

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI.
INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

ING. MIRCEA GOLUMBA

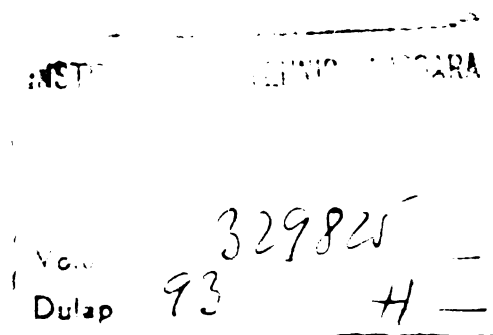
NETEZIREA ELECTROMECHANICA A ARBORILOR.

TEZA DE DOCTORAT.

CONDUCATOR STIINTIFIC.
PROF. DR. DOC. ING. AUREL NANU.

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMISOARA 1977



1. INTRODUCERE

Pretențiile mereu crescînde față de fiabilitatea și competitivitatea mașinilor, regimurilor intense la care sînt supuse și randamentul ridicat solicitat pe întreg parcursul întrebuințării lor, ridică probleme din ce în ce mai complexe față de calitatea materialelor, calitatea suprafețelor organelor de mașină, rezistență cît mai ridicată la uzură etc., pretenții care pot fi satisfăcute în condiții tot mai grele de metodele și procedeele tehnologice clasice de prelucrare dimensională. Urmare unei asemenea suprasolicitări tehnologice, în ultimele decenii au fost înscrise în inventarul posibilităților prelucrărilor dimensionale procedee noi de prelucrare cum sînt : metalurgia pulberilor, prelucrări cu plasmă, cu jet de electroni, cu laser, prelucrări cu cîmpuri electromagnetice și altele. Au apărut completări și în ce privește prelucrarea prin așchiere a unor materiale cu proprietăți mecanice ridicate prin introducerea de energie din afara sistemului pentru desprinderea în condiții optime a așchiilor. O evoluție similară în ansamblul acestor procedee noi le prezintă și cele ce se referă la netezirea suprafețelor prin vibronetezire, cu ultrasunete, electrochimic și mai recent, încercări de punere la punct a unor procedee electromecanice.

În contextul unor asemenea preocupări privind punerea la punct a unor procedee tehnologice noi de prelucrare dimensională se înscrie cercetarea efectuată asupra netezirii electromecanice a arborilor și a căror rezultate se află prezentate în lucrarea de față.

Netezirea electromecanică a arborilor este un procedeu nou de prelucrare pentru obținerea unor suprafețe de calitate ridicată din punctul de vedere al netezimii ($R_a = 0,4 \dots 0,6 \mu\text{m}$, $R_t = 2 \dots 6 \mu\text{m}$) și duritate mare (pentru OLC 60,53...55 HRC).

Procedeul este caracterizat drept o prelucrare de netezire realizată la cald ($950 \dots 1100^\circ\text{C}$) prin desprindere de așchii și deformare plastică a asperităților suprafeței și cu obținerea de transformări structurale caracteristice călirii-revenirii.

Procedeul prezintă o mare productivitate ca urmare a posibilităților ce le oferă de a fi aplicat imediat după eboșare și simultaneității în desfășurarea proceselor care formează netezirea electromecanică a arborilor.

Lucrarea are un caracter experimental și conține o mare densitate de date științifice și tehnice, tehnologice și economice (cca 12.400 date experimentale) cu o aplicabilitate directă în producție.

În lucrare se prezintă condițiile tehnice și tehnologice în care s-a desfășurat cercetarea, se analizează pe larg încălzirea prin inducție, se studiază teoretic și experimental aspectele tehnologice ale netezirii în condițiile de temperatură ridicată și cele care privesc transformările structurale de suprafață. Se prezintă de asemenea, un studiu al variației proprietăților stratului de suprafață cu cele ale parametrilor tehnologici la netezirea electromecanică a arborilor și evaluarea eficienței economice pe un reper din fabricația Intreprinderii Construcții de Mașini din Reșița.

Urmare a caracterului de noutate pe care îl prezintă lucrarea și aplicabilității imediate în producție, tema a constituit obiectul unui contract de cercetare științifică.

La realizarea lucrării au fost aduse următoarele contribuții: conceperea și utilizarea a două dispozitive originale prin inductorul folosit și vârful de fixare compensator de dilatație, măsurarea temperaturii la încălzirea prin inducție, geometria sculei și condițiile tehnologice optime de aplicare a netezirii, aspecte care privesc condițiile în care au loc transformările structurale de suprafață, de determinare teoretică a forței de netezire și interpretare prin funcții de corelație a rugozității suprafețelor netezite electromecanic.

În încheierea lucrării se prezintă concluziile rezultate în urma cercetării aplicative și prelucrării datelor obținute, avantajele și problemele pe care le mai ridică acest procedeu tehnologic de netezire.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETARILOR SI AL APLICARII PROCEDEELOR TEHNOLOGICE DE NETEZIRE A ARBORILOR.

2.1. Unele aspecte asupra prelucrării prin aşchiere

Metoda clasică de prelucrare prin aşchiere a semifabricatelor la cote finite constă în îndepărtarea adausului de prelucrare sub formă de aşchii. Acest proces are loc în urma deformăţii elastice şi a unei puternice deformăţii plastice determinate de către sculă asupra stratului de îndepărtat.

Studiul procesului de aşchiere este de o complexitate foarte mare deoarece participă un mare număr de parametrii cum sînt : proprietăţile fizico-chimice ale materialului de prelucrat şi cel din care este executată scula, parametrii regimului de aşchiere (S , t , V), geometria sculei, condiţiile de răcire-ungere, tăişurile de adaus etc. Dacă însă se are în vedere şi faptul că aceşti factori se influenţează reciproc, complexitatea interpretării fenomenului se amplifică deosebit de mult.

Condiţiile care determină desprinderea de aşchii de pe suprafaţa piesei sub acţiunea sculei sînt determinate de cel puţin trei aspecte :

- acţiunea feţei de degajare a sculei asupra adausului, respectiv asupra aşchiei în condiţiile unei viteze relative v_1 ;

- interacţiunea dintre suprafaţa de aşezare a sculei şi suprafaţa prelucrată a piesei cu o viteză v ;

- îndepărtarea prin aşchii a adausului se realizează aproape permanent de către sculă în condiţiile unei variaţii continue a geometriei sculei ca urmare a existenţei tăişului de adaus, uzură, condiţii termice etc. [2] . [3] . [5] . [8].

La prelucrarea prin aşchiere energia necesară efectuării lucrului mecanic de desprindere a aşchiei, este transmisă de către sculă ce se află în contact cu semifabricatul supus prelucrării. Pentru a se realiza însă o asemenea diferenţă de potenţial energetic între sculă şi piesă, este neaparat necesar ca proprietăţile mecanice ale sculei să fie superioare faţă de cele ale materialului piesei. De asemenea rigiditatea sistemului sculă-piesă să fie corespunzătoare forţelor ce apar la aşchiere.

În aceste condiții însă, în tot mai multe cazuri, datorită proprietăților mecanice ridicate ale materialului de prelucrat, așchierea ajunge în dificultate, devine nerentabilă, productivitatea este scăzută sau prelucrarea devine chiar imposibilă. Această limitare tehnico-economică a prelucrabilității prin așchiere se datorește faptului că transferul de energie se realizează numai prin sculă la semifabricat.

Un mod prin care să se îmbunătățească prelucrabilitatea unor asemenea materiale îl constituie introducerea în semifabricat a unei cantități determinate de energie de la un sistem independent de sculă. Această cantitate de energie introdusă în zona de așchiere va activa condițiile de prelucrare prin ridicarea energiei interne a materialului în zona de prelucrat.

Modul cel mai indicat de ridicare a energiei interne a materialului, în limite acceptabile prelucrării prin așchiere se realizează astăzi prin intermediul energiei termice. Aceasta poate fi transmisă și repartizată cu ușurință, beneficiază de posibilități bune de concentrare și reglaj.

În aceste condiții, de încălzire a adausului de îndepărtat, plasticitatea materialului din zona de prelucrat va fi îmbunătățită considerabil și urmare a unui asemenea fapt, are loc o reducere a solicitărilor mecanice ale sculei, se asigură o durabilitate mai bună acestuia și în același timp o rigiditate mai bună sistemului material-sculă.

Pentru demonstrarea posibilităților pe care le prezintă acest procedeu de prelucrare au fost realizate ample cercetări de către uzinele Krupp, Cincinnati Milling, URSS, Institutul Politehnic Timișoara, Institutul politehnic Brașov, ICTCM etc. [2] . [3] . [8] . [9] . [10] . [16] . [17] .

În acest sens de exemplu, firma Cincinnati Milling din SUA [10] a întreprins o serie de încercări experimentale pe oțelurile : AISI 4340, AM 350, 17-7 Th și oțel Thermold I, greu și foarte greu prelucrabile în condiții obișnuite. Determinările au fost realizate pe o mașină de frezat și un strung iar încălzirea, prin inducție cu curenți de înaltă frecvență. O par-

te din rezultatele obținute sînt reprezentate în figurile 2.1 și 2.2.

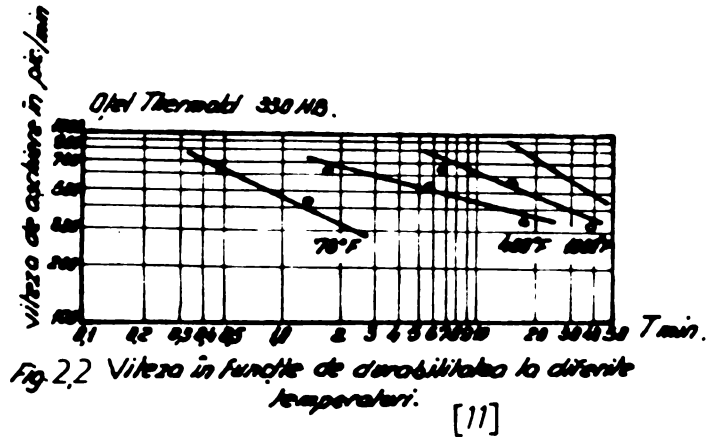
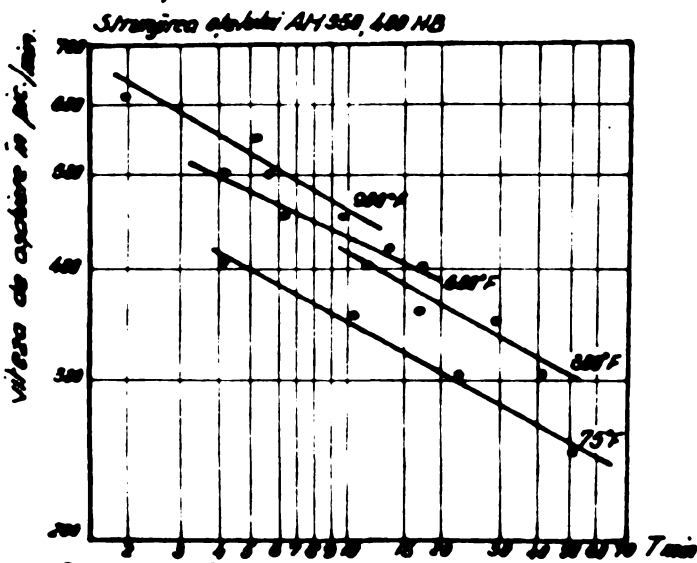
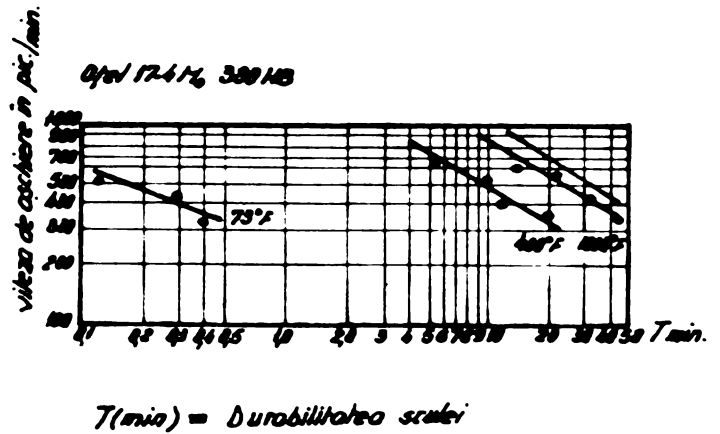
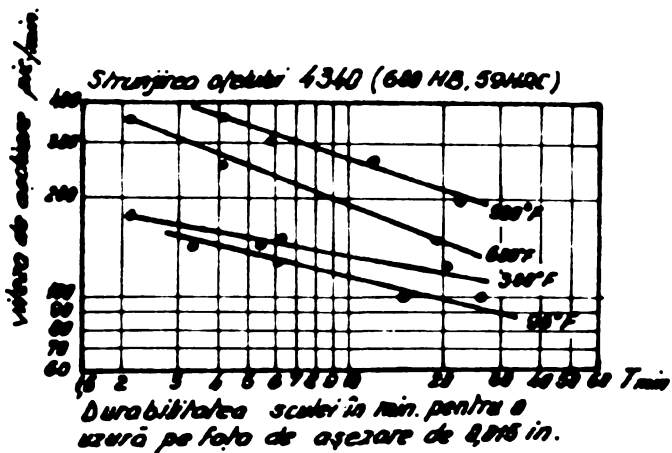


Fig. 2.1 Viteza în funcție de durabilitatea la diferite temperaturi. [11]

Fig. 2.2 Viteza în funcție de durabilitatea la diferite temperaturi. [11]

În urma experimentărilor făcute s-a stabilit că o creștere a temperaturii suprafeței piesei la 538°C (1000°F) conduce la o reducere cu 40...50 % a componentei F_z , cu 33...66% a componentei F_x și cu 40...60 % rezistența de rupere la forfecare.

La prelucrarea oțelului AISI 4340 cu duritatea de 59 HRC prelucrat cu $v = 40 \text{ m/min}$, durabilitatea sculei a crescut de la mai puțin de 2 minute la 20°C la 2 minute pentru o temperatură a suprafeței de 149°C (300°F), circa 13 minute la o temperatură de 315°C (600°F) și 35 minute la o temperatură de 473°C (900°F), ceea ce înseamnă o creștere a durabilității de 20 ori fig. 2.1.

În urma cercetărilor efectuate atât de această firmă precum de cei menționați mai înainte cu rezultat următoarele concluzii :

- aşchiera cu preîncălzirea stratului de suprafață conduce la creșterea productivității muncii ;
- prin aşchiere la cald se reduce puterea de aşchiere;

- temperatura tăişului sculei nu creşte proporţional cu temperatura materialului de prelucrat ;
- prelucrarea prin aşchiere la temperatura ridicată asigură creşterea durabilităţii sculei ;
- analizele metalografice au demonstrat că suprafaţa pieselor prelucrate la cald nu a suferit modificări substanţiale ale microstructurii ;
- rugozitatea suprafeţei a fost mai bună decât la aşchiera la temperatura obişnuită ;
- inducţia cu curenţi de frecvenţă radio este satisfăcătoare, însă comparabil cu frecvenţele muzicale, este limitată în ce priveşte gradul de concentrare ce poate fi obţinut.

2.2. Netezirea prin deformare plastică la temperatura obişnuită şi cu preîncălzirea stratului de suprafaţă.

Netezirea prin deformare plastică la temperatura obişnuită este cunoscută în literatura de specialitate sub denumirea de netezire prin rulare.

Netezirea prin rulare la rece este de cele mai multe ori o prelucrare finală aplicată cu scopul de finisare şi durificare a suprafeţelor. Se poate realiza în mai multe moduri: prin calibrare, atunci când printr-un alezaj scula este forţată să treacă prin alunecare; prin rulare, adică prin rostogolirea sculei pe suprafaţa de lucru; şi prin lovire, determinată de loviri succesive şi uniform dirijate pe suprafaţa care trebuie să fie prelucrată. În fig.2.3. se prezintă în principiu, modul în care are loc netezirea prin alunecare, rulare şi lovire.

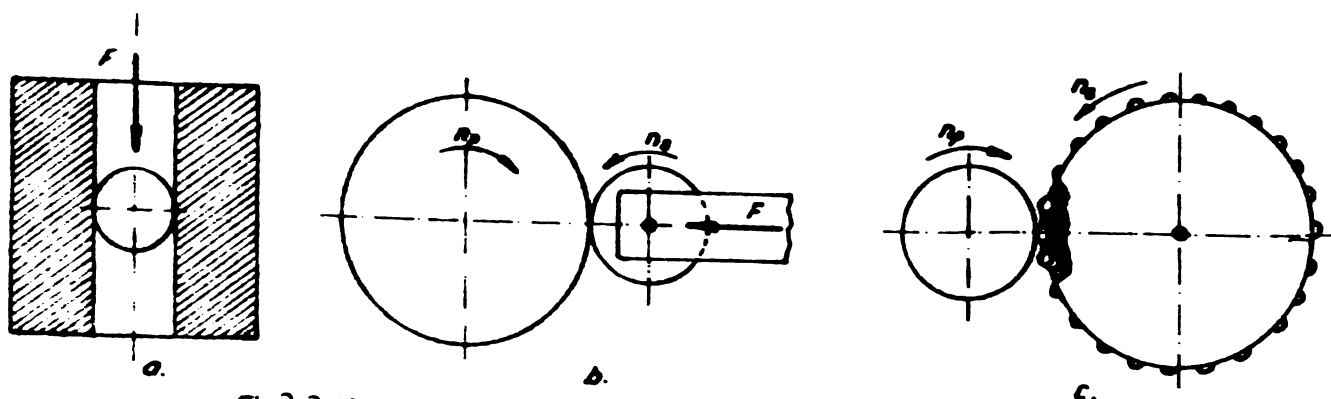
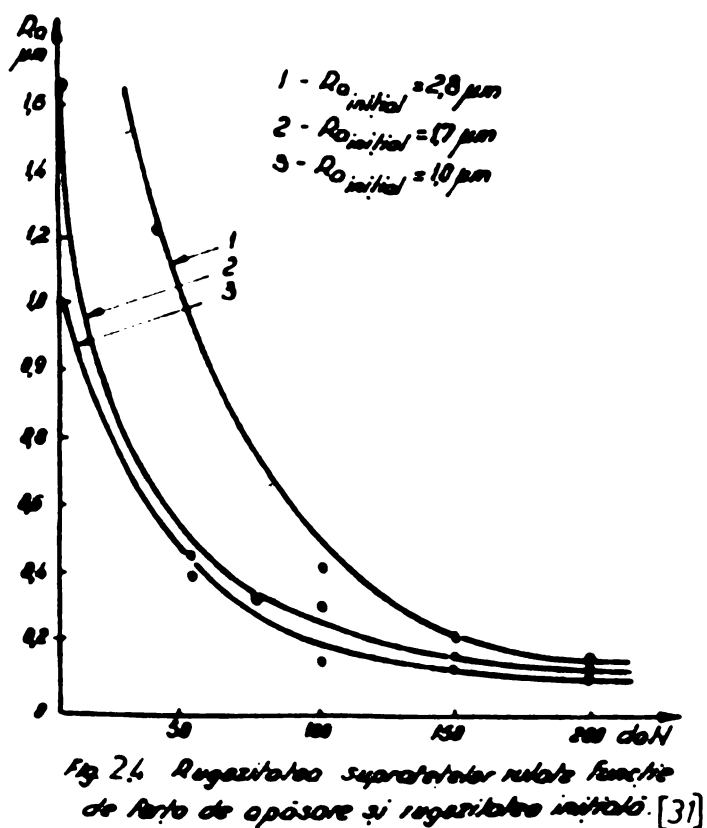


Fig.2.3 Netezirea şi ecruisarea suprafeţelor prin: a. calibrare cu bită; b. rulare; c. lovire cu bile centrifugate.

Procesul de deformare plastică la rece a stratului superficial are ca rezultat îmbunătățirea preciziei dimensionale, și de formă, a microgeometriei și a proprietăților fizico-chimice ale suprafeței.

Structura materialului deformat se deosebește de cel de bază prin aceea că apare o mărunțire a constituentului mai dur în timp ce constituentul mai tenace se va alungi în direcția deformării plastice, obținându-se o structură orientată cu caracter aproximativ fibros. În același timp însă, urmare a deformării plastice realizate la rece, are loc o tensionare locală remanentă, și în consecință, creșterea durității. Această durificare, ecruisare, a stratului deformat poate fi mai mare ca cea inițială cu 50...100%.

Suprafețele prelucrate prin rulare, ca urmare a deformării plastice superficiale, suferă o netezire a microneregularităților, fig.24, care poate ajunge pînă la $R_a = 0,1 \mu\text{m}$, ea depinzînd însă în foarte mare măsură de valoarea rugozității avute de suprafață înainte de rulare.



Creșterea gradului de netezire a suprafeței rulate, conduce la creșterea rezistenței la uzură și coroziune reflectată asupra creșterii durabilității în funcționare a pieselor prelucrate.

Deformarea plastică a stratului de suprafață conduce la crearea unei stări de tensiuni remanente, fig. 25, ce determină creșterea rezistenței îndeosebi a celei la oboseală.

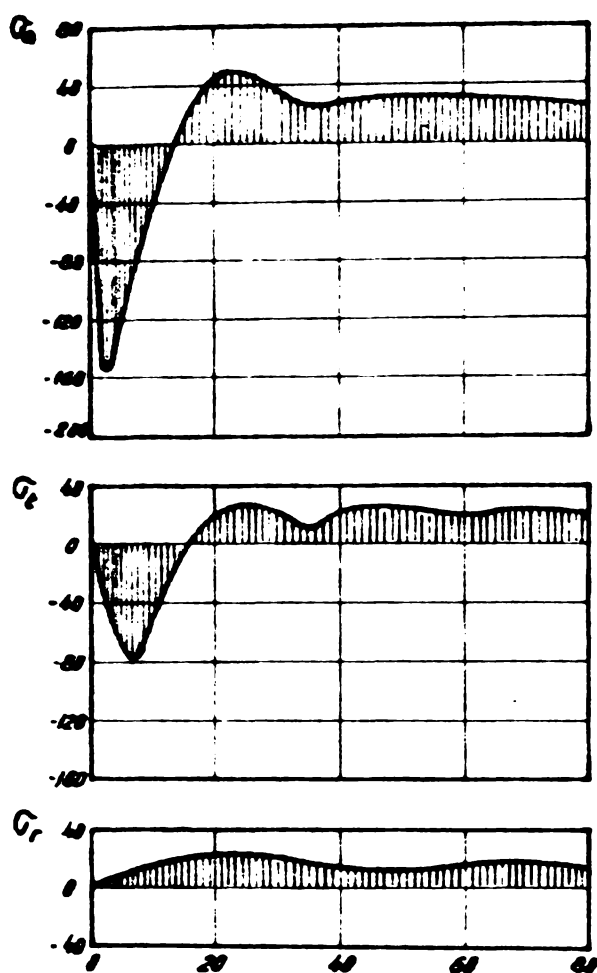


Fig. 25 Tensiuni remanente în stratul superficial al materialului. [47]

Tensiunile axiale σ_a sînt mai mari cu 1,5...2 ori decît cele circulare σ_t , iar cele radiale σ_r au numai valori pozitive.

Ceea ce este de subliniat însă, este faptul că starea de tensiuni remanente are un gradient ridicat, care face ca în unele cazuri, să se depășească limitele de curgere a materialului, fapt ce duce la apariția de microfisuri pe suprafața piesei rulate.

Calitatea suprafețelor pieselor în construcția de mașini

este de o importanță primordială deoarece determină valoarea sarcinilor de încărcare a suprafețelor, durabilitate în funcțiune în limitele unor abateri dimensionale minime și de randament în funcționare, determină o deosebită atracție din partea cercetătorilor.

Alături de o seamă de cercetări ce se efectuează și astăzi privind netezirea prin rulare la temperatura obișnuită, au început să apară preocupări de netezire prin rulare cu preîncălzirea stratului de suprafață [26], [27].

Se remarcă în preocupările cercetătorilor sovietici căutări privind îmbunătățirea în continuare a calității suprafețelor de alunecare prin netezire a asperităților prelucrării anterioare, Se propune încălzirea suprafețelor pieselor prin rezistență de contact pentru îmbunătățirea plasticității materialului și apoi cu ajutorul unei scule ce lucrează prin alunecare să se netezească denivelările existente.

Practic însă, în prezent nu sînt cunoscute condițiile fenomenologice și de legitate privind îmbunătățirea calității suprafețelor prin deformare plastică a rugozității la cald. De aseme-

o suprafață de alunecare a unui organ de mașină, nu este suficient să prezinte numai precizie inițială corespunzătoare și un grad de netezime cât mai ridicat cu scopul măririi suprafeței portante, trebuie să posede, alături de asemenea calitate, o rezistență la uzură corespunzătoare, îmbunătățirea în continuare a rezistenței la oboseală prin reducerea concentratorilor de tensiune de la suprafață, capacitatea de a forma la suprafața cuplei un strat de lubrefiant cu o bună coeziune etc.

Datorită unei asemenea situații existente privind cunoașterea netezirii cu preîncălzirea stratului de suprafață, a determinat abordarea studiului acestei probleme.

3. CONDIȚIILE TEHNICE SI TEHNOLOGICE FOLOSITE LA CERCETAREA NETEZIRII ELECTROMECHANICE

Pentru efectuarea experimentărilor privind netezirea suprafețelor cilindrice cu transformări structurale pe suprafața netezită și pentru stabilirea condițiilor de aplicabilitate, a avantajelor și dezavantajelor procedurii, a fost folosită o gamă largă de instalații, mașini, scule, dispozitive, aparate de măsură și control.

Instalațiile de bază folosite au constat dintr-un strung normal, un grup convertizor de medie frecvență, instalații și dispozitive pentru încălzirea stratului de suprafață a arborilor, dispozitive și aparate pentru stabilirea condițiilor termice de lucru, a forțelor și puterii la netezire.

Măsurătorile și analizele efectuate asupra transformărilor structurale, asupra variației formei și proprietăților constituenților și pentru stabilirea valorii tensiunilor interne, au fost întrebuintate posibilitățile oferite de microscopul metalografic.

Pentru studiul proprietăților suprafeței s-a folosit un rugozimetru cu traductor inductiv, aparate de măsură privind duritatea, dispozitiv de rodare etc., iar pentru interpretarea influenței parametrilor tehnologici asupra rugozității suprafeței

cu ajutorul funcțiilor de corelație, s-a folosit calculatorul electronic Felix C 256.

La baza condițiilor tehnice și tehnologice privind efectuarea cercetării au fost adoptate unele principii care să asigure un caracter unitar și în același timp precizie ridicată asupra mărimilor fenomenelor urmărite. Printre acestea sînt :

a. - păstrarea constantă a tuturor condițiilor inițiale stabilite privind condițiile materiale, scule, de etalonare și unități de măsură și control.

b. - folosirea în ceea mai mare măsură a posibilităților de măsură și control pe cale electrică și mai puțin mecanică s-au altele.

c. - analiza evoluției fenomenelor cel puțin prin trei puncte.

3.1. Prezentarea instalațiilor de bază folosite

Instalațiile de bază folosite la experimentarea netezirii electromecanice a arborilor sînt, mașina unealtă și sursa de medie frecvență.

Mașina unealtă folosită pentru determinarea condițiilor în care să se realizeze netezirea electromecanică a arborilor a constat dintr-un strung normal de tip SNA 500 x 1000, de fabricație R.S.R.

Principalele caracteristici ale strungului sînt :

- gama turațiilor arborelui principal $n = 16 ; 20 ; 25 ; 31,5 ; 40 ; 50 ; 63 ; 80 ; 100 ; 125 ; 160 ; 200 ; 250 ; 315 ; 400 ; 500 ; 630 ; 800 ; 1000 ; 1250 ; 1600$ rotații/minut.

- gama avansurilor automate fine $S = 0,028 ; 0,04 ; 0,045 ; 0,05 ; 0,063 ; 0,071$ multiplicat cu 1x, 2x, 4x și 8 x.

- puterea motorului de antrenare 14 KW.

- distanța între vîrfuri $L = 1000$ mm.

- diametrul maxim de prelucrat $D_{max} = 500$ mm.

Acest strung a fost folosit pentru realizarea de către piesă a mișcării principale, de rotație și a celor secundare de avans. De asemenea pe mașină au fost montate instalațiile pentru încălzire, a dispozitivului pentru măsurarea componentelor forței care apare la prelucrare și pirometrul.(fig.3.1).

Aceste instalații au fost montate pe mașina unealtă în felul următor :

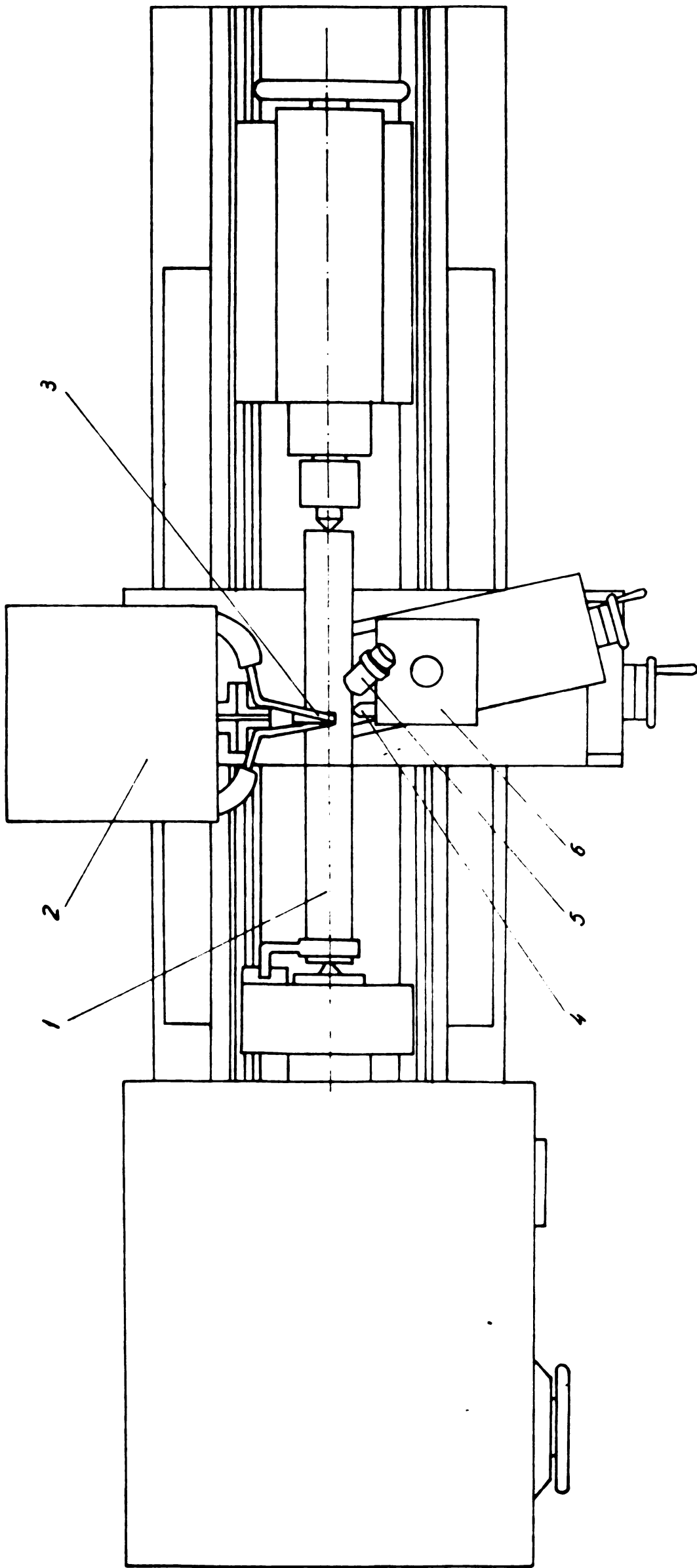


Fig 3.1 Schita montajului pe string.

1-piesa de preluorat, 2-transformatorul de adaptare, 3-inductor, 4-sculă;
5-pirametu; 6-dispozitiv tensiometric.

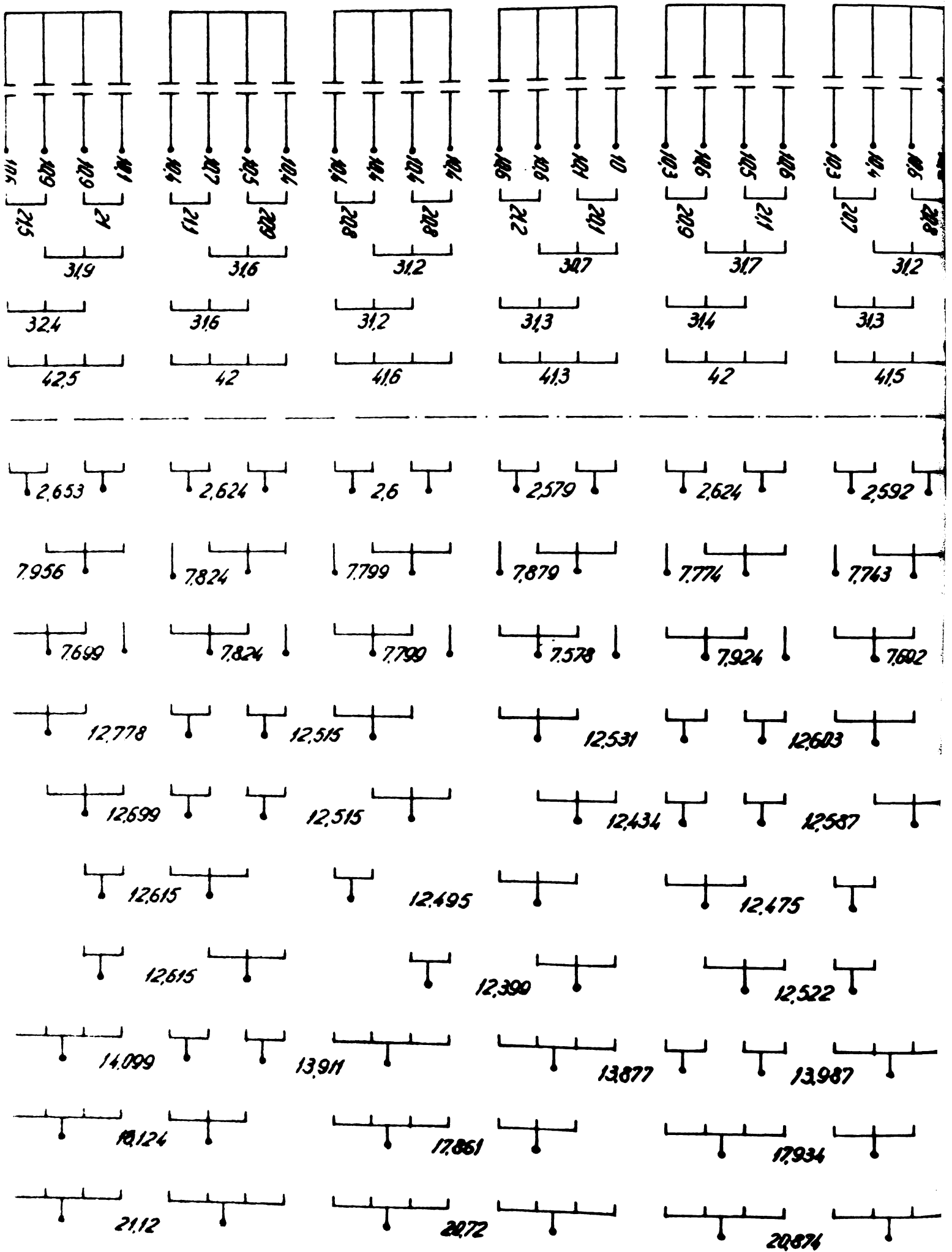


Fig. 3.2 Schema de conexiuni a bateriei de condensatoare.

- pe sania secundară a strungului (cea transversală) într-o poziție diametral opusă sculei s-a așezat transformatorul de adaptare și pe care apoi s-a fixat inductorul.

Considerentele care au condus la un asemenea montaj au fost determinate de necesitatea încălzirii suprafeței piesei de către inductor prin intermediul curenților de inducție. Se stabilește astfel o bună centrare a inductorului pe piesa fixată în mandrină și vârful rotativ, de asemenea se asigură posibilitatea încălzirii pe lungime a piesei.

- pe sania auxiliară (port cuțit), în locul port cuțitului s-a adaptat și montat dispozitivul traductor pentru măsurarea pe cale tensiometrică a celor trei componente ale forței la netezire.

- de asemenea, alături de traductorul tensiometric sa montat piometrul pentru măsurarea temperaturii suprafeței de prelucrat. Acest traductor s-a plasat de o asemenea manieră încât să vizeze direct suprafața care urmează să treacă în dreptul sculei pentru a fi netezită.

În cursul experimentărilor s-au utilizat regimuri prestabilite atât în cazul prelucrării inițiale prin așchiere (eboșare) cât și la finisarea electromecanică. S-au utilizat turații de 160; 315; 500; 630; rot/min. la eboșare și finisare, ceea ce reprezintă pentru diametrul piesei $D = 50$ mm următoarele viteze de prelucrare $V = 25,1; 49,5; 78,5; 99$ m/min.

Avansurile longitudinale folosite la prelucrarea obișnuită au fost de $S = 0,028; 0,112; 0,224$ mm/rot. iar la netezirea electromecanică $S = 0,05; 0,1; 0,2; 0,4$ mm/rot.

Adâncimile utilizate la prelucrarea clasică au fost de $t = 2$ mm iar la netezire $t = 0,05; 0,1; 0,2$ mm.

Sursa de curent de medie frecvență necesară încălzirii inductive a stratului supus netezirii prin deformare plastică se compune din următoarele părți principale: grupul convertizor de medie frecvență, tablourile de comandă și protecție, bateria de condensatoare și transformatorul de adaptare.

a. Grupul convertizor de medie frecvență tip CEF-AV-100/3000 fabricat în RSR este compus din două mașini electrice: motor și generator.

Motorul trifazat cu rotorul în scurtcircuit are urmă-

toarele caracteristici: puterea de 100 KW, tensiunea de 700 V, curentul 179 A, frecvența sincronă 8000 Hz, $\cos\varphi_{\min}$. 0,8 capacitiv și tensiunea maximă de excitație 60 V.

Tablourile de comandă și protecție sînt dotate cu aparatajul necesar alimentării motorului cu curent de la rețea, amplificator magnetic și redresor pentru excitarea generatorului, aparataj pentru reglaj manual și automat, aparataj de protecție precum și aparate pentru măsurarea parametrilor curentului de alimentare a motorului și a celui de 8000 Hz.

Bateria de condensatoare a fost introdusă în circuitul curentului de 8000 Hz pentru compensarea puterii reactive și creșterea factorului de putere. Se compune din 6 condensatoare tip **ESV** - 375 V fabricate în URSS cu următoarele caracteristici: capacitatea totală 41,8 F, 8000 Hz, 375 V și 296 KVAR. Fiecare condensator este format de fapt din patru condensatoare cu un electrod comun. Schema de conexiuni a bateriei de condensatoare se prezintă în fig. 3.2.

Transformatorul de adaptare este folosit pentru acordarea parametrilor indicatorului cu parametrii sursei de alimentare. Transformatorul utilizat este de tip **TMC-8000/III** de 700 KVA 93,3 A în primar și 75 V în secundar, fabricat în RSR. Primarul acestui transformator este format din 10 spire iar secundarul dintr-o singură spirală.

Inductörul se alimentează de la secundarul transformatorului cu un curent cu următorii parametrii maximali (în condiții normale): 70 V și cca 1700 A.

Transformatorul de adaptare împreună cu bateria de condensatoare formează circuitul oscilant, care la rezonanță conduce la un transfer maxim de putere din inductor în piesa ce este supusă încălzirii prin inducție.

3.2. Scule și dispozitive

Sculele și dispozitivele folosite au constat din scule necesare netezirii prin alunecare, rostogolire și desprindere de așchii iar printre dispozitivele speciale întrebuintate se află cel folosit ca traductor la măsurarea componentelor forței necesare la prelucrare, dispozitivul de fixare compensator de dilatație și altul necesar stabilirii stării termice a piesei de prelucrat.

Sculele experimentate au fost alese astfel încât să se asigure o cuprindere largă a posibilităților de netezire prin deformare plastică, desprinderea de așchii și mixt. Tipurile și geometriile acestora sînt date în tabela Nr.1.

Prin analogie cu rezultatele bune obținute la prelucrarea prin rularea la rece a suprafețelor [31], pentru studierea netezirii prin deformare plastică s-au utilizat scule de netezire prin rostogolire (tabela Nr.1 tip A) și scule de netezire prin alunecare (tabela Nr.1, tip B,C,E). În fig. 33 se prezintă scula utilizată pentru cercetarea netezirii prin rostogolire. Aceasta a fost prevăzută și cu mijloace de control al temperaturii suprafeței bilor utilizate.

O largă gamă de scule utilizate o constituie cele care prelucrează suprafețele prin desprindere de așchii. (tabela Nr.1, tip F, F1, F2, F3).

De asemenea a fost studiat și comportamentul unor scule mixte: deformare - desprindere, cum este cel din tabela Nr.1, tip D respectiv D1.

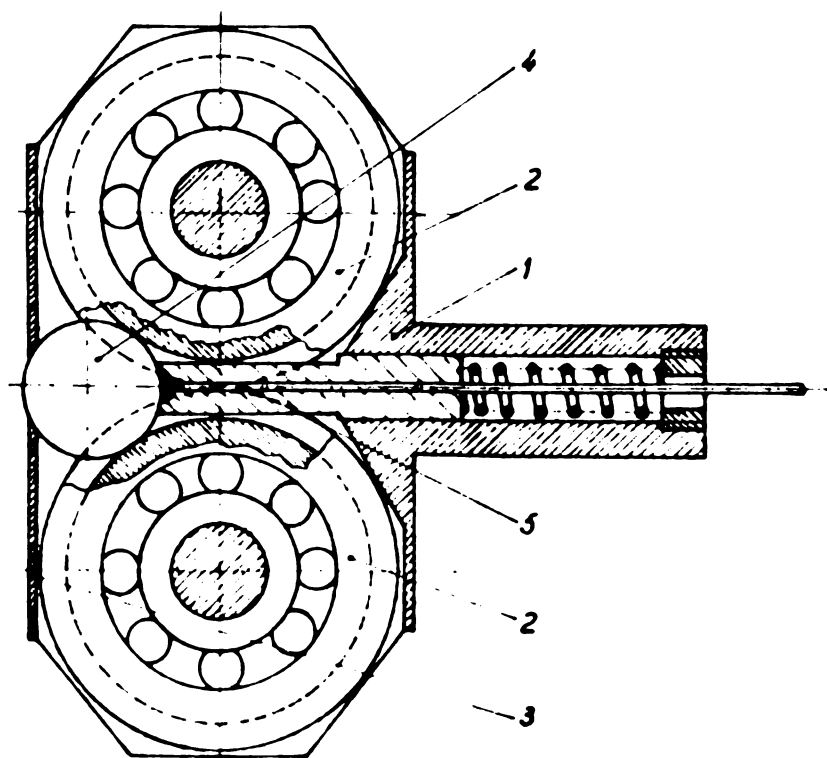


Fig.3.3 Scula de netezit prin rostogolire cu bilă.
1-corpul sculei; 2- rulmenți; 3-carcasă; 4-bilă; 5-termocuplă.

Materialele utilizate pentru confecționarea părților active ale sculelor sînt : RUL 2 pentru scula de Tip A, P 30 (S3), P 40 (S4) pentru cele de tip B, C,D și E, iar pentru sculele de Tip F au fost utilizate în plus față de cele anterioare plăcuțe metaloceramice : TIS3T, S22T, IC30T, corindonul și plăcuța din carbură de bohr.

Dispozitivul tensiometric pentru măsurarea celor trei componente folosit

la cercetarea forțelor apar la prelucrare este prezentat în fig.

34. A fost conceput de o asemenea manieră încît vibrațiile, cîmpurile electromagnetice temperatura etc., să nu influențeze valoarea măsurărilor efectuate. [30]

Elementele elastice sînt simple, într-un număr cît mai mic posibil și fac corp comun cu port scula 2 fig. 34. Elementele elastice fiind solicitate la încovoieșe și torsiune, dimensionarea a fost făcută pe această bază precum și pentru solicitarea maximă de 100 daN. Acestea au fost executate dintr-un oțel ARC 1 STAS 795-62 deoarece prezintă foarte bune calități elastice în urma tratamentului termic de călire la 850°C în ulei urmată de o revenire la 450° .

În fig.3.4 se prezintă și modul în care a fost dimensionat dispozitivul, de asemenea și curbele de etalonare.

Etalonarea a fost făcută cu folosirea unor greutăți așezate după cele trei direcții de lucru al dispozitivului.

În urma etalonării efectuate s-a stabilit că dispozitivul prezintă o eroare mai mică de 2 %.

Dispozitivul pentru determinarea regimului termic în piesa încălzită prin inducție este prezentat în fig. 3.5. Ca transductoare au fost folosite termocuple $P_t-P_t.R_{h10}$ a căror sudură caldă a fost fixată prin strîngere pe suprafața a cărei temperatură o măsoară.

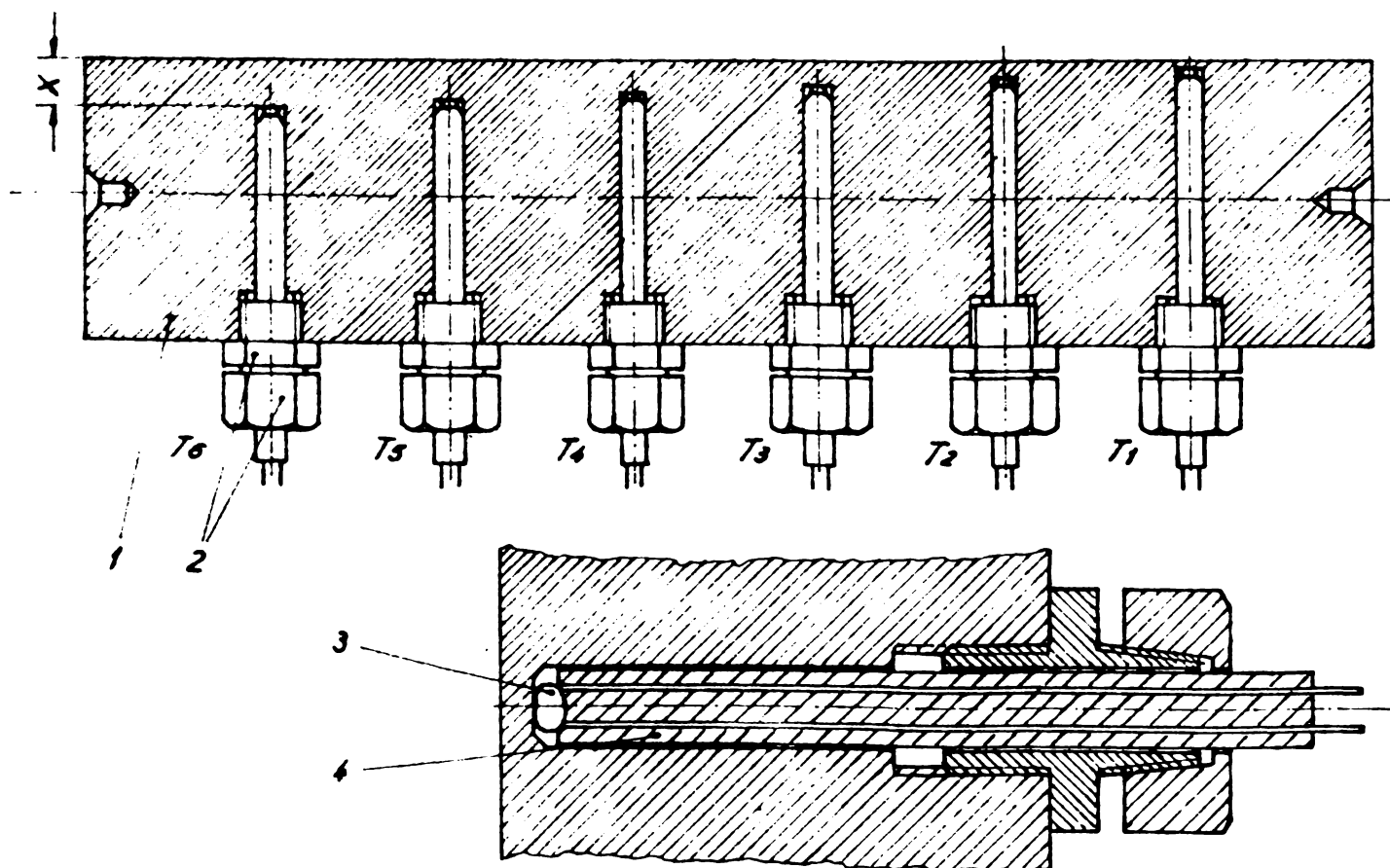
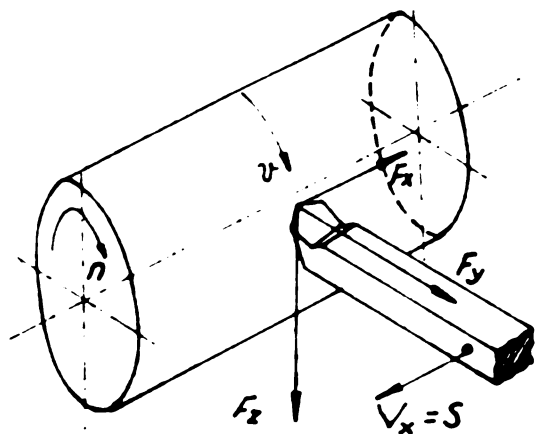
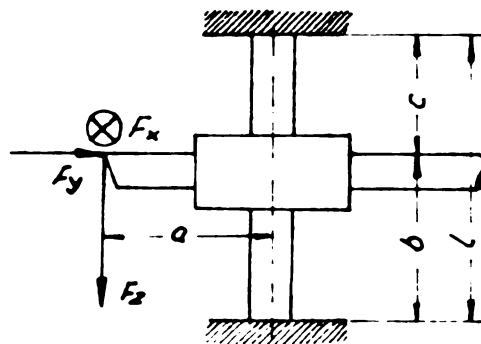


Fig 3.5 Modul de realizare a probelor pentru stabilirea efectului termic la încălzirea prin inducție. 1-probă; 2-organe de fixare; 3-termocuplă; 4-izolator.

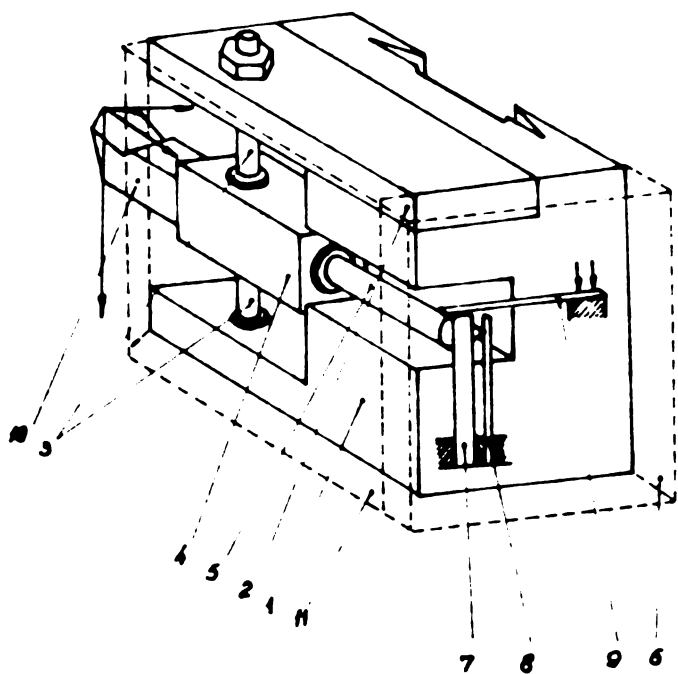
Dimensionarea și etalonarea dispozitivului tensiometric.



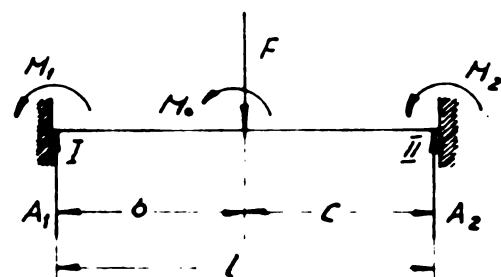
Strunjirea cilindrică



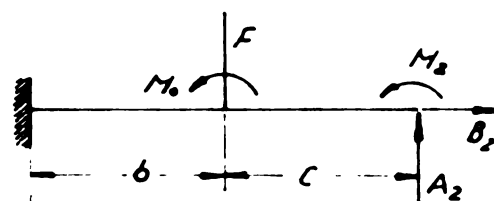
Modul de solicitare a elementelor elastice



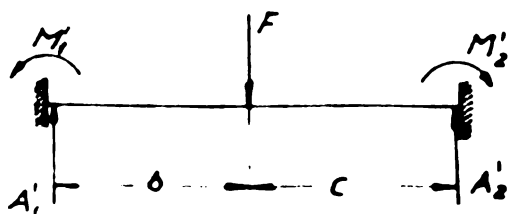
Dispozitivul tensiometric



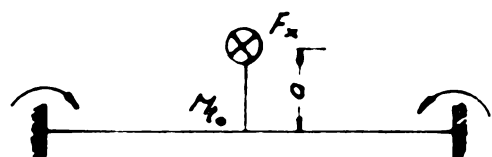
Grindă dublu încastrată



Înlocuirea unei încastrări cu un moment și două forțe.



Solicitarea grinzii de către F_y.

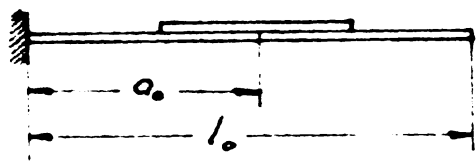
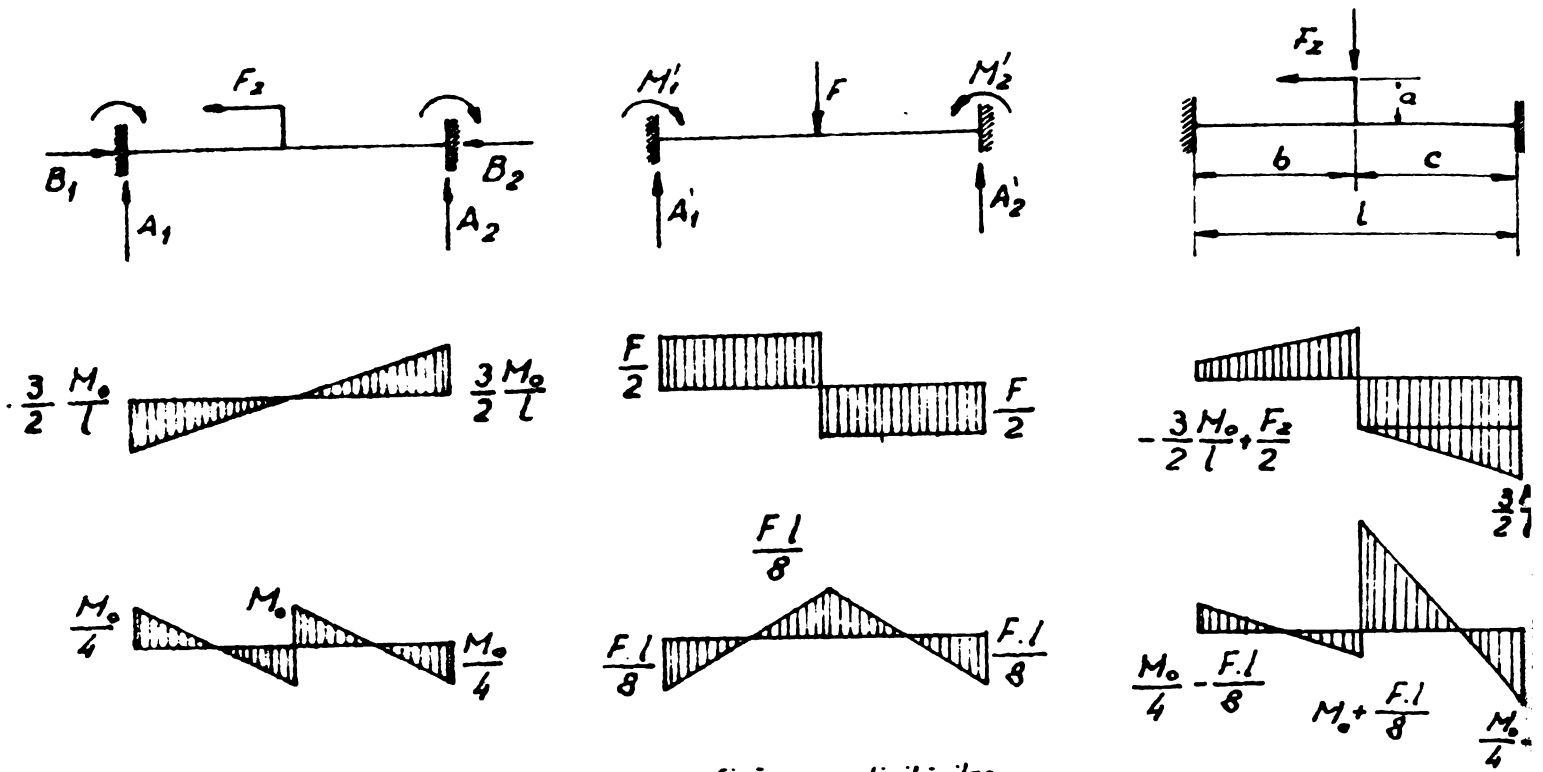


Solicitarea grinzii de către F_x.

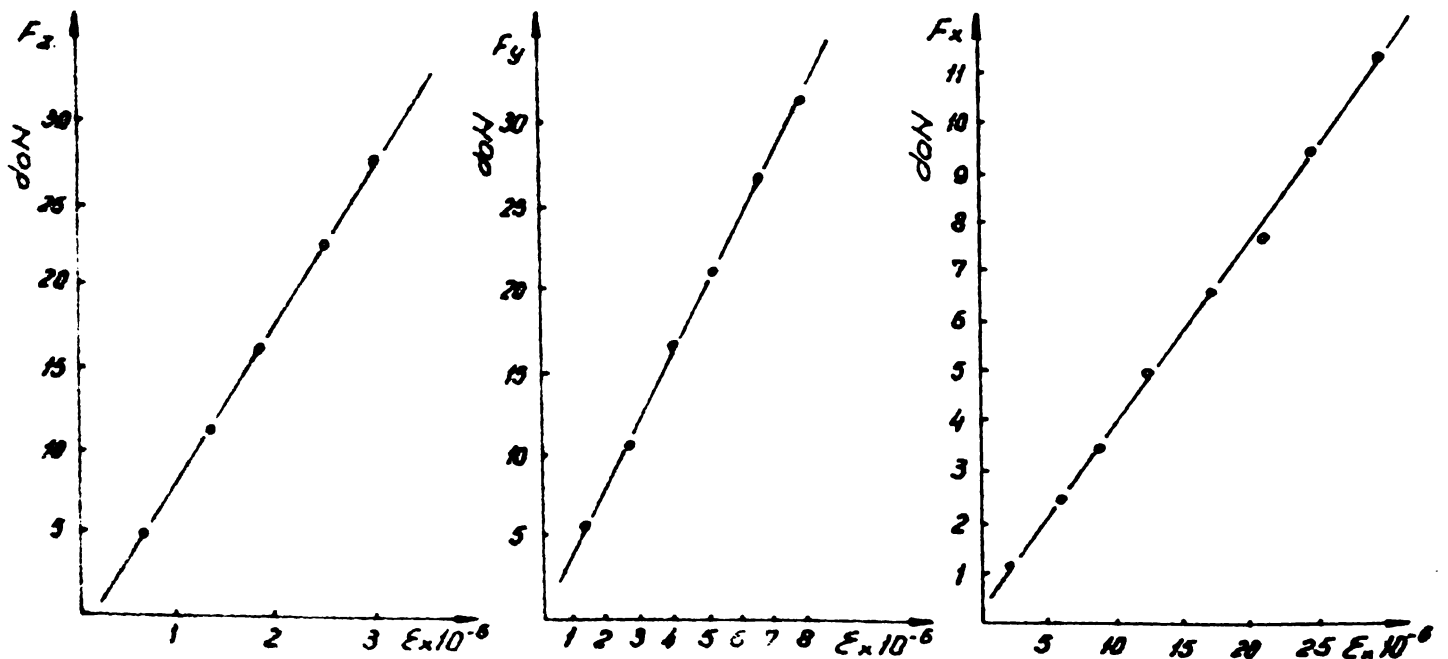
Fig. 3.4

INSTITUTUL DE RESEARCH ȘI ÎNCĂLZIREA

329825
93 H



Modul de fixare a limbrelor tensiometrice



Curbele de etalonare ale dispozitivului.

Continuare la Fig. 3.4

Sudurile calde ale termocuplelor au fost plasate la adâncimi variabile $x = 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5$ mm pe una din bare iar pe cea de a doua la $x = 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 10,5; 11,5$ mm și la $1; 2; 3; 4; 5; 6$ mm. Se asigură astfel posibilitatea obținerii de informații de la adâncimi variabile privind temperaturile maxime atinse de material și despre modul în care are loc deplasarea frontului termic de-a lungul piesei.

Dispozitiv de fixare compensator de dilatație (fig.3.6)

Pentru preîntâmpinarea deformării pieselor prelucrate la cald ca urmare a dilatării, a fost conceput un dispozitiv original care să realizeze strângerea necesară dar în același timp să preia deplasările axiale.

3.3. Aparat de măsură și control

Datorită complexității destul de mari al netezirii electromecanice, a domeniilor vaste și necunoscute care trebuiau a fi cercetate, au fost necesare game largi de aparate de măsură și control.

Măsurătorile efectuate asupra regimului termic atât al sculei cât și al piesei efectuate cu termocuple și pirometre au fost înregistrate continuu cu ajutorul înregistratoarelor indicator electronice tip E 467 de fabricație RSR.

Măsurătorile tensometrice efectuate au fost realizate cu aparatură modernă și de mare sensibilitate. Complexul de aparate a fost constituit dintr-o punte RFT tip UM 111, cutie de comutație RFT tip UMM 161, voltmetru digital RFT tip 4014 a, codificator RFT tip 3512 a și un imprimator RFT tip 35356. Schema bloc a instalației este reprezentată în fig. 3.7.

Măsurătorile efectuate asupra puterii consumate la prelucrare, pe schemă, au fost efectuate cu o trusă Wattmetrică tip QN10 și un înregistrator Wattreg 3.

Interpretarea microstructurilor și efectuarea unor măsurători asupra microdunității și a unor lungimi cu precizie foarte ridicată a fost folosit microscopul metalografic Neofot 2 de fabricație DDR.

Pentru interpretarea rugozității suprafețelor s-a folosit un rugozimetru tip Förster cu traductor inductiv și palpator de diamant care a asigurat efectuarea de măsurători pentru ru-

gozități cuprinse între $R_t = 0,1 \dots 100 \mu m$.

3.4. Materialele supuse prelucrării

Deoarece pe lângă scopul propus privind cercetarea fenomenelor legate de procedeul de netezire electromecanică a arborilor se impune aproape de la sine și realizarea unor paralele cu prelucrarea unor repere din producția actuală a unor întreprinderi din țară, se stabilește drept materiale de bază pentru cercetare OLC 45 și OLC 60.

Se face această alegere pe baza următoarelor considerente :

a. - Reperul ales și folosit drept comparație este bolțul piston al motorului Diesel de 2500 CP din producția I.C.M. Reșița executat în prezent în oțelul aliat 13 CN 35.

Proprietățile mecanice ale acestui oțel călit la $880 \dots 900^\circ C$ în ulei și revenit la $500^\circ C$ sînt: $\sigma_r = 81 \text{ daN/mm}^2$; $\sigma_s = 17 \%$; $Z = 68 \%$; $KCU = 16 \text{ daNm/cm}^2$, duritatea de 56 HRC [35].

b. - Proprietățile mecanice ale oțelului OLC 60 normalizat

sînt: $\sigma_r = 72 \text{ daN/mm}^2$; $\sigma_s = 14 \%$; $Z = 35 \%$; $KCU = 4 \text{ daNm/cm}^2$; duritatea de 300 HB 35.

De asemenea așa cum rezultă și din fig. 3.8 duritatea acestui oțel după călire la $800 \dots 820^\circ C$ în apă ajunge la 687 HB ceea ce înseamnă 59 HRC.

În tabelele Nr.2 se prezintă modul de interpretare a curbelor de pe graficele înregistratoare, de completare a tabelor cu date experimentale și relațiile utilizate pentru stabilirea prin calcul a unor parametrii.

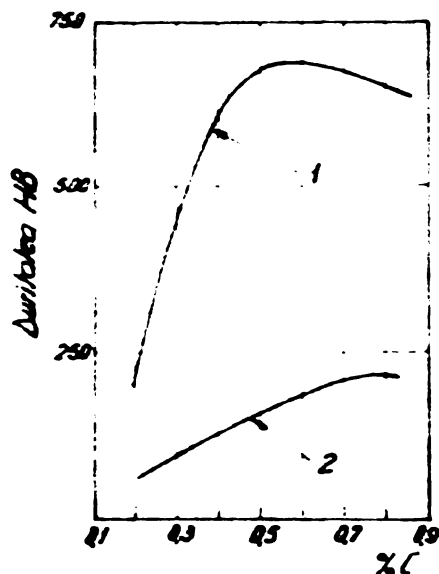


Fig.3.8 Influența conținutului în carbon asupra durității oțelului călit.

