11, IV.12 în IV.9 se obține

$$C_p \gamma dx dy dz \frac{dt}{d\zeta} d\zeta = - \frac{dt}{dx} dy dz d\zeta + \left(\frac{dt}{dx} + \frac{d^2t}{dx^2} dx \right) dy dz d\zeta$$

în care după reduceri și simplificări rezultă :

$$C_p \gamma \frac{dt}{d\zeta} = \lambda \frac{d^2t}{dx^2} \quad \text{IV.13}$$

dacă :

$$a = \frac{\lambda}{C_p \gamma} \quad \text{-- coeficientul de conductivitate (variație) a temperaturii ;}$$

se obține relația :

$$\frac{dt}{d\zeta} = a \frac{d^2t}{dx^2} \quad \text{IV.14}$$

În cazul încălzirii prin contact electric la care lățimea electrozilor-disc este cu mult mai mică decât lungimea piesei de încălzit în vederea călirii superficiale, se poate considera că lungimea piesei cilindrice de rază R este infinită, iar repartiția temperaturii în momentul inițial este *simetrică* pe toată secțiunea.

Se poate asemăna cazul încălzirii prin contact cu cazul cîmpului termic cu o singură dimensiune.

Ecuția diferențială IV.14 în sistemul de coordonate cilindrice [79] devine :

$$\frac{dt}{d\zeta} = a \left(\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} \right) \quad \text{IV.15}$$

Pentru integrarea ecuației se consideră următoarele condiții :

1. pe suprafață, temperatura variază în funcție de timp;
2. condiție inițială pentru care $t = F(r)$ la $\zeta = 0$ adică, temperatura de la suprafață este diferită de cea din centru ;
3. condiția la limită $t = \varphi(\zeta)$, când $r = R$ adică când durata de încălzire crește, temperatura se modifică în direcție radială.

Temperatura t depinzând atât de ζ cât și de r ecuația care va trebui rezolvată va fi de forma :

$$t = \varphi(\zeta) + U(r, \zeta) \quad \text{IV.16}$$

Din IV.16 s-au calculat pe rând termenii corespunzători pentru IV.15 și anume :

$$\frac{dt}{d\zeta} = \varphi'(\zeta) + \frac{dU}{d\zeta}; \quad \frac{dt}{dr} = \frac{dU}{dr}; \quad \frac{d^2t}{dr^2} = \frac{d^2U}{dr^2}$$

obținându-se :

$$\frac{dU}{d\zeta} = a \left(\frac{d^2U}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} \right) - \varphi'(\zeta) \quad \text{IV.17}$$

S-a pus apoi condiția ca funcția U să satisfacă condiția inițială și de limită. Ecuația s-a rezolvat sub formă de serie și s-a obținut relația :

$$t = t_s + (t^0 - t_s) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n I_1(\mu_n)} I_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) e^{-\mu_n^2 \frac{a\zeta}{R^2}} \quad \text{IV.18}$$

sau sub formă generală :

$$\frac{t - t_s}{t^0 - t_s} = \beta_1 \left(\frac{a\zeta}{R^2}; \frac{r}{R} \right) \quad \text{IV.19}$$

Pentru stabilirea curbei de variație a temperaturii în secțiunea piesei și pentru cazul încălzirii superficiale, curbele din fig. 19 [79] (linie continuă), corepunzând pentru cazul răcirii pătrunse, sînt completate cu curbele (linie întreruptă) [74] .

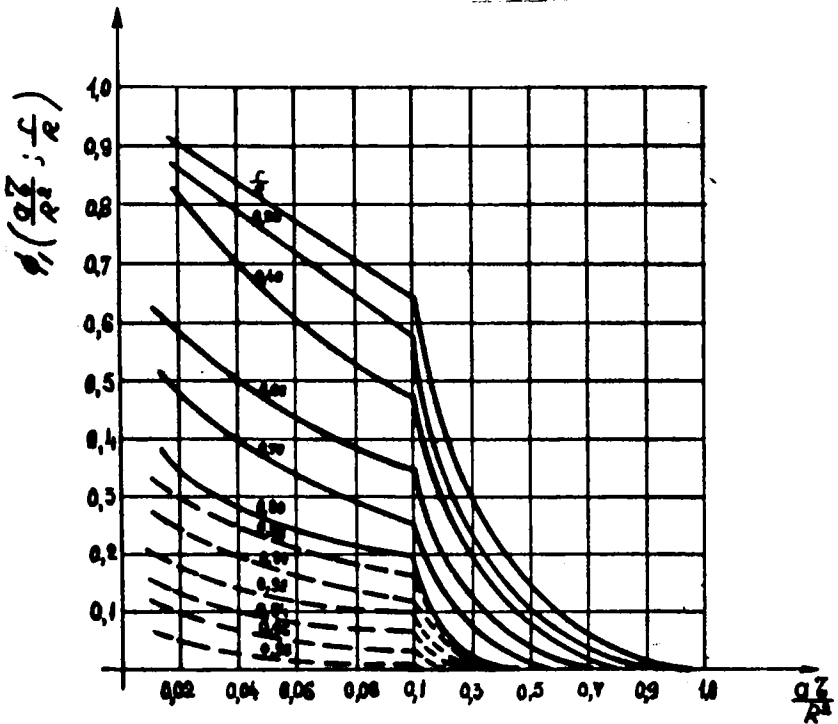


Fig.19.- Curbele de calcul a variației temperaturii pe secțiune piesei.

CAPITOLUL V

CALCULUL SI PROIECTAREA INSTALATIEI DE CALIRE

SUPERFICIALA

V.1. Calculul instalației.

Ecuția bilanțului termic la încălzirea prin contact electric se poate scrie ca fiind [51] :

$$Q_u \cdot d\zeta = C_m \cdot G \cdot dt + \alpha \cdot s \cdot t \cdot d\zeta \left[\frac{\text{kcal}}{\text{sec}} \right] \quad \text{V.1}$$

în care :

Q_u - cantitatea de căldură transmisă în unitatea de timp $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{sec}} \right]$

ζ - durata contactului [sec]

C_m - căldura specifică medie a piesei $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]$

G - greutatea porțiunii încălzite [kg]

t - temperatura zonei de contact [$^\circ\text{C}$]

α - coeficientul transmisiei căldurii de la suprafețele calde spre cele reci $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}} \right]$

s - suprafața caldă [m^2]

$Q_u \cdot d\zeta$ - căldura dezvoltată datorită contactului ;

$C_m \cdot G \cdot dt$ - căldura înmagazinată de zona de contact ;

$\alpha \cdot s \cdot t \cdot d\zeta$ - căldura cedată părților reci ale piesei și electrodului.

Din relația V.1 se poate calcula timpul de încălzire și puterea electrică minimă necesară.

1). după integrare și înlocuiri se obține următoarea expresie pentru timp :

$$\zeta = 4 \frac{C_m \cdot G}{\alpha \cdot S} \quad [\text{sec}]$$

considerînd însă că :

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} \quad \text{și} \quad G = S \cdot \delta \cdot \gamma \quad \text{V.2}$$

λ - coeficientul de conductibilitate termică

$$\left[\frac{\text{kcal}}{\text{m h } ^\circ\text{C}} \right]$$

δ - grosimea stratului încălzit [m]

se obține :

$$\zeta = 4 \frac{C_m \cdot \delta \cdot \delta^2}{\lambda} \quad \text{V.3}$$

Dacă piesa încălzită este din oțel se poate considera relația concentrată :

$$\zeta = 0,27 \cdot \delta^2 \quad [\text{sec}] \quad \text{V.4}$$

2). puterea electrică s-a calculat din ecuația bilanțului termic scrisă sub forma :

$$Q_u = C_m \cdot G \cdot \frac{dt}{d\zeta} + \frac{\lambda}{\delta} \cdot S \cdot t \quad \text{V.}$$

după transformarea energiei calorice în energie electrică și înlocuirea expresiei lui ζ din relația V.3 se obține relația de calcul a puterii minime necesare :

$$P_{e_{\min}} = 1,2 \cdot 10^{-6} \frac{S \cdot t \cdot \lambda}{\delta} \quad [\text{kw}] \quad \text{V.6}$$

s-au considerînd și randamentul instalației, puterea transformatorului va fi :

$$P_{e_{to}} = \frac{P_{e_{\min}}}{\eta} \quad \text{V.7}$$

3). calculul suprafeței de contact dintre electrod și piesă s-a calculat cu relația :

$$S = 2 L \sqrt{R_e + r_p}$$

dedusă din schema din fig.20 în care R_e - raza discului electrod , iar r_p - raza piesei de oălit.

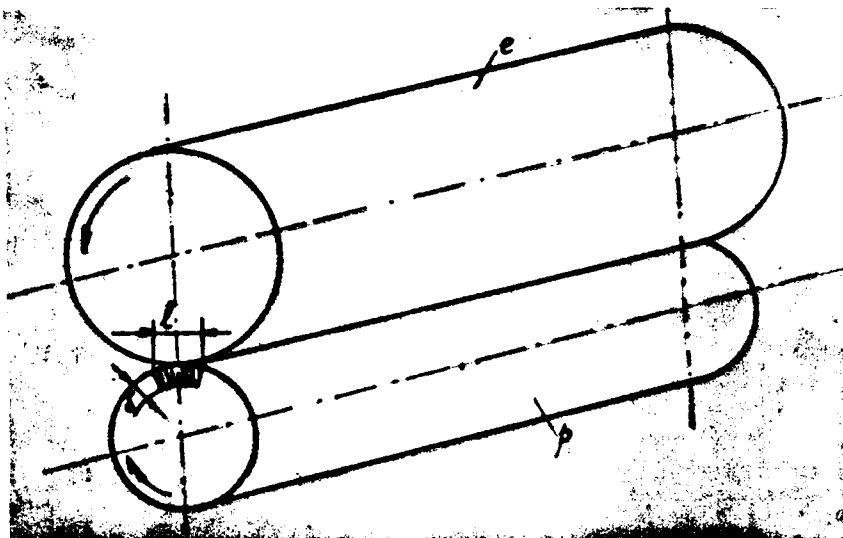


Fig.20- Schema contactului dintre electrod și piesă.

V.2. Părțile componente ale instalației.

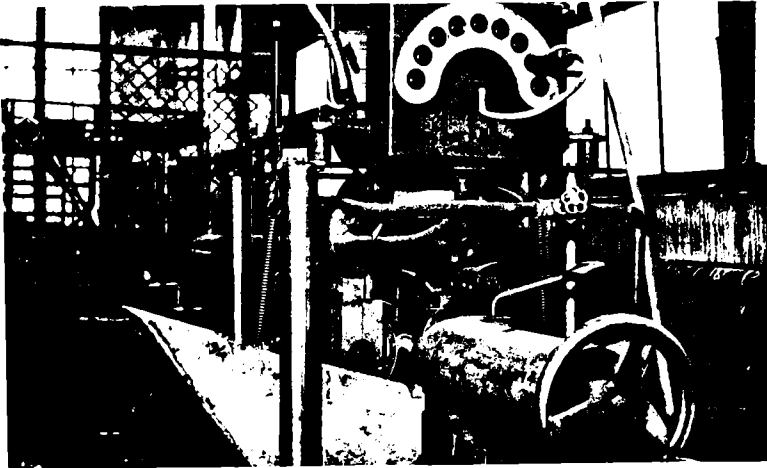
Instalația așa cum se vede în fig.21,a,b,c este compusă din următoarele părți principale :

1). partea mecanică compusă din mecanismele de antrenare a piesei, săniile de apropiere și poziționare a rozelor - electrod ;

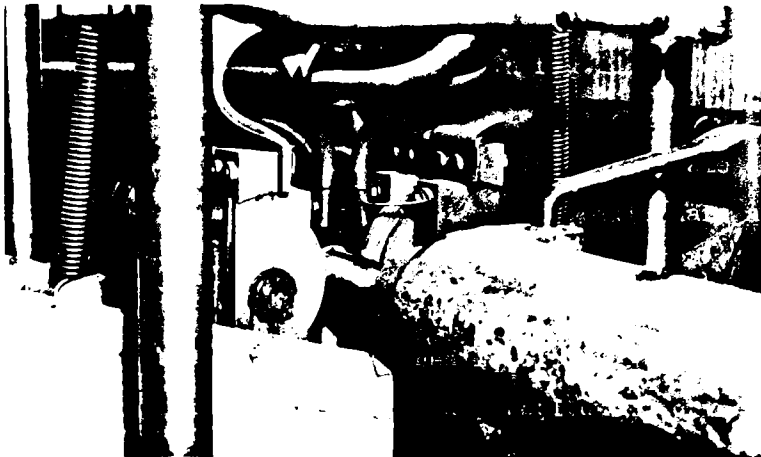
2). partea electrică compusă dintr-un transformator care este alimentat de la tensiunea rețelei 380 volți,secundarul este dintr-o singură spirală cu pereți dubli prin care circulă în mod continuu, apă de răcire, prizele de ieșire pentru reglaj brut și un controlier reostat cu 12 poziții pentru reglare fină;

3). sistemul de răcire cu apă, compus din furtunul de cauciuc pentru aducerea apei, racord în Y pentru bibrucarea

apei, confecționat din țevă de oțel, două prelungiri din cauciuc pentru conducerea apei la cele două role electrod direct la zona de contact.



a



b

Fig.21 a,b - Instalația de călire superficială prin contact electric (varianta I)

. // .

În baza considerațiilor teoretice de încălzire în vederea călirii s-au considerat următoarele elemente inițiale :

$$R_{\bullet} = 125 \text{ mm} ; R_p = 30 \text{ mm} ; L = 12 \text{ mm} ;$$

$$\eta_t = 0,6 \dots 0,7 ; \lambda = 30 \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{C} \cdot \text{h}} ; \delta = 1,5 \text{ mm}$$
$$t = 1000^{\circ}\text{C}$$

Puterea transformatorului în acest caz va fi :

$$P_{\bullet \text{tr}} = \frac{1,2}{\eta_t} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2 \cdot L \sqrt{R_{\bullet} + R_p}}{1,5} \cdot t \cdot \lambda$$

$$P_{\bullet \text{tr}} = \frac{1,2}{0,6} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2 \cdot 12 \sqrt{125 + 30}}{1,5} \cdot 1000 \cdot 30$$

$$P_{\bullet \text{tr}} = 18,72 \text{ kw}$$

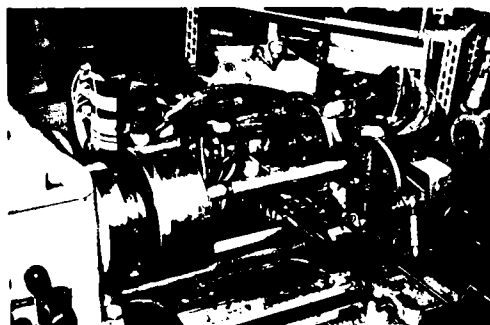


Fig. 21 c - Instalația de călire superficială prin contact electric (variantea II).

Schema electrică a instalației de călire superficială este prezentată în fig.22. Instalația de călire superficială

a fost brevetată și este în stare de funcționare la Uzina de vagoane din Arad (fotocopie brevet fig. 23).

V.3. Tehnologia de lucru.

- piesa se fixează în universalul strungului sau într-un dorn cu vîrf călit fixat în universalul strungului atunci cînd piesa este scurtă. Celălalt capăt al piesei se fixează în vîrfurile rotativ din păpușa mobilă;

- se apropie rolele electrod din cupru, de piesă apoi se asigură o apăsare a rotelor pe piesă de 160... 200 daN , pentru asigurarea contactului intim necesar procesului ;

- se deschide robinetul pentru aducerea apei de răcire la zonele de contact și la secundarul transformatorului ;

- se cuplează la rețea, instalația de înălțire;

- se cuplează mecanismul de avans longitudinal al strungului.

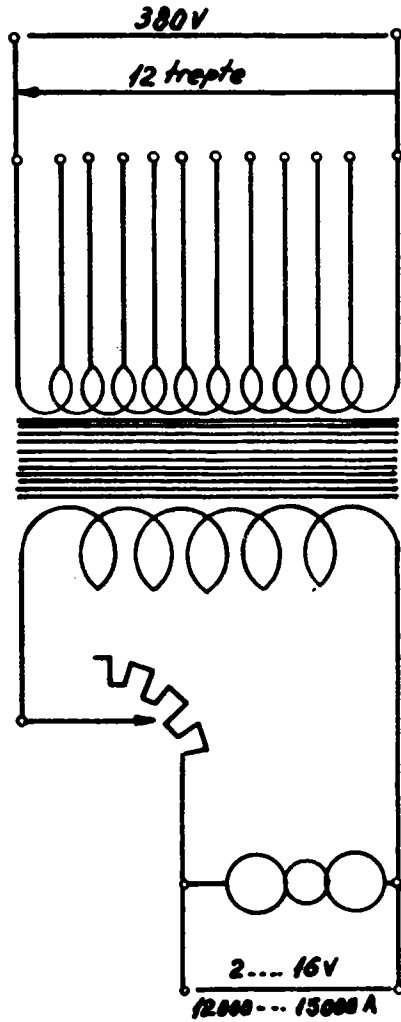


Fig. 22.- Schema electrică

REPUBLICA SOCIALISTA ROMANIA
CONSILIUL NATIONAL PENTRU stiinta SI tehnologie
OFICIUL DE STAT PENTRU INVENTIA SI MARCI

Certificat de Inventator

Nr. [redacted]

emitit oficialul Ing. IOAN BALU din Arad, Republica Socialistă România.

pentru invenția cu titlu "Dispozitiv pentru călire superficială"

Conținutul descrierii și al anexelor alăturată, înmănată oficialului nr. nr. 65998 din 6 aprilie 1979, ora 12.10 pe prioritate de la 6 aprilie 1979

pentru care s-a acordat titlul de invenție în baza decretului nr. 594/1987 al R.P.D., Republicii Socialiste România

Pentru acordarea certificatului de invenție s-a recomandat inventatorul călătoria de autor al invenției cu toate drepturile ce decurg din aceasta călătorie. În baza decretului nr. 661/1987 și H. C. M. nr. 2550/1987.

Director

Nr. invenție: 6413

(11) DESCRIEREA INVENTIEI 552.2

REPUBLICA SOCIALISTA ROMANIA

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENTIA SI MARCI

CONTEINUTUL SI TITLUL

481) Descrierea în invenție nr.:

481) Denumire nr. de invenție: 6413

482) Data înregistrării: 04.04.1979

483) Procedeul de invenție:

484) Titlu:

485) Distribuitor nr.:

486) Data publicării: 04.04.1980

487) Clasificarea în invenție nr.:

488) Căsuțe de rezervă:

489) Căsuțe de rezervă:

490) Căsuțe de rezervă:

ca Dispozitiv pentru călire superficială

1. Invenția se referă la un aparat pentru călire superficială a suprafețelor exterioare ale pieselor mecanice, în special ale unor piese metalice.

2. Călirea este realizată prin intermediul unui dispozitiv pentru călire care prezintă schema dispozitivului de călire în figura 1. Acest dispozitiv este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

3. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

4. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

5. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

6. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

7. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

8. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

9. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

10. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

11. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

12. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

13. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

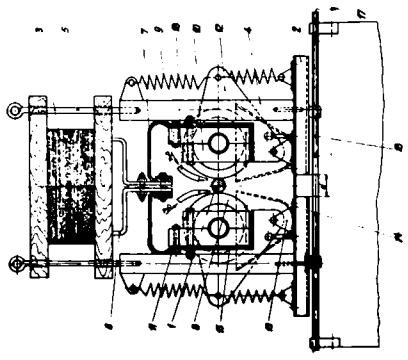
14. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

15. Dispozitivul este alcătuit dintr-un rezervor de lichid, un rezervor de gaze, un rezervor de apă caldă și un rezervor de apă rece.

Fig. 23.- Fotocopy - brevet de invenție.
 Dispozitiv de călire superficială.

(1) Inv. G. C. 11.4.9
(2) C. 18 x 224

1800



1 După fluxarea piesei 1 în intermediul
dispozitivului se schimbă contactul între
2 și 3 și din cauza 2 depășind dintr-o
cu 3 în poziția de repaus, se realizează
3 și 4. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
5 și 6 și din cauza 5 depășind dintr-o
cu 6 în poziția de repaus, se realizează
7 și 8. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
9 și 10 și din cauza 9 depășind dintr-o
cu 10 în poziția de repaus, se realizează
11 și 12. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
13 și 14 și din cauza 13 depășind dintr-o
cu 14 în poziția de repaus, se realizează
15 și 16. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
17 și 18 și din cauza 17 depășind dintr-o
cu 18 în poziția de repaus, se realizează
19 și 20.

20 După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
21 și 22 și din cauza 21 depășind dintr-o
cu 22 în poziția de repaus, se realizează
23 și 24. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
25 și 26 și din cauza 25 depășind dintr-o
cu 26 în poziția de repaus, se realizează
27 și 28. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
29 și 30 și din cauza 29 depășind dintr-o
cu 30 în poziția de repaus, se realizează
31 și 32. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
33 și 34 și din cauza 33 depășind dintr-o
cu 34 în poziția de repaus, se realizează
35 și 36. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
37 și 38 și din cauza 37 depășind dintr-o
cu 38 în poziția de repaus, se realizează
39 și 40.

Revenșă

1 După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
2 și 3 și din cauza 2 depășind dintr-o
cu 3 în poziția de repaus, se realizează
4 și 5. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
6 și 7 și din cauza 6 depășind dintr-o
cu 7 în poziția de repaus, se realizează
8 și 9. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
10 și 11 și din cauza 10 depășind dintr-o
cu 11 în poziția de repaus, se realizează
12 și 13. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
14 și 15 și din cauza 14 depășind dintr-o
cu 15 în poziția de repaus, se realizează
16 și 17. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
18 și 19 și din cauza 18 depășind dintr-o
cu 19 în poziția de repaus, se realizează
20 și 21. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
22 și 23 și din cauza 22 depășind dintr-o
cu 23 în poziția de repaus, se realizează
24 și 25. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
26 și 27 și din cauza 26 depășind dintr-o
cu 27 în poziția de repaus, se realizează
28 și 29. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
30 și 31 și din cauza 30 depășind dintr-o
cu 31 în poziția de repaus, se realizează
32 și 33. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
34 și 35 și din cauza 34 depășind dintr-o
cu 35 în poziția de repaus, se realizează
36 și 37. După fluxarea piesei 1 în poziția
de repaus, se realizează contactul între
38 și 39 și din cauza 38 depășind dintr-o
cu 39 în poziția de repaus, se realizează
40 și 41.

(50) Referințe bibliografice:
Beret, Franța, nr. 871.642

Fig. 23.- Continuare.

Alina Maria, București 1973. Tipărit la IMPI 1973. Model 1-130-130 nr. 1 P. Conținut Model 1-130.

CAPITOLUL VI

CERCETARI EXPERIMENTALE

În acest capitol se vor prezenta cercetările experimentale efectuate pe instalațiile varianta I și varianta II în cadrul Uzinei de vagoane Arad și laboratorul catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini a Facultății de Mecanică din Timișoara.

Seria de cercetări s-a făcut pe un număr de cinci oțeluri românești cu compoziția chimică medie redată în tabela 3.

TABELA 3

Denumirea oțelului	Compoziția chimică - medie în %						
	C	Mn	Si	S	P	Cv	Y
OLC 35	0,35	0,70	0,30	0,035	0,035	-	-
OLC 45	0,44	0,50	0,32	0,035	0,035	-	-
50 VC 11	0,53	0,75	0,27	0,035	0,035	1,10	0,20
G 60 Mn Si 16	0,60	1,00	1,65	0,035	0,030	0,30	-
Aro 8	0,70	0,55	1,30	0,035	0,035	0,50	-

Din oțelul OLC 45, Uzina de vagoane Arad confecționează diverse buloane pentru boghiurile vagoanelor marfă tip Gondolă , G.V.A.S, G.V.S , sau basculante. Din oțelurile 50 VC 11 și G 60 MnSi 16 se confecționează diferite axe , tije, buloane, bolțuri, etc.

Oțelurile OLC 35 și Arc 8 au fost luate în considerare în vederea studiului influenței compoziției asupra tendințelor de variație a unor parametri.

Criteriul alegerii acestor oțeluri a fost cel al utilității industriale (OLC 45, 50 VC 11, G 60 MnSi 16) cât și al elementului determinat la călire - carbonul.

Gama de dimensiuni a pieselor studiate a fost cuprinsă între $\varnothing 25 \dots \varnothing 60$ mm.

Valorile medii considerate pentru trasarea diverselor diagrame, au fost obținute în urma unui număr suficient de măsurări și anume :

- pentru duritatea HRC s-a făcut media a 4-6 citiri ;
- pentru tensiunea și curentul din primar și secundar s-a considerat valoarea medie a unei lungimi de călire de $L = 15 \dots 20$ mm.

Parametri electrici din timpul experimentării au fost măsurăți cu ajutorul unui aparat complex prevăzut cu voltmetru, ampermetru și wattmetru , astfel în cât s-a putut citi simultan următoarele mărimi : tensiunea din secundar , curentul din primar și puterea consumată. Tensiunea din primar și curentul din secundar au fost calculate luând în considerare celelalte mărimi și constanta aparatului.

Apa de răcire a avut temperatura de $16 \pm 20^{\circ}\text{C}$.

VI.1.- Cercetări efectuate asupra oțelului OLC 35

Gama de dimensiuni a fost $D = 25, 30, 35, 40, 45, 50$ mm, piese de tipul arborilor. S-a cercetat influența parametrilor electrici și mecanici asupra rezultatelor călirii. Rezultatele măsurărilor sînt trecute în tabela 4.

TABELA 4

Parametri măsurați la călirea superficială

a oțelului OIC 35

Nr crt	Turație n rot/min	Avans s mm/rot	Viteză v m/min	Tensiunea U Volți		Curentul I amperi		Puterea Kw	Durețate HRC	Adâncimea stratului δ mm	Diametrul piesei D mm
				I	II	I	II				
1	15	0,364	1,18	335	1,7	26,5	4230	9,20	51	1,2	φ25
2	15	0,667	1,18	315	1,68	21,2	3880	6,7	50	1,1	
3	15	1,60	1,18	310	1,65	20,5	3860	6,35	48	1,0	
1	15	0,364	1,42	335	1,68	21,8	4350	7,3	50	1,1	φ30
2	15	0,667	1,42	315	1,66	21,5	4080	6,77	48	0,9	
3	15	1,60	1,42	310	1,62	20,8	3980	6,45	47	0,8	
1	15	0,364	1,65	335	1,66	22	4430	7,35	48	0,9	φ35
2	15	0,667	1,65	320	1,63	21,7	4260	6,95	46	0,85	
3	15	1,60	1,65	305	1,60	21,2	4010	6,58	44	0,75	
1	15	0,364	1,89	335	1,64	22,2	4450	7,43	46	0,85	φ40
2	15	0,667	1,89	320	1,62	21,9	4300	7,00	44	0,75	
3	15	1,60	1,89	310	1,59	21,5	4100	6,75	42	0,73	
1	15	0,164	2,12	330	1,63	22,5	4470	7,45	44	0,80	φ45
2	15	0,667	2,12	320	1,60	22,1	4350	7,07	41	0,73	
3	15	1,60	2,12	310	1,57	21,9	4200	6,80	40	0,70	
1	15	0,364	2,36	330	1,60	22,8	4490	7,50	42	0,75	φ50
2	15	0,667	2,36	315	1,58	22,4	4390	7,15	40	0,70	
3	15	1,60	2,36	310	1,55	22,1	4200	6,9	38	0,68	

VI.1.1. Influența diametrului piesei asupra parametrilor electrici

In fig.24 se arată legătura dintre intensitatea curentului din primarul transformatorului și creșterea diametrului piesei :

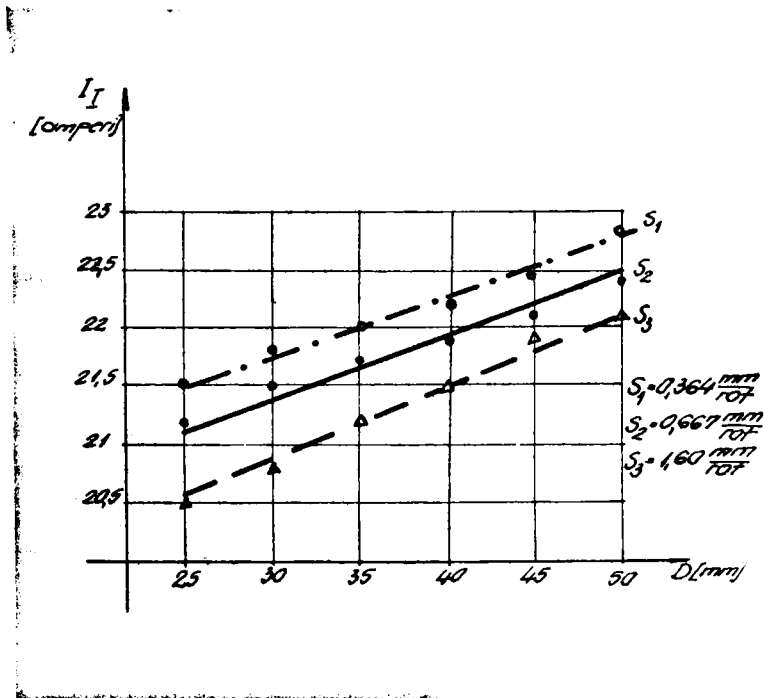


Fig.24.- Variația intensității curentului în primarul transformatorului în funcție de diametrul călit (OLC 35).