1- după călire în apă

2- imediat de călire. [35]

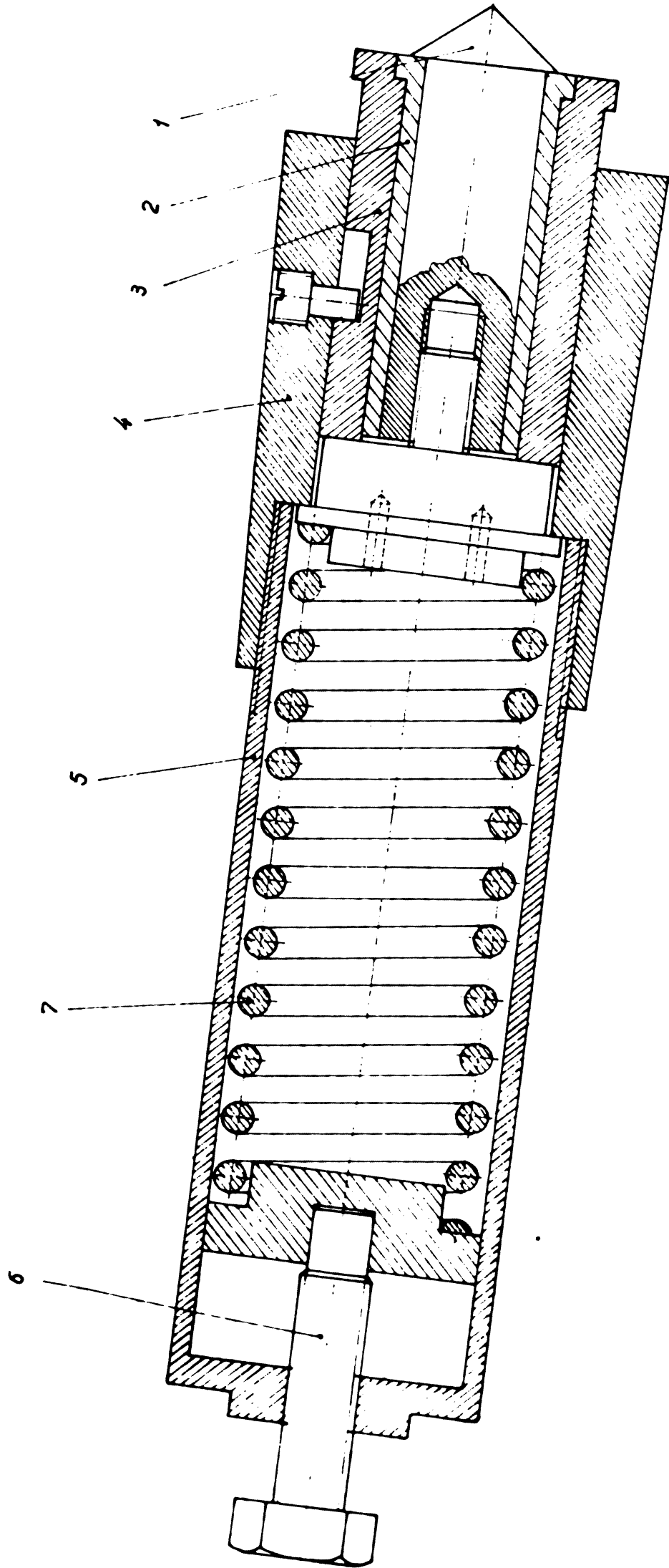


Fig.3.6 Viif de prindere compensator de dilatație.

SCHEMA BLOC A INSTALATIE DE ETALONARE SI MASURARE CU
DISPozITIVUL TENSOMETRIC.

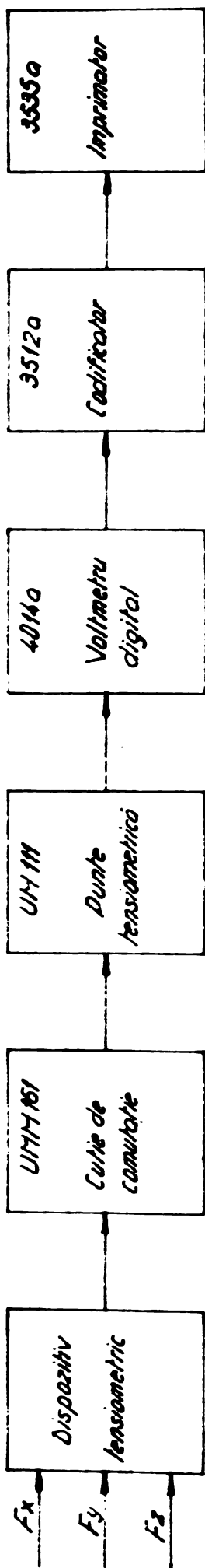


Fig. 3.7

4. INCALZIREA PRIN CURENTI DE INALTA FRECVENTA

4.1. Incălzirea prin inducție

În forma ei cea mai simplă, încălzirea prin inducție a unei piese 2 fig.4.1 se face prin introducerea acesteia în câmpul magnetic creat de un curent alternativ ce parcurge spirele unui inductor 1 fig. 4.1. Câmpul magnetic variabil în timp induce în piesa tensiuni electrice ce dau naștere unor curenți turbionari.

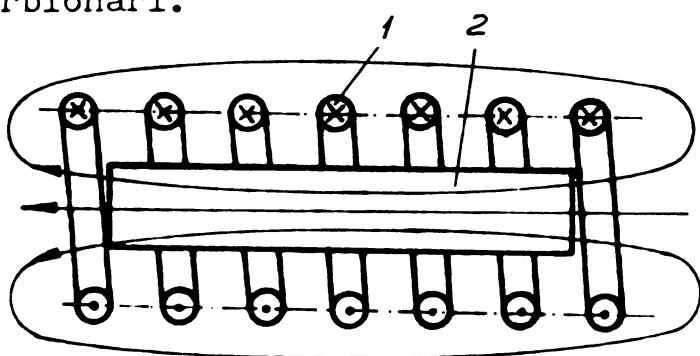


Fig.4.1 Solenoid inductor și piesă cilindrică.

În studiul și calculul inductorului trebuie să se țină seama că există două perioade distincte: prima când piesa are temperatura sub punctul Curie și a doua, când temperatura piesei este mai mare decât acest punct

critic.

Îndeosebi în prima fază a încălzirii se poate considera că curentul indus curge într-un strat de o anumită grosime δ , numită adâncime de pătrundere și deci, încălzirea prin efectul Joule-Lenz are loc într-o astfel de secțiune iar restul piesei se va încălzi prin conducție. La depășirea punctului Curie, datorită modificării constantelor materialului : rezistivitatea și permeabilitatea, adâncimea de pătrundere crește brusc.

O problemă importantă la încălzirea prin inducție o prezintă alegerea frecvenței optime a tensiunii de alimentare, impedanța cuplajului inductor-piesă, randamentul și puterea, care se stabilesc pornind de la ecuațiile câmpului electro-magnetic.

4.1.1. Stabilirea ecuațiilor câmpului electromagnetic

Pentru stabilirea ecuațiilor se considera un tronson de lungime L dintr-un sistem inductor-piesă infinit de lung Fig.4.2.

Ecuatiile câmpului electromagnetic într-un punct din

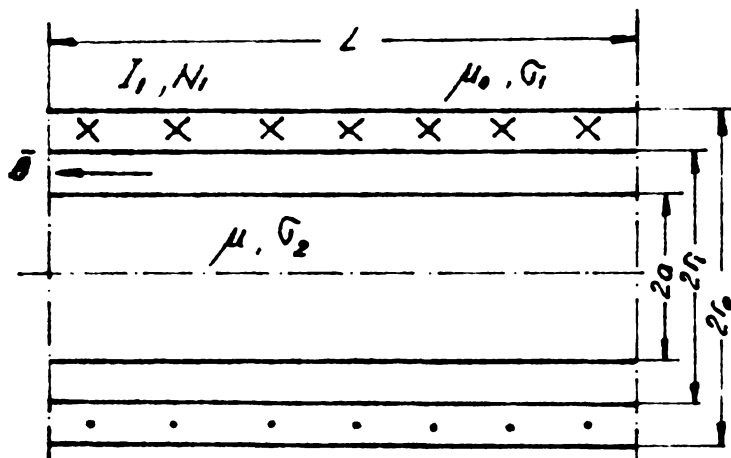
interiorul piesei sînt :

$$\text{rot. } \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{t} \quad \bar{B} - \text{inducția magnetică,}$$

$$\text{rot. } \bar{H} = \bar{J} \quad \text{unde } \bar{H} - \text{intensitatea cîmpului,}$$

$$\bar{J} = \partial \bar{E} \quad \bar{J} - \text{densitatea curenților electrice turbionari}$$

Notînd în coordonate cilindrice :



$$\bar{H} = H_z \cdot \bar{U}_z$$

$$\bar{E} = E \cdot \bar{U}_\varphi$$

$$\bar{J} = J \cdot \bar{U}_\varphi$$

ecuațiile cîmpului electromagnetic în coordonate cilindrice se scriu sub forma :

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial (r \cdot E_\varphi)}{\partial r} = - \frac{\partial B_z}{\partial t}$$

sau

$$\frac{E_\varphi}{r} + \frac{\partial E_\varphi}{\partial r} = - \frac{\partial B_z}{\partial t}$$

și

$$- \frac{\partial B}{\partial r} = \sigma \cdot \mu \cdot E_\varphi$$

Derivînd ecuațiile $E_\varphi \equiv E$

în raport cu r și $B_z \equiv B$

în raport cu t și scăzîndu-le se obține :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E}{\partial r} - \frac{E}{r^2} - \sigma \cdot \mu \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (4.1)$$

Asemănător se obține și ecuația diferențială pentru intensitatea cîmpului magnetic H :

$$- \frac{\partial H}{\partial r} = j = \sigma \cdot E$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial (r \cdot E)}{\partial r} = - \frac{\partial B}{\partial t} = \mu \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$\frac{1}{r} \cdot (E + r \frac{\partial E}{\partial r}) = - \mu \frac{\partial H}{\partial t}$$

Fig. 4.2 Inductor, piesă dintr-un sistem înfîșat lung. [19]

$$\frac{1}{r} \left(-\frac{1}{\sigma} \frac{\partial H}{\partial r} - \frac{r}{\sigma} \frac{\partial^2 H}{\partial r^2} \right) = -\mu \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} - \mu \sigma \frac{\partial H}{\partial r} = 0 \quad (4.2)$$

Trecînd în complex ecuația (4.2) se obține :

$$\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} - j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma \cdot H = 0 \quad (4.3)$$

sau

$$\frac{d^2 H}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dH}{dr} + \underline{K}^2 H = 0$$

sau

$$\frac{d^2 H}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dH}{dx} + H = 0 \quad (4.4)$$

unde s-a notat cu $\underline{K}^2 = -j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma$ $\underline{K} = \sqrt{-j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma}$

$$r = \frac{x}{\underline{K}}$$

Ecuația obținută este o ecuație diferențială de tip Bessel de ordinul 0 și speța I-a care prezintă o soluția de forma :

$\underline{H}(r,t) = \underline{H}(r) \cdot e^{j\omega t}$ care înlocuind-o în (4.4) se obține:

$$\underline{H}(r,t) = \underline{C} \cdot I_0(\underline{k} \cdot r) \cdot e^{j\omega t}$$

Punînd condiția $r = a$, $\underline{H} = \frac{N_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{2}}{L} \cdot e^{j\omega t}$ rezultă constanta complexă :

$$\underline{C} = \frac{N_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{2}}{L} \cdot \frac{1}{I_0(\underline{k} \cdot a)}$$

deci

$$\underline{H} = \frac{N_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{2}}{L} \cdot \frac{I_0(\underline{k}, r)}{I_0(\underline{k}, a)} e^{j\omega t} \quad (4.5)$$

Soluția cîmpului electric $\underline{E}(r,t)$ se poate obține din :

$$\underline{E} = -\frac{1}{\sigma} \frac{dH}{dr}$$

$$\underline{E}(\underline{k}, r) = -\frac{\underline{k}}{\sigma} \frac{\partial H(\underline{k}, r)}{\partial (\underline{k}, r)}$$

$$\underline{E}(\underline{k}, r) = \frac{\underline{k}}{\sigma} \frac{N_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{2}}{L} \frac{e^{j\omega t}}{J_0(\underline{k}, a)} \left(-\frac{\partial J_0(\underline{k}, r)}{\partial (\underline{k}, r)} \right)$$

$$\underline{E} = \frac{\underline{k}}{\sigma} \cdot \frac{N_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{2}}{L} \cdot \frac{J_1(\underline{k}, r)}{J_0(\underline{k}, a)} e^{j\omega t} \quad (4.6)$$

$$\underline{J} = \underline{K} \frac{N_1 \cdot I_1 \sqrt{2}}{L} \frac{J_1(\underline{K}, r)}{J_0(\underline{K}, a)} e^{j\omega t} \quad (4.7)$$

In relațiile (4.6) și (4.7) s-a notat cu $J_1(\underline{k}, r) = - \frac{\partial J_0(\underline{k}, r)}{\partial (\underline{k}, r)}$

4.1.2. Determinarea parametrilor electrici ai sistemului inductor-piesă

Din legea de conservare a energiei electromagnetice într-un sistem de conductori masivi, se poate demonstra că sistemului inductor piesă îi corespunde o schemă echivalentă cu parametri concentrați ca în fig. 4.3.

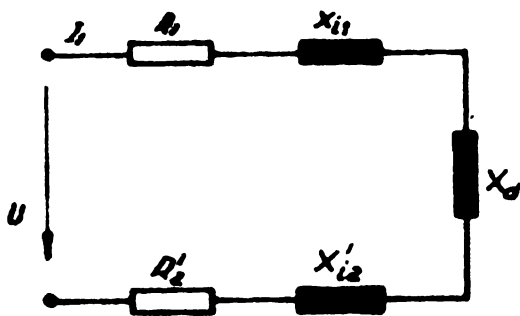


Fig. 4.3 *Schemă echivalentă a sistemului inductor-piesă. [5]*

În regim sinusoidal permanent acestei scheme îi corespunde o impedanță de forma :

$$\frac{U}{I} = \underline{Z} = R_1 + R_2 + j(X_{d1} + X_{i1} + X_{i2}) \quad (4.8)$$

Pornind de la schema echivalentă, rezistențele R_1 și R_2 se determină considerînd curentul repartizat numai pe zona adîncimii de pătrundere iar

pentru inductor se ia în considerare și efectul de proximitate.

Astfel :

$$R_1 = \rho_1 \frac{2 \cdot \pi \cdot b}{h \cdot \sigma_1} \cdot N_1 = \rho_1 \frac{2 \cdot \pi \cdot b}{L \cdot g \cdot \sigma_1} \cdot N_1^2 \quad (4.9)$$

$$R_2 = \rho_2 \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{1 \cdot \sigma_2} \cdot \frac{a}{\sigma_2} \cdot A \quad (4.10)$$

în care :

σ_1 - adîncimea de pătrundere în conductorul inductorului,

σ_2 - adîncimea de pătrundere în piesă.

g - factorul de umplere al înfășurării inductorului ($g=0,85..0,9$)

N_1 - numărul de spire al inductorului

ρ_1, ρ_2 - rezistivitatea materialelor inductorului și piesei.

h, b, a - dimensiunile din fig. 4.4.

A - factor de corecție care ia în considerare curbura piesei și este dat în fig.4.5 în funcție

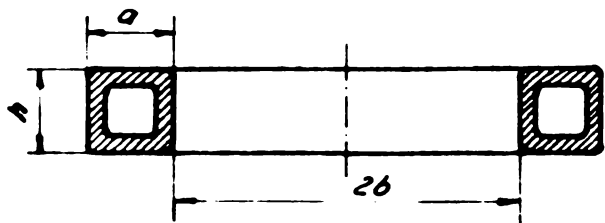


Fig.4.4 Inductor.

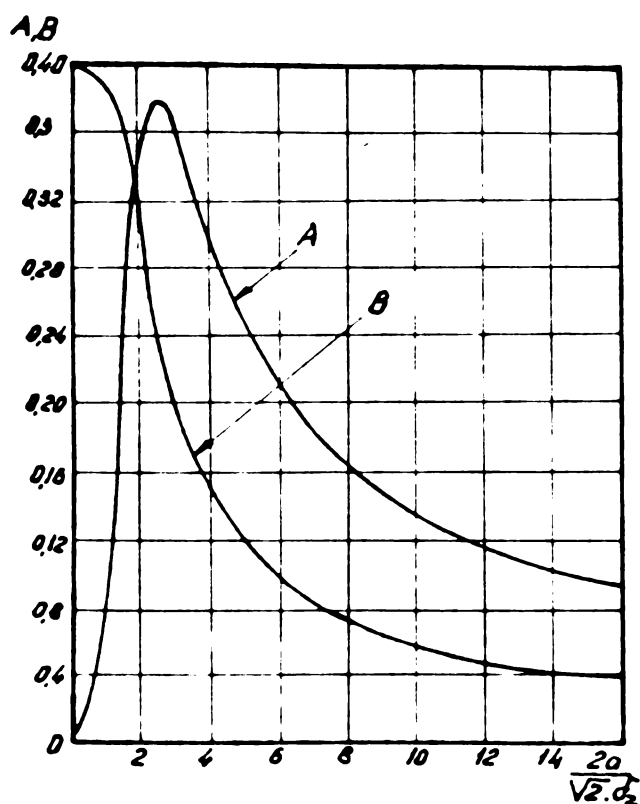


Fig.4.5 Variatia factorilor de corectie A și B functie de $\frac{2a}{\sqrt{2} \cdot d_2}$ [13]

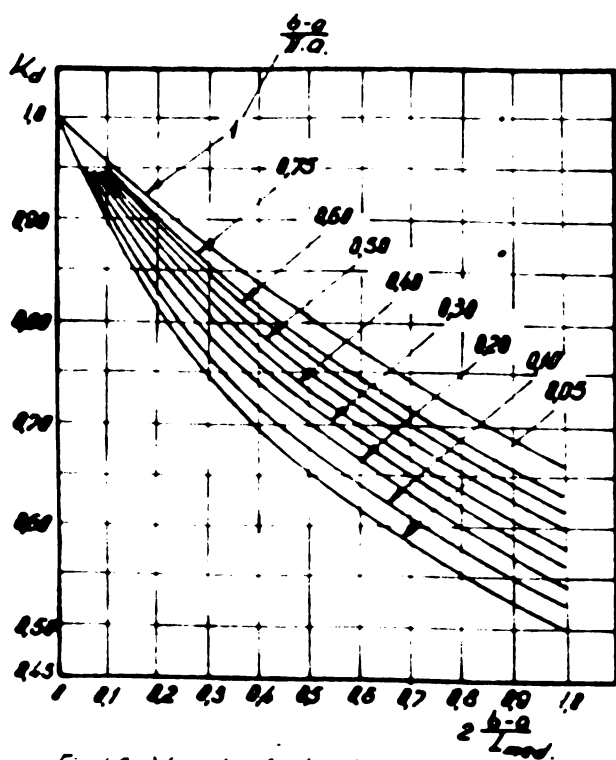


Fig.4.6 Variatia factorului de corectie K_d functie de $2 \frac{b-a}{L_{med}}$ [13]

de $\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2a}{d_2}$ (după [13] (fig.4.3)).

Reactanțele interioare se calculează tot ca și niște rezistențe cu următoarele relații :

$$X_{i1} = \rho_1 \frac{2 \pi b}{L \cdot \delta_{ig}} N_1^2 \quad (4.11)$$

$$X_{i2} = \rho_2 \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{1 \cdot \delta_2} \cdot \frac{a}{\delta_2} \cdot B$$

unde B este de aceeași natură ca A și este dat în fig. 4.5.

Reactanța de dispersie se determină cu relația :

$$X_d = 7,9 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot \frac{S_{\hat{1}}}{L_{med.}} K_d \cdot N_1^2$$

unde :

$S_{\hat{1}}$ - este aria intrefierului dintre inductor și piesă.

$$S_{\hat{1}} = (b^2 - a^2) \text{ cm}^2 ;$$

$$L_{med.} = \frac{L+1}{2} \text{ cm.}$$

K_d - factor de corecție dat în fig.4.6(după [13] fig.5.2).

Reducerea parametrilor piesei la inductor se face cu ajutorul raportului de transformare al curenților, K_i :

$$R'_2 = K_i^2 \cdot R_2 \quad (4.12)$$

$$X_i = K_i \cdot K_i \quad (4.13)$$

$$\text{unde : } K_i = \frac{I_2^2}{I_1^2}$$

Pentru calculul lui K_1 se folosește relația :

$$K_1^2 = \frac{X_{12}^2}{R_2^2 + (X_{12} + \frac{1}{N_1} X_{12})^2} \quad (4.14)$$

unde X_{12} - este reactanța mutuală între inductor și piesă.

$$X_{12} = 7,9 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot N_1 \cdot \frac{S_2}{L} \frac{K \cdot L}{L - K \cdot l} \quad (4.15)$$

S_2 - suprafața transversală a piesei în cm.

$\frac{K \cdot L}{L - K \cdot l}$ - factor de corecție,

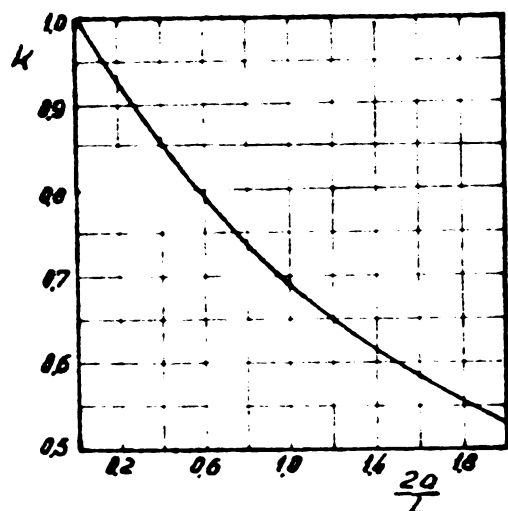


Fig.4.7 Factorul de corecție K funcție de $\frac{2a}{L}$ [13]

$K = f(\frac{2a}{L})$ dat în fig.4.7

(după [13] .fig.51).

Se poate determina în continuare:

- rezistența echivalentă

$$R_e = R_1 + R_2$$

- reactanța echivalentă

$$X_e = X_{i1} + X_{i2} + X_d$$

- impedanța echivalentă

$$Z_e = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$$

și $\cos \varphi = \frac{R_e}{Z_e}$ factorul de putere

$$\eta_{el} = \frac{R_2}{R_e} \text{ randamentul electric.}$$

4.2. Încălzirea superficială progresivă și determinarea curbei temperaturilor

Unul din fenomenele cele mai importante prin care are loc realizarea procesului de netezire electromecanică este încălzirea prin inducție și care ca urmare a efectului pelicular al curenților induși, cea mai mare parte a căldurii degajate (cca 90 %) se produce în limitele adâncimii de pătrundere.

Spre deosebire de încălzirea simultană, atunci când încălzirea piesei se face cu o singură spiră inductoare care se deplasează cu o viteză constantă de-a lungul piesei, căldura respectiv debitul produși de curenți induși, se stabilesc în mod diferit.

Densitatea de putere $P(\text{W}/\text{cm}^2)$ care este echivalentul electric al debitului de căldură $\mathcal{Q}(\text{cal}/\text{cm}^3 \cdot \text{s})$, se poate determina cunoscând densitatea de curent linear J în care în loc de h se ia înălțimea virtuală $h' = \sqrt{h^2 - a^2}$,

$$\text{deci } J = \frac{1}{\pi \cdot h \left[1 + \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right]}$$

Cunoscând pelicula echivalentă de grosime δ , puterea specifică este dată de relația :

$$P_s = \frac{J^2}{\mu \cdot \delta} = \frac{I^2}{\mu \cdot \delta \cdot \pi^2 \cdot (h') \left[1 + \left(\frac{y}{h'} \right)^2 \right]^2}$$

sau

$$P_m = \frac{I^2}{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \delta \cdot h'} \quad \text{și} \quad P_s = \frac{2 P_m}{\pi \cdot h' \left[1 + \left(\frac{y}{h'} \right)^2 \right]^2} \quad (4.16)$$

Dacă I se ia în A/cm , μ în mho/cm , δ și h' în cm , P_s rezultă în W/cm^2 .

Puterea specifică însă, variază cu distanța y la spira inductoare fig.4.8, iar $y = v \cdot t'$ este o funcție de timp.

Cunoscând puterea specifică, se obține densitatea de putere

$$p = \frac{\beta \cdot P_s \cdot e^{-\beta x}}{1 - e^{-\beta a}}$$

sau

$$p = \frac{\beta \cdot e^{-\beta x}}{1 - e^{-\beta a}} \cdot \frac{2 P_m}{h' \left[1 + \left(\frac{v \cdot t'}{h'} \right)^2 \right]^2}$$

și în sfârșit debitul de căldură este :

$$\mathcal{Q} = \frac{P}{4,187} = \frac{\beta \cdot e^{-\beta x}}{4,187(1 - e^{-\beta a})} \cdot \frac{2 P_m}{\pi \cdot h' \left[1 + \left(\frac{v \cdot t'}{h'} \right)^2 \right]^2} \quad (4.17)$$

Introducând această expresie în ecuația transmisiei căldurii

$$\mathcal{Q} = \sigma' \cdot c \frac{\partial \theta}{\partial t} - k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \text{în care } \sigma' - \text{greutatea specifică } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$C - \text{căldura specifică în } \text{cal}/\text{g} \cdot C$

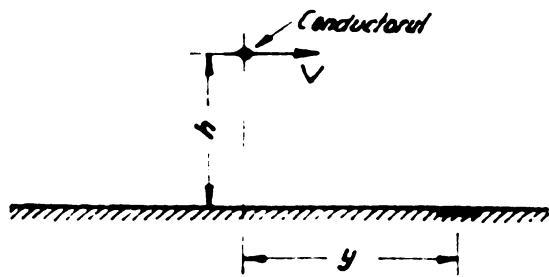


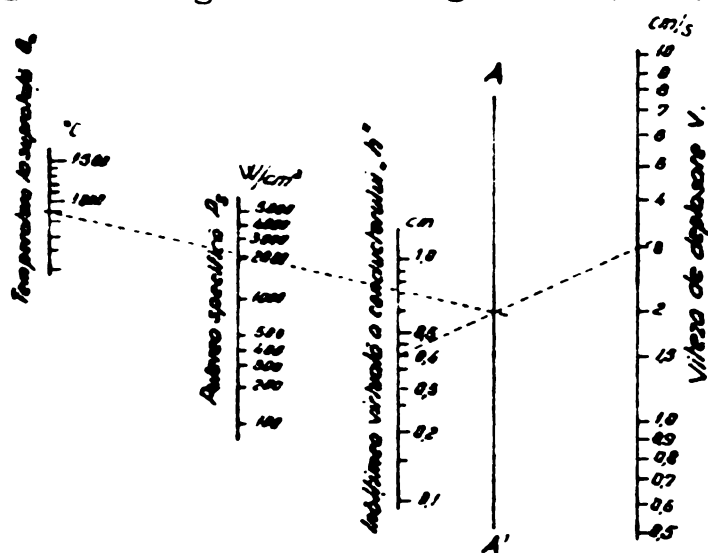
Fig.4.8 Incălzirea progresivă cu un conductor paralel la suprafața unui corp plan.

θ - temperatura în $^{\circ}\text{C}$.

Si procedînd la găsirea soluției pentru temperatura la suprafață $X = 0$ se obține expresia temperaturii :

$$\theta_{(0,t)} = \frac{0,437 \cdot P_m}{\sqrt{v \cdot h'}} \cdot g\left(\frac{v \cdot t'}{h'}\right) \quad (4.18)$$

Pentru determinarea rapidă a temperaturii la suprafața piesei atunci cînd se cunoaște viteza de deplasare a inductorului, înălțimea virtuală și puterea specifică, se folosește de obicei nomograma din fig.4.9.



Cu ajutorul aceleiași relații care stă la baza nomogramei se pot trasa curbele de temperatură pentru diferite valori ale parametrilor h' și P_m cu scopul de a vedea într-un mod sugestiv influența acestora (fig.4.10).

Fig.4.9 Nomogramă pentru determinarea temperaturii maxime de la suprafață cînd se cunosc: viteza de deplasare a inductorului, înălțimea virtuală și puterea specifică lijară. [5]

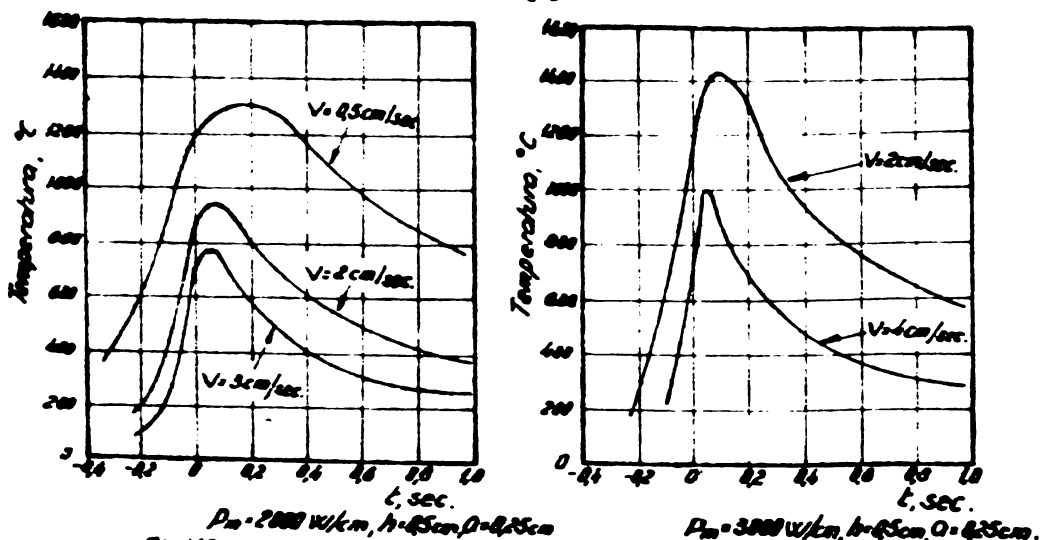


Fig.4.10 Temperatura la suprafață funcție de timp și viteză de deplasare. [5]

Din aceste exemple se vede că P_m și v au efecte contrarii asupra temperaturii și putem obține aceeași temperatură cu două perechi de valori P_m și v diferite, dacă $P_{m1} < P_{m2}$ și $v_1 < v_2$.

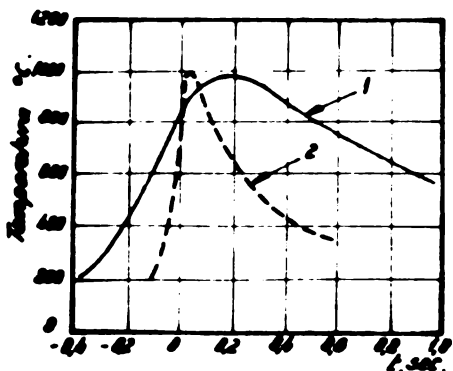


Fig.11 Comparatie între efectul combinat al puterii specifice și vitezei de deplasare.
 curba 1: $P_{sp} = 1000 \text{ V/cm}$, $v = 10 \text{ cm/s}$;
 curba 2: $P_{sp} = 3000 \text{ V/cm}$, $v = 40 \text{ cm/s}$. [5]

Afirmația se exemplifică în fig. 4.11 unde cu o putere și viteză mică se obține aceeași temperatură θ_0 , ca și cu o putere și viteză mare.

Pantele curbelor sînt însă total diferite.

4.3. Variația constantelor metalului în timpul încălzirii

Rezistivitatea metalelor în stare solidă crește cu temperatura. Această creștere poate fi lineară sau nelineară, depinzînd de materialul considerat și intervalul de temperatură.

Rezistivitatea la temperatura 0 se poate determina cu relația :

$$\rho_{\theta} = \rho_0 (1 + \alpha \cdot \theta + \beta \cdot \theta^2 + \gamma \cdot \theta^3 + \dots) \quad (4.19)$$

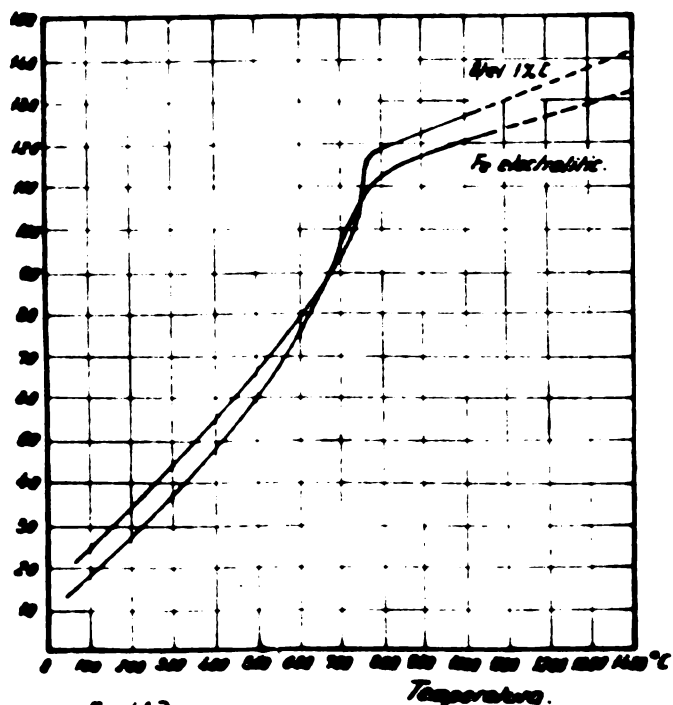


Fig.4.12 Variația rezistivității fierului electrolitic și a oțelului carbon 1% cu temperatura. [5]

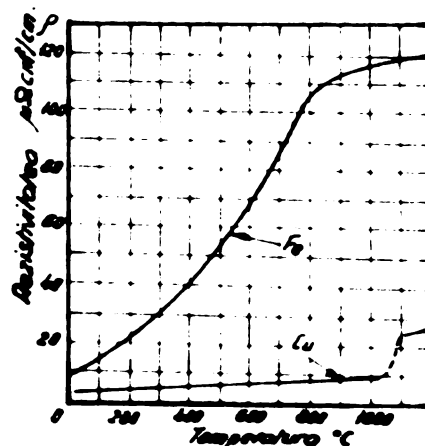


Fig.4.13 Variația rezistivității fierului și cuprului cu temperatura. [5]

în care : ρ_0 - rezistivitatea la 0°C

α, β, γ - coeficienții de temperatură.

În fig.4.12 și fig.4.13 se prezintă variația rezistivității cu temperatura pentru fier și cupru, respectiv pentru fier și oțel 1% C.

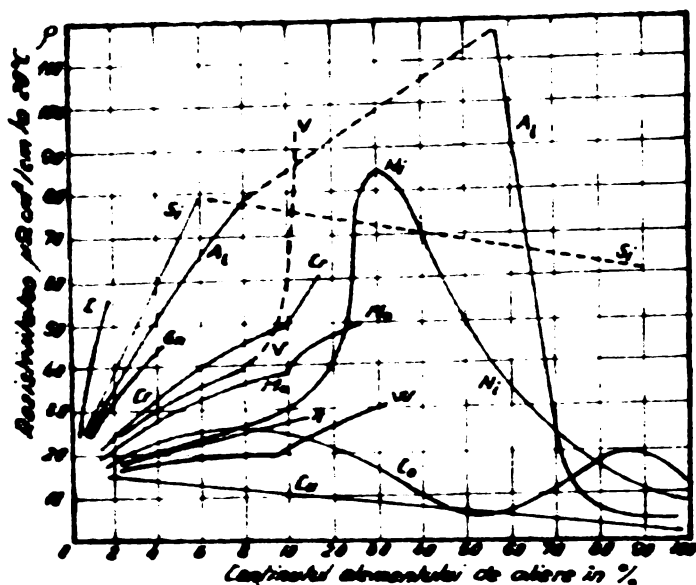


Fig. 4.14. Influența elementelor de aliere asupra rezistivității aliajelor. [5]

aproximativ cea a fierului pur.

Permeabilitatea magnetică a fierului și oțelului variază, cum se știe, cu câmpul magnetizant.

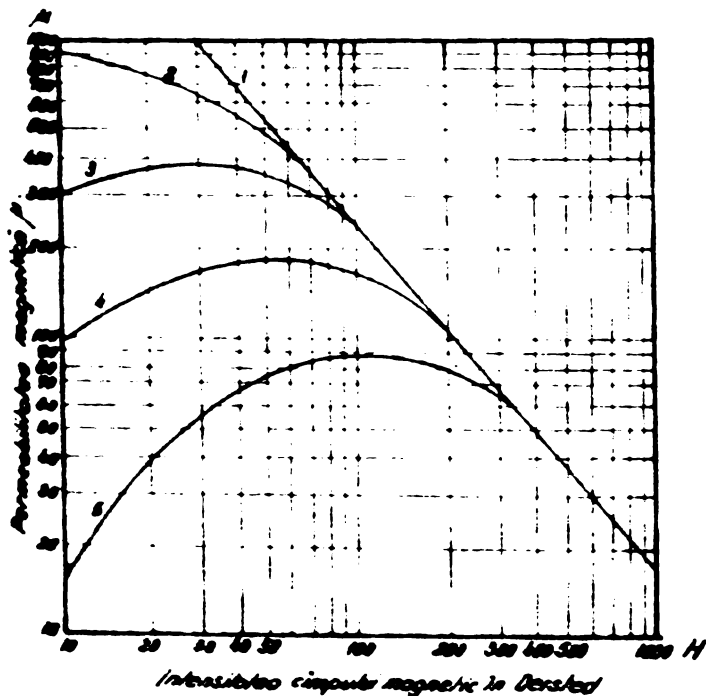


Fig. 4.15 Variația permeabilității relative cu câmpul magnetizant: pentru: 1 - fier Armco, 2 - oțel cu 0,3% C, 3 - oțel cu 0,45% C, 4 - oțel cu 0,6% C, 5 - oțel cu 0,85% C [5]

brusc la $\mu_r = 1$ și rămîne la această valoare pentru restul intervalului de temperatură. In fig. 4.16 este reprezentată variația permeabilității magnetice cu temperatura pentru fierul pur și oțel eutectoid.

Din cauza variației rezistivității și permeabilității cu temperatura, puterea absorbită de piesă la același

Diferitele elemente care intră în compunerea unui aliaj cu fierul influențează rezistivitatea aliajului după fig.4.14 producînd în general mărirea ei.

La încălzire, diferențele de rezistivitate ale oțelurilor scade, iar la 900°C toate oțelurile au rezistivitatea între 120...130 $\mu\Omega$ cm, adică

In fig.4.15 este reprezentată această variație pentru diferite oțeluri. Cum reese și din figură, la un câmp magnetizant de aproximativ 1000 O_e, valoarea permeabilității magnetice pentru diferite oțeluri este aceeași cu cea a fierului Armco.

La o anumită temperatură materialele fero pierd proprietățile magnetice. La această temperatură de transformare magnetică, punctul Curie, permeabilitatea magnetică scade

cîmp magnetizant, variază în timpul încălzirii.

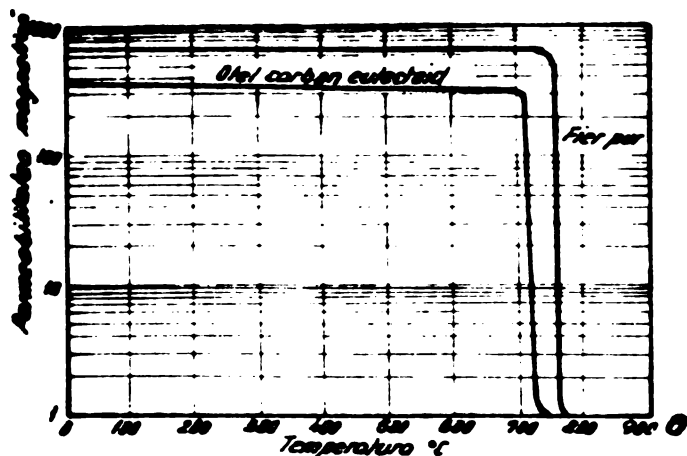


Fig. 4.16 Variația permeabilității relative a oțelului carbon eutectoid și a fierului pur cu temperatura. [5]

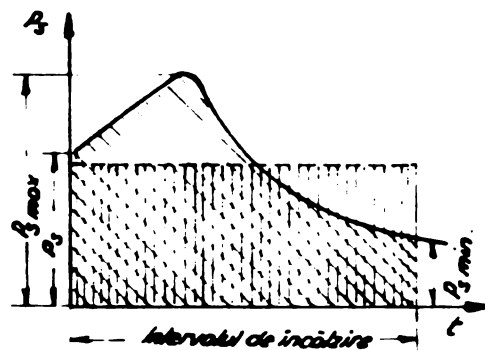


Fig. 4.17 Variația puterii specifice absorbite de oțel cu timpul de încălzire la un cîmp magnetizant de intensitate și frecvență constante. [5]

După relația care definește puterea dezvoltată în piesă se constată că acesta este proporțional cu $\sqrt{\mu \rho}$; reprezentînd-o grafic pentru cîmpuri magnetizante slabe, rezultă că produsul scade brusc în apropierea punctului Curie.

În practică însă, pentru că se folosesc cîmpuri magnetizante foarte puternice, de sute sau mii de A/cm, care duc materialul dincolo de punctul de saturație și permeabilitatea la nivelul zecilor de unități fig.4.15 și pentru că la saturație $\frac{dB}{dH} = 1$ (și nu $\mu_r = 1$), variația parametrului $\mu \rho$ este mult diferențiată de cea reprezentată mai înainte, discontinuitatea fiind mult micșorată, ceea ce determină ca puterea absorbită de piesă la frecvențe și curenți constante să varieze ca în fig. 4.17.

Căldura specifică. Variația căldurii specifice cu temperatura se definește ca o variație a conținutului de căldură cu temperatura.

$$Q_{\theta} = C.M.\theta \quad \text{cal.} \quad (4.20)$$

în care: Q_{θ} - cantitatea de căldură în cal.

C - căldura specifică cal/g.°C

M - masa corpului în g.

Cînd temperatura corpului crește de la θ_1 la θ_2 , conținutul de căldură crește de la Q_1 la Q_2 și căldura specifică medie este :

$$C = \frac{1}{M} \frac{Q_2 - Q_1}{\theta_2 - \theta_1} \quad (4.21)$$

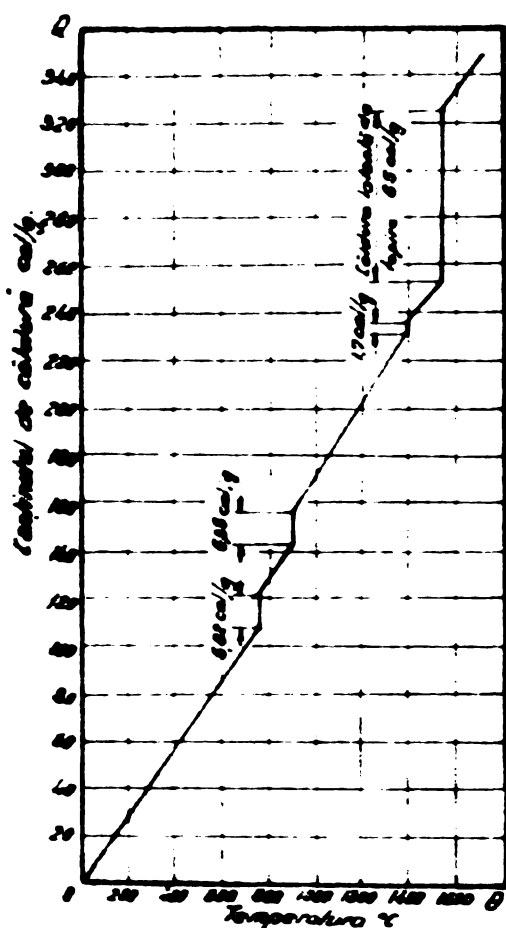


Fig. 4.18 Variația conținutului de căldură a fierului electrolitic în intervalul 0-1700°C [5]

În fig.4.18 se prezintă variația conținutului de căldură în cal/g pentru fierul pur în intervalul de temperatura 0...1700°C. Din reprezentare se sesizează variația bruscă a conținutului de căldură în punctele critice.

Conductivitatea termică a oțelului reprezintă capacitatea acestuia de a transmite energia termică de la un punct la altul. La o primă aproximație, legea variației conductivității termice poate fi exprimată printr-o relație similară cu

cea corespunzătoare conductivității electrice. Astfel printr-o suprafață de 1 cm^2 la care gradientul de temperatură este $\theta_2 - \theta_1 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$, cantitatea de căldură ce trece în t secunde este :

$$Q = K \frac{S(\theta_2 - \theta_1) \cdot t}{l} \text{ cal.} \quad (4.22)$$

în care K - conductivitatea termică în cal/cm °C.S.

Așa cum rezultă din relație dar și din măsurătorile practice efectuate pentru oțeluri, conductivitatea termică se reduce odată cu creșterea temperaturii.

4.4. Calculul inductorului

Pentru încălzirea de suprafață a unor semifabricate se folosesc inductoare cu una, două sau chiar mai multe spire, toate derivate solenoidale.

Folosirea unor asemenea inductoare în cazul netezirii electromecanice a arborilor face deosebit de greu accesul sculei în zona termică cea mai avantajoasă. Chiar și în cazul utilizării unui inductor format dintr-o singură spirală, scula nu poate fi introdusă în zona cea mai favorabilă din punct de vedere termic din următoarele motive :

- plasarea sculei în planul în care are loc încălzirea nu poate fi făcută din cauză că acest spațiu este ocupat de inductor ;
- creșterea suplimentară a temperaturii sculei odată cu apropierea acestuia de inductor ca urmare a curenților induși ;
- așchiile ce se desprind de pe suprafața piesei scurt-circuitează frecvent sistemul inductor-piesă, ceea ce înseamnă pierderi mari de putere, arsuri pe suprafața prelucrată și sgîrieturi.

Din cauza unor asemenea inconveniente, scula trebuie să se plaseze în urma inductorului, pe direcția prelucrării arborelui, la o distanță apreciabilă de planul în care are loc încălzirea. Aceasta ar mai însemna, de asemenea, că deoarece se urmărește ca scop și obținerea unor transformări structurale, scula să fie amplasată și să lucreze într-un material călit, cu rezistență și duritate mult ridicată. Cu alte cuvinte, să fie eliminate complet avantajele termice ce se urmărește să le ofere netezirea electromecanică.

Pe baza considerentelor prezentate precum și al scopului urmărit, a fost conceput, realizat și experimentat un inductor original (fig.4.19), al cărui principal component îl constituie un sector de inel cilindric cu o deschidere de cca 180° . Așa cum rezultă și din fig.4.20, o asemenea soluție asigură amplasarea în același plan a inductorului și sculei, de asemenea și a dispozitivului pentru injectarea lichidului de răcire în zona cea mai potrivită.

Deoarece inductorul semiinelar poate fi încadrat în categoria inductoarelor speciale și pentru că prezintă foarte multe

caractere comune cu cele ale inductoarelor plane, calculul acestui inductor se va face similar cu cel al unui inductor plan.

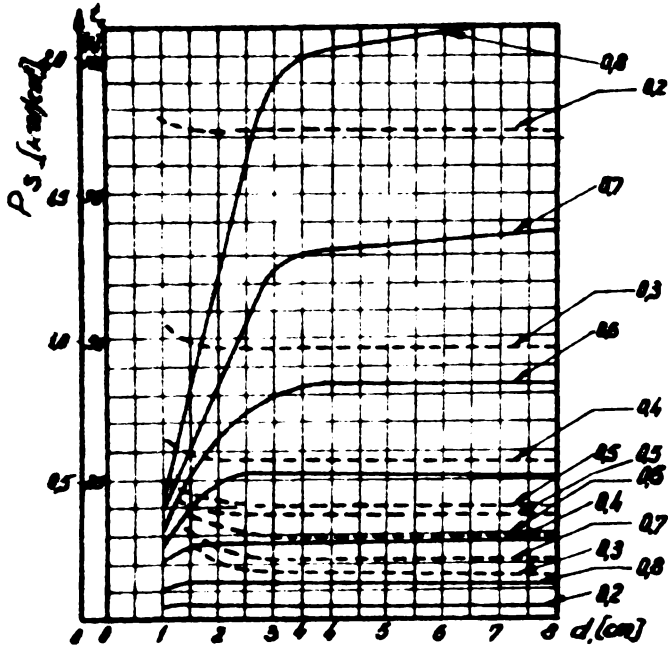


Fig. 4.21 Timpul de încălzire și puterea specifică funcție de adâncimea de păt.

[15]

Rezultatele teoretice și experimentale confirmă că pentru inductoare diferite, lucrând la o putere și frecvență determinată, valorile pe unitate de lungime a inductorului și a curentului pe unitate de lățime a creștăturii circuitului magnetic, variază în limite destul de restrânse.

Se consideră în medie că la o putere specifică de 1 KW/cm^2 și o frecvență de 8000 Hz , $U_0 = 0,13 \text{ V/cm}$ și $I_0 = 2500 \text{ A/cm}$.

Din diagrama prezentată în fig. 4.21 se adoptă timpul de încălzire t_c și puterea specifică P_s funcție de grosimea stratului ce urmează a fi călit.

Pentru o adâncime de călire de $\sigma = 0,2 \text{ cm}$ și un diametru $d_2 = 5 \text{ cm}$ corespunde.

$$t_c = 4 \text{ și } P_s = 2 \text{ KW/cm}^2$$

Lățimea creștăturii din circuitul magnetic se obține din

$$b_m = 0,64 \frac{P_g}{h_1 \cdot P_s} \text{ cm}$$

în care

P_g - puterea generatorului în KW

h_1 - lungimea zonei de călit

Se consideră drept lungime a zonei de călit lungimea deschiderii inductorului. Pentru o piesă cu diametrul de 5 cm . și un întrefier de $0,2 \text{ cm}$ rezultă următoarele :

$$h_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{2} \text{ cm} \quad h_1 = \frac{\pi \cdot 5,2}{2} = 8,16 \text{ cm}$$

iar lățimea creștăturii circuitului magnetic pentru $P_g = 100 \text{ KW}$ rezultă

$$b_m = 0,64 \frac{100}{8,16 \cdot 2} = 3,92 \text{ cm.}$$

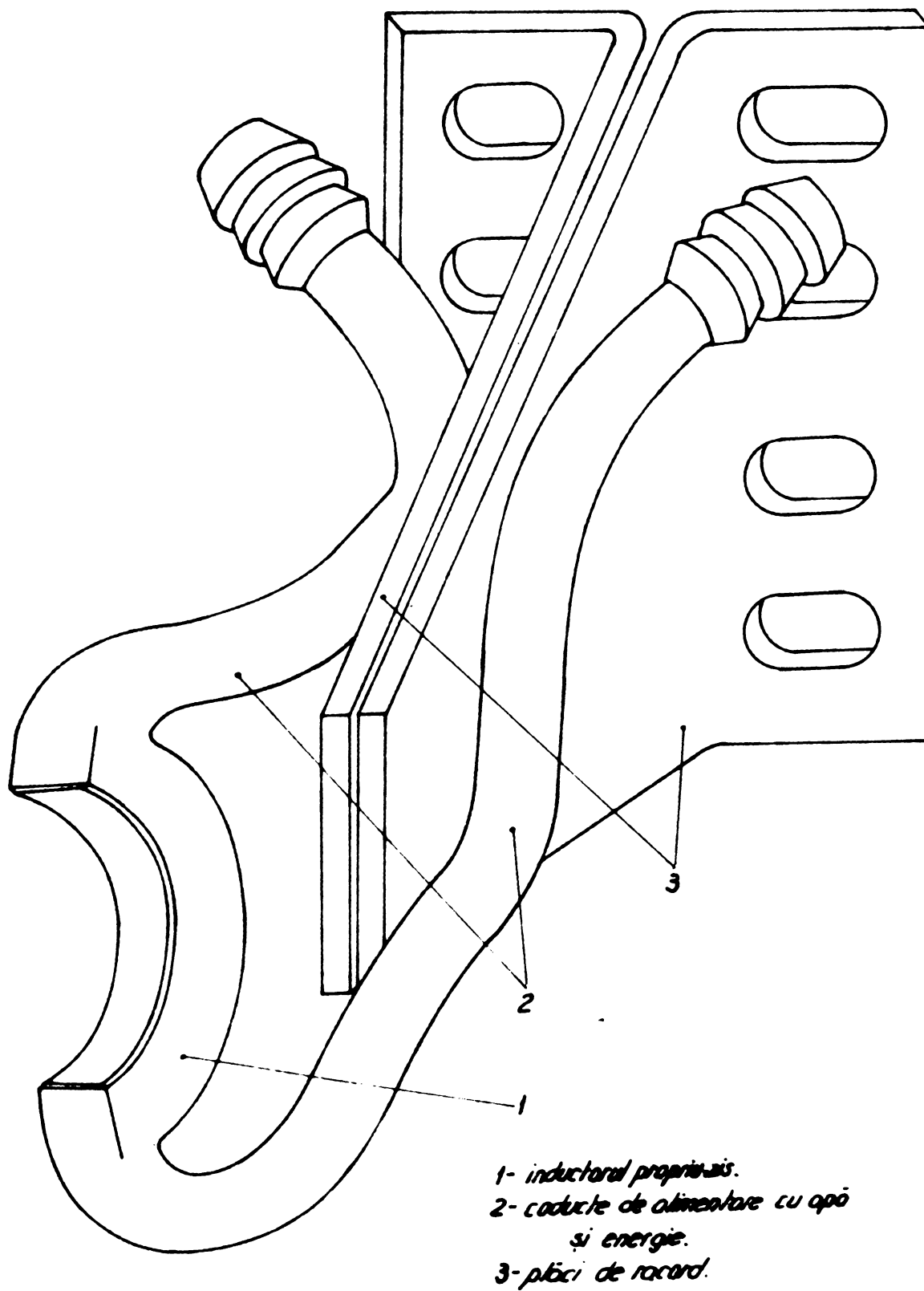


Fig. 4.19 Inductor seminilor.

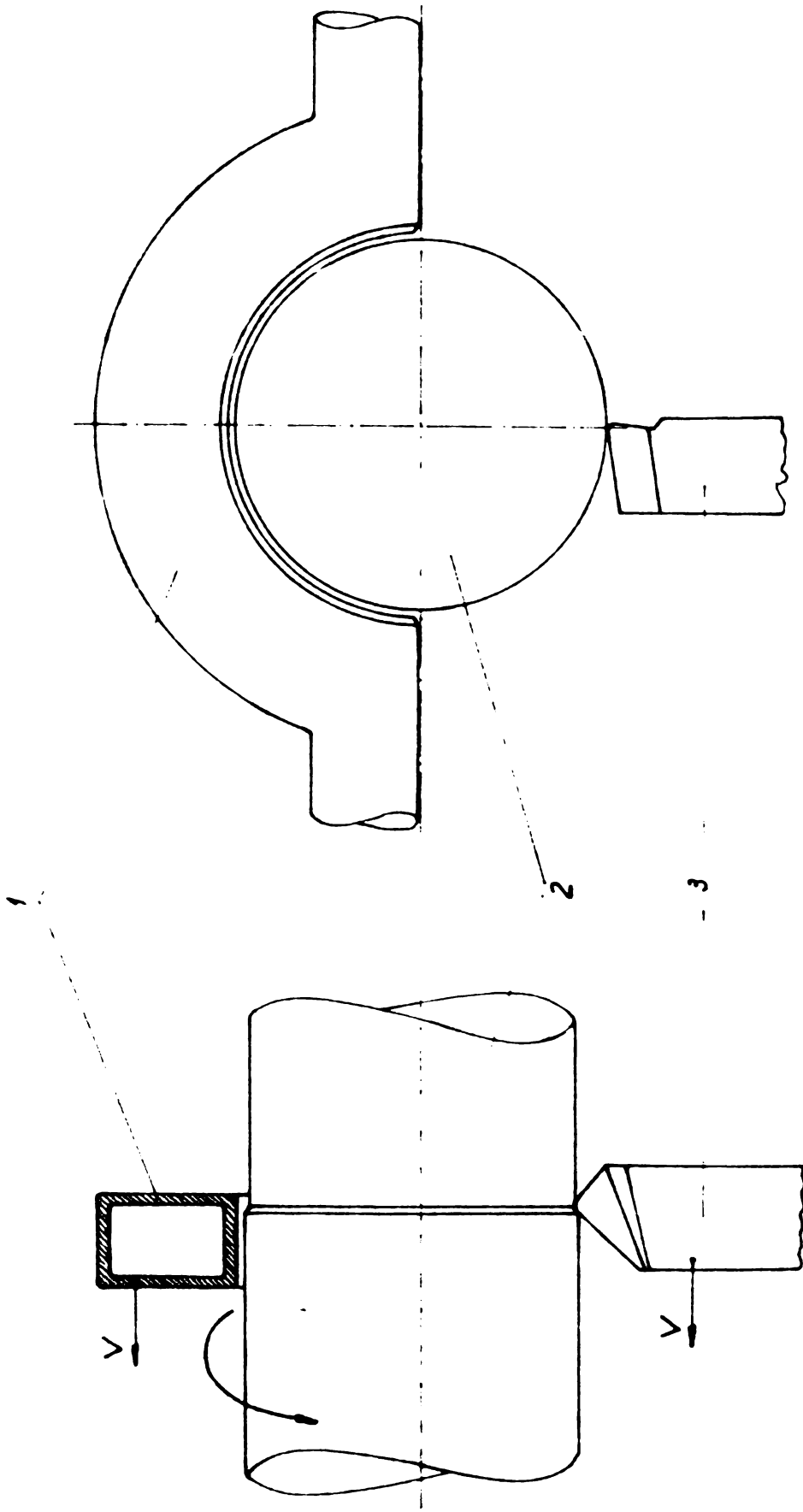


Fig.4.20 Ansamblul inductor (1), piesă (2) și sculă (3).

lățimea maximă necomandată pentru inductor se obține cu relația:

$$b_1 = b_m - 2a \text{ în care : } a - \text{ grosimea izolației, se ia}$$

$$a = 0,3 \text{ cm.}$$

$$\text{rezultă } b_1 = 3,9 - 0,3 = 3,6 \text{ cm.}$$

Din considerente tehnologice se adoptă $b_1 = 1,2 \text{ cm.}$

Grosimea peretelui inductorului se stabilește funcție de adâncimea de călire după :

$$a_1 = (2,5 \dots 4) \cdot d$$

$$a_1 = (2,5 \dots 4) \cdot 0,2 = 0,5 \dots 0,8 \text{ cm}$$

iar funcție de adâncimea de pătrundere în inductor :

$$a_1 = \frac{11}{\sqrt{f}} \text{ cm} \quad a_1 = \frac{11}{\sqrt{8000}} = 0,123 \text{ cm}$$

se adoptă $a_1 = 0,12 \text{ cm.}$

Căderea de tensiune pe inductor fiind funcție de puterea specifică și căderea specifică rezultă că :

$$U_1 = h_1 \cdot U_0 \cdot \sqrt{P_s} \text{ V} \quad U_1 = 8,16 \cdot 0,13 \cdot \sqrt{2} = 1,50 \text{ V.}$$

Curentul maxim pe inductor rezultă din :

$$I_1 = b_1 \cdot I_0 \cdot \sqrt{P_s} \text{ A} \quad I_1 = 1,2 \cdot 2500 \cdot \sqrt{2} = 4242,6 \text{ A.}$$

Pentru a afla căderea totală de tensiune pe inductor este necesar să se evalueze această pe fiecare parte componentă a acestuia.

Astfel, căderea de tensiune pe plăcile inductorului se poate obține cu relația :

$$\Delta U_p = I_1 \cdot X_p \text{ V în care: } X_p - \text{ reactanța plăcilor.}$$

Dar reactanța plăcilor se stabilește funcție de inductivitatea acestora. Adică :

$$X_p = \omega \cdot L_p = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_p \text{ în care } f - \text{ frecvența, } 8000 \text{ Hz}$$

iar

$$L_p = L_{pk} + L_{pi}$$

L_p - inductivitatea totală a plăcilor.

L_{pk} - inductivitatea plăcilor.

L_{pi} - inductivitatea plăcilor depărtate.

Inductivitățile parțiale ale plăcilor pot fi determinate cu relațiile :

$$L_{pk} = \frac{4 \cdot \pi \cdot h_{ef} \cdot l_{pk}}{b \cdot K_r} \cdot 10^{-9} \text{ H cunoscînd că :}$$

$$h_{ef} = 0,1 \text{ cm}$$

$$l_{pk} = 8 \text{ cm}$$

$$b = \frac{b_2 + b_3}{2} = \frac{3 + 20}{2} = 11,5 \text{ cm.}$$

$$K_r = 2,5$$

rezultă :

$$L_{pk} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,1 \cdot 8}{11,5 \cdot 2,5} 10^{-9} = 3,496 \cdot 10^{-9} \text{ H}$$

iar

$$L_{pi} = 4 \cdot l_{pi} \cdot 2,3 \cdot \ln \frac{2 l_{pi}}{b_i + 1} + 0,5 + 0,223 \frac{b_i + 1}{l_{pi}} 10^{-9} \text{ H}$$

în care

$$l_{pi} = 5,6 \text{ cm}$$

$$b_i = 1 \text{ cm rezultă } L_{pi} = 13,32 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

iar inductivitatea totală

$$L_p = 3,49 \cdot 10^{-9} + 13,32 \cdot 10^{-8} = 13,67 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

de unde reactanța plăcilor :

$$X_p = 2 \cdot \pi \cdot 8000 \cdot 13,67 \cdot 10^{-8} = 6,871 \cdot 10^{-3}$$

în funcție de care căderea de tensiune poate fi :

$$\Delta U_p = 4242,6 \cdot 6,871 \cdot 10^{-3} = 29,15 \text{ V}$$

Tensiunea totală aplicată inductorului rezultă în acest caz la valoarea dată de relația $U_1 = U_i + U_p \text{ V}$

$$U_1 = 1,5 + 29,15 = 30,65 \text{ V}$$

Puterea absorbită de inductor va fi :

$$P_1 = \frac{P_s \cdot h_1 \cdot b_1}{\eta} \text{ KW} \quad P_1 = \frac{2,8 \cdot 16 \cdot 3,6}{0,7} = 83,93 \text{ KW}$$

iar factorul de putere al inductorului este.

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} \quad \cos \varphi = \frac{83930}{30,65 \cdot 4242,6} = 0,645$$

Calculul răcirii cu apă a inductorului este funcție de următoarele considerente :

- temperatura apei la intrare $10 \dots 25^\circ\text{C}$
- temperatura apei la ieșire sub 50°C

Cantitatea de căldură evacuată de apa de răcire este egală cu suma pierderilor termice și electrice din inductor,

adică : $\Sigma \Delta P = P_1 \left(\frac{1}{\gamma} - 1 \right) \text{ KW}$

dacă

$$P_1 = 83,93 \text{ KW}$$

$$\gamma = 0,8 \quad \Sigma \Delta P = 83,93 \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right) = 20,98 \text{ KW}$$

iar debitul de apă

$$D = \frac{0,24 \cdot \Sigma \Delta P}{\theta_2 - \theta_1} \text{ l/s} \quad D = \frac{0,24 \cdot 20,98}{35} = 0,143 \text{ l/s}$$

un asemenea debit poate fi realizat cu ușurință prin alimentare direct de la rețeaua obișnuită de apă.

4.5. Studiul încălzirii prin inducție a oțelurilor OLC 45 și OLC 60 la netezirea electromecanică a arborilor

Netezirea electromecanică a arborilor este o prelucrare de netezire ce se realizează prin desprindere de așchii și deformare plastică de suprafață. Pentru îmbunătățirea condițiilor de desprindere a adaosului și de deformare plastică dar și pentru obținerea de transformări structurale pe suprafața netezită ^{se necesită} cunoașterea temeinică a condițiilor în care se poate obține un optim la încălzirea prin inducție a arborilor.

Studiul variației încălzirii prin inducție a unui arbore în mișcare de rotație de-a lungul căruia se deplasează inductorul, reprezintă o chestiune deosebit de complexă. Așa cum a rezultat din 4.2, unde s-a analizat teoretic implicațiile încălzirii progresive de suprafață, corelarea numărului relativ ridicat de variabile ridică probleme deosebite. De asemenea, încălzirea unui arbore în mișcare de rotație cu inductor ce are o mișcare de avans fiind un caz mai puțin cunoscut practic, s-a apreciat că este necesar să fie analizat cu atenție.

Această constituie principalul motiv pentru care studiul variației încălzirii prin inducție a arborilor la netezirea electromecanică a fost efectuat pe etape, de la simplu la complex și anume :

- încălzire cu inductor și piesă în repaus
- încălzire cu inductor în mișcare și piesă în repaus.
- încălzire cu inductor și piesă în mișcare.

- încălzire și răcire cu inductor și piesă în mișcare.

4.5.1. Incălzirea cu inductor și piesă în repaus.

Scopul propus la studierea experimentală a încălzirii prin inducție a oțelurilor OLC 45 și OLC 60 cu inductor și piesă în repaus, a fost de a obține informații legate de viteza de propagare a cîmpurilor izoterme, variația temperaturii la suprafață și în profunzime cu timpul și puterea specifică.