Se observă din această diagramă că intensitatea curentului crește proporțional cu creșterea diametrului. Valori mai mari ale intensității sînt întîlnite atunci cînd avansul de lucru este mai mic.

S-a stabilit relația generală de legătură dintre aceste curbe și anume :

$$I_1 = 21 + S (0,1 D - 2) \quad [A] \quad \text{VI.1}$$

unde :

I_1 - intensitatea curentului în primar [A]

D - diametrul piesei [mm]

S - avansul de lucru [$\frac{\text{mm}}{\text{rot}}$]

Relația se aplică pentru valori ale avansului

$$S = (0,3 \dots 0,7) \frac{\text{mm}}{\text{rot}}$$

Dependența dintre intensitatea curentului și diametrul piesei călite este redată în fig. 25.

Legea de variație a fost aproximată ca fiind lineară, la care s-a asociat expresia :

$$I_2 = q D + K \quad [A] \quad \text{VI.2}$$

Coefficienții q și K sînt dați în tabela 5 în funcție de avans.

TABELA 5
Valorile coeficienților q și K

S mm / rot	q	k
0,364	11	3975
0,667	16	3600
1,60	14	3550

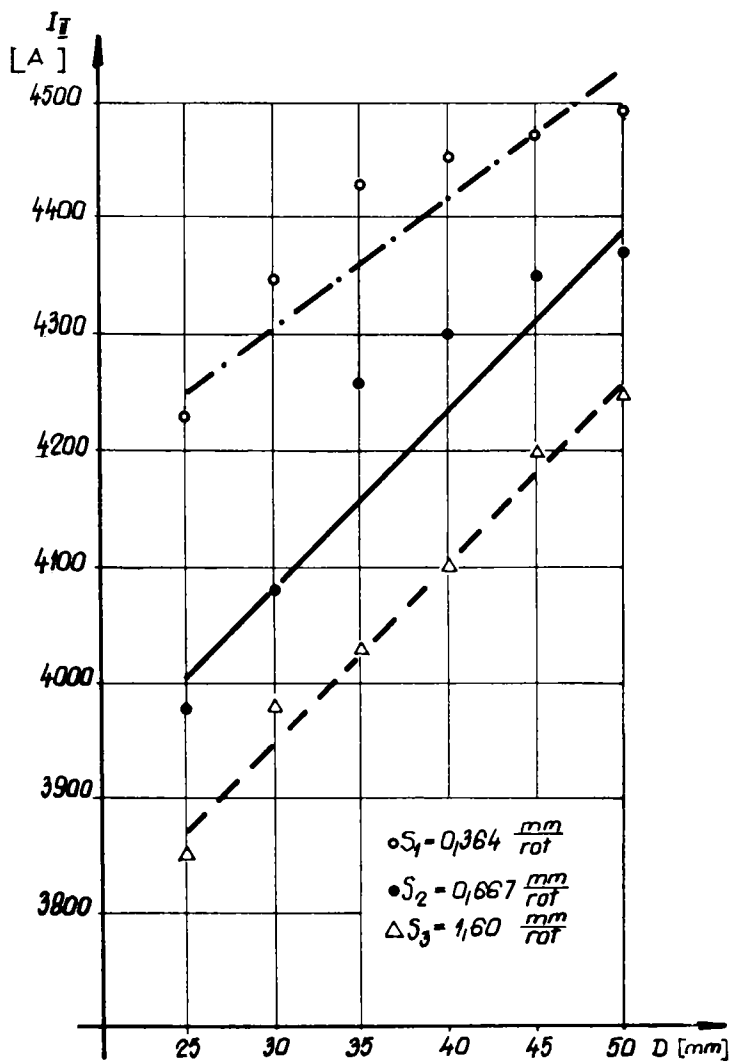


Fig.25.- Variația intensității curentului în secundarul transformatorului în funcție de diametrul oălit (OLC 35)

Variația tensiunii din secundarul transformatorului este redată în diagramele din fig. 26 , din care se constată oă tendința este de scădere a valorilor tensiunii , odavă cu creșterea diametrului piesei.

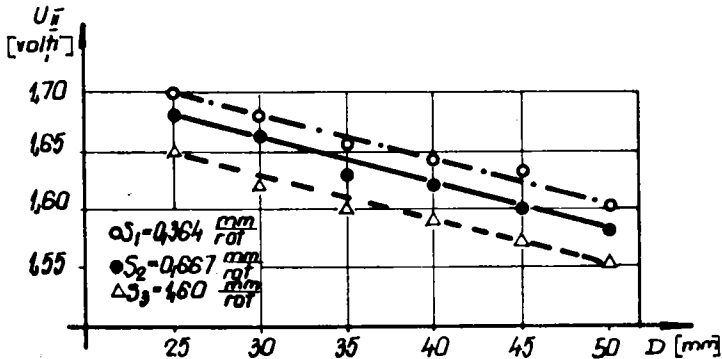


Fig. 26.- Variația tensiunii în secundarul transformatorului în funcție de diametrul călit (OIC 75).

Variația a fost aproximată ca fiind liniară la care s-a stabilit ecuația generală :

$$U_2 = 1,84 - 0,1 (0,04 D + S) \quad [V] \quad VI.3$$

Legătura complexă dintre intensitatea curentului din primar și cea din secundar sub influența variației diametrului piesei călitate și a avansului de lucru este prezentată în fig.27. S-a aproximat variația ca fiind liniară conform relației stabilite:

$$I_1 = 4 \cdot 10^{-3} I_2 + 10 S + 2,5 \quad [A] \quad VI.4$$

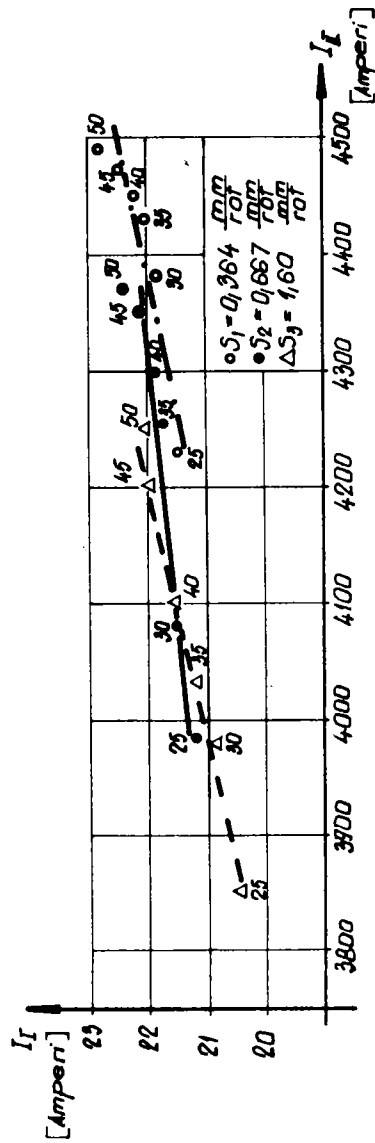


Fig. 27.-- Interdependența dintre intensitatea curentului din primar și secundarul transformatorului (OIG 35).

S-au ridicat apoi diagramele de variație a puterii electrice consumate în funcție de diametrul fig. 28.

Din analiza acestor curbe care au o tendință lineară crescătoare, valorile mai mari au fost înregistrate pentru

avansuri de lucru mai mici. Diferențele între puterea electrică consumată, lucrând cu avansul $s = 0,364$ și $S = 1,60 \frac{\text{mm}}{\text{rot}}$, este cuprinsă între $0,30 \text{ kw} \dots 0,60 \text{ kw}$.

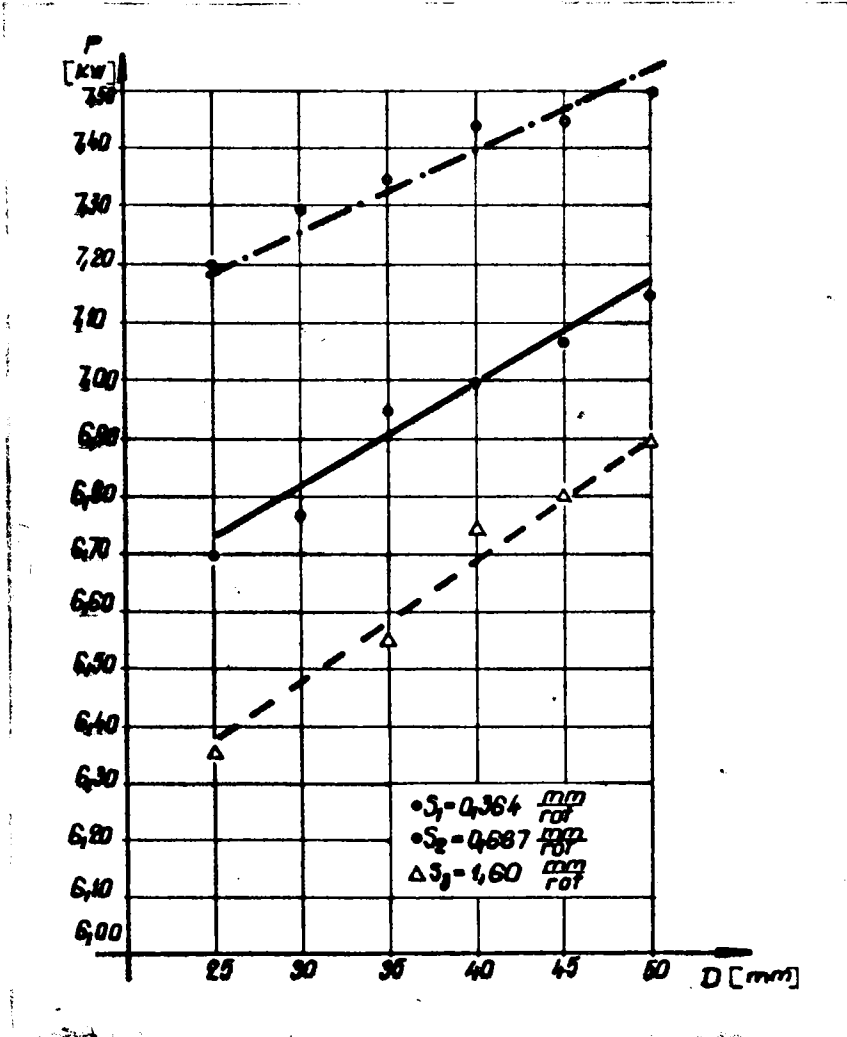


Fig. 28.- Variația puterii electrice consumate, în funcție de diametrul oălit și avansul de lucru (OLC 35).

Analizată din punct de vedere energetic, puterea necesară încălzirii straturilor superficiale după literatura de specialitate [80,82] rezultă că pentru a duce o cantitate dată de oțel de la starea $\alpha + Fe_3C$ la starea $Fe^{\gamma}(C)$ care are loc la temperatura de aproximativ $840^{\circ}C$, este nevoie de o cantitate de energie de aproximativ $4600 J/cm^3$. Rezultă că pentru a căli un strat superficial de grosime $\delta [cm]$ și suprafață $S [cm^2]$ pînă la $840^{\circ}C$ și apoi să îl răcim brusc trebuie să folosim o energie E egală cu :

$$E = 4600 S \cdot \delta \quad [J] \quad VI.5$$

și dacă această operație trebuie făcută în timpul $t [sec]$, puterea electrică necesară $E/t [watt]$, concentrată la suprafață este dată de relația :

$$P_{min} = 4,6 \frac{\delta}{t} \left[\frac{kw}{cm^2} \right] \quad VI.6$$

Aceasta fiind puterea electrică minimă necesară, ea trebuie să fie mai mare dacă se ține seama că o parte din căldură se pierde prin convecție și prin radiație [82] ;

$$P_c = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\theta \cdot \frac{5}{4} \left[\frac{W}{cm^2} \right] \quad VI.7$$

$\Delta\theta$ - creșterea de temperatură față de mediul înconjurător $[^{\circ}C]$

$$P_r = 5,72 k_r \left[\left(\frac{t+k}{1000} \right)^4 - \left(\frac{t_0+k}{1000} \right)^4 \right] \left[\frac{W}{cm^2} \right] \quad VI.8$$

k_r - coeficient de radiație $k_r = 0,2 \dots 0,8$

t, t_0 - temperatura $[^{\circ}C]$

$K = 273^{\circ}C$

În urma calculelor analitice efectuate prin considerarea relațiilor VI.6, VI.7 și VI.8, se verifică că avînd

valori foarte apropiate cu cele ridicate experimental în fig. 28.

VI.1.2. Influența diametrului piesei și a avansului de lucru asupra adâncimii de pătrundere.

Adâncimea de pătrundere a stratului oălit este o caracteristică importantă în cazul călirii superficiale. Pentru măsurarea adâncimii de pătrundere a probelor secționate transversal, s-a folosit o lupă gradată cu puterea de mărire de 40 X. Cu valorile medii ale măsurărilor, s-au ridicat curbele reprezentate în fig. 29 ca influența a diametrului piesei și a avansului de lucru asupra adâncimii.

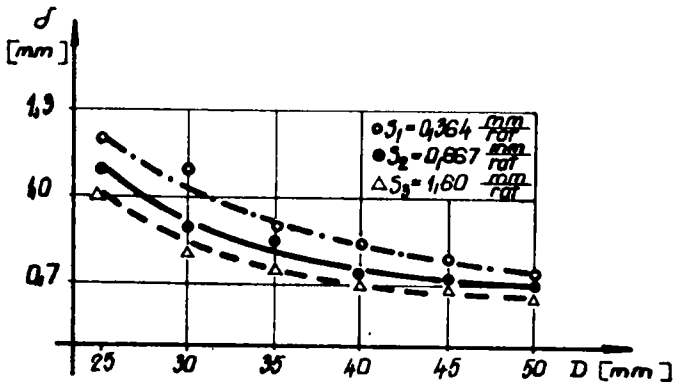


Fig. 29.- Influența diametrului piesei și avansului de lucru asupra adâncimii de pătrundere a stratului oălit (OLC 35).

stratului oălit. Variația avînd o tendință de scădere exponențială , s-a stabilit ecuația de forma :

$$\delta = \frac{S \cdot e^{3,3+1}}{S \cdot D} \quad [\text{mm}] \quad \text{VI.}$$

unde :

- e - baza logaritmului natural ;
- D - diametrul piesei [mm] ;
- S - avansul de lucru [$\frac{\text{mm}}{\text{rot}}$] ;

Influența intensității curentului electric din secundarul transformatorului, asociată cu variația diametrului piesei, precum și cu schimbarea avansului de lucru au influență asupra adîncimii de pătrundere, așa cum se vede în fig. 30.

Se observă din diagramele fig. 30 că în urma creșterii diametrului, intensitatea curentului din secundarul transformatorului crește de la valoarea de 3800 A pînă la 4300 A , respectiv cu aproximativ 500 A pentru toate cele trei avansuri de lucru. Adîncimea de pătrundere a stratului oălit variază între $\delta = 0,7 \dots 1,2$ mm.

Analizată influența diametrului piesei și a avansului de lucru asupra adîncimii de pătrundere asupra tensiunii din secundarul transformatorului s-au putut ridica curbele din fig. 31.

Din forma de variație a acestor curbe se constată că valori ale avansului mai mic , corespund pentru tensiuni de lucru mai mari. Valorile limită ale tensiunii din secundar sînt cuprinse între 1,55 1,75 Volți.

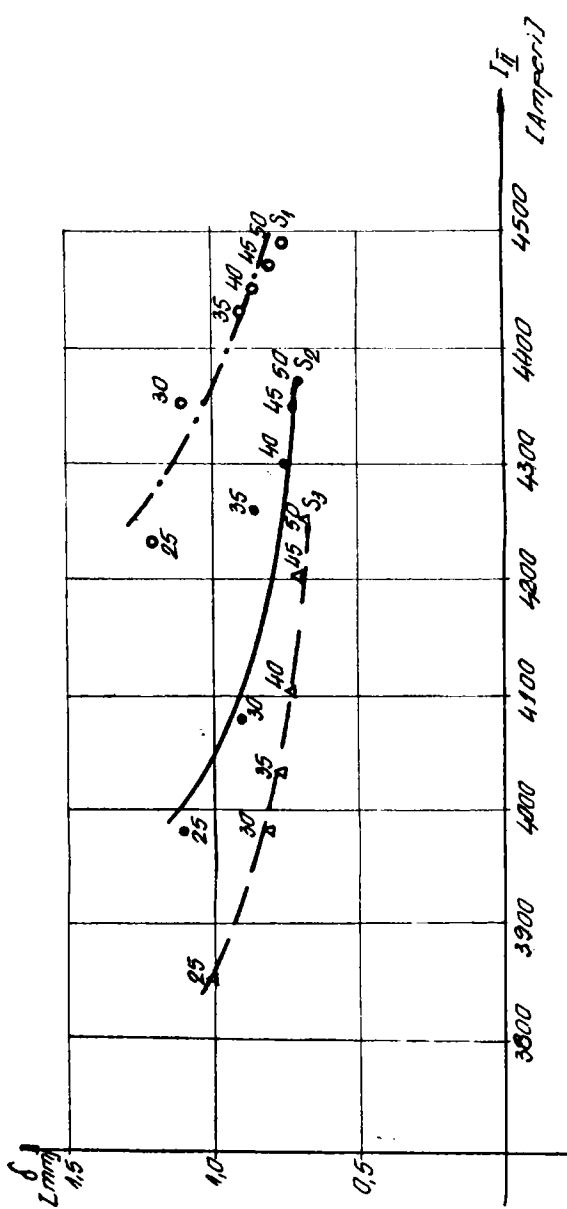


Fig. 30.-- Influența intensității curentului din secundarul transforma-
torului asupra adâncimii de pătrundere (OLC 35).

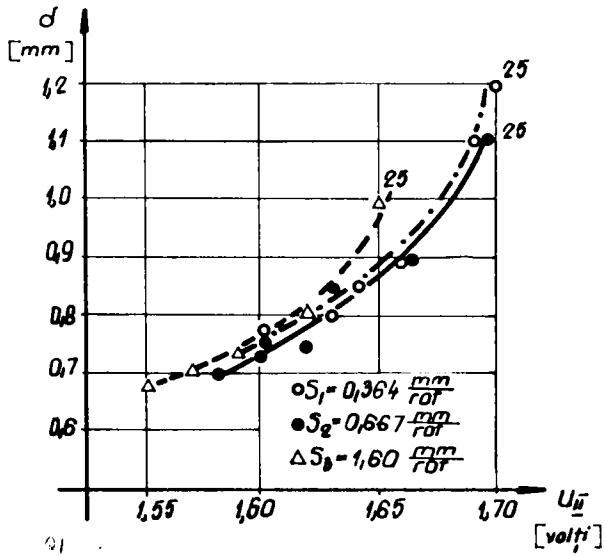


Fig. 31.- Legătura dintre adâncimea de pătrundere și tensiunea curentului din secundarul transformatorului (OLO 35).

VI.2. Cercetări efectuate asupra
oțelului OLC 45

Pe baza rezultatelor favorabile obținute pentru oțelul OLC 35 s-a trecut la experimentarea pe oțelul OLC 45.

Oțelul OLC 45 are compoziția chimică medie , conform tabelii 3. După cum se cunoaște, are concentrația în carbon imediat superioară oțelului OLC 35.

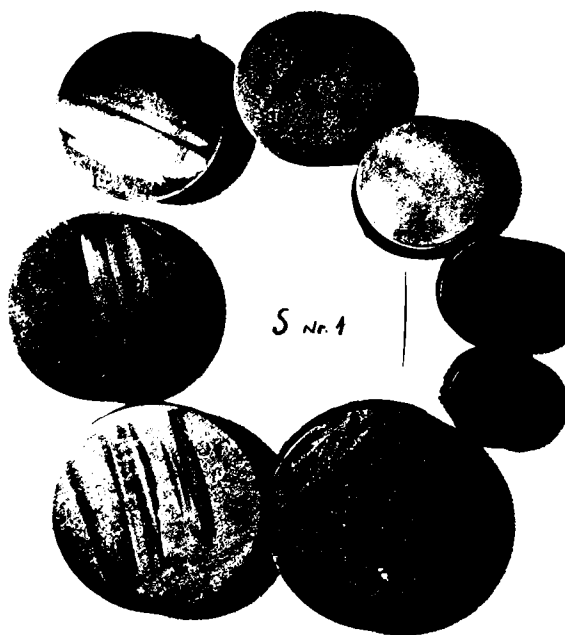
Literatura de specialitate și practica tratamentelor termice menționează că oțelul OLC 45 este foarte indicat la durificarea superficială și folosirea acestor piese pe scară largă în construcția de mașini. Acest oțel este des întâlnit fie durificat în întreg volumul , fie durificat superficial.

Plecînd de la acest considerent și anume la ga lui utilizare în construcția de mașini, sub formă tratată , s-au efectuat experimentări privind comportarea sa la călirea superficială prin contact electric , la frecvența industrială de 50 Hz.

. // .



Fig. 33.- Vedere generală a probelor călite
superficial prin contact electric
(OLC 45).

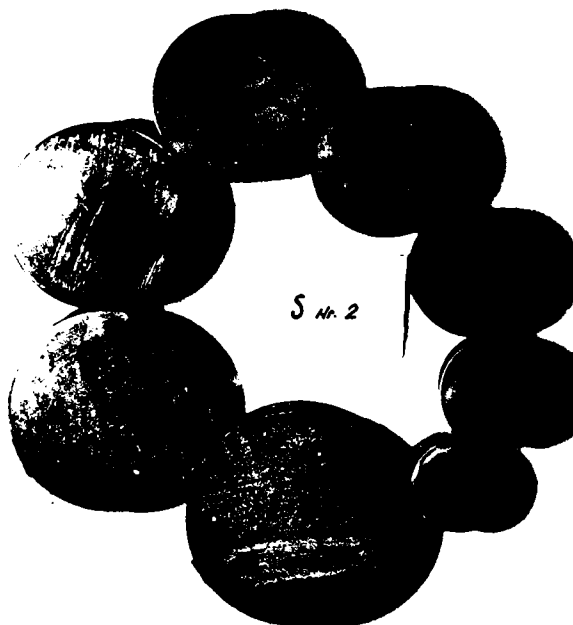


OLC 45

Probe de la \varnothing 25 la
 \varnothing 60

S = 0,182 mm/rot.

Fig. 34.- Macrografie 1:1

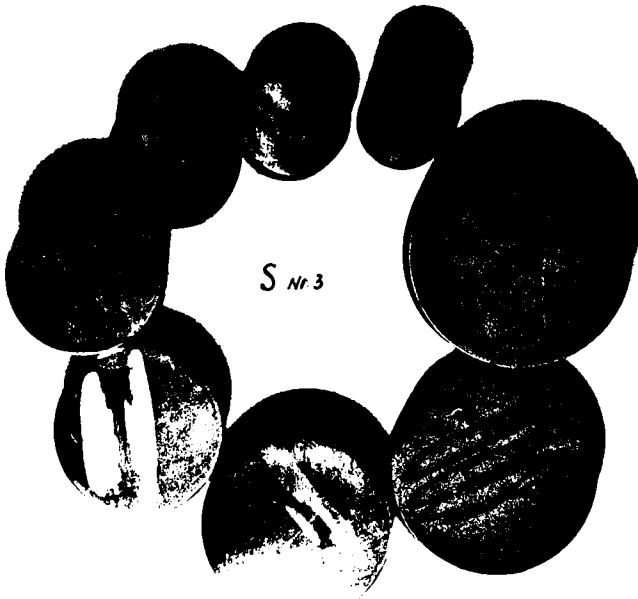


OLC 45

Probe de la \varnothing 25 la
 \varnothing 60

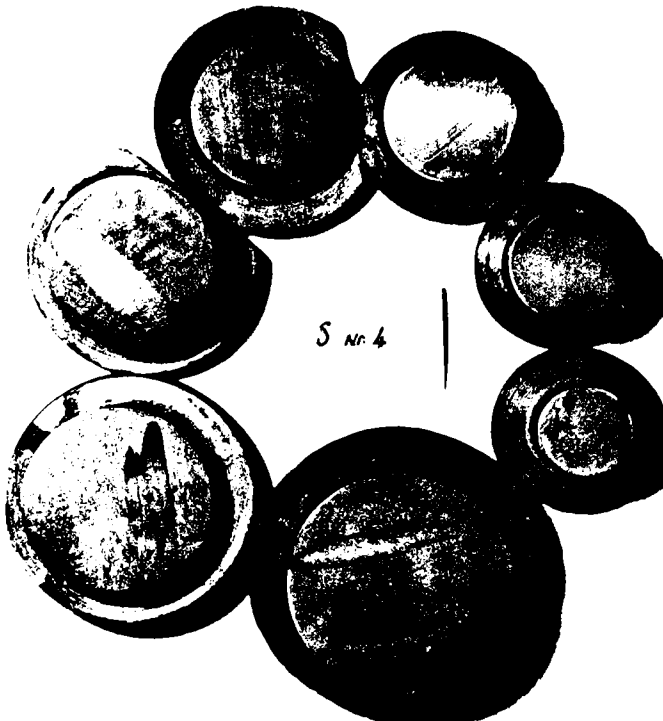
s = 0,364 mm/rot.

Fig. 35.- Macrografie 1:1



OILC 45
Probe de la ϕ 25
la ϕ 60
s = 0,667 mm/rot.

Fig. 36.- Macrografie 1:1



OILC 4
Probe de la ϕ 25
la ϕ 60
s = 1,60 mm/rot.

Fig. 37.- Macrografie 1:1

TABELA 6

Parametri mäsurați la călirea superficială a oțelului OLC 45

Nr crt	Viteza v rot/ mm	Avans s/mm/ rot	Viteză mm/ min	Tensiunea U volt		Curentul I amp		Puterea kW	Durețea HRC	Adâncimea strafului mm	
				\bar{U}	\bar{U}	\bar{I}	\bar{I}				
1	15	0,182	118	257	1,83	25,5	3580	6,55	60	1,90	
2	15	0,364	118	255	1,79	25	3560	6,38	58	1,80	∅ 25
3	15	0,667	118	252	1,72	24,5	3600	6,18	57	1,65	
4	15	1,60	118	250	1,65	24,1	3650	6,03	55,5	1,60	
1	15	0,182	142	260	1,80	26	3750	6,75	59	1,40	
2	15	0,364	142	257	1,77	25,5	3700	6,55	57	1,15	
3	15	0,667	142	255	1,69	25,0	3770	6,37	56,5	1,12	∅ 30
4	15	1,60	142	252	1,63	24,5	3800	6,18	55,2	1,08	
1	15	0,182	165	262	1,18	26,3	3860	6,90	56	1,1	
2	15	0,364	165	260	1,74	25,8	3850	6,70	57	1,1	
3	15	0,667	165	257	1,67	25,3	3890	6,50	56	1,1	∅ 35
4	15	1,60	165	254	1,62	24,8	3890	6,30	54,5	1,1	
1	15	0,182	189	265	1,75	26,5	4020	7,03	57	0,98	
2	15	0,364	189	262	1,73	26,2	3970	6,83	56,5	0,95	
3	15	0,667	189	258	1,65	25,8	4030	6,65	55,8	0,90	∅ 40
4	15	1,60	189	254	1,60	25,0	3970	6,35	54,5	0,90	
1	15	0,182	212	265	1,74	26,8	4080	7,10	57	0,95	
2	15	0,364	212	263	1,70	26,5	4050	6,95	56,3	0,93	
3	15	0,667	212	260	1,64	26,0	3710	6,70	55,5	0,87	∅ 45
4	15	1,60	212	256	1,57	25,5	3670	6,55	54,3	0,85	
1	15	0,182	236	267	1,71	26,9	4200	7,18	56,5	0,90	
2	15	0,364	236	265	1,68	26,5	4180	7,03	56	0,85	
3	15	0,667	236	261	1,61	26,2	4220	6,85	55,3	0,77	∅ 50
4	15	1,60	236	258	1,56	25,8	4270	6,66	54	0,75	
1	15	0,182	260	269	1,69	27,5	4370	7,40	55,8	0,85	
2	15	0,364	260	267	1,65	27,0	4360	7,20	55,5	0,80	
3	15	0,667	260	264	1,60	26,5	4380	7,00	55	0,75	∅ 55
4	15	1,60	260	259	1,55	26,1	435	6,75	54	0,70	
1	15	0,182	284	273	1,65	27,5	4550	7,50	55,5	0,75	
2	15	0,364	284	269	1,60	27	4530	7,25	55	0,70	
3	15	0,667	284	265	1,55	26,5	4520	7,02	54,8	0,60	∅
4	15	1,60	284	261	1,53	26,1	4450	6,80	53,8	0,55	

Gama de dimensiuni a fost $D = 25,30,35,40, 50,55,60$ mm, toate fiind buloane din producția curentă a Uzinei de vagoane din Arad.

Experimentările pe această marcă de oțel s-au efectuat lucrînd cu patru avansuri de lucru $S_1 = 0,182 ; 0,364 ; 0,667$ și $1,60 \frac{\text{mm}}{\text{rot}}$ așa cum se vede în fig. 33 și 34, 35, 36, 37.

În tabela 6 sînt prezentate valorile măsurate.

VI.2.1.- Influența diametrului piesei asupra parametrilor electrici

In fig. 38 este redată influența pe care o are creșterea dimensiunii piesei călitate asupra intensității curentului din primarul transformatorului.

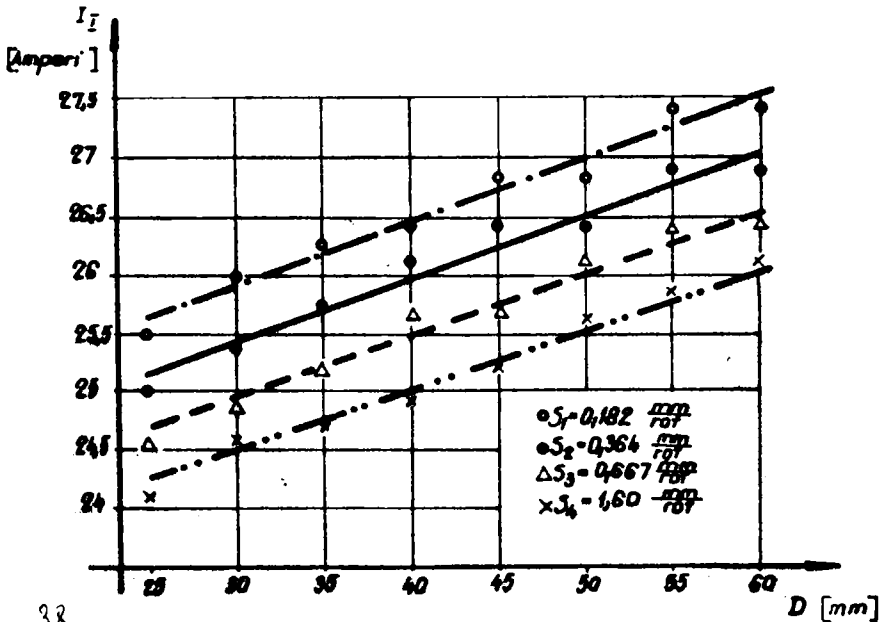


Fig. 38.- Variația intensității curentului în primarul transformatorului în funcție de diametrul călit (OIG 45).

Se observă din curbele ridicate că pe măsură ce valoarea diametrului crește, intensitatea curentului crește. Intensitatea curentului are valori mai ridicate la valori ale avansului de lucru mai mici.

S-a aproximat variația ca fiind lineară pentru care s-a stabilit ecuația de legătură sub forma :

$$I_1 = K_1 D + B_1$$

$$[A]$$

VI.11

Coeficienții K_1 , B_1 sînt redați în tabela 7.

TABELA 7

Valorile coeficienților K_1 și B_1

$S \frac{\text{mm}}{\text{rot}}$	K_1	B_1
0,182	0,075	23,5
0,364	0,070	23,0
0,667	0,065	22,5
1,60	0,063	22,3

În fig. 39 este prezentată influența pe care o are diametrul de călire asupra tensiunii din secundarul transformatorului. Din reprezentarea grafică se observă că tensiunea scade pe măsură ce diametrul crește. Variația este aproximată ca fiind liniar-descrescătoare , pentru care s-a stabilit ecuația generală sub forma :

$$U_2 = 5,4 D + S(D-0,2) + 1,99 \quad [V] \quad \text{VI.}$$

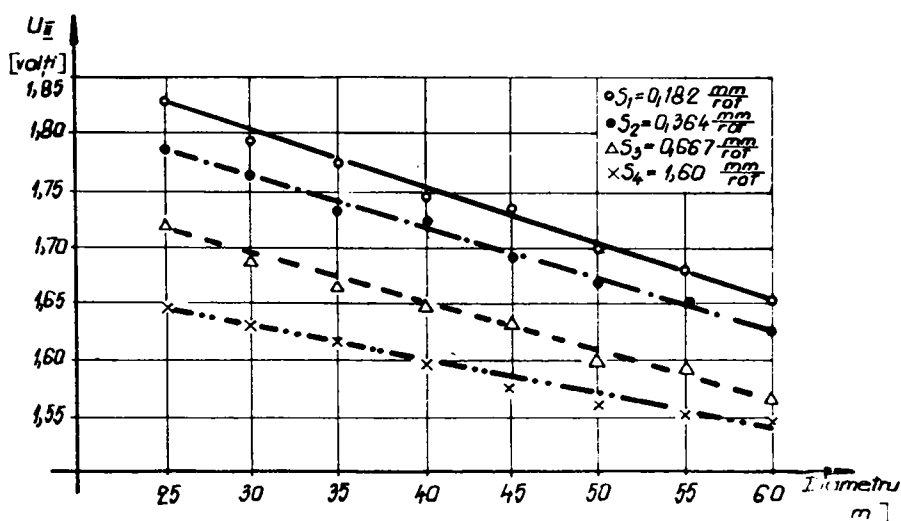


Fig. 39.→ Influența diametrului asupra tensiunii.

Relația se aplică pentru $S = (0,182 \dots 0,667)$ mm/rot.

Pentru cazul când se lucrează cu $S = 1,60$ mm/rot, relația de calcul va fi :

$$U_2 = -4 \cdot 10^{-3} \cdot D + 1,77 \quad [V] \quad \text{VI.12}$$

unde :

$$D = \text{diametrul piesei} \quad [mm]$$

Interdependența dintre intensitatea curentului din primar și cea din secundarul transformatorului în funcție de creșterea diametrului și avansului este redată în fig. 40. Această reprezentare grafică este utilă în cazul dimensionării electrice a instalației.

Influența creșterii diametrului piesei călite asupra puterii consumate este redată în fig. 41, din care se poate deduce puterea efectivă consumată în timpul procesului de încălzire în vederea oălirii superficiale.

Variația este aproximată ca fiind lineară-crescătoare la care s-a stabilit următoarea relație pentru curbele $S = 0,182$; $0,364$ și $0,667$

$$P = 26,5 D - S (D + 1) + 6,15 \quad [kw] \quad \text{VI.13}$$

iar pentru $S = 1,60$ mm/rot.

$$P = 22,8 D + 5,48 \quad [kw] \quad \text{VI.14}$$

unde :

$$D = \text{diametrul piesei} \quad [m]$$

Se observă din aceste diagrame că puterea electrică consumată este mai mare când se lucrează cu avansuri mici și crește odată cu creșterea diametrului de oălire.

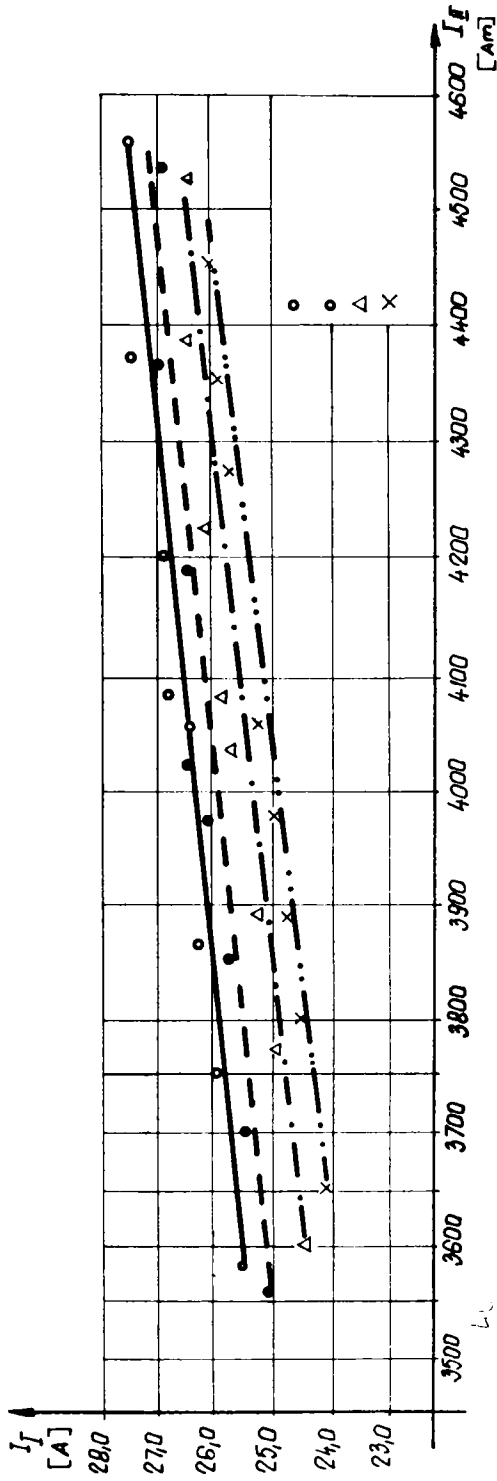


Fig. 40.- Interdependența dintre intensitatea curentului din primar și al secundarului transformatorului (OIG 400)

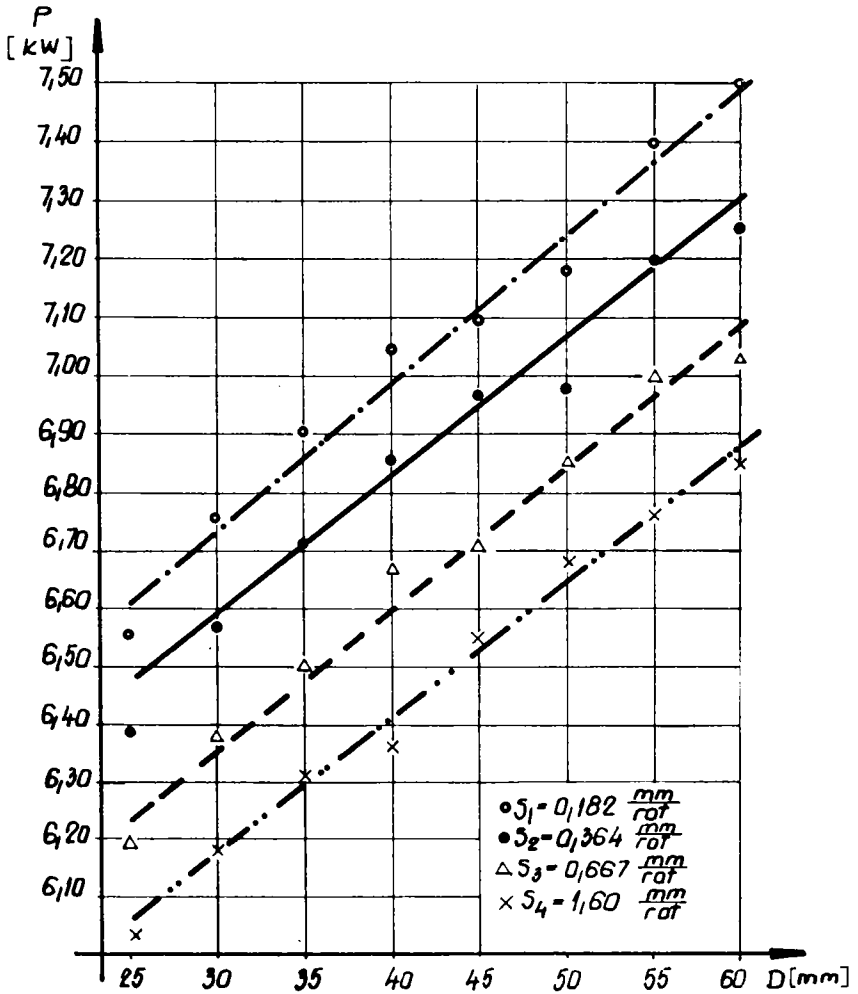


Fig. 41.- Influența diametrului și avansului asupra puterii consumate (OLC 45).

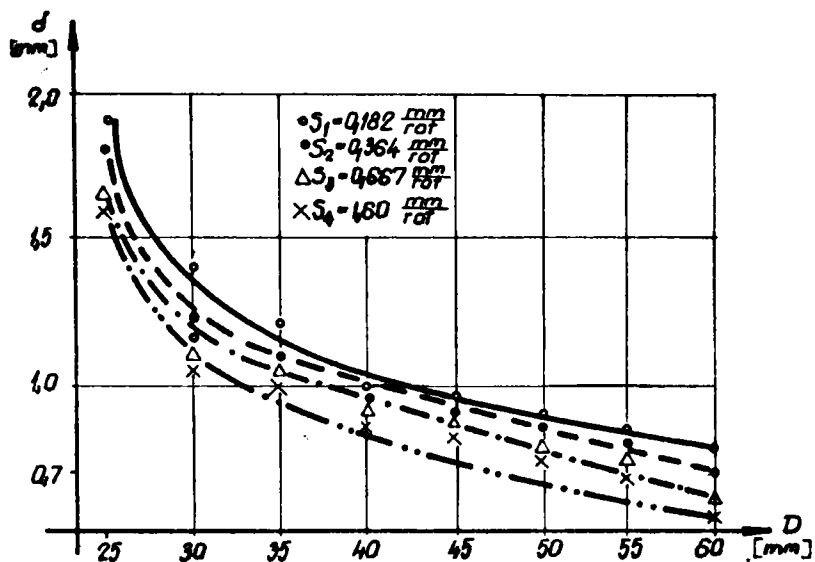
VI.2.2. Influența diametrului piesei și a parametrilor electrici asupra adâncimii de pătrundere.

În urma măsurării stratului călit la piesele de oțel în considerare (fig.33) pentru oțelul OLC 45 s-au putut ridica diagramele fig. 42, a,b care arată legătura dintre adâncimea stratului călit δ , obținut în urma călirii pentru diferite valori ale diametrului.

Așa după cum se vede în tabela 8 s-au făcut încercări de încălzire superficială pe oțelul OLC 45 cu diametrul $\varnothing 40$, folosind o putere electrică mai mare cu 40-50%, adică $P = 10 \dots 11$ kw. Adâncimea stratului călit se observă că nu a fost influențată.

TABELA 8

Nr. crt.	Viteză v rot/min	Viteză S mm/rot	Viteză v m/min	Tensiunea U volți		Curentul I amperi		Puterea P kw	Durețea HRC	Adâncimea stratului δ mm
				\bar{I}	\bar{I}	\bar{I}	\bar{I}			
1	15	4,60	4,89	305	1,55	21	4130	6,4	54,5	0,9
2	15	0,667	4,89	320	1,6	23	4600	7,35	55,8	1,0
3	15	0,364	4,89	365	1,8	28	5600	10,2	56,5	1,1
1	15	4,60	4,89	280	1,6	22	3850	6,15	55	0,8
2	15	0,667	4,89	295	1,7	27	4680	7,95	55,9	1,1
3	15	0,364	4,89	335	1,85	33	6150	11	56	1,15
1	15	1,601	4,89	275	1,65	23	3840	6,33	54,7	0,9
2	15	0,667	4,89	305	1,75	28	4000	8,55	55,3	1,0
3	15	0,364	4,89	335	1,90	34	6000	11,4	55,8	1,1
1	15	4,60	4,89	315	1,6	19	3740	6,00	55	0,9
2	15	0,667	4,89	335	1,7	22	4350	7,35	56	1,1
3	15	0,364	4,89	370	1,85	27	5400	10,0	56,6	1,2



42

Fig. 42 a.- Influența diametrului asupra adâncimii de pătrundere a stratului oălit (OLG 45)

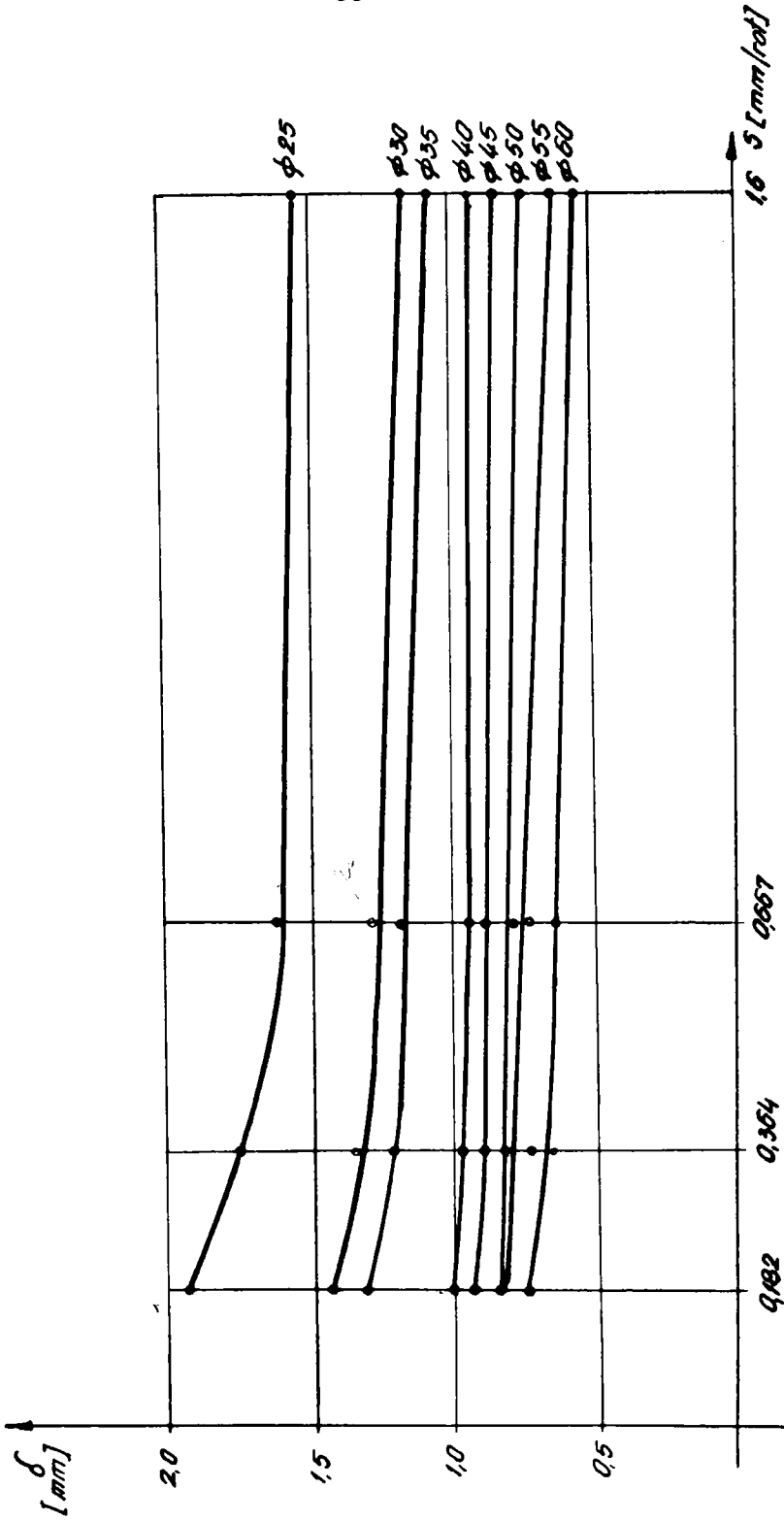


Fig. 42 b.- Influența diametrului asupra adâncimii de pătrundere a stratului călit (OIC 45).

La aprecierea adîncimii stratului călit trebuie să se țină seama că acesta depinde de mai mulți factori, cum ar fi : permeabilitatea materialului, rezistivitatea lui, adîncimea stratului pelicular, și intensitatea curentului. La aplicarea procedurii experimental se poate arăta că aproape întreaga cantitate de căldură produsă se află în stratul pelicular de adîncime $p = \delta + \epsilon$.

Încălzirea făcîndu-se cu viteză mare, în cît stratul cald nu pierde prin conducție decît o parte neglijabilă din căldura sa, se poate presupune că adîncimea stratului călit δ va fi de același ordin de mărime ca și adîncimea stratului pelicular p . ($\delta \approx p$).

Deoarece frecvența în cazul procedurii se poate considera constantă, în realitate o bună parte din căldura produsă în stratul superficial se transmite prin conducție straturilor mai adînci. În aceste condiții, stratul de material încălzit la temperatura de călire poate să crească în funcție de durata încălzirii. Se observă din diagramele din fig. 38 că încălzirea mai prelungită, adică avansurile de lucru mai mici, a condus la obținerea unor straturi călite mai adînci.

Căldura în piesă se distribuie la periferia secțiunii $p \approx \delta$ care este relativ mică. S-a constatat că densitatea de căldură I_a nu se poate considera repartizată uniform decît pe o adîncime $\frac{p}{\sqrt{2}}$, datorită structurii materialului și a calității suprafeței. Considerînd că $\delta \approx p$ și că aceasta reprezintă adîncimea de pătrundere a călirii pe această adîncime se consideră curentul concentrat cu o densitate uniformă. Rezistența pe care o întîmpină acest curent și deci puterea disipată în conductor va fi egală, respectiv cu rezistența și puterea din cazul real.

Se poate scrie dacă se consideră egalitatea dintre energiile disipate și a curenților , următoarea relație :

$$R_o \cdot I_a^2 = R \cdot I_a^2 \quad \text{VI.15}$$

unde :

R_o - rezistența conductorului echivalent cu rezistență uniformă de curent [Ω]

Această rezistență se poate calcula ca în cazul curentului continuu :

$$R_o = R_o \frac{a}{2(1 - \frac{d}{2a})d} \quad \text{VI.16}$$

dacă $R_o = R$ se obține :

$$d(1 - \frac{d}{2a}) = \frac{1}{2} a \frac{R_o}{R} \quad \text{VI.17}$$

$$d = a (1 - \sqrt{1 - \frac{R_o}{R}}) \quad \text{VI.18}$$

dacă însă $\frac{a}{p} \gg 10$ rezultă $\frac{R_o}{R} \approx 2 \frac{p}{a}$

$$\text{și se obține : } d = a (1 - \sqrt{1 - \frac{2p}{a}}) \quad \text{VI.19}$$

$$\text{exemplu : } \frac{a}{p} \gg 10 \quad a = 10 p$$

dacă $p = 1,5 \text{ mm}$ atunci $a = 15$

înlocuind în relația VI.19 se obține :

$$d = 15 (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,5}{15}})$$

$$d = 1,66 \text{ mm}$$

Diagramele din fig. 43 reprezentînd $d = f(D)$ au o tendință exponențială. Pentru calculul valorii d , s-a stabilit următoarea relație :

$$d = \frac{0,1 D + 7}{0,2 \pi [\sqrt{3 + (\frac{D}{10})^2}] - 0,3 S} \quad [\text{mm}] \quad \text{VI.20}$$

unde :

D - diametrul piesei [mm]

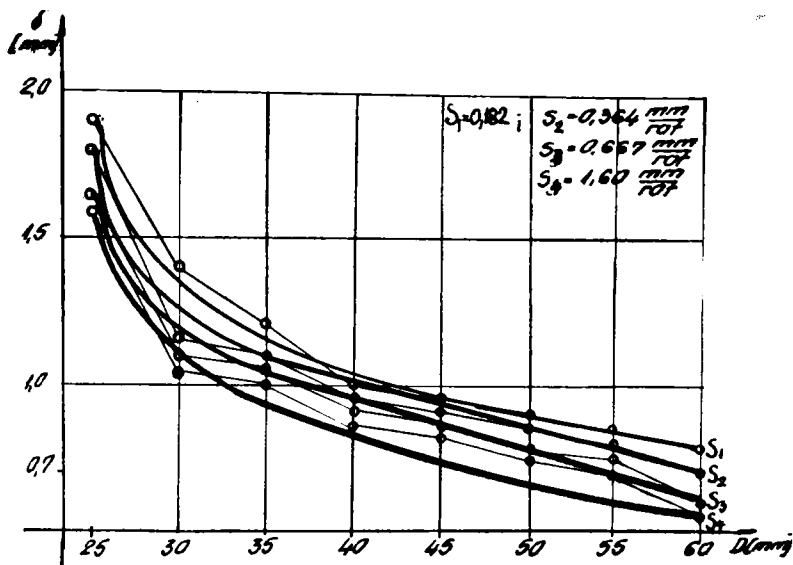


Fig. 43.- Influența diametrului asupra adâncimii de pătrundere.

Influența intensității curentului electric din secundarul transformatorului asupra adâncimii stratului călit este redată în curbele din fig. 44. Se observă că odată ce diametrul piesei crește, intensitatea curentului crește în limite destul de mari (3600 4400) A în timp ce adâncimea stratului călit descrește în limite relativ restrânse (1,9 0,7) mm.

S-au stabilit următoarele relații generale :

$$\delta = \frac{0,6 \cdot I_2}{e(U_1 + 0,22 D^2)} - 0,3 S \quad [\text{mm}] \quad \text{VI.21}$$

unde :

$$I_2 = 1,8 D (100 - D) \quad [\text{A}] \quad \text{VI.22}$$

e - baza logaritmului natural ;

U_1 - tensiunea curentului din primar [V] ;

D - diametrul piesei [mm]

În diagramele din fig. 45 se reprezintă legătura dintre adâncimea de pătrundere a stratului călit și tensiunea din secundarul transformatorului. Dacă se consideră acest parametru, alături de curbele permit scrierea relației pentru adâncimea stratului călit în funcție de tensiune sub forma :

$$\delta = \frac{100 U_2}{1,25 e^4 + 2D} \quad [\text{mm}] \quad \text{VI.23}$$

. // .