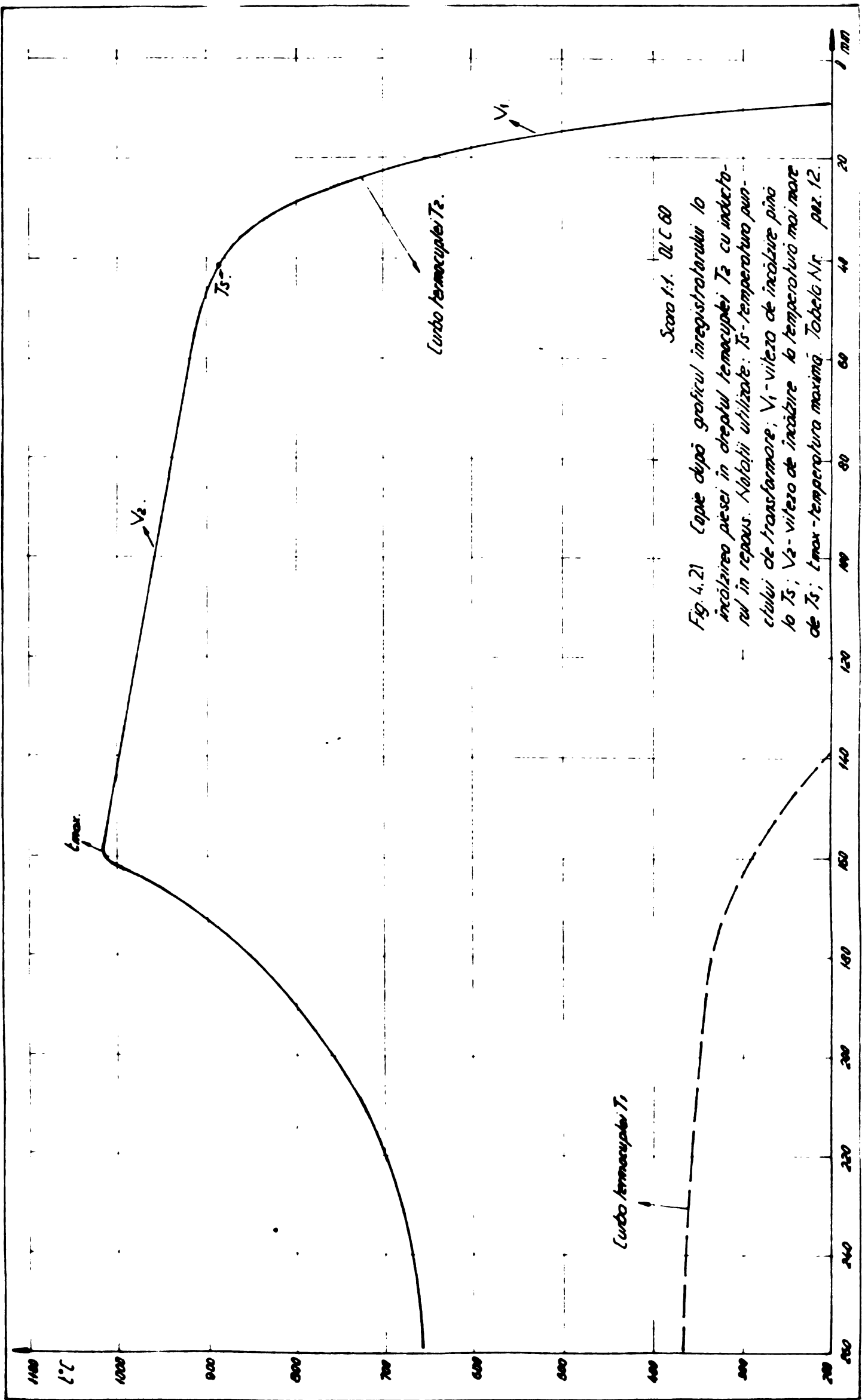
Studiul aspectelor menționate cu sistemul inductor-piesă în repaus, a fost efectuat pe bare cu 6 termocuple din Pt-Pt.Rh₁₀ fixate așa cum s-a prezentat în 3.2. Incălzirea prin inducție a acestor bare s-a efectuat în dreptul fiecărei termocuple cu același întrefier, timp de 60 s cu patru mărimi de puteri specifice și înregistrarea continuă a temperaturii zonei încălzite prin inducție cât și a celor apropiate acesteia, încălzite prin inducție.

De importanță deosebită pentru practica încălzirii prin inducție se dovedesc curbele de încălzire obținute la înregistratoare, dintre care una este redată la scară 1:1 în fig. 4.21. De pe aceste curbe de încălzire sînt posibil de stabilit viteza de încălzire pînă la punctul Curie V_1 , viteza de încălzire peste acest punct - V_2 , temperatura de trecere de la comportamentul feromagnetic la comportamentul paramagnetic al oțelului - T_s , viteza de încălzire cu profunzimea - V_x , viteza de încălzire la suprafața piesei - V_y etc., conform tabelului Nr.2. Datele experimentale determinate de pe curbele de încălzire sînt cuprinse în tabelele Nr.3 și 4.

Din studiul acestor curbe de încălzire rezultă în primul rînd că încălzirea are loc în trei etape distincte.

În prima etapă (nu se vede în fig.4.21) are loc o încălzire caracterizată printr-o creștere continuă a gradientului de temperatură $\frac{\partial t}{\partial x}$.

Etapa a doua începe din momentul în care s-a realizat cel mai mare gradient de temperatură. În această etapă gradientul de temperatură rămîne aproape constant, stabilindu-se un regim de încălzire cvasistaționar. Viteza de încălzire este foarte mare și din datele experimentale obținute rezultă că poate fi determinată funcție de puterea specifică P_s și profunzimea S .



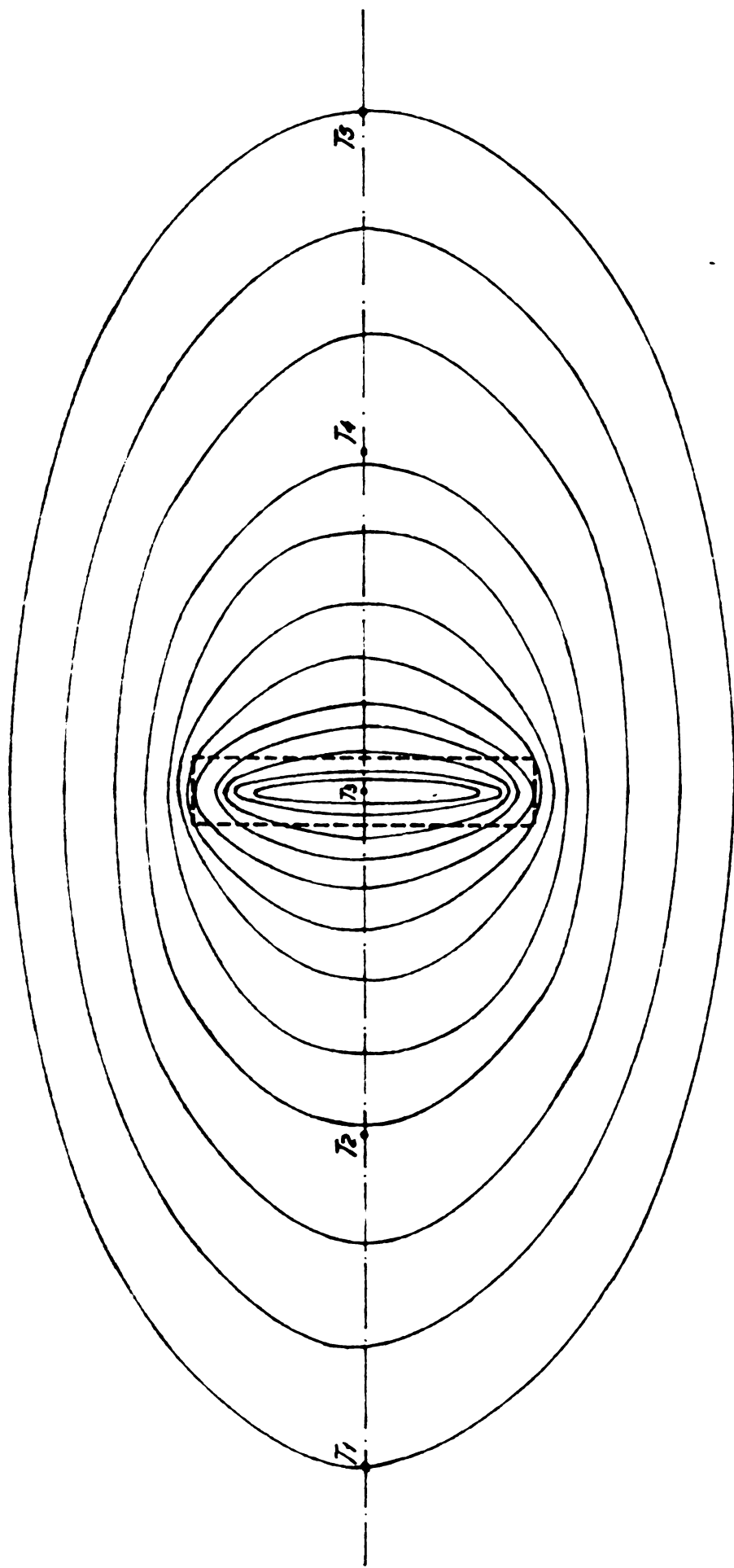


Fig. 4.22 Cimpurile izoterme la suprafața piesei încălzite prin inducție timp de 60 secunde în dreptul termocuplei T3. (material: OL C 60, scară 1:1, tabelo Nr. poz. 22.).

$$\text{Pentru OLC 60 } V_1 = 21,34 \cdot P_s^{0,84} \cdot S^{-0,08} \text{ } ^\circ\text{C/s} \quad (4.23)$$

$$\text{\u0219i pentru OLC 45 } V_1 = 4,2 \cdot P_s^2 \cdot S^{-0,35} \text{ } ^\circ\text{C/s} \quad (4.24)$$

Ca urmare a schimbării permeabilității la trecerea peste punctul Curie, viteza de încălzire se reduce simțitor.

Din acest moment începe etapa a treia a încălzirii în care gradientul scade pînă cînd ajunge din nou constant dar mai mic decît în etapa a doua.

Racordarea celor două viteze de încălzire, de la V_1 și V_2 , se poate face în mai multe moduri.

În funcție de puterea termică "indusă" și cea transmisă straturile interioare învecinate, se pot distinge trei moduri sub care se realizează o asemenea racordare.

- Puterea termică "indusă" mai mică decît cea transmisă, în care caz racordarea celor două viteze constante de încălzire se face printr-o reducere evidentă de temperatură.

- Puterea termică "indusă" egală cu cea transmisă, cînd racordarea se face printr-un palier.

- Cel de al treilea caz corespunde situației din fig.4.21, în care puterea termică "indusă" este mai mare decît cea transmisă cînd racordarea celor două viteze de încălzire se face după o curbă circulară.

În toate cazurile la trecerea peste punctul Curie viteza de încălzire se reduce.

Viteza de încălzire peste punctul Curie pentru cele două mărci de oțeluri pot fi determinate cu următoarele relații experimentale :

$$\text{pentru OLC 60 } V_2 = P_s^{1,21} \text{ } ^\circ\text{C/s} \quad (4.25)$$

$$\text{iar pentru OLC 45 } V_2 = P_s^{1,20} \text{ } ^\circ\text{C/s} \quad (4.26)$$

În urma prelucrării datelor de la poz.22 tabela 3 și unor măsurători transversale efectuate pe piesă, a rezultat fig.4.22 în care sînt reprezentate cîmpurile izoterme.

Din datele utilizate pentru reprezentarea din fig. 4.22 rezultă că viteza medie de deplasare a cîmpurilor izoterme de-a lungul direcției x la 3 mm de suprafață (în profunzime) este $V_x = 22,33^\circ\text{C/s}$, de-a lungul direcției y (pe generatoare) este $V_y = 16^\circ\text{C/s}$ și transversal $V_z = 3^\circ\text{C/s}$.

Explicația unui asemenea mod de propagare a căldurii este dependentă direct de forma semiinelară a inductorului.

Uzînd de datele obținute se poate ajunge la unele relații empirice pentru determinarea temperaturii funcție de puterea specifică P_s , timpul t și profunzimea în piasă S pe cele trei direcții.

Prelucrînd datele în coordonate bilogaritmice se ajunge la următoarele relații :

$$\text{pentru OLC 60 } T = 0,35 \cdot P_s^{0,97} \cdot t^{1,71} \cdot S^{-0,43} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.27)$$

$$\text{și OLC 45 } T = 0,63 \cdot P_s^{0,5} \cdot t^{1,9} \cdot S^{-1,6} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.28)$$

care oferă posibilitatea rapidă pentru determinarea temperaturii într-un punct la peste 800°C și cu o precizie de $\pm 30^\circ\text{C}$.

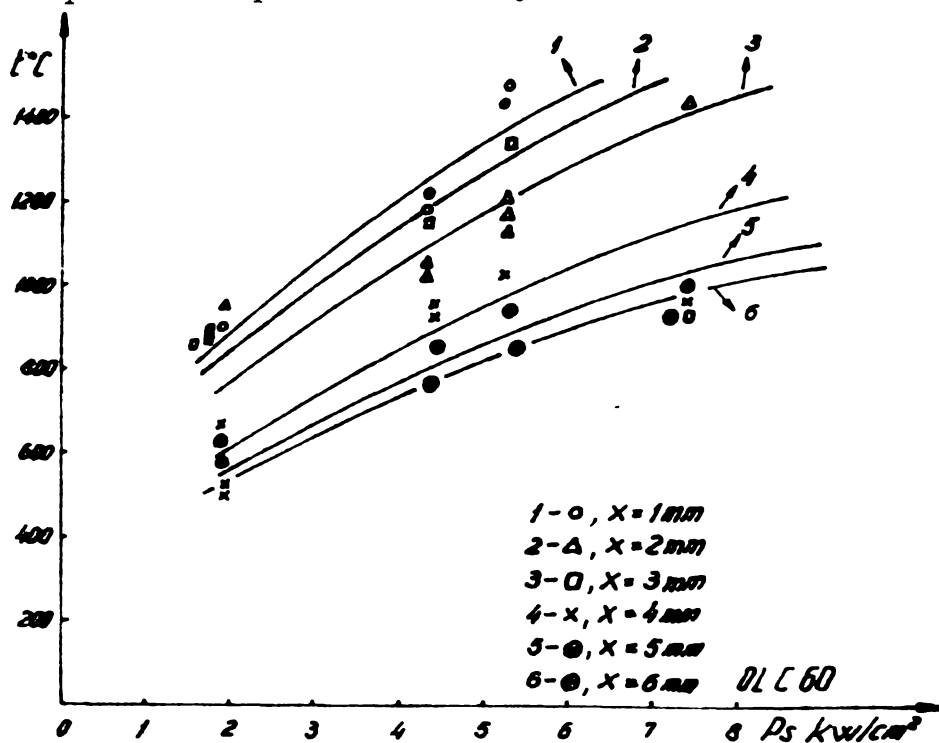


Fig.4.23 Variația temperaturii piesei cu puterea specifică, la diferite profunzimi și 60 s timp de încălzire. (Tabela Nr.3)

Reprezentînd grafic variația temperaturii cu puterea specifică la 60 s timp de încălzire, au rezultat diagramele din fig.4.23 și fig. 4.24 pentru OLC 60 și OLC 45 (tabelul Nr.3 și 4).

La ambele oțeluri se poate constata că temperatura crește cu creșterea puterii specifice, însă creșterea la OLC 60 față de OLC 45 este simțitor mai mare. Explicația comportamentului diferit al celor două oțeluri la încălzirea prin inducție rezultă din o analiză asupra permeabilității și rezistivității prezentate de către acestea.

Dacă avem în vedere puterea specifică absorbită de piesă la încălzirea prin inducție $P_s = I^2 \sqrt{\pi \mu \rho f}$, la același curent și frecvență, putem spune că puterea absorbită este proporțională cu produsul $\mu \rho$. Cum însă cu creșterea cîmpului

magnetizant permeabilitatea oțelurilor carbon de la cca 251 A/cm prezintă aceeași variație, se poate spune pentru OLC 45 și OLC 60 că la intensități mari de câmp magnetizant puterea specifică

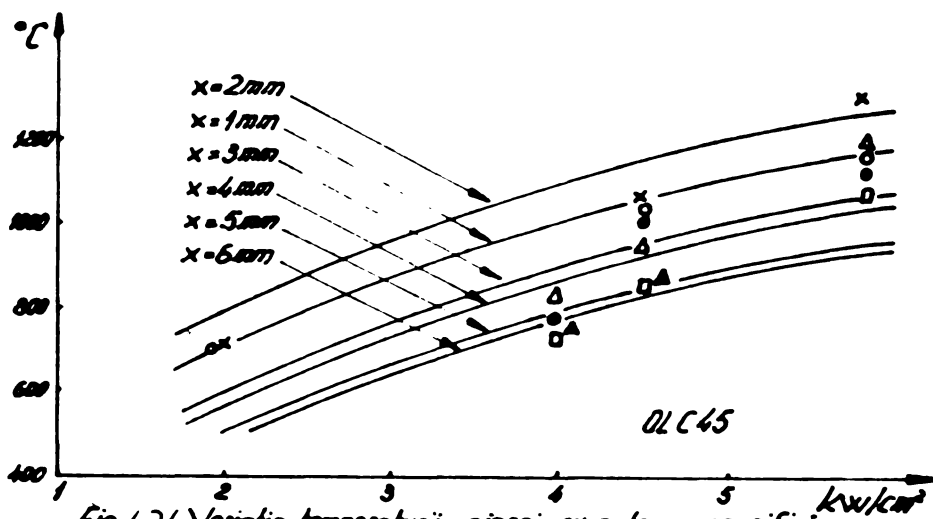


Fig. 4.24 Variatia temperaturii piesei cu puterea specifică la diferite profunzimii și 60s timp de încălzire. (Tabela Nr.4).

absorbită este proporțională cu rezistivitatea.

Utilizând relația 5.7 din [13] se poate determina rezistivitatea acestor oțeluri.

$\rho = 10,5 + 3 \cdot p + 3 \cdot p^2 \mu\Omega \text{cm}$. în care : p - conținutul în carbon.

$$\rho_{45} = 10,5 + 3 \cdot 0,45 + 3 \cdot 0,45^2 = 12,45 \mu\Omega \cdot \text{cm} \quad (4.29)$$

iar

$$\rho_{60} = 10,5 + 3 \cdot 0,6 + 3 \cdot 0,6^2 = 13,38 \mu\Omega \cdot \text{cm} \quad (4.30)$$

Comparând rezistivitatea celor două oțeluri rezultă cauza manifestării diferită a celor două oțeluri la încălzire

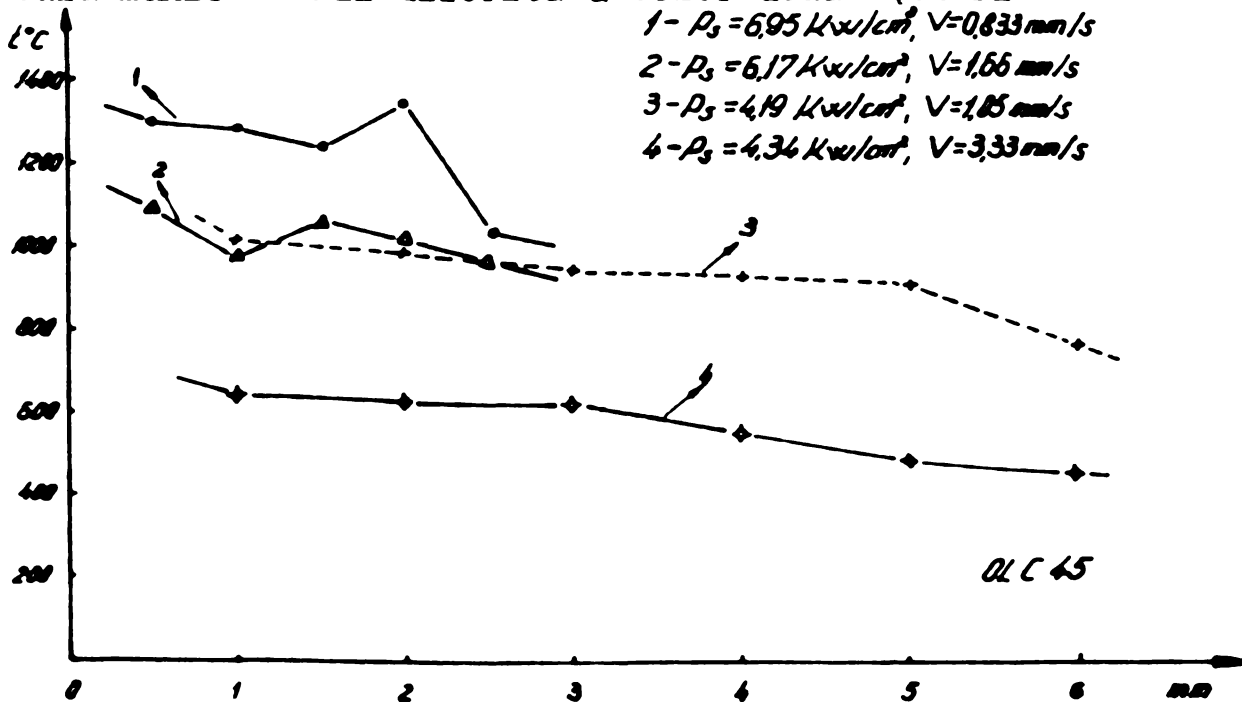


Fig. 4.25 Variatia temperaturii piesei cu profunzimea de la suprafață.

Analizînd curbele experimentale trasate în fig. 4.25 și fig.4.26 rezultă că o curbă medie a punctelor obținute indică o reducere a temperaturii cu profunzimea, în același timp și cu puterea specifică.

Se constată că la puteri specifice mari pe de o parte și cu creșterea conținutului de carbon pe de alta, că curbele experimentale obținute prezintă unele abateri de la o variație exponențială.

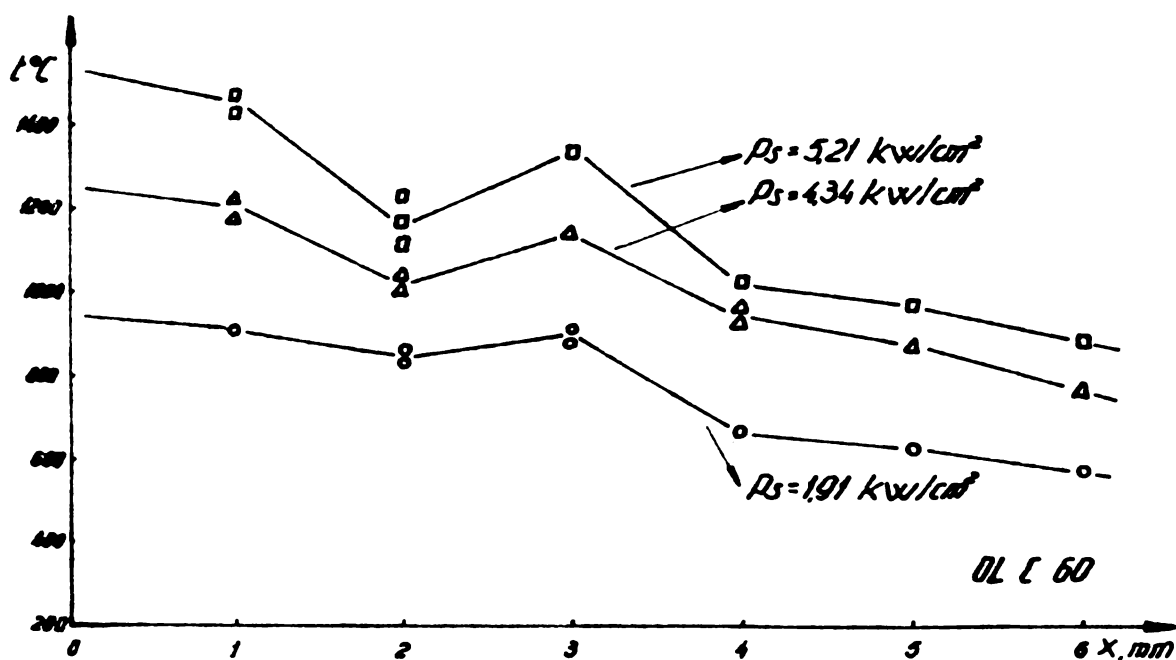


Fig.4.26 Variația temperaturii piesei cu profunzimea, la diferite puteri specifice și 60s timp de încălzire. (tabel Nr.3).

Variația în secțiune a temperaturii trebuie să fie corespunzătoare distribuției energiei în secțiune dată de vectorul Poynting :

$$\bar{S} = \bar{E} \times \bar{H} \quad (4.29)$$

iar valoarea instantanee :

$$S_x(x,t) = H_{\text{omax}}^2 \frac{\alpha}{\sigma} 2 e^{-2\alpha x} \sin(\omega t - \alpha x) \cdot \sin(\omega t - \alpha x + \frac{\pi}{4}) \quad (4.30)$$

sau

$$S_x(x,t) = \frac{H_{\text{omax}}^2}{2} \frac{\alpha}{\sigma} e^{-2\alpha x} \left[\cos \frac{\pi}{4} - \cos(2\omega t - 2\alpha x + \frac{\pi}{4}) \right] \quad (4.31)$$

din care rezultă că distribuția în secțiune a energiei este după o curbă exponențială. Deci cauza distribuției temperaturilor la o putere dată cu profunzimea, așa ca în fig. 4.26, nu este energia electrică și ar putea fi modul în care se suprapune căl-

dura indusă pe căldura transmisă de zonele mai calde. Această chestiune însă, necesită să fie reluată și cercetată mai în amănunțime.

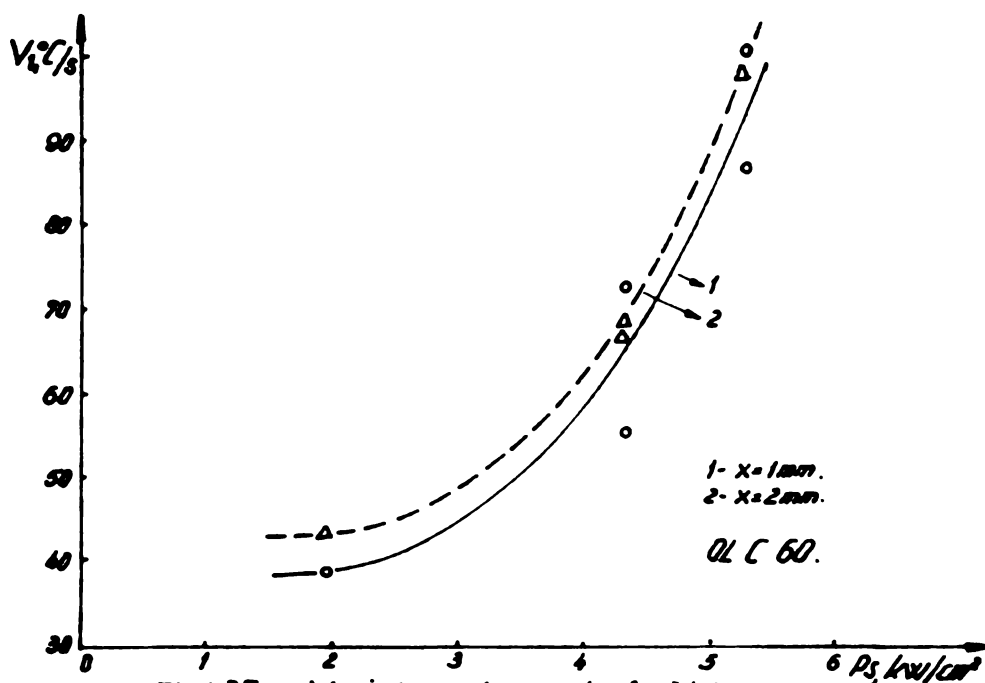


Fig.4.27 Variația vitezei de încălzire cu puterea specifică și profunzimea (tabelul Nr.3).

În fig. 4.27 și 4.28 sînt reprezentate variațiile vitezei de încălzire pînă la punctul Curie funcție de puterea specifică pentru OLC 60 și OLC 45.

Așa cum rezultă din fig.4.27 pînă la cca 3 KW/cm² creșterea vitezei de încălzire este mult mai mică față de puteri specifice mai mari. De asemenea, comparînd reprezentările

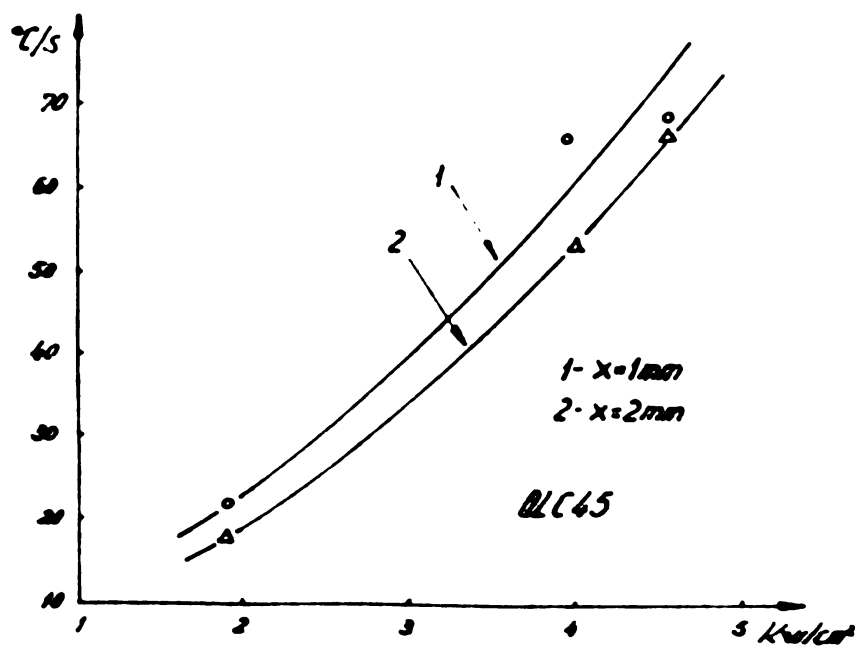


Fig.4.28 Variația vitezei de încălzire cu puterea specifică și profunzimea de la suprafață (Tabelul Nr.4).

din fig.4.27 și 4.28 rezultă că la puteri specifice ridicate, panta curbei de variație a vitezei de încălzire la OLC 60 este mai mare decît la OLC 45 și ca o consecință și viteza de încălzire la aceeași putere este mai mare la primul oțel față de cel de al doilea.

În legătură însă cu schimbarea permeabilității magnetice respectiv, a vitezei de încălzire a oțelului în timpul încălzirii, se necesită a fi prezentată o chestiune mai în detaliu.

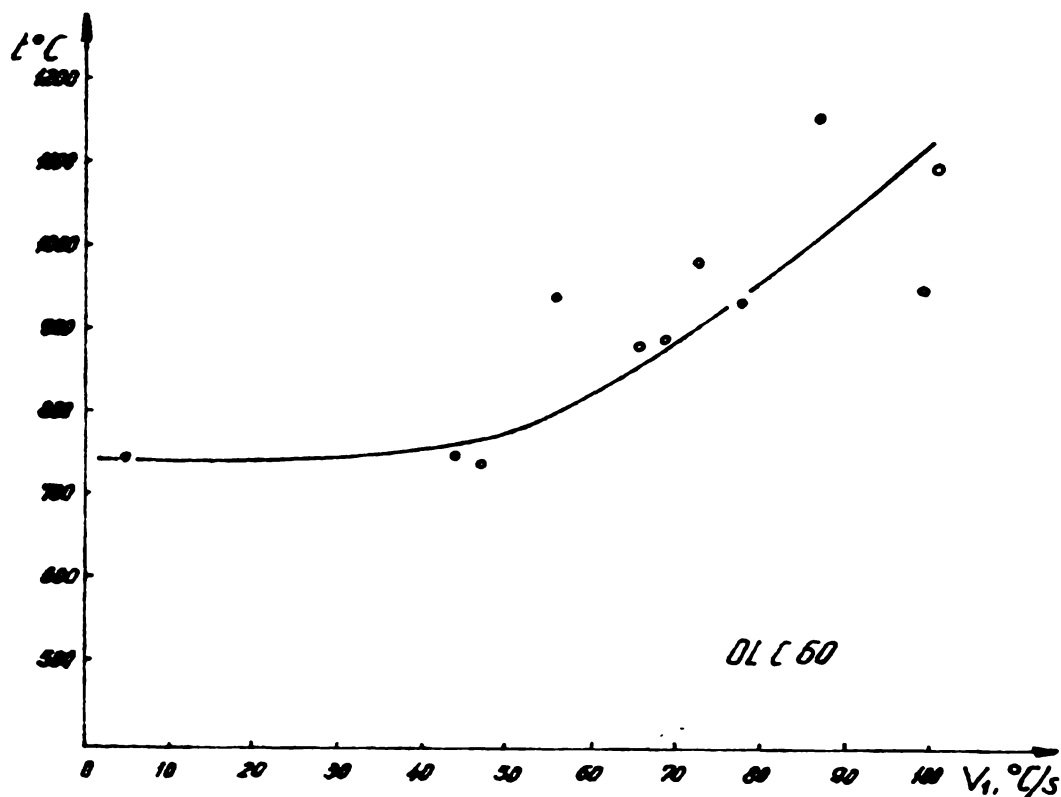


Fig.4.29 Variația temperaturii punctului de schimbare a permeabilității cu viteza de încălzire prin inducție. (Tabela Nr.3).

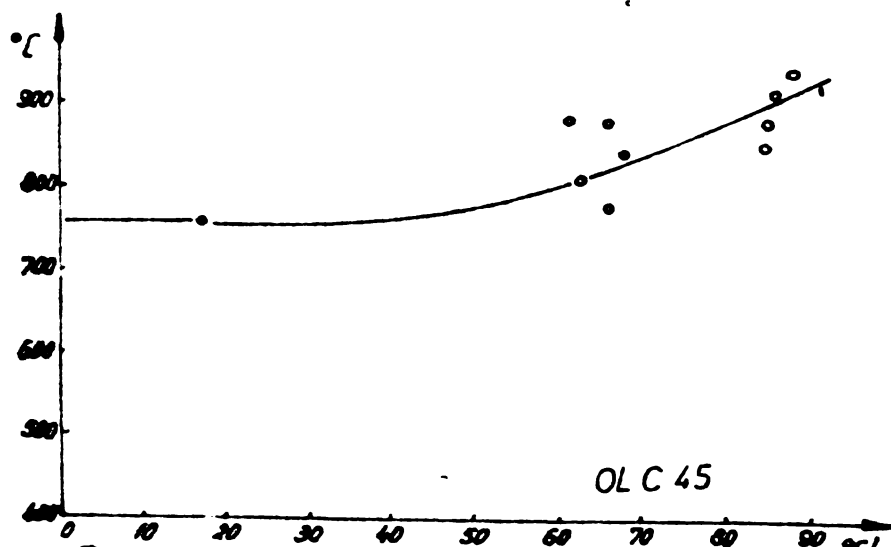


Fig. 4.30 Schimbarea temperaturii punctului de transformare cu viteza de încălzire prin inducție. (Tabela Nr.4).

În fig.4.29 și fig. 4.30 sînt prezentate variațiile temperaturii punctelor de schimbare a permeabilității cu viteza de încălzire.

Materialele feromagnetice sînt caracterizate drept materiale cu o permeabilitate magnetică ridicată. Cu o

susceptibilitate magnetică $X \gg 1$, proprietate care se reduce ca manifestare într-un câmp magnetic atunci cînd se depășește o anumită temperatură caracteristică, materialul prezentînd în continuare doar însușiri paramagnetice cînd $X > 1$.

O teorie microscopică completă și universal valabilă asupra feromagnetismului lipsește. Se pot menționa doar câteva aspecte care par a fi fundamentale.

La 768°C, la răcire, fierul degajă o energie de 5,82 cal/g (mai mult decât la recristalizarea $Fe_{\beta} \rightarrow Fe_{\alpha}$) ceea ce înseamnă că revine pentru un atom de fier $0,243 \cdot 10^{-13}$ ergi/atom sau 0,015 eV/atom. Așa cum rezultă din curba de răcire, o asemenea valoare de energie este suficientă pentru o reorganizare structurală, dar se pare insuficientă pentru o reorganizare electronică. Așa cum rezultă din calculele efectuate [42] energia de ordonare trebuie să fie cel puțin $K_B \cdot T_C$, adică 0,1 eV pe spin. O asemenea valoare ridicată a energiei necesare în comparație cu cea absorbită sau degajată ne conduce la ideea de a apela la forțele columbiene. Deci alături de energia absorbită de sistem din exterior, pentru ordonare intervin și forțele columbiene. O asemenea teorie se verifică prin aceea că interacțiunea ionilor din rețea determină existența unei simetrii la mare și mică distanță și în același timp magnetizarea preferențială a fierului după direcția (100) a rețelei cristaline.

Dependența feromagnetismului la fier este determinată în principal de imperfecțiunea ce o prezintă pe subnivelul 3d, pe care se află cinci electroni neîmperechiați și cu un moment magnetic de spin de 5,92, mult mai mare decât a altor metale.

Dependența feromagnetismului la fier de electronii de pe 3d este susținută și de punctul Curie la care are loc trecerea de la feromagnetism la paramagnetism. Astfel, a rezultat din calculele efectuate că amplitudinea oscilațiilor atomice a Fe la 768°C ajunge la 0,2383 Å față de 0,0017 Å la 20°C. Dacă se are în vedere că distanța interatomică a fierului în rețea care este de 2,8664 Å iar diametrul atomic de 2,54 Å, rezultă că la 768°C poate apare o interacțiune a atomilor de fier de 0,0119 Å, o deformare de 0,2 %, adică atât încît să deranjeze parțial subnivelul 3d. O asemenea interacțiune, va determina o rearanjare fină a nivelelor electronilor pe 3d, o împerechere a spinilor iar ca efect, manifestarea la temperaturi mai ridicate a paramagnetismului.

Cercetîndu-se unele aspecte asupra comportamentului oțelurilor carbon OLC 45 și OLC 60 la încălzirea prin inducție, au fost făcute următoarele constatări :

- la încălzirea prin inducție a acestor oțeluri cu viteze relativ scăzute, punctul Curie se manifestă la cca $740...750^{\circ}\text{C}$.

- de la o viteză de încălzire mai mare de cca 40°C/s , odată cu creșterea vitezei de încălzire crește și temperatura la care se manifestă punctul Curie.

- panta curbei ce reprezintă creșterea temperaturii de manifestare a punctelor Curie este mai mare la OLC 60 față de OLC 45 (fig.4.29 și 4.30) [44] .

Explicația unui asemenea mod de comportare a punctului Curie cu creșterea vitezei de încălzire constă în manifestarea tot mai evidentă a forțelor inerțiale odată cu creșterea vitezei de încălzire.

Forțele inerțiale atomice la o încălzire cu o viteză $V = 100^{\circ}\text{C/s}$ sînt cu 1,56 ori mai mari față de o încălzire cu $V = 40^{\circ}\text{C/s}$. Ceea ce înseamnă că pentru OLC 60 punctul Curie la $V = 100^{\circ}\text{C/s}$ va fi $C_{100} = C_{40} \cdot 1,56 = 1154^{\circ}\text{C}$ ceea ce corespunde rezultatelor experimentale [43] .

Considerînd că de la viteze de încălzire mai mari de cca 40°C/s curba ce reprezintă variația temperaturii de manifestare a punctului Curie este după o exponențială, au fost stabilite următoarele relații empirice ce pot fi utilizate pentru calculele care privesc încălzirea prin inducție :

$$\text{pentru OLC 60 } T_c = 7,5 \cdot V + 370 \quad ^{\circ}\text{C} \quad (4.32)$$

$$\text{și OLC 45 } T_c = 4 \cdot V + 550 \quad ^{\circ}\text{C} \quad (4.33)$$

Concluziile care rezultă la încălzirea prin inducție cu inductor și piesă în repaus sînt :

- cea mai ridicată temperatură se obține în zona de suprafață a piesei ;

- la aceeași putere specifică și timp, încălzirea este mai puternică la OLC 60 față de OLC 45 ;

- temperatura în secțiune se reduce ondulatoriu după o curbă exponențială ;

- temperatura de trecere de la feromagnetism la paramagnetism, la o viteză de încălzire mai mare de 50°C/s , crește cu creșterea vitezei de încălzire.

4.5.2. Incălzirea cu inductor în mișcare și piesă

în repaus

Acest aspect a fost analizat din punct de vedere teoretic în 4.2. din care a rezultat dependența temperaturii la suprafață în primul rând de puterea specifică, de viteza de deplasare a inductorului și altele.

Măsurătorile au fost realizate pentru ambele oțeluri aflate în studiu pe marginea unor probe în care au fost fixate termocupele din Pt-Pt Rh 10 la distanță de 50 mm una de alta și la profunzimi de la 1 la 6 mm (conform 3.2). Barele au fost fixate între vîrfuri pe strung, în repaus, iar inductorul fixat direct pe transformatorul de adaptare și acesta la rîndul său pe sania principală a strungului pentru realizarea mișcării de avans de-alungul barei de către inductor.

Datele experimentale utilizate în acest subcapitol aflate în tabelele nr.5,6 și 7 au fost obținute de pe curbele de încălzire obținute pe înregistratoare. O asemenea curbă se află prezentată în fig. 4.31. Din această curbă primară rezultă că încălzirea unei piese în repaus cu inductorul în mișcare poate fi caracterizată drept o încălzire în două etape.

În prima etapă ce se încălzește se află la o distanță apreciabilă de inductor, 30...50 mm, încălzirea se face prin conducție și este funcție de conductibilitatea termică a materialului ; puterea specifică și viteza de deplasare a inductorului. Această încălzire este caracterizată de o viteză V_1 de încălzire, valoare ce poate determina cu următoarele relații experimentale stabilite funcție de puterea specifică P_s în KW/cm^2 și viteza de deplasare a inductorului V în mm/s :

$$\text{pentru OLC 45} \quad V_1 = 3,84 \cdot P_s^{0,19} \cdot V^{0,49} \text{ } ^\circ C/s \quad (4.34)$$

$$\text{și OLC 60} \quad V_1 = 3,68 \cdot P_s^{0,73} \cdot V^{-1,58} \text{ } ^\circ C/s \quad (4.35)$$

- A doua etapă începe din momentul în care suprafața ce se încălzește este cuprinsă în cîmpul electromagnetic al inductorului. Din acest moment viteza de încălzire crește foarte repede indicînd că are loc o încălzire prin inducție. Viteza de încălzire prin inducție - V_2 funcție de puterea specifică $-P_s$ în KW/cm^2 și viteza de deplasare a inductorului - V în mm/s , pe baza datelor experimentale obținute, poate fi

obținută cu relațiile :

$$\text{pentru OLC 45 } V_2 = 4 \cdot P_s^{1,4} \cdot V^{0,97} \text{ } ^\circ\text{C/s} \quad (4.36)$$

$$\text{și OLC 60 } V_2 = 4,9 \cdot P_s^{1,19} \cdot V \text{ } ^\circ\text{C/s} \quad (4.37)$$

Curbele experimentale pentru aceste relații se află prezentate în fig. 4.32.

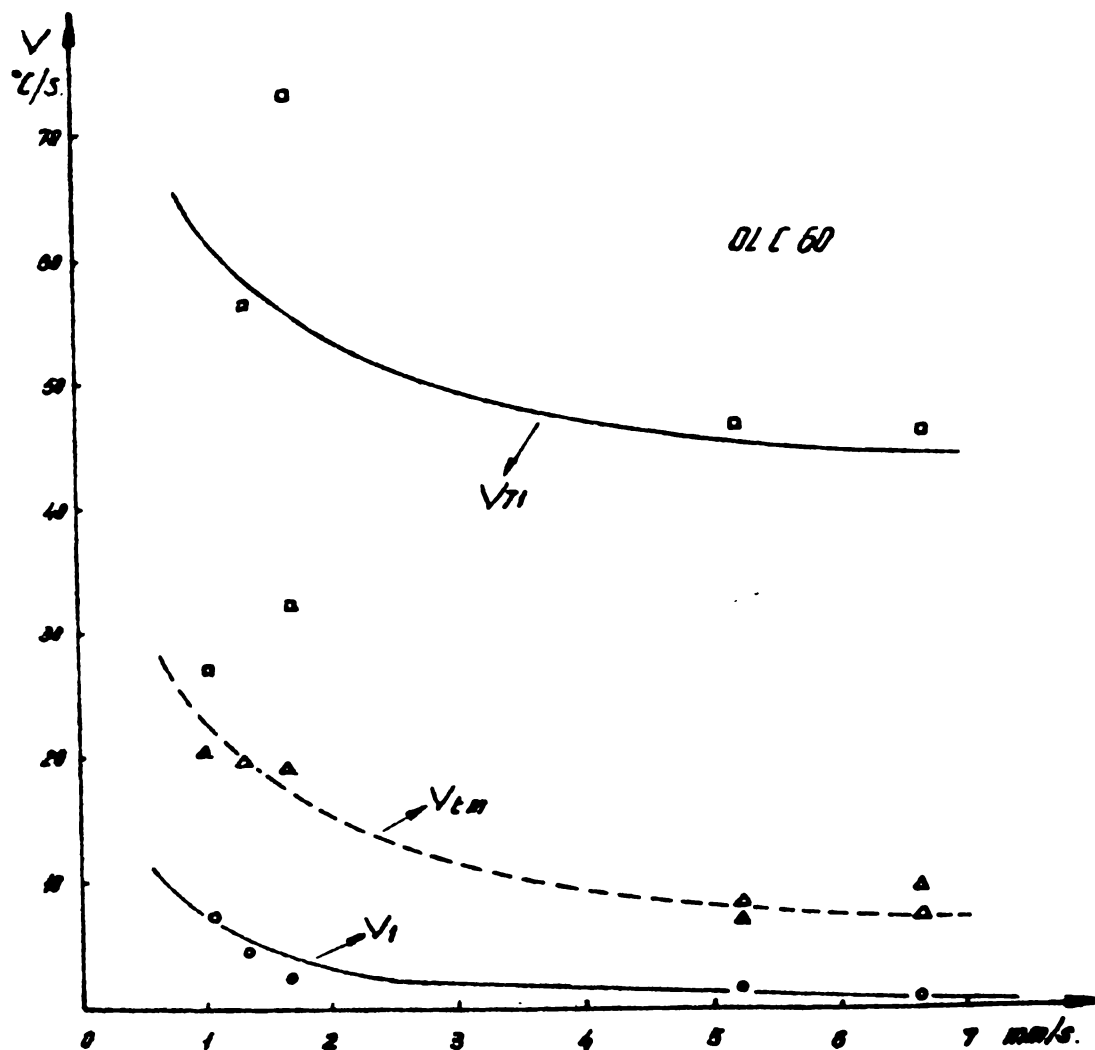


Fig. 4.32 Variația vitezei de încălzire a piesei cu viteza de deplasare a inductorului la o putere specifică de $P_s = 6,08 \dots 6,52 \text{ Kw/cm}^2$. (tabelul Nr.5).

Utilizând datele din tabelul Nr.7 s-au reprezentat în fig.4.33 curbele izoterme la încălzirea piesei în repaus cu inductorul mobil. Din figură rezultă că pe măsură ce crește viteza de deplasare a inductorului crește densitatea curbelor izoterme din fața inductorului și se reduce (pînă la o limită de echilibru) depărtarea dintre inductor și curba de 100°C . În același timp cu creșterea vitezei de deplasare a inductorului zona cea mai caldă rămîne tot mai în urmă față de inductor.

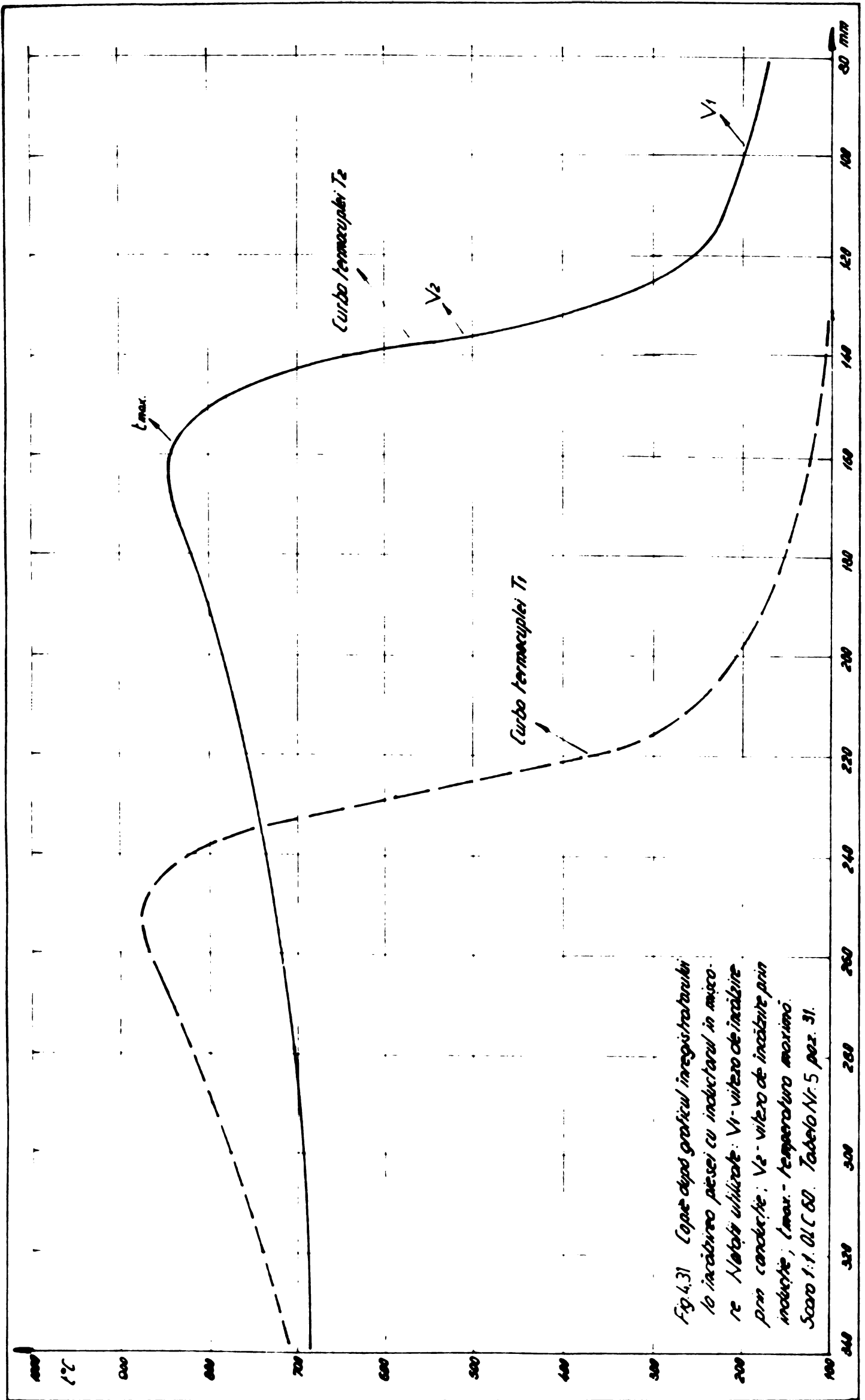


Fig. 4.31 Copie după graficul înregistrării
 la încălzirea piesei cu inductorul în micro-
 re. Notații utilizate: V1 - vîrto de încălzire
 prin conducție; V2 - vîrto de încălzire prin
 inducție; t_{max.} - temperatura maximă.
 Scara 1:1. OLC 60. Tablato Nr. 5 poz. 31.

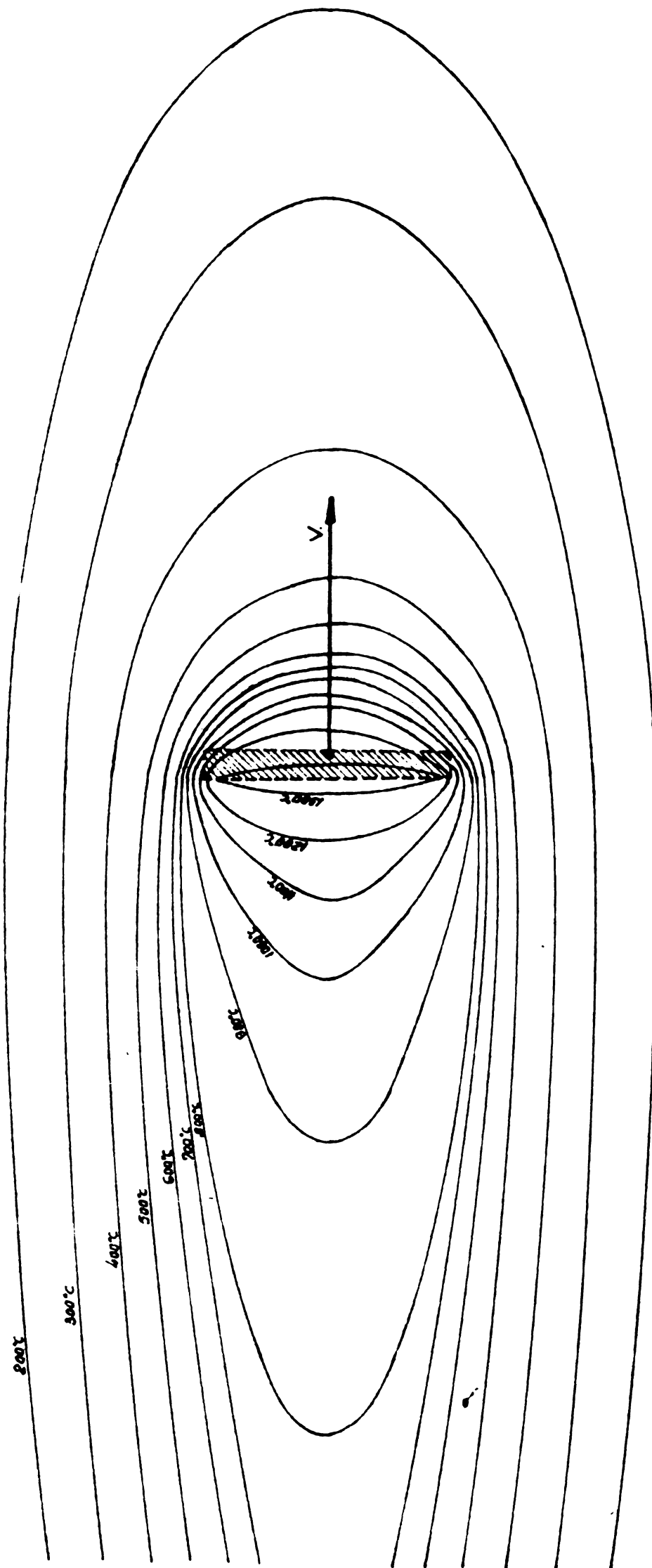


Fig. 4.33 Curbele izoterme la încălzirea piesei în repaus de către inductorul masiv. Viteza de deplasare a inductorului $V=0,833\text{ mm/s}$; călîncimea de la suprafață de măsurare a temperaturii $X=0,5\text{ mm}$; viteza de încălzire prin conducție $V_1=4,29^\circ\text{C/s}$; viteza de încălzire prin inducție $V_2=253^\circ\text{C/s}$; viteza medie de încălzire $V_m=197^\circ\text{C/s}$ și viteza medie de răcire $V_{m1}=532^\circ\text{C/s}$. (curba 871 - tabelul Nr. 6 cap. 1.). D.L.C. 45.

Importanța acestor curbe izoterme constă doar în aceea că ne dă o imagine asupra formei și modului în care se deplasează cîmpurile termice.

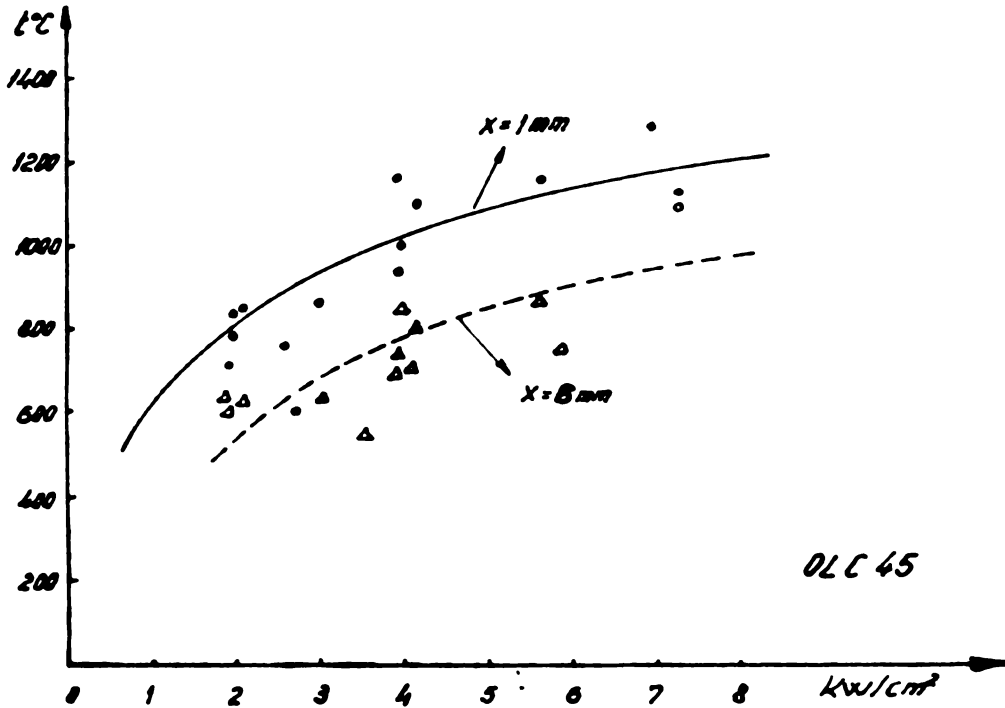


Fig.4.34 Temperatura piesei, la 1 mm și 6 mm de la suprafață, funcție de puterea specifică și la o viteză de deplasare a inductorului $V = 0,31 \dots 0,83 mm/s$. (tabelo Nr 6 și 7).

În fig.4.34 și 4.35 s-a reprezentat variația temperaturii pieselor din OLC 45 și OLC 60 funcție de puterea specifică și o gamă restrînsă de viteze de deplasare a inductorului (considerată constantă). Din curbele de temperatură la o profunzime de 1 mm și 6 mm se desprind aceleași concluzii ca la 4.4.1. Temperatura la profunzimea studiate crește odată cu creșterea puterii specifice la ambele oțeluri dar mai repede la OLC 60.

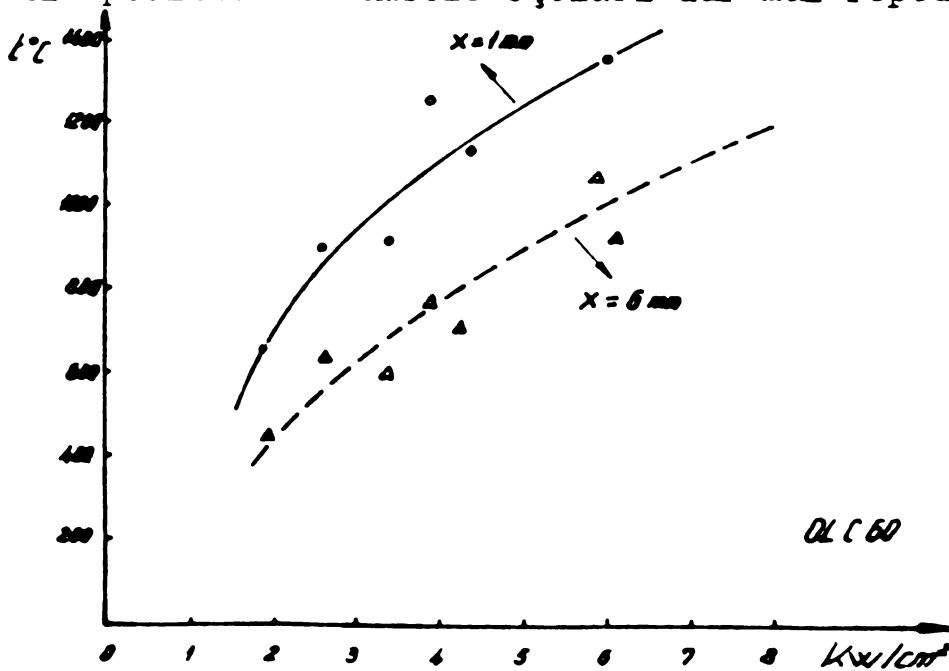


Fig.4.35 Temperatura piesei, la 1 mm și 6 mm de la suprafață, funcție de puterea specifică și la o viteză de deplasare a inductorului de $V = 0,83 \dots 1,05 mm/s$. (tabelo Nr 5)

De asemenea mai mult la OLC 60 decât la OLC 45, la puteri specifice mai ridicate, diferența de temperatură între profunzimea de 1 mm și 6 mm este apreciabilă (cca 300°C), suficientă pentru a fi întrebuintată favorabil la tratamentul termic doar al suprafeței.

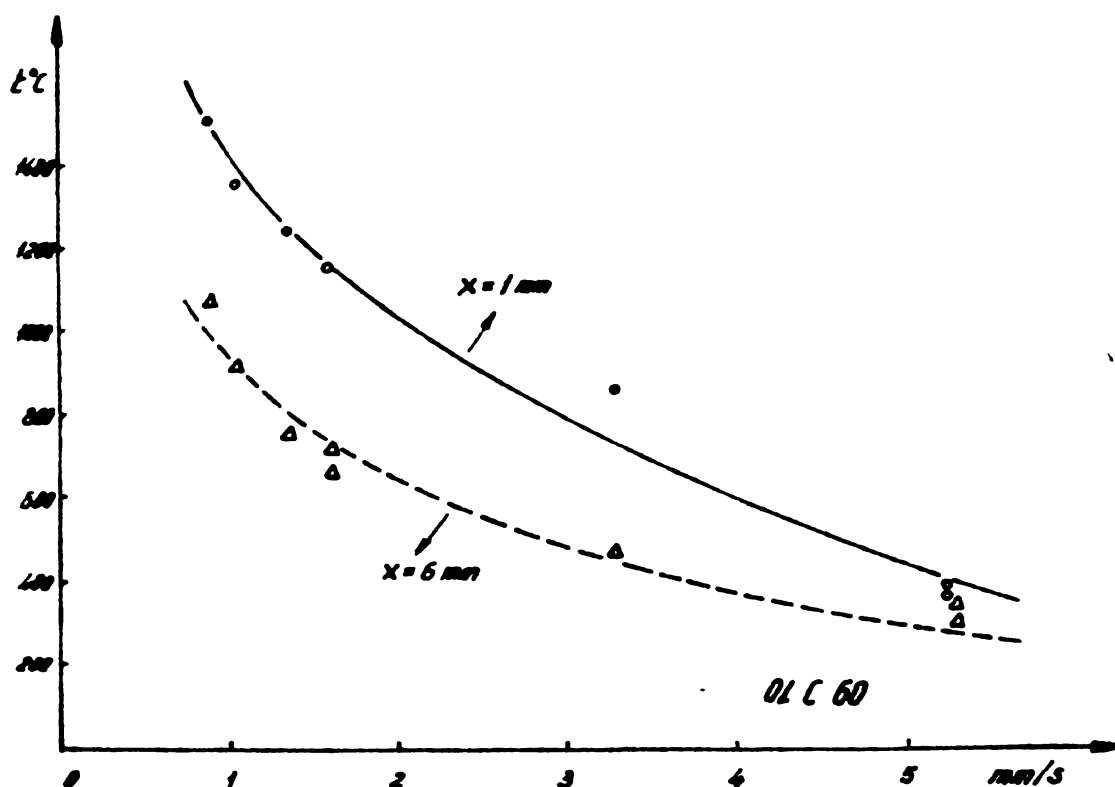


Fig. 4.36 Temperatura piesei, la 1 mm și 6 mm de la suprafață, funcție de viteză de deplasare a inductorului și la o putere specifică de $P_s = 5,87...6,52 \text{ kW/cm}^2$ (tabelo Nr.5)

În fig. 4.36 și 4.37 sînt reprezentate curbele de variație ale temperaturii de la 1 mm și 6 mm de suprafață cu avansul inductorului. Din acestea rezultă o reducere apreciabilă a temperaturii la suprafață cu creșterea vitezei de deplasare a inductorului, la aceeași putere specifică. O dată însă cu creșterea vitezei de deplasare a inductorului rezultă și o reducere a gradientului de temperatură (1...6 mm) de la $\bar{\theta} = 50^{\circ}\text{C/mm}$ la $\bar{\theta} = 20^{\circ}\text{C/mm}$ pentru OLC 45 și de la $\bar{\theta} = 60^{\circ}\text{C/mm}$ la $\bar{\theta} = 25^{\circ}\text{C/mm}$ pentru OLC 60 ambele interpretate la un avans al inductorului de $V = 1 \text{ mm/s}$ respectiv $V = 5 \text{ mm/s}$.

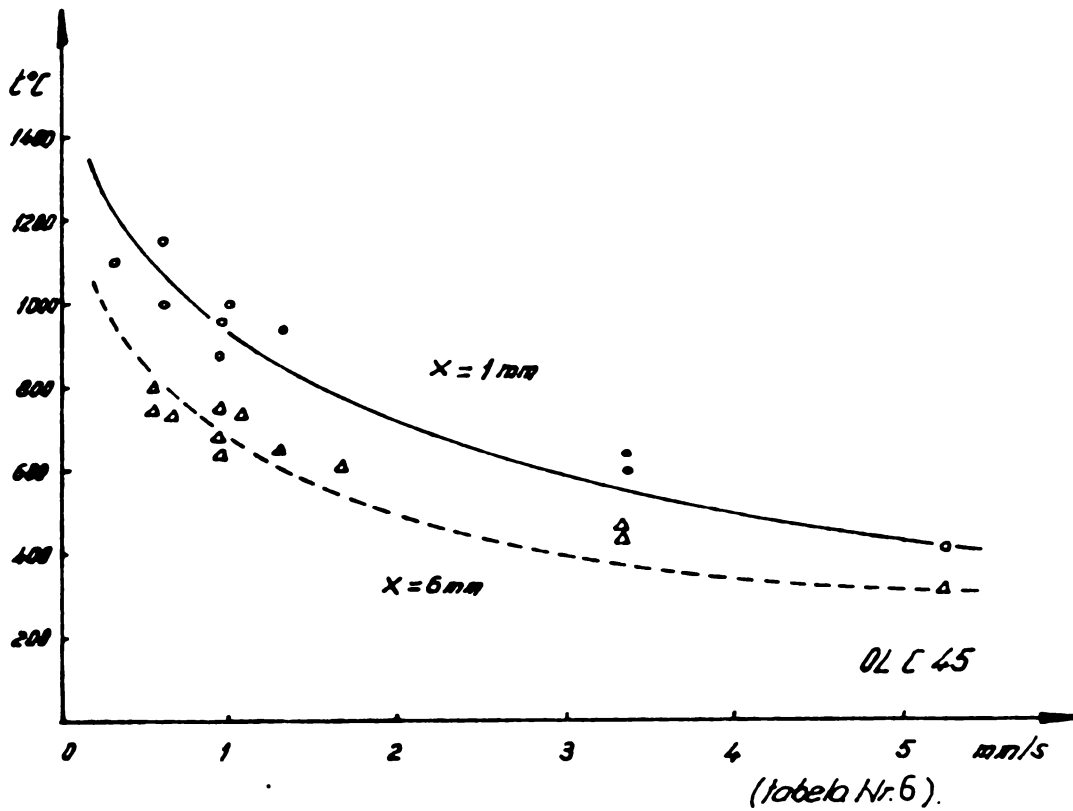


Fig.4.37 Temperatura piesei, la 1mm și 6mm de la suprafață, funcție de viteza de deplasare a inductorului și la o putere specifică de $P_s = 3,48 \dots 4,34 \text{ Kw/cm}^2$.

Acest aspect poate fi constatat și din fig.4.38 din care mai rezultă că gradientul de temperatură este funcție și de puterea specifică. Rezultă de asemenea ca și în 4.4.1 că la puteri specifice mari variația de temperatură cu profunzimea nu are loc după o exponențială ci după o sinusoidă amortizată după o exponențială.

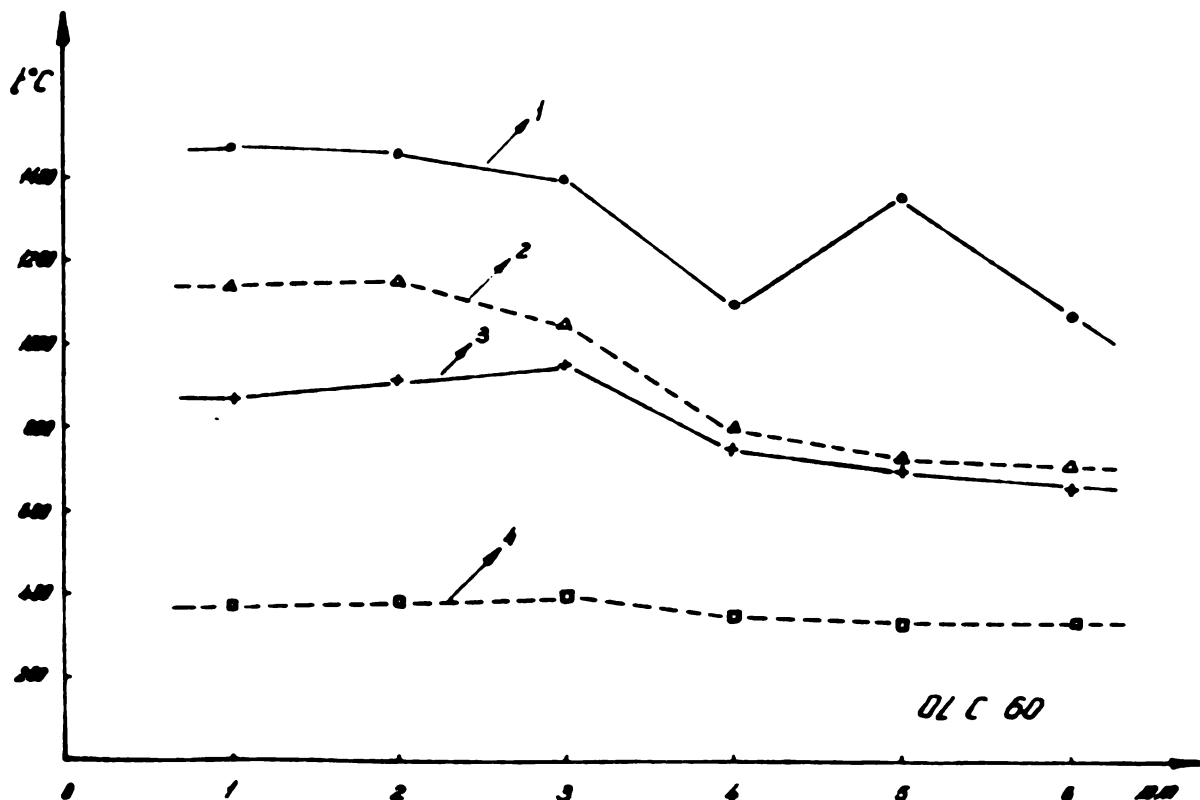


Fig.4.38 Variația temperaturii piesei cu profunzimea de la suprafață. 1 - $P_s = 6,08 \text{ Kw/cm}^2$, $V = 0,83 \text{ mm/s}$; 2 - $P_s = 4,34 \text{ Kw/cm}^2$, $V = 1,05 \text{ mm/s}$; 3 - $P_s = 6,08 \text{ Kw/cm}^2$, $V = 1,66 \text{ mm/s}$; 4 - $P_s = 6,52 \text{ Kw/cm}^2$, $V = 5,25 \text{ mm/s}$. (Tabela Nr.5).

In fig.4.39 este reprezentată una din cele mai utile diagrame pentru netezirea electromecanică a arborilor, din aceasta rezultă într-un mod expresiv și simplu, temperaturile ce pot fi atinse de suprafață la diferite puteri specifice și viteze de deplasare a inductorului.

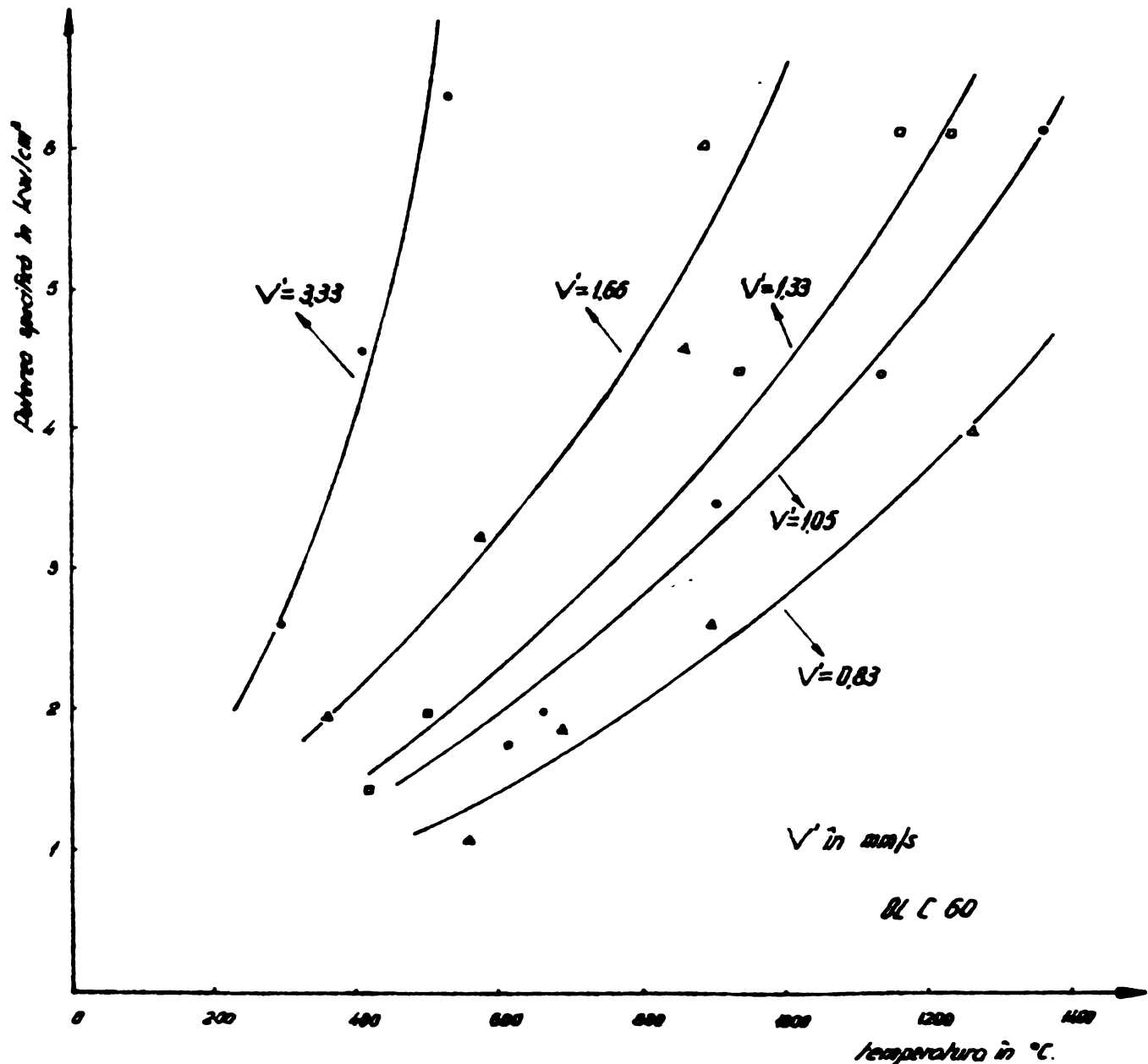


Fig. 4.39 Variația temperaturii piesei la 1 mm de suprafață funcție de puterea specifică și viteza de deplasare a inductorului. (tabelul Nr.5).

Din 4.2. unde s-a tratat încălzirea de suprafață progresivă a rezultat , printre altele, că zona de temperatură cea mai ridicată rămâne tot mai în urma inductorului pe măsură ce crește viteza de deplasare a acestuia. Din curbele trasate în fig. 4.40 rezultă tocmai acest aspect și anume : pe măsură ce crește viteza de deplasare a inductorului și se reduce puterea specifică, zona de temperatură cea mai ridicată rămâne tot

mai în urma inductorului pînă la 13 mm la un $P_s = 4,5 \text{ Kw/cm}^2$.
 Această reprezentare grafică oferă posibilitatea efectuării unui

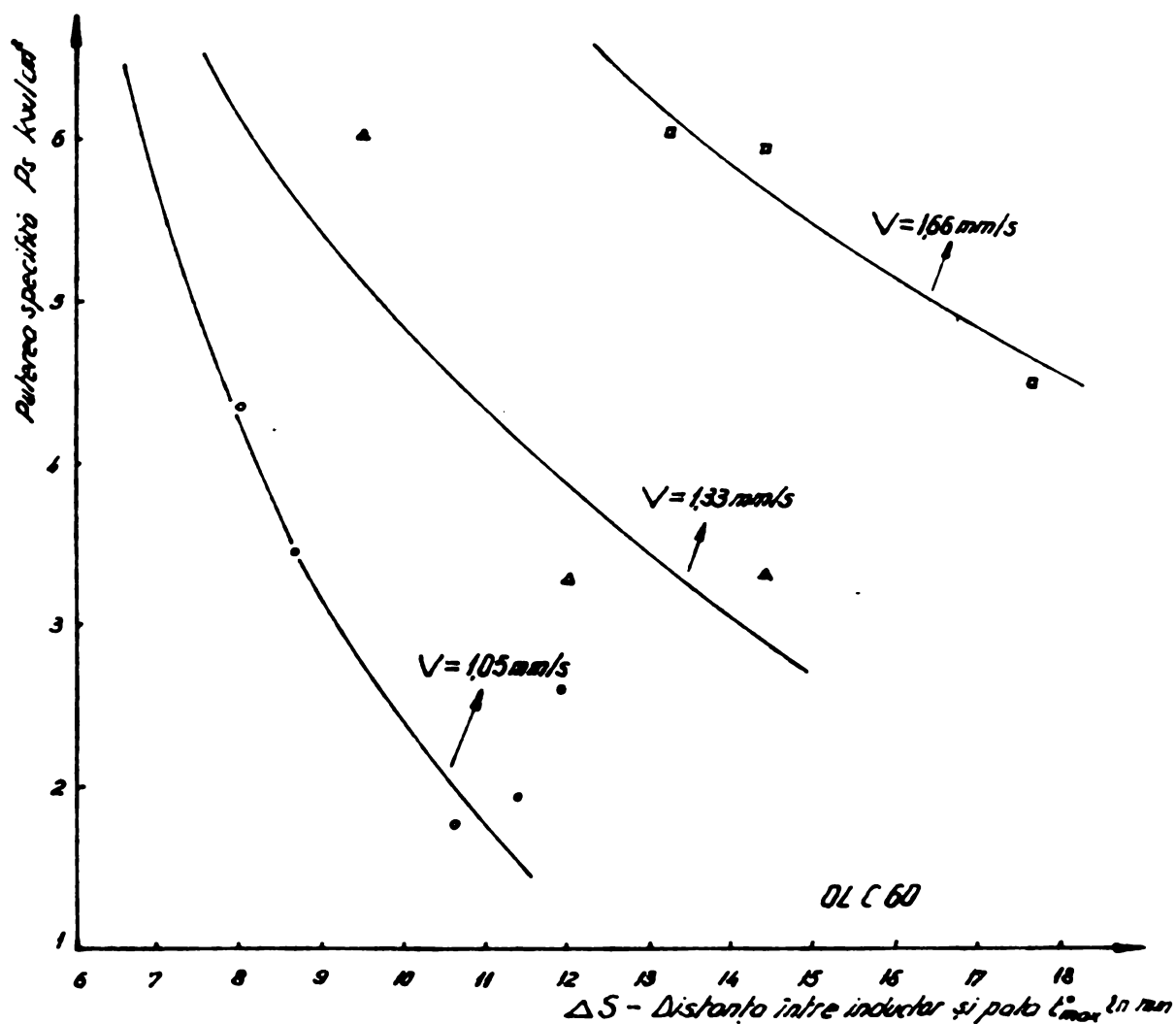


Fig. 4.40 Variația distanței între pată de temperatură maximă la suprafața piesei și inductor, funcție de puterea specifică și viteză de deplasare a inductorului. (tabelo Nr.5).

reglaj rapid pe mașina unealtă funcție de avansul inductorului și puterea specifică pentru fixarea locului de lucru a sculei în zona termică cea mai favorabilă pe piesă.

Analizînd modul de variație a acestei distanțe față de inductor, rezultă că și acesta poate fi exprimată printr-o relație de forma :

$$S = K \cdot P_s^{-x} \cdot V^y \text{ mm}$$

Pentru OLC 60 este :

$$S = 678 \cdot P_s^{-2,25} \cdot V^{0,03} \text{ mm} \quad (4.38)$$

În fig.4.39 sînt prezentate curbele izoterme ale acestui tip de încălzire prin inducție din care rezultă în plus cele anterior interpretate în legătură cu viteza de încălzire.

În concluzie la încălzirea prin inducție cu inductor mobil și piesă în repaus se rețin următoarele :

- încălzirea stratului de suprafață are loc în două faze : prin conducție și apoi prin inducție ;
- repartitia temperaturii cu profunzimea se face după o exponențială ;
- cu creșterea vitezei de deplasare a inductorului se reduce temperatura la suprafață.
- cu creșterea vitezei de deplasare a inductorului crește distanța între inductor și suprafața cea mai caldă.

4.5.3. Incălzirea cu inductor și piesă în mișcare

Studiul încălzirii prin inducție a unui arbore în mișcare de rotație de-alungul căruia se deplasează inductorul, reprezintă o chestiune deosebit de complexă. Numărul de variabile în acest caz, comparativ cu încălzirea progresivă tratată în 4.2., este mai mare, complicând atât interpretarea teoretică cât și certificarea unor interpretări prin măsurători practice.

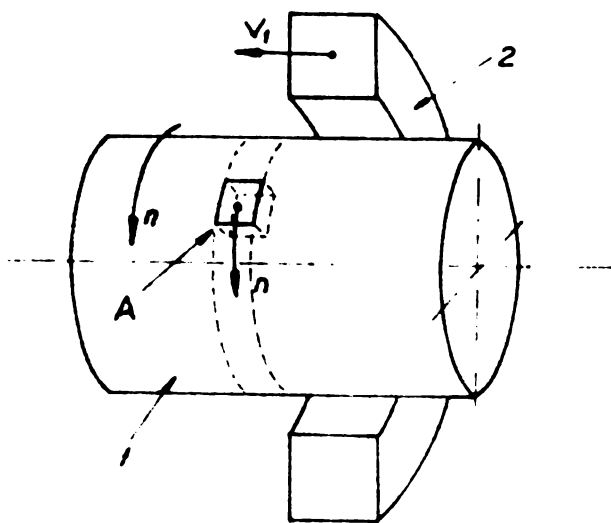


Fig 4.41 Inductor și piesă în mișcare

Așa cum rezultă din fig.4.41 elementul de secțiune A aflat la suprafața piesei ce se rotește, este supus unei acțiuni pulsatorii de încălzire - răcire ca urmare a formei semiinelare a inductorului.

Luând în considerare relația puterii specifice determinate în 4.2.

$$P_s = \frac{2 P_m}{\bar{\pi} \cdot h' \left[1 + \left(\frac{v}{h'} \right)^2 \right]^2} \quad (4.39)$$

și considerînd pentru cazul de față, că atât înălțimea virtuală h' cât și depărtarea elementului ce se încălzește de inductor y , sînt funcție de mișcarea de rotație a piesei, rezultă :

că $y = V_1 \cdot t$ devine pentru cazul de față

$$y = s \cdot n \cdot t \quad (4.40)$$

în care : s - avansul inductorului în mm/rot.

n - turația piesei în rot/s

t - timpul în s

$$\text{și } h' = \sqrt{h^2 - a^2} \quad (4.41)$$

ce reprezintă înălțimea virtuală și pentru cazul de față, este maxim atunci când secțiunea A se află la mijlocul inductorului, deci

$$h' = \sin\omega \sqrt{h^2 - a^2} \quad (4.42)$$

În acest caz expresia puterii specifice are forma:

$$P_s = \frac{2 P_m}{\bar{\mu} \cdot h' \left[1 + \left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right)^2 \right]^2} \quad (4.43)$$

Dezvoltînd ca în 4.2. rezultă relația ce dă temperatura la suprafața piesei funcție de timp și mișcarea de rotație a piesei :

$$\theta(o, t, \omega) = \frac{0,437 \cdot P_m}{\sqrt{s \cdot n \cdot h'}} \cdot g\left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'}\right) \quad (4.44)$$

în care :

$$g\left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'}\right) = \frac{0,287 \left\{ \left[3 + 2 \left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right)^2 \right] \cdot \left[\sqrt{1 + \left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right)^2} + \frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right]^{1/2} \right\}}{\left[1 + \left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right)^2 \right]^{3/2}} + \frac{0,287 \frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right)^2} - \frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right]^{1/2}}{\left[1 + \left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} \right)^2 \right]^{3/2}} \quad (4.45)$$

Reprezentînd grafic funcția $g\left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'}\right)$ pentru $\sin\omega = 1$ și $s \cdot n = \text{constant}$, rezultă curba trasată în fig. 4.42.

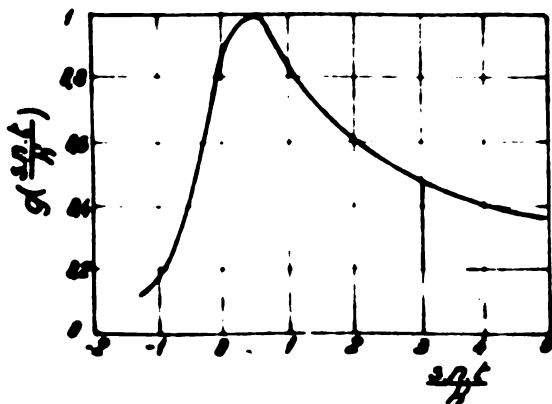


Fig. 4.42 Variația funcției $g\left(\frac{s \cdot n \cdot t}{h'}\right)$

Analizînd variația curbei, se constată că funcția prezintă un maxim pentru $\frac{s \cdot n \cdot t}{h'} = \frac{1}{2}$, adică în momentul în care inductorul a depășit elementul de volum considerat cu o distanță egală cu jumătatea înălțimii virtuale. O variație similară și deci aceeași interpretare pentru planul în care se află

inductorul. Rezultă din aceasta, că temperatura maximă nu va coincide cu momentul excitației maxime, apare o inerție din cauza fenomenului termic.

Din constatările făcute asupra acestui caz de încălzire în timpul cercetării a rezultat că la o turație de 160 rot/min. ceea ce corespunde unei viteze $V = 418 \text{ m/s}$ timpul necesar pentru o încălzire pînă la 1000°C era de trei ori

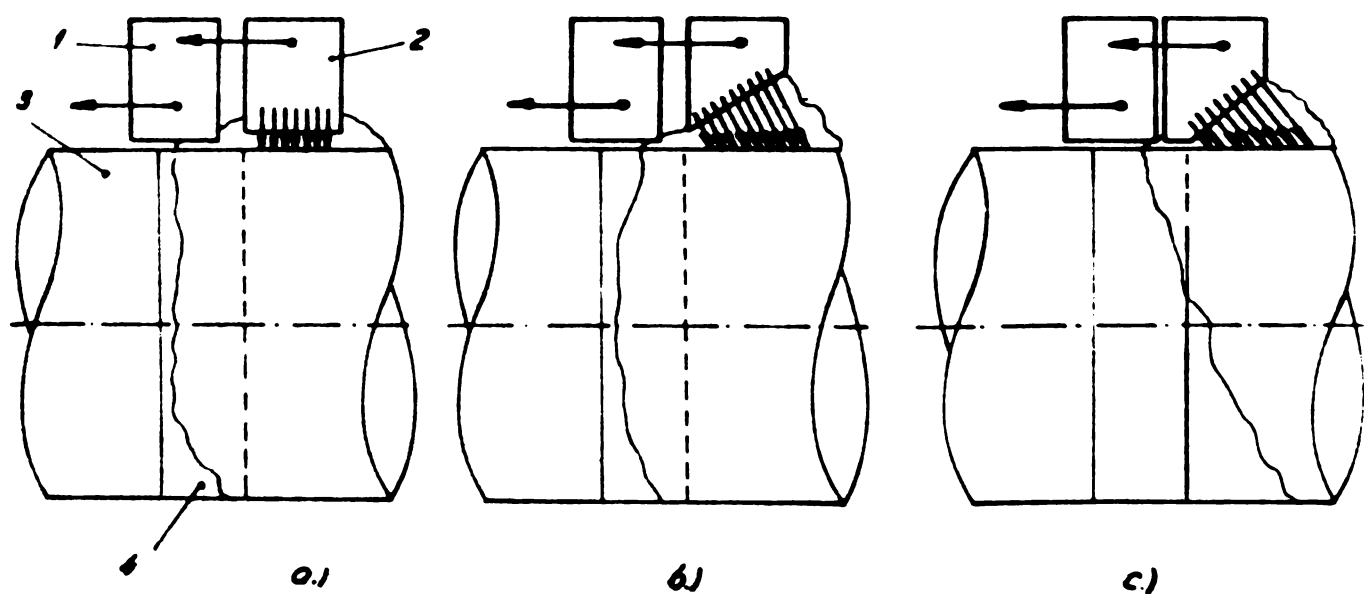
mai mare decît pentru cazul cînd piesa era în repaus.

4.5.4. Incălzire și răcire cu inductor și răcitor în mișcare și cu piesă în repaus.

Cercetarea modului în care are loc răcirea piesei încălzite prin inducție este impusă de una din condițiile inițiale stabilite pentru netezirea electromecanică, de a se obține transformări structurale de călire care să ridice duritatea suprafeței.

Au fost experimentate în acest sens mai multe tipuri de dispozitive de răcire.

Tipul de răcitor care face corp comun cu inductorul a fost eliminat încă din primele momente pentru că ar fi răcit o suprafață care nu ar fi ajuns la temperatura necesară, din cauza plasării zonei celei mai calde în urma inductorului.



*Fig.4.43 Tipuri de dispozitive de răcire experimentale.
1-inductor; 2-dispozitiv de răcire cu apă; 3-piesă;
4-zona colți (850°-1200°-850°C).*

Pe măsura unor asemenea considerente au fost analizate și experimentate mai atent, dispozitive de răcire care să fie așezate în urma inductorului la o distanță convenabilă. Aceste tipuri sînt prezentate în fig. 4.43.

În urma experimentării acestora, tipurile a și b din fig.4.43, nu au dat deplină satisfacție pentru că datorită modului în care produceau injectarea apei de răcire, o mare cantitate de apă ajungea pe suprafața neîncălzită. Aceasta a condus la creșterea timpului necesar încălzirii, la creșterea

grosimii stratului încălzit și în același timp la obținerea unei suprafețe a piesei mai reci decât o zonă mai profundă și în final, o suprafață mai puțin dură decât o alta aflată la 2...3 mm. S-a ajuns astfel la tipul C din fig.4.43 care datorită fațetei circulare cantitatea de apă injectată către inductor era neînsemnată. Dispozitivului de răcire i s-a dat aceeași formă semi-circulară ca și inductorului pentru a se asigura o mare manevrabilitate într-un plan normal pe axa piesei și a fost executat din steclostecloolit deoarece în felul acesta nu absoarbe energie din câmpul electromagnetic al inductorului.

Măsurătorile privind încălzirea și răcirea au fost realizate în aceleași condiții ca și pentru cazurile anterioare iar datele experimentale culese de pe curbele de încălzire-răcire, dintre care una este reprezentată în fig. 4.44, au fost trecute în tabelele Nr.8,9 și 10.

Analizând curba de încălzire-răcire din fig.4.44 prima impresie care rezultă este aceea că frontul de temperatură redusă a piesei produce deformații vizibile asupra celor două etape ale încălzirii, crește timpul pentru încălzirea prin conducție pe scama reducerii timpului de încălzire prin inducție. O asemenea apreciere este confirmată și de fig. 4.45 în care sînt reprezentate la scară 1:1 curbele izoterme la încălzire-răcire.

Dacă avem în vedere ecuațiile câmpului electromagnetic din 4.1.1. și anume :

$$\text{rot } \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = -\mu \cdot \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \quad (4.46)$$

$$\bar{B} = \mu \bar{H}$$

$$\text{rot } \bar{H} = G \bar{E} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \quad (4.47)$$

$$\bar{D} = \epsilon \bar{E}$$

este constanta dielectrică a mediului în care se propagă câmpul electromagnetic și acesta depinde de natura mediului izolant. Dar față de cazul cînd întrefierul este aer și pentru acesta $\epsilon_{\text{aer}} \approx 1$, pentru cazul în care în întrefier este apă cu $\epsilon_{\text{apă}} \approx 80$, a apărut o schimbare netă în ce privește condițiile de propagare ale câmpului.

Crescînd permitivitatea ca urmare a creșterii lui ϵ , crește rot \bar{H} (4.47) și rot \bar{E} (4.46) precum și densitatea de curent \bar{J} . Odată însă cu creșterea curentului indus crește și câmpul dat de acesta și care se opune celui care la creiat. Se

apreciază în același timp și apariția unor forțe electromagnetice volumice ce face ca apa de răcire să fie îndepărtată din zona centrală, să conducă la curbarea câmpului electromagnetic dat de i_1 , respectiv și curentul de reacție.

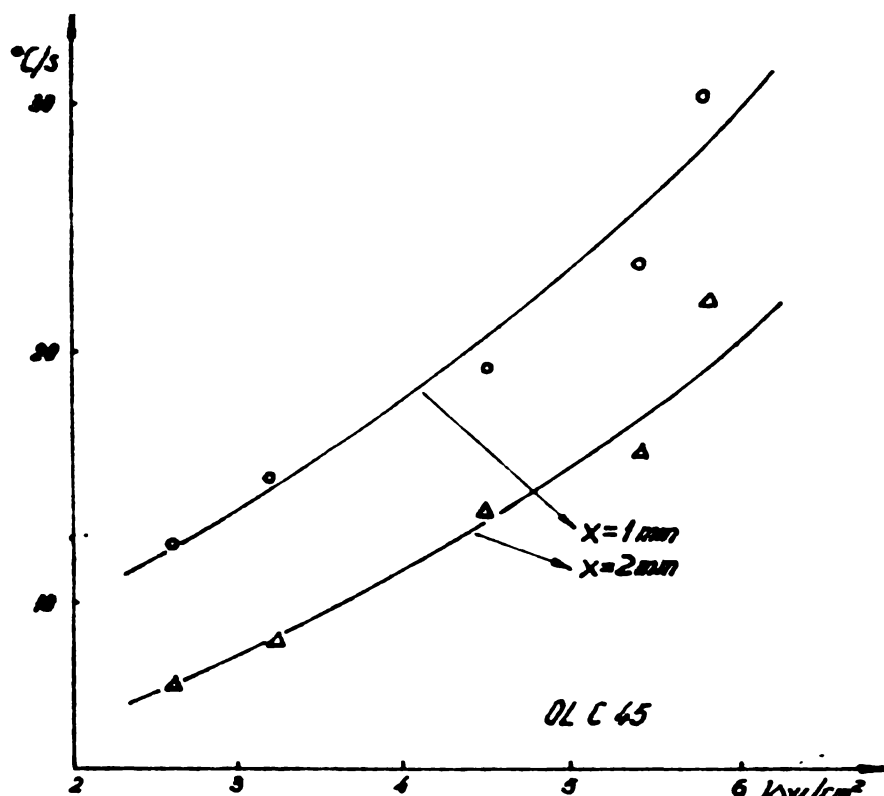


Fig. 4.46 Viteza de încălzire prin inducție funcție de puterea specifică și profunzime. (tabelul Nr. 8).

Acest aspect interesant apărut necesită o analiză mai atentă ce urmează a fi efectuată într-o cercetare viitoare organizată numai pentru acest scop.

Partea asupra căreia a fost îndreptată o atenție mai mare în cadrul cercetării încălzirii și răcirii, a constituit-o obținerea de in-

formații cât mai complete în legătură cu comportamentul practic a celor două oțeluri intrate în sfera cercetării.

Astfel, unul din parametrii tehnologici importanți au fost reprezentați în fig. 4.46 și 4.47 și care se referă la variația vitezei de încălzire funcție de puterea specifică și profunzime, în condițiile răcirii cu apă. Din acestea rezultă că vitezele de încălzire sînt mai mici și cresc mai încet pe măsura creșterii puterii specifice comparativ cu cazul de la 4.4.2 și în același timp, gradul de împrăștiere a datelor experimentale obținute se constată că este mai mare. Rezultă de asemenea, că diferența de viteză de încălzire între suprafață și o zonă mai profundă este mai mare în acest caz, existînd condiții mai favorabile încălzirii suprafeței.

Pentru determinarea rapidă prin calcul a mărimii vitezelor de încălzire (pentru debitul apei de răcire de 14 l/min) la suprafață, au fost stabilite pe baza datelor din tabelele Nr.8 și 9 următoarele relații :

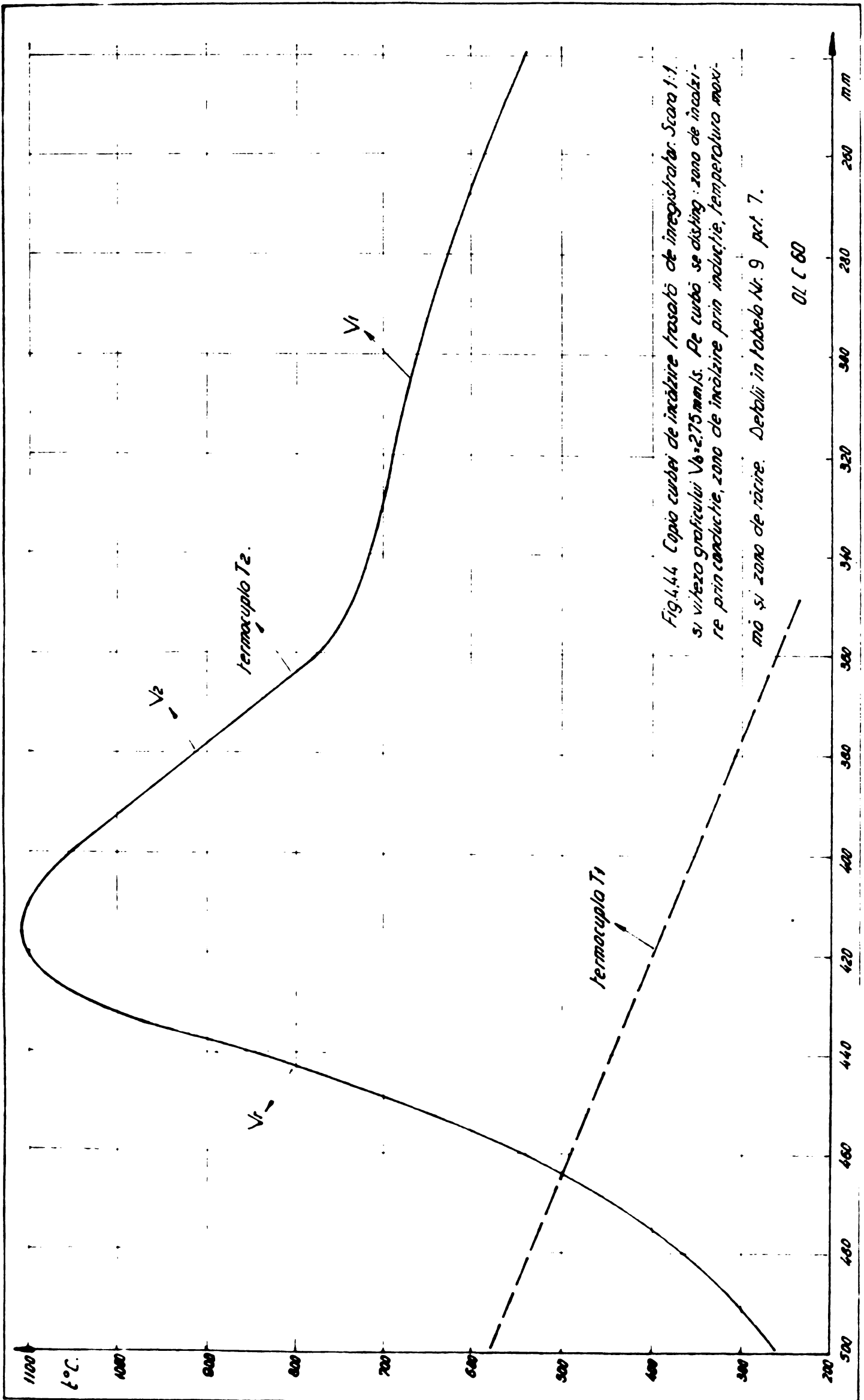


Fig.4.44 Copia curbei de încălzire trasată de înregistrator. Scara 1:1. și viteza graficului $V_b=2.75$ mm/s. Pe curbă se disting: zona de încălzire prin conductivitate, zona de încălzire prin inducție, temperatura maximă și zona de răcire. Detalii în tabelul Nr. 9 pct. 7.

01 C 60

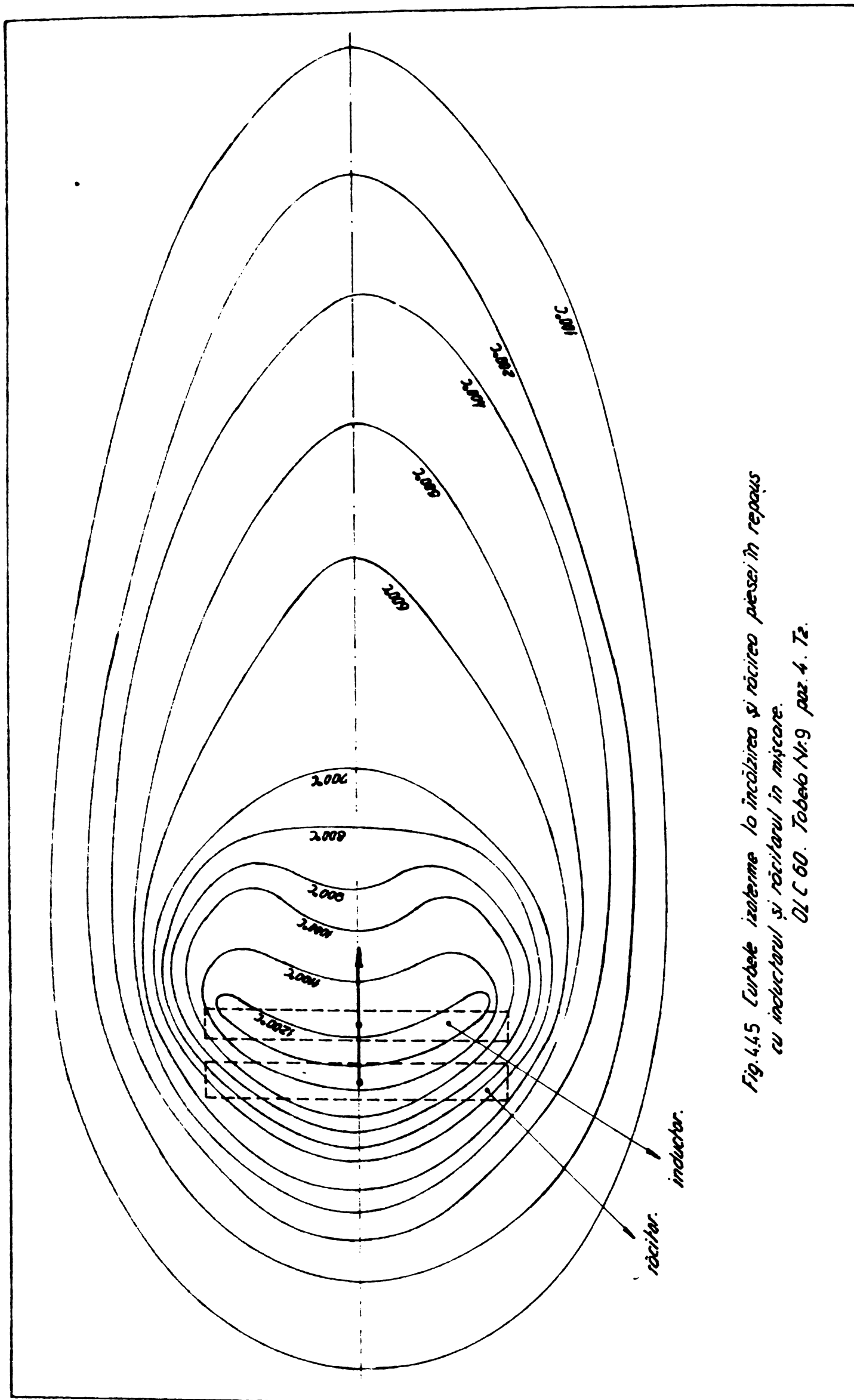


Fig.4.45 Curbele izoterme la încălzirea și răcirea piesei în repaus
cu inductorul și răcitorul în mișcare.
DLC 60. Tabel Nr.9 pag. 4. Tz.

pentru OLC 45 $V_{med} = 1,92 \cdot P_s^{1,65} \cdot V^{1,8} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ (4.48)

și OLC 60 $V_{med} = 11,38 \cdot P_s^{0,3} \cdot V^{1,18} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ (4.49)

Viteza de răcire a fost analizată din două puncte de vedere : funcție de debitul apei de răcire și funcție de viteza de înaintare a inductorului respectiv, a răcitorului.

In fig.4.48 și 4.49 sînt reprezentate curbele obținute pentru caracterizarea vitezelor de răcire a pieselor din OLC 45 și OLC 60 încălzite prin inducție.

Ne existînd condiții pentru realizarea unor debite de apă mai mari de 16 l/min. și nici pentru utilizarea prin recirculare a unor soluții ce posedă capacități de răcire mai mare decît apa, vitezele de răcire nu au depășit cca 50°C/s.

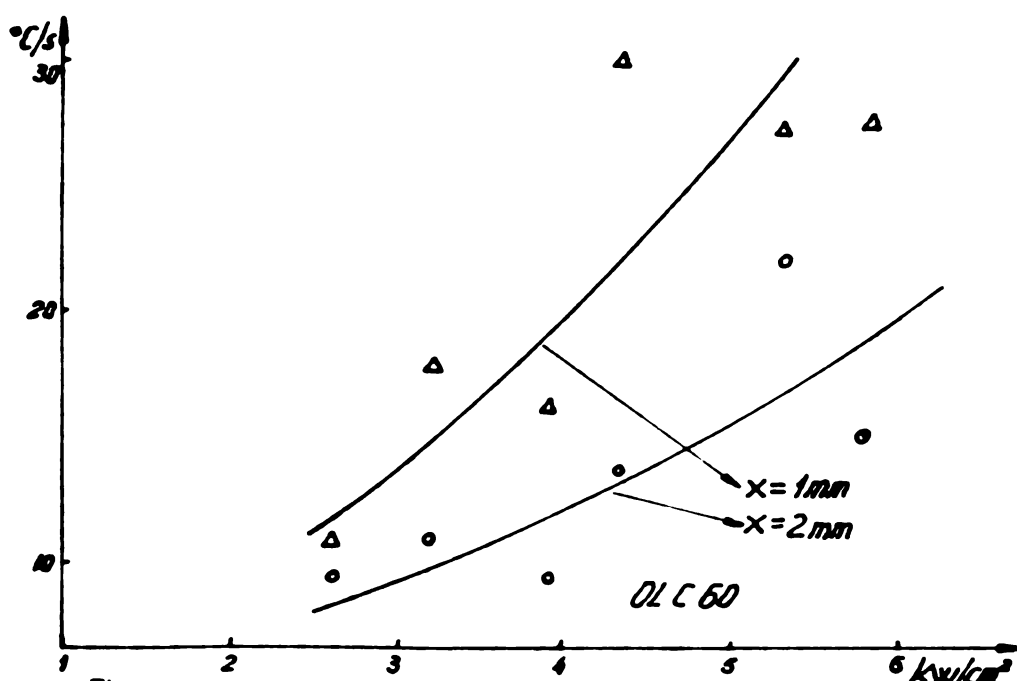


Fig.4.47 Viteza de încălzire prin inducție funcție de puterea specifică și profunzime. (tabelo Nr.9,10).

După alierea curbelor însă, se poate aprecia că viteza de răcire de cca 100°C/s ar putea fi obținute cu debite de cca 22 l/min. ceea ce în condiții normale se poate asigura din rețeaua orășenească.

Pornind de la premiza că curbele reprezentate sînt exponențiale, ca și în cazurile anterioare, ele pot fi exprimate de relații empirice deduse din datele furnizate de cercetare efectuată și cuprinse în tabelele Nr.8,9 și 10.

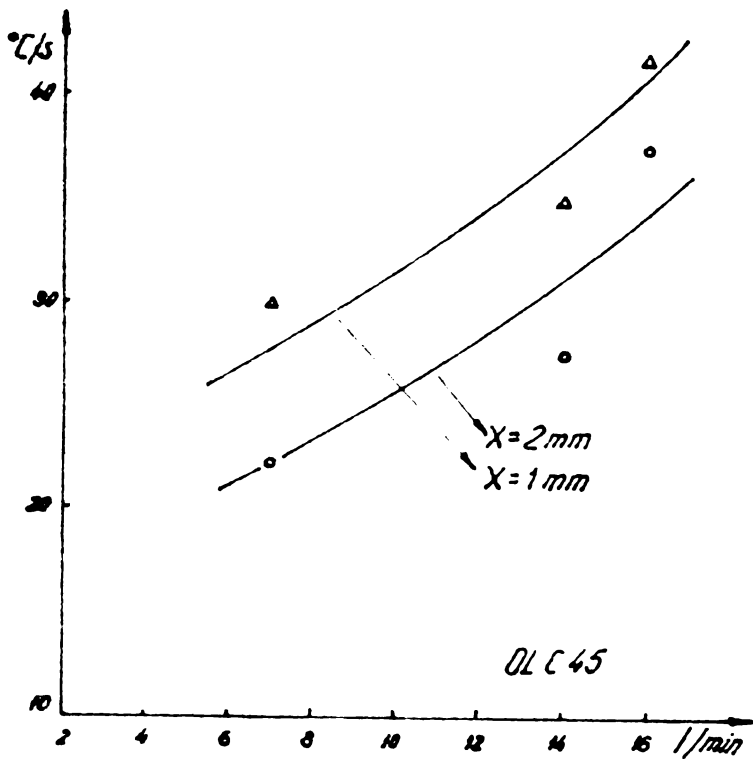


Fig. 4.48 Viteza de răcire funcție de debitul apei de răcire și profunzime. (din tabelo Nr.8)

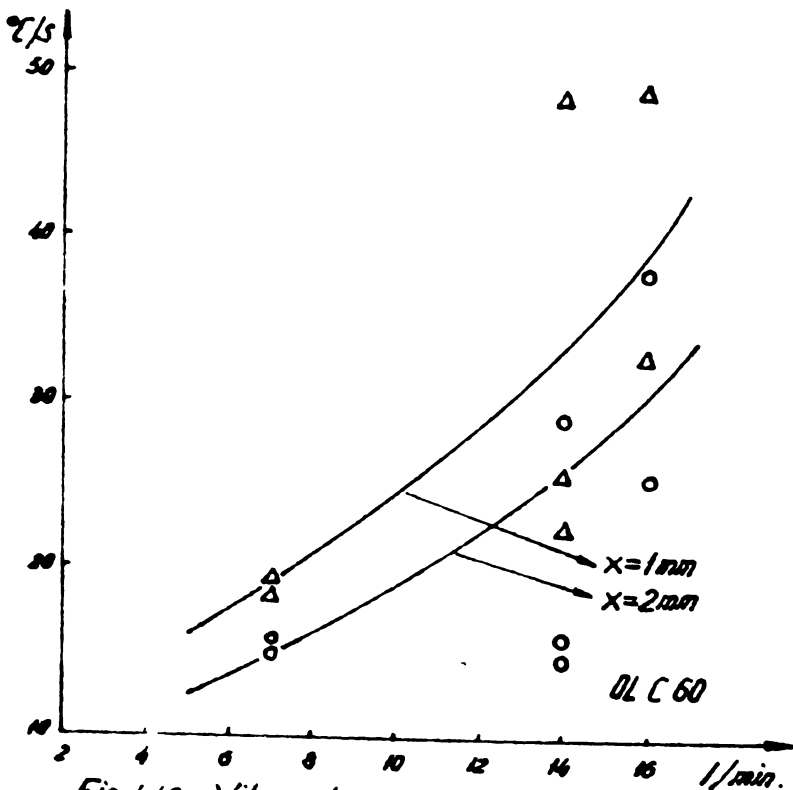


Fig. 4.49 Viteza de răcire funcție de debitul apei de răcire și profunzime. (tabelul Nr.9,10).

Expresia ce urmează să definească viteza de răcire a piesei funcție de debitul apei de răcire, viteza de deplasare a dispozitivului de răcire și profunzime, se apreciază că are forma generală:

$$V_r = K \cdot Q^x \cdot V^y \cdot S^{-z} \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

în care :

K - viteza unitară de răcire în $^\circ\text{C/s}$.

Q - debitul apei de răcire în l/min.

V - viteza de deplasare a dispozitivului de răcire în mm/s.

S - profunzimea în piesă, în mm.

Aceste expresii, pentru oțelurile cercetate prezintă forma :

pentru OLC 45 $V_r = 38 \cdot Q^{0,09} \cdot V^{0,76} \cdot S^{-0,45} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ (4.51)

și OLC 60 $V_r = 26,28 \cdot Q^{0,24} \cdot V^{0,3} \cdot S^{-0,94} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ (4.52)

În fig. 4.50 și 4.51 sînt reprezentate curbele ce reprezintă variația vitezei de răcire funcție de viteza de deplasare a răcitorului. Cu toată împrăștierea relativ mare a rezultatelor măsurătorilor efectuate, rezultă totuși incontestabil că viteza de răcire crește cu viteza de deplasare a inductorului, este

adevărat însă că într-o măsură mai redusă în comparație cu efectul pe care îl prezintă creșterea debitului apei de răcire.

Comparînd curbele de variație ale temperaturii prezentate în fig. 4.34 cu cazul în care încălzirea este însoțită de răcire, adică cu cele reprezentate în fig. 4.52 rezultă că diferența de temperatură atinsă pentru $P_s = 6 \text{ KW/cm}^2$ la

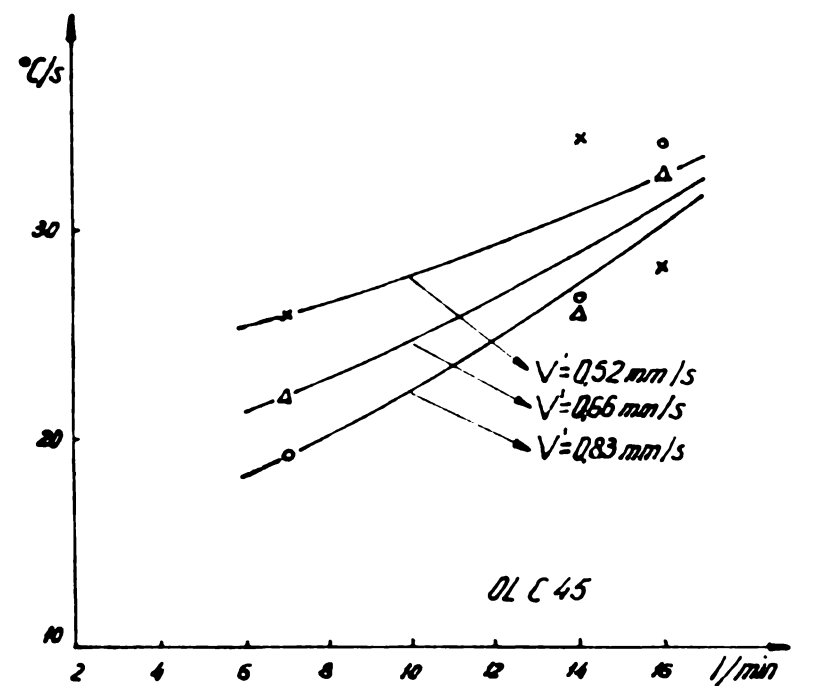


Fig. 4.50 Viteza de răcire funcție de debitul apei de răcire și viteza de deplasare a răcitorului. (din tabelul Nr.8)

OLC 60 este de la 1400° în primul caz, la 1150°C în al doilea, deci de cca 250°C .

La o putere specifică de 3 KW/cm^2 rezultă o diferență de temperatură de 300°C . Deci cu creșterea puterii specifice la debit de apă de răcire și viteză de deplasare inductor-răcitor constant, se poate afirma că se reduce diferența de temperatură a suprafeței piesei atunci cînd ele se află în cele două cazuri.

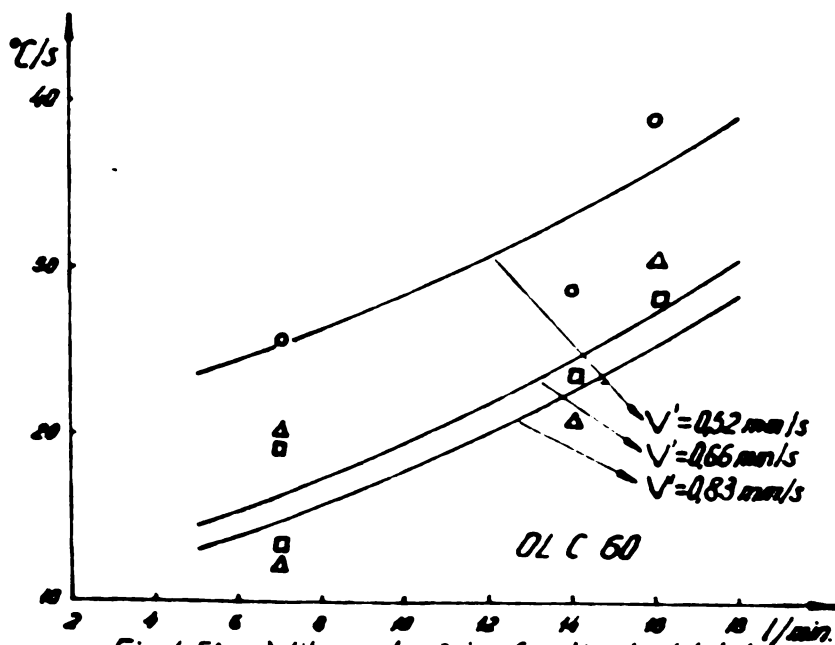


Fig. 4.51 Viteza de răcire funcție de debitul apei de răcire și viteza de deplasare a inductorului și răcitorului. (tabelul Nr.9,10).

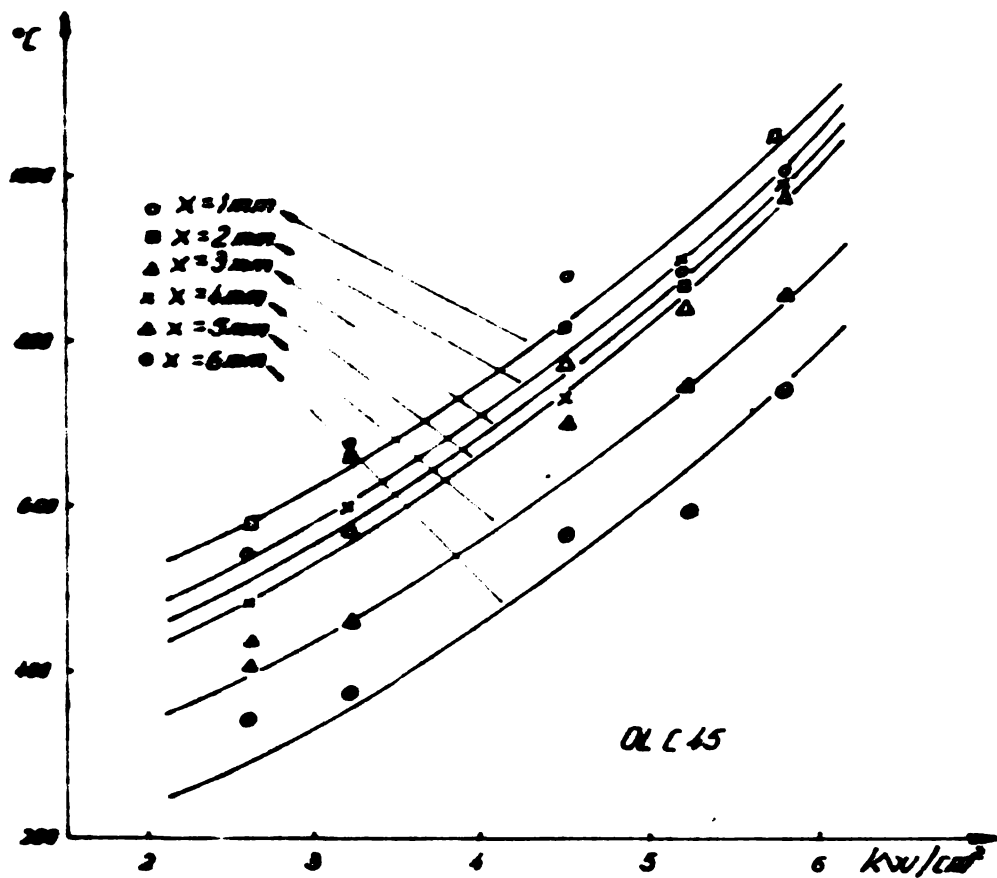


Fig. 4.52 Temperatura maximă funcție de puterea specifică și profunzime. (din tabelul Nr. 8).

In concluzia acestui subcapitol rezultă următoarele :

- dispozitivul de răcire cel mai eficient este cel ce prezintă o fațetă de amortizare a curgerii apei spre inductor și care injectează apa oblic la 45° față de suprafața piesei.
- printr-o dezvoltare a cunoașterii amănunțite ale deformării câmpului electromagnetic în prezența apei și fronturilor de material care se răcesc se va putea, probabil, să se obțină unele condiții de dirijare și concentrare ale câmpului mai avantajoase scopului.
- Crește durata încălzirii prin conducție și se reduce durata de încălzire prin inducție (prima este subordonată celei de a doua).
- Viteza de răcire dată de debite de 16 l/min poate să contribuie la apariția structurilor de călire la OLC 60.
- în cazul încălzire-răcire comparativ cu cazul încălzire (pentru OLC 60) rezultă o temperatură de 250...300°C mai mică la aceleași puteri specifice, viteze de deplasare a inductorului și la un debit al apei de răcire de 16 l/min

5. STUDIUL TEORETIC SI EXPERIMENTAL AL PROCESULUI DE NETEZIRE ELECTROMECHANICA A ARBORILOR.

Studierea posibilităților și condițiilor de netezire a suprafeței arborilor când stratul de suprafață este încălzit pînă la austenitizare și răcit pentru obținerea de transformări structurale caracteristice călirii, s-a efectuat cu utilizarea unei largi game de tipuri de scule și condiții. Au fost analizate o seamă de posibilități pentru obținerea unei netezimi de o rugozitate corespunzătoare, cum sînt : netezirea prin deformare plastică a suprafeței cu scule ce pot lucra prin rostogolire sau prin alunecare, netezirea prin deformare plastică și simultan desprindere de așchii și cel de al treilea caz, netezirea prin desprindere de așchii.

Calificarea modurilor de netezire a fost condiționată de condițiile inițiale stabilite pentru a fi atinse și anume:

- obținerea unei rugozități maxime $R_t < 10 \mu\text{m}$;
- obținerea unei rugozități medii $R_a < 0,8 \mu\text{m}$;
- păstrarea acestor condiții de rugozitate pe o lungime de arbore de cel puțin 500 mm cînd acesta are diametrul de 50 mm.

5.1. Studiul experimental al netezirii.

Studiul experimental al netezirii unei suprafețe calde a fost imaginat să fie realizat de către o gamă largă de scule care să deformeze plastic suprafața prin rostogolire (tip A), să deformeze plastic suprafața prin alunecare (tip B,C și E), să deformeze plastic și să desprindă (tip D) și scule care să netezească suprafața prin desprindere de așchii (tip F), toate prezentate în tabelul nr.1.

Toate determinările au fost realizate în condiții de încălzire-răcire, cu urmărirea temperaturii la suprafață cu ajutorul pirometrului cu absorbție totală.

O parte din datele experimentale ale acestui capitol sînt cuprinse în tabelele nr.11 și 12.

A. Netezirea prin deformare plastică a suprafeței cu ajutorul unei bile ce se rostogolește pe piesă a fost realizată cu o sculă ce a fost prezentată în fig. 3.3 și cărui mod de lu-

cru este prezentat în fig.5.1. Au fost utilizate trei mărimi de bile de $\varnothing 7,14$ mm; $\varnothing 9$ mm și $\varnothing 11,5$ mm: care au lucrat cu avansurile de 0,05 mm/rot, 0,01 mm/rot și 0,2 mm/rot, la o turație a piesei de 160 rot/min și adâncimi ce au fost cuprinse între 0,05 ...0,4 mm.

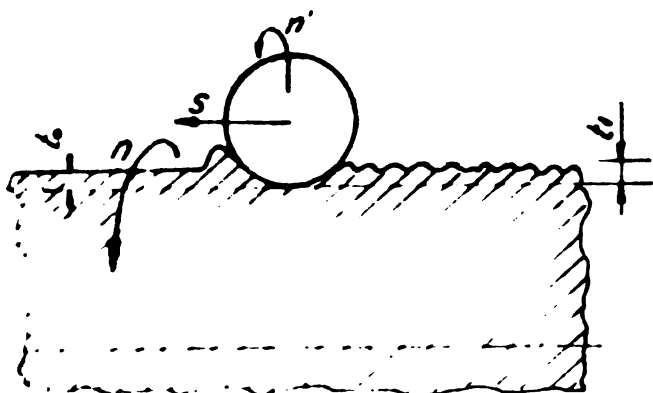


Fig 5.1 Netezirea cu bilă

mărim la valoarea de $2,1 \mu\text{m}$. Temperatura de lucru a bilei a atins cel mult 470° . Suprafețele netezite prin rulare pot fi socotite necorespunzătoare și datorită existenței pe ele a unui strat de oxizi formați în timpul netezirii.

Explicînd cauzele ce determină obținerea unei rugozități ridicate la netezirea prin rostogolire cu bilă (concluzii ce sînt valabile și pentru role) a unui material de plasticitate ridicată, se constată următoarele :

- Ca urmare a pătrunderii bilei pînă la adîncimea de lucru t_0 (fig.5.1), față de mișcarea de rostogolire a bilei pe circumferința piesei, materialul dislocat se va plasa în fața bilei și în părțile sale laterale.

- Mișcarea de avans efectuată de bilă de-a lungul generatoarei cilindrului va determina înșirarea materialului dislocat după o spirală.

- Dacă se are în vedere și faptul că bila în toate cazurile în care lucrează în zona caldă, materialul deformat se află într-o zonă termică mai favorabilă decît părțile laterale, ceea ce va accentua obținerea unei suprafețe rugoase.

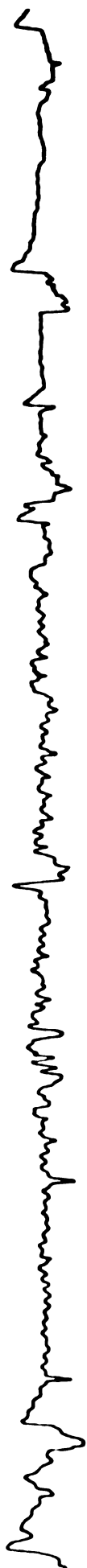
- De asemenea stratul de oxizi ce se formează este imprimat în suprafața netezită contribuind la creșterea asperităților suprafeței.

Analizîndu-se profilograma ridicată de pe o asemenea suprafață netezită prin rular la cald reprezintă în fig.5.2a se

Temperatura zonei celei mai calde a fost de 1150°C .

Netezirea suprafeței a fost efectuată atît în zona cea mai caldă cît și în zonele alăturate mai reci.

Rezultatele obținute s-au situat peste condițiile inițiale stabilite : R_t minim obținut a fost de $12 \mu\text{m}$ iar R_a



Sculö tip F

$\alpha = 5^\circ, \gamma = 7^\circ$
 $n = 160 \text{ rot/min}, S = 0.1 \text{ mm/rot}$
 $t = 0.1 \text{ mm}; P_s = 5 \text{ kw/cm}^2$

$R_t = 6.8 \mu\text{m}; R_o = 16 \mu\text{m}$



Sculö tip A

$d = 9 \text{ mm}$
 $n = 160 \text{ rot/min}; S = 0.1 \text{ mm/rot}$
 $t = 0.1 \text{ mm}; P_s = 5 \text{ kw/cm}^2$

$R_t = 12.3 \mu\text{m}; R_o = 4.3 \mu\text{m}$

FIG. 5.2a.