Pentru tensiune în funcție de diametru sub forma :

$$U_2 = \frac{3300}{D(100-I, 1D)} - 0,25 \text{ S} \quad [V] \quad \text{VI,24}$$

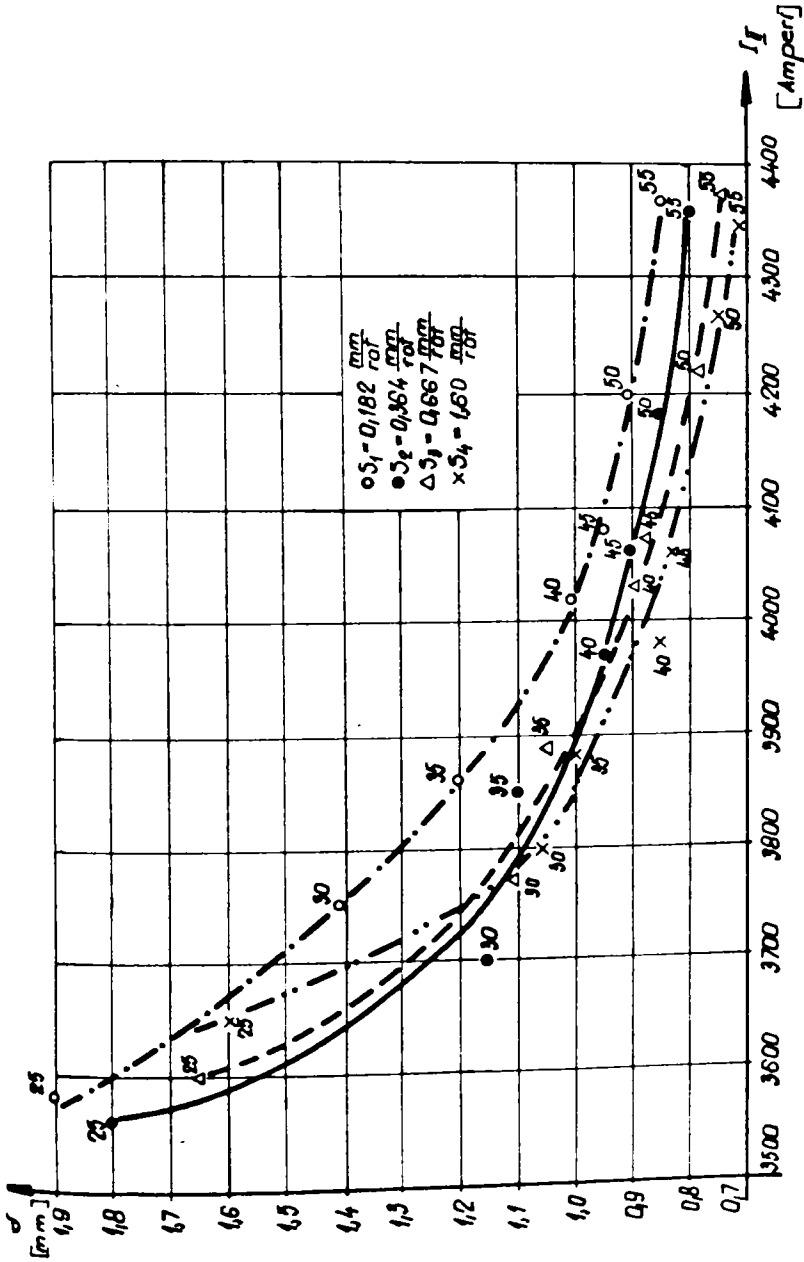


Fig. 44.- Influența inter-diametrii bobinajului din secundarul transformatorului pe adâncimea stratului călit (OLC 45).

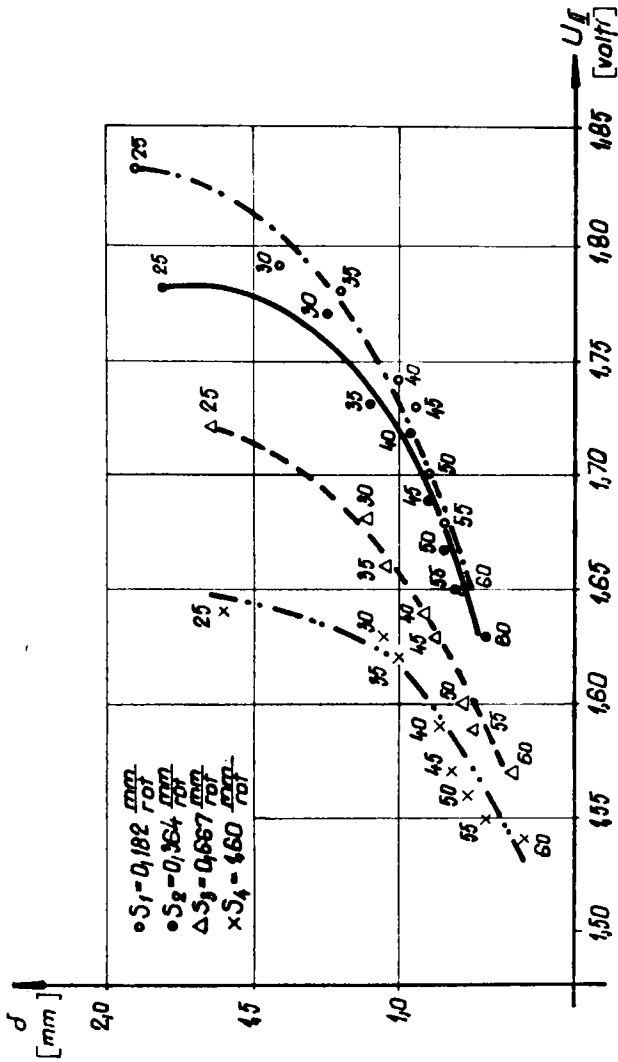


Fig. 45.-- Legătura dintre tensiunea din secundar și adâncimea de pătrundere a stratului călit (OILC 45).

VI.2.3. Măsurarea durtății stratului superficial.

În urma măsurărilor de duritate Rocwell, s-au ridicat diagramele din fig. 46. Se observă că aceste diagrame au o tendință linear-iescrescătoare cu creșterea diametrului de călire, însă valorile limită se păstrează cuprinse între 55...59 HRC pentru \emptyset 25 și de 53...55 HRC pentru \emptyset 60 mm.

Pentru dreptele aparținând lui S_1 , S_2 , S_3 s-a stabilit următoarea lege de variație :

$$H = 0,1 D(S - 1,3) - 10 S + 64 \text{ [Unit HRC]} \quad \text{VI.25}$$

iar pentru dreapta $S_4 = 1,60$ mm/rot.

$$H = 56,2 - 4,4 \cdot 10^{-2} D \text{ [Unit HRC]} \quad \text{VI.26}$$

d - diametrul piesei [mm]

Din această reprezentare se observă că la o creștere a avansului de lucru de la $S_1 = 0,182$ la $S_3 = 0,664$, adică de aproximativ patru ori sau chiar $S_4 = 1,60$ adică aproximativ de opt ori nu a rezultat o scădere a durtății sub 53 HRC, care să facă piesele necorespunzătoare din punct de vedere al durtății.

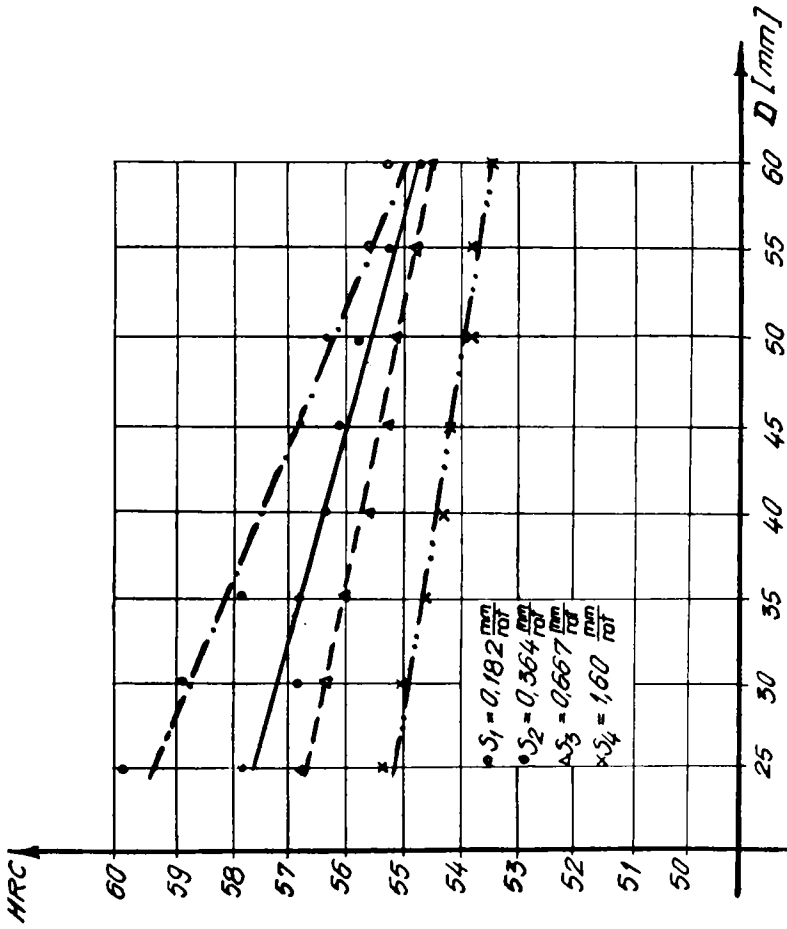


Fig. 46.- Influența diametrului și a avansului asupra durezza
stratului carit (OIC 45).

VI.3.- Cercetări efectuate asupra unor oțeluri aliate.

Oțelurile aliate cercetate din punct de vedere al călirii superficiale au fost : 50 VC 11 din grupa oțelurilor Cr-V, G 60 Mn Si 16 din grupa oțelurilor Mn - Si și oțelul Arc 8 din grupa oțeluri Cr-Si. Măsurările efectuate sînt trecute în tabelele 9, 10 și 11. În fig. 47...57 sînt prezentate macrografiile unor probe.

Pentru a avea o vedere de ansamblu mai clară asupra comportării la călire superficială a acestor oțeluri, se vor prezenta rezultatele obținute în mod comparativ pentru fiecare marcă de oțel. În acest fel se va putea urmări mai bine efectul elementelor de aliere asupra rezultatelor călirii (adîncimea stratului călit și duritatea acestuia), precum și limitele de variație a parametrilor electrici ai instalației, în vederea dimensionării acesteea.

TABELIA 9

Parametri măsurați la călirea superficială a oțelului 50 VC 11

Nr. crt.	Viteza v, m/min	Adâncimea s, mm	Tensiunea U, volt		Curentul I, ampere		Puterea Kw	Duritatea HRC	Adîncimea stratului d, mm	
			I	II	I	II				
1	15	0,364	1,18	325	1,7	20	3830	6,50	57	1,5
2	15	0,667	1,18	320	1,68	19,5	3720	6,25	55	1,4
3	15	1,60	1,18	315	1,65	19	3640	6,00	54	1,3
1	15	0,364	1,42	330	1,67	20,5	4050	6,76	55	1,3
2	15	0,667	1,42	325	1,65	20	3940	6,50	53	1,2
3	15	1,60	1,42	320	1,63	19,5	3830	6,24	52	1,1
1	15	0,364	1,65	330	1,65	21	4210	6,94	54	1,1
2	15	0,667	1,65	325	1,63	20,5	4090	6,67	52	1,0
3	15	1,60	1,65	320	1,60	20	4000	6,40	51	0,9
1	15	0,364	1,89	335	1,63	22	4520	7,35	53,2	0,95
2	15	0,667	1,89	330	1,61	21	4300	6,90	51,5	0,80
3	15	1,60	1,89	325	1,58	20,5	4200	6,65	50	0,75

TABELA 10

Parametri măsurați la călirea
superficială a oțelului G 60 Mn Si 16

Nr ord	Durata t min	Avans s mm/rot	Viteza mm/min	Tensiunea U, volți		Curent I, amperi		Puterea kw	Dințatarea HRC	Adâncimea stratului f, mm
				I	II	I	II			
1	15	0,364	1,18	325	1,72	21	3960	6,80	58	1,5
2	15	0,667	1,18	320	1,70	20	3770	6,40	57	1,1
3	15	1,60	1,18	315	1,67	19	3600	6,00	55,5	1,0
1	15	0,364	1,42	330	1,7	22	4270	7,25	57,5	1,0
2	15	0,667	1,42	325	1,68	21	4130	6,80	56	0,9
3	15	1,60	1,42	320	1,65	20	3880	6,40	55,5	0,9
1	15	0,364	1,65	330	1,67	23	4550	7,60	56,5	1,0
2	15	0,667	1,65	325	1,65	21,5	4230	7,00	55,5	0,9
3	15	1,60	1,65	320	1,62	20,5	4050	6,55	54	0,9
1	15	0,364	1,89	335	1,65	24	4850	8,0	56	1,1
2	15	0,667	1,89	330	1,62	22	4470	7,25	54,5	1,0
3	15	1,60	1,89	325	1,60	21	4250	6,80	53,5	0,9

TABELA 11

Parametri măsurați la călirea
superficială a oțelului Arc 8

Nr. crt.	Turații n rot.	Avans s mm/rot.	Viteza v _m mm/min	Tensiunea U volt		Curenții I amperi		Puterea Kw	Durețea HRC	Adâncimea stratului δ mm
				I	II	I	II			
1	15	0,7	1,18	325	1,75	23	4270	7,48	65	1,3
2	15	0,67	1,18	330	1,70	21	4080	6,93	64,5	1,1
3	15	1,60	1,18	345	1,68	19	3900	6,55	63,5	1,0

1	15	0,364	1,42	320	1,73	23	4250	7,36	64	1,2
2	15	0,667	1,42	330	1,68	22	4320	7,26	63	1,1
3	15	1,60	1,42	340	1,65	21	4330	7,15	62,5	1,0

1	15	0,364	1,65	325	1,70	23	4400	7,48	63,5	1,1
2	15	0,667	1,65	330	1,65	21	4200	6,93	62,5	1,0
3	15	1,60	1,65	335	1,62	20	4180	6,70	61,5	0,9



50 VC 11
Ø 25

Proba nr. 4.3 avans s= 0,364 mm/ro



Proba nr. 4.2 avans s= 0,667 mm/ro



Proba nr. 4.1 avans s= 1,60 mm/rot

Fig.47.- Scara 1:1



50 VC 11
Ø 30

Proba nr. 3.3 avans s= 0,364 mm/rot

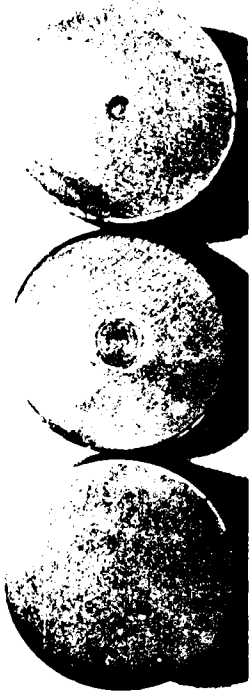


Proba nr. 3.2 avans s= 0,667 mm/rot



Proba nr. 3.1 avans s= 1,60 mm/rot

Fig. 48.- Scara 1:1



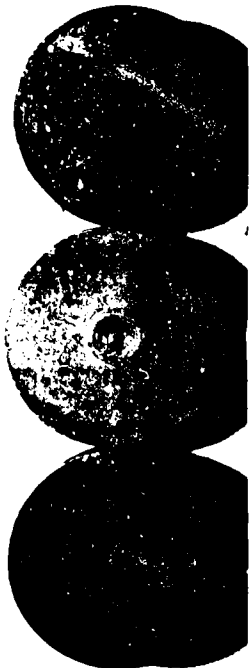
50 VC 11
Ø 35

Proba nr. 2.3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 2.2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Proba nr. 2.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 49. Soara 1:1



Proba nr. 1.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Proba nr. 1.3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 1.2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Fig. 50.- Soara 1:1



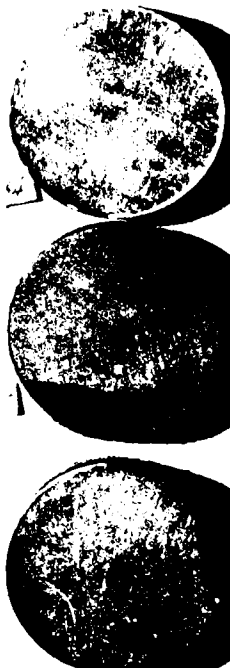
G 60 MnSi 16
Ø 25

Proba nr. 8.3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 8.2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Proba nr. 8.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 51.- Scara 1:1



G 60 MnSi 16
Ø 30

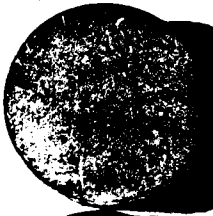
Proba nr. 7.3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 7.2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Proba nr. 7.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 52.- Scara 1:1

G 60 Mn Si 16
Ø 35



Proba nr. 6.3 avans $s = 0,364$ ot

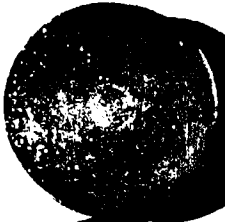


Proba nr. 6.2 avans $s = 0,667$ mm/rot



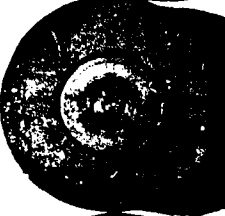
Proba nr. 6.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 53 .- Scara 1:1



G 60 MnSi 16
Ø 40

Proba nr. 5.3 avans $s = 0,364$ mm/rot



Proba nr. 5.2 avans $s = 0,667$ mm/rot



Proba nr. 5.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 54.- Scara 1:1

Arc 8
Ø 25



Proba nr. 11,3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 11,2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Proba nr. 11.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 55.- Scara 1:1

Arc 8
Ø 30



Proba nr. 10.3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 10.2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Proba nr. 10.1 avans $s = 1,60$ mm/rot

Fig. 56.- Scara 1:1

Arc 8

Ø 35



Proba nr. 9.3 avans $s = 0,364$ mm/rot

Proba nr. 9.2 avans $s = 0,667$ mm/rot

Proba nr. 9.1 avans $s = 1,60$ m rot

Fig. 57.- Scara 1:1

VI.3.1. Influența diametrului piesei asupra unor parametri electrici

Probele asupra cărora s-a efectuat studiul au avut diametrul de : 25, 30, 35 și 40 mm. Avansurile cu care s-a lucrat au fost : $S_1 = 0,364$ mm/rot ; $S_2 = 0,667$ mm/rot și $S_3 = 1,60$ mm/rot.

S-a folosit aceeași aparatură pentru măsurarea parametrilor electrici.

În diagramele din fig. 57, 58, 59 se reprezintă influența diametrului piesei asupra intensității curentului electric din primarul transformatorului în cazul oțelului 50 VC 11, G 60 MnSi 16 , respectiv Arc 8.

Din aceste diagrame se poate vedea că odată cu creșterea diametrului piesei, crește intensitatea curentului și în fiecare caz valorile mai ridicate ale intensității sînt pentru cazul cînd s-a lucrat cu $S_1 = 0,364$ mm/rot.

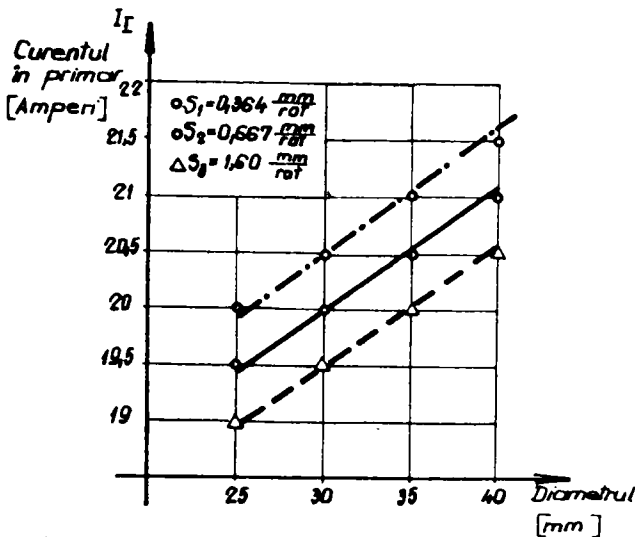


Fig. 58.- Influența diametrului piesei asupra intensității curentului din primar (50 VC 11).

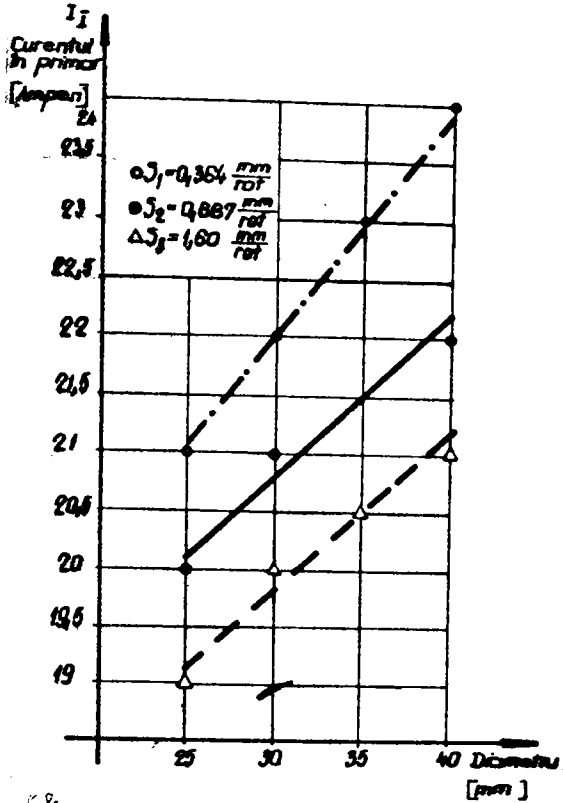


Fig. 58.- Influența diametrului piesei asupra intensității curentului din primar (G 60 MnSi 16)

Se observă de asemenea că I_1 are valori mai ridicate pentru mărcile G 60 MnSi 16 și Arc 8. Această creștere este influențată de compoziția chimică și în primul rând de creșterea procentului de carbon. Cu creșterea procentului de carbon apare necesitatea unei cantități mai mari de căldură pentru același diametru și viteză sporită de încălzire pentru dizolvarea cementitei în autenită. Efectul de grupă a oțelului, prin elementele caracteristice de aliere și anume manganul și cromul, are efectul de scădere a vitezei de dizolvare a cementitei în austenită.

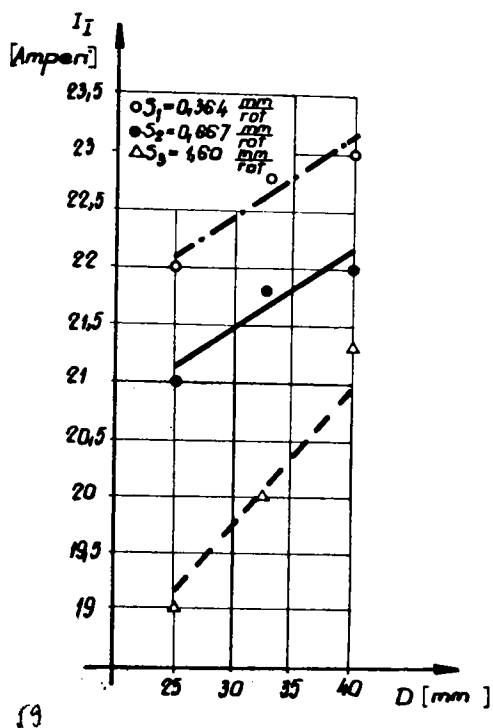


Fig. 59.- Influența diametrului piesei asupra intensității curentului din primar (Arc 8)

S-a stabilit în cazul dreptelor S_1 și S_2 pentru cele trei oțeluri, următoarea relație aproximativă, utilă în cazul proiectării instalației :

$$I_1 = 0,1 D (S + 1,16) + 10 S + 20 \quad [A] \quad VI.27$$

iar pentru S_3 relația :

$$I_1 = 7,50 D - 169 \quad [A]$$

unde :

D - diametrul piesei [mm]

S-a urmărit apoi influența pe care o are diametrul piesei asupra tensiunii curentului din secundarul transformatorului. În diagramele din fig. 60, 61, 62 sînt prezentate aceste măsurați din care se observă tendința de scădere a tensiunii curentului în urma creșterii diametrului piesei.

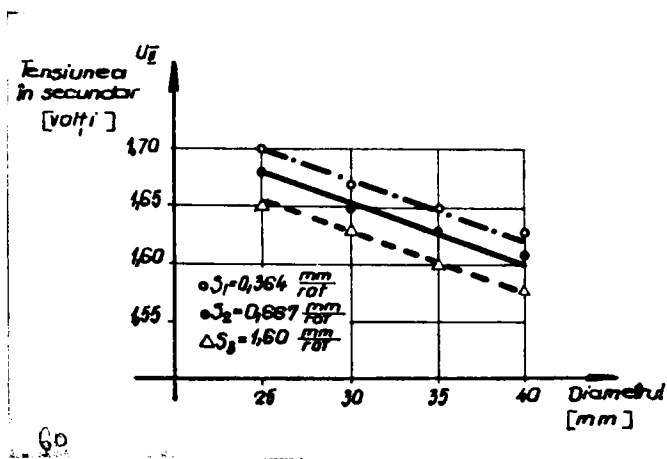


Fig. 60.- Variația tensiunii din secundarul transformatorului în funcție de diametrul călit (50 VC 11)

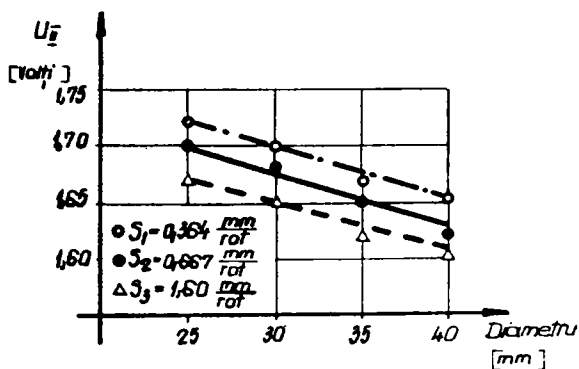


Fig. 61.- Variația tensiunii din secundarul transformatorului în funcție de diametrul călit (G 60 Mn51 16)

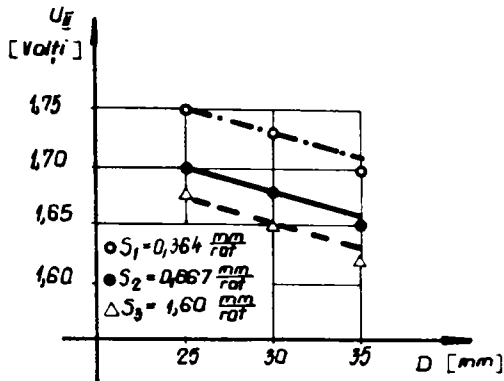


Fig. 62.- Variația tensiunii din secundarul transformatorului în funcție de diametrul călit (Arc 8)

Valorile limită ale tensiunii U_2 sînt pentru $\varnothing 25$ cuprinse între (1,25...1,70)V, iar pentru $\varnothing 40$ (1,55...1,65)V.

Influența diametrului piesei asupra puterii electrice consumate este reprezentată în diagramele din fig.63, 64, 65.

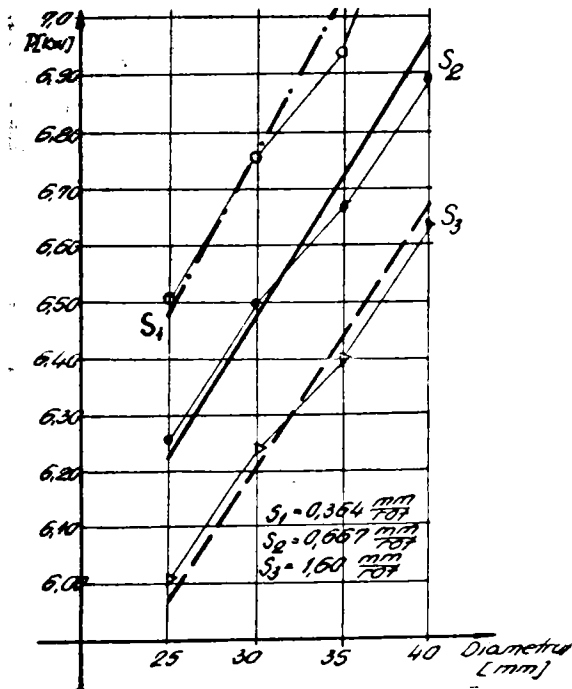


Fig.63.- Influența diametrului piesei asupra puterii electrice consumate (50 VC 11).