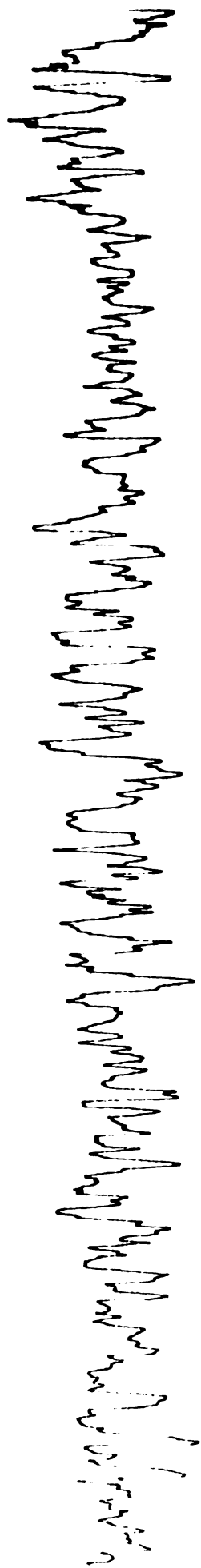


Sculö tip E

$h = 3 \text{ mm}$
 $n = 160 \text{ rot/min}, S = 0.1 \text{ mm/rot}$
 $t = 0.1 \text{ mm}; P_s = 5 \text{ kw/cm}^2$

$R_t = 4.5 \mu\text{m}; R_o = 1.3 \mu\text{m}$

FIG.5.2b



0.074

$R_t = 15,5 \mu m$ $R_o = 4,5 \mu m$



0.075

$R_t = 23 \mu m$ $R_o = 5,8 \mu m$



0.076

$R_t = 24,3 \mu m$ $R_o = 7 \mu m$

Profilograme ale suprafețelor prelucrate prin strunjire cu sculă armată cu carbură metalică cu $\alpha = 7^\circ$, $f = 0$ și $S = 0,05 \text{ mm/rot}$, $t = 0,2 \text{ mm}$, $V = 25,1 \text{ m/min}$



FIG.5.2c



$R_t = 3 \mu m$; $R_o = 0.25 \mu m$

Sculo tip F_2

$\alpha = 5^\circ$; $\beta = 7^\circ$; $L_m = 2 mm$
 $n = 160 \text{ rot/min}$; $S = 0.315 \text{ mm/rot}$
 $t = 0.1 mm$; $P_3 = 5 \text{ kw/cm}^2$

$R_t = 55 \mu m$; $R_o = 0.35 \mu m$

Sculo tip F_2

$\alpha = 5^\circ$; $\beta = 10^\circ$; $L_m = 2 mm$
 $n = 160 \text{ rot/min}$; $S = 0.315 \text{ mm/rot}$
 $t = 0.1 mm$; $P_3 = 5 \text{ kw/cm}^2$

$R_t = 25 \mu m$; $R_o = 0.23 \mu m$

Sculo tip F_2

$\alpha = 0^\circ$; $\beta = 0^\circ$; $L_m = 2 mm$
 $n = 160 \text{ rot/min}$; $S = 0.315 \text{ mm/rot}$
 $t = 0.1 mm$; $P_3 = 5 \text{ kw/cm}^2$

FIG.5.2d

2.07.1

$Rt = 2 \mu m$ $Ro = 0.4 \mu m$

2.07.2

$Rt = 22 \mu m$ $Ro = 0.4 \mu m$

2.07.3

$Rt = 2.2 \mu m$ $Ro = 0.6 \mu m$

*Evoluția profilului rugozității de-a lungul unei bare prelucrate pe 480 mm
cutit armat cu CB de tip F3 cu $\alpha = 0$, $\mu = 0$, $S = 0.05 \text{ mm/rot}$, $t = 0.05 \text{ mm}$, $V = 49.4 \text{ m/min}$ la o
temperatură $T = 870^\circ C$*

se constată că nu prezintă diferențe prea mari față de o suprafață obținută mai îngrijit prin strunjire a cărei profilogramă se află prezentată în fig. 5.2b

Datorită unor asemenea constatări practice efectuate, varianta de netezire prin deformare plastică a suprafeței calde de către o sculă de lucrează prin rostogolire, a fost catalogată drept necorespunzătoare scopului urmărit.

B. Netezirea prin deformare plastică a suprafeței cu scule ce lucrează prin alunecare a fost concepută să fie realizată cu scule de trei tipuri de geometrii :

Sculă de tip B tabela Nr.1, derivat dintr-un cuțit de strunjire a cărui geometrie în plan vertical este definită

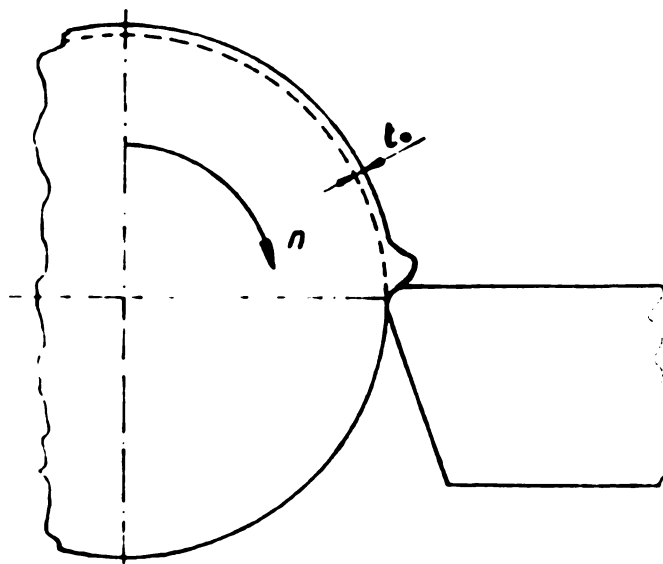


Fig.5.3 Deformarea de suprafață prin alunecare cu o sculă de tip B.

de o suprafață de alunecare ce face cu tangenta în punctul de contact cu piesa un unghi $\alpha = 0 \dots 10^\circ$, o suprafață normală la tangenta în punctul de contact și o suprafață de racordare a celor două de rază $R_v = 1; 5$ și 10 mm. În plan orizontal, suprafața de lucru a sculelor a fost realizată de formă semicirculară după o rază

$R_h = 5$ mm.

Cea de a doua sculă utilizată pentru a netezii prin alunecare a fost cea de tip E. Aceasta este caracterizată de existența unei suprafețe plane care în lucru este tangentă la suprafața cilindrului.

Suprafețe de lucru a sculelor au fost prelucrate cu piatră diamentată și apoi lustruite cu hîrtie abrazivă diamentată.

În principiu, modul de lucru a acestor tipuri de scule este redat în fig. 5.3. și au fost utilizate aceleași regimuri ca și pentru cazul precedent.

Din determinările efectuate a rezultat că atît timp cît suprafața de lucru a sculelor a prezentat netezimea obținu-

tă prin polizare și lustruire, aceasta doar pe o lungime de 50...70 mm a piesei de $\phi 50$ mm, gradul de netezire al suprafeței este ridicat. Rugozitatea măsurată s-a încadrat în $R_a = 0,8 \dots 5,4 \mu\text{m}$ și $R_t = 6 \dots 24 \mu\text{m}$. Profilograme ale unor asemenea suprafețe prelucrate prin alunecare sînt prezentate în fig. 5.2a (Lungimea profilogramelor prezentate corespund la 8,69 mm pe suprafața piesei, sînt luate la intervale de cca 50 mm, iar scările utilizate pentru amplitudinea semnalului sînt : 1 mm în amplitudine = $1 \mu\text{m}$ pentru măsurătorile făcute asupra lui R_t și 1 mm semnal = $0,33 \mu\text{m}$ pentru R_a).

După lungimea de cca 60 mm prelucrată astfel, rugozitatea suprafeței se înrăutățește brusc ajungînd să fie mai mare decît cea prelucrării anterioare.

Neobținerea unei rugozități corespunzătoare pe lungimi mai mari de arbore, se datorește apariției unei fațete de contact care din momentul în care a depășit lățimea de 0,2...0,4 mm devine rugoasă, că și în fig. 5.4 și determină apariția depunerilor aderente.

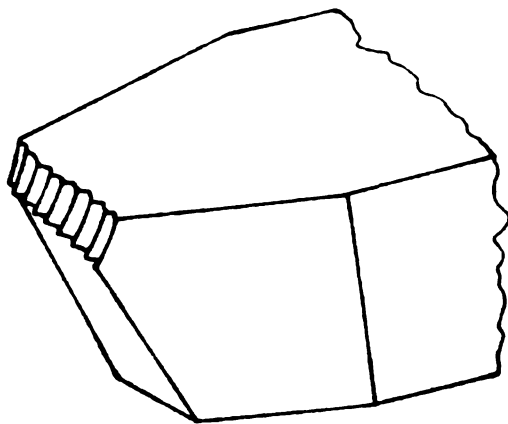


Fig. 5.4 Modul de uzare a sculelor de tip B și C.

Uzura prematură a suprafețelor de lucru a sculelor se datorește stratului de oxizi ce se formează și care prezintă un puternic caracter de abraziv.

Analizîndu-se la microscopul metalografic o suprafață astfel uzată, se confirmă afirmația făcută deoarece s-a constatat că componentul mai puțin dur al plăcuței din carburi metalice a fost de-a dreptul spălat de acțiunea abrazivă a su-

prafetei oxidate iar grăunții de componenți duri sînt ruși din masa plăcuței.

Aceste rezultate obținute au constituit motive suficiente pentru neacceptarea unei asemenea variante de netezire.

C. Analizarea modului în care ar putea avea loc netezirea cu ajutorul unor scule care prelucrează suprafața prin desprindere de așchii și deformare plastică, a fost efec-

tuată pe marginea unei scule de tip C și D tabela Nr.1.

Scula de tip C a fost concepută să desprindă așchii pe adâncimi mici pentru a îndepărta stratul de oxizi de la suprafață și apoi prin intermediul unei fațete de lățime h_v să se producă netezirea suprafeței.

Scula de tip D a primit o astfel de geometrie încît parte din segmentul de contact al sculei de-a lungul generatoarei piesei să se constituie drept muchie așchietoare și cea de a doua parte a aceluiași segment, să fie dat de o suprafață curbă pentru a produce deformarea prin alunecare :

Cu toate aceste complicații în ce privește execuția unei asemenea geometrii pentru sculă, au dovedit un comportament similar cu tipurile anterioare. A crescut doar cu circa 30...40 mm lungimea pe piesă a suprafeței ce prezenta o rugozitate acceptabilă.

Aceste rezultate au condus la abandonarea și a acestui mod prin care s-a prezumat să se efectueze netezirea.

D. Prelucrarea materialelor prin așchiere cu preîncălzirea stratului de suprafață nu constituie o noutate. Literatura abordată în acest sens remarcă utilizarea unui asemenea procedeu de prelucrare ca înlocuitor al procedeelor obișnuite de prelucrare prin desprindere de așchii la prelucrarea unor materiale de duritate ridicată și nu ca un mod prin care să se obțină rugozități comparabile cu rectificarea, cu atît mai mult cu rectificarea fină. În ce privește gradul de netezire obținut, se remarcă atingerea unor rugozități medii $R_a = 2,5...12 \mu m$ ceea ce se poate spune că situează procedeul în concordanță cu strunjirea de finisare [9], [11], [17].

Din determinările experimentale de tatonare efectuate a rezultat însă că numai un asemenea mod de prelucrare, prin desprindere de așchii, ar putea prezenta interes la netezirea unei suprafețe. Astfel, cercetarea acestui mod de prelucrare a fost efectuată pentru obținerea unor condiții optime din mai multe puncte de vedere și anume: stabilirea celei mai adecvate geometrii, determinarea zonei termice cea mai avantajoasă, uzură minimă a sculelor și rugozitate cît mai redusă.

Datele experimentale obținute la cercetarea aspectelor menționate sînt redată în tabelule Nr.11 și 12.

De obicei, rezolvarea problemelor care apar la așchie-

ere se face în primul rând prin alegerea oportună de valori pentru viteza de aşchiere, pentru avans şi adâncimea de aşchiere. De multe ori este suficient să se aleagă o altă sculă sau aliaj pentru armarea sculei pentru ca prelucrarea să se desfăşoare în condiţii bune. Dacă aceste două moduri nu rezolvă un caz real, nu rămîne decît modificarea geometriei tăişului sculei.

În analizarea comportamentului celor trei subtipuri de scule utilizate F_1 , F_2 şi F_3 tabela Nr.1 s-a procedat într-un mod asemănător. Au fost analizate cele trei variante de bază din punctul de vedere al comportamentului lor în prelucrare la unghiuri de aşzare cuprinse între 0° şi 10° şi la unghiuri de degajare cuprinse între -10° şi $+10^\circ$, în timp ce au fost utilizate 5 tipuri de carburi metalice, corindon şi un tip de carbură ceramică. Dacă se are în vedere principiul de bază enunţat în prima parte, de a se efectua o analiză cel puţin în trei puncte, rezultă că, pentru determinarea tipului, geometriei şi materialului celui mai corespunzător de armare, au fost utilizate 189 variante de scule.

La strunjirea clasică, cea mai puternică influenţă asupra procesului de aşchiere o are unghiul de degajare. Determină condiţiile de desprindere a aşchiei şi de scurgere ale acesteia, viteza de aşchiere, formarea depunerilor aderente şi dezvoltarea de căldură.

În urma analizei efectuate asupra acestui unghi au fost constatate unele abateri de la proprietăţile ce le prezintă la prelucrarea clasică prin aşchiere.

A fost de aşteptat ca la prelucrarea unui material cu plasticitate mai ridicată, cu creşterea unghiului de degajare să se îmbunătăţească condiţiile de desprindere a aşchiei şi care să se reflecte în obţinerea unei suprafeţe mai puţin rugoase. Observaţiile şi măsurătorile efectuate în timpul cercetării asupra condiţiilor desprinderii la cald a aşchiilor, contrazic din cele mai multe puncte de vedere proprietăţile cunoscute ale acestui unghi. Aceste observaţii sînt :

- cu creşterea unghiului de degajare se îmbunătăţesc scurgerea aşchiei dar nu şi desprinderea acesteia din punctul de vedere al scopului urmărit (rugozitatea se înrăutăţeşte).
- cu creşterea unghiului de degajare se reduce rezistenţa termică a muchiei aşchiitoare, uzîndu-se prematur.
- de asemenea creşterea acestui unghi influenţează

formarea depunerilor aderente dinspre zone mai profunde ale feței de degajare spre muchia așchietoare.

- cu creșterea negativă a unghiului γ , rugozitatea se înrăutățește considerabil ca urmare a formării depunerilor aderente.

- la un unghi $\gamma = 0^\circ$ contractul între așchie și suprafața de degajare se face pe o zonă foarte îngustă în apropierea muchiei așchietoare și se degajă sub un unghi de cca 45° față de suprafața de degajare. Rugozitatea suprafeței este mică.

Cauza care determină încălzirea puternică a muchiei așchietoare se apreciază că se datorește creșterii încastrării muchiei în materialul cald. Suprafața de contact mărindu-se, se îmbunătățește schimbul de căldură între piesă și sculă dar și între așchie și sculă, reducându-se astfel rezistența la uzură a muchiei.

Așa cum se cunoaște, unghiul de așezare influențează durabilitatea și stabilitatea așchierii iar în anumite condiții, influențează hotărâtor calitatea suprafeței și precizia prelucrării.

În urma măsurătorilor și analizei efectuate asupra comportamentului unghiului de așezare α la prelucrarea oțelurilor OLC 45 și OLC 60, a rezultat că cel mai avantajos unghi este de 1° cel mult 2° . Un asemenea unghi oferă cea mai ridicată rezistență la uzură și o rugozitate minimă suprafeței.

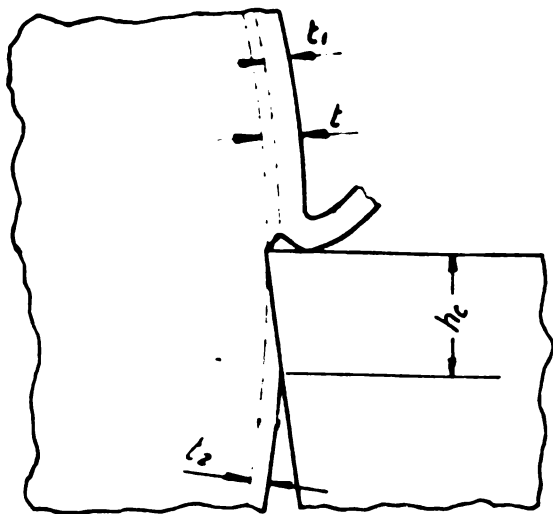


Fig 5.5 Desprinderea așchiei și deformarea suprafeței sub muchia tăietoare

Asemenea geometrie de lucru pentru sculă determină ca contactul între acesta și piesă să se efectueze pe o suprafață mai mare și în consecință o solicitare termică mai ridicată a sculei. (În acest caz nu este vorba de căldura ce se degajă datorită desprinderii așchiei ci de cea transmisă de suprafața caldă prin radiație și mai ales conducție).

În aceste condiții zona de lucru a sculei ajunge la temperaturi relativ ridicate, $880 \dots 1070^\circ\text{C}$, pentru cazul când lucrează într-un domeniu de temperaturi de $960 \dots 1150^\circ\text{C}$. O asemenea condiție necesară de

de satisfăcut, a eliminat treptat din competiție sculele armate cu carburi metalice.

Observațiile și măsurătorile efectuate asupra modului în care are loc desprinderea așchiilor la netezire sînt următoarele :

- la strunjirea clasică raportul între F_y și F_z este de 0,35...0,50, în cazul netezirii 0,85...0,97 ;

- la unghiuri α mai mici sau mai mari de cca $1...2^\circ$ rugozitatea suprafeței se înrăutățește ;

- pe suprafața de așezare pe o înălțime de la muchia tăietoare de 0,2...0,4 mm rămîn urme care dovedesc existența unui contact în timpul prelucrării între suprafața așchiată și cea de așezare ;

- adîncimea optimă de prelucrare pentru $\alpha = 1...2^\circ$ este de $t = 0,05...0,15$ mm.

Analizîndu-se schemă imaginată în fig. 5.5 pentru explicarea observațiilor și măsurătorilor efectuate asupra modului în care are loc netezirea, rezultă următoarele :

- desprinderea așchiei nu se face la profunzimea t la care se află muchia tăietoare ci la $t - t_1$;

- ca urmare a mișcării de rotație secțiunea t_2 de material este refulat de vârful cuțitului și trecut după acesta;

- în zona h_c , materialul deformat se destinde elastic și pe o înălțime h_c are un contact de alunecare pe fața de așezare a sculei.

- sub acțiunea tensiunilor de destindere elastică a materialului asperităților apărute la desprinderea așchiilor sînt deformată ceea ce face ca rugozitatea să poată ajunge chiar pînă la $R_t = 2\mu m$ și la $R_a = 0,3\mu m$. Profilogramele sînt prezentate în fig. 5.2c.

În concluzie rezultă că netezirea electromecanică poate fi caracterizat drept un proces de așchiere-deformare plastică și care se încadrează din punctul de vedere al netezirii suprafeței echivalent cu rectificarea fină. Rezultă de asemenea, că factorul primordial în obținerea unei suprafețe netede îl are unghiul de așezare .

5.2. Temperatura optimă de aplicare a netezirii electromecanice.

Stabilirea temperaturii optime de aplicare a nete-

zirii trebuie să aibe în vedere un număr relativ ridicat de factori care participă și determină acest proces. Deoarece transformările structurale care au loc în urma răcirii se desfășoară

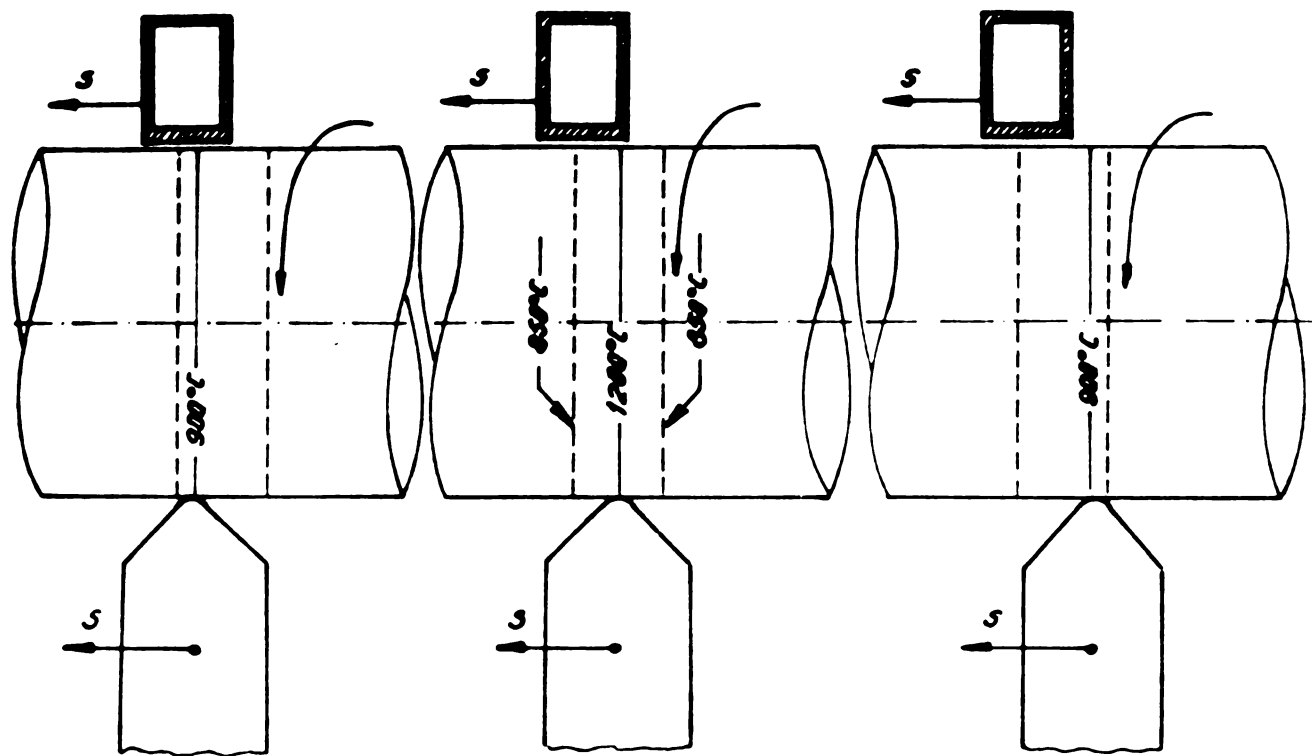


Fig. 5.6 Pozițiile sculei față de zona încălzită în timpul prelucrării.

în mare, independent de netezire, principalii factori care se impun la stabilirea zonei de temperatură cea mai adecvată sînt rugozitatea suprafeței prelucrate și stratul de oxizi ce se formează pe suprafața netezită.

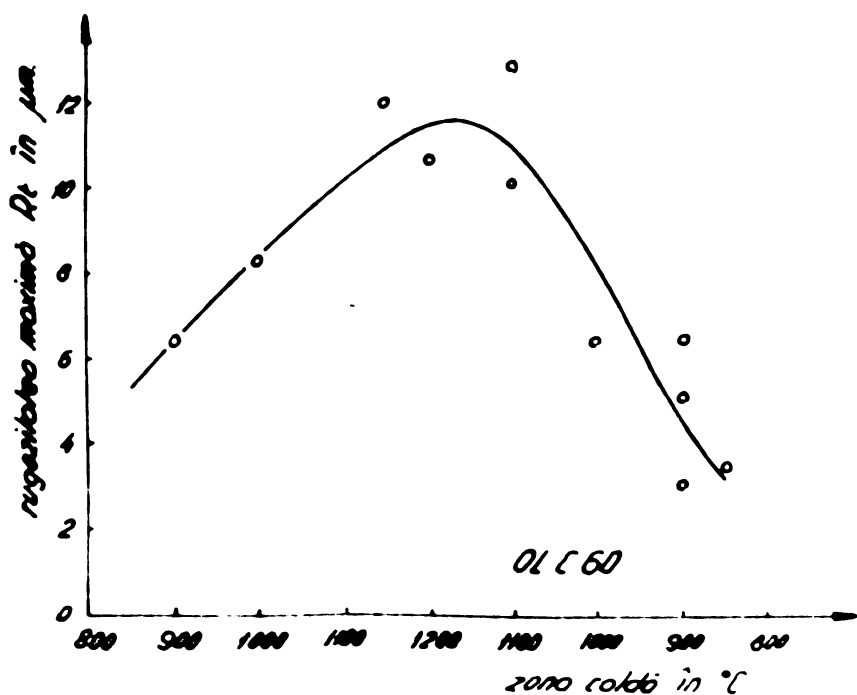


Fig. 5.7 Variația rugozității suprafeței funcție de temperatura locului desprinderii aşchierii.

Stabilirea acestei poziții optime de lucru a sculei s-a efectuat așa cum rezultă din fig. 5.6.

Au fost efectuate măsurători și determinări asupra rugozității și stratului de oxizi obținut în urma prelucrării probelor în zone mai reci sau mai calde, de o parte și a temperaturii maxime de altă.

Măsurătorile asupra rugozității suprafețelor prelucrate în condițiile arătate sînt reprezentate în fig.5.7. prin curba trasată.

Din curba trasată rezultă că R_t minim se obține spre marginile zonei calde, atît de o parte cît și de alta a temperaturii maxime. Explicația unui asemenea comportament nu poate fi decît aceea că plasticitatea cea mai favorabilă pe care o prezintă materialul pentru geometria stabilită pentru sculă este de cca 900°C . Atunci însă, cînd prelucrarea se face într-o zonă aflată în fața temperaturii maxime stratul de oxizi este relativ gros ceea ce se poate constata și vizual. Pe măsură ce procesul de desprindere a așchii este mutat în urma zonei mai calde, stratul de oxizi se reduce simțitor, așa cum rezultă de altfel din fig. 5.8. unde se prezintă o asemenea variație.

Deoarece de la $900^{\circ}\text{C} \dots 850^{\circ}\text{C}$ în jos, condițiile de așchiere și apoi rugozitatea se înrăutățește, se apreciază că la prelucrarea de netezire electromecanică a arborilor din OLC 45 și OLC 60, cele mai favorabile condiții le prezintă la cca 900°C în urma zonei de cea mai ridicată temperatură.

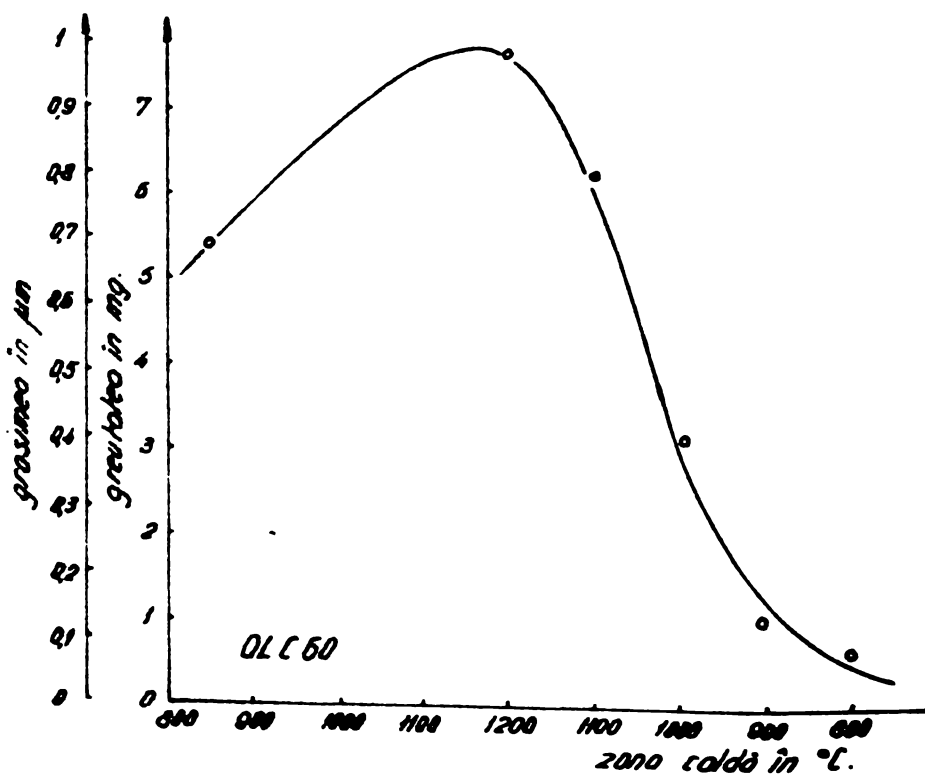


Fig.5.8 Variația grosimii stratului de oxizi format pe piesă funcție de locul în zona caldă unde are loc prelucrarea.

5.3. Ecuatiile componentelor forței de așchiere
la netezirea electromecanică a arborilor
din OLC 45 și OLC 60.

Piesele utilizate la netezirea electromecanică au fost de $\varnothing 50 \times 500$ mm și tronsonate fiecare în 3 părți egale. Avansurile utilizate la cercetare au fost : $S = 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,315$ și $0,4$ mm/rot. iar adâncimile de lucru : $t = 0,05 \dots 0,15$ mm. Măsurătorile asupra componentelor forței la netezire s-au efectuat cu dispozitivul tensiometric prezentat în 3.2. și cu instalația prezentată în 3.3.

Valorile componentelor forței de așchiere măsurate pentru OLC 45 și OLC 60 sînt date în tabelul Nr.13. Aceste valori au fost obținute prin măsurarea tensiometrică a deformației specifice, înregistrarea automată pe bandă și cu utilizarea curbelor de etalonare prezentate în 3.3.

Deoarece factorii care participă la dimensionarea forței de așchiere prezintă o variație exponențială, formele cele mai des utilizate pentru componentele forței de așchiere sînt :

$$\begin{aligned} F_x &= C_x \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_x \\ F_y &= C_y \cdot t^{x_2} \cdot S^{y_2} \cdot V^{n_2} \cdot K_y \\ F_z &= C_z \cdot t^{x_3} \cdot S^{y_3} \cdot V^{n_3} \cdot K_z \end{aligned} \quad (5.1)$$

în care : - C_x , C_y și C_z reprezintă forțele specifice

- indicii x , y și n pe cele trei direcții reprezintă influența adâncimii de prelucrare, a avansului și vitezei de așchiere asupra celor trei componente ale forței de așchiere.
- K_x , K_y și K_z sînt coeficienți de corecție care țin seama fiecare în parte de calitatea materialului prelucrat, geometria sculei, de lichidele de răcire ungere utilizare, calitatea sculei etc.

Deoarece determinarea valorii componentelor forței de așchiere s-a efectuat în condiții de geometrie a sculei bine definite, pentru două calități de materiale de prelucrat și cu utilizarea de carbură ceramică, se renunță la coeficienții de corecție K_x , K_y și K_z .

Expresiile care definesc variația componentelor forței de aşchiere funcție de parametrii procesului de netezire electromecanică avînd o formă exponențială și deoarece în coordonate logaritmice acestea devin lineare, determinarea ecuațiilor se face pornind de la ecuația unei drepte :

$$y = ax + b \quad (5.2)$$

cunoscînd formă generală $F = C \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n$ (5.3)

pentru t și V constanți rezultă expresia

$$F = S^y$$

logaritmînd se obține :

$\log F = y \cdot \log S$ similară cu ecuația (5.2).

Intrucît

$$y = \operatorname{tg} \alpha_c$$

rezultă că

$$y = \frac{\log F_2 - \log F_1}{\log S_2 - \log S_1} \quad (5.4)$$

în mod asemănător se stabilesc și exponenții

$$x = \frac{\log F_2 - \log F_1}{\log t_2 - \log t_1} \quad (5.5)$$

$$n = \frac{\log F_2 - \log F_1}{\log V_2 - \log V_1} \quad (5.6)$$

Cunoscînd exponenții din ecuația generală (5.3) se poate determina C din :

$$C = \frac{F}{t^x \cdot S^y \cdot V^n} \quad (5.7)$$

care constantă reprezintă forța unitară.

Utilizînd valorile măsurate ale componentelor forței la netezire și parametrii regimului în relațiile anterior stabilite, se obțin ecuațiile componentelor pe cele trei direcții:

pentru OLC 45

$$F_x = 2 \cdot t^{0,23} \cdot S^{0,21} \cdot V^{0,01} \quad (5.8)$$

$$F_y = 24,8 \cdot t^{0,92} \cdot S^{0,27} \cdot V^{0,01}$$

$$F_z = 13 \cdot t^{0,53} \cdot S^{0,23} \cdot V^{0,01}$$

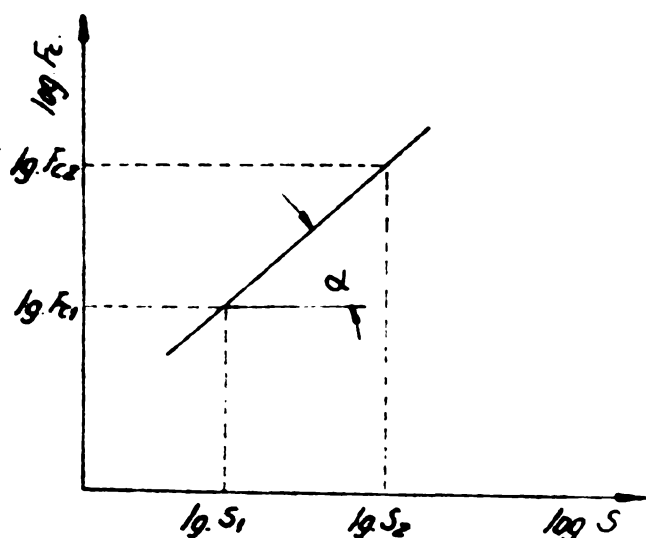


Fig. 5.9 *Reprezentarea grafică a variației forței la aşchiere în coordonate logaritmice.*

și

iar pentru OLC 60 sînt următoarele :

$$F_x = 19,8 \cdot t^{1,24} \cdot S^{0,23} \cdot V^{0,016} \quad (5.9)$$

$$F_y = 12,5 \cdot t^{0,91} \cdot S^{0,27} \cdot V^{0,33}$$

$$F_z = 47,2 \cdot t^{1,009} \cdot S^{0,28} \cdot V^{0,011}$$

În ce privește puterea utilizată la netezirea electromecanică, s-a constatat că este deosebit de mică comparativ cu puterea instalată. Aceasta a fost cuprinsă între 1 W și 100 W, creînd dificultăți la măsurarea cu aparatele existente în dotare.

5.4. Considerații asupra determinării pe cale teoretică a forței la netezirea electromecanică.

Începînd cu Taylor au fost utilizate destul de multe forme empirice și teoretice de calcul al forței la așchiere. Una din aceste forme bazată pe măsurători practice asupra componentelor forței la netezire a fost aplicat în subcapitolul anterior (5.3).

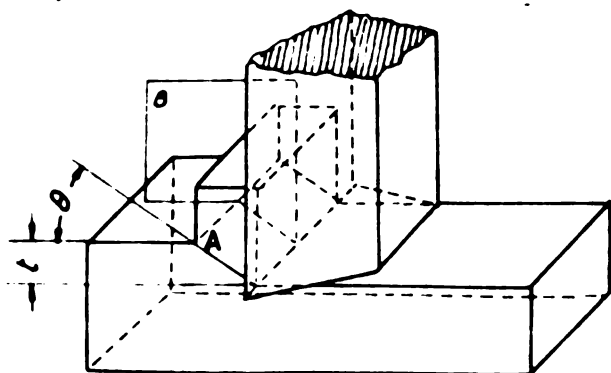


Fig 5.10 Parametrii geometrii ai rădăcinii așchii.

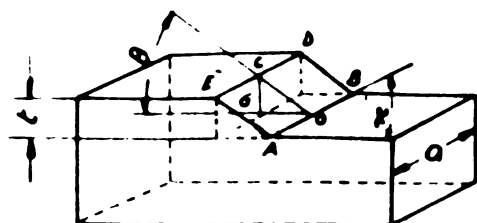


Fig 5.11 Reprezentarea planului de forfecare

La așchiere a unui oțel cu o compoziție și structură dată, modificările de formă ale rădăcinii așchii pot fi considerate stabile numai în domeniul curgerii așchii.

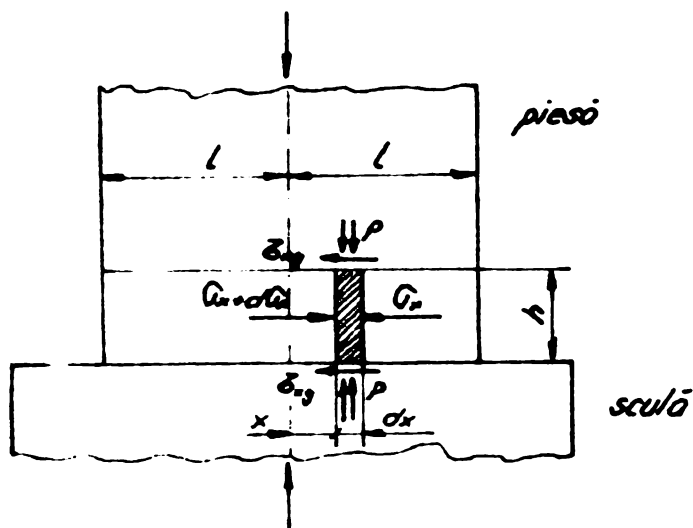
Pentru determinarea modificărilor de formă ale rădăcinii așchii se folosesc următoarele notații stabilite pe baza fig. 5.10 :

- planul de forfecare "A" în care se găsește tăișul principal al sculei și în care are loc desprinderea așchii ;

- planul B este planul care se află normal pe planul A im-

părțind în două lățimea așchii după segmentul C care face un unghi de forfecare θ cu planul de așchiere.

Grosimea așchii însă nu este constantă așa cum rezultă din fig.5.10, este maximă la mijlocul lățimii și minimă la margini, datorită variației într-un mod similar a presiunii exercitate de sculă asupra materialului.



Variația grosimii așchii poate fi considerată funcție de variația presiunii după cum urmează.

În fig.5.12 sînt reprezentate tensiunile ce acționează asupra elementului de volum $dV = dx \cdot h \cdot l$ cînd deformația este considerată plană.

Scriind ecuațiile de echilibru rezultă :

Fig.5.12 Tensiunile într-un element de volum supus deformării plastice.

$$(\sigma_x + d\sigma_x) \cdot h - \sigma_x \cdot h - 2\tau_{xy} \cdot dx = 0, \text{ rezultă :}$$

$$d\sigma_x \cdot h - 2\tau_{xy} \cdot dx = 0 \quad (5.10)$$

Conform teoriei lucrului mecanic de deformare pentru schimbarea formei cînd deformarea este plană, rezultă ecuația :

$$\sigma_x - \sigma_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_c = \sigma'_c$$

dar

$$\sigma_y = p$$

ceea ce înseamnă că :

$$\sigma_x + p = \sigma'_c = \text{constant.} \quad (5.11)$$

diferențiind ecuația (5.11) rezultă că

$$d\sigma_x = - dp. \quad (5.12)$$

Dacă se are în vedere faptul că tensiunea tangențială poate fi exprimată funcție de presiune aplicînd legea lui Coulomb, adică $\tau_{xy} = f \cdot p$, : ecuația (5.10) devine :

$$dp + \frac{2 \cdot f \cdot p}{h} dx = 0$$

sau

$$\frac{dp}{p} + \frac{2f}{h} dx = 0 \quad (5.13)$$

Integrînd ambele părți se obține

$$\ln p = - \frac{2fx}{h} + \ln C - \frac{2fx}{h} \quad (5.14)$$

sau

$$p = C \cdot e$$

Din condiția pe contur, la $x = 1$ $\sigma_x = 0$ conform ecuației (5.11) $p = \sigma'_c$ și $\ln C = \ln \sigma'_c + 2f \cdot 1/h$, rezultă

$$p = \sigma'_c \cdot e^{\frac{2f(1-x)}{h}} \quad (5.15)$$

Din care rezultă că și grosimea așchii "a" de-alungul lățimii sale va prezenta o variație exponențială de forma:

$$A = K \cdot \sigma'_c \cdot e^{\frac{2f(1-x)}{h}} \quad (5.16)$$

Datorită faptului că presiunea este maximă la mijlocul lățimii așchii, rezultă că forța unitară de așchiere este maximă în acel loc și că tot aici unghiul de forfecare are o valoare minimă, deci nu este vorba de un plan de forfecare ci de o suprafață curbă de forfecare.

Poziția forței de așchiere poate fi determinată dacă se cunoaște poziția liniei de forfecare.

După teoria așchierii dezvoltată de Mohr rezultă că tensiunea de alunecare capătă o valoare maximă la un unghi $\theta = \pi/4$ cu direcția forței, adică $\sigma = 0,5\sigma$.

Avîndu-se în vedere aceste considerații precum și avansul S, adîncimea de așchiere t, unghiul de degajare μ și unghiul de atac x, unghiul de alunecare a așchii θ se poate determina cu relația :

$$\theta = \arctg \frac{S \cdot \sin x \cdot \cos \mu}{t + S \cdot \sin x \cdot \sin \mu} \quad (5.17)$$

După stabilirea unghiului θ se poate trasa poligonul forțelor din fig.5.13.

Ridicîndu-se normala "M" la linia de forfecare, aceasta face cu resultantă F un unghi de 45° deoarece unghiul dintre F și F_θ este tot de 45° .

Linia q normală la suprafața de degajare a sculei formează un unghi μ cu direcția forței principale (F_H) și un unghi ρ cu direcția forței rezultante.

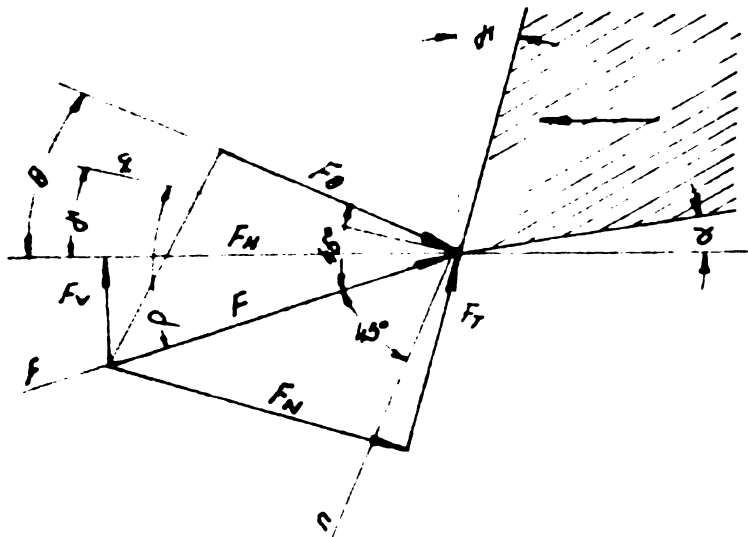


Fig. 5.13 Determinarea forței rezultante F și a componentelor sale.

Unghiul ρ este tocmai coeficientul de frecare dintre așchie și suprafața de degajare a sculei.

Pe baza analizei de pînă acum, forța de frecare este dată de relația :

$$F_{\theta} = F \cdot \cos 45^{\circ} = A_{\theta} \cdot \zeta \quad (5.18)$$

în care :

A_{θ} - mărimea suprafeței de forfecare.

ζ - rezistența la împingere.

Suprafața de așchiere este dată de $A_{\theta} = AB \cdot DC$ din fig. 5.12 dar $AB = \frac{a}{\sin x}$

iar $OC = \frac{t}{\sin \theta} = \frac{S \cdot \sin x}{\sin \theta}$ din care :

$$A_{\theta} = \frac{a}{\sin x} \cdot \frac{S \cdot \sin x}{\sin \theta}; A_{\theta} = \frac{a \cdot S}{\sin \theta} \quad (5.19)$$

Pe această bază se poate scrie :

$$F_{\theta} = F \cdot \cos 45^{\circ} = \frac{\zeta \cdot a \cdot S}{\sin \theta}$$

iar pentru forța de așchiere.

$$F = \frac{F_s}{\cos 45^{\circ}}, F = \frac{a \cdot S \cdot \zeta}{\sin \theta \cdot \cos 45^{\circ}} \text{ sau } F = \frac{a \cdot S \cdot \zeta}{2 \cdot \sin \theta} \quad (5.20)$$

Cu ajutorul forței F și a relațiilor geometrice din fig. 5.14 se pot determina toate componentele forței.

Deoarece în relația (5.20)

$$\theta = 45^{\circ} - (\rho \pm \gamma)$$

rezultă că unghiul de frecare este :

$$\rho = 45^{\circ} - (\theta \pm \gamma) \quad (5.21)$$

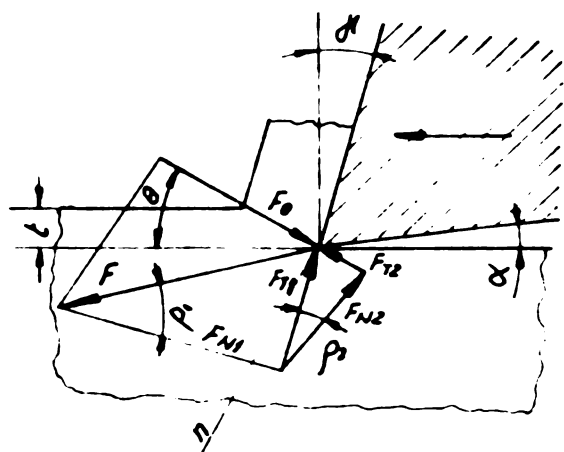


Fig. 5.14 Determinarea rezistenței la forfecare în planul de alunecare

dar funcție de unghiul de degajare, la așchiere, se poate spune că avem trei cazuri :

$$\varphi > 0 ; \quad \varphi = 0 ; \quad \varphi < 0 .$$

în care unghiurile de frecare ρ_1 (pe suprafața de degajare) și ρ_2 (pe suprafața de așezare) au următoarele valori :

1. pentru $\varphi > 0$ avem :

$$\rho_1 = 45^\circ - \theta + \varphi$$

$$\rho_2 = \theta - \varphi$$

$$\rho_1 + \rho_2 = 45^\circ$$

2. $\varphi = 0$

$$\rho_1 = 45^\circ - \theta$$

$$\rho_2 = \theta$$

$$\rho_1 + \rho_2 = 45^\circ$$

3. $\varphi < 0$

$$\rho_1 = 45^\circ - \theta - \varphi$$

$$\rho_2 = \theta + \varphi$$

$$\rho_1 + \rho_2 = 45^\circ$$

Cu ajutorul acestor relații se poate determina pentru orice valoare a unghiului de degajare, valorile unghiurilor de frecare ρ_1 și ρ_2 și valoarea forțelor de frecare dintre așchie și sculă precum și dintre sculă și piesă.

Astfel dacă

$$F_{N_1} = F \cdot \cos \rho_1$$

$$F_{N_1} \cdot \mu_1 = F \cdot \cos \rho_1 \cdot \operatorname{tg} \rho_1$$

iar

$$F_{N_2} = F_{N_1} \cdot \mu_1 \cdot \cos \rho_2 = F \cdot \sin \rho_1 \cdot \cos \rho_2$$

$$\begin{aligned} F_{N_2} \cdot \mu_2 &= F_{N_2} \cdot \operatorname{tg} \rho_2 = F \cdot \sin \rho_1 \cdot \cos \rho_2 \cdot \operatorname{tg} \rho_2 = \\ &= F_{T_2} = F \cdot \sin \rho_1 \cdot \sin \rho_2 \end{aligned}$$

Pentru ca așchia să se formeze și să se rupă trebuie ca forța de forfecare F_{θ} să depășească forța de frecare $F_{N_2} \cdot \mu_2 = F_{T_2}$. Din această cauză forța de forfecare sub acțiunea căreia se produce așchiera are valoarea :

$$F_{\theta_{tot}} = F \cdot \cos 45^{\circ} + F \cdot \sin \rho_1 \cdot \sin \rho_2 = \frac{a \cdot s \cdot \zeta}{\sin \theta \cdot \cos 45^{\circ}} (\cos 45^{\circ} + \sin \rho_1 \cdot \sin \rho_2)$$

iar forța totală de așchiere, de la $F_{\theta_{tot}} = F_{tot} \cdot \cos 45^{\circ}$

se ajunge la :

$$F_{tot} = \frac{F_{\theta}}{\cos 45^{\circ}} = \frac{\sqrt{2} \cdot a \cdot s}{\sin \theta} (1 + \sqrt{2} \cdot \sin \rho_1 \cdot \sin \rho_2) \quad (5.22)$$

iar componenta principală la așchiere

$$F_z = F_{tot} \cdot \cos (45^{\circ} - \theta) \quad (5.23)$$

Neglijînd dimensionarea precisă a rezistenței la împingere după (5.16), utilizînd numai relațiile (5.17), (5.22) și (5.23) s-a trecut la verificarea acestora pentru cîteva cazuri dintre care se prezintă în continuare doar două.

Pentru OLC 60 la cca 900°C $\sigma_r = 44 \text{ daN/mm}^2$ din care $\zeta = 35 \text{ daN/mm}^2$.

1. $S = 0,1 \text{ mm/rot}$; $t = 0,05 \text{ mm}$; $a = 0,2 \text{ mm}$; $x = 45^{\circ}$
din care rezultă :

$$\theta = 45^{\circ}40' ; \rho_1 = 9^{\circ}40' \text{ și } \rho_2 = 35^{\circ}20'$$

$$\text{iar } F_{tot} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 35}{\sin 54^{\circ}40'} (1 + \sqrt{2} \cdot \sin 9^{\circ}40' \cdot \sin 35^{\circ}20') = 1,3755 \text{ daN}$$

și $F_z = 1,3755 \cdot \cos 9^{\circ}40' = 1,355 \text{ daN}$ cu 6,5 % mai mare decît valoarea obținută prin măsurători.

2. $S = 0,4 \text{ mm/rot}$; $t = 0,15 \text{ mm}$; $x = 45^{\circ}$; $a = 0,4 \text{ mm}$
au rezultat :

$$\theta = 62^{\circ}30' ; \rho_1 = 17^{\circ}30' \text{ și } \rho_2 = 27^{\circ}30'$$

$$\text{și } F_{tot} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 35}{\sin 62^{\circ}30'} (1 + \sqrt{2} \cdot \sin 17^{\circ}30' \cdot \sin 27^{\circ}30') = 10,56 \text{ daN}$$

iar $F_z = 10,56 \cdot \cos 17^{\circ}30' = 10,09 \text{ daN}$ reprezintă o diferență față de valoarea măsurată de 7,3 %.

Rezultă în concluzie că determinările pe cale teoretică prezintă o abatere de cca $\pm 8\%$ față de valorile componentelor forței la netezire electromecanică obținute prin măsurători.

6. STUDIUL TRANSFORMĂRILOR STRUCTURALE LA NETEZIREA ELECTROMECHANICĂ A ARBORILOR DIN OLC 45 ȘI OLC 60

Condițiile grele de lucru a arborilor impun în nenumărate rânduri manifestarea unei rezistențe ridicate la uzură și oboseală, ceea ce înseamnă că materialul utilizat pentru realizarea unei asemenea piese să prezinte o duritate mare - și în același timp o tenacitate ridicată. În mod obișnuit o asemenea asociație de proprietăți nu poate constitui manifestări ale aceluiași material metalic. O asemenea combinație de proprietăți, duritate ridicată la suprafață cu un miez tenace, poate fi realizat doar printr-o alegere judicioasă a materialului metalic și aplicarea unui tratament termic de suprafață corespunzător.

Călirea superficială este un procedeu tehnologic de durificare a suprafeței oțelurilor și fontelor, care constă în încălzirea straturilor de suprafață pînă la o temperatură determinată urmată de o răcire rapidă. Astfel, ca urmare a formării de martensită, se durifică în timp ce miezul în care nu s-a produs transformări structurale, fiind neîncălzit, a rămas cu proprietățile inițiale.

Față de călire în volum a pieselor, călire de suprafață prezintă o productivitate foarte ridicată datorită încălzirii rapide, deformațiile sînt minime deoarece miezul este rigid, oxidare minimă a suprafeței și o favorabilă distribuție a tensiunilor interne care conduce la creșterea rezistenței la oboseală.

Intrucît încălzirea prin inducție a suprafeței arborilor din OLC 45 și OLC 60 nu are ca scop îmbunătățirea numai a condițiilor de prelucrabilitate dar și aceea de a obține transformări structurale caracteristice călirii, este necesar să se analizeze unele aspecte legate de formarea austenitei, respectiv a martensitei.

6.1. Particularități ale formării austenitei la încălzirea de suprafață prin inducție.

Condițiile în care trebuie să se producă încălzirea unei piese pentru călire de suprafață, rezultă din considerente teoretice privind transmisia de căldură la suprafață și adîncimea încălzit.

Dacă se notează cu a coeficientul de fuzibilitate termică a lui Fourier poate fi obținută cu relația :

$$a = \lambda C_p \rho \quad (80)$$

în care: λ - conductibilitatea termică în $W/m^{\circ}C$

C_p - căldura specifică în $J/kg^{\circ}C$
 ρ - greutatea specifică în N/m^3

Dacă se ia $\lambda = 36...58$; $C_p = 0,1...0,15$ și $\rho = 7,8$ rezultă că $a = 0,024...0,052 m^2/h$ valoare ce întrece cu mult coeficientul de difuziune a carbonului. Aceasta înseamnă că singura condiție care se impune la încălzire este ca aceasta să fie extrem de scurtă pentru a nu permite fronturile calde să se propage pe o secțiune profundă a piesei.

Spre deosebire de alte procedee de încălzire, la încălzirea prin inducție căldura este generată de piesă astfel că stratul ce urmează a fi călit se încălzește cu o viteză mare la temperatura necesară.

Considerând încălzirea unei piese cilindrice pînă la temperatura T fig.6.1 și admitînd că aci cementita s-a descompus și dizolvat complet iar tensiunile interne sînt eliminate, pe secțiunea piesei încălzite se vor putea distinge trei zone succesive : un strat superficial 1 adus la temperaturi superioare punctului A_{c3} și deci complet austenitizat, o zonă de tranziție 2 avînd temperatura cuprinsă între A_{c1} și A_{c3} de o structură de austenitizare incompletă și o zonă mai profundă 3, încălzită sub A_{c1} , care nu a suferit transformări ca și miezul rămas rece.

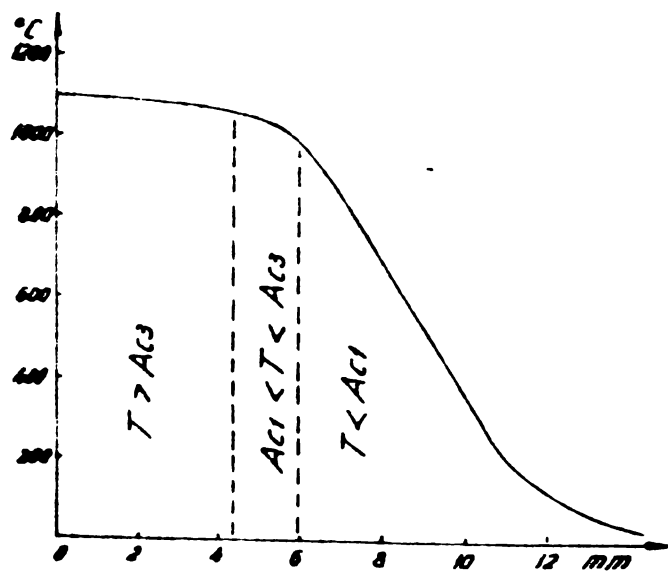


Fig.6.1 Distribuția temperaturilor în piesă încălzită prin inducție.

Datorită vitezelor mari de încălzire punctele de transformare se deplasează spre temperaturi mai ridicate, iar procesul de austenitizare începe și se termină mai târziu, în același timp se realizează într-un domeniu mai larg de temperaturi. Urmare a unor asemenea condiții existente crește viteza de germinare, obținîndu-se o austenită de granulație foarte fină.

Austenita obținută la încălzirea de suprafață prin inducție este foarte neomogenă, aspect ce a fost constatat prin analiză röntgenostructurală, conținutul de carbon al unor zone depășind chiar de câteva ori conținutul mediu în carbon al oțelului. Neomogenitatea austenitei se manifestă atât intracristalin cât și intercristalin, corespunzător repartiției neuniforme pe care o prezintă constituienții structurali în structura inițială. Starea

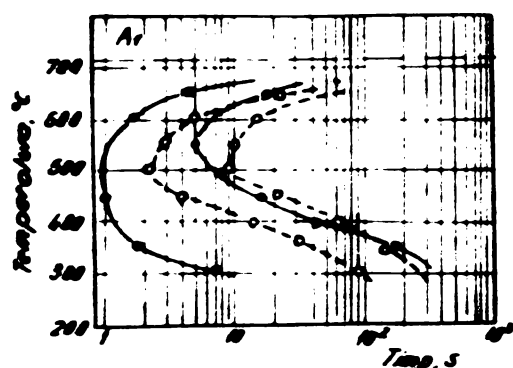


Fig. 6.2. Curbele TTT pentru un oțel carbon cu 0,52% C. (punctot-
incalzire obișnuită, calinai - prin inducție) [44]

deosebită în care se află austenita nu este nefavorabilă piesei călitate ci dimpotrivă contribuie la creșterea rezistenței și plasticității. În același timp, o asemenea austenită obținută prin încălzire de suprafață prin inducție, conduce la manifestarea unei stabilități mai mici și în consecință la mărirea vitezei critice la călire.

În fig. 6.2. sînt prezentate curbele T.T.T. pentru un oțel cu 0,52% C obținute prin încălzirea de suprafață prin inducție (cu linii continue) și prin încălzire obișnuită (linii întrerupte). Se observă că curbele de început și sfârșit de transformare sînt deplasate destul de mult spre stînga și ca urmare a acestor efecte, la călirea de suprafață cu încălzire prin inducție se necesită o viteză mai mare de răcire iar adîncimea de pătrundere a călirii va fi mai mică.

6.2. Transformarea martensitică a austenitei obținute cu încălzire prin inducție.

Transformarea martensitică este o transformare polimorfă, $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$, care are loc fără difuzie.

Transformarea martensitică la oțeluri se produce numai la răcire cu viteză mare și continuă în intervalul de temperatură M_s și M_f . La fiecare temperatură, în acest interval, se formează un anumit număr de germeni care ating imediat dimensiunile finale și apoi transformarea încetează, după care la o altă temperatură inferioară, se formează o nouă serie de germeni, care tot așa ating imediat dimensiunile finale. Deci, la fiecare temperatură, atât germinarea cât și creșterea sînt practic inde-

pendente de timp.

Ca ori care transformare de fază în stare solidă transformarea martensitică se produce ca urmare a faptului la o anumită temperatură o fază este mai stabilă decât alta. Forța motrice a transformării martensitice este diferența dintre energia liberă a martensitei F_{α} și a fazei de temperatură înaltă F_{γ} . La temperaturi mai joase decât temperatura de echilibru termodinamic T_0 , faza α (martensita) este mai stabilă decât faza γ (austenita) deoarece $F_{\alpha} < F_{\gamma}$ deci $\Delta F_{\alpha\gamma} = F_{\alpha} - F_{\gamma} < 0$, astfel încât prin transformarea martensitică are loc o reducere a energiei libere a sistemului. Cum însă formarea și creșterea germinilor de fază nouă solicită sistemul la efectuarea unui important lucru mecanic, transformarea nu are loc la temperaturi imediat inferioare lui T_0 ci numai la o temperatură la care $\Delta F_{\alpha\gamma}$ prezintă o anumită valoare care să acopere un asemenea lucru mecanic. Astfel în cazul aliajelor fier-carbon, punctul M_s de început de transformare este situat cu $200...250^{\circ}\text{C}$ sub temperatura T_0 și corespunde la o forță motrice de transformare de $1465 \text{ j/atom gram.}$ [47].

Martensita este principalul constituenț de călire al oțelului, este o soluție solidă suprasaturată de carbon în Fe_{α} cu rețea tetragonală centrată și un grad de tetragonali-tate ce variază cu conținutul în carbon.

Martensita este prin excelență dură, fragilă, feromagnetică și greu corodată de acizi.

Cu cât martensita este mai neomogenă și prezintă imperfecțiuni de rețea, cu atât martensita este mai fină.

Proprietățile martensitei în volume mici sînt influențate de compoziția chimică, prezența atomilor de carbon în interstițiile rețelei de Fe_{α} măresc rezistența la deformarea cristalelor de martensită.

Datorită variației de volum ce are loc la transformarea martensitică iau naștere tensiuni interne care mențin o stare tensională și care tind către echilibru.

6.3. Analiză asupra structurilor de transformare obținute la netezirea electromecanică a arborilor din OLC 60.

Din analiza metalografică efectuată asupra mai multor probe ce au fost supuse la regimuri de călire diferite, rezultă

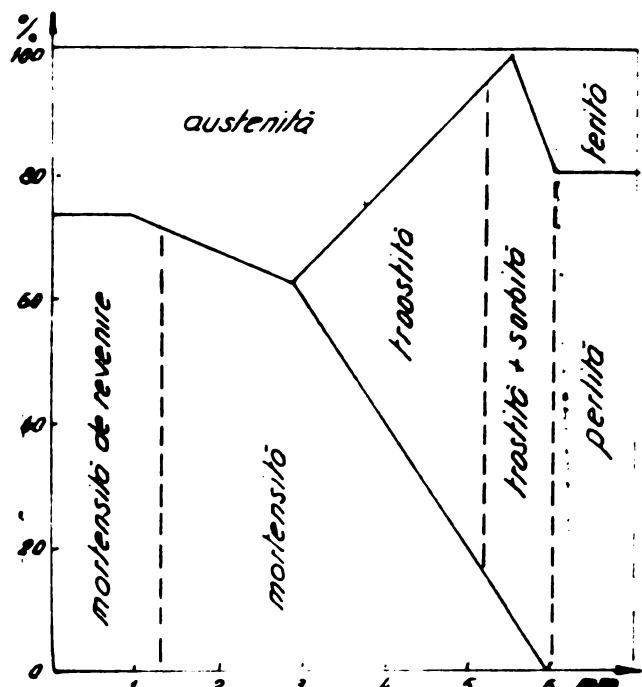


Fig. 6.3 Distribuția în secțiune a constituenților structurali

următoarea distribuție a constituenților structurali de la suprafață în profunzime: troostită ; martensită de revenire ; martensită; martensită și troostită (și austenită) ; troostită; sorbită; perlită și ferită.

În fig. 6.3. se prezintă grafic variația constituenților în afară de echilibru și de echilibru de-a lungul secțiunii.

Existența troostitei la suprafață pe o grosime de 0,01...0,02 mm se apreciază că se datorește unei viteze mai mici

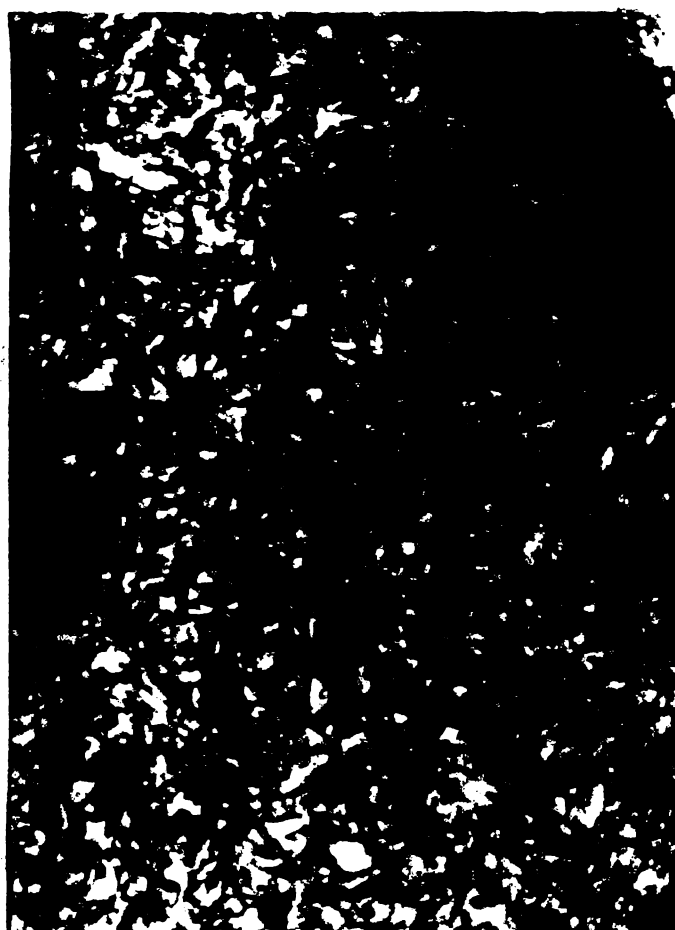


Fig. 64 Troostită și martensită de revenire.

Fig. 65 Martensită de revenire și martensită.

de răcire la suprafață în primele momente ale răcirii.

Martensita de revenire (fig.6.4. și 6.5.) se prezintă pe o profunzime de la 0,02 mm pînă la 0,6...0,8 mm. Existența unui asemenea constituent structural aproape la suprafață nu poate să se datorească decît modului în care are loc răcirea. Răcitorul fiind semiinelar ca și inductorul, datorită mișcării de rotație a piesei stratul de suprafață suferă pendulări de temperatură ca urmare a acțiunii periodice a apei de răcire și a zonelor calde mai profunde. În sprijinul unei asemenea afirmații vin și cele două micrografii din fig.6.4. și 6.5. (la 2000 x) din care rezultă mai multe generații de martensită de revenire iar austenita reziduală într-o proporție foarte redusă.

În fig.6.6 și 6.7 sînt prezentate micrografiile zonelor martensitice și martensito-troostice. Domeniul de existență a acestor structuri este în medie de la 0,3 la 2,5 mm. Existența chiar și în fig. 6.6, luată mai la suprafață, a unor mici insule de troostită, pentru ca mai în profunzime (fig.6.7), proporția acestora să crească, indică că s-au for-



Fig 6.6 Martensită



Fig6.7 Martensită și troostită.

format ca urmare a unei viteze de răcire puțin mai mici decât cea critică, așa cum s-a afirmat mai înainte.

Pe măsură ce se pătrunde cu analiza metalografică mai în profunzimea secțiunii, frontul troostitic se mărește pentru ca la un moment dat, să apară perlita influențată termic și apoi perlita și ferita neinfluențate termic. Aceste aspecte rezultă din



Fig. 6.8 Perlită influențată termic.



Fig. 6.9 Perlită neinfluențată termic.

micrografiile prezentate în Fig. 6.8 care a fost luate la o profunzime de 2,2 mm respectiv 4,1 mm.

Analiza metalografică a fost completată cu o analiză asupra microdurității și constituienților structurarii. Prelucrarea măcu-
rărilor de microduritate rezultate sunt prezentate în tabelele Nr. 14 și 15. Prima încercare de duritate efectuată la o profunzime de 0,02 mm ne indică un coeficient de duritate $HV_{10} = 741$ daN/mm^2 foarte aproape de valori citite în literatura de specialitate pentru martensita (ce ≈ 800). La o profunzime 0,5 mm du-

ritatea martensitei de revenire a rezultat $HV10 = 853 \text{ daN/mm}^2$, la 0,96 mm de la suprafață martensita prezintă o duritate foarte ridicată $HV10 = 1335 \text{ daN/mm}^2$, apoi perlita influențată ter-

TABELUL NR. 14.

Nr. cr.	Structura	Cădere medie mm	d în mm			dx mm	dx ² mm ²	Fec daN/mm ²	HV = $\frac{18544 \cdot F \cdot (10^3)^2}{dx^2 \cdot 10^3}$
			F=207 daN/mm ²	F=315 daN/mm ²	F=42 daN/mm ²				
1	Trostită	0,044	7,7	8,98	10,63	10	100	40	741
2	Martensită rev.	0,331	5,64	7,51	9,53	10	100	46	853
3	Martensită	2,18	5,31	6,6	7,7	10	100	72	1335
4	Perlită inf ter	4,27	10,27	12,10	13,93	10	100	22	407
5	Perlită inf ter	5,38	9,90	13,02	15,77	10	100	22	407
6	Perlită	8,0	11,15	14,85	17,05	10	100	18	333

le $HV10 = 333 \text{ daN/mm}^2$.

Duritatea foarte ridicată pe care o prezintă atât trostita, martensita de revenire cât și martensita se datorește neomogenității chimice pe care acești constituienți le manifestă.

Transformările structurale produse la netezirea electro mecanică a arborilor prezintă asemănări mari cu cele de la călirea de suprafață. Rezultă însă unele particularități ce sînt favorabile unui comportament mai bun a pieselor în exploatare atunci cînd acestea au fost prelucrate electro mecanic.

Printre cele mai importante sînt următoarele :

Adîncimea influențată termic este redusă iar trecerea de la o structură la alta se face treptat reducîndu-se aproape în totalitate pericolul de exfoliere a stratului dur.

- Deoarece la suprafață apare trostita și martensita de revenire, distribuția tensiunilor interne în această zonă este deosebit de avantajoasă și în același timp de valori reduse.

- Formarea la suprafață a trostităi și martensitei de revenire este o chestiune specifică netezirii electro mecanice și se datorește combinării efectelor produse de utilizarea unui inductor și răcitor semiinelar precum și mișcării de rotație.

- Duritatea constituienților structurali în afară de echilibru este mai ridicată decît la călirea de suprafață obișnuită.

- Pentru obținerea unor transformări structurale corespunzătoare și la prelucrarea oțelului OLC 45 se necesită creșterea vitezei de răcire prin creșterea debitului de apă s-au utilizarea unui agent cu proprietăți mai ridicate de răcire.

6.4. Determinarea tensiunilor interne remanente după aplicarea netezirii electromecanice (pentru OLC 60).

Tensiunile remanente reprezintă un sistem de tensiuni care pot exista într-un corp atunci când acesta nu este solicitat de nici o forță externă. Deoarece valoarea maximă a tensiunilor remanente poate fi cel mult limita de elasticitate a materialului, trebuie să considerăm numai tensiuni elastice. Aceasta pentru că dacă apare o depășire a acestei limite, tensiunile existente în material se vor relaxa prin producerea unui lucru mecanic de deformare plastică pînă la limita de curgere a materialului (chiar mai departe), pînă la atingerea limitei de remanență.

Se pot considera două tipuri de tensiuni remanente: cele ce variază continuu în tot volumul corpului și acționează asupra unor zone de dimensiuni mari, numite macrotensiuni și altele, care acționează într-un spațiu de ordin de mărime de câteva celule dar al căror efect poate fi simțit la distanțe chiar mai mari de un grăunte, numite microtensiuni. Tensiunile dezvoltate de către o pădure de dislocații sau precipitatele de fază secundară dintr-o soluție, sînt exemple de microtensiuni, de aprecierea cărora depinde cunoașterea mecanismului ecruisării mecanice și de evaluarea extinderii acestui fenomen.

Tensiunile remanente apar datorită deformării plastice neuniforme a unui corp ce se poate produce prin modificări neomogene ale volumului și formei.

Tensiunile remanente pot fi produse prin solidificarea pieselor turnate, deformare plastică la rece, sudare, tratamente termice, placare electrolitică și chiar prin prelucrări pe mașini unelte.

Prezența într-un corp a tensiunilor remanente poate influența reacțiile materialului față de sarcinile exterioare aplicate. La o solicitare la tracțiune a unui corp de exemplu, aceea zonă a obiectului care conține tensiuni remanente de în-

tindere de valoare ridicată, se va deforma plastic la o valoare mai redusă a tensiunii aplicate decât partea din obiectiv lipsită de tensiuni. Dimpotrivă, existența de tensiuni reziduale la compresiune, în cazul de mai înainte, va produce o creștere a limitei de curgere.

Tensiunile remanente pot fi cauza deformării pieselor și instabilității dimensionale. Dacă o parte dintr-un corp ce conține tensiuni reziduale este îndepărtată prin prelucrare, se deranjează echilibrul static al forțelor și momentelor interne și drept consecință, piesa se va deforma pînă la atingerea unei noi condiții de echilibru.

Se cunosc și se aplică astăzi un număr important de metode mecanice pentru stabilirea valorii tensiunilor remanente. Cele mai multe dintre acestea au la bază stabilirea prin calcul a tensiunilor remanente pe baza deformațiilor produse atunci cînd corpul este secționat și tensiunile existente sînt eliberate.

Pentru măsurarea tensiunilor remanente circumferențiale se propune utilizarea unor epruvete inelare. În acest caz se consideră că la eliberarea tensiunilor remanente prin secționarea unei ramuri a inelului, segmentul va fi solicitat la încovoiere iar săgeata produsă va fi proporțională cu valoarea tensiunilor circumferențiale ce au existat în stratul de suprafață al piesei.

Pentru cazul general, secțiunea cercetată aflată la unghiul φ de secțiunea de tăiere, funcțiile de efort sînt :

$$M_{\varphi} = -P \cdot d = -P(R - R \cos \varphi) = -P \cdot R(1 - \cos \varphi) \quad (6.1)$$

$$N_p = -P \cdot \cos \varphi$$

Reprezentînd variația momentului încovoietor și a forței axiale se constată că cea mai solicitată secțiune este A_1A_2 la $\varphi = \pi$ în care :

$$M_{\pi} = -2 P \cdot R \quad \text{și}$$

$$N_{\pi} = P$$

Distanța y de la centrul de greutate al secțiunii pînă la fibrele pentru care se calculează valoarea efortului unitar, se consideră pozitivă sau negativă după cum se găsesc sau nu de aceeași parte a centrului de greutate.

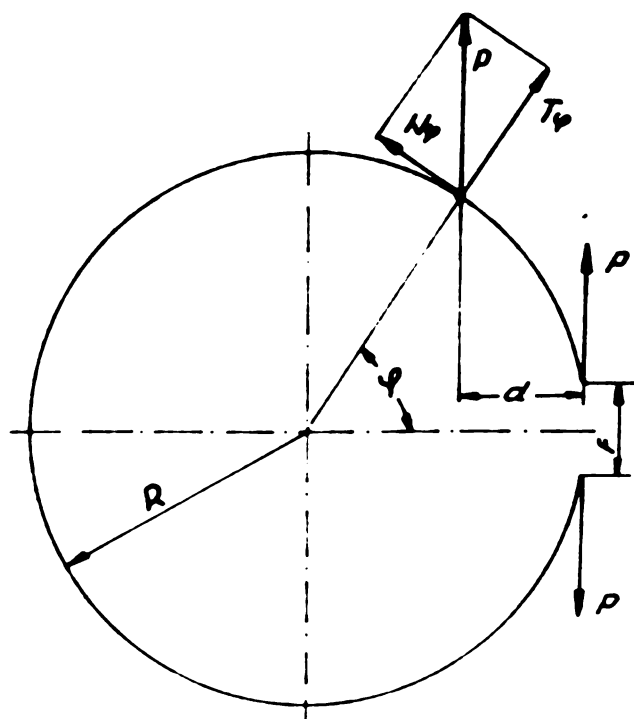


Fig. 6.10 Schema de solicitare a unui segment.

Pentru calculul săgeții f se aplică metoda forței unitare, neglijând influența forței tăietoare și a forței normale :

$$\bar{l}.f = \int \frac{M_{\varphi} \cdot \bar{M}_{\varphi}}{E \cdot I_z} dx =$$

$$= \frac{1}{E \cdot I_z} \int M_{\varphi} \cdot \bar{M}_{\varphi} R \cdot d\varphi \quad (6.2)$$

$$M_{\varphi} = -P \cdot R (1 - \cos \varphi)$$

$$\bar{M}_{\varphi} = -\bar{l} \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi)$$

înlocuind în (6.2) se obține :

$$\bar{l}.f = \frac{1}{E \cdot I_z} \int \left[-P \cdot R (1 - \cos \varphi) \right] \cdot \left[\bar{l} \cdot R (1 - \cos \varphi) \right] \cdot R \cdot d\varphi =$$

$$= \frac{P \cdot R^3 \cdot \bar{l}}{R \cdot I_z} \int_0^{2\bar{\varphi}} (1 - \cos \varphi)^2 \cdot d\varphi$$

și în final se obține :

$$f = \frac{3 \cdot \bar{l} \cdot P \cdot R^3}{E \cdot I_z} \quad (6.3)$$

din care rezultă valoarea forței care produce săgeata f :

$$P = \frac{E \cdot I_z \cdot f}{3 \cdot \bar{l} \cdot R^3} \quad (6.4)$$

iar tensiunea la distanța y față de axa neutră este dată de relația :

$$\sigma = \frac{1}{A} \left[N_{\bar{\varphi}} + \frac{M_{\bar{\varphi}}}{R} + \frac{M_{\bar{\varphi}}}{K \cdot R} \cdot \frac{y}{R+y} \right] \quad (6.5)$$

în care K poate fi luat

$$K = \frac{I_z}{\pi \cdot R^2} \quad (6.6)$$

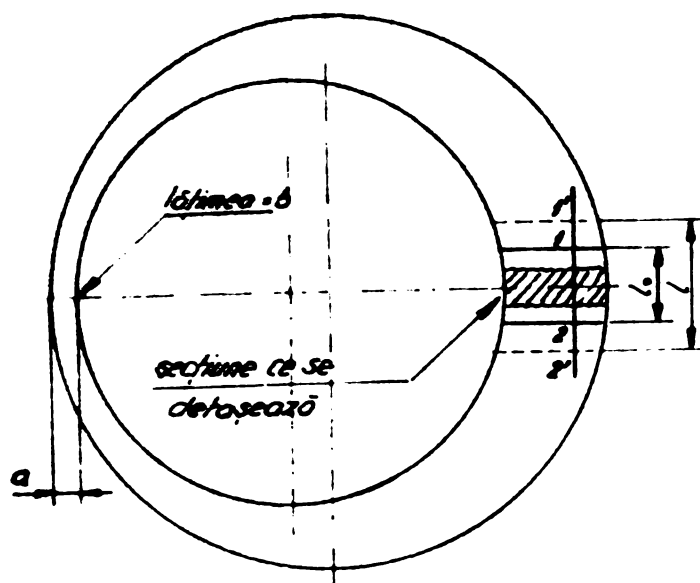


Fig. 6.11 Construcția probelor pentru determinarea tensiunilor interne.

Aplicând relațiile (6.5) și (6.6) la probele prelucrate din barele netezite electromecanic s-au determinat tensiunile interne de la suprafață spre zonele interne ale secțiunii discurilor prelucrate ca în fig. 6.11.

Datele și măsurătorile efectuate asupra a celor 12 probe prelevate sînt prezentate în tabela Nr.16.

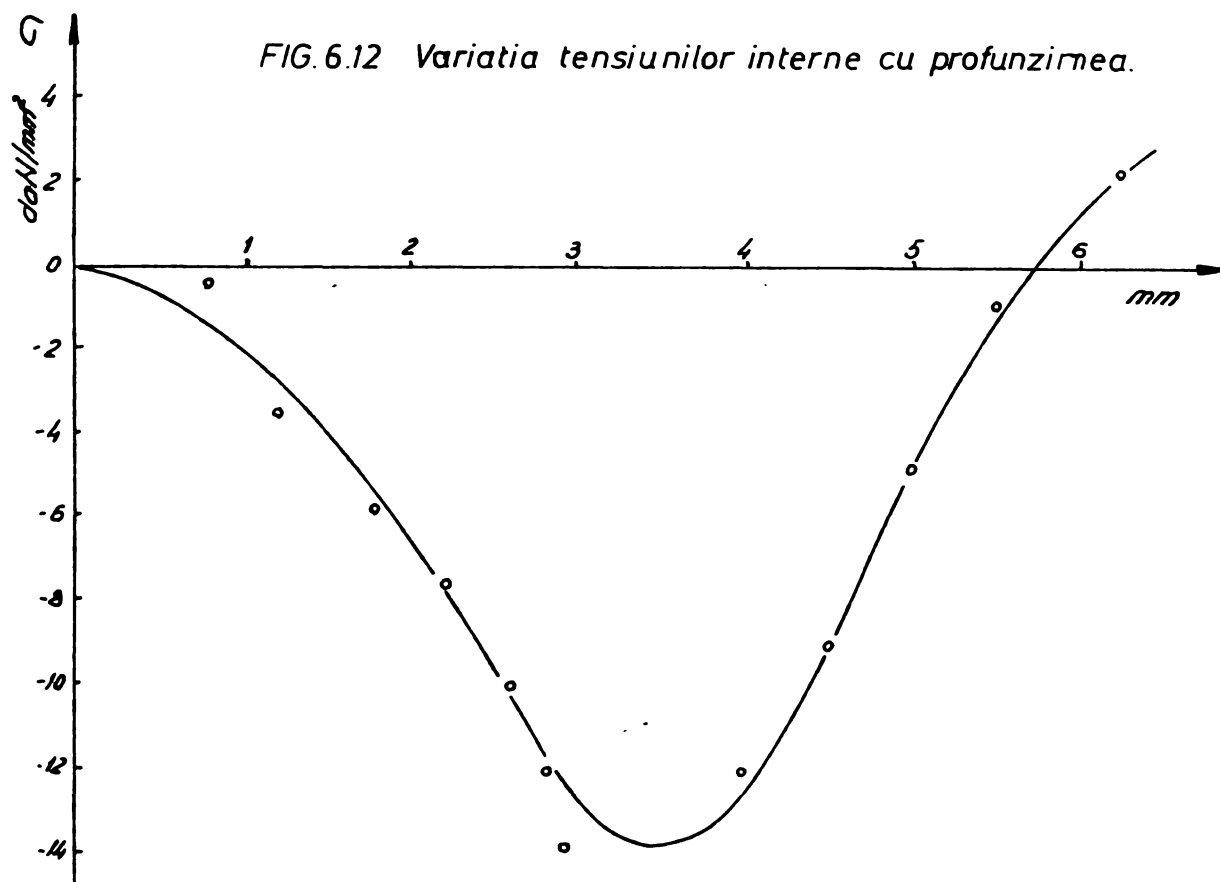
TABELUL NR.16.

Nr. probei	σ mm	b mm	R mm	F mm	A mm ²	P daN	G daN/mm ²
2.119.6	88	11	21,7	0,13	8,8	0,0133	0,4999
2.119.7	12	11,2	21,6	0,645	13,44	0,2179	3,5958
2.119.8	1,7	12,5	21,4	0,6462	21,42	1,5233	5,8192
2.119.5	2,9	8,7	21	0,8925	25,25	3,7752	13,8555
2.119.4	2,2	9,1	21,9	0,4513	20,02	1,7421	7,5462
2.119.4	2,6	9,7	22,1	0,5661	25,22	1,9662	10,3621
2.119.3	2,8	11,3	20,7	0,5992	31,64	2,7383	12,3442
2.119.3	4,0	10,7	20	0,521	42,8	2,0645	12,2013
2.119.3	4,5	10,3	20,2	0,311	46,35	1,4565	9,0424
2.119.2	5,1	11	20,8	0,424	56,1	2,4794	5,1209
2.119.2	5,5	11,4	20,6	0,361	62,7	2,636	1,2510
2.119.2	6,2	10,7	21,1	-0,210	66,34	1,7072	+1,9232

Deoarece toate probele după retezarea făcută între repere s-au deschis, rezultă că tensiunile interne existente sînt tensiuni de compresiune.

Reprezentînd grafic variația teoretică rezultată în urma determinărilor efectuate și considerînd că tensiunile cresc odată cu profunzimea pînă la valoarea teoretică dată de curba de cea mai mare tensiune, a rezultat curba de variație a tensiunilor interne prezentată în fig. 6.12. Rezultă din aceasta că valoarea maximă a tensiunii la compresiune pe care o pre-

zintă secțiunea călită este de 1400 daN/cm^2 și că la cca $5,8 \text{ mm}$



de suprafață are loc schimbarea de semn a tensiunilor interne.

Un asemenea comportament al tensiunilor interne este deosebit de favorabil contribuind la creșterea rezistenței la oboseală.

7. STUDIUL VARIATIEI PROPRIETATILOR STRATULUI DE SUPRAFATA CU VARIATIA PARAMETRILOR TEHNOLOGICI LA NETEZIREA ELECTROMECHANICA A ARBORILOR DIN OLC 45 și OLC 60

Scopul aplicării oricărui gen de prelucrare prin desprindere de așchii este obținerea unor produse de calitate caracterizate prin precizia dimensională a formei geometrice, grad de netezime și manifestarea de către suprafață a unor proprietăți mecanice corespunzătoare.

Pentru funcționarea corectă a organelor de mașini sînt hotărîtoare nu numai concepția lor constructivă și precizia dimensională, dar și calitatea suprafețelor de îmbinare a acestora. Uzura organelor de mașini în exploatare începe cu stratul de suprafață al metalului, ceea ce duce la concluzia că calitatea și durata funcționării mecanismelor sînt determinate în mare măsură de calitatea suprafețelor prelucrate ale pieselor.

Practica industrială ne arată că piesele care sînt sollicitate la uzură își pierd repede dimensiunile dacă suprafețele lor prezintă asperități mari și ascuțite a căror mărime depinde de gradul de netezime. De asemenea, rugozitatea ca o caracteristică a suprafeței, este luată în considerare la dimensionarea rezistenței la oboseală a pieselor întrucît creștăturile existente constituie amorse de uzură și de ruptură. Alături de precizia dimensională a formei geometrice și rugozității suprafețelor prelucrate, se poate spune că de o importanță tot atît de mare sînt proprietățile mecanice ale suprafețelor: microduritatea, rezistența la uzură, tensiunile interne etc.

Pe marginea unor asemenea proprietăți pe care trebuie să le manifeste suprafețele pieselor supuse la uzură, se va interpreta influența parametrilor tehnologici ai netezirii electromecanice a arborilor, date ce au fost obținute în urma cercetării acestui procedeu de netezire.

7.1. Influența parametrilor tehnologici asupra proprietăților mecanice ale stratului de suprafață.

Dacă se are în vedere relația aproximativă utilizată pentru determinarea adîncimii de pătrundere peste punctul Curie la încălzirea prin inducție :

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f}} \text{ mm} \quad (7.1)$$

rezultă că pentru sursa de curent utilizată de $f = 8000$ Hz, adîncimea de pătrundere este $\delta = 5,59$ mm. Sub acțiunea variației puterii specifice P_s și a vitezei de deplasare a inductorului

așa cum a rezultat în cap.4, adâncimea de pătrundere poate să ajungă chiar la jumătatea valorii date de (7.1).

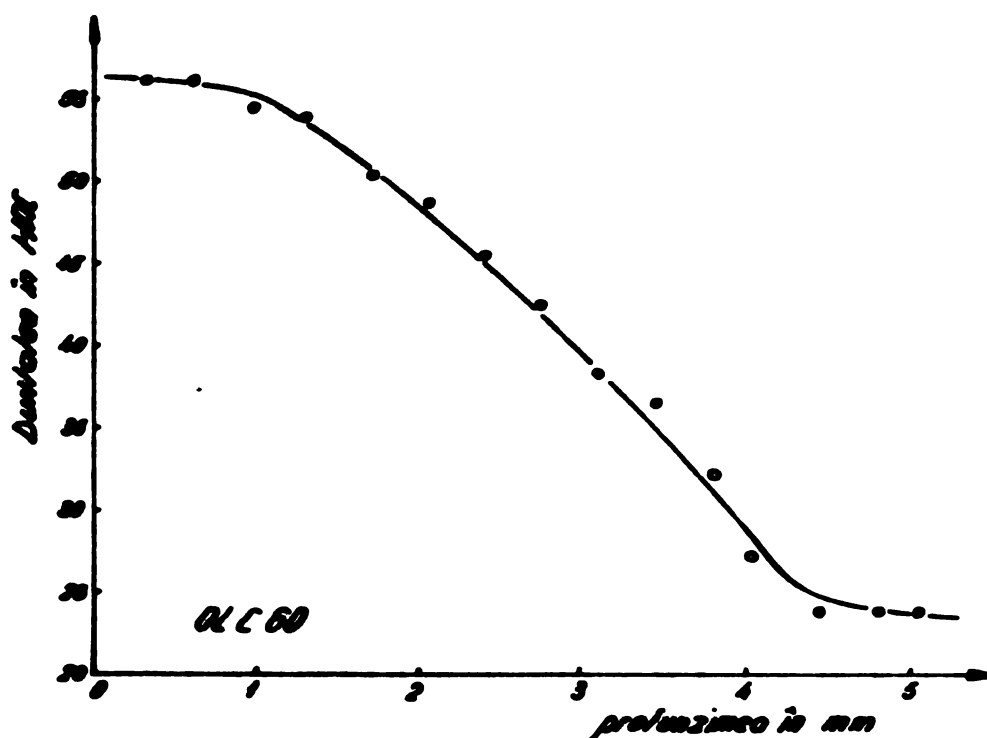


Fig. 7.1 Variația durezzații în secțiune cu profunzimea.

Urmare unei asemenea acțiuni electrice și termice manifestată, combinată și cu cea a mediului de răcire, rezultă transformările structurale prezentate în cap.6 și ca o consecință variația durezzații în secțiune prezentată în fig.7.1.

Așa cum a rezultat din măsurătorile efectuate și mai ales din reprezentarea grafică a variației durezzații cu profunzimea, zona de duritate ridicată are o întindere de la suprafață pe cca 1...1,5 mm. Foarte importantă este zona doua din punctul de vedere al racordării durezzații ridicate cu zona a treia de duritate normală pentru materialul utilizat. Se poate aprecia că deoarece reducerea de duritate se face pe un front larg de 3...4 mm, tendința de fisurare și exfoliere este exclusă pentru un asemenea caz, confirmând constatările făcute în legătură cu variația tensiunilor interne

În fig. 7.2. se prezintă variația adâncimii de călire cu avansul, trasată în urma măsurătorilor efectuate asupra stratului călit pînă la structura perlitică neinfluențată termic.

Ca urmare a reducerii adâncimii de pătrundere

cu avansul, rezultat în cap.4, era de așteptat să se producă și o reducere a adâncimii de călire cu creșterea vitezei de deplasare a sistemului inductor-răcitor.

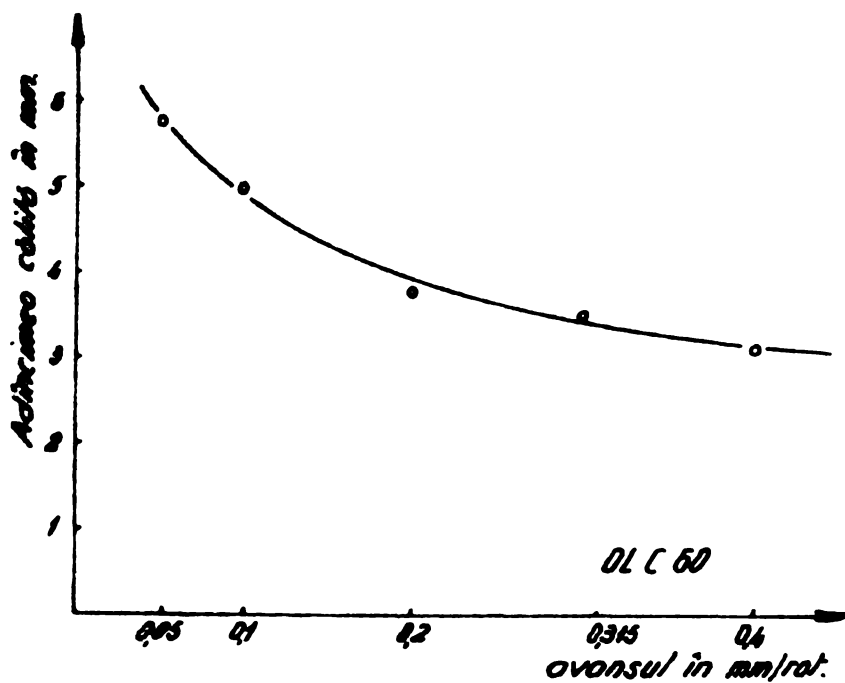


Fig. 7.2 Variația adâncimii de călire cu avansul.

În atenția cercetării nu a stat numai variația durității în secțiune ci și pe suprafața prelucrată,

circular și pe generatoarea probelor prelucrate. Aceste date sînt trecute în tabelule Nr.17.

Două dintre măsurătorile pe circumferință a durității suprafeței sînt reprezentate grafic în fig. 7.3.

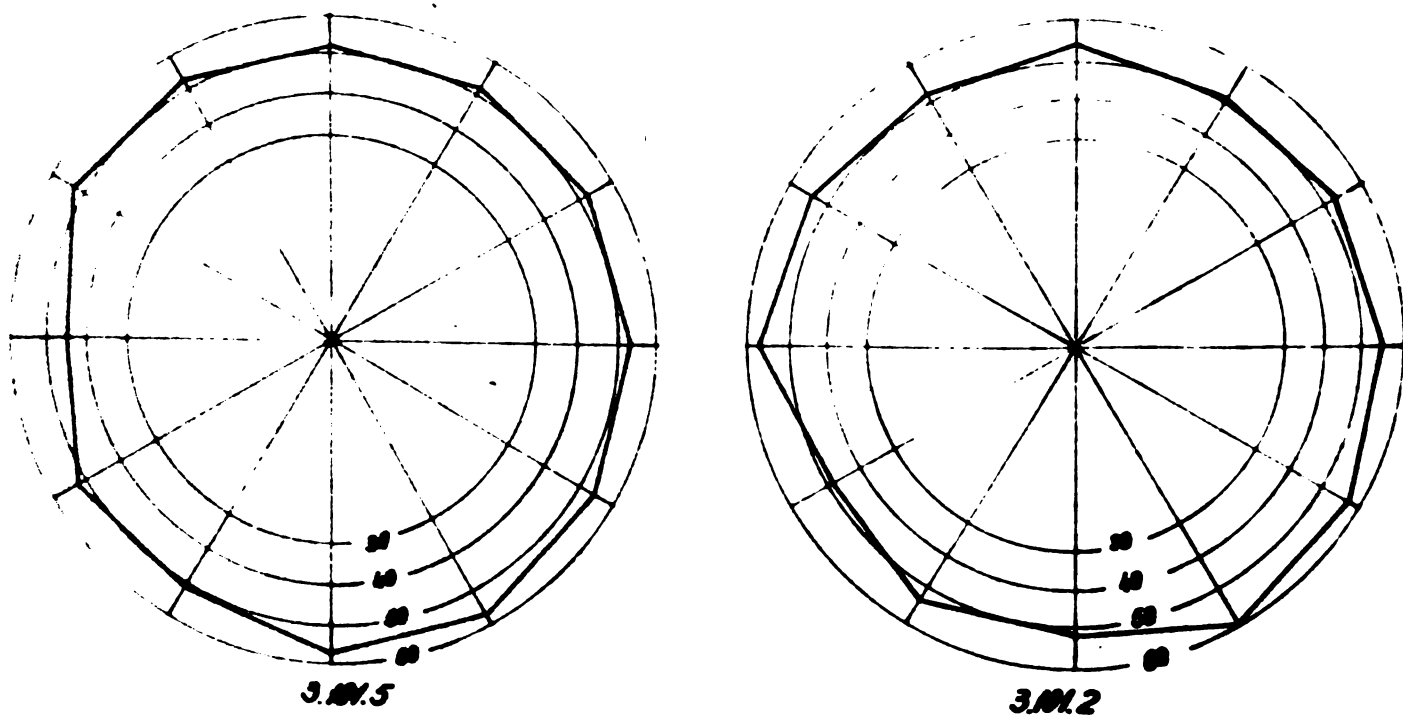


Fig. 7.3 Variația durității pe circumferință din 30 în 30° (în HRC)

Abaterile de la duritate medie ce pot fi constante nu sînt o consecință a modului de prelucrare, în primul rînd pentru că mișcările efectuate la netezire, de rotație și translație, erau constante iar în al doilea rînd, regimul termic și de răcire au fost aceiași pentru o piesă. De fapt aceste abateri de duritate nu prezintă o legitate în ce privește distribuția și drept urmare, se apreciază că se datorește neomogenității din punct de vedere chimic al materialului prelucrat.

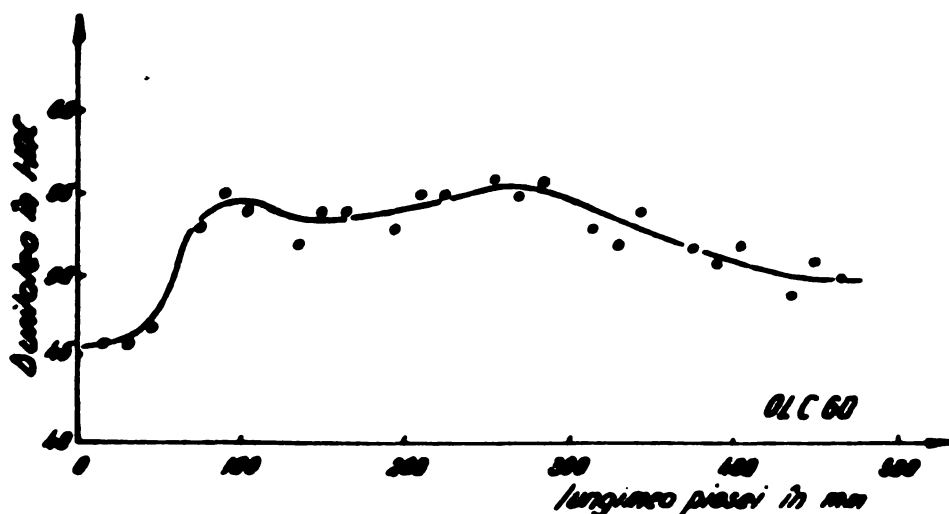


Fig. 7.4 Variatia durității în lungul piesei

În ce privește variația durității de-a lungul generatoarei probei prelucrate (fig.7.4), duritatea redusă la începutul barei și mai puțin la sfîrșitul ei, este explicabilă.

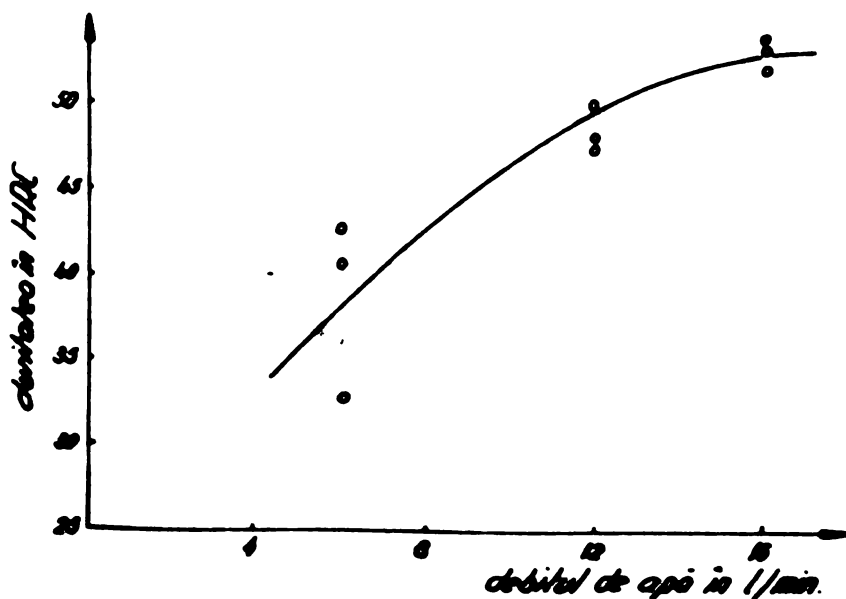


Fig. 7.5 Variatia durității piesei funcție de debitul apei de răcire.

Regimul termic odată stabilit (prin cel electric și al debitului de apă) pentru un lot de piese de prelucrat, s-a acordat uneori mai puțină atenție cuplării avansului de lucru al sculei la aceeași temperatură a suprafeței. Din această cauză pe o lungime de cca 60...70 mm, pînă la atingerea regimului termic prescris, duritatea suprafeței s-a

plasat cub cea normală de obținut. Reducerea durității la sfârșitul barei prelucrate se datorește opririi timpurie a apei de răcire, din care cauză zonele mai profunde încă calde au revenit puternic stratul de suprafață.

În fig.7.5. se prezintă influența debitului apei de răcire asupra durității suprafeței.

Existând încă rezerve de 3...5 HRC pentru OLC 60 față de duritățile obținute, în același timp pentru îmbunătățirea uniformității de duritate a suprafeței, se necesită creșterea debitului apei de răcire până la cca 20 l/min.

Din datele prezentate cu privire la influența parametrilor tehnologici asupra durității stratului de suprafață, rezultă următoarele concluzii :

- pentru obținerea unei durități uniforme pe lungimea unei piese netezite electromecanic, se necesită respectarea și controlarea cu atenție a regimului electric și de răcire stabilit, pe întreaga lungime a piesei.

- pentru îmbunătățirea uniformității durității și chiar creșterea ei, debitul apei de răcire (de 18°C) trebuie crescut la 20 l/min.

- variația durității cu profunzimea este mai favorabilă la netezirea electromecanică a arborilor decât la călirea CIF deoarece trecerea de la duritate ridicată la cea obișnuită se face într-un interval mai mare. Aceasta înseamnă în același timp manifestarea unei rezistențe la oboseală mai ridicată.

7.2. Influența parametrilor tehnologici asupra preciziei dimensionale a arborilor din OLC 45 și OLC 60 neteziți electromecanic.

Factorii care determină apariția abaterilor la prelucrarea pe mașini unelte pot fi cuprinși în două categorii:

starea semifabricatului, starea mașinii-unelte și a sculei, condițiile de fixare a piesei, de reglaj a mașinii-unelte etc. care formează factorii independenți; **factorii termici, uzura sculei, vibrațiile, rigiditatea sistemului tehnologic etc., care constituie factorii dependenți.**

Abaterile care au fost urmărite la netezirea electromecanică a arborilor sînt cele care se referă la abaterile de la rectilinitate (păstrarea diametrului), de la rotunjime și care sînt determinați numai de unii dintre factorii de mai înainte.

În tabelele Nr.18 sînt prezentate măsurătorile de diametru efectuate pe mai multe probe netezite. Aceste măsurători au fost făcute cu o precizie de 0,01 mm pe mai multe bare și pe fiecare din cele 8 tronsoane ale acestora.

Analizînd datele din tabelele prezentate rezultă că față de o cotă medie luată pentru fiecare bară, abaterile pe o lungime de 500 mm piesă netezită pot fi cuprinse în $\pm 0,03$ mm pe diametru ceea ce corespunde clasei a V-a de precizie STAS 7391-66.

Apreciindu-se abaterile obținute drept mari pe considerentul că procedeul tehnologic în sine nu poate da asemenea suprafață deoarece regimurile utilizate au fost deosebit de mici, forțele apărute la netezire au fost de mărimi chear greu măsurabile etc., s-a trecut la verificarea mașinii unelte prin prelucrarea unor probe similare cu regimuri relativ mici. Rezultatele obținute sînt trecute în tabela Nr.19. Din această tabelă rezultă că și la prelucrarea prin strunjire cu $V = 25$ m/min., $t = 0,1$ mm, $S = 0,05$ mm/rot. abaterile medii pot fi cuprinse în $\pm 0,04$ mm.

Din această comparație efectuată a rezultat că abaterile de la rectilinitate apărute se datoresc mașinii unelte și nu factorilor tehnologici utilizați.

Printre factorii tehnologici aplicați se apreciază însă că regimul electric, respectiv cel termic, prezintă cea mai mare importanță deoarece acesta poate determina producerea unor abateri provocate de dilatarea neuniformă a piesei în timpul prelucrării.

Pentru verificarea efectului posibil de produs de către temperaturi diferite de-a lungul piesei, sau determinat prin calcul abaterile maxime iar apoi s-a verificat practic.

Pentru probe de diametru de 50 mm din OLC 60 (valabil și pentru OLC 45) au rezultat următoarele diametre calculate la temperatura de lucru :

°C	D_t
900°C	$D_{t_1} = 50,1515 \text{ mm}$
950°C	$D_{t_2} = 50,162 \text{ mm}$
1000°C	$D_t = 50,177 \text{ mm}$
1050°C	$D_{t_4} = 50,192 \text{ mm}$

Din aceste date rezultă că numai pentru o variație de 50°C a temperaturii pe adîncimea de pătrundere, adîncimea de lucru a sculei poate să fie cu 0,01...0,015 mm mai mare.

În urma măsurătorilor efectuate asupra mai multor piese de-alungul cărora s-a variat regimul termic la netezire în gama de temperaturi 900...1050°C, au rezultat abateri de 0,006...0,012 mm ceea ce confirmă importanța asigurării unui regim termic și electric constant în timpul prelucrării.

Abaterile de la circularitate au constituit cel de al doilea aspect intrat în atenția cercetării. Datele asupra măsurătorilor efectuate pe mai multe probe sînt prezentate în tabela Nr.20 și au mărimea $2 AF_c$.

Măsurătorile au fost efectuate cu o precizie de 0,001 mm pe circonferința din 15 în 15°. O parte dintre aceste măsurători efectuate au fost reprezentate grafic în tabelul Nr. 21.

Din tabela Nr.20 rezultă că cea mai mare parte a abaterilor de la circularitate sînt cuprinse între $+ 2,5 \mu\text{m}$ și $- 2,5 \mu\text{m}$ (s-a luat $D_{\text{max}} - D_{\text{min}}/2 = AF_c$) și numai un număr redus de circonferințe prezintă abateri mai mari. Abaterile obținute fac ca arborii respectivi să poată fi încadrați în clasa a VI-a de precizie.

Urmărindu-se însă sub ce unghi apare diametrul maxim și minim față de un reper fixat pe arborele principal al strungului, utilizat la netezire, a rezultat cu o abatere de 4...8° plasarea în aceeași poziție a cotelor menționate. Rezultă din aceasta că principala sursă a abaterilor de la circularitate o constituie mașina unealtă utilizată.

Din această succintă interpretare a abaterilor dimensionale constatate la netezire și a cercetării efectuate rezultă următoarele aspecte :

- influența uzurii sculei armată cu carbură ceramică asupra abaterilor de la rectiliniitate este sub $4 \mu\text{m}$ pentru o lungime piesă de 2500 mm și \varnothing mm.

- o influență apreciabilă asupra rectiliniității poate avea variația regimului electric. Este necesar deci ca la netezire, regimul electric să fie atent controlat și păstrat constant.

- mașina unealtă constituind cel mai important factor producător de abateri dimensionale și de formă la netezirea electromecanică a arborilor, aceasta va trebui să se încadreze în primul rând în clasa de precizie necesară de obținut prin prelucrare.

7.3. Influența parametrilor tehnologici asupra gradului de netezire a suprafeței prelucrate electro-mecanic.

Evaluarea profilului unei suprafețe este făcută în mai multe moduri.

- prin luarea în considerare a abaterii medii aritmetice a profilului (R_a) care se definește ca valoare medie a ordonatelor punctelor profilului efectiv față de linia medie, fiind exprimată de relația :

$$R_a = \frac{1}{L} \int |y| \cdot dx \quad (7.2)$$

- evaluarea în lățimii neregularităților (R_z) definit ca diferență între media aritmetică a ordonatelor celor mai înalte cinci puncte de vîrf și media aritmetică a ordonatelor celor mai joase cinci puncte de fund ale profilului efectiv. Această mărime este definită matematic de relația :

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=5} R_i - \frac{1}{5} \sum_{j=1}^{j=5} R_j \quad (7.3)$$

- a treia importantă mărime utilizată pentru caracterizarea netezimii unei suprafețe este înălțimea maximă R_{max} (este notată cu R_t), definită ca distanță între linia exterioară și interioară stabilită de punctul cel mai înalt și cel mai jos al denivelărilor.

În afară de R_a , R_z și R_{max} (mărimi cuprinse în STAS 5730-66) se mai pot determina și alte mărimi. Parte din acestea sînt prezentate și analizate în 7.4 cu ajutorul funcțiilor de corelație.

Apreciindu-se că printre factorii tehnologici cei mai importanți care influențează rugozitatea unei suprafețe netezite electromecanic sînt temperatura la care are loc desprinderea așchii, uzura sculelor, avansul și geometria cuțitului și deoarece în cap.5 a fost făcută o analiză asupra influenței geometrice și materialelor utilizate la confecționarea sculelor, precum și a temperaturii, în cele ce urmează se vor trata influența avansului și uzurii sculelor asupra rugozității.

Măsurătorile de rugozitate sînt prezentate în tabelele Nr.11 și 12 iar unele profilograme sînt reprezentate în figurile 5.2.

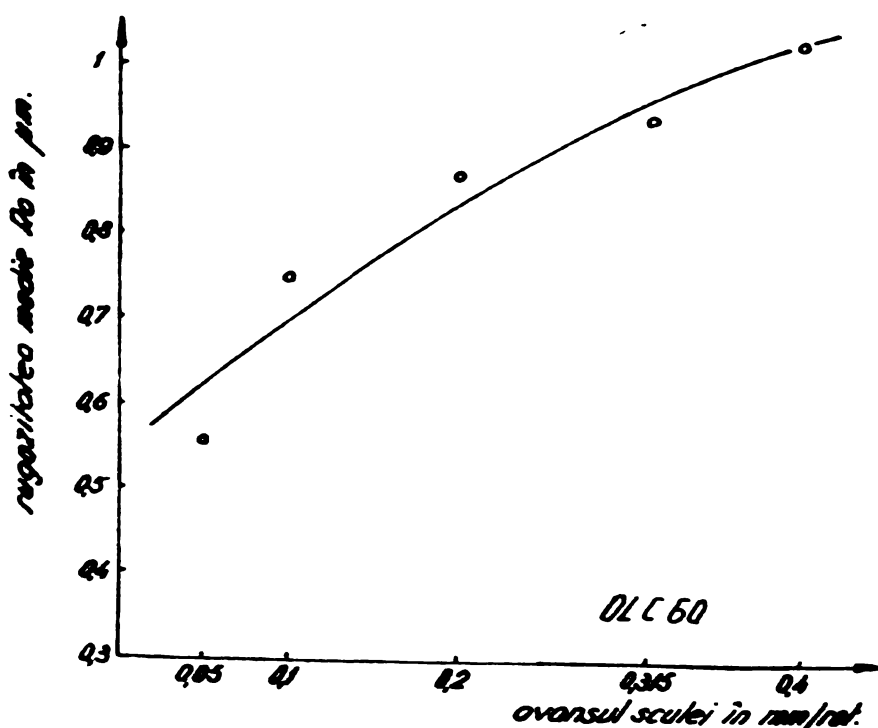


Fig. 7.6 Variația rugozității suprafeței funcție de avans.

În fig. 7.6. și 7.7 se află prezentate curbele de variație ale mărimilor R_a și R_t care caracterizează rugozitatea funcție de avans. Din ambele curbe rezultă că odată cu

creșterea avansului atât R_a cât și R_t cresc.

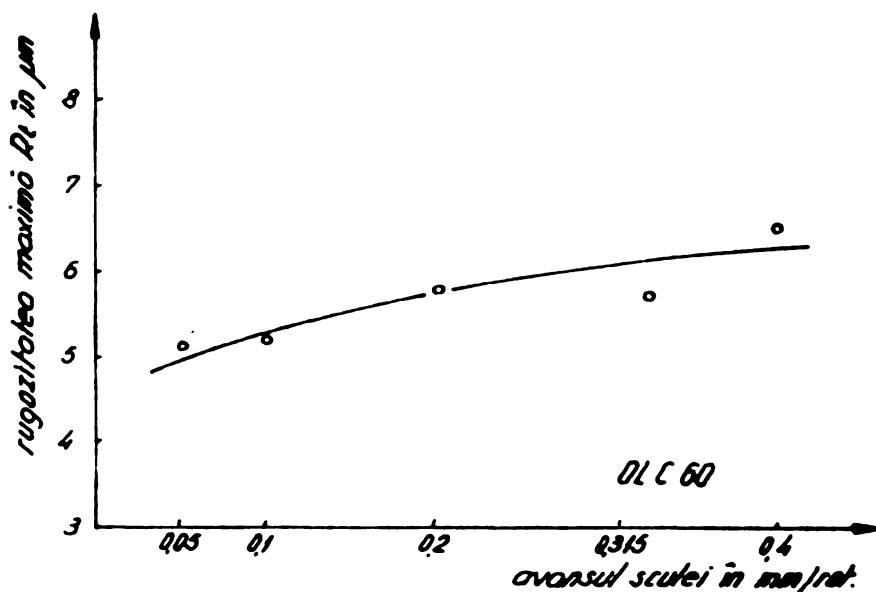


Fig.7.7 Variația rugozității suprafeței funcție de avans.

Creșterea rugozității cu avansul este explicabilă prin aceea că muchia tăietoare este după o curbă și creșterea avansului determină creșterea părții periodice a profilului așa cum rezultă și din profilogramele prezentate.

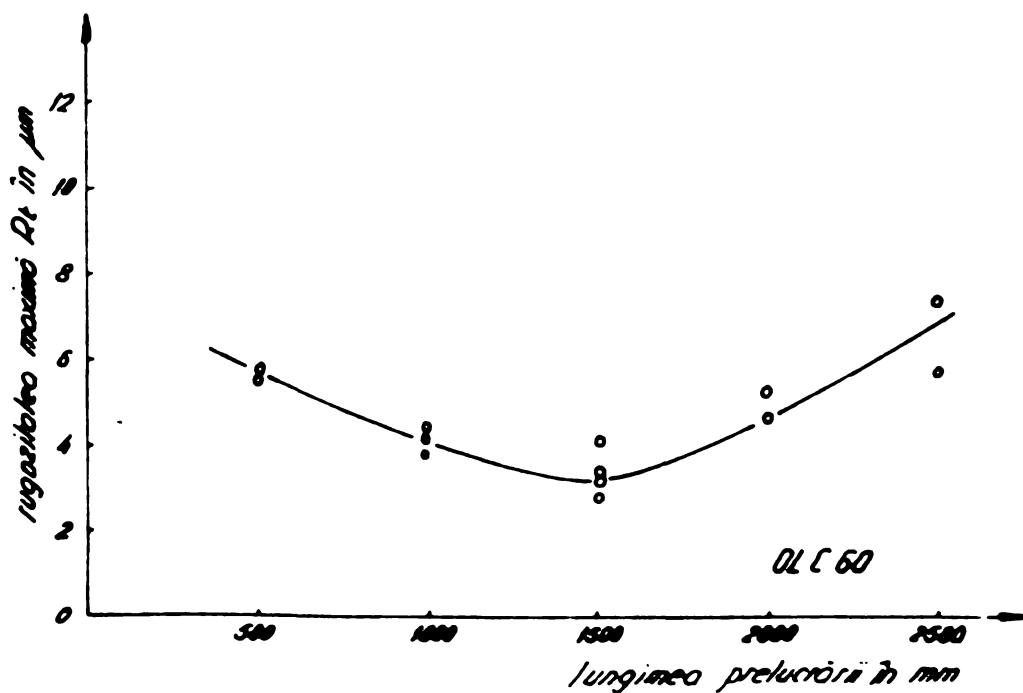


Fig.7.8 Variația rugozității suprafeței cu lungimea prelucrării

Influența uzurii sculei asupra rugozității este prezentată din punctul de vedere al variației rugozității suprafețelor netezite de aceeași muchie tăietoare. Din fig. 7.8. rezultă că după prelucrarea a trei lungimi de bare utilizate ca probe ($\varnothing 50 \times 500$ mm) rugozitatea maximă R_t se reduce la $R_t = 6 \mu\text{m}$ la cca $3 \mu\text{m}$ pentru ca după alte două bare rugozitatea să crească la cca $7 \mu\text{m}$.

Explicația reducerii de rugozitate în primă etapă de lucru a sculei este dată de rodajul suferit de muchia tăietoare ceea ce prezintă un caracter de finisare pentru aceasta și pentru fațeta de finisare ce se constituie sub muchia tăietoare.

Datorită evoluției acestui proces de corodare a părților sculei participante activ la procesul de netezire, muchia tăietoare și fațeta de deformare se degradează tot mai mult, contribuind la rizarea suprafeței piesei de către sculă și depuneri aderente.

Din curba experimentală obținută rezultă deci, că o sculă armată cu material ceramic este bună de utilizat pentru prelucrarea unei lungimi de cea 2500 mm ($\varnothing 50$) pentru ca apoi să se necesite o reascuțire a ei.

7.4. Studiul influenței parametrilor tehnologici asupra rugozității suprafeței netezite electromecanic cu ajutorul funcțiilor de corelație.

Apreciindu-se că microprofilul unei suprafețe prelucrate este rezultatul unor fenomene aliatoare și deci curba de profil este o curbă aliatoare se pot aplica cunoștințele matematice specifice pentru stabilirea unor legități.

Profilul asperităților formate pe o suprafață prelucrată prin așchiere se compune dintr-o parte periodică și una întâmplătoare. Partea periodică a profilului rugozității este determinată de cinematica de generare a suprafeței: avans mișcarea principală etc. Părțile întâmplătoare ale profilului sînt determinate de modul în care are loc ruperea așchiei, de-

formarea plastică, formarea depunerilor aderente etc. Raportul dintre partea periodică și cea aperiodică a profilului, depinde de procesul de prelucrare precum și de cel al materialului de prelucrare precum și de cel al materialului de prelucrat.

Partea întâmplătoare a profilului poate fi considerată drept un proces normal, staționar cu dispersia D_{μ} și cu o speranță matematică egală cu zero. Caracteristicile părții întâmplătoare vor fi notate cu μ iar cele ale părții periodice cu indicele β .

Separarea părții periodice de partea întâmplătoare se face cu ajutorul transformărilor de corelație a curbelor de profil.

Este confirmat teoretic că funcția de autocorelație $K(\xi)$ a unui profil de suprafață prelucrată ce se compune dintr-o parte periodică și una întâmplătoare, se formează din funcția de corelație $K_{\beta}(\xi)$ a părții periodice și din funcția de corelație $K_{\mu}(\xi)$ a părții întâmplătoare.

$$K(\xi) = K_{\beta}(\xi) + K_{\mu}(\xi) \quad (7.4)$$

pentru $\xi = 0$ avem

$$K(0) = D = D_{\beta} + D_{\mu} \quad (7.5)$$

în care D este dispersia pentru întregul profil interpretat, D_{μ} dispersia părții întâmplătoare a profilului iar D_{β} dispersia părții periodice. Din corelogramă se obțin dispersiile D, D_{μ} și D_{β} .

7.4.1. Transformarea prin corelare a curbelor de profil.

Transformarea prin corelare a curbelor de profil constă în transformarea ordonatelor y_0, y_1, \dots, y_n ale curbelor de profil în ordonatele $K(0), K(\xi_1), \dots, K(\xi_n)$ ale corelogramei conform ecuației :

$$K(\xi) = \frac{1}{\frac{1-\xi}{Dx}} \sum_{i=0}^{\frac{1-\xi}{Dx}} (y_i - \bar{y})(y_{i+\xi} - \bar{y}) \quad (7.6)$$

În ecuația (7.6) \bar{y} este media aritmetică a tuturor valorilor ordonatelor de profil și ξ este abscisa corelogramei

$$\xi = 0, i, \dots, n(\Delta x).$$

Treapta de coantificare Δx va fi aleasă de la $1/4$ pînă la $1/3$ din distanța acelor abateri ale suprafeței ale căror caracteristici trebuiesc a fi determinate cu ajutorul funcției de corelație.

Segmentul de referință al profilului, calea de însumare l cuprins între $l = 60 \dots 430 \Delta x$, trebuie să fie cu atît mai mare cu cît curba de profil este mai neregulată.

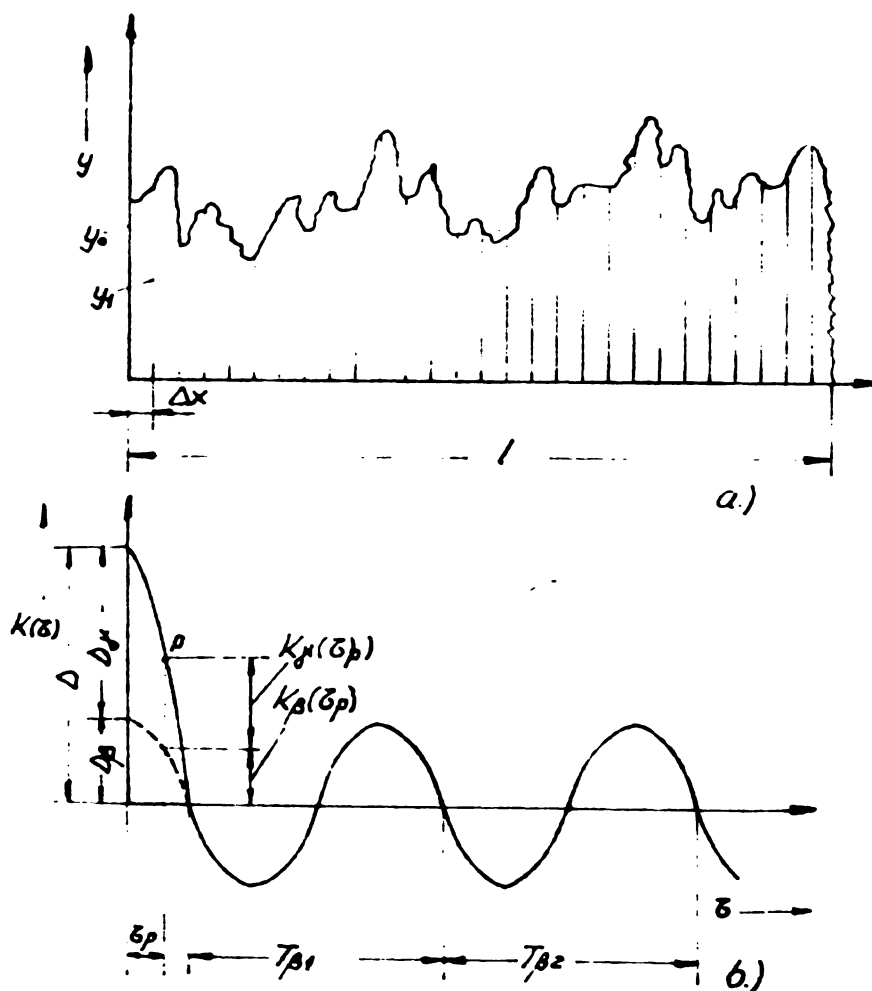


Fig. 7.9 Curba de profil a suprafeței a.) și corelograma ei b.)

Din inegalitatea (7.7) se poate stabili l .

$$l > 2 \cdot \frac{(\lambda - \mu)(4 - 3\mu)}{(1 - \mu)^2} \quad (7.7)$$

în care :

λ - coeficient care redă gradul de descreștere a posibilității în partea periodică a funcției de corelare în comparație cu partea periodică a curbei de profil, se ia între $4 \dots 3$.

μ - coeficient de neomogenitate al curbei de profil.

Inegalitatea (7.7) are la bază faptul că prin mărirea segmentului de referință l se micșorează și divergența între componenții periodici stabiliți prin funcția de corelație și între componenții periodici reali.

Prin mărirea lui ζ , informația dată de funcția de corelație devine tot mai nesigură. De aceea ζ_{\max} trebuie limitat la $\sim 2/3 l$.

Calculul funcției de autocorelare $K(\zeta)$ se face analog sau numeric pe mașini electronice de calcul.

7.4.2. Caracteristici de corelare ale profilului de suprafață.

Din analiza rugozității suprafeței, a corelogramei obținută experimental și ecuației (7.8) se poate forma o imagine mai completă asupra influenței ce o prezintă asupra netezimii diferiților factori tehnologici.

$$K(\zeta) = R_a^2 \cdot (C_{\mu}^2 \cdot \mu \cdot e^{-\frac{25\zeta^2}{T_{\mu}^2}} + C_{\beta}^2 \cdot \beta \cdot \cos \frac{2\pi}{T_{\beta} \cdot \zeta}) \quad (7.8)$$

Cu ajutorul acestei ecuații se pot determina caracteristicile de corelație ale profilului.

Abaterea aritmetică R_a și componenții ei $R_{a\mu}$ și $R_{a\beta}$ pot fi calculați după ecuațiile (7.9), (7.10) și (7.11) prezentate în tabelul Nr.22.C este un coeficient care se determină din legea de distribuție a valorilor întâmplătoare ale ordonatelor profilului, care la o distribuție normală $C_{\mu} = 1,25$, iar C_{β} depinde de forma abaterilor părții periodice a profilului.

Coeficientul C se determină din legea de distribuție a valorilor ordonatelor întregului profil și se calculează cu relația din tabelul Nr.22

Distanța medie T între abaterile de la formă și componenții ei T_{μ} și T_{β} se determină cu relațiile (7.12), (7.13) și (7.14) din tabela Nr.22. În aceste relații ζ_p este abscisa punctului P liber ales și situat pe partea întâmplătoare a corelogramei (fig.7.9), iar $K_{\mu}(\zeta_p)$ este ordonata punctului P și se determină cu ecuația (7.15)

$$K_{\mu}(\zeta_p) = K(\zeta_p) - K_{\beta}(\zeta_p) \quad (7.15)$$

iar n_p redă numărul perioadelor stabilite cu ajutorul corelogramei.

Coeficientul μ este coeficientul de neomogenitate al profilului suprafeței și se calculează cu valorile dispersiei D_μ , D (fig. 7.9) după relația din tabela Nr.22. Acest parametru nu prezintă o mare importanță în aprecierea profilului, mărimea lui se situează în domeniul 0 și 1. La $\mu = 0$ profilul este complet periodic iar la $\mu = 1$ este complet aperiodic.

Coeficientul β se obține din $\beta = 1 - \mu$.

7.4.3. Studiul influenței factorilor tehnologici asupra caracteristicilor de corelație ale profilului suprafețelor netezite electro-mecanic

Au fost examinate trei probe din CLC 60 prelucrate în următoarele condiții :

Nr. probei	m/min.	rot/min.	mm/rot.	temperatura la locul desprinderii t°C	R_a m	R_t m
3.101.3	49,48	315	0,2	900	0,9	3,8
2.102.2	49,48	315	0,1	1200	0,5	2,5
2.112.2	25,13	160	0,315	1100	0,7	4,2

Scula utilizată a fost armată cu o plăcuță din carbura de bohr de următoarea geometrie :

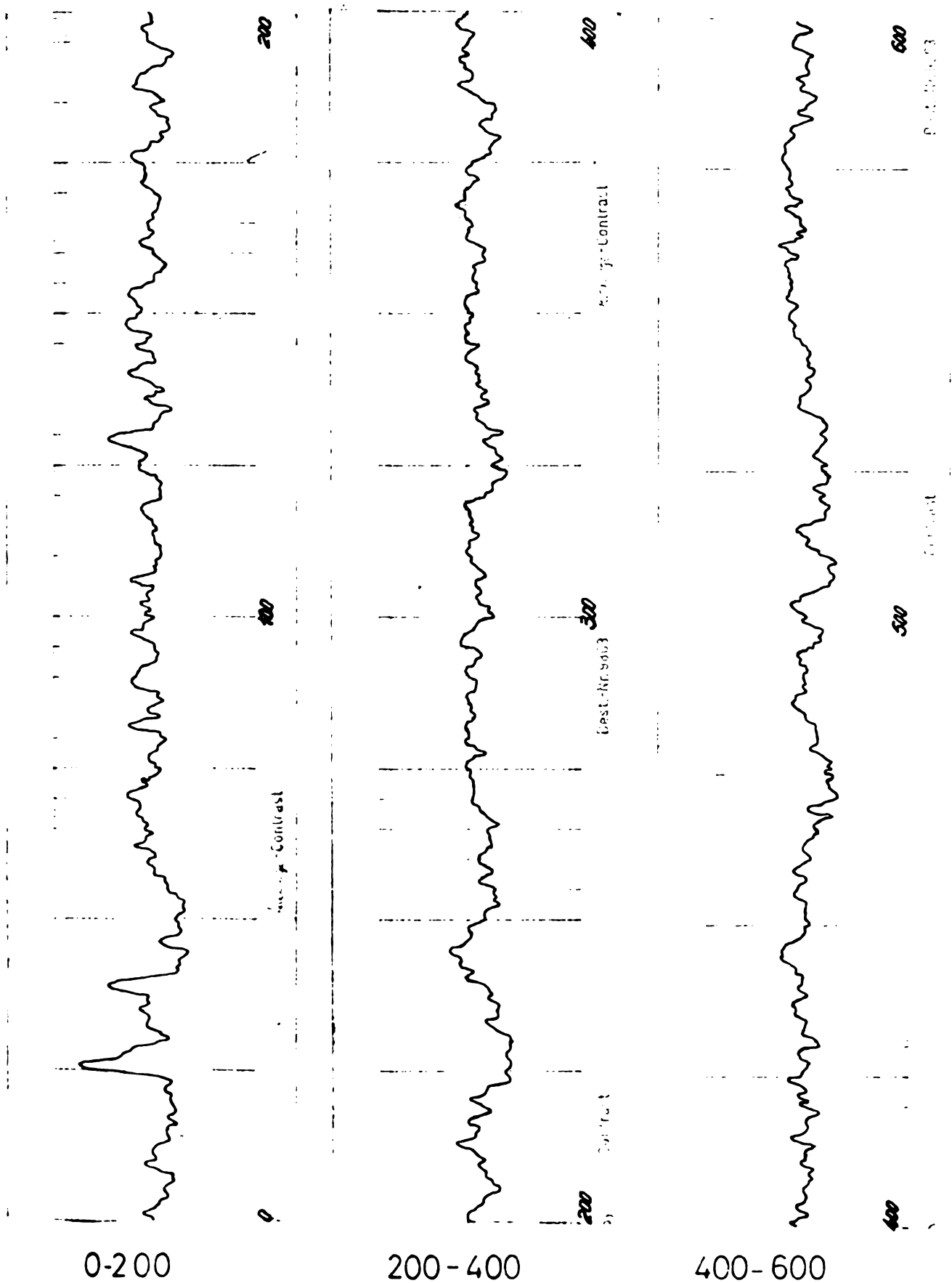
$$\alpha = 2^\circ ; \mu = 0^\circ ; r_n = 5 \text{ mm}, \quad \kappa = 45^\circ$$

Au fost prelucrate piese cilindrice de 500 mm lungime, de diametru de 50 mm cu o adâncime de lucru $t = 0,1$ mm.

De pe aceste piese au fost ridicate profilogramele prezentate în fig. 7.10 ; 7.11 și 7.12 la următoarele scări : pe înălțime 3 : 0,001 mm pe lungime 1 : 117,5 mm (pe înălțime 3 mm ÷ 0,001 mm și pe lungime 117,5 mm ÷ 1 mm).

De pe profilogramele obținute, au fost ridicate câte 500 de ordonate (y) de pe lungime de referință $l = 4,2553$ mm fiecare la un interval $\Delta x = 0,0035106$ mm și care se află prezentate în tabela Nr.23.