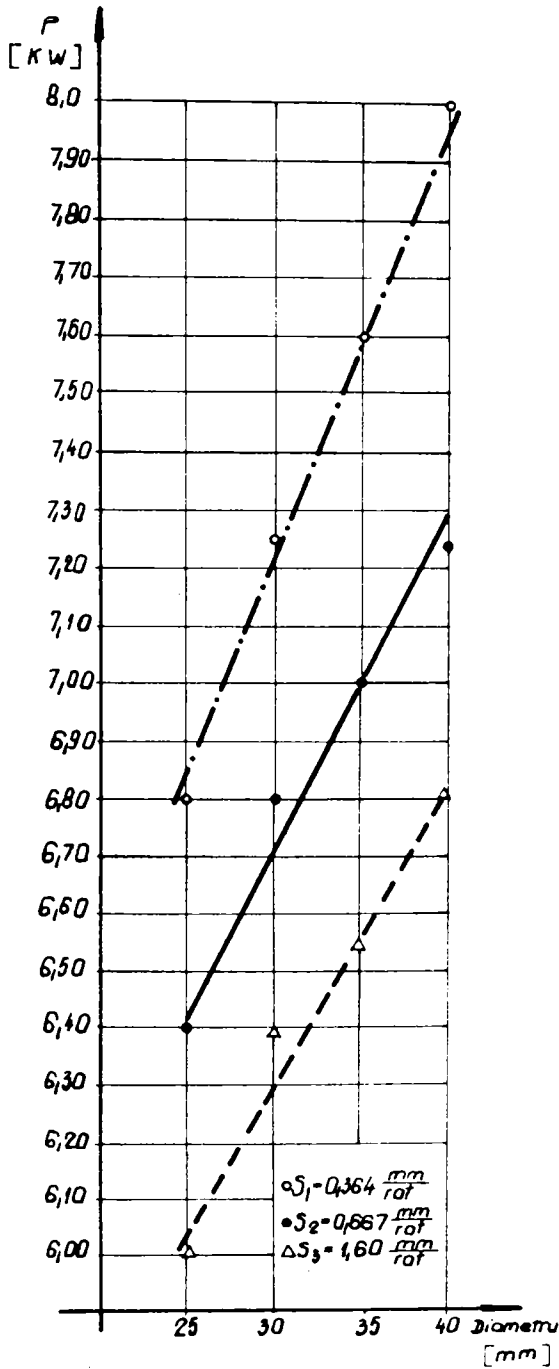


Fig. 64.- Influența diametrului piesei asupra
puterii consumate (G 60 Mn^c: 16)

. // .

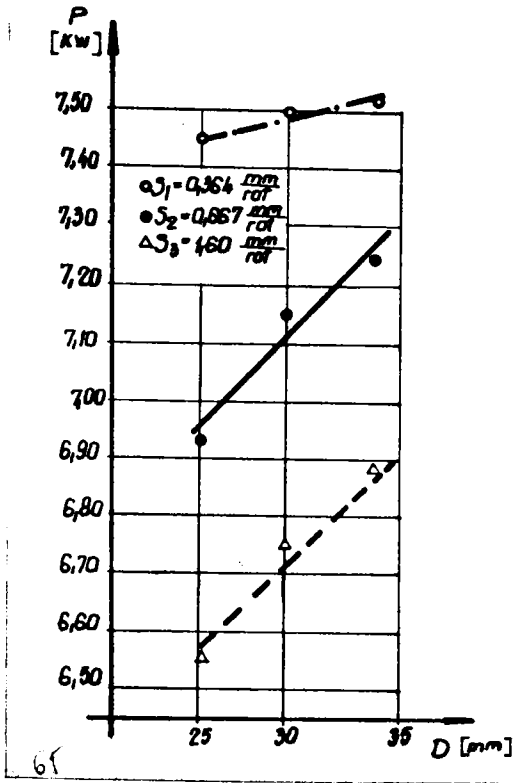


Fig. 65.- Influența diametrului piesei asupra puterii consumate (Arc 8)

Piesa de oțel deoarece este intercalată în circuitul electric alternativ, absorbția de putere la suprafața metalică este determinată de intensitatea curentului, de proprietățile electrice și magnetice ale metalului (rezistivitatea ρ și permeabilitatea magnetică μr) și de frecvență f .

În cazul frecvențelor înalte, absorbția de putere se poate exprima în funcție de adâncimea stratului pelicular care determină adâncimea pînă la care pătrunde căldura (vezi relația III.3).

În cazul încălzirii prin contact frecvența fiind constantă, $f = 50$ Hz absorbția de putere depinde de celelalte elemente care caracterizează proprietățile fizico-chimice și electrice ale materialului.

In fig. 66, 67 și 68 sînt prezentate diagramele care arată influența pe care o are diametrul piesei și avansul de lucru asupra intensității curentului din primar și secundar.

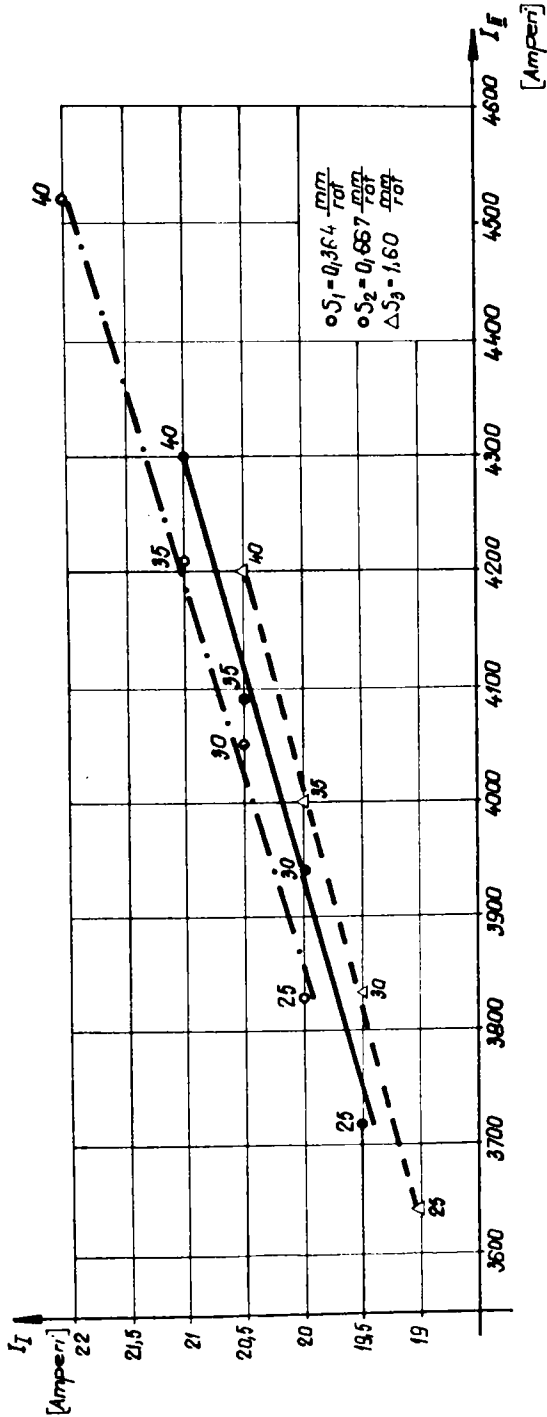


Fig. 66.- Influența diametrului și avansului de lucru asupra intensității curentului (50 VC II)

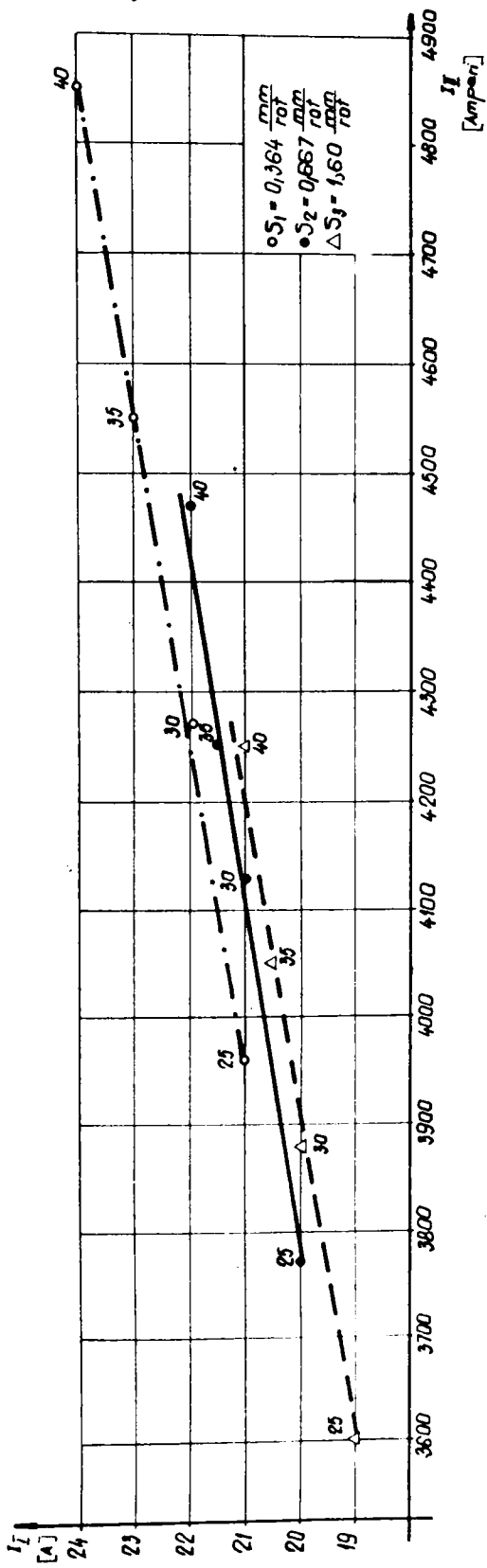


FIG. 67.- Influenta avansului și a curentului asupra intensității curentului (G 60 MmS1 16)

Se cunoaște că oțelurile nealiatate cu procentul de carbon cuprins între 0,1 ... 1 % 82 , la 20°C are rezistivitatea de aproximativ $10 \mu\Omega \text{ cm}$, iar la temperatura de călire 800 ... 900°C ajunge pînă la aproximativ $100 \mu\Omega \text{ cm}$. În cazul oțelurilor aliate chiar la temperatura de 20°C rezistivitatea este ridicată față de a oțelurilor nealiatate dar s-a observat că la temperatura de 800 ... 1000°C rezistivitățile se uniformizează la toate aliajele de fier, avînd aproximativ aceeași valoare ($120 \dots 130 \mu\Omega \text{ cm}$).

Din aceste diagrame se observă concordanța observațiilor teoretice și practice a unor cercetători [18], [19], [20, 43], [79], [82], cu rezultatele obținute în cazul procedurii studiat [75], [76]. Se constată că pe măsură ce crește procentul de carbon și cel al elementelor de aliere (50 VC 11 ; G 60 MnSi 16, Arc 8), pentru fiecare diametru luat în considerare s-au înregistrat puteri absorbite mai ridicate.

După legea lui Joule - Lentz din cauza creșterii secțiunii pieselor, rezistivitatea acestora scăzînd ar fi trebuit să ducă la scăderea puterii absorbite. Curbele ne apar însă linear-crescătoare , ceea ce se explică prin valoarea intensității curentului electric I_2 , care intervine în relație la puterea a doua.

Exprimarea analitică a curbelor S_1 și S_2 poate fi prezentată sub forma :

$$P = D (0,068 - 0,0335 S) + 5,10 \text{ [kw]} \quad \text{VI.28}$$

pentru oțelul 50 VC 11 ;

$$P = D (0,12 - 0,1 S) - 0,1 S + 4,96 \text{ [kw]} \quad \text{VI.29}$$

pentru oțelul G 60 MnSi 16 ;

$$P = D (0,01 + 0,05 S) + S + 6,01 \text{ [kw]} \quad \text{VI.30}$$

pentru oțelul Arc 8.

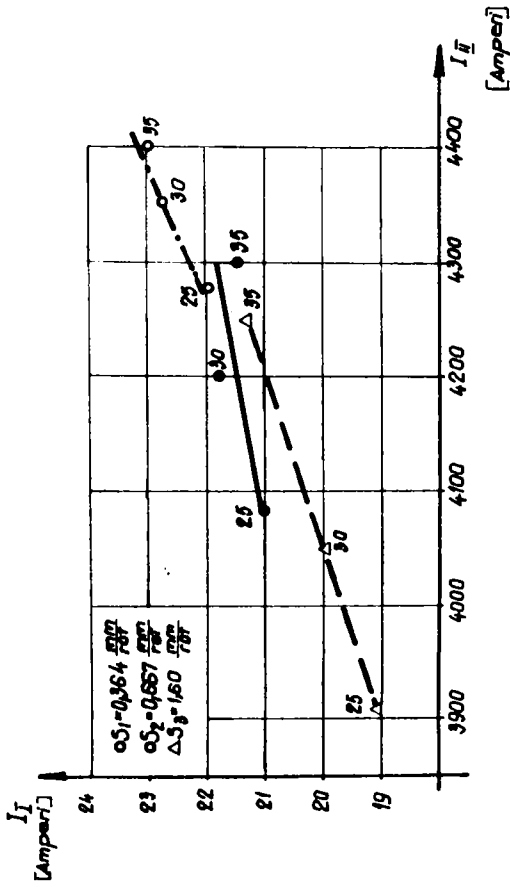


Fig. 68.- Influența diametrului și avansului de lucru asupra intensității curentului (A. I. C.)

In fig. 69, 70 și 71 se arată influența pe care o are diametrul piesei asupra intensității curentului din secundarul transformatorului.

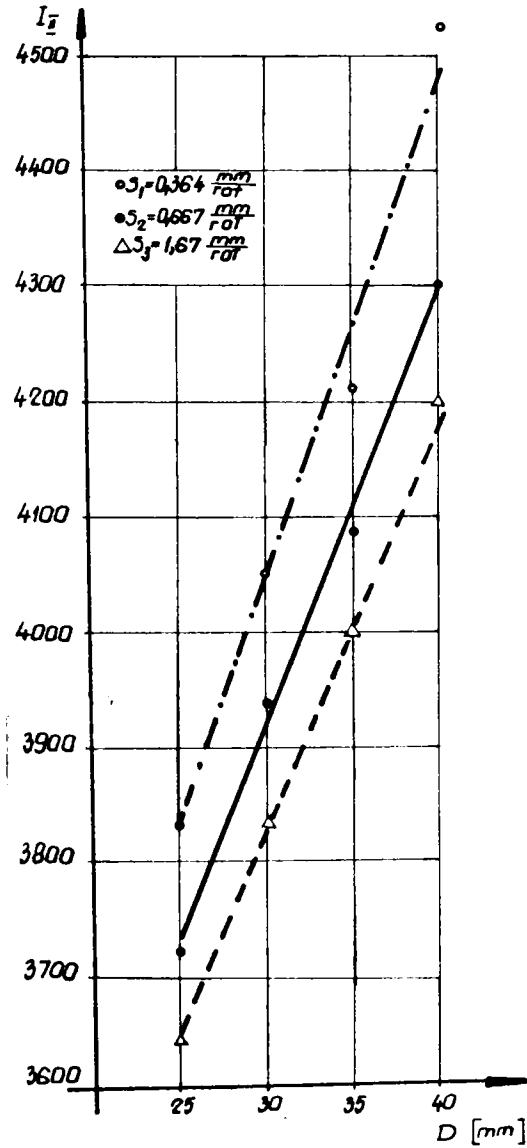


Fig. 69

Fig. 69.- Influența diametrului piesei asupra intensității curentului din secundar (50 VC ll).

. // .

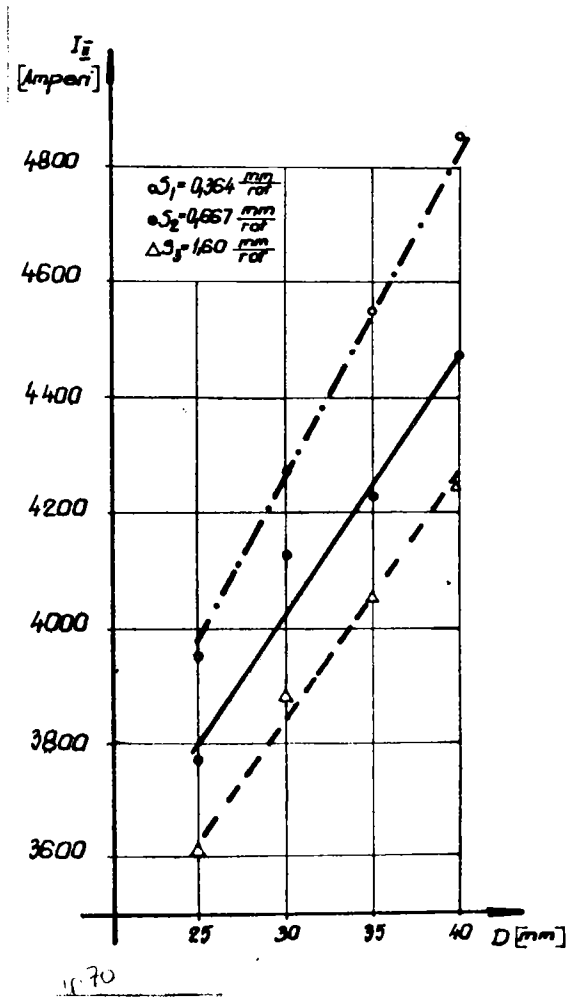
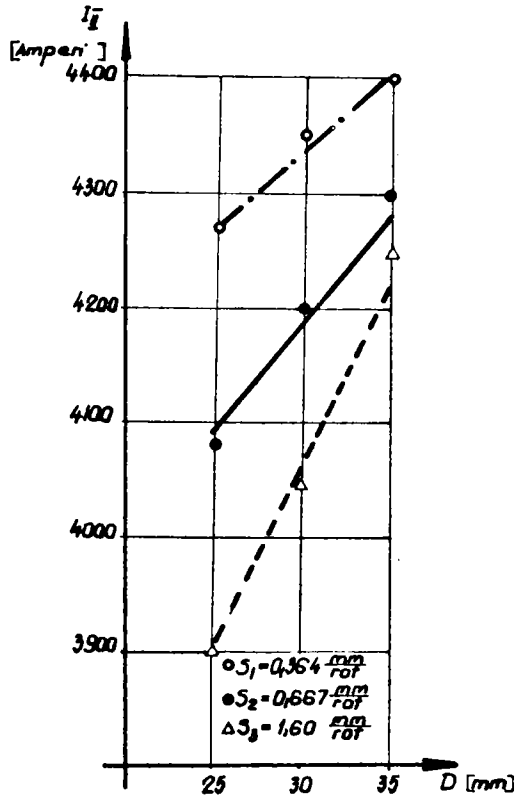


Fig. 70.- Influența diametrului piesei asupra intensității curentului din secundar (G 60 MnSi 16)



71

Fig. 71.- Influența diametrului piesei asupra intensității curentului din secundar (Arc 8).

. // .

VI.3.2. Influența diametrului piesei și a parametrilor electrici asupra adâncimii de călire.

Adâncimea stratului fiind un parametru foarte important pentru piesele călite superficial s-a urmărit felul cum variază acesta la diferiți diametri ai probelor studiate. Stratul călit s-a măsurat cu ajutorul unei lupe cu putere de mărire de 40 X.

Cu valorile măsurate s-au trasat diagrame care arată influența pe care o are diametrul piesei asupra adâncimii stratului călit. Diagramele trasate pentru acest parametru, reprezintă aspectul calitativ al procedurii, cât și pe cel tehnologic. S-a trecut de asemenea, diagramele care pot servi la alegerea parametrilor electrici optimi pentru o anumită adâncime de pătrundere a stratului călit.

În diagramele din fig. 72, 73, 74 sînt reprezentate influența diametrului piesei asupra adâncimii de pătrundere a stratului călit pentru cele trei oțeluri aliate considerate.

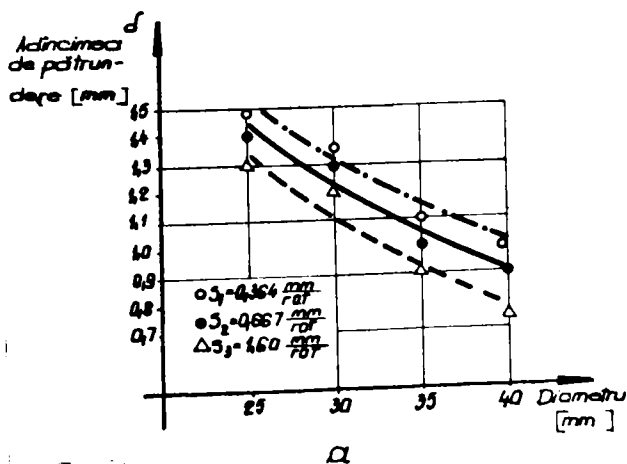


Fig. 72.- Influența diametrului piesei asupra adâncimii de pătrundere a stratului călit (50 VC 21)

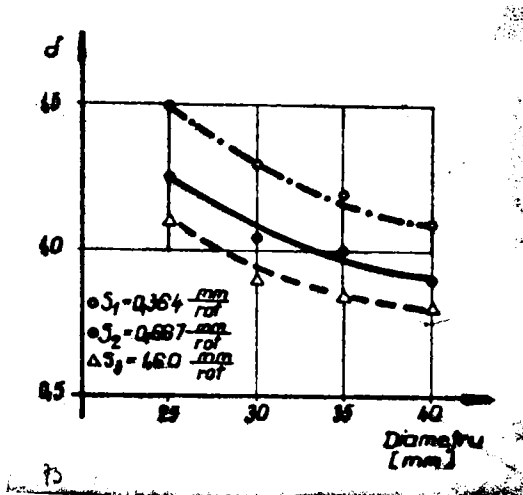


Fig. 73.- Influența diametrului piesei asupra adâncimii de pătrundere a stratului călit (G 60 MnSi 16)

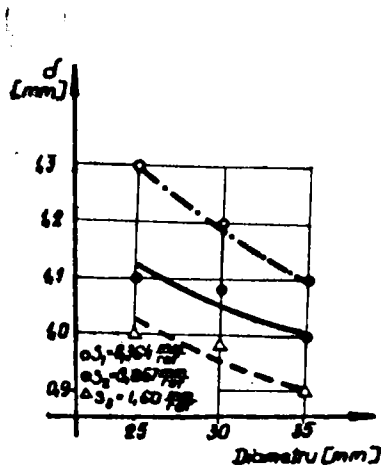


Fig. 74.- Influența diametrului piesei asupra adâncimii de pătrundere a stratului (Aro 8)

Legătura dintre intensitatea curentului din secundarul transformatorului și adâncimea de pătrundere sînt redată din fig. 75, 76 , 77.

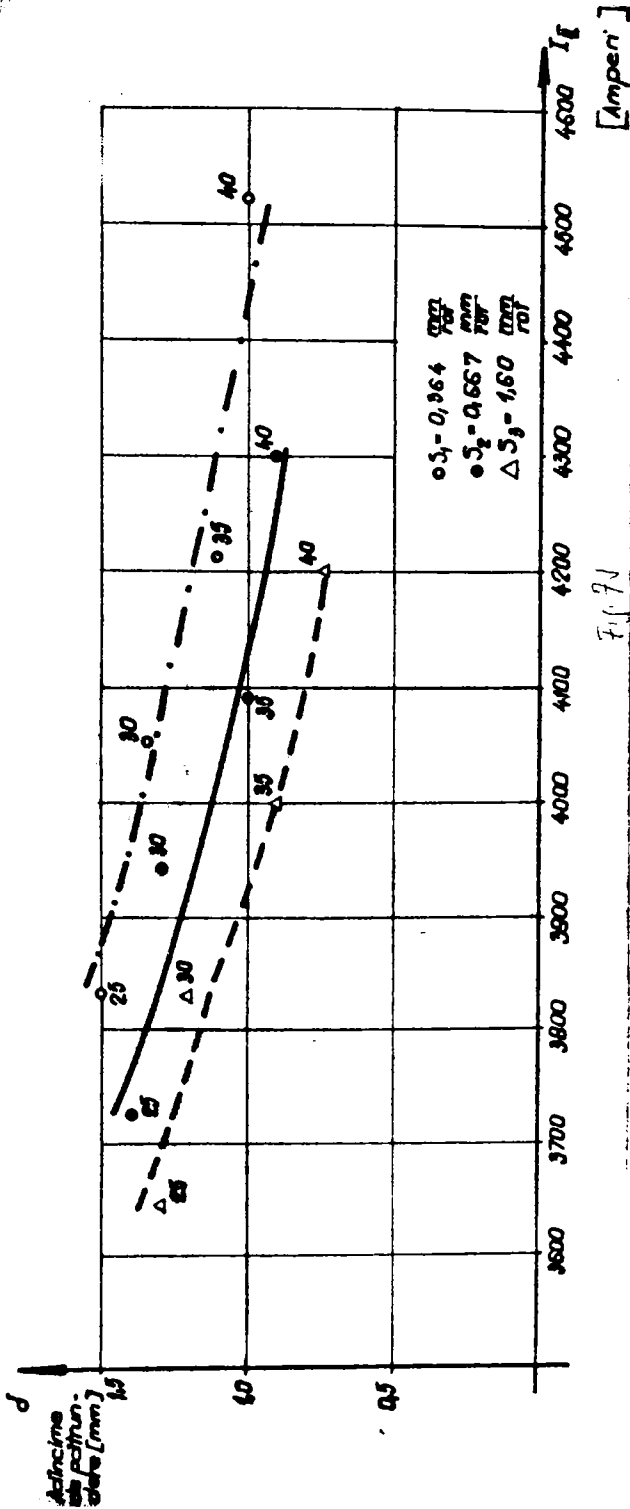


Fig. 75.- Legătura dintre intensitatea curentului din secundar și adâncimea de pătrundere a stratului oălit (50 VC 11)

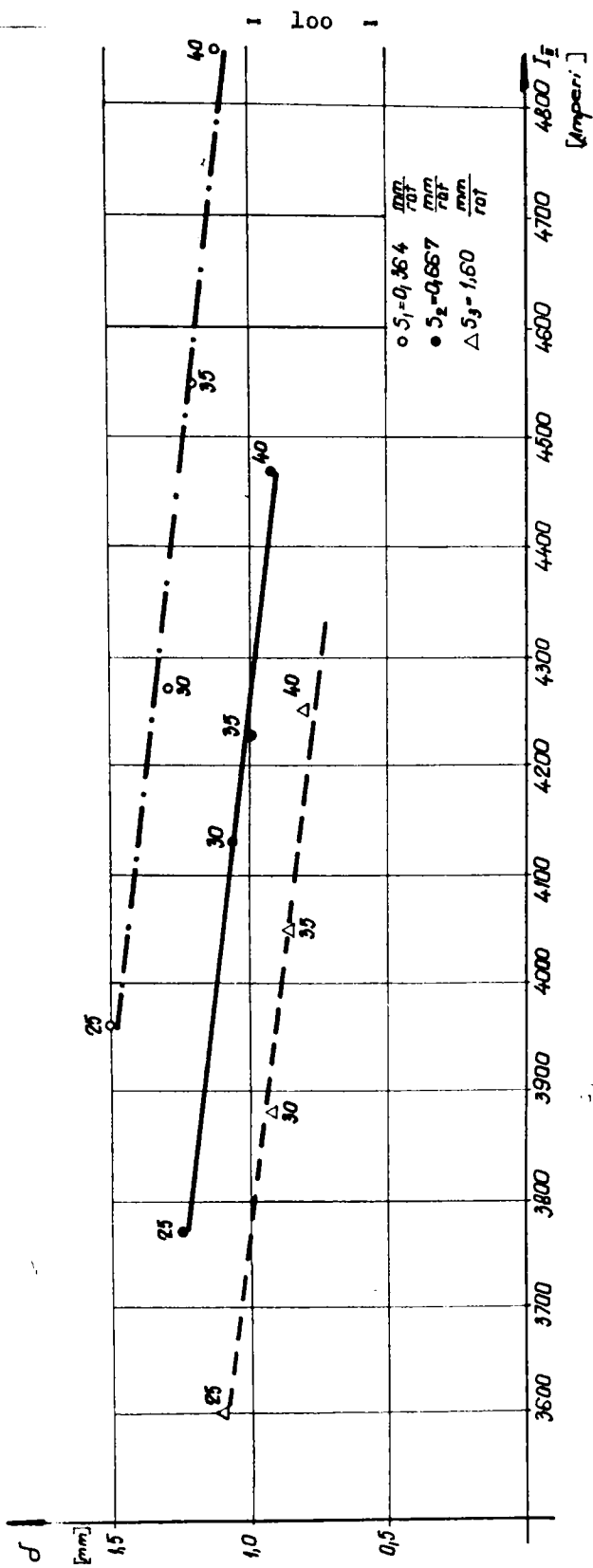


Fig. 76.- Legătura dintre intensitatea curentului din secundar și adâncimea de răzândere a stratului călit (G 6° MnSi 16)

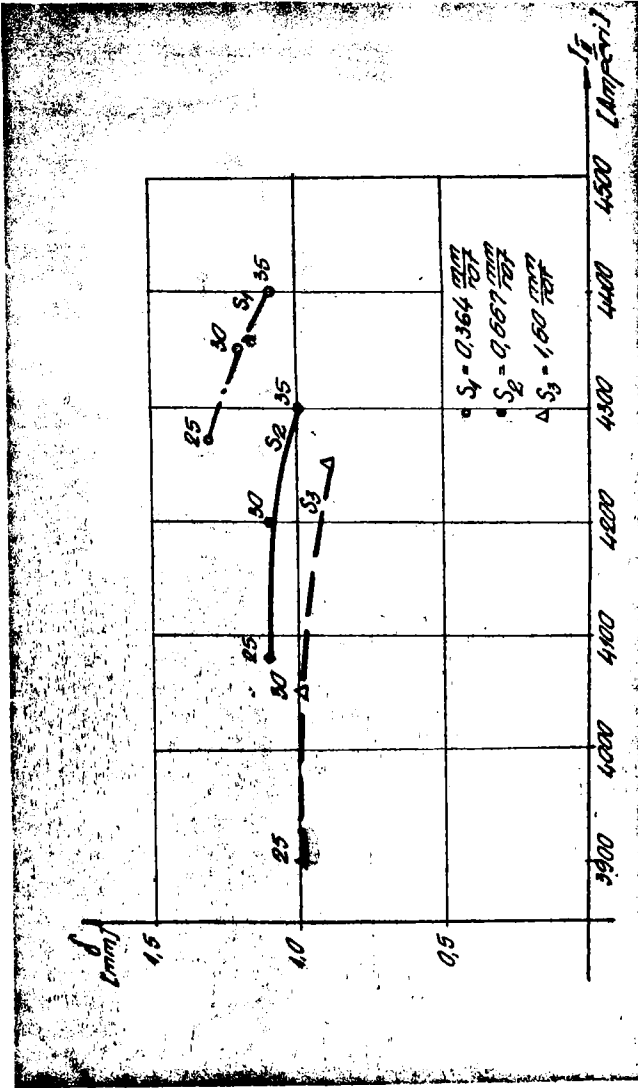


Fig. 77.- Legătura dintre intensitatea curentului din secundar și adâncimea de pătrundere a stratului călit (Arc 8).