Programarea pe calculatorul F.C.256 a fost efectuată conform tabelii Nr.24 și au fost obținute pentru fiecare pie-



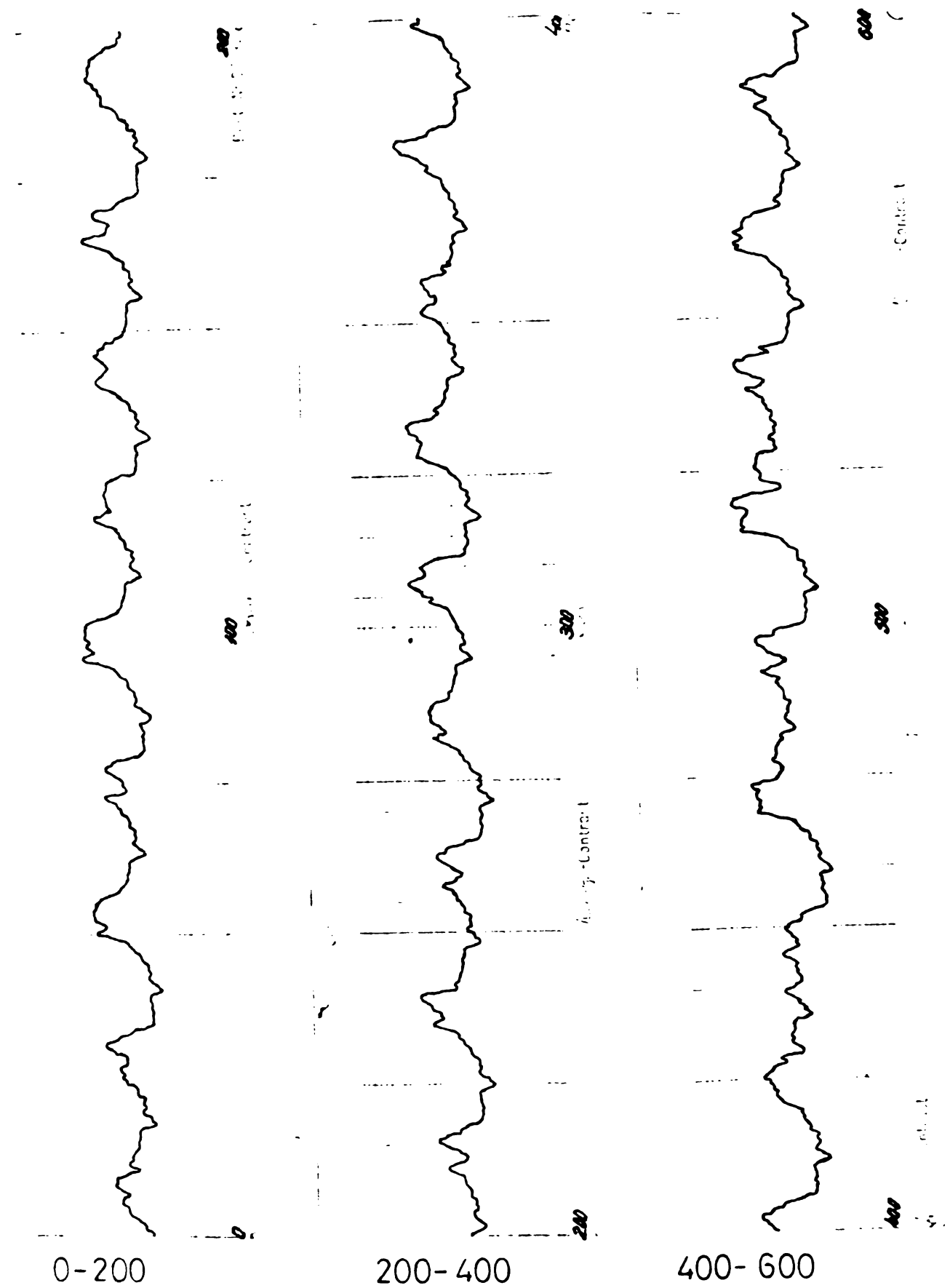
0-200

200-400

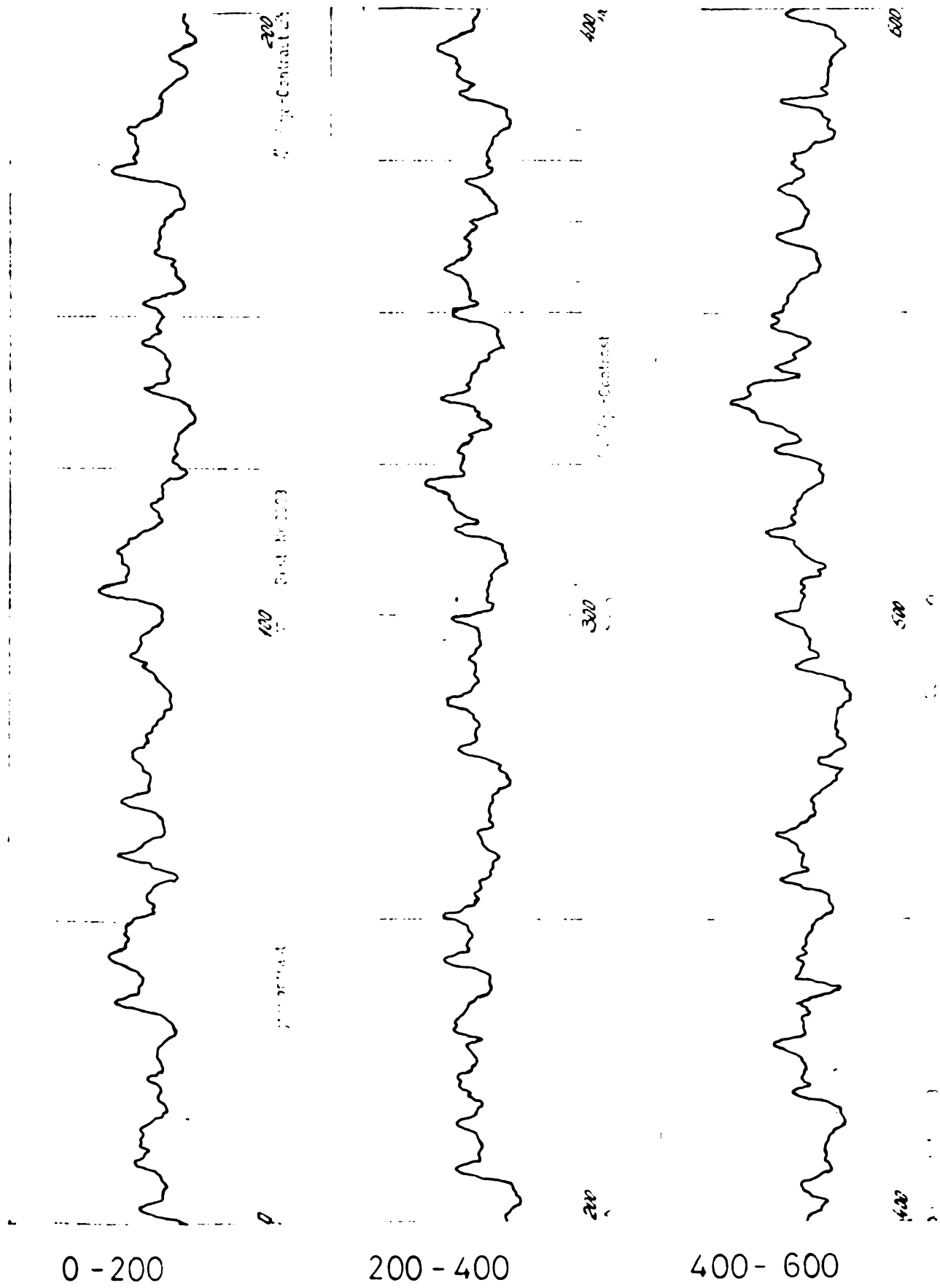
400-600

CURBA DE PROFIL A SUPRAFETEI PIESEI NR. 2.102.2

FIG. 710

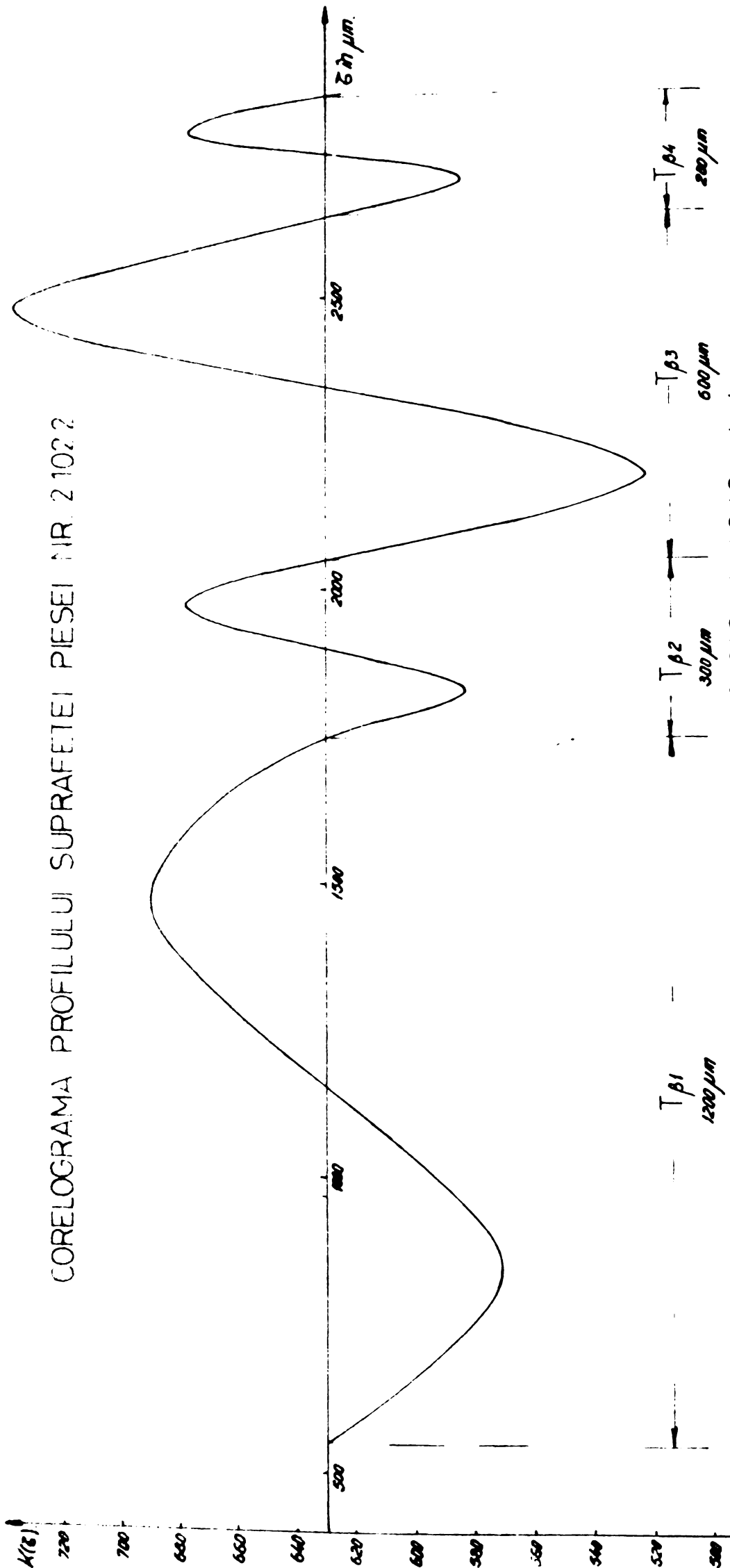


CURBA DE PROFIL A SUPRAFETEI PIESEI NR. 3.101.3
FIG 7.11



CURBA DE PROFIL A PIESEI NR. 2.112.2
FIG. 712

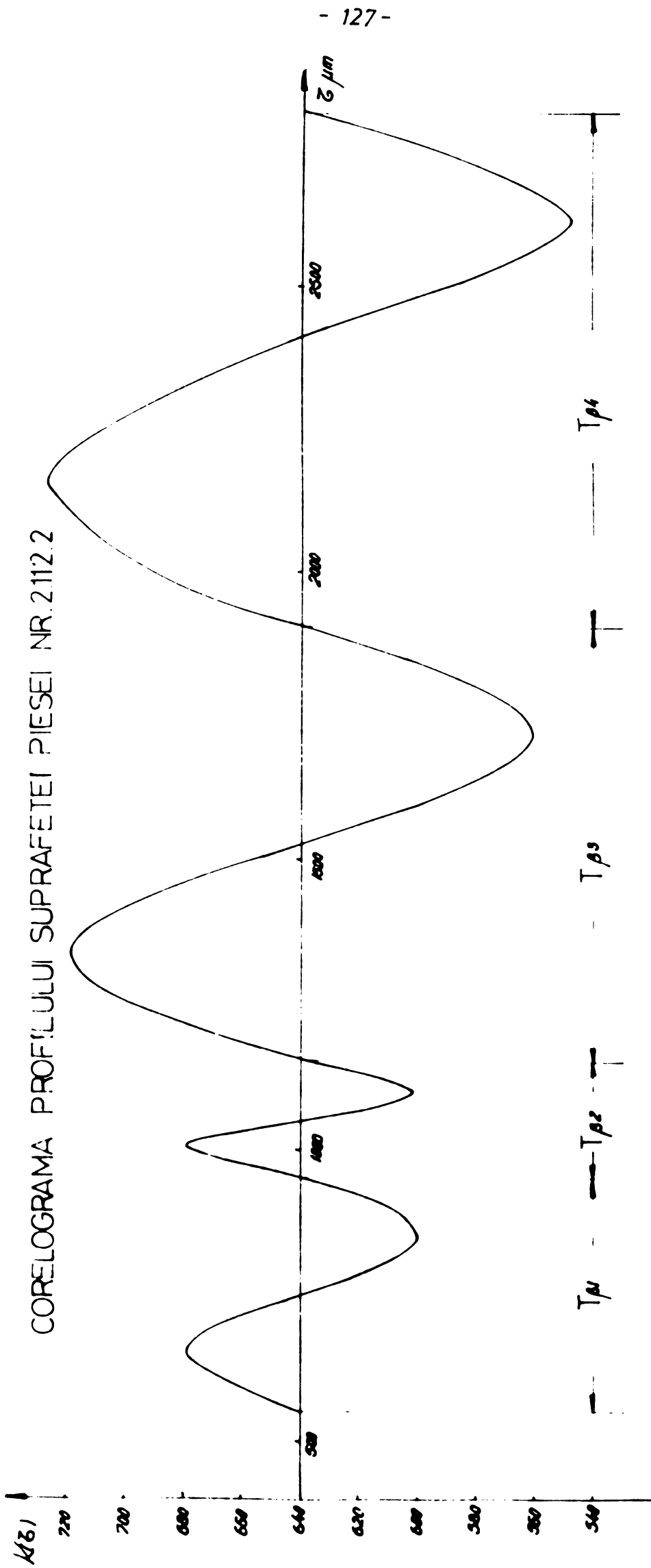
CORELOGRAMA PROFILULUI SUPRAFETEI PIESEI NR. 21022



$n = 315 \text{ rot/min}$, $S = 0,1 \text{ mm/rot}$, $T = 1200^\circ\text{C}$, $V = 49,48 \text{ m/min}$.
 $\zeta_p = 500 \mu\text{m}$, $D = 10,04 \mu\text{m}^2$, $D_p = 2,01 \mu\text{m}^2$, $D_\gamma = 8,03 \mu\text{m}^2$
 $T_\beta = 825 \mu\text{m}$, $Ra_\beta = 0,63 \mu\text{m}$, $Ra_\gamma = 1,27 \mu\text{m}$, $Ra = 190 \mu\text{m} \cdot /3$
 $T_\gamma = 690 \mu\text{m}$, $K_\beta(\zeta_p) = 14 \text{ mm}^2$, $K_\gamma(\zeta_p) = 30 \text{ mm}^2$
 $T = 370 \mu\text{m}$.

FIG. 7.13.

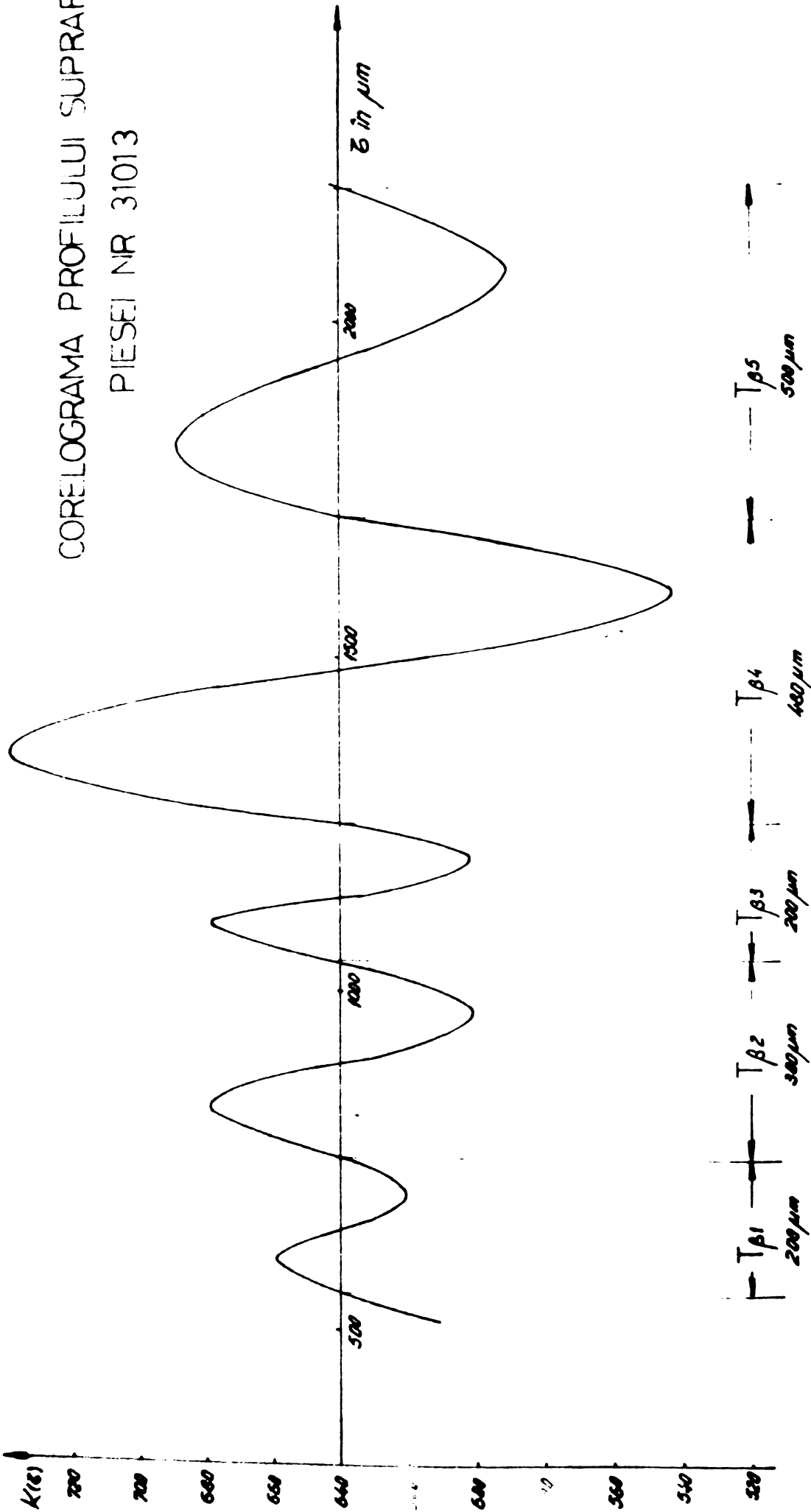
CORELOGRAMA PROFILULUI SUPRAFETEI PIESEI NR.2112.2



$n = 160 \text{ rot/min}$, $S = 0.315 \text{ mm/rot}$, $T = 1100^\circ\text{C}$, $V = 25.13 \text{ m/min}$.
 $T_\beta = 462 \mu\text{m}$, $D_\beta = 2.15 \mu\text{m}^2$, $Ra_\beta = 0.66/3 \mu\text{m}$, $K_\beta(\delta_\beta) = 24 \text{ mm}^2$
 $T_\gamma = 270 \mu\text{m}$, $D_\gamma = 861 \mu\text{m}^2$, $Ra_\gamma = 1.31/3 \mu\text{m}$, $K_\gamma(\delta_\gamma) = 24 \text{ mm}^2$
 $T_\delta = 650 \mu\text{m}$, $D_\delta = 10.76 \mu\text{m}^2$, $Ra_\delta = 1.97/3 \mu\text{m}$, $K_\delta(\delta_\delta) = 500 \mu\text{m}$

FIG. 7.14.

CORELOGRAMA PROFILULUI SUPRAFETEI
PIESEI NR 31013



$n = 315 \text{ rot/min}$, $S = 0,2 \text{ mm/rot}$, $T = 900^\circ\text{C}$, $V = 49,48 \text{ m/min}$.
 $n = 5$, $T_\beta = 330 \mu\text{m}$, $\bar{c}_p = 530 \mu\text{m}$, $D = 10,5 \mu\text{m}^2$, $D_\beta = 2,1 \mu\text{m}^2$, $D_\gamma = 8,4 \mu\text{m}^2$.
 $T_\gamma = \zeta, 37 \text{ mm}$, $Ra = 1,94/3 \mu\text{m}$, $Ra_\beta = 0,64/3 \mu\text{m}$, $Ra_\gamma = 1,30/3 \mu\text{m}$.
 $T = 0,17 \text{ mm}$, $K_\beta(\bar{c}_p) = 10 \text{ mm}^2$, $K_\gamma(\bar{c}_p) = 16 \text{ mm}^2$, $K(\bar{c}_p) = 26 \text{ mm}^2$.

FIG. Nr. 715.

să 2837 ordonate pentru corelogramă.

Corelogramele trasate se află prezentate în fig. 7.13; 7.14 și 7.15 iar prelucrarea relațiilor generale și de calcul al informațiilor obținute din corelogramele trasate sînt prezentate în tabelul Nr.25 iar curbele obținute și care definesc influența avansului, a vitezei de așchiere și a temperaturii la care are loc netezirea sînt reprezentate în figurile 7.16 ; 7.17 ; 7.18 ; 7.19; 7.20 și 7.21.

A. Influența avansului asupra profilului suprafeței.

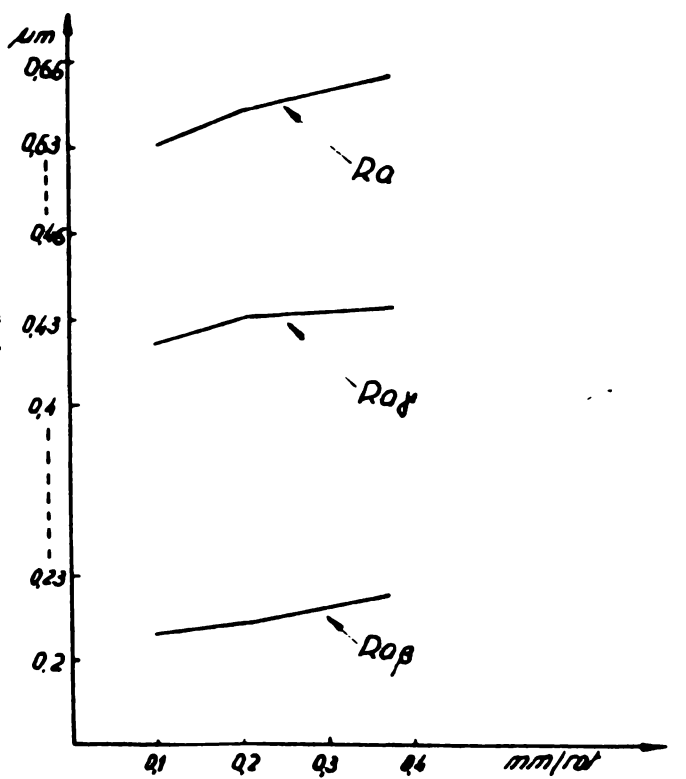


Fig 7.16/Influența avansului asupra lui R_a .

Din figurile 7.16 și 7.17 rezultă că cea mai mare influență o are avansul asupra componentei periodice a rugozității $R_{a\beta}$ și asupra distanței medii între abaterile de la formă, partea aperiodică $T_{a\gamma}$.

Analizînd cele două componente ale abaterilor medii aritmetice ale asperităților suprafeței, rezultă că partea aperiodică ($R_{a\gamma}$) are valori cam mari în comparație cu partea periodică ($R_{a\beta}$).

Deoarece $R_{a\gamma}$ depinde în mare măsură de starea tehnică a cinematicii mașinii unelte utilizate precum și de modul în care are loc desprinderea așchii și deformarea plastică de suprafață, acționînd asupra acestor factori, rugozitatea ar putea fi redusă în continuare pe seama reducerii componentei aperiodice.

Urmărind variația distanței medii între abaterile de la formă a profilului total T , a părții aperiodice $T_{a\gamma}$ și a celei periodice $T_{p\beta}$ rezultă un minim la $S = 0,2$ mm/rot. Încă odată cu creșterea distanței medii crescînd și suprafața portantă, evidențiază că situațiile cele mai avantajoase vor fi în acest caz

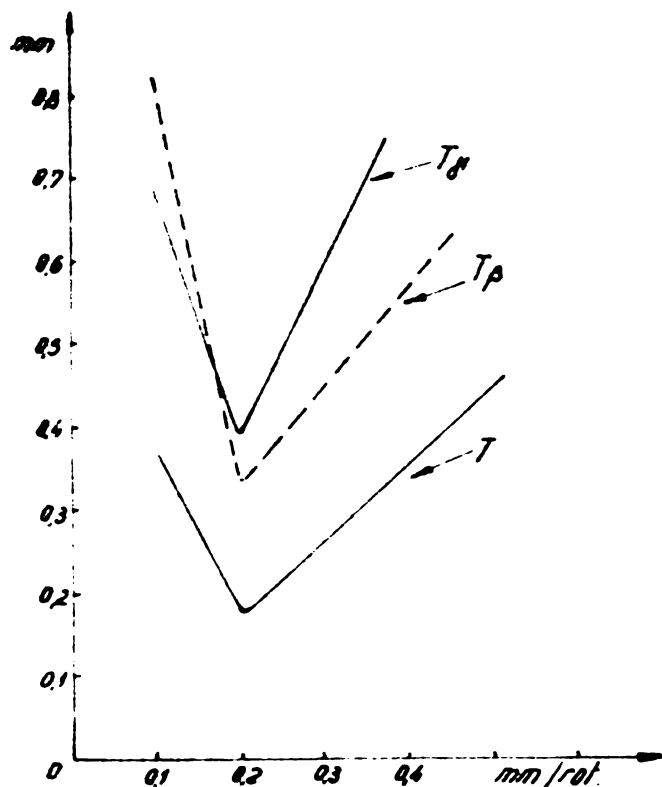


Fig 7.17 Influența avansului asupra
distanței medii între abaterile de la
formă.

pentru avansuri mai mici sau mai mari decât 0,2 mm/rot.

Din analiza acestor curbe, îndeosebi T care trebuie să fie foarte apropiat ca valoare cu avansul de lucru) și T , prezintă abateri destul de mari față de avansul utilizat, aceasta confirmă existența unei deformări plastice de suprafață neuniforme în particular și omogenă în general.

B. Influența vitezei de așchiere asupra profilului asperităților.

Componentele periodice R_a și T depind într-o foarte mică măsură de viteza de așchiere. Reducerea componentei periodice a abaterii aritmetice, cu creșterea vitezei de la 25,13 la 49,48 m/min este de cca 0,01 μ m. De asemenea și componenta aperiodică R_a se reduce cu aceeași creștere a vitezei de așchiere tot cu cca 0,01 μ m. Dar și în acest caz componenta aperiodică prezintă valori ridicate în comparație cu cea periodică. Concluziile ce pot fi desprinse rămân valabile cele de la influența avansului (fig. 7.13 și 7.19).

Deoarece distanța medie între abaterile de la formă cu reducerea vitezei de prelucrare, este avantajos să se adopte o viteză redusă pentru că odată cu aceasta crește suprafața portantă și în același timp și condițiile de încălzire prin inducție.

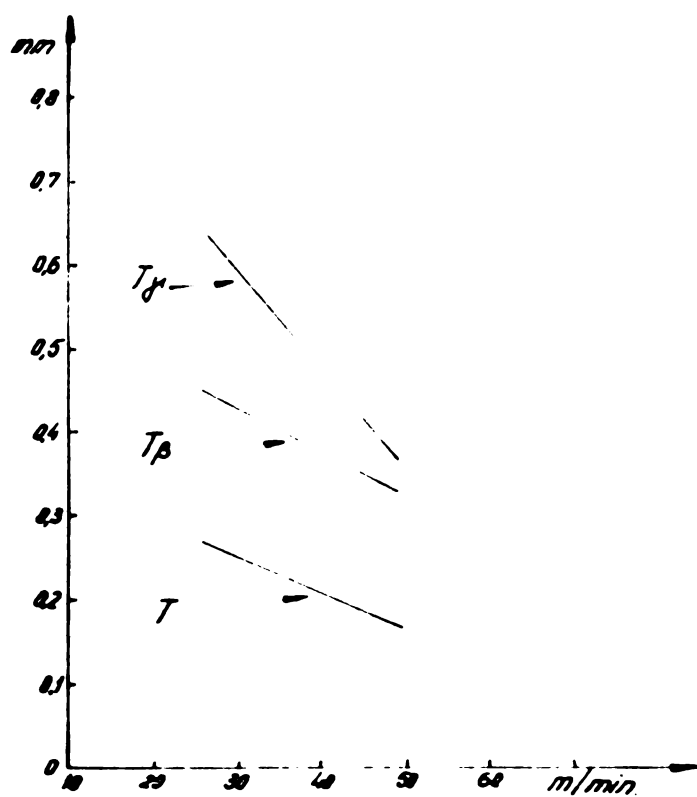


Fig. 7.18 Influența vitezei de aşchiere asupra distanței medii între abaterile de la formă.

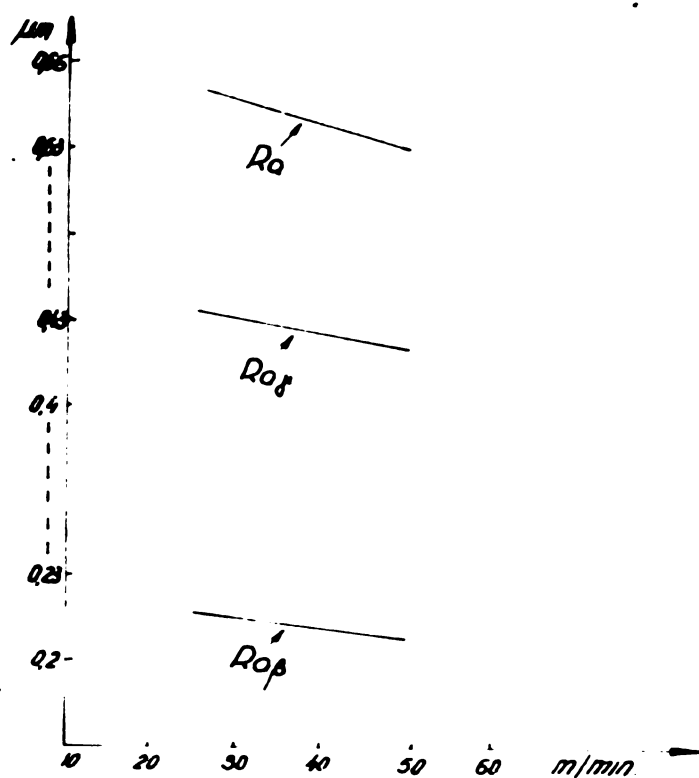


Fig. 7.19 Influența vitezei de aşchiere asupra lui R_a .

C. Influența temperaturii zonei de lucru asupra caracteristicilor profilului.

Așa cum se constată, informațiile ce pot fi obținute din reprezentarea grafică a influenței temperaturii asupra rugozității sînt de o amploare mai mică decît cele din 7.2. Se formează un maxim însă la 1100°C , rugozitatea reducîndu-se însă neesențial în stînga și dreapta acestei temperaturi.

De asemenea abaterea medie aritmetică a părții aperiodeice este mult prea mare comparativ cu cea periodică ce determină valoarea totală a abaterii medii a profilului.

În ce privește distanța medie între abaterile de la formă rezultă clar influența deformației plastice ca urmare a creșterii importante pe care o prezintă atît curba ce caracterizează partea periodică cît și cea aperiodică.

Din analiza efectuată rezultă unele concluzii importante privind influența unor factori tehnologici asupra calității suprafeței netezite electromecanic și anume :

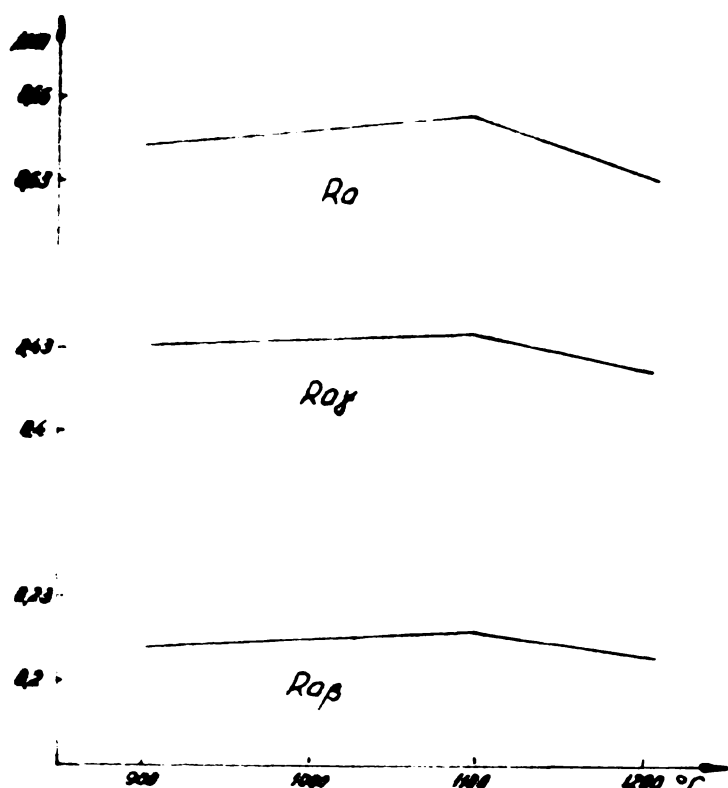


Fig. 720 Influența temperaturii asupra lui R_a .

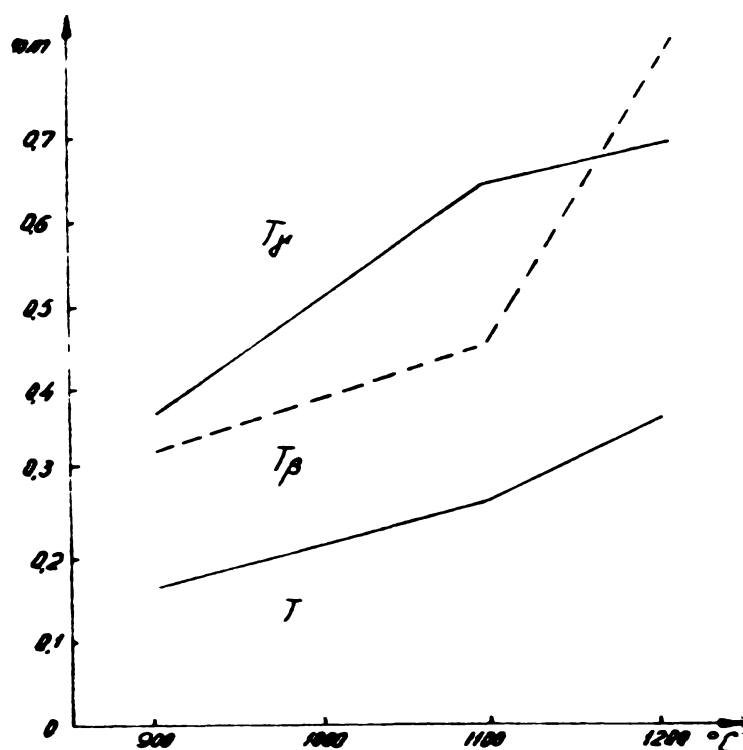


Fig. 721 Influența temperaturii asupra distanței medii între abaterile de la formă.

- viteza de așchiere (între 25,13...49,48 m/min), temperatura (între 900...1200°C) și chear avansul (între 0,1...0,315 mm/rot) au o influență redusă asupra rugozității;
- rugozitatea minimă, pentru cazurile analizate, se obține la $S = 0,1$ mm/rot. $V = 49,48$ m/min și $T = 1200^\circ\text{C}$
- suprafața portantă cea mai mare se obține la $S = 0,1$ mm/rot., $V = 49,48$ m/min și $T = 900^\circ\text{C}$.
- rugozitatea poate fi redusă prin utilizarea unei mașini unelte de precizie mai mare decât cea utilizată dar și prin îmbunătățirea în continuare a geometriei sculei.
- ca urmare a abaterilor destul de mari față de avans a distanței medii între abaterile de la formă ale suprafeței rezultă că netezirea este o urmare și a unei deformații plastice de suprafață.

8. UNELE ASPECTE DE EFICIENȚA ECONOMICĂ ALE NETEZIRII ELECTROMECHANICE A ARBORILOR.

Netezirea electromecanică a arborilor constituie un procedeu tehnologic de netezire și tratament termic al suprafeței prelucrate.

În urma aplicării procedurii de netezire a arborilor au rezultat posibilități de obținere a unor rugozități caracteristice rectificării de finisare și durității de călire - revenire. Rezultă deci, că procedeuul poate înlocui eficient tratamentul termic de suprafață, rectificarea I-a și rectificarea II-a a arborilor.

Evaluarea avantajelor tehnico-economice pe care le prezintă netezirea electromecanică a arborilor se face prin aplicarea acestui procedeu la prelucrarea bolțurilor piston LDE.

Se prezintă în continuare unele aspecte legate de eficiența aplicării procedurii rezultate din contractul de cercetare științifică încheiat cu Întreprinderea Constructoare de Mașini din Reșița.

Condițiile de calitate a suprafeței impuse la prelucrarea în prezent a bolțurilor LDE sînt următoarele :

- rugozitatea maximă $R_t < 10 \mu m$
 - duritatea minimă 58 HRC
- (materialul utilizat 13 CN 35 cementat)

Operațiile aplicate la prelucrarea bolțurilor și care pot fi înlocuite prin netezire electromecanică sînt :

- tratament termic 4,5 ore/buc
(călire+revenire)
 - sablare 0,1 ore/buc.
 - rectificare I 0,45 ore/buc.
 - rectificare II 0,45 ore/buc.
- Total timp de bază 5,50 ore/buc.
Total timp auxiliar 0,79 ore/buc.

iar timpul total $T = t_b + t_a$ este

$$T = 5,50 + 0,79 = 6,29 \text{ ore/buc.}$$

În varianta de netezire electromecanică calitatea suprafeței obținute :

- rugozitatea maximă $R_t < 5 \mu m$
- duritatea 52...55 HRC (pentru OLC 60)

și timpul de execuție :

- netezire electromecanică 0,21 ore/buc.

iar timpul auxiliar $t_a = 0,19$ ore/buc.

Rezultă timpul total $t = 0,21 + 0,19 = 0,4$ ore/buc.

Luîndu-se în considerare la calculul de eficiență economică numai manopera pentru o producție de 1200 bolțuri pe an și o regie a secției de 650 % (regia secției motoare Diesel) rezultă următoarele :

- economia de manoperă pe un bolț piston

$$T_o = 6,29 - 0,4 = 5,89 \text{ ore/buc.}$$

- economia de manoperă la producția anuală de 1200 bolțuri.

$$T_a = 5,89 \cdot 1200 = 7068 \text{ ore/buc.}$$

- eficiența economică rezultă în urma reducerii de manoperă pe secție

$$E_{an} = 7068 \cdot 9,27 \cdot 6,5 = 425.882,34 \text{ lei/an și secție.}$$

Dacă se are în vedere faptul că în construcția de mașini numărul pieselor de forma arborilor la care se pretează aplicarea netezirii electromecanice a arborilor, este foarte mare, rezultă amploarea efectelor economice pozitive ale procedurii.

9. CONCLUZII

Lucrarea prezentată pe baza cercetării realizate atestă punerea la punct a unui nou procedeu tehnologic de netezire. Din determinările efectuate și prelucrarea datelor rezultă că netezirea electromecanică a arborilor poate fi definit drept un procedeu de prelucrare de netezire a suprafețelor cilindrice ce se realizează prin desprindere de așchii și deformare plastică a asperităților suprafeței, urmată de transformări structurale de suprafață, caracteristice călirii-revenirii.

Suprafața obținută prin netezire electromecanică prezintă un grad ridicat de netezime cu o rugozitate $R_a < 0,4 \dots 0,6 \mu\text{m}$, $R_t < 2 \dots 2 \mu\text{m}$, cu asperități lipsite de vîrfuri ascuțite și a căror formă globală poate fi încadrată în una trapezoidală cu unghiul flancurilor de $5 \dots 9^\circ$, suprafață portantă mare, duritate ridicată etc., ceea ce presupune manifestarea unei rezistențe ridicate la oboseală și uzură.

A. Lucrarea aduce o contribuție în unele aspecte de cercetare fundamentală cum este de exemplu: modul de variație a temperaturii în secțiunea încălzită prin inducție, schimbarea temperaturii de trecere de la feromagnetism la paramagnetism, modul de desprindere a așchii și de deformare plastică a asperităților suprafeței și interpretarea prin funcții de corelație a rugozității la netezirea electromecanică.

Aspectele cele mai importante care rezultă, în acest sens din cercetarea efectuată sînt următoarele :

1. Variația temperaturii în secțiunea încălzită prin inducție se face după o curbă ondulatorie ce se amortizează după o exponențială ;

2. De la cca $40^\circ\text{C}/\text{s}$ odată cu creșterea vitezei de încălzire, punctul de trecere de la feromagnetism la paramagnetism se deplasează spre temperaturi superioare lui 768°C .

3. Desprinderea așchii se face la $t - t_1$ adică la o adîncime mai mică de profunzimea la care se află muchia tăietoare. Secțiunea t_2 este refulată și apoi suprafața netezită pe fața de așezare a sculei.

4. Interpretarea rugozității suprafeței drept o funcție aleatoare și aplicarea teoriei de studierea lor cu ajutorul funcțiilor de corelație privind influența temperaturii, a vitezei de netezire și avansului asupra rugozității constituie o extindere a posibilităților de analiză a calității suprafețelor și în același timp, o completare originală a legităților stabilite experimental.

B. Contribuția cea mai importantă pe care o aduce lucrarea se referă însă la evidențierea într-o măsură cît mai completă a restricțiilor și variațiilor acceptabile ale factorilor tehnologici pentru obținerea celor mai înalți parametri

pentru suprafața netezită electromecanic.

Contribuțiile aduse de lucrare la punerea tehnologică la punct a procedurii are la bază o bogată cercetare experimentală și a căror rezultate, în esență, se referă la următoarele aspecte :

1. Inductorul original proiectat și experimentat a dat satisfacții depline. Permite efectuarea reglajelor tehnologice cu ușurință, nu influențează termic scula, evită în mare măsură scurtcircuitarea cu așchii a sistemului inductor-piesă și determină o încălzire favorabilă a piesei pentru obținerea transformărilor structurale de suprafață.

2. Dispozitivul de fixare a piesei cu compensarea dilatației se dovedește deosebit de util eliminând în totalitatea deformațiile la cald.

3. În condițiile utilizării unei surse de 8000 Hz, se pot realiza prin reglaje simple o varietate mare de parametri pentru stratul de suprafață încălzit al piesei în vederea netezirii electromecanice.

4. De o deosebită utilitate în evidențierea experimentală a modului în care are loc încălzirea prin inducție și răcirea pentru transformări structurale a constituit-o metoda de măsurare a temperaturii în secțiune cu ajutorul termocuplelor.

5. Reprezentarea grafică a variației parametrilor tehnologici la încălzire și răcire, pentru obținerea unei grosimi minime de oxizi, a unei rugozități minime și duritate maximă etc., asigură o aplicabilitate imediată în producție a cercetării.

6. Stabilirea unor relații practice de calcul a punctului Curie funcție de viteza de încălzire pentru OLC 45 și OLC 60, precum și relațiilor necesare stabilirii regimului electric și termic funcție de parametrii tehnologici

7. Transformările structurale de suprafață asigură obținerea unei durități ridicate în condițiile în care nu se necesită aplicarea unui tratament de revenire. Trecerea de la structura de revenire la cea de călire și apoi la neinfluențată termic se face treptat.

Tensiunile interne sînt relativ mici iar cele de suprafață prezintă o orientare favorabilă unei rezistențe ridicate la oboseală.

7. Din constatările experimentale rezultă că netezirea electromecanică este posibilă de a fi aplicată nu numai arborilor ci și alezajelor.

Procedeul de netezire electromecanică prezintă o eficiență economică și productivitate ridicată. Eficiența economică de cca 425.000 lei anual și o creștere a productivității muncii de 15,7 ori la bolțul piston LDE, sînt date insuficient de semnificative, calculul se referă la un singur reper iar în construcția de mașini numărul reperelor la care se pretează aplicarea acestui procedeu este foarte mare.

Din cercetarea efectuată au rezultat însă și unele aspecte care necesită a fi reluate pentru creșterea gradului cunoașterii și posibilităților tehnologice. Printre asemenea probleme se află următoarele : randamentul inductorului, trecerea de la feromagnetism la paramagnetism, deformarea în prezența apei a cîmpului electromagnetic, variația temperaturii în secțiunea piesei încălzite și altele, precum și aspecte care privesc punerea la punct a procedurii : îndepărtarea așchiilor din zona de lucru și îmbunătățirea uniformității duriții pe generatoarea piesei netezite.

Se poate aprecia că cercetarea efectuată, rezultatele obținute sînt de o importanță majoră încadrîndu-se organic în contextul revoluției tehnico-științifice actuale.

.

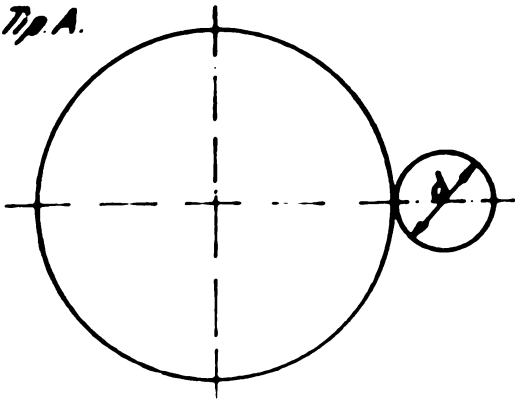
10. A N E X E

CU DATE EXPERIMENTALE, DE CALCUL,
SI UNELE REPREZENTARI GRAFICE.

TIPURILE DE SCULE UTILIZATE.

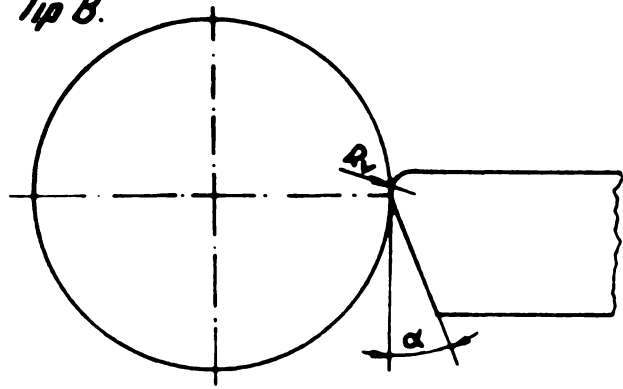
TABELUL NR.1.

Tip A.



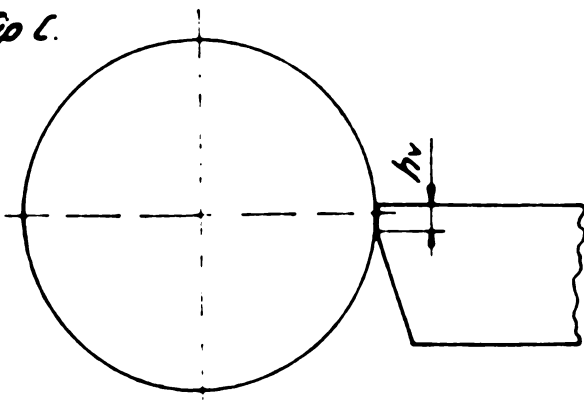
$d = 7,4; 9; 11,5 \text{ mm}$

Tip B.



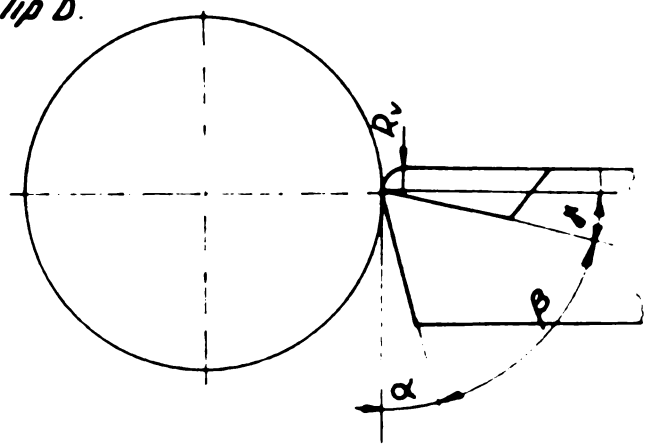
$R_v = 1; 5; 10 \text{ mm}$
 $\alpha = 0 \dots 10^\circ$

Tip C.



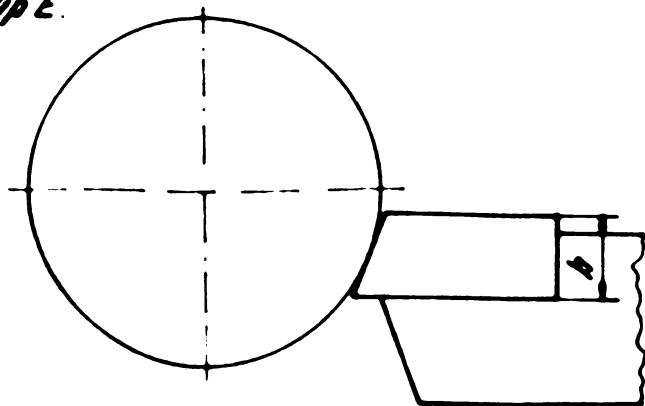
$h_v = 0,1 \dots 2 \text{ mm}$

Tip D.



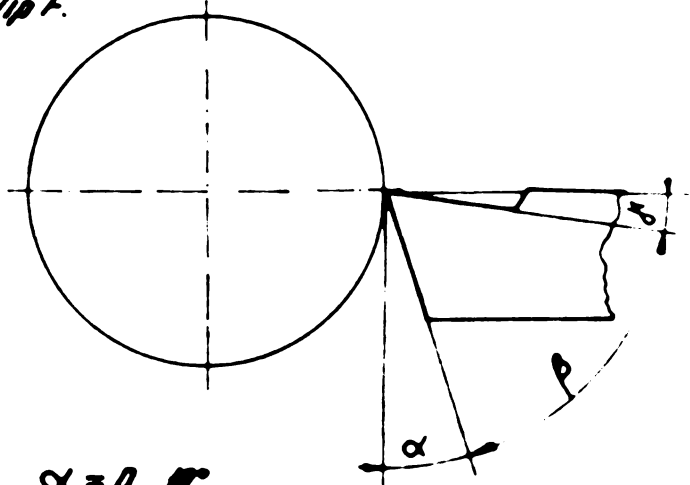
$R_v = 1; 5; 10 \text{ mm}$
 $\alpha = 0 \dots 10^\circ$
 $p = 0 \dots 10^\circ$

Tip E.



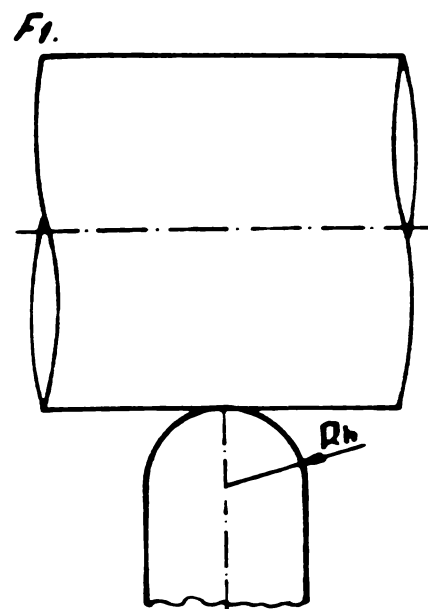
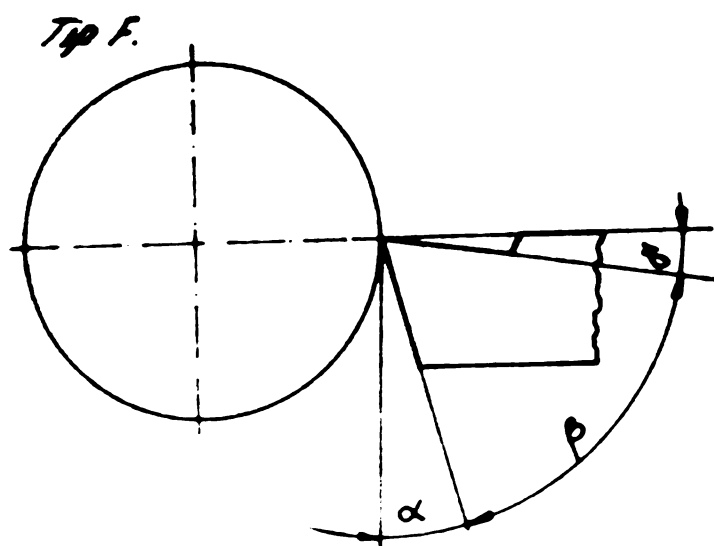
$h = 3 \text{ mm}$

Tip F.

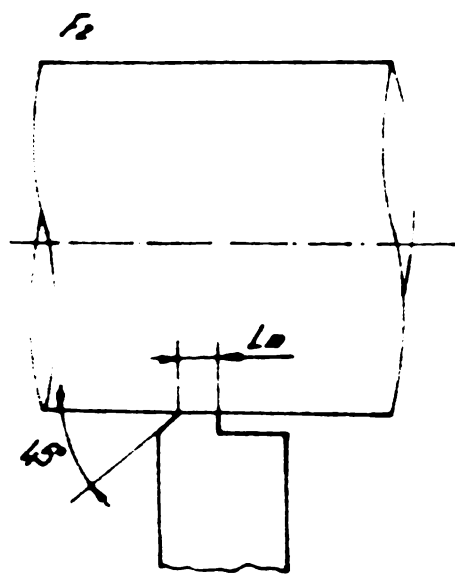


$\alpha = 0 \dots 10^\circ$
 $p = -10 \dots 0 \dots 10^\circ$

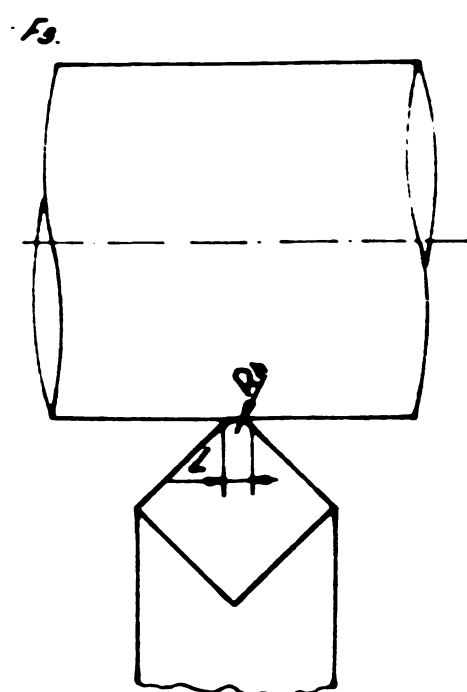
CONTINUARE LA TABELUL NR.1.



$R_h = 5 \dots 15 \text{ mm}$



$L_m = 0,5; 1; 2; 3 \text{ mm}$



$R_h = 2 \dots 6 \text{ mm}$
 $L = 2 \text{ mm}$

Materiale utilizate pentru partea Hărtărie

Carburi metalice	S ₆ , S ₄ , Ti S3T, S22T, K20T.
Alumini	100 X Al603
Carburi ceramice	CB

TABELUL NR. 2.

Modul de interpretare a curbelor de pe graficele înregistrărilor și de completare a tabelelor cu datele experimentale.

1. Parametrii electrici.

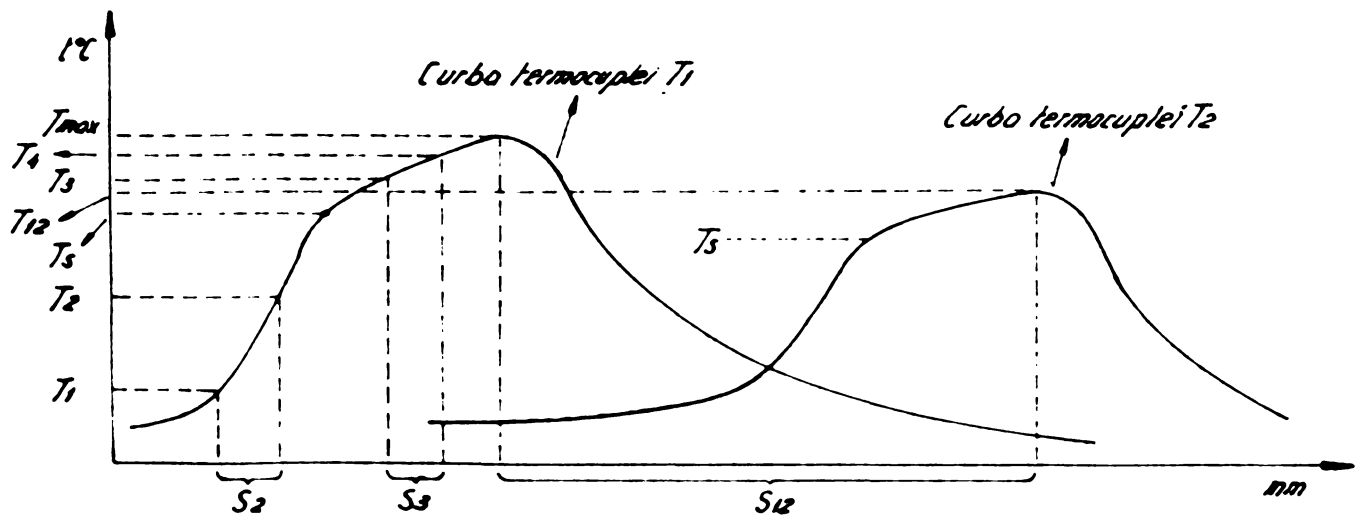
$$U_i = \frac{U_t}{i} \text{ V}$$
 în care: U_i - tensiunea la inductor în V.
 U_t - tensiunea la primarul transformatorului în V.
 $i = 10$ raportul de transformare.

$$I_i = I_t \cdot i \text{ A}$$
 în care: I_i - curentul la inductor în A.
 I_t - curentul la primarul transformatorului în A.

$$P_i = P_t \cdot \eta_t \text{ kw}$$
 în care: P_i - puterea la inductor în kw.
 P_t - puterea la transformator în kw.
 $\eta_t = 0,75$ randamentul transformatorului.

$$P_s = \frac{P_i}{S_i} \text{ kw/cm}^2$$
 în care: P_s - puterea specifică în kw/cm²
 $S_i = 8,625 \text{ cm}^2$ suprafața de lucru a inductorului.

2. Parametrii la încălzirea în dreptul termocuplelor.



T_{xy} - temperatura maximă la termocupla T_y pentru încălzirea efectuată în dreptul termocuplei T_x

$$V_1 = \frac{T_2 - T_1}{S_2} \cdot V_b \text{ } ^\circ\text{C/s}$$
 în care: V_1 - viteză de încălzire pînă la T_2 .
 $T_1, T_2, T_3, T_4, T_{max}$ - temperaturi în $^\circ\text{C}$.
 S_2, S_3 - spații în mm
 $V_b = 2,75 \text{ mm/s}$ viteză de deplasare a graficului la înregistrator.

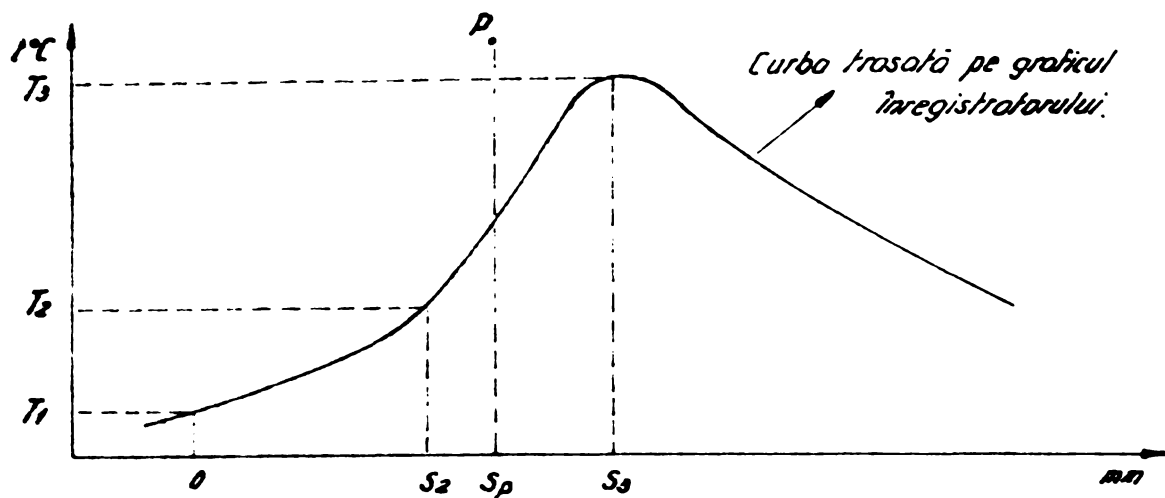
$$V_2 = \frac{T_4 - T_3}{S_3} \cdot V_b \text{ } ^\circ\text{C/s}$$
 în care: V_2 - viteză de încălzire a piesei la temperaturi mai mari de T_3
 T_3 - temperatura de transformare.

$$V_x = \frac{T_{max}}{t} \text{ } ^\circ\text{C/s}$$
 în care: V_x - viteză de încălzire cu profunzimea.

$$V_y = \frac{T_{max} - T_{xy}}{t} \text{ } ^\circ\text{C/s}$$
 în care: V_y - viteză de încălzire la suprafața piesei.

CONTINUARE LA TABELUL NR.2.

3. Incalzirea prin inductie a piesei în repaus cu inductorul în mişcare.



$$V_1 = \frac{T_2 - T_1}{S_2} \cdot V_0 \quad ^\circ\text{C/s}$$

în care: T_1, T_2, T_3 - temperaturi în $^\circ\text{C}$.
 S_2, S_3 - spații în mm.

$V_0 = 2,75 \text{ mm/s}$ - viteza de deplasare a graficului înregistrator.

$$V_2 = \frac{T_3 - T_2}{S_3 - S_2} \cdot V_0 \quad ^\circ\text{C/s}$$

în care: V_1 - viteză de încălzire prin conducție.
 V_2 - viteză de încălzire prin inducție.

$$V_{tm} = \frac{T_3 - T_1}{S_3} \cdot V_0 \quad ^\circ\text{C/s}$$

în care: V_{tm} - viteză medie de încălzire.

$$\Delta t = \frac{S_3 - S_p}{V_0} \quad \text{s}$$

în care: $S_3 - S_p$ este distanța între punctul aflat sub inductor și punctul de temperatură maximă în mm.

Δt - timpul între cele două repere pe graficul înregistratorului.

$$\Delta S = V' \cdot \Delta t \quad \text{mm}$$

în care: ΔS - distanța între inductor și poza de temperatură maximă pe piesă.

V' - viteză de deplasare a inductorului în mm/s.

$$V' = \frac{n \cdot S}{60} \quad \text{mm/s}$$

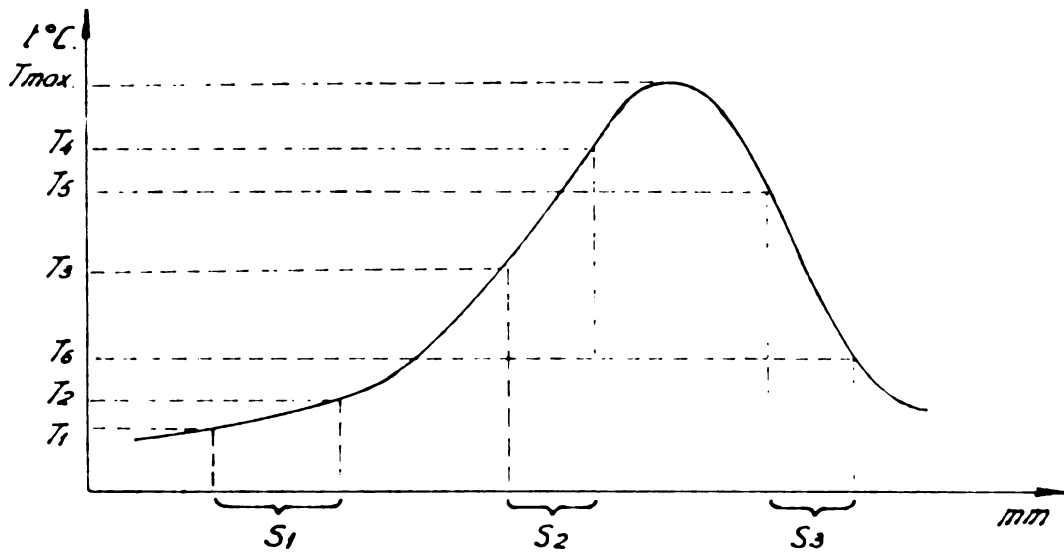
în care: n - rotația universului în rot/min.
 S - avansul inductorului în mm/rot.

$$V_{T1} = \frac{T_3 - T_2}{\Delta t} \quad ^\circ\text{C/s}$$

în care: V_{T1}, V_{T2} - viteză de încălzire a piesei când inductorul se află deasupra termocuplei.

CONTINUARE LA TABELUL NR. 2.

4. Incalzire si racire cu inductor si racitor in miscare si piesa in repaus.



$$V_1 = \frac{T_2 - T_1}{S_1} \cdot V_6 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

in core : V_1 - viteza de incalzire prin conductie.
 $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ - temperaturi in $^\circ\text{C}$.
 S_1, S_2, S_3 - spatii in mm.
 $V_6 = 2,75 \text{ mm/s}$ - viteza graficului.

$$V_2 = \frac{T_4 - T_3}{S_2} \cdot V_6 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

in core : V_2 - viteza de incalzire prin inductie.

$$V_r = \frac{T_5 - T_6}{S_3} \cdot V_6 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

in core : V_r - viteza de racire.