În urma măsurării tensiunii curentului din secun-
dular transformatorului s-au putut ridica următoarele diagrame
redate în fig. 78, 79, 80.

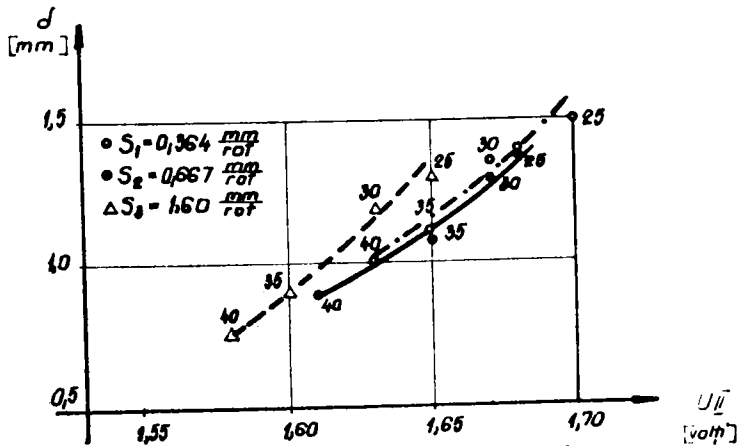


Fig. 78.- Legătura dintre tensiunea curentului
din secundar și adâncimea de pătrun-
dere a stratului călit (50 VC 11).

. // .

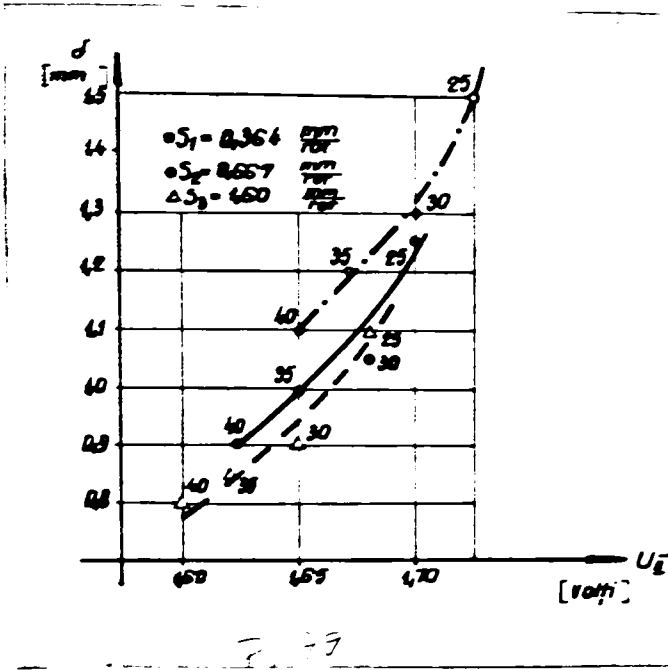


Fig. 79.- Legătura dintre tensiunea curentului din secundar și adâncimea de pătrundere a stratului călit (G 60 MnSi 16)

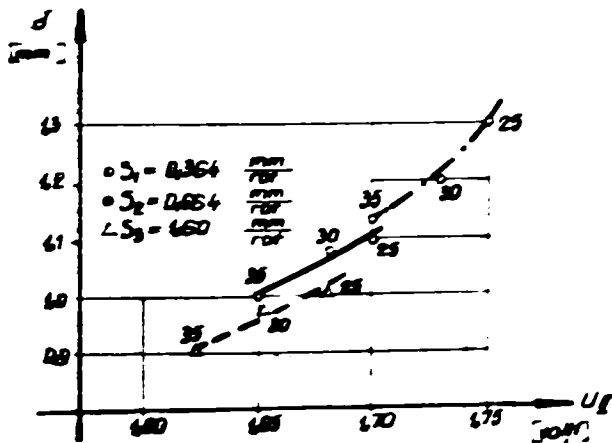


Fig. 80.- Legătura dintre tensiunea curentului din secundar și adâncimea de pătrundere a stratului călit (Gc 8)

VI.4.- Curbe de duritate ale oțelurilor cercetate.

Duritatea fiind un parametru important din punct de vedere funcțional al pieselor călitate superficial, se vor prezenta în continuare rezultatele măsurărilor efectuate asupra celor cinci oțeluri luate în studiu (OLC 35 , OLC 45, 5o VC 11, G 6o MnSi 16 și Arc 8).

Măsurările de duritate Rockwell sînt redată în diagramele din fig. 81, 82, 83, 84, 85 ;

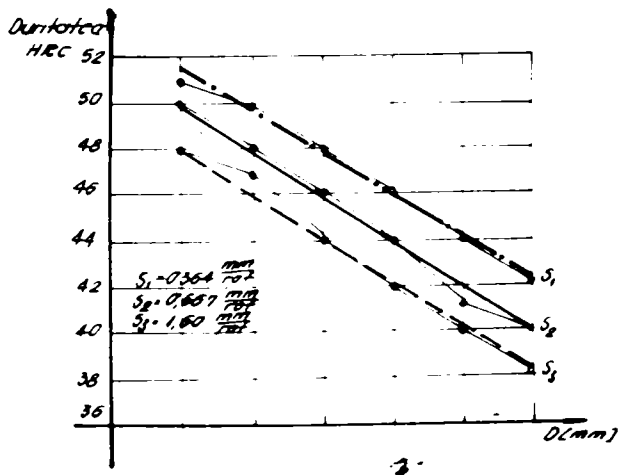


Fig. 81. Variația durității în funcție de diametrul piesei și avansului de lucru (OLC 35)

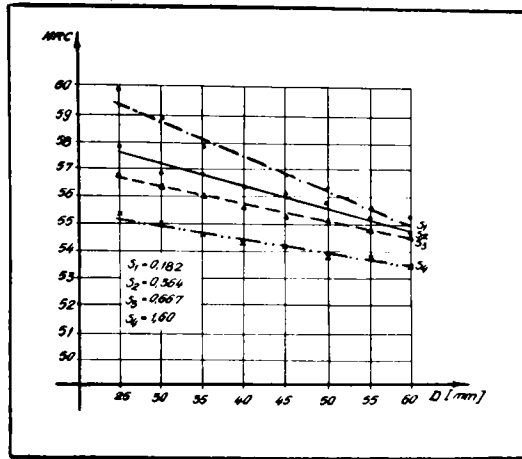


Fig. 82.- Variația durității în funcție de diametrul piesei și avansului de lucru (OIG 45)

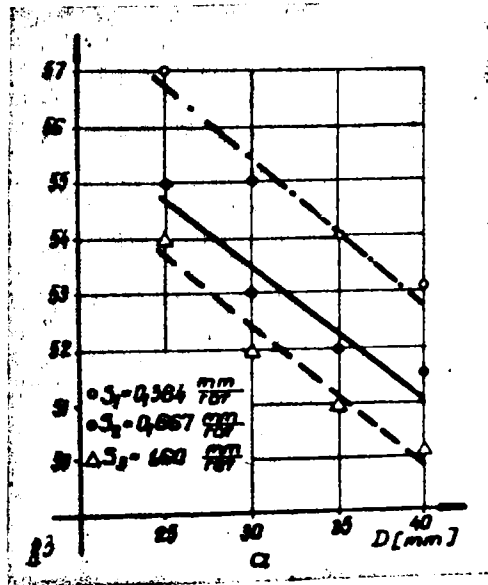


Fig. 83.- Variația durității în funcție de diametrul piesei și avansului de lucru (50 VC 11)

. // .

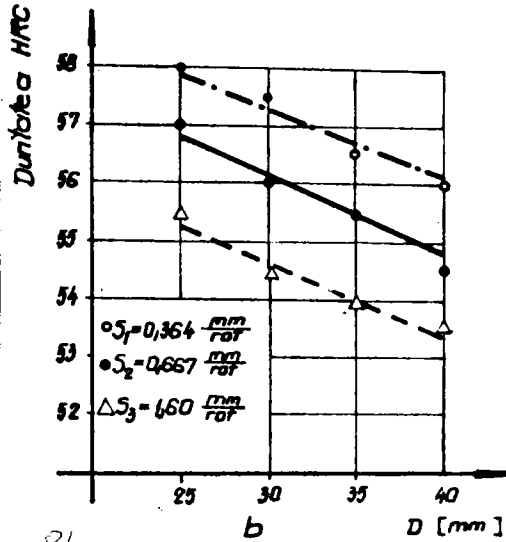


Fig. 84. Variația durezzații în funcție de diametrul piesei și avansului de lucru (G 60 MnSi 16)

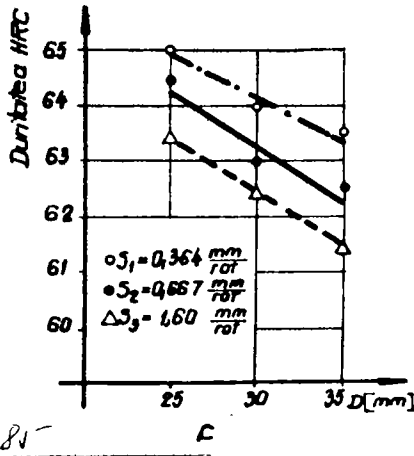


Fig. 85. Variația durezzații în funcție de diametrul piesei și avansului de lucru (Arc 8)

Din diagramele trasate se observă că odată cu creșterea procentului de carbon și cu cel de elemente de aliere, duritatea a crescut treptat atingând pentru oțelurile aliate valori de 62 ... 64 HRC. Duritatea în toate cazurile a avut o tendință de scădere odată cu creșterea diametrului piesei. Se observă de asemenea, că pentru fiecare marcă de oțel, valori mai ridicate ale durității s-au obținut pentru cazul când s-a lucrat cu avansurile de lucru mai mici.

VI.5. Curbe de rugozitate a suprafețelor pieselor călitate superficial prin contact electric.

Faptul că puterea absorbită de oțelurile magnetice crește repede odată cu creșterea temperaturii pînă la punctul Curie , tinde să folosească orice neregularitate inițială a suprafeței în timpul perioadei de încălzire pînă la acest punct. Cu cît temperatura crește într-un punct carecare al materialului , cu atît mai mare este puterea absorbită în acel punct în raport cu materialul învecinat. Această stare de lucrări poate duce la o instabilitate termică , care face să apară în piesă zone mult mai calde decît restul materialului. Totuși în cazul oțelurilor se constată o scădere bruscă a puterii absorbite , care are loc cînd se depășește punctul Curie , ceea ce face să se oprească extinderea mai departe a zonei puternic încălzită.

Datorită neregularităților geometrice ale piesei , apar neomogenități la încălzirea stratului marginal. Aceste zone de absorție intensă a căldurii , duce la apariția unor

benzi sau pete mai strălucitoare pe suprafața transversală a piesei, care rămân și după răcire.

La încălzirea prin contact electric acțiunea electrozilor se manifestă prin :

- apăsarea pe suprafața materialului de încălzit în vederea asigurării contactului electric ;

- încălzirea straturilor de metal prin frecarea curentului electric prin piesă ;

- deformarea stratului de metal devenit plastic.

Discurile electrod apăsând asupra piesei de încălzit, metalul de sub suprafața încălzită suferă deformații elasto-plastice sub acțiunea forței de apăsare. Adâncimea acestei zone crește cu mărirea forței de apăsare.

În același timp , datorită răcirii bruște a straturilor încălzite și a transformărilor de fază și structurale care apar se poate spune că rugozitatea piesei rezultate ca urmare a efectelor complexe de : apăsare , încălzire și transformări structurale are un mecanism complex de apariție a rugozităților R_z .

În zona deformațiilor plastice mici sub influența încălzirii , factorul cel mai important care modifică rugozitatea îl constituie deformațiile elasto-plastice și cele de transformări structurale cu creștere de volum specific.

Revenirea elastică poate modifica valoarea asperității [23] față de cea calculată cu peste 10 %.

S-au făcut măsurări experimentale ale rugozității pieselor în urma călirii superficiale. Măsurările s-au efectuat după sistemul E utilizând o prismă și un suport

cu ceas comparator. Probele au fost așezate pe prismă, iar ceasul comparator a fost reglat la poziția zero pentru zona din probă care nu a fost călită superficial. Valoarea unei diviziuni la ceas comparator fiind de $1 \mu\text{m}$.

Proba a fost rotită cu un arc de cerc corespunzător unui unghi la centru de 45° în 8 de astfel poziții, iar la fiecare poziție s-a palpat proba notându-se valoarea înregistrată la ceas comparator. Rezultatele măsurărilor sînt redată în diagramele din fig. 86, 87, 88 pentru OLC 45.

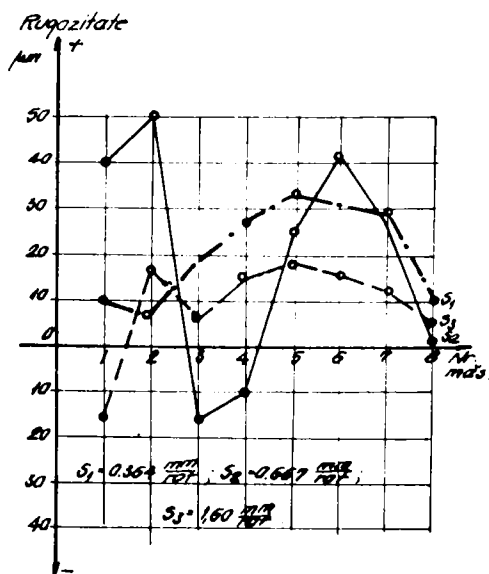


Fig. 86.- Curbele de rugozitate a suprafeței pentru proba nr. 10 Ø 45, OLC 45.

Valori maxime au fost înregistrate pentru cazul
cînd s-a lucrat cu $S_2 = 0,667$ mm/rot. atîngînd valorile
limită de $+ 50 \mu\text{m}$ și $-18 \mu\text{m}$ pentru puterea electrică de
 $P = 6,70$ kw și $I_2 = 4800$ A.

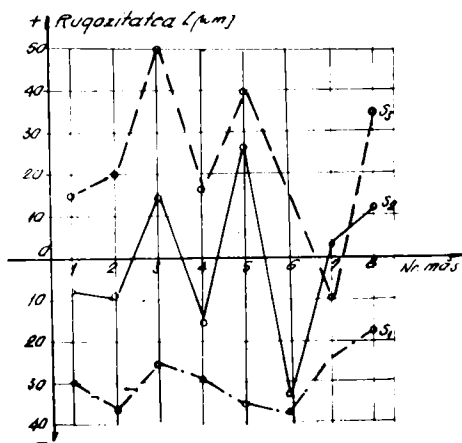


Fig. 87.- Curbele de rugozitate a suprafeței
pentru proba nr. 10 Ø 45 OLC 45

In acest caz , valorile extreme sînt de $+ 50 \mu\text{m}$
pentru $S_3 = 1,60$, iar $- 38 \mu\text{m}$ pentru $S_1 = 0,3664$

. // .

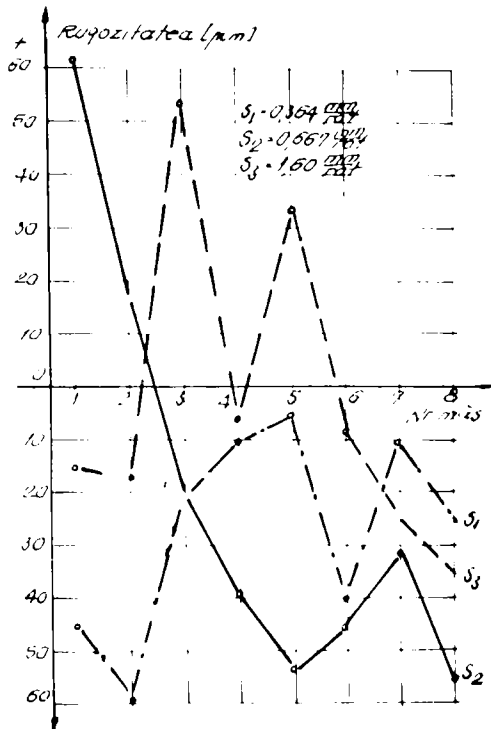


Fig. 88.- Curbele de rugozitate a suprafeței pentru proba nr. 20 Ø 40 OLC 45

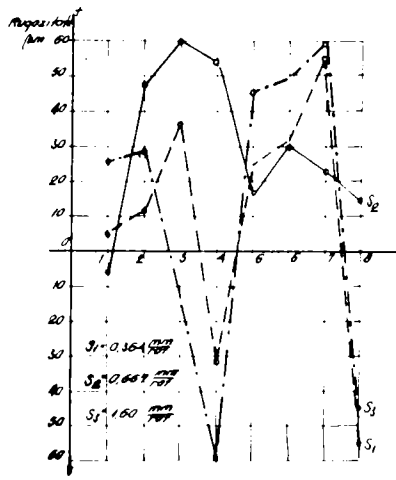


Fig. 89.- Curbele de rugozitate a suprafeței pentru proba nr. 3 Ø 30 50 VC 11

Valorile maxime măsurate sînt de $\pm 60 \mu\text{m}$ pentru $S_2 = 0,667 \text{ mm/rot}$.

În fig. 89,90 sînt prezentate rezultatele măsurătorilor efectuate asupra oțelurilor aliate 50 VC 11 și A.

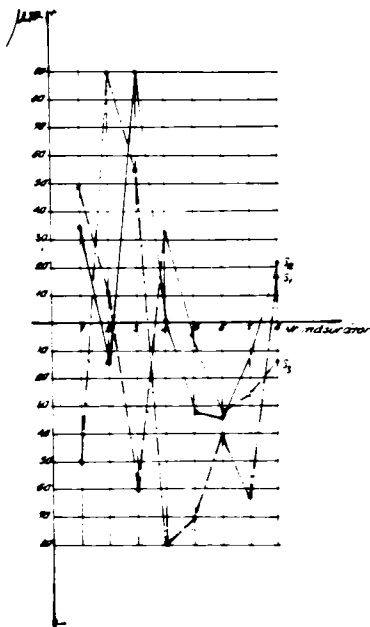


Fig. 90.- Curbele de rugozitate a suprafeței pentru proba nr. 9 Ø 35 Arc 8

Valorile extreme sînt de $\pm 60 \mu\text{m}$ pentru cazul cînd s-a lucrat cu $S_1 = 0,364 \text{ mm/rot}$. Puterea consumată în acest caz a fost de $P = 6,76 \text{ kw}$, iar $I_2 = 4.050 \text{ A}$.

Pe măsură ce procentul de carbon a crescut s-a constatat că și efectul de creștere a rugozității a crescut apreciabil așa după cum apare în cazul oțelului Arc 8. Valorile extreme sînt de $+ 90 \mu\text{m}$, $- 80 \mu\text{m}$ pentru regimul $S_1 = 0,364 \text{ mm/rot}$, $P = 7,48 \text{ kw}$ și $I_2 = 4400 \text{ A}$.

VI.5.1.- Considerații teoretice privind deforma-
rea stratului superficial.

După cum se observă atât din diagramele ridicate, cât și în urma prelucrărilor de rectificare sub acțiunea rozelor electrod în timpul procesului de încălzire piesa este ușor deformată, ceea ce se observă și din valorile negative obținute la măsurarea rugozității piesei.

Teoretic valoarea deformațiilor se poate calcula considerând o grindă uniform încărcată pe lungimea $2a$ egală cu lățimea rolei, cu o presiune uniform distribuită $\sigma_y = -p$ (fig.97). Materialul care cedează sub acțiunea acestei sarcini tinde să se deplaseze spre porțiunea liberă a piesei producându-se o deformare de refulare.

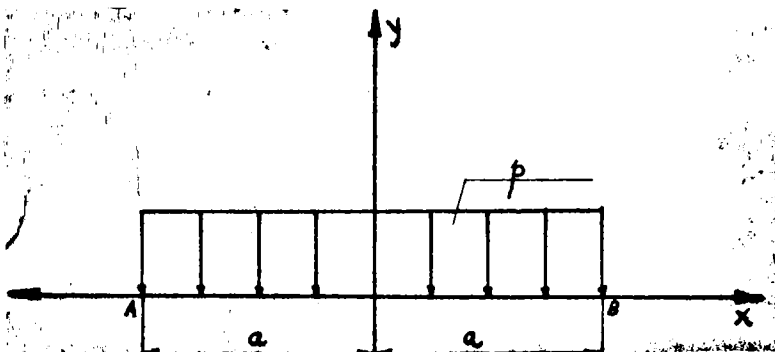


Fig. 91.-

Se consideră aici ipoteza continuității în care tensiunile cresc continuu pînă la $\frac{2a}{2}$, ele avînd valoarea zero în extremitățile porțiunii încărcate.

În triunghiul AFC și ADO (fig.92) se crează stări de tensiune uniforme, care pentru $\sigma_0 = 0$. Componentele tensiunii devin:

. // .

$$\sigma_x = -2k ; \sigma_y = \tau_{xy} = 0 \quad [\Delta AFC] \quad \text{VI.31}$$

$$\sigma_x = -p + 2k ; \sigma_y = -p ; \tau_{xy} = 0 [\Delta ADO] \text{VI.}$$

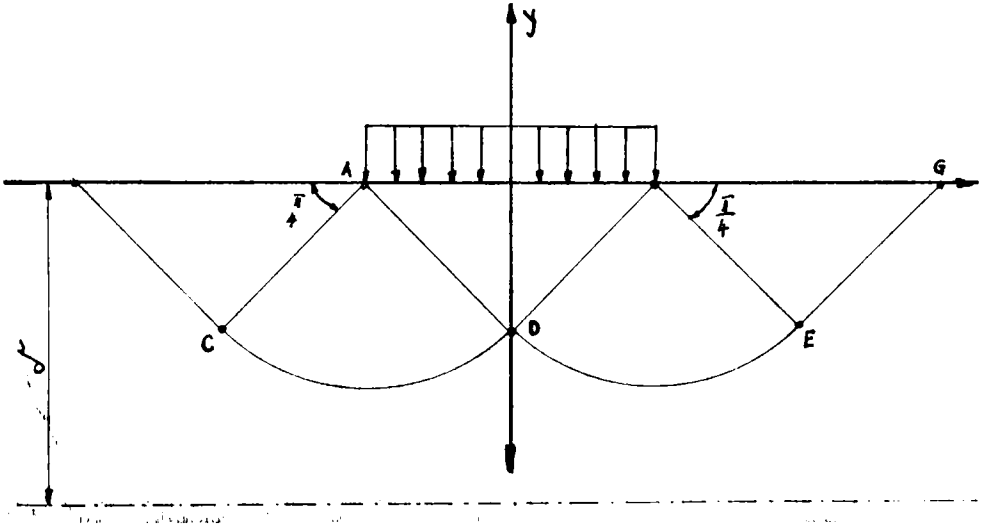


Fig. 92.-

Componenta orizontală rezultantei forțelor aplicate în secțiunea OD trebuie să fie egală cu zero . Se poate scrie ecuația :

$$\sigma_{x_{OD}} + \int_{a_1}^{b_1} \sigma_x dy_1 = 0 \quad \text{VI.33}$$

dacă însă :

$$y_1 = -y \quad \sigma_{x_{OD}} = \sigma_x \text{ în punctul D} \quad \text{VI.34}$$

atunci :

$$\sigma_{x_{OD}} = -p + 2k \quad \text{VI}$$

și :

$$\sigma_x = -p + k(2y + 1)$$

. // .

După înlocuirea în relația VI.33 și considerînd efectul încălzirii piesei pe adîncimea $b_1 = 4 + 4 \times 2 = 12$ mm, grosimea minimă care suferă deformații plastice $a_1 = \frac{1}{4} \delta$

$= \frac{1}{4} \times 2 = 0,5$ mm, iar coeficientul $k = 2$, după integrare și înlocuiri rezultă :

$$-p + 2k + \int_{0,5}^8 [-p + k(2y + 1)] dy = 0$$

$$p = 16,5 \frac{\text{daN}}{\text{mm}} \text{ respectiv forța de apăsare } P = 165 \text{ daN}$$

Această forță de apăsare P este capabilă să asigure un contact corespunzător între electrod și piesă. În urma măsurărilor efectuate sub acțiunea celor trei factori care apar în cazul încălzirii prin contact și anume : forța de apăsare pentru asigurarea contactului, încălzirea piesei care mărește plasticitatea oțelului și arcul electric care apare datorită microgeometriei inițiale a piesei, microgeometria pieselor oălite se modifică mult, așa cum s-a arătat în probele de rugozitate.

VI.6.- Cercetări metalografice.

In cazul oțelului OLC 35 , structura de bază este ferito - perlitică. Se observă că în toate cele trei cazuri de lucru $S = 1,60 ; 0,667 ; 0,364$ mm/rot, marginea stratului călit este de martensită fină. Grosimea acestui strat este mai mare pentru cînd s-a lucrat cu avansul cel mai mic. Stratul intermediar este format din ace de martensită , bainită și ghemuri de troostită (fig. 93.... fig.101). Pe măsură ce s-a lucrat cu avans mai mic , ($S = 0,364$ mm/rot) martensita este predominantă și cu un aspect uniform.