CONTINUTARE PE ORIZONTALA LA TABELUL NR. 3.

Nr Cil	Parametri Termici la Temperatura T ₆							Parametri Termici la Temperatura T ₅							Parametri Termici la Temperatura T ₄													
	T _{max} °C	T ₅₁ °C	T ₅₂ °C	T ₅₃ °C	T ₅₄ °C	T ₅₅ °C	V ₄ °C/s	T _{max} °C	T ₅₁ °C	T ₅₂ °C	T ₅₃ °C	T ₅₄ °C	T ₅₅ °C	V ₄ °C/s	T _{max} °C	T ₅₁ °C	T ₅₂ °C	T ₅₃ °C	T ₅₄ °C	T ₅₅ °C	V ₄ °C/s	T _{max} °C	T ₅₁ °C	T ₅₂ °C	T ₅₃ °C	T ₅₄ °C	T ₅₅ °C	V ₄ °C/s
1	100	-	-	-	-	-	165	70	-	-	-	-	-	-	180	-	-	-	-	-	-	2,15	500	100	70	180	909	268
2	70	-	-	-	-	-	115	140	-	-	-	-	-	-	640	-	-	-	-	-	-	10,65	150	-	-	-	2,5	-
3	260	-	-	-	-	-	4,30	6,50	-	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-	-	-	4,0	120	-	-	-	2,0	-
4	900	-	50	180	45	30	15,0	120	-	-	-	-	-	45	30	-	-	-	-	-	-	0,75	30	-	-	-	0,5	-
5	180	-	-	-	-	-	3,0	6,80	-	-	-	-	-	8,33	8,5	-	-	-	-	-	-	1,11	45	-	-	-	0,25	-
6	600	-	-	180	40	25	14,83	150	-	-	-	-	-	2,66	40	-	-	-	-	-	-	0,65	25	-	-	-	0,14	-
7	600	80	200	160	50	15	14,63	160	-	-	-	-	-	2,66	50	-	-	-	-	-	-	0,83	15	-	-	-	0,25	-
8	165	-	-	-	-	-	8,04	45	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	75	-	-	-	-	-	1,25	25	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	100	-	-	-	-	-	1,65	30	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	105	-	-	-	-	-	1,75	35	-	-	-	-	-	0,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	305	-	-	-	-	-	8,25	60	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	810	-	-	-	-	-	5,10	65	-	-	-	-	-	1,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1160	100	300	275	-	-	10,15	275	-	-	-	-	-	4,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	365	-	-	-	-	-	8,08	60	120	365	275	105	15,05	0,33	275	-	-	-	-	-	-	4,58	105	-	-	-	1,25	-
16	365	-	-	-	-	-	6,08	65	140	365	270	115	15,78	0,68	270	-	-	-	-	-	-	4,5	105	-	-	-	1,25	-
17	130	-	-	-	-	-	2,15	80	-	-	-	-	-	5,5	885	-	-	-	-	-	-	14,75	280	-	-	-	4,66	-
18	50	-	-	-	-	-	0,89	80	-	-	-	-	-	1,33	250	-	-	-	-	-	-	4,15	700	50	80	250	13,15	90
19	50	-	-	-	-	-	0,89	80	-	-	-	-	-	1,33	340	-	-	-	-	-	-	5,66	880	50	80	340	14,83	0,16
20	105	-	-	-	-	-	1,25	330	-	-	-	-	-	5,5	980	-	-	-	-	-	-	15,33	270	-	-	-	4,5	-
21	400	-	-	-	-	-	6,65	1030	50	120	400	260	95	17,15	260	-	-	-	-	-	-	4,33	65	-	-	-	1,58	-
22	1340	100	300	260	80	25	22,33	260	-	-	-	-	-	4,33	80	-	-	-	-	-	-	1,33	25	-	-	-	0,41	-
23	330	-	-	-	-	-	5,63	95	-	-	-	-	-	1,38	40	-	-	-	-	-	-	0,65	-	-	-	-	-	-
24	200	-	-	-	-	-	3,89	105	-	-	-	-	-	1,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	100	-	-	-	-	-	1,65	50	-	-	-	-	-	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	120	-	-	-	-	-	2,0	60	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	310	-	-	-	-	-	5,15	90	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	300	-	-	-	-	-	4,5	140	-	-	-	-	-	2,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	940	100	300	105	60	30	31,33	105	-	-	-	-	-	6,5	60	-	-	-	-	-	-	2,0	30	-	-	-	1,0	-
30	225	-	-	-	-	-	7,5	965	40	225	200	70	32,15	24,66	200	-	-	-	-	-	-	6,66	70	-	-	-	2,33	-
31	80	-	-	-	-	-	2,65	210	-	-	-	-	-	7,0	985	30	30	80	210	140	39,15	140	140	210	140	26,15	4,66	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	245	-	-	-	-	-	-	6,16	660	-	-	-	20,66	10,25

INCALZIREA PIESEI IN DREPTUL TERMOCUPELOR CU INDUCTORUL IN REPAUS OL C 45

TABELUL NR. 4.

NOM	Parametri electri				Parametri termici la temperatura T1							Parametri termici la temperatura T2												
	U ₁ V	I ₁ A	cosφ	P _e kW	P ₁ kW	P _s kW	t s	T _{max} °C	T ₁₂ °C	T ₁₃ °C	T ₁₄ °C	V ₁ °C/s	V ₂ °C/s	T _s °C	T _{max} °C	T ₂₁ °C	T ₂₂ °C	T ₂₃ °C	T ₂₄ °C	T ₂₅ °C	V ₁ °C/s	V ₂ °C/s	T _s °C	
1	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	60	50	-	-	-	0,83	-	-	110	-	-	-	-	-	1,83	-	-	-
4	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	60	100	-	-	-	1,66	-	-	440	-	-	-	-	-	2,33	-	-	-
5	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	60	300	-	-	-	6,5	-	-	1200	-	-	-	-	-	13,5	-	-	650
6	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	40	800	-	-	60	20,35	-	-	1000	-	-	-	-	-	50	-	-	-
7	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	50	1130	-	-	70	23,4	-	-	770	-	-	-	-	-	25	-	-	-
8	825	1400	0,72	67	50,25	5,82	60	1160	-	-	80	12,33	-	-	940	-	-	-	-	-	54	-	-	-
9	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	1020	-	-	60	18	-	-	280	-	-	-	-	-	300	-	-	-
10	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	1080	-	-	70	18	-	-	340	-	-	-	-	-	4,66	-	-	-
11	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	340	-	-	60	3,66	-	-	1080	-	-	-	-	-	5	-	-	800
12	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	100	-	-	-	1,66	-	-	440	-	-	-	-	-	6,08	-	-	-
13	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	100	-	-	-	1,66	-	-	360	-	-	-	-	-	6	-	-	-
14	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	75	-	-	-	1,23	-	-	100	-	-	-	-	-	1,66	-	-	-
15	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	60	-	-	-	1	-	-	70	-	-	-	-	-	1,16	-	-	-
16	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	60	-	-	-	1	-	-	60	-	-	-	-	-	1	-	-	-
17	75	1200	0,8	52	50	4,52	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	625	1000	0,8	45	34,75	3,01	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	625	1000	0,8	45	34,75	3,01	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	625	1120	0,8	45	33,75	3,01	60	40	-	-	-	0,83	-	-	50	-	-	-	-	-	0,83	-	-	-
21	625	1120	0,8	45	34,75	3,01	60	40	-	-	-	0,66	-	-	100	-	-	-	-	-	1,66	-	-	-
22	625	1120	0,8	45	34,75	3,01	60	100	-	-	-	1,66	-	-	200	-	-	-	-	-	1,66	-	-	-
23	625	1120	0,8	45	34,75	3,01	60	100	-	-	-	1,66	-	-	300	-	-	-	-	-	1,66	-	-	-
24	625	1120	0,8	45	34,75	3,01	60	300	-	-	-	4,83	-	-	720	-	-	-	-	-	12	-	-	-
25	625	1120	0,8	45	34,75	3,01	60	360	-	-	-	4,83	-	-	940	-	-	-	-	-	12	-	-	-
26	625	1000	0,8	45	33,75	3,01	60	600	-	-	60	14,83	-	-	760	-	-	-	-	-	10,83	-	-	820
27	625	1000	0,8	45	33,75	3,01	60	650	-	-	70	11,16	-	-	780	-	-	-	-	-	10,83	-	-	-
28	625	1000	0,8	45	33,75	3,01	60	900	-	-	80	9,83	-	-	780	-	-	-	-	-	10,83	-	-	-
29	625	1000	0,8	45	33,75	3,01	60	250	-	-	60	11,16	-	-	810	-	-	-	-	-	10,83	-	-	-
30	625	1000	0,8	45	33,75	3,01	60	100	-	-	60	12	-	-	150	-	-	-	-	-	2,16	-	-	-
31	50	800	0,9	22	16,5	1,81	60	750	-	-	60	12,16	-	-	140	-	-	-	-	-	12	-	-	-
31	50	800	0,9	22	16,5	1,81	60	750	-	-	60	12,16	-	-	140	-	-	-	-	-	2,33	-	-	-

ANEXA LA TABELUL NR.4.

DATE DE CALCUL

Nr crt	Tip de calcul	Parametri la intrare T1										Parametri la iesire T2									
		S12 mm	S1 mm	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	V1 °C/s	V2 °C/s	Δt s	S12 mm	Δt s	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	V1 °C/s	V2 °C/s	T5 °C		
4				100																	
5			20	200	200																
6			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
7			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
8			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
9			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
10			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
11			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
12			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
13			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
21				100																	
22			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
23			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
24			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
25			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
26			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
27			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
28			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
29			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
30			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
31			20	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	

DATE DE CALCUL PENTRU TERMOCUPLELE T1 SI T2 ANEXA LA TABELUL NR.5.

	T1										T2																
	T1 °C	T2 °C	T3 °C	S2 mm	S3 mm	V1 °C/s	V2 °C/s	Vem °C/s	ΔS1 mm	ΔS2 mm	Ti °C	Tj °C	S2 mm	S3 mm	V1 °C/s	V2 °C/s	Vem °C/s	ΔS1 mm	ΔS2 mm	Ti °C	Tj °C	V71 °C/s	V72 °C/s	Δt1 s	Δt2 s	ΔS mm	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	250	470	1270	80	150	504	3300	147	1403	147	268	430	72	150	472	2401	1728	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	140	330	900	81	150	645	2271	1403	1403	147	200	350	83	150	446	2125	1528	33	-	630	-	-	-	120	-	905	
4	200	420	1370	91	150	654	4427	2145	1388	147	250	460	91	150	634	4208	2071	24	32	1130	980	275	2864	422	1163	911	
5	120	300	1140	95	150	530	443	1470	1700	147	100	320	90	150	387	4405	1706	21	25	650	650	2400	3000	263	900	801	
6	120	200	900	85	150	363	2544	1448	940	147	170	320	98	150	420	3278	1411	23	23	580	580	3045	4414	436	1418	877	
7	110	260	970	80	150	340	630	1425	660	147	130	270	82	150	288	4819	971	35	35	450	430	2045	1925	400	882	1144	
8	110	200	1240	100	150	463	3817	2871	1330	147	120	310	100	150	422	508	2035	20	22	630	620	3837	5310	727	800	966	
9	120	220	940	97	150	240	3026	1488	1020	147	110	250	99	150	368	4906	1608	20	30	700	580	2200	2200	727	1000	966	
10	110	170	800	100	150	110	1487	1458	870	147	100	190	102	150	453	4230	1411	25	25	460	440	4400	6230	900	900	1108	
11	110	150	500	100	150	100	904	715	560	147	100	160	90	150	163	1433	843	30	30	280	280	1904	1430	1163	1000	1449	
12	110	100	1600	104	150	211	2304	1923	1120	147	120	260	108	150	350	6834	1833	18	28	660	560	2538	6430	654	836	1065	
13	110	130	870	110	150	250	1330	1433	850	147	150	260	112	150	270	4903	1446	24	24	840	840	6625	5043	840	822	1328	
14	110	130	560	101	150	287	1225	861	580	147	110	190	100	150	230	2036	826	28	28	330	330	2470	2470	1054	845	1249	
15	110	120	360	63	150	243	1703	675	410	147	100	160	60	150	275	1748	832	16	16	310	310	1375	1648	363	546	602	
16	120	230	970	98	150	321	4100	2882	940	147	160	250	83	150	392	4905	2862	18	18	660	660	3208	4208	654	561	1065	
17	-	180	640	87	150	-	6573	-	550	147	-	-	-	-	-	-	-	7	-	360	-	5802	-	264	-	846	
18	70	130	420	81	150	169	4197	962	410	147	80	110	81	150	141	4842	907	16	10	210	260	3039	4235	345	363	1414	
19	100	110	300	73	150	837	1935	55	320	147	70	110	79	150	150	276	687	14	15	200	220	1964	1839	589	546	1604	
20	70	120	370	66	150	138	5729	423	300	147	60	110	86	150	169	530	687	7	0	250	220	4714	5004	264	327	1333	
21	80	120	380	68	150	103	3858	297	300	147	90	110	84	150	165	4412	825	9	9	180	260	6111	4008	327	327	1716	
22	80	110	200	67	150	163	3487	315	300	147	80	110	87	150	163	4180	577	0	0	240	240	2444	2862	327	290	1716	
23	90	120	290	51	150	161	5104	946	300	147	80	110	44	150	171	4354	1020	5	7	240	180	4400	4321	161	264	969	
24	90	110	310	51	150	187	6111	1008	320	147	80	110	48	150	144	4812	1054	7	7	180	180	4714	5087	264	264	1801	
25	110	120	300	50	150	135	4406	819	320	147	100	120	40	150	142	390	1008	7	8	180	170	4321	5108	264	260	1801	
26	200	370	900	80	150	45	2882	1203	600	147	150	360	79	150	487	2130	1265	28	28	700	710	1739	1864	946	1018	784	
27	100	320	600	64	150	423	1400	808	660	147	120	200	70	150	353	1271	843	30	30	630	470	1748	1375	832	1301	723	
28	120	240	900	76	150	273	1100	808	540	147	130	220	69	150	389	1257	791	82	36	460	400	945	1100	1163	1272	963	
29	110	200	600	63	150	291	300	916	500	147	120	240	63	150	407	1408	861	28	27	400	410	2062	1833	1018	901	1065	
30	100	140	410	52	150	211	270	832	410	147	100	120	50	150	140	1700	832	16	14	350	330	1031	1371	601	589	772	
31	130	220	800	54	150	453	4462	2062	830	147	110	220	55	150	350	3850	2665	24	21	510	460	1230	6107	872	763	1417	

INCALZIREA PIESEI IN REPAUS CU INDUCTOR MOBIL. OLC 45 TABELUL NR 6

Nr.	Parametri electrice										T ₁		T ₂		T ₃		T ₄		T ₅		T ₆			
	U _i V	I _i A	cos φ	P _t kW	P _i kW	P _s kVA	X mm	λ _{max} %	V _{em} % / S	V ₁ % / S	V ₂ % / S	X mm	λ _{max} %	V ₁ % / S	V ₂ % / S	X mm	λ _{max} %	X mm	λ _{max} %	X mm	λ _{max} %	S mm ²	V mm ²	V' mm ²
1.	75	1000	0,75	34,25	34,25	34,4	1	650	-	-	-	3	650	4	640	4	640	6	700	6	640	60	50	600
2.	70	1200	0,65	33,70	33,70	33,8	1	630	4,57	10,9	3	630	4	620	4	620	5	700	5	630	5	630	50	600
3.	70	1400	0,60	34,30	34,30	34,4	1	600	3,77	20,0	3	620	4	600	4	600	6	720	6	600	6	600	50	600
4.	60	1200	0,65	33,35	33,35	33,4	1	600	4,67	22,4	3	620	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	50	600
5.	60	1220	0,64	34,50	34,50	34,6	1	600	4,40	20,2	3	600	4	640	4	640	5	660	5	660	5	660	40	600
6.	61	1200	0,65	34,00	34,00	34,1	1	600	3,50	14,6	3	600	4	620	4	620	5	680	5	680	5	680	31	630
7.	62	940	0,73	34,00	34,00	34,1	1	600	4,83	11,4	3	700	4	700	4	700	5	700	5	700	5	700	34	640
8.	62	900	0,75	34,00	34,00	34,1	1	600	4,24	10,7	3	700	4	700	4	700	5	700	5	700	5	700	31	630
9.	75	1120	0,70	34,00	34,00	34,1	1	600	3,5	12,3	3	620	4	640	4	640	5	640	5	640	5	640	31	630
10.	60	1200	0,68	34,75	34,75	34,8	1	600	7,35	14,7	3	600	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	31	630
11.	50	1000	0,65	18,75	18,75	18,8	1	650	4,06	10,4	3	620	4	700	4	700	5	700	5	700	5	700	40	600
12.	50	1000	0,60	17,25	17,25	17,3	1	640	3,50	12,0	3	600	4	700	4	700	5	700	5	700	5	700	40	600
13.	60	1200	0,75	34,75	34,75	34,8	1	600	11,0	17,7	3	600	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	40	600
14.	50	970	0,60	16,50	16,50	16,6	1	700	9,7	14,6	3	700	4	700	4	700	5	700	5	700	5	700	30	630
15.	50	920	0,65	16,50	16,50	16,6	1	700	8,1	13,8	3	700	4	640	4	640	5	640	5	640	5	640	30	630
16.	70	1000	0,72	33,75	33,75	33,8	1	640	6,02	20,6	3	600	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	30	630
17.	60	1300	0,63	40,75	40,75	40,8	1	650	5,05	10,7	3	600	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	30	630
18.	70	1350	0,72	34,25	34,25	34,3	1	600	6,10	20,8	3	640	4	640	4	640	5	680	5	680	5	680	30	630
19.	50	980	0,62	16,60	16,60	16,7	1	700	4,0	10,3	3	620	4	620	4	620	5	660	5	660	5	660	30	630
20.	60	1000	0,70	30,25	30,25	30,3	1	600	4,06	10,5	3	600	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	30	630
21.	70	1050	0,70	30,00	30,00	30,1	1	660	4,34	10,8	3	600	4	620	4	620	5	660	5	660	5	660	30	630
22.	50	1050	0,70	17,25	17,25	17,3	1	640	9,2	13,2	3	600	4	640	4	640	5	680	5	680	5	680	30	630
23.	60	1550	0,68	30,25	30,25	30,3	1	600	4,67	10,5	3	600	4	600	4	600	5	640	5	640	5	640	30	630
24.	72	1300	0,68	37,50	37,50	37,6	1	600	2,91	12,4	3	600	4	700	4	700	5	640	5	640	5	640	30	630
25.	50	900	0,67	16,75	16,75	16,8	1	600	-	-	3	610	4	500	4	500	5	490	5	490	5	490	30	630
26.	50	1000	0,63	16,75	16,75	16,8	1	660	-	-	3	300	4	250	4	250	5	-	5	-	5	-	200	330
27.	70	1300	0,75	37,50	37,50	37,6	1	640	-	-	3	620	4	530	4	530	5	480	5	480	5	480	200	330
28.	50	1000	0,65	16,75	16,75	16,8	1	270	-	-	3	250	4	200	4	200	5	270	5	270	5	270	200	330
29.	72	1350	0,72	37,50	37,50	37,6	1	600	-	-	3	640	4	520	4	520	5	540	5	540	5	540	200	330
30.	61	1500	0,70	43,00	43,00	43,1	1	700	-	-	3	700	4	640	4	640	5	600	5	600	5	600	200	330
31.	61	1600	0,67	52,50	52,50	52,6	1	530	-	-	3	500	4	420	4	420	5	460	5	460	5	460	300	425

CONTINUARE LA TABELUL NR.6

Nr	Parametri electrici				T ₁			T ₂			T ₃			T ₄			T ₅			T ₆						
	U _i V	I _i A	cosp	P _e kW	P _i kW	P _s kW/10 ³	X mm	L _{max} γ	V _{em} °C/s	V _i °C/s	V ₂ °C/s	X mm	L _{max} °C	X mm	L _{max} °C	X mm	L _{max} °C	X mm	L _{max} °C	X mm	L _{max} °C	η	S mm/10 ³	V mm/min	V' mm/s	
1	100	1100	0,84	85	63,75	7,50	0,50	1030	2260	0,00	0,00	1	1040	215	307	421	2,5	900	2,5	830	2	830	100	0,50	50	0,83
2	100	1100	0,84	85	63,75	7,50	0,50	1150	2240	4,70	33,0	1	1050	222	5,63	420	2,5	800	2,5	1060	2	1060	100	0,50	50	0,83
3	100	1100	0,84	85	63,75	7,50	0,50	1100	245	4,50	54,4	1	1120	236	3,71	555	2,5	800	2,5	1020	2	1020	100	0,50	50	0,83
4	80	900	0,85	50	37,50	4,34	0,50	920	160	2,82	30,7	1	830	160	2,63	334	2,5	720	2,5	760	2	760	100	0,50	50	0,83
5	80	850	0,80	45	33,75	3,91	0,50	860	160	3,48	32,2	1	700	101	2,10	322	2,5	700	2,5	730	2	730	100	0,50	50	0,83
6	65	760	0,93	30	22,50	2,60	0,50	760	126	3,07	34,3	1	660	141	2,11	260	2,5	600	2,5	600	2	600	100	0,50	50	0,83
7	65	750	0,83	30	22,00	2,60	0,50	700	140	0,92	31,3	1	630	131	2,26	232	2,5	630	2,5	630	2	630	100	0,50	50	0,83
8	100	1100	0,83	80	60,00	6,95	0,50	1300	1027	4,20	20,8	1	1200	204	4,01	201	2,5	1240	2,5	1340	2	1340	100	0,50	50	0,83
1	74,5	1050	0,60	75	50,25	6,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7,3	1050	0,60	75	50,25	6,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	74,5	1425	0,62	40	30,00	3,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	70,5	1575	0,65	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	74,5	1300	0,60	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	80,5	1300	0,60	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	110	900	0,70	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	110	1000	0,60	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	110	1000	0,65	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	110	1000	0,60	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	110	1000	0,60	60	45,00	5,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	110	1000	0,65	64	40,00	5,00	0,50	800	220	2,17	04,8	1	750	180	0,70	03,7	2,5	850	2,5	850	2	850	100	2,00	200	3,33
7	110	1050	0,65	64	40,00	5,00	0,50	840	195	3,20	03,9	1	780	182	2,85	74,1	2,5	800	2,5	800	2	800	100	2,00	200	3,33
8	110	800	0,65	57	42,75	4,85	0,50	840	212	1,41	04,2	1	720	185	2,14	71,7	2,5	800	2,5	800	2	800	100	2,00	200	3,33
9	110	1050	0,65	64	40,00	5,00	0,50	860	209	3,71	06,9	1	760	187	3,01	61,1	2,5	800	2,5	800	2	800	100	2,00	200	3,33
10	110	1000	0,60	64	40,00	5,00	0,50	800	248	2,38	06,9	1	720	189	2,00	72,9	2,5	800	2,5	800	2	800	100	2,00	200	3,33
11	110	820	0,60	67	30,20	3,02	0,50	1170	264	4,67	01,5	1	1100	264	0,01	02,6	2,5	1020	2,5	1020	2	1020	100	1,00	100	1,66
12	110	920	0,60	67	30,20	3,02	0,50	1000	280	0,02	04,3	1	1000	280	2,46	70,6	2,5	1000	2,5	1000	2	1000	100	1,00	100	1,66
13	110	920	0,60	67	30,20	3,02	0,50	1200	280	0,30	04,2	1	1000	284	0,01	02,6	2,5	1000	2,5	1000	2	1000	100	1,00	100	1,66
14	110	1070	0,65	71	53,25	6,17	0,50	1000	206	5,00	04,1	1	900	247	3,20	60,8	2,5	1000	2,5	1000	2	1000	100	1,00	100	1,66
15	110	1050	0,65	70	52,50	6,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

DATE DE CALCUL

ANEXA LA TABELUL NR. 6.

Nr	T ₁								T ₂							
	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	S ₂ mm	S ₃ mm	V ₁ °C/s	V ₂ °C/s	V _{tm} °C/s	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	S ₂ mm	S ₃ mm	V ₁ °C/s	V ₂ °C/s	V _{tm} °C/s
<i>Anexa la tabelul Nr. 6</i>																
1	40	120	1330	71	120	3,09	51,07	22,6	70	170	1010	71	120	3,87	471	21,5
2	170	300	1150	76	120	4,70	53,1	22,4	120	270	1090	73	120	5,65	479	22,2
3	60	180	1130	72	120	4,58	54,4	24,5	90	190	1120	74	120	3,71	55,5	23,6
4	135	220	920	68	120	2,62	38,0	16,0	90	160	830	68	120	2,83	35,4	16,9
5	70	160	860	71	120	3,48	39,2	16,0	75	130	780	72	120	2,10	37,2	16,1
6	125	210	760	76	120	3,07	34,3	12,6	90	140	660	65	120	2,11	26,0	13,1
7	50	180	750	70	120	3,92	31,3	13,0	80	135	650	64	120	2,36	25,2	13,1
8	40	190	1300	32	120	4,29	25,3	19,7	390	460	1280	40	120	4,81	28,1	20,4
<i>cap. 4.</i>																
6	86	140	880	76	100	2,17	84,8	22	60	80	750	78	100	0,70	83,7	18,9
7	120	230	840	80	100	3,78	83,9	19,8	90	170	790	77	100	2,85	74,1	19,2
8	70	110	840	78	100	1,41	91,2	21,2	60	120	720	77	100	2,14	71,7	18,5
9	120	200	860	74	100	3,71	69,9	20,9	80	160	760	73	100	3,01	61,1	18,7
10	45	110	800	75	100	2,38	75,9	20,8	30	110	720	77	100	2,86	72,9	18,9
11	210	320	1170	62	100	4,87	61,5	26,4	140	280	1100	64	100	6,01	62,6	26,4
12	60	160	1080	70	100	3,92	84,3	28,0	80	140	990	67	100	2,46	70,8	23,0
13	180	310	1200	67	100	5,33	74,2	28,0	120	260	1080	64	100	6,01	62,6	26,4
14	60	180	1100	66	100	5,00	74,4	28,6	80	160	980	67	100	3,28	68,3	24,7
<i>Anexa la tabelul Nr. 6</i>																
2	130	350	930	107	170	4,37	25,3	12,1	100	310	890	90	170	3,66	19,9	11,3
3	180	320	890	102	170	3,77	27,1	11,5	200	330	840	100	170	3,57	20,0	10,3
4	180	350	960	100	170	4,67	23,9	12,6	100	350	920	100	170	4,4	22,4	12,9
5	300	470	1000	90	170	5,19	18,2	11,3	270	430	1010	91	170	4,83	20,2	11,9
6	290	460	1100	90	170	5,19	18,2	13,1	410	610	1090	80	170	6,87	14,6	11,0
7	290	420	840	74	170	4,83	11,4	8,9	290	420	830	70	170	5,10	11,2	8,73
8	90	380	860	103	170	7,74	19,7	12,4	250	430	820	83	170	5,96	12,3	9,22
9	360	510	1040	80	170	5,15	16,2	11,0	390	490	1030	50	170	5,5	12,3	10,3
10	390	590	1100	75	170	7,33	14,7	11,5	390	560	1070	80	170	5,84	15,6	11,0
11	230	360	950	88	170	4,06	16,4	10,0	240	440	830	110	170	5,0	17,9	9,54
12	80	280	840	100	170	5,50	22,0	12,3	130	310	800	80	170	6,18	14,9	10,8
13	420	580	1160	80	170	5,50	17,7	11,9	410	570	1100	98	170	4,49	20,2	11,1
14	190	310	790	80	170	4,12	14,6	9,7	210	340	780	90	170	3,97	15,1	9,22
15	90	270	780	98	170	5,05	15,6	11,1	130	330	740	110	170	5,0	18,8	9,86
16	280	510	1140	105	170	6,02	26,6	13,9	300	520	1130	105	170	5,76	25,8	13,4
17	150	410	1150	120	170	5,95	40,7	16,1	200	460	1100	116	170	6,16	32,6	14,5
18	130	330	1000	106	170	5,19	28,8	14,0	200	390	980	100	170	4,05	23,5	12,6
19	80	240	710	110	170	4,0	21,5	10,2	120	240	680	110	170	3,0	20,1	9,05
20	100	330	1060	130	170	4,86	50,2	15,5	120	350	1040	128	170	4,94	45,1	14,9
21	100	310	980	133	170	4,34	48,3	13,9	180	320	900	129	170	2,98	38,9	11,6
22	70	120	640	122	170	1,12	20,8	9,2	80	210	630	126	170	2,83	26,2	8,89
23	120	290	1100	135	170	3,87	63,6	16,1	70	330	1080	137	170	5,21	62,5	16,3
24	80	220	1010	132	170	2,91	57,2	15,8	50	210	1000	140	170	3,14	72,4	15,3

ANEXA LA TABELUL NR 8

DATE DE CALCUL

Nr Crt.	Parametrii la termocupla T1											Parametrii la termocupla T2																		
	S1 mm	S2 mm	S3 mm	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	Tmax °C	α mm	V1 °C/s	V2 °C/s	Vr °C/s	S1 mm	S2 mm	S3 mm	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	Tmax °C	α mm	V1 °C/s	V2 °C/s	Vr °C/s		
1	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	50	20	20	350	430	790	890	830	740	930	13	44	13,75	26,12	50	20	20	670	670	650	950	970	780	1830	15	4,95	13,75	43,75	37,12	
4	50	20	20	410	510	730	830	800	680	870	5	55	13,75	27,5	50	20	20	550	550	730	800	840	880	880	8	4,4	9,62	22,0	22,0	
5	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	50	20	20	400	470	630	740	700	540	740	10	3,65	12,37	22,0	50	20	20	530	530	690	800	780	830	830	2	3,3	15,12	27,5	27,5	
7	50	20	20	350	470	730	870	860	680	920	12	66	19,25	35,75	50	20	20	560	560	760	940	960	1010	1010	18	4,95	24,75	44,0	44,0	
8	50	20	20	400	490	520	600	700	520	720	21	4,95	11,0	24,75	50	20	20	460	460	640	780	840	840	840	6	5,5	19,25	22,0	22,0	
9	50	20	20	310	410	560	670	700	460	760	5	55	15,12	33,0	50	20	20	430	430	600	760	820	820	820	4	4,95	22,0	16,5	16,5	
10	50	20	20	320	430	600	800	800	540	900	19	6,05	27,5	35,75	50	20	20	530	530	660	920	920	1020	1020	21	5,5	35,75	44,20	44,20	
11	50	20	20	200	300	470	610	650	440	740	14	4,4	19,25	24,75	50	20	20	400	400	520	740	800	850	850	14	3,5	30,75	20,62	20,62	
12	50	20	20	200	270	440	630	540	380	670	19	3,85	26,12	22,0	50	20	20	300	300	430	600	600	660	660	2	4,4	23,37	27,5	27,5	
13	50	20	20	440	540	860	930	960	700	960	18	5,5	9,62	39,87	50	20	20	540	540	800	870	850	920	920	6	4,95	9,62	26,12	26,12	
14	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	50	20	20	420	500	590	680	700	460	770	7	4,4	12,37	33,0	50	20	20	320	320	520	580	660	690	690	9	3,5	8,25	26,12	26,12	
16	50	20	20	430	550	730	900	920	630	1000	14	6,6	23,37	39,87	50	20	20	460	460	820	1000	1000	1060	1060	18	6,6	24,75	44,0	44,0	
17	50	20	20	450	520	620	750	690	500	780	16	3,85	17,87	26,12	50	20	20	460	460	690	860	840	920	920	14	4,4	23,37	34,37	34,37	
18	50	20	20	340	420	570	780	820	560	820	30	4,4	28,87	34,0	50	20	20	320	320	410	720	620	770	770	17	4,95	20,62	27,5	27,5	
19	50	20	20	400	520	540	740	700	540	820	16	6,6	27,5	22,0	50	20	20	380	380	480	900	900	900	900	23	5,5	33,0	33,0	33,0	
20	50	20	20	300	400	500	700	640	450	770	30	5,5	27,5	26,12	50	20	20	300	300	410	800	750	840	840	17	6,05	33,0	34,37	34,37	
21	50	20	20	250	340	470	760	760	580	780	30	4,95	39,87	27,5	50	20	20	230	230	330	740	500	780	780	22	5,5	31,62	22,0	22,0	
22	50	20	20	460	560	860	960	1060	820	1160	36	5,5	13,75	33,0	50	20	20	490	490	580	930	1000	1080	1080	28	5,5	16,12	33,0	33,0	
23	50	20	20	420	520	700	840	700	560	860	15	5,5	19,25	19,25	50	20	20	500	500	570	920	880	950	950	24	3,85	24,75	35,75	35,75	
24	50	20	20	380	460	640	820	760	600	860	17	6,05	30,25	22,0	50	20	20	400	400	500	900	980	1030	1030	22	5,5	22,0	30,25	30,25	
25	50	20	20	510	570	700	820	770	580	860	29	3,3	16,5	26,12	50	20	20	500	500	560	740	720	780	780	16	3,3	12,37	30,25	30,25	
26	50	20	20	530	590	730	830	820	630	900	21	3,3	19,75	29,12	50	20	20	570	570	650	830	840	870	870	26	4,4	13,75	27,5	27,5	
27	50	20	20	220	260	420	510	540	400	540	23	2,2	12,37	19,26	50	20	20	250	250	280	500	380	510	510	17	2,2	6,87	13,75	13,75	
28	50	20	20	430	520	580	710	660	480	780	21	4,05	17,87	19,25	50	20	20	400	400	470	740	780	800	800	18	3,85	16,5	28,87	28,87	
29	50	20	20	370	300	600	760	670	500	780	24	7,15	22,0	23,37	50	20	20	350	350	470	810	800	810	810	22	6,6	23,37	27,6	27,6	
30	50	20	20	300	400	530	740	620	460	780	21	5,5	28,87	22,0	50	20	20	340	340	440	750	730	810	810	24	5,5	28,87	30,25	30,25	
31	50	20	20	320	420	600	820	700	520	700	20	5,5	19,25	24,75	50	20	20	300	300	400	740	740	840	840	22	5,5	33,0	38,5	38,5	

ANEXA LA TABELUL NR 9

DATE DE CALCUL

Nr. Crt.	Parametrii la temperatura T ₂											Parametrii la temperatura T ₁																
	S ₁ mm	S ₂ mm	S ₃ mm	V ₁ °C/s	V ₂ °C/s	V _r °C/s	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T _{max} °C	Q mm	S ₁ mm	S ₂ mm	S ₃ mm	V ₁ °C/s	V ₂ °C/s	V _r °C/s	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T _{max} °C	Q mm
1	50	20	20	77	22	27,5	400	540	660	820	800	600	880	16	50	20	20	66	27,5	60,5	340	460	720	820	840	400	680	4
2	50	20	20	77	24,75	27,5	370	460	600	780	780	580	870	18	50	20	20	55	46,5	52,25	300	400	600	720	760	360	680	9
3	50	20	20	55	10,5	20,62	280	360	460	500	570	420	660	20	60	20	20	44	11,0	41,25	240	320	440	520	620	320	700	12
4	50	20	20	66	22,0	30,25	300	500	620	680	1000	780	1020	31	50	20	20	77	19,25	63,25	440	620	880	1020	960	500	1100	10
5	50	20	20	44	8,25	26,12	380	460	620	680	980	770	1050	37	50	20	20	44	12,57	49,5	500	580	1030	1120	1000	640	1260	22
6	50	20	20	44	13,75	30,5	240	320	780	880	780	500	940	10	50	20	20	60,5	11,0	33,0	460	570	900	900	820	680	1000	23
8	50	20	20	44	5,5	5,5	160	240	480	460	440	440	550	31	50	20	20	33	4,26	41,25	300	360	460	520	660	360	690	30
9	50	20	20	44	13,75	9,62	460	540	700	800	640	570	800	18	-	20	20	-	16,5	46,75	-	-	700	820	780	420	880	16
10	50	20	20	35	24,75	33,0	200	380	680	870	840	600	920	23	50	20	20	71,5	27,5	46,75	360	490	700	900	960	620	1040	7
11	50	20	20	49,5	13,75	24,7	370	440	580	780	700	520	800	19	50	20	20	44	35,25	42,62	350	430	560	820	830	520	860	8
12	50	20	20	44	11,0	13,75	240	320	370	480	440	340	460	31	50	20	20	44	2,75	30,25	260	340	360	540	520	300	540	29
13	50	20	20	66	13,75	13,75	460	580	880	970	970	700	1080	21	50	20	20	55	6,07	34,37	540	640	880	920	680	680	4020	35
14	50	20	20	-	22,0	22,0	400	560	-	-	640	480	700	10	50	20	20	33	8,25	41,25	520	580	690	820	760	460	880	17
16	50	20	20	49,5	27,5	22,0	300	380	500	600	560	400	640	21	50	20	20	33	11,0	33,0	320	380	490	560	640	400	710	18
17	50	20	20	33	9,62	16,5	440	500	550	620	510	420	650	14	50	20	20	10,5	6,07	23,37	420	450	550	620	580	410	640	7
18	50	20	20	9,85	4,12	15,12	430	500	670	700	570	460	740	3	50	20	20	49,5	9,62	26,12	470	560	730	800	610	420	850	13
18	50	20	20	49,5	12,37	26,87	470	560	830	980	900	690	1080	20	50	20	20	49,5	16,5	49,5	580	680	920	1040	1080	720	1460	5
19	50	20	20	44	15,12	38,5	520	660	890	1000	830	700	1150	32	50	20	20	49,5	16,12	37,12	590	680	940	1050	1050	780	1180	19
20	50	20	20	55	16,5	27,5	530	630	750	870	840	640	900	16	50	20	20	49,5	19,25	46,75	600	680	860	980	1020	680	1100	17
21	50	20	20	55	19,25	33,0	500	600	660	800	780	540	900	21	50	20	20	38,5	33,0	49,5	520	590	720	960	920	560	1010	10
22	50	20	20	44	5,5	13,75	360	440	720	760	620	580	800	9	50	20	20	49,5	12,37	33,0	480	570	740	830	700	460	880	19
23	50	20	20	44	9,62	22,0	380	470	570	640	600	440	760	22	50	20	20	33	22,0	33,0	480	540	680	840	640	400	900	20
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	20	20	44	30,25	42,62	370	450	600	820	730	420	900	9
25	50	20	20	33	9,62	13,75	430	510	560	630	470	370	660	2	50	20	20	38,5	15,12	41,29	470	540	700	810	700	400	810	21
26	50	20	20	49,5	11,0	22,0	340	430	470	580	590	430	600	7	50	20	20	49,5	17,87	27,5	310	400	520	650	640	440	790	8
27	50	20	20	55	15,12	31,62	290	390	480	560	530	300	570	13	50	20	20	38,5	20,62	46,75	230	300	450	600	700	360	790	18
7	50	20	20	22	9,62	13,75	360	400	530	600	480	380	660	17	50	20	20	27,5	5,5	24,75	370	420	520	560	580	400	700	12

ANEXA LA TABELUL NR.10

DATE DE CALCUL

Nr. crt.	Parametrii la termocuplo T1											Parametrii la termocuplo T2																	
	S1 mm	S2 mm	S3 mm	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	Tmax. °C	O mm	V1 °C/s	V2 °C/s	Vr °C/s	S1 mm	S2 mm	S3 mm	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	Tmax. °C	O mm	V1 °C/s	V2 °C/s	Vr °C/s	
1.	20	20	20	730	740	820	1000	1020	880	1040	7	137	825	22	20	20	20	680	700	760	810	700	610	910	5	275	987	1237	
2.	20	20	20	250	270	370	600	690	570	780	25	275	2787	22	20	20	20	310	340	520	600	620	470	710	16	412	2437	962	
3.	20	20	20	320	350	570	770	820	700	830	17	412	275	165	20	20	20	400	480	530	760	740	600	780	28	687	2587	1925	
4.	20	20	20	400	430	620	870	890	670	940	22	412	2475	1787	20	20	20	380	420	660	860	850	830	970	23	412	275	22	
5.	20	20	20	120	140	220	420	400	280	440	6	275	1612	1612	20	20	20	170	180	230	300	370	270	480	4	137	220	1475	
6.	20	20	20	110	150	180	300	380	280	400	6	55	1475	1475	20	20	20	160	180	230	420	400	270	480	7	412	2612	1787	
7.	20	20	20	100	220	320	620	630	480	600	5	412	22	1925	20	20	20	320	350	540	720	600	590	730	3	412	2475	2612	
8.	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	20	20	20	270	300	450	580	650	410	620	5	412	1925	1925	20	20	20	210	230	460	580	620	410	630	8	275	1787	2607	
10.	20	20	20	290	300	550	680	630	510	700	7	412	1925	165	20	20	20	340	370	520	740	740	600	780	15	412	2475	3025	
11.	20	20	20	240	280	310	650	680	510	710	9	55	1925	2437	20	20	20	270	280	480	660	600	470	730	12	275	2437	3025	
12.	20	20	20	330	370	570	680	780	610	820	9	55	165	2437	20	20	20	360	420	630	820	830	600	860	10	412	2337	3162	
13.	20	20	20	380	410	720	760	660	480	780	7	412	55	2437	20	20	20	390	520	710	760	740	660	780	8	275	467	2475	
14.	20	20	20	550	580	880	880	760	630	920	7	412	687	1787	20	20	20	540	560	820	870	700	550	820	6	275	687	2462	
15.	20	20	20	510	540	800	810	700	510	940	11	412	55	2612	20	20	20	410	430	630	670	670	460	820	15	412	65	2687	
16.	20	20	20	380	400	680	720	700	580	750	9	275	412	165	20	20	20	500	520	820	670	680	510	780	17	275	687	1925	
17.	20	20	20	420	440	670	720	710	600	780	10	275	687	165	20	20	20	480	500	650	700	660	520	780	15	275	687	1925	
18.	20	20	20	270	280	820	800	880	620	900	13	275	825	2437	20	20	20	520	550	720	850	850	630	870	25	412	825	3025	
19.	20	20	20	440	470	820	840	820	710	970	22	412	687	2887	20	20	20	360	380	770	820	730	530	900	18	275	687	275	
20.	20	20	20	400	430	700	750	750	600	830	12	412	687	2062	20	20	20	600	620	780	760	700	540	780	19	275	687	220	
21.	20	20	20	570	590	800	820	780	520	880	-	275	275	275	20	20	20	700	810	860	900	880	870	1000	22	137	412	110	
22.	20	20	20	200	210	-	-	-	-	700	-	137	-	-	20	20	20	460	480	780	780	-	-	820	-	412	412	-	
23.	20	20	20	350	360	-	-	630	730	940	-	137	-	1375	20	20	20	610	620	830	920	700	600	980	-	137	412	1812	
24.	20	20	20	290	300	-	-	-	-	850	-	137	-	-	20	20	20	580	590	-	-	-	-	900	-	137	412	-	
25.	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27.	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	Temperature electric				Temperature magnetic				Dugos/1000 at 1000000 in 100				%		T °C		Q/mm		Rt		R0		T6		T7		T8		
	U	V	A	cos φ	P kw	Q kvar	S kVA	η	mm	V	mm/s	T °C	Q/mm	Rt	R0	Rt	R0	Rt	R0	Rt	R0	Rt	R0	Rt	R0	Rt	R0	Rt	R0
1 12 0	775	1500	0.78	0.78	5.56	0.15	160	0.2	418.83	1000	16	16	2.2	2.4	14.2	2.9	3.2	2.6	9.1	2.6	9.5	2.1	9.8	2.8	14.2	14.0	2.9	3.2	9.1
1 13 0	775	1500	0.79	0.79	5.39	0.15	160	0.2	418.83	800	16	16	15.5	2.7	10	2	29	2.4	12.1	2.4	12.3	3.4	7	19	8	18	6.5	2.1	17
1 14 0	775	1500	0.77	0.77	5.17	0.15	160	0.2	418.83	800	16	16	7.5	2.2	9.8	1.8	16	1.7	6	1.7	6.9	1.9	6	16	9.2	2.7	6.8	2.3	17
1 15 0	775	1500	0.79	0.79	5.39	0.15	160	0.2	418.83	1000	16	16	6.3	1.8	3.4	4.8	1.9	2	2.2	2	5.1	1.7	3.5	1.6	3.5	1.3	-	-	-
1 16 0	775	1500	0.80	0.80	5.56	0.15	160	0.2	418.83	1000	16	16	8.3	1.6	8.2	1.6	1.5	1.3	3.4	1.3	2.8	1.8	9	2.7	3.2	1.2	4.9	1.2	12
1 17 0	775	1500	0.81	0.81	5.65	0.15	160	0.2	418.83	1000	16	16	12.4	2.9	14.6	2.9	2.6	3.3	14.5	3.3	14.6	3.7	14.7	2.9	14.7	4.6	14.6	4.4	4.4
1 18 0	775	1500	0.79	0.79	5.79	0.15	160	0.2	418.83	1000	16	16	17.2	3.9	19.8	3.6	4.1	3.5	19.6	3.5	19.5	3.1	19.2	2.8	19.2	2.6	19.5	2.2	2.2
2 01 0	74	1600	0.87	0.87	4.78	0.15	160	0.15	418.83	800	16	16	13.5	1.6	21.5	4.2	1.9	3.2	17.5	3.2	17.5	2.1	17.2	1.6	17.2	1.2	17.5	1.7	1.7
2 02 0	75	1600	0.86	0.86	4.60	0.15	160	0.15	418.83	800	16	16	12.5	0.8	5.1	1.1	1.7	1.4	8.8	1.4	8.5	1.3	8.2	0.9	8.2	0.9	8.2	0.9	0.9
2 03 0	74	1600	0.89	0.89	4.60	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	9.8	1.6	20.1	4.8	3.9	3.7	14.9	3.7	14.9	3.8	14.8	4.8	14.8	4.2	14.8	4.4	4.4
2 04 0	73.5	1600	0.90	0.90	4.52	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	15.8	4.3	18.9	4.4	4.3	4.8	19.8	4.8	19.1	5.8	19.3	5.8	19.3	4.6	19.3	4.8	4.8
2 05 0	75	1600	0.90	0.90	4.80	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	7.2	1	1.3	2.8	3.4	3.2	14.3	3.2	14.3	2.9	14.3	3.4	14.3	4	14.3	4.6	4.6
2 06 0	75	1600	0.88	0.88	4.69	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	9.2	0.65	3.4	0.55	3.1	0.5	4.0	0.5	4.0	0.6	3.6	0.6	3.6	0.7	3.6	0.65	0.65
2 07 0	74	1600	0.87	0.87	4.60	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 08 0	74	1600	0.88	0.88	4.62	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	3.6	1.3	7	1.5	1.3	2.0	8.8	2.0	8.8	2.0	8.5	1.2	8.5	1.2	8.5	1.7	1.7
2 09 0	74	1600	0.87	0.87	4.78	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	10	2.0	11.5	2.1	2.2	2.6	11.5	2.6	11.5	2.6	11.5	2.6	11.5	2.9	11.5	3.2	3.2
2 10 0	72.5	1600	0.92	0.92	4.17	0.2	160	0.15	418.83	780	16	16	10.6	2.4	15.8	3.7	3.6	4.1	17.5	4.1	17.5	4.3	17.5	4.3	17.5	4.7	17.5	4.7	4.7
2 11 0	72.5	1600	0.90	0.90	4.34	0.2	160	0.15	418.83	820	16	16	6.2	1.1	5.5	0.8	1.1	0.9	4.7	0.9	4.7	0.8	4.6	1.2	4.6	1.4	4.6	1.3	1.3
2 12 0	74	1600	0.88	0.88	4.34	0.2	160	0.15	418.83	820	16	16	5.1	1.4	4.2	1.0	1.0	0.9	4.6	0.9	4.6	0.8	4.5	0.7	4.5	0.7	4.5	1.0	1.0
2 13 0	74	1600	0.85	0.85	4.34	0.2	160	0.15	418.83	800	16	16	12.1	3.3	12.8	2.7	2.9	2.9	12.8	2.9	12.8	3.0	12.8	3.0	12.8	2.7	12.8	2.7	2.7
2 14 0	74	1600	0.89	0.89	4.34	0.1	315	0.1	418.83	820	16	16	5.9	1.5	6.0	1.2	1.3	1.1	5.7	1.1	5.8	1.2	4.6	1.9	4.6	1	4.6	1.1	1.1
2 15 0	74	1600	0.81	0.81	4.34	0.1	315	0.1	418.83	900	16	16	3.4	0.5	3.0	0.5	0.6	0.8	3.8	0.8	3.1	0.6	2.6	0.6	2.6	0.7	2.6	-	-
2 16 0	74	1600	0.87	0.87	4.34	0.1	315	0.1	418.83	900	16	16	6.8	1.9	5.0	1.2	1.1	2.3	12	2.3	9.8	1.6	17.5	2.6	17.5	2.6	17.5	3.8	3.8
2 18 0	74	1600	0.84	0.84	4.34	0.1	315	0.1	418.83	820	16	16	4.3	1.1	7.4	1.0	1.8	0.8	4.5	0.8	6	1.0	4.5	1.1	4.5	0.9	4.5	1.2	1.2
3 03 0	74	1600	0.88	0.88	4.52	0.1	315	0.1	418.83	800	16	16	2.8	0.6	6.1	0.6	0.8	0.7	3.2	0.7	9.0	1.4	6.0	1.9	3.5	0.6	3.5	-	-
3 07 0	74	1600	0.85	0.85	4.52	0.1	315	0.1	418.83	800	16	16	5.0	1.2	4.5	1.4	1.1	2.0	5.3	2.0	9.3	2.4	17.5	3.4	19.5	4.8	19.5	4.8	4.8
3 14 0	74	1600	0.86	0.86	4.52	0.1	315	0.1	418.83	800	16	16	4.9	1.0	6.1	0.9	0.5	0.8	5.2	0.8	4.8	0.7	4.8	0.7	4.8	0.7	4.8	0.6	0.6
3 15 0	74	1600	0.89	0.89	4.52	0.1	315	0.1	418.83	800	16	16	3.3	0.8	3.9	0.7	0.4	0.6	3.0	0.6	1.9	0.4	3.8	0.4	3.8	0.6	3.8	0.4	0.4
3 16 0	74	1600	0.87	0.87	4.34	0.1	315	0.1	418.83	800	16	16	5.3	0.7	5.5	0.8	0.8	0.4	3.8	0.4	3.4	0.6	3.1	0.6	3.1	0.6	3.1	0.6	0.6
3 18 0	73	1600	0.88	0.88	4.34	0.1	315	0.1	418.83	820	16	16	2.8	0.4	2.2	0.4	0.6	0.6	1.9	0.6	3.2	0.5	2.2	0.5	2.2	0.5	2.2	-	-
4 07 0	69	1600	0.86	0.86	4.34	0.1	160	0.1	418.83	160	16	16	2.8	0.7	3.7	0.6	4.1	0.6	3.1	0.6	2.8	0.6	4.1	0.6	4.1	0.7	4.1	0.6	0.6

TABELUL NR.12.

OL C 60

RUGOZITATEA LA NETEZIRE

Nr. piesei	Parametri electrici				Barometri mecanici				T °C	Q _{1/100mm}	Rugozitate pe treptare in r_5 mm.												Scad. r_{50}	
	U _i	V _i	I _i	A _{cosip}	A _{kw}	A _{kw}	$\frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{min}}}$	$\frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{min}}}$			$\frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{min}}}$	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9				
1.102.0	77,5	1360	0,75	61	53	0,305	160	0,1	418	1170	18	6,5	16	6,5	16	8,7	17	8,9	16	8,2	21	68	15	F _{2,7}
1.103.0	73,5	970	0,89	52	4,5	0,305	160	0,1	418	1100	18	5,9	14	6,0	6,0	6,0	13	6,2	11	7,9	14	7,3	13	F _{2,7}
1.104.0	75	980	0,89	53	4,6	0,305	160	0,1	418	1100	18	12,4	2,6	12,5	11,5	11,5	2,9	10,5	4,2	8,1	14	7,0	2,0	F _{2,7}
1.105.0	74	1040	0,89	54	4,7	0,305	160	0,1	418	1120	18	5,8	14	7,2	9,5	9,5	2,0	9,2	2,1	7,8	14	9,5	1,3	F _{2,7}
1.106.0	75	1030	0,85	53	4,6	0,305	160	0,1	418	1100	18	9,8	1,3	8,5	5,7	5,7	1,0	4,8	0,7	7,1	15	10,8	1,2	F _{2,7}
2.100.0	74	1050	0,85	52	4,5	0,1	315	0,1	824	1100	18	3,5	0,7	4,6	4,8	4,8	0,9	3,4	8,8	9,8	9,8	4,4	8,8	F _{3,C}
2.101.0	74	1020	0,85	50	4,3	0,1	315	0,1	824	1070	18	6,9	1,1	6,8	4,8	4,8	0,7	4,1	0,7	3,7	0,7	4,5	0,7	F _{3,C}
2.102.0	74	1050	0,85	52	4,5	0,1	315	0,1	824	1100	18	5,5	0,7	2,3	3,1	3,1	0,6	3,2	0,6	8,3	0,7	4,2	8,0	F _{3,C}
2.104.0	74	1020	0,86	50	4,3	0,305	315	0,1	824	1070	18	6,4	1,2	6,4	5,1	5,1	1,1	5,2	1,6	5,9	0,8	5,6	0,7	F _{3,C}
2.107.0	73,5	1050	0,84	51	4,4	0,1	315	0,1	824	1070	18	5,2	8,5	2,9	5,1	2,1	0,5	3,8	0,6	2,7	0,4	3,5	0,5	F _{3,C}
2.108.0	73,5	970	0,85	50	4,3	0,1	315	0,1	824	1070	18	4,2	0,9	5,2	6,6	6,6	0,8	5,0	0,8	2,9	0,5	3,0	0,6	F _{3,C}
2.110.0	74	1050	0,85	52	4,5	0,2	160	0,1	418	1100	18	12,5	1,2	11,5	11,3	10,5	2,5	11,8	3,0	11,5	3,4	12,8	2,3	F _{3,C}
2.111.0	75	1050	0,84	52	4,5	0,2	160	0,1	418	1100	18	5,8	1,0	4,4	3,6	4,1	0,9	3,8	0,9	3,8	0,9	3,5	0,8	F _{3,C}
2.112.0	74	1050	0,85	50	4,3	0,315	160	0,1	418	1070	18	4,2	0,8	4,2	5,1	3,5	0,9	3,8	0,9	3,5	0,8	3,8	0,9	F _{3,C}
2.113.0	74	1080	0,85	52	4,5	0,4	160	0,1	418	1100	18	6,1	0,9	5,8	5,0	5,5	0,8	6,1	1,0	6,0	0,9	4,8	0,8	F _{3,C}
2.114.0	67,5	1000	0,86	45	3,9	0,05	315	0,1	824	1020	18	4,0	0,7	2,7	2,8	5,1	0,5	2,1	0,4	-	-	-	-	F _{3,C}
2.115.0	74	1050	0,84	53	4,6	0,4	160	0,1	418	1100	18	6,4	0,7	6,4	5,4	5,1	0,7	5,2	0,8	5,9	0,8	5,6	0,7	F _{3,C}
2.116.0	74	1050	0,86	53	4,6	0,2	160	0,1	418	1100	18	3,5	0,7	4,7	7,8	7,4	0,8	4,1	0,6	4,1	0,7	4,1	0,6	F _{3,C}
2.117.0	72,5	1000	0,84	50	4,3	0,05	650	0,1	1640	1070	18	3,1	0,8	3,2	4,9	3,2	0,5	3,8	0,6	6,8	0,8	4,5	0,9	F _{3,C}
2.118.0	74	1000	0,88	50	4,3	0,315	160	0,1	418	1070	18	3,2	0,8	3,0	2,8	3,5	0,8	3,1	0,8	3,1	0,8	3,2	0,8	F _{3,C}
2.119.0	74	1050	0,85	52	4,5	0,315	160	0,1	418	1100	18	4,7	0,8	4,1	4,8	7,1	0,9	4,4	0,8	4,2	0,7	3,5	0,6	F _{3,C}
3.101.0	74	1050	0,81	54	4,7	0,2	315	0,1	824	1120	18	4,0	0,8	3,5	3,8	4,7	0,7	4,1	0,7	3,1	0,7	-	-	F _{3,C}
3.115.0	77,5	1070	0,86	57	4,9	0,1	315	0,1	824	1150	18	7,2	0,8	5,3	4,9	2,3	0,7	3,2	0,6	2,5	0,5	2,5	0,5	F _{3,C}

COMPONENTELE MASURATE ALE FORTEI LA
NETEZIREA ELECTROMECHANICA

TABELUL NR.13

Regimul			F _y daN OLC60			
S mm/rot	t mm	V m/min	F _{y1}	F _{y2}	F _{y3}	F _{y med.}
0,1	0,05	25,1	1,250	1,261	1,272	1,261
0,1	0,05	49,4	1,147	1,186	1,125	1,152
0,1	0,1	25,1	2,368	2,342	2,299	2,336
0,1	0,1	49,4	2,303	2,246	2,276	2,273
0,1	0,15	25,1	3,408	3,462	3,453	3,441
0,1	0,15	49,4	3,321	3,312	3,001	3,211
0,2	0,05	25,1	2,133	2,174	2,200	2,169
0,2	0,05	49,4	2,071	2,009	2,052	2,044
0,2	0,1	25,1	3,981	3,876	3,998	3,951
0,2	0,1	49,4	3,799	3,822	3,812	3,811
0,2	0,15	25,1	5,748	5,701	5,752	5,761
0,2	0,15	49,4	5,691	5,640	5,641	5,657
0,4	0,05	25,1	3,412	3,508	3,520	3,506
0,4	0,05	49,4	3,291	3,372	3,367	3,343
0,4	0,1	25,1	6,706	6,682	6,696	6,694
0,4	0,1	49,4	6,616	6,652	6,609	6,625
0,4	0,15	25,1	9,643	9,427	9,459	9,509
0,4	0,15	49,4	9,481	9,401	9,379	9,420

Regimul			F _y daN OLC45			
S mm/rot	t mm	V m/min	F _{y1}	F _{y2}	F _{y3}	F _{y med.}
0,1	0,05	25,1	0,871	0,873	0,852	0,865
0,1	0,05	49,4	0,698	0,676	0,692	0,685
0,1	0,1	25,1	1,639	1,620	1,642	1,633
0,1	0,1	49,4	1,502	1,523	1,624	1,516
0,1	0,15	25,1	2,996	2,394	2,399	2,396
0,1	0,15	49,4	2,227	2,288	2,267	2,260
0,2	0,05	25,1	1,511	1,523	1,542	1,525
0,2	0,05	49,4	1,399	1,412	1,421	1,410
0,2	0,1	25,1	2,761	2,769	2,767	2,765
0,2	0,1	49,4	2,607	2,596	2,600	2,601
0,2	0,15	25,1	3,968	3,867	3,973	3,969
0,2	0,15	49,4	3,812	3,822	3,809	3,814
0,4	0,05	25,1	2,488	2,484	2,472	2,481
0,4	0,05	49,4	2,321	2,331	2,340	2,330
0,4	0,1	25,1	4,646	4,642	4,635	4,661
0,4	0,1	49,4	4,499	4,497	4,498	4,498
0,4	0,15	25,1	6,675	6,676	6,667	6,672
0,4	0,15	49,4	6,487	6,471	6,462	6,473

Regimul			F _x daN OLC60			
S mm/rot	t mm	V m/min	F _{x1}	F _{x2}	F _{x3}	F _{x med.}
0,1	0,05	25,1	0,279	0,285	0,288	0,284
0,1	0,05	49,4	0,264	0,231	0,272	0,255
0,1	0,1	25,1	0,650	0,647	0,667	0,654
0,1	0,1	49,4	0,564	0,589	0,601	0,584
0,1	0,15	25,1	1,073	1,101	1,182	1,118
0,1	0,15	49,4	1,103	1,042	0,998	1,047
0,2	0,05	25,1	0,450	0,423	0,467	0,445
0,2	0,05	49,4	0,388	0,391	0,409	0,396
0,2	0,1	25,1	1,036	1,121	1,010	1,055
0,2	0,1	49,4	1,107	0,986	0,921	1,004
0,2	0,15	25,1	1,684	1,596	1,698	1,699
0,2	0,15	49,4	1,562	1,522	1,579	1,534
0,4	0,05	25,1	0,712	0,707	0,720	0,713
0,4	0,05	49,4	0,711	0,696	0,673	0,688
0,4	0,1	25,1	1,665	1,626	1,597	1,629
0,4	0,1	49,4	1,522	1,565	1,525	1,537
0,4	0,15	25,1	2,647	2,643	2,698	2,668
0,4	0,15	49,4	2,491	2,542	2,578	2,537

Regimul			F _x daN OLC45			
S mm/rot	t mm	V m/min	F _{x1}	F _{x2}	F _{x3}	F _{x med.}
0,1	0,05	25,1	0,190	0,187	0,182	0,182
0,1	0,05	49,4	0,121	0,142	0,137	0,133
0,1	0,1	25,1	0,498	0,421	0,461	0,446
0,1	0,1	49,4	0,401	0,411	0,394	0,402
0,1	0,15	25,1	0,817	0,871	0,818	0,835
0,1	0,15	49,4	0,747	0,788	0,776	0,779
0,2	0,05	25,1	0,269	0,282	0,279	0,283
0,2	0,05	49,4	0,282	0,210	0,218	0,213
0,2	0,1	25,1	0,776	0,763	0,752	0,763
0,2	0,1	49,4	0,691	0,710	0,705	0,702
0,2	0,15	25,1	1,157	1,172	1,165	1,164
0,2	0,15	49,4	1,071	1,022	1,005	1,066
0,4	0,05	25,1	0,482	0,472	0,494	0,486
0,4	0,05	49,4	0,412	0,417	0,404	0,411
0,4	0,1	25,1	1,133	1,125	1,144	1,134
0,4	0,1	49,4	1,101	1,079	1,098	1,092
0,4	0,15	25,1	1,838	1,879	1,862	1,857
0,4	0,15	49,4	1,755	1,759	1,777	1,763

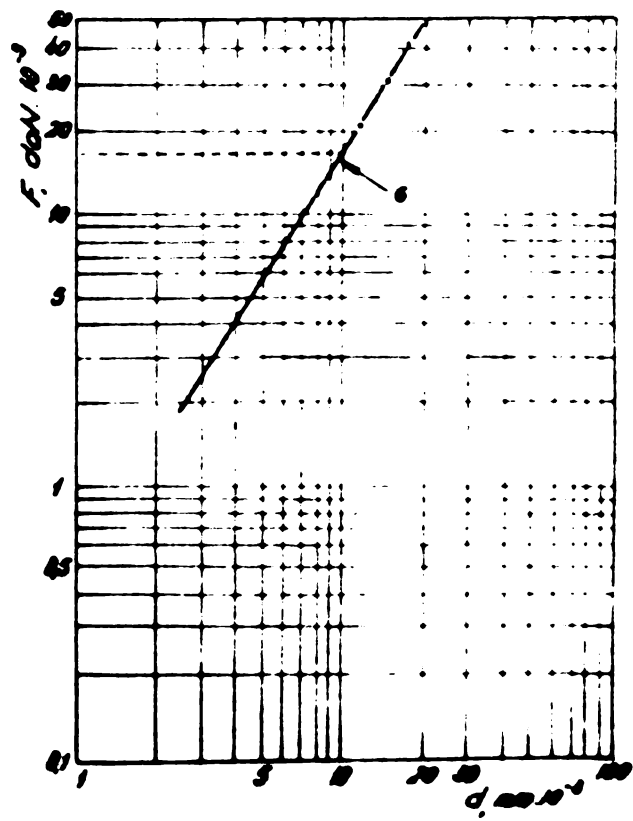
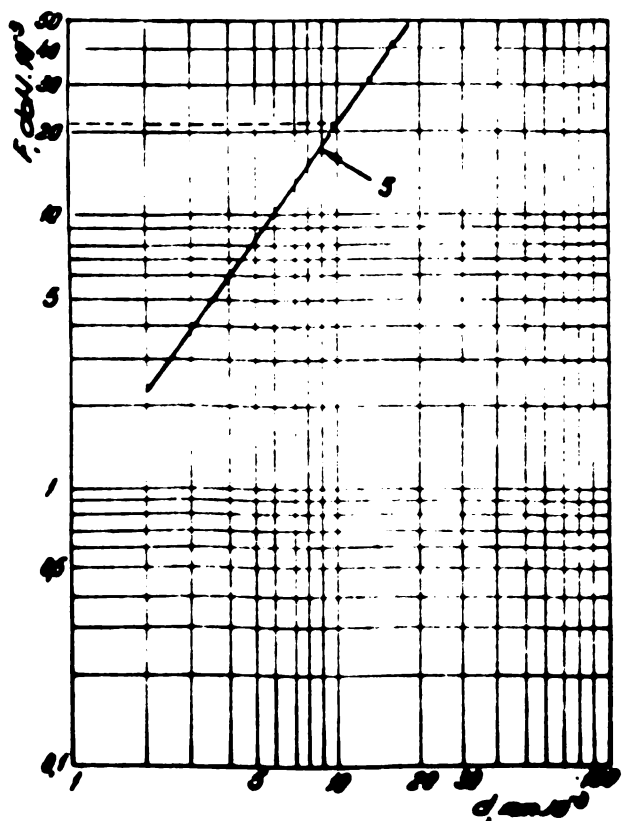