Oțel OLC 35 ; \emptyset 25. Proba nr. 24/1;

$s = 1,60$ mm/rot.

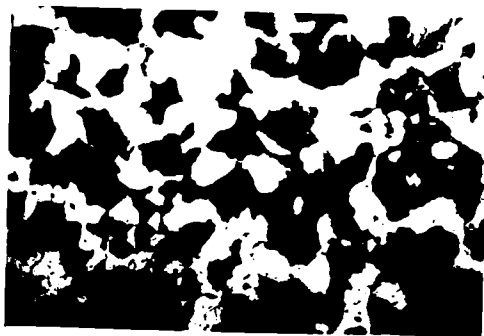


Fig. 93.- Miez : Structura de
bază ferito-perlitică
cu ferită aprox. 50 %

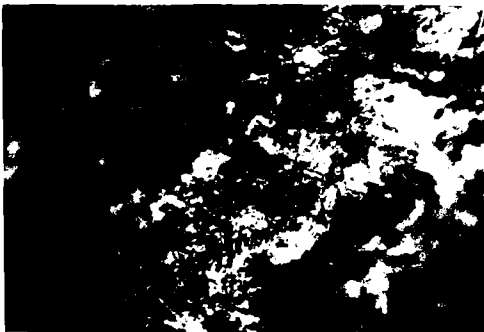


Fig. 94.- Stratul intermediar. Structura cu mai puțină ferită, perlitică, în schimb conține ceva trostită și o cantitate de martensită.



Fig. 95.- Marginea. Stratul superficial format din ace fine de martensită.

Oțel OLC 35 ; \emptyset 25. Proba nr.24/2;
s = 0,667 mm/rot.



Fig.97.-Miez.Structura

masei de bază
ferito-perlitică.

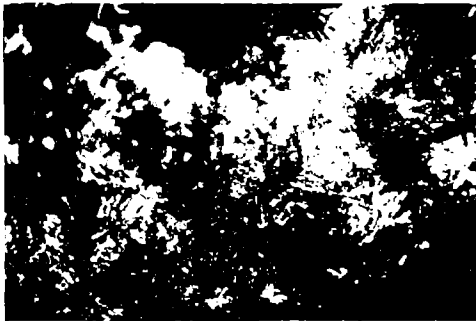


Fig.98.-Stratul inter-

mediar.Ace mari
de tenzitate și
ghemuri de troos-
tită și bainită.



Fig.99.-Marginea.Ace

fine de mar-
tensite

Oțelul OLC 35 ; \varnothing 25. Proba nr.24/3;

s= 0,364 mm/rot.

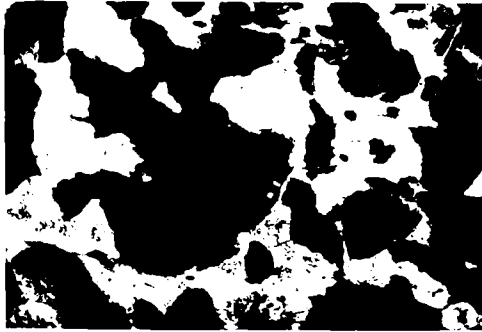


Fig.99.- Miez.Structura ma-
sei de bază ferito-
perlitică

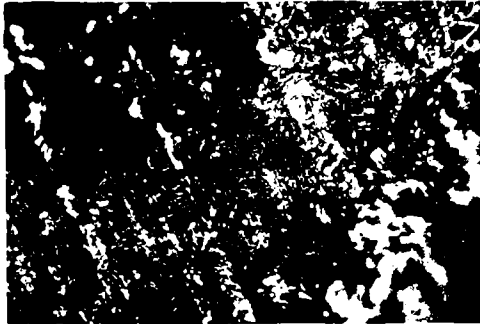


Fig.100.-Strat inter-
medial.Ace de
%,bai-
nită și troos-
tită



Fig.101.-Margine.Ace
mari de mar-
teșită și
cratere.

În cazul oțelului OLC 45 , structura masei de bază este ferito - perlitică. Stratul intermediar este format din ace de martensită și insule de troostită. Acele de martensită fiind mai fine când s-a lucrat cu avansul cel mai mic. Marginea stratului călit este formată din ace fine de martensită și un strat subțire alb cu duritate mare, ca rezultat al fenomenelor ce au însoțit procesul de încălzire (arcul electric în vârfulurile de contact și nitrurarea suprafeței prin descompunerea aerului).

Oțel OLC 45 ; \varnothing 30 ; Proba nr. 1 ;
s = 0,182 mm/rot.

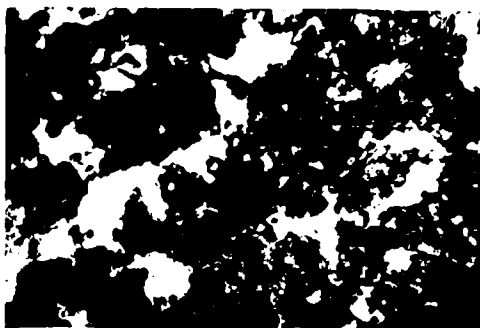


Fig. 103.- Miez. Structura
masei de bază
ferito-perlitică
cu perlită



Fig.105.- Mărginea. Ace fine de mă tensită.

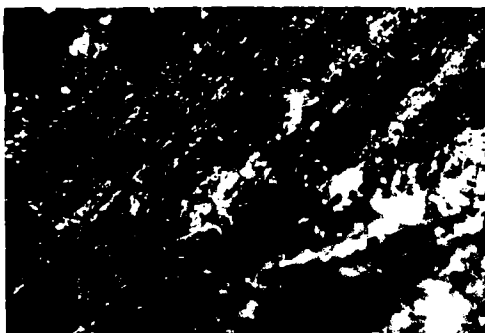


Fig.104.- Strat intermediar.
Ace de mă tensită mai grosolane și troostită.

Oțel OLC 45 ; Ø 25 ; Proba nr.3 ;

s = 0,667 mm/rot.



Fig.106.-Miez.Structura masei
de bază ferito -
perlitică.

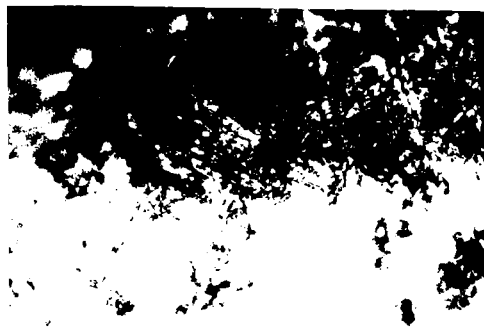


Fig.107.- Strat interme-
diar.Ace grosso-
lane de marten-
sită și insule
globulare

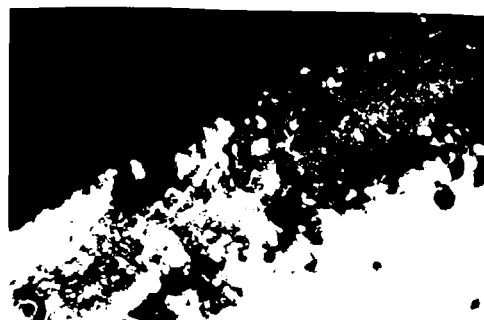


Fig.108.-Margine.Ace fi-
ne de martensi-
tă.

Oțel OLC 45 ; \emptyset 25 ; Proba nr.4 ;
s = 1,60 mm/rot.

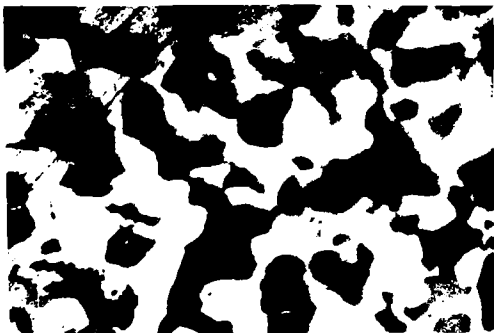


Fig.109.-Miez.Structura
masei de bază
ferito-perli-
tică

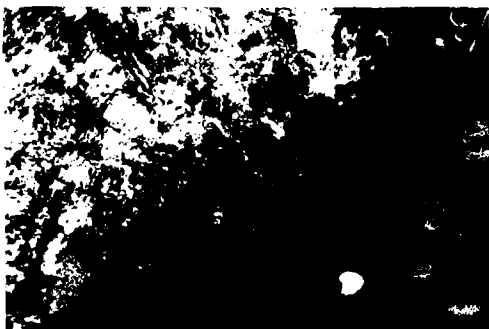


Fig.110.-Strat inter-
mediar.Ace fine
de martensită
și insule de
troostită



Fig.111.-Margine.Ace groso-
lane de martensită

In cazul oțelului 50 VC 11 , structura de bază este ferito - perlitică cu grad mare de dispersie pentru toate cele trei dimensiuni cercetate. Stratul intermediar este format din martensită, iar la exteriorul probei se observă același strat caracteristic alb.

Oțel 50 VC 11 ; \emptyset 25. Proba 4/1 ;

$v = 0,364$ mm/rot.

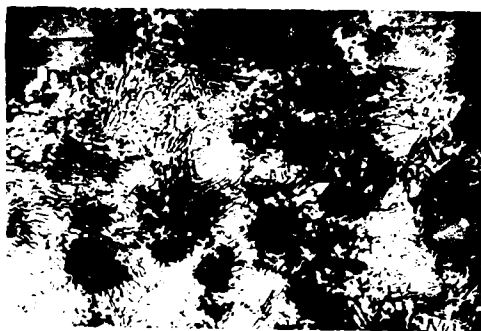


Fig.112.-Miez.Structura ma-
sei de bază este
ferito-perlitică



Fig.113.-Margine.Strat puțin oxidat
cu trecere spre strat de
martensită fină și troos-
mă.

Oțel 50 VC 11 ; \varnothing 25 ; Proba 4/3 ;
s = 1,60 mm/rot

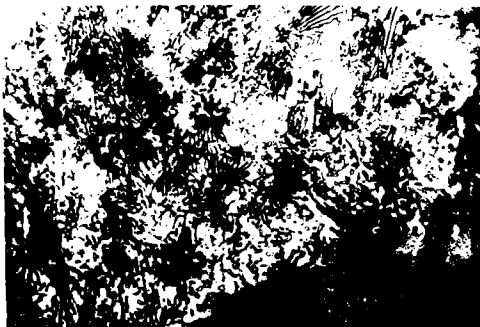


Fig.114.- Miez.Structura masei de
bază armată din amestec
ferito-perlitic dispers



Fig.115.- Margine.Ace mari de mar-
tensită.

Oțel 50 VC 11 , \varnothing 30 ; Proba nr.3/1 ;
s = 1,60 mm/rot.

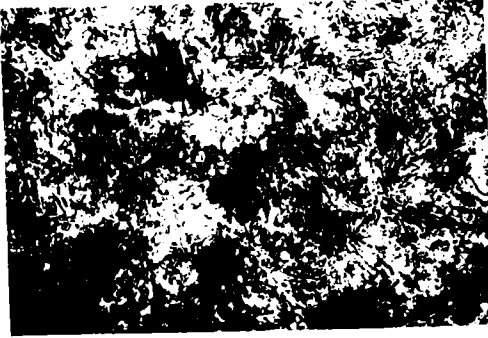


Fig.115.- Miez. Structura masei de
bază formată din amestec
dispers de ferită și per-
lită.



Fig.117.- Stratul intermediar.
format din ace de marten-
sită cu trecere spre troc-
tită.

Oțel 50 VC 11, Ø 30 ; Proba nr.3/3 ;

s = 0,364 mm/rot

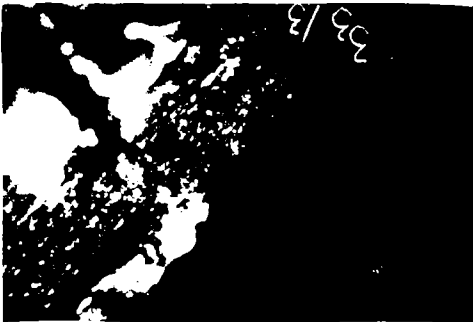


Fig.120.- Margine. Ace fine de martensită.

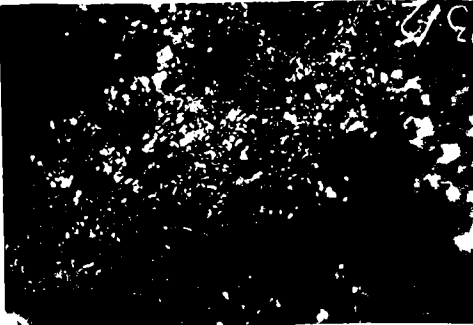


Fig.119.- Stratul inter-mediar format din ace fine de densitate cu trece spre ghemuri de transformare.

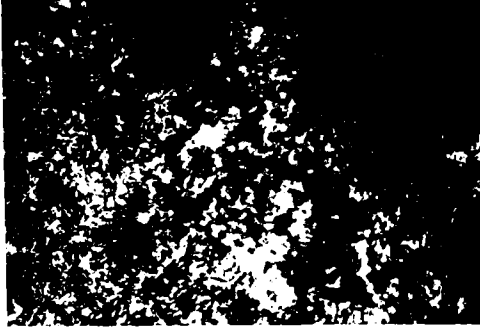


Fig.118.- Miez. Structura masei de bază formată din amestec ferito-perlitic.

Oțel 50 VC 11, Ø 35 ; Proba nr. 2/1 ;

s = 1,60 mm/rot

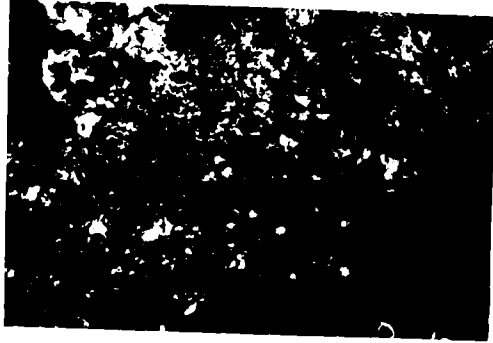


Fig.121.-- Stratul intermediar format
din ace de martensită și
bainită.

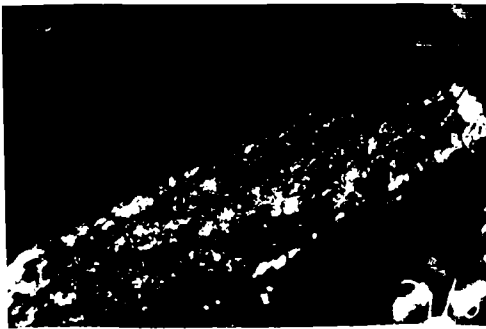


Fig.122.-- Margine. Ace fine de marten-
site și o mică zonă oxidată.

Oțel 50 VC 11 , \emptyset 35 ; Proba nr. 2/3 ;
s = 0,364 mm/rot.

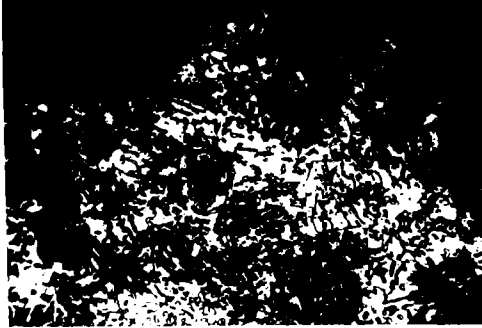


Fig. 123.- Miez. Structura masei de
bază formată din amestec
ferito-perlitic.

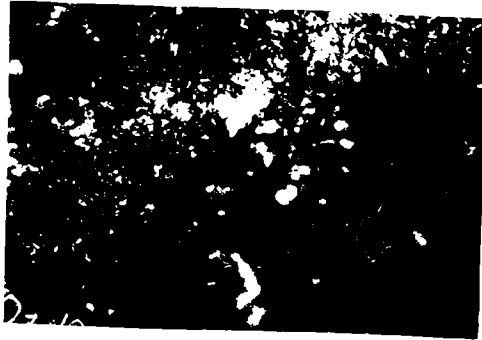


Fig. 124.- Stratul intermediar format
din ace fine de martensită
și troostită.

Oțelul G 60 MnSi 16 prezintă în miez o structură ferito-perlitică. În stratul intermediar și margine, structura este de martensită fină.

Oțel G 60 MnSi 16, \varnothing 25 ; Proba nr.8/1;

$s = 0,364$ mm/rot.

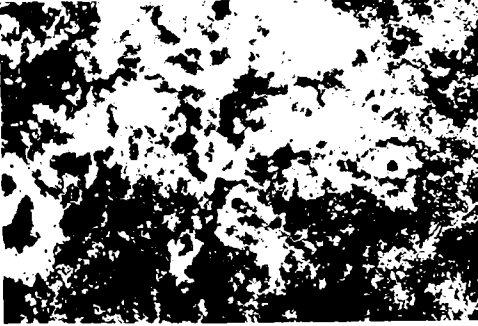


Fig.125.-Miez.Amestec
ferito-perlitic
cu grad mare de
dispersie

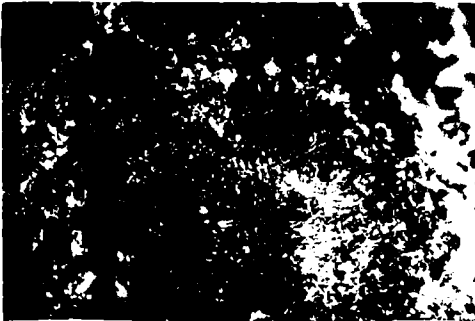


Fig.126.-Stratul interme-
dian format din
martensită fină
și bainită

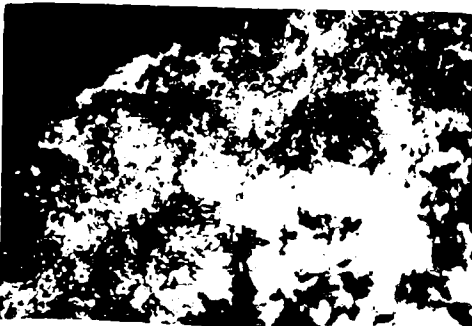


Fig.127.-Margine-Ace fine
de martensită și

In cazul oțelului Arc 8, miezul este format din poliedri de ferită și perlită lamelară. Stratul intermediar este format din insule de troostită și sorbită fină, iar marginea din ace de martensită.

Oțel Arc 8. Ø 25. Proba nr. 11/3 ;

s = 0,364 mm/rot.

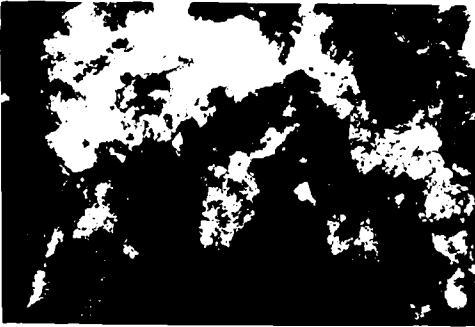


Fig. 128. --Miez. Structura

masei de bază
formată din ames-
tec ferito-
perlitic

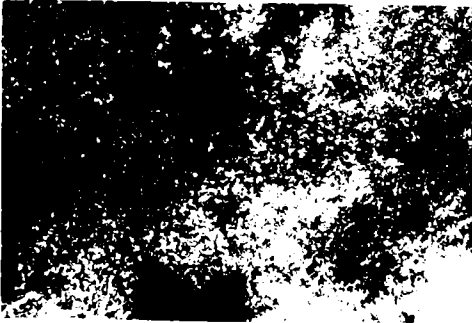


Fig. 129. --Stratul inter-

mediar format
din sorbită și
troostită.

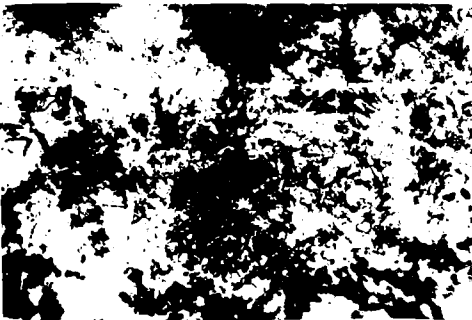


Fig. 130. --In vecinătatea

marginei. Ace
grosolane de
martensită și
bainită.

Oțel Arc 8 , Ø 30 ; Proba 10/3 ;

s = 0,364 mm/rot



Fig. 131.- Miez. Amestec ferito-
perlitic.



Fig. 132.- Mareșine, cu caracter proemi-
nent și zonă oxidată.

Studiul metalografic a fost efectuat în "Laboratorul de microscopie" de pe lângă disciplina de "Studii de materialelor", pe microscopul metalografic MC 1.

Toate micrografiile (fig. 93 ... 131) au fost realizate la mărirea de 1000 X.

În urma studiului se observă că în general transformările structurale din stratul marginal sînt la martensită cu un grad mai mic sau mai mare de finețe. Datorită însă, transmisiei căldurii spre straturile interioare ale oțelului, au apărut în mod gradat și celelalte structuri considerate "structuri de călire" și anume bainita și troostita.

În urma măsurărilor de microduritate s-a confirmat că adîncimea stratului călit real, considerînd și zona martensită și cea semimartensită, este cu 30 ... 50 % mai mare decît cea măsurată în urma citirii adîncimii cu ajutorul lupei la mărirea de 40 X după stratul de colorare selectivă cu nital 3 %.

CAPITOLUL VII

7. CONSIDERAȚIUNI ASUPRA REZULTATELOR OBTINUTE

Călirea superficială este tot mai răspândită prin faptul că piesele astfel tratate, au o comportare excepțională la oboseală și prezintă defărmații minime. În construcția de mașini, sînt tot mai multe cazuri cînd se impun pieselor și SDV-urilor, rezistență ridicată la uzură, deci, un strat marginal cu duritate mare și un miez tenace cu o bună comportare la șocuri.

În scopul cunoașterii condițiilor optime și pentru satisfacerea condițiilor de mai sus, s-au luat în studiu experimental piese de tipul arbarilor confecționate din oțelurile: OȚC 35, OLC 45, 50 VC 11, G 60 MnSi 16 și Arc 8 așa după cum se vede în cap.VI.

Timpul necesar încălzirii conform procedurii s-a variat prin modificarea parametrilor mecanici ai strungului.

În toate cazurile studiate s-a urmărit influența diametrului piesei și variația avansului de lucru asupra parametrilor electici.

Avansurile cu care s-a lucrat au fost: 0,364 mm/rot; 0,667 mm/rot și 1,60 mm/rot pentru oțelul OLC 45 s-a folosit și avansul 0,182 mm/rot.

Analizînd diagramele ridicate referitoare la parametrii electici se constată următoarele:

- variația intensității curentului din primar e lineară crescătoare odată cu creșterea diametrului. Valori

mai ridicate se obțin pentru toate oțelurile cercetate în cazul cînd s-a lucrat cu avansuri mai mici.

- Oțelul OLC 35 $I_{1_{med}} = (21...22,5) A$
- Oțelul OLC 45 $I_{1_{med}} = (25...27) A$
- Oțelul 50 VC 11 $I_{1_{med}} = (19,5...21) A$
- Oțelul G60MnSi 16 $I_{1_{med}} = (20 \dots 22) A$
- Oțelul Arc.8 $I_{1_{med}} = (21 \dots 22,5) A$

- variația intensității curentului în secundarul transformatorului a scos în evidență tendința de creștere lineară odată cu creșterea diametrului avînd următoarele valori medii:

- oțelul OLC 35 $I_{2_{med}} = (4000...4400) A$
- oțelul OLC 45 $I_{2_{med}} = (3600...4500) A$
- oțelul 50 VC 11 $I_{2_{med}} = (3700...4400) A$
- oțelul G 60 MnSi 16 $I_{2_{med}} = (3800...4600) A$
- oțelul Arc 8 $I_{2_{med}} = (4100...4700) A$

Pe măsură ce procentul de carbon a crescut medii valorilor curentului a crescut.

- variația puterii consumate . La analiza diagramelor trasate se constată că puterea este funcție dependentă de procentul de carbon așa după cum se vede mai jos;

- oțelul OLC 35 $P_{med} = (6,70...7,30) kw$
- oțelul OLC 45 $P_{med} = (6,20...7,10) kw$
- oțelul 50 VC 11 $P_{med} = (6,20...7,20) kw$
- oțelul G60MnSi16 $P_{med} = (6,40...7,70) kw$
- oțelul Arc 8 $P_{med} = (7,00...8,00) kw$

S-au stabilit relațiile empirice pentru oțelul OLC 35 și OLC 45 de forma:

$$P = 26,5 D - S(D + 1) + 6,15 \quad [\text{kw}] \quad \text{OLC 45}$$

În diagrama din fig.133 este redată în mod sintetic variația puterii consumate în funcție de procentul de carbon.

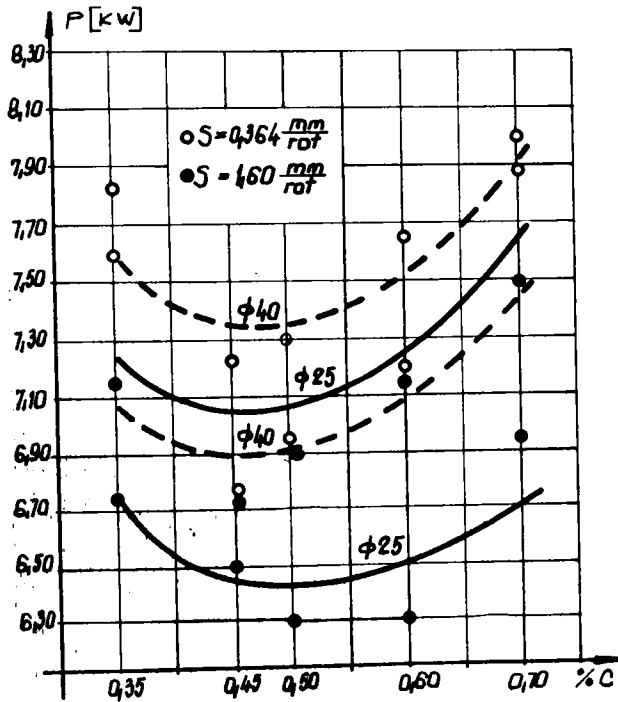


Fig.133.

Pe baza acestor curbe s-a stabilit relația generală pentru determinarea puterii consumate în funcție de: procentul de carbon al oțelului, diametrul piesei și avansul de lucru.

$$P = 2.C.e^{\frac{1}{C}} + 10^{-2}(D - S) \quad [\text{kw}]$$

unde:

C = conținutul în carbon al oțelului [%]

D = diametrul [mm]

S = avansul [mm/rot]

Deoarece în industria constructoare de mașini oțelul OLC 45 și 50 VG 11 sînt cele mai des utilizate sau oțeluri similare cu procentul de carbon cuprins între 0,45...0,5, cantitatea consumată în medie nu depășește 7.20 kw.

Al doilea capitol din cap.VI s-a ocupat de influența pe care o are diametrul piesei și parametrii electrici asupra adîncimii de pătrundere a stratului călit. În acest sens s-au expus un număr corespunzător de macrografii a probelor cercetate iar în medie au rezultat următoarele valori:

- oțel OLC 35 $\delta_{med} = (1,2... 0,7)$ mm
- oțel OLC 45 $\delta_{med} = (1,7... 0,9)$ mm
- oțel 50VG11 $\delta_{med} = (1,4... 0,9)$ mm
- oțel G60MnSi16 $\delta_{med} = (1,3... 0,6)$ mm
- oțel Arc 8 $\delta_{med} = (1,1... 0,6)$ mm

Din diagramele trasate s-a constatat că tendința este de scădere exponențială, odată cu creșterea diametrului. Elementele de aliere au influențat asupra scăderii conductibilității termice a oțelurilor și asupra dizolvării constituenților structurali aliați.

Influența pe care o are procentul de carbon asupra adîncimii de pătrundere a stratului călit este redată în diagrama din fig.134.

Din aceste curbe se observă că adîncimea de pătrundere este pentru oțelurile cu procentul de carbon cuprins între 0,45...0,5. Pentru oțelul OLC 45 a fost stabilită relația generală:

$$\delta = \frac{0,1 D + 7}{0,2 \sqrt{3 + \left(\frac{D}{10}\right)^2}} - 0,3 \text{ [mm]} \quad \text{OLC 45}$$

care se aplică pentru avansurile cuprinse între(0,182...0,667) mm/rot.

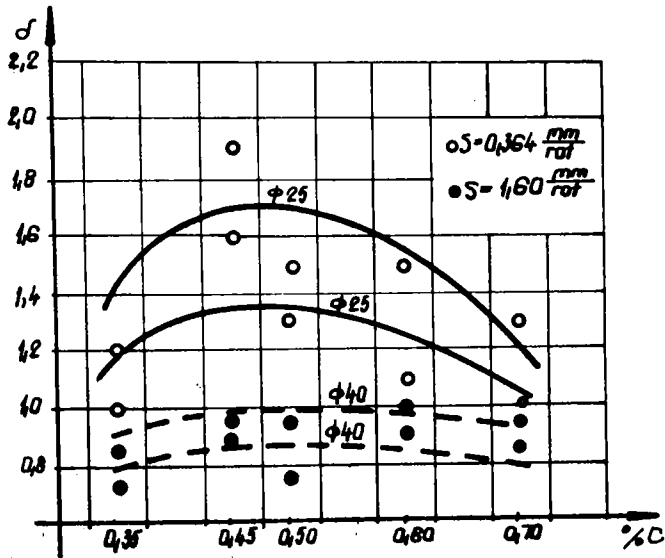


Fig.134.

Pentru curbele din fig.134 s-a stabilit relația:

$$\sigma = e^C + C \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{D} \right) \text{ [mm]}$$

unde:

- C- conținutul în carbon [%]
- e- baza logaritmului natural
- D- diametrul [mm]
- S- avansul [mm/rot]

La analiza curbelor de duritate s-a constatat următoarele:

rele:

- oțelul OLC 35 HRC_{med} = 50...40
- oțelul OLC 45 HRC_{med} = 57...55
- oțelul 50 VC 11 HRC_{med} = 55...50

- oțelul G60MnSi16 $HRC_{med} = 57...54$
- oțelul Arc 8 $HRC_{med} = 64...60$

În diagramele din fig.135 sînt prezentate variațiile durezzații în funcție de procentul de carbon.

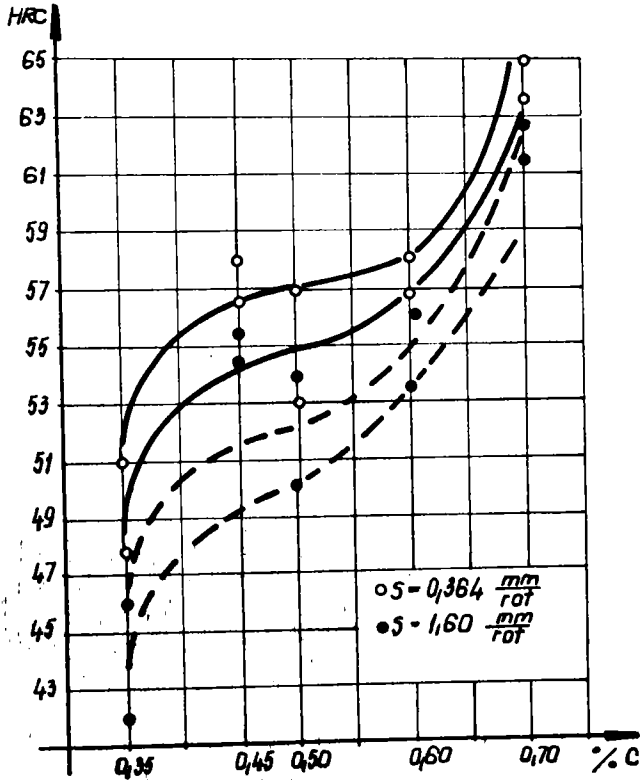


Fig.135.

În baza cercetărilor efectuate se constată că oțelul OLC 45 asigură cele mai bune condiții de călire superficială prin contact electric obținându-se: $\delta = (1,7...0,9)$ mm iar $HRC = 57...55$ pentru dimensiunile pieselor între $\varnothing 25... \varnothing 50$ mm.

În continuare la acest capitol s-a cercetat ru... suprafeței după operația de încălzire-călire prin contact elec... tric obținându-se valori medii cuprinse între $\pm 60 \mu m$... lorile maxime de $\pm 90 \mu m$.

În urma operației de rectificare a unor probe călite superficial s-a îndepărtat prin aşchiere o valoare a adausului de prelucrare de $t = 0,2 \dots 0,25$ mm ceea ce face ca procesul să justifice eliminarea fazelor de prelucrare intermediare dintre degroșare și rectificare. Rugozitatea obținută la degroșare favorizează efectul de condensator și apăsare.

Studiul microstructural scoate în evidență trecerea lină de la suprafața efectivă spre masa de bază a piesei de la constituentul martensitic prin ceilalți constituenți de călire bainită și troostită făcând legătura prin sorbită de structura ferito-perlitică.

Se recomandă în urma experimentărilor efectuate, următoarele:

- discurile-electrod să fie confecționate din cupru electrolitic;
- curățirea din timp în timp a suprafeței de contact a discurilor de cupru;
- asigurarea unui decalaj corespunzător între cele două discuri-electrod pentru a evita apariția benzilor de revenire;
- asigurarea unui contact între discurile-electrod și piesă.

CAPITOLUL VIII

8.1. CONCLUZII

Prezenta lucrare și-a propus să scoată în evidență principalele aspecte legate de călirea superficială prin contact electric la frecvența industrială de 50 Hz a oțelurilor OLC 35, OLC 45, 50VC11, G60MnSi16 și Arc 8.

Studiul a stabilit condițiile concrete de lucru, respectiv tehnologia de călire superficială prin contact electric precum și posibilitățile de aplicare a acestui procedeu.

Necesitatea acestei lucrări este evidențiată de utilizarea în construcția de mașini a pieselor călite superficial și obținerea acestora la un preț de cost scăzut, la o productivitate ridicată. De asemenea se impune ca paralel cu utilizarea în construcția de mașini a pieselor de tipul arborilor diametre foarte variate cât și a unor lungimi apreciabile să se găsească și procedee de durificare superficială adecvate.

Cercetările efectuate pînă în prezent pe plan mondial în domeniul călirii superficiale, așa cum reiese din lucrările menționate în bibliografie, nu au dus la prezentarea unui studiu mai aprofundat care să contureze condițiile și domeniul de aplicabilitate al călirii prin contact electric la frecvență industrială.

În lucrare s-a prezentat la cap.II unele particularități ale călirii superficiale în general în care se arată influența pe care o are coeficientul de difuzivitate termică

[3], [33], [70] etc, de care trebuie să se țină seama la călirea superficială pentru a nu permite încălzirea în toată secțiunea.

Avînd în vedere acest considerent, s-a analizat în cap.III procedeele existente de încălzire în vederea călirii superficiale.

Din analiza particularităților de încălzire-călire a fiecărui procedeu, luînd în considerare mediile de încălzire și utilajul caracteristic [11], [14], [22], [24], etc, influența unor parametrii mecanici, electrici, de ecranare, suspendare, sau de vecinătate asupra rezultatelor călirii (duri-tate, adîncime) [26], [28], [32], precum și posibilitatea diri-jării acestei temperaturi în zonele considerate și la adîncimea corespunzătoare, a determinat alegerea metodei optime de în-călzire prin contact electric obiectul de studiu al acestei lucrări.

Datorită unor avantaje pe care le prezintă încălzirea-călire prin contact electric cum ar fi: posibilitatea diri-jării încălzirii pe adîncimea dorită, nelimitarea metodei de către dimensiunile semifabricatelor, lipsa inductoarelor, eli-minarea unor faze intermediare de prelucrări mecanice (tre-degrasare și rectificare, utilaj ieftin etc, s-a dedus apar-reale avantaje ale procedeeului în comparație cu încălzirea-că-lirea cu flacără, electrolit, băi topite și chiar C.I.P.

Intrucît încălzirea prin contact electric la frecvența industrială, impune stabilirea unor condiții termoenergetice corespunzătoare, a fost necesar un studiu teoretic preliminar al efectului pătrunderii energiei termice în metale a puterii specifice absorbite și a curentului necesar.

Pornind de la principiile încălzirii prin contact electric, s-a urmărit modul de transmitere a energiei în pro-ce-re încălzirii materialului.

Încălzirea prin contact electric prezentînd două particularități care favorizează procesul și anume: efectul de condensator și efectul de apăsare s-a ținut cont de acestea la calculul teoretic a instalației precum și la proiectarea și execuția acesteia.

Lucrarea avînd un caracter experimental s-au prezentat în cap.V instalațiile proiectate și executate în două variante, dispozitivele și materialele utilizate. În felul acesta instalația precum și cercetările pot fi de un real folos cercetătorilor din industrie pentru a fi aplicate, sau de a fi un ghid, în vederea cercetărilor viitoare.

8.2. Contribuții originale

Principalele contribuții originale aduse în lucrarea de față sînt:

A. În domeniul cercetărilor teoretice.

1. Fundamentarea din punct de vedere teoretic a principiilor încălzirii prin contact electric în vederea călîirii superficiale.

2. Exprimarea prin modelul matematic a variației temperaturii la suprafața piesei de încălzit și stabilirea curbelor de variație a temperaturii pe adîncimi mici cu ajutorul funcțiilor Bessel.

3. Pe baza principiilor teoretice, fenomenologice ale încălzirii prin contact electric și a condițiilor tehnologice impuse, s-a calculat și proiectat instalația atît din punct de vedere electric cît și din punct de vedere mecanic.

B. În domeniul cercetării aplicative.

1. Instalația proiectată și executată funcționează la

Intreprinderea de Vagoane din Arad. S-au făcut verificările inițiale privind tensiunea de alimentare (380 V) tensiunea din secundarul transformatorului (1,5...2 V), curentul din secundar (3600...4600 A) și puterea consumată (max 8,00 kW). Pe probele călite superficial s-au măsurat adâncimea ~~de~~ pătrundere a stratului călit și duritatea acestuia.

2. Instalația a fost recunoscută ca invenție prin brevetarea ei în R.S.R. Dosar Nr.55202/22 mai 1972.

3. Instalația a fost executată și în a doua variantă cu posibilități mai largi de utilizare în scopul aşchierii la cald și călire superficială imediată.

C. In domeniul cercetării experimentale.

1. Prin modificarea calității materialelor luate în studiu experimental, s-a putut urmări modificarea parametrilor electrici din primarul și secundarul transformatorului precum și puterea electrică consumată, stabilindu-se curbele de variație și expresiile matematice corespunzătoare.

2. S-a pus în evidență influența pe care o are variația diametrului pieselor asupra parametrilor electrici și asupra adâncimii de pătrundere a stratului călit.

3. S-a măsurat duritatea Rocwell a stratului superficial ridicându-se curbele caracteristice.

4. Pe baza diagramelor ridicate și tabelelor cu măsurări, se pot alege regimurile electrice și mecanice optime pentru gama de oțeluri și dimensiuni studiate.

5. S-a măsurat rugozitatea pieselor călite suprafețele ridicându-se profilogramele respective. S-a putut cunoaște astfel felul adausului de material care urmează să fie îndepărtat prin rectificare fără a trece prin semifinisare și finisare.

6. Determinarea pe bază de măsurări de duritate sub microsarcină a proprietăților mecanice ale straturilor afectate de transformări structurale și interpretarea rezultatelor obținute.

7. Evidențierea pe baza analizei metalografice a microstructurii pieselor, dealungul secțiunii cu identificarea constituenților caracteristici.

B I B L I O G R A F I E
=====

1. André Angot Complemente de matematici
 Ed.Teh.Buc.1965 cap.3
2. D.Boiangiu Elemente elastice ale maşinilor
 Gh.Paizi Ed.Teh.Buc.1967 cap.5 p.139-154
3. A.Breştin Studiul influenţei preîncăzirii
 inductive a stratului de suprafaţă
 la oţelurile supuse prelucrării prin
 aşchiere la strung.
 Teză de doctorat. Timişoara 1972
4. I.Bănăţeanu Metode moderne de analiză în indus-
 trie - metode optice.
 Ed.Teh.Buc.1962 cap.IV p.100-125
5. B.S.Balacsia Tehnologia construirii maşinilor
 unelte Tr. din L.Rusă.
 Ed. Teh.Buc. 1953 cap.7, p.3
6. Gh.Buzdugan Rezistenţa materialelor Vol.I
 Ed. Tehn. Buc. 1957, cp.2, cap.3.
7. A.M.Borovaia Prelucrarea arborilor căliţi
 V.P.Sarov Maşini-unelte şi scule nr.1/1957
8. A.Constantinescu Indreptar de fonte şi oţeluri
 ş.a. Ed.Teh.Euc. 1969 cap.3 p.101- 283
 cap.4 , p.322
9. I.Cartiş ş.a. Cercetări teoretice şi experimen-
 tale în vederea optimizării reg
 mului de călire cu flacără a ro-
 lor de rulare Conf.II. Procese ş
 utilaje de prelucrare p.350 -3.
 Timişoara 1963.

10. I.Cartiș Cercetări teoretice și experimentale asupra structurii proprietăților fizice și rugozității suprafețelor prelucrate prin eroziune electrică. Teză de doctorat. Timișoara 1973.
11. C.G.Caro, La cope des métaux et la formation de cope Formules, solutions. In Groupement pour l'avancement de la Mec.Ind.nr.2/1966 p. 1-20
12. G.A.Cascenco, Bazele metalurgiei fizice Ed.Teh.Buc.1952 cap.6 p.238-417
13. I.Cădariu Chimie fizică. Ed.Teh.Buc.1967 vol.I cap.2 p.139-145
14. V.Chiriță Matrițarea la cald a metalelor I.Drăgan Ed.Teh.Buc.1968 cap.1 , p.7-20
15. C.Ciucă Tratamentul termomagnetic al oțelului OLC 45 călit la martensită A II-a sesiune tehnico-științifică de tratament-termic București 1972, p.76-84.
16. I.Cubasta Comportarea oțelurilor speciale la călire IDT Buc.1949 cap.3,p.25-36
17. E.Dodon ș.a. Mașini-unelte Ed.Did.și Ped.Buc.1970 cap.6, p.258-307
18. G.Drăghici Bazele teoretice ale proiectării proceselor tehnologice în construcția de mașini Ed.Teh.Buc.1971 cap.10 p.175-209.
19. E.Decowski Călirea cilindrilor de lamină din oțel și fontă.IDT Buc. 1965 p.13-29

20. C.Dumitrașcu Călirea prin curenți de înaltă frecvență Ed.Teh.Buc.1962 cap.3 p.10-17
21. V.I.Dobrin Rascet temperaturunih deformații izdel obrabotivaemih na plankoshifonnykh stakah In Vesn.maşinostr. nr.6/1967 p. 65-67
22. George E.Dieter Metalurgie mecanică. Trad. din L. Engleză Ed.Teh.Buc.1970 cap.4 p.79-100 cap. 4, p.111-152
23. St.Enache Calitatea suprafețelor prelucrate Ed.Teh.Buc.1966 cap.3 p.77-83.
24. I.C.Furer Deplacement, relation et deformation dans la coupe orthogonale. In Micro-tehnic vol.25 nr.5/1971 p.83-320.
25. A.Fussl Un nou procedeu de purificare superficială a oțelului în băi de sticlă care se topesc la temperaturi joase. ODPF Buc.1973 nr.2 p.48-49 In Traitement thermique nr.70/72 p.47-50.
26. A.P.Guleaev Tratamentul termic al oțelului Ed.Teh.Buc.1962 cap.2 p.28-51, cap.4 p.103-151, cap.9 p.43-350
27. A.P. Guleaev Naucinie de cladi vișei skoli S.I.Artemieva Metalurgia nr.2/1959 p.103-108
28. I.Gavrilaș Netezirea și reconducerea suprafețelor Ed.Teh.Buc.1972 cap.4,5 p.82-139
29. A.Gray Funcții Bessel și aplicații lor în fizică Ed.Teh.Buc.1958 cap.2 p.23-33
30. G.S.Georgescu Indrumător pentru ateliere mecanice Ed.Teh.Buc.1961 cap.12 p.768-324

31. G.S.Georgescu Ghidul atelierului mecanic
Ed.Teh.Buc.1963 cap.4,5 p.123-209
32. S.Gîdea Aliaje neferoase
M.Protopopescu Ed.Teh.Buc.1965 cap.3 p.90-107
33. L.Hamburger Forjarea în matrițe
Ed.Teh.Buc.1956 cap. 3 p.51-72
34. I.P.Iuşcov Funcții Besselia i ih prilोजनाia k
zadaciам ob ohlajdenii țilindra
Ak.Nauk B. SSR 1962 cap.1
35. I.A.Jacquet Metodă nedistructivă de examinare
Van.A.Effenterre macro și microstructurală
Metallurg nr.2/1957 p.107-114.
36. L.G.Kuklin Influența tensiunilor asupra uzurii
metalului. In Mașini-unelte și scule
nr.3/1959 p.46-50.
37. G.L.Kuruklis Călirea în electrolit a oțelurilor
G.I.Ahmineev Mașghiz Moscova 1952 p.5-30
37. I.Lakhtine Métallographia et traitement ther-
miques des metaux Edition MIT Moscou
1971 cap.9 p.212 - 252
39. A.E.Lepaha Călirea la suprafață a oțelului cu
ajutorul flăcării IDT 1955 cap.2,3
p.6-52
40. E.Lenz Les problemes de la mesure des tem-
peratures de coupe. In Frano.de Meca-
nique nr.19/1960 p.21-27.
41. N.Leonăchescu Contribuții la studiul propaș cäl-
dunii prin solide.
Teză de doctorat București 1960

42. D.J.Lathan Stadiul actual al tratamentelor termomecanice aplicate oțelurilor de construcții. ODPT Buc. 1972 nr. 1 p.24-41. Din Journal of Iron and Steel Institute, ian. 1970 p. 50-54
43. I.B.Libisch Tratatamentul termic al oțelurilor inoxidabile cu ajutorul curenților de inducție. Progress nr.7/1968 p.78 - 85
44. A.Laconde Deformații la tratamentul termic al oțelurilor de construcții de mașini
R.Tricot ODPT Buc. 1973 nr.3 p.17-24
Din Revue de Metalurgie vol. 69,nr.1 ian. 1972 p. 23-36
45. E.I.Malinkina Formarea fisurilor la tratamentul termic al oțelurilor. IDT Buc. 1959 cap.1 , p.5-24
46. St.Mantea Teoria și practica tratamentelor termice Ed.Teh.Buc.1966 cap.5 p.197-197, cap.8 p.246-257.
47. A.N.Minkevici Tratamentele termochimice ale metalelor și aliajilor lor. Trad.din L.Rusă Ed.Teh.Buc. 1968 cap.1,2 p.9-104
48. E.Mencarelli Metalografia nedistructivă. Tehnică și aplicații. Memorial de l'artillerie française nr. 4/1965 p.861-90.
49. A.Manzini Durificarea superficială a fontelor maleabile perlitice. ODPT Buc. 1971 nr.1 p.51-55. Din La Fonderie italiana nr. 9/1971

50. E.Macherauch ș.a. Despre dezvoltarea concepțiilor despre tensiunile interne și definițiile lor corespunzătoare.
ODPT Buc. 1973 nr.3 p.54-63,
" Al 14-lea Congres internațional de tratament termic" Salzburg 15-17 mai 1972.
51. N.M.Nekrasova ș.a. Instalații electrice Industriale
Tr. din L.Rusă.
Ed.Teh.Buc. 1953 cap.1 p.5-25
52. R.Nemeny Călirea la flacăra a pieselor
GEP nr. 7/1961 p.273-279.
53. R.Nemeny Călirea succesivă circulară
GRP nr. 12/1960 p.160 - 170
54. L.J. Nicolescu Matematici pentru ingineri
Ed.Teh.Buc. 1961 cap. 1 p.5-
55. St. Nădășan Incercări și analize de metal
M.Rațiu Ed.Teh.Buc. 1965 cap.3 p.171 - 183
cap.8 p.413-444
56. A.Nanu Tehnologia materialelor
Ed.Did.și Ped.Buc. 1972 cap.5 p.23-35
57. A.Nanu ș.a. Tehnologia construcțiilor de mașini
Manualul inginerului mecanic vol.III
Ed.Teh.Buc.1972 cap. 14 p.773 - 808
58. B.D.Petrov , Influența regimului de încălzire cu
P.V.Sklinev ajutorul curenților de frecv.industrială asupra tensiunilor reziduale și asupra capacității de lucru a laminardrilor de laminor.
IDT Buc. 1965 p.56-59.

59. L.I.Popilov Prelucrarea electrică a metalelor
Tr.din L.Rusă Ed.Teh.Buc. 1956 cap.3
60. E.Pletăreanu Agenda electricianului
Ed.Teh.Buc.1971 cap.3 p.61
61. Gh.Paxino Metode și procedee de studiu
frecării și uzurii.
ICDT Buc. 1972 cap.2 p.31-41
62. N.Popescu Utilizarea probelor de călire frontală
C.Dumitrescu la studiul transformărilor ce au loc
la călirea și revenirea oțelurilor
slab aliate de îmbunătățire. A II-a
sesiune tehnic-științifică de trata-
ment termic București 1972 p.27-44
63. I.Pop Contribuții la studiul privind inter-
dependența între proprietățile materia-
lului și fenomenul ce însoțește pro-
cesul de aşchiere la prelucrare
pieselor zvelte.
Teză de doctorat - Timișoara 1973
64. B.Rotenstein Transformările austenitei la călire
continuă.
Cercet. Metalurgice 1967 p.217-231.
65. D.N.Reșetov Organe de mașini. Trad. din L.Rusă
Ed.Teh.Buc. 1963 cap.3 p.28-51
66. W.B.Rice Effects of cooling and heating work-
piece ant tool on chip formation in
metal cutting in Internat. J. Tool
Dising nr.3/1966 p. 143-150.
67. I.Radu Călirea superficială prin c
Fr.Lammert electric ODPT Buc. 1969 p.41-47.
68. I.Radu Dispozitiv pentru călire su-
Brevet de invenție nr.55202/1969

69. E.A.Smolnicov Metallovedenie i termiceskaia obra-
botka metalov. Nr.6/1961 p.7-13
70. V.V.Socolovschi Teoria plasticității
Ed.Teh.Buc.1953 cap.7 p.195-200
71. H.Schumann Metalurgie fizică. Ed.Teh.Buc.1962
Cap.4 p.288-349
72. V.N.Sokolov Incălzirea metalului. Calcule și
aplicații. Trad. din L.Rusă.
Ed.Teh.Buc.1957 cap. 3 p.48-102
73. Gh.Savii ș.a. Tehnologia construcțiilor de mașini
Ed.Did.și Ped.Buc.1967 cap.5 p.140-152
74. Gh.Savii
I.Radu Unele principii privind încălzirea
prin contact electric la frecv. de
50 Hz. Conf. II. Procese și utilaje
de prelucrare Timișoara 1973 p.358-368
75. Gh.Savii
I.Radu Călirea superficială prin contact
electric la frecv.de 50 Hz a oțelului
OLC 45. Conf.II. Procese și uti-
laje de prelucrare. Timișoara 1973
p.369-375.
76. Gh.Savii
I.Radu Călirea superficială prin contact
electric la frecv. de 50 Hz a unor
oțeluri aliate. Conf. II Procese și
utilaje de prelucrare.
Timișoara 1973 p.376 - 384.
77. Gh.Savii
I.Radu Cercetări experimentale privind căli-
rea superficială prin contact electric
la frecv.industrială de 50 Hz a oțelului
1974 Sesiunea jubiliară a I.Ș.

78. A.S.Sneiderman Prevrascenie astatocinovo austerita
pri otpuske. In Metallovedeniia intermi-
cescaia obrabotka metallov nr.5/1971
p.36-37.
79. N.I.Tait Tehnologia încălzirii oțelului
Metallurghizat Moscova 1950 cap.1
p.5-65.
80. M.Truşculescu Studiul metalelor. Ed.Did. și Ped.
Buc.1971 cap.9,12 p.180-211;253-260
81. I.G.Uzlov Vlionie scorosti chlaijdenia pri
N.I.Dancenکو zakalke na svoistvo uglerodistoi stali
In Metallovedenie; termiceskaia obra-
botka metallov. Nr.5/1971 p.54-56.
82. C.Vazaca Incălzirea prin inducție de joasă și
înaltă frecvență. Ed.Acad.RSR Buc.1956
cap.2 p.50 - 68, cap.5 p.139-141
83. N.Weaver La Métallurgie et la construc on
mecanique nr.6/1958 p.60-74.
84. Carl R.Weymueller Medii de călire moderne și aplicațiile
lor. ODPT Buc.1973 nr.3 p.35-43. Din
Metal Progress iul.1972 p.39-50.
85. M.Solacolu Cercetări privind asimilarea metodelor
metalografiei cu replică. ICTCM Buc.
1972,p.15-30.
86. x x x Hot machining in "American machinist"
Nr.11 iunie 1964 p.117-250
87. x x x Călirea de suprafață a cilindrilor de
laminor.
I.D.T. Buc. 1952 p.8-14.

CUPRINS

	pag.
Cap. I. INTRODUCERE.....	1
Cap.II. PARTICULARITATI ALE INCALZIRII IN VEDEREA CALIRII SUPERFICIALE.....	4
Cap.III. CONSIDERATII GENERALE ASUPRA METODELOR DE INCALZIRE SI CALIRE SUPERFICIALA.....	7
1. Călirea prin încălzire cu flacără....	7
1.1. Unele particularități ale călirii prin încălzire cu flacără oxigaz: 3	
2. Călirea cu încălzire în electrolit... 11	
2.1. Unele particularități ale călirii încălzirii în electrolit..... 11	
3. Călirea cu încălzire prin C.I.F..... 15	
3.1. Unele particularități ale călirii- încălzirii prin C.I.F.....	
Cap.IV. CALIREA SUPERFICIALA PRIN CONTACT ELECTRIC LA FRECVENTA INDUSTRIALA DE 50 Hz.....	19
1. Unele principii ale încălzirii prin contact electric.....	1
2. Particularități ale încălzirii prin contact electric.....	23
3. Transmiterea căldurii în zona de contact.....	24

Cap.V.	PROIECȚIA	10
	1.1. ABILITĂȚI	10
	1.1.1. Abilități de proiectare	10
	1.1.2. Abilități de proiectare	10
	1.1.3. Abilități de proiectare	10
Cap.VI.	REZULTATE EXPERIMENTALE	11
	1. Efectul temperaturii asupra ogelului	11
	1.1. Efectul temperaturii asupra ogelului	11
	1.2. Influența temperaturii asupra ogelului asupra	11
	parametrilor mecanici.....	11
	1.3. Influența temperaturii asupra ogelului asupra	11
	parametrilor mecanici asupra aderenței	11
	de pătrundere.....	11
	2. Cercetări efectuate asupra ogelului OLC45	11
	2.1. Influența temperaturii asupra ogelului asupra	11
	parametrilor mecanici.....	11
	2.2. Influența temperaturii asupra ogelului asupra	11
	parametrilor mecanici asupra aderenței	11
	de pătrundere.....	11
	2.3. Măsurarea temperaturii ogelului	11
	suprafaței.....	11
	3. Cercetări efectuate asupra ogelurilor	11
	3.1. Influența temperaturii asupra ogelurilor asupra	11
	parametrilor mecanici.....	11
	3.2. Influența temperaturii asupra ogelurilor asupra	11
	parametrilor mecanici asupra aderenței	11
	de pătrundere.....	11

	pag.
4. Curbe de duritate ale oțelurilor cercetare.....	104
5. Curbe de rugozitate a suprafețelor pieselor călite superficial prin contact electric.....	107
5.1. Considerații teoretice privind deformarea stratului superficial..	113
6. Cercetări metalografice.....	116
Cap.VII. 1. Considerațiuni asupra rezultatelor obținute.....	134
Cap.VIII.1. Concluzii.....	141
2. Contribuții originale.....	143
BIBLIOGRAFIE.....	146
CUPRINS.....	1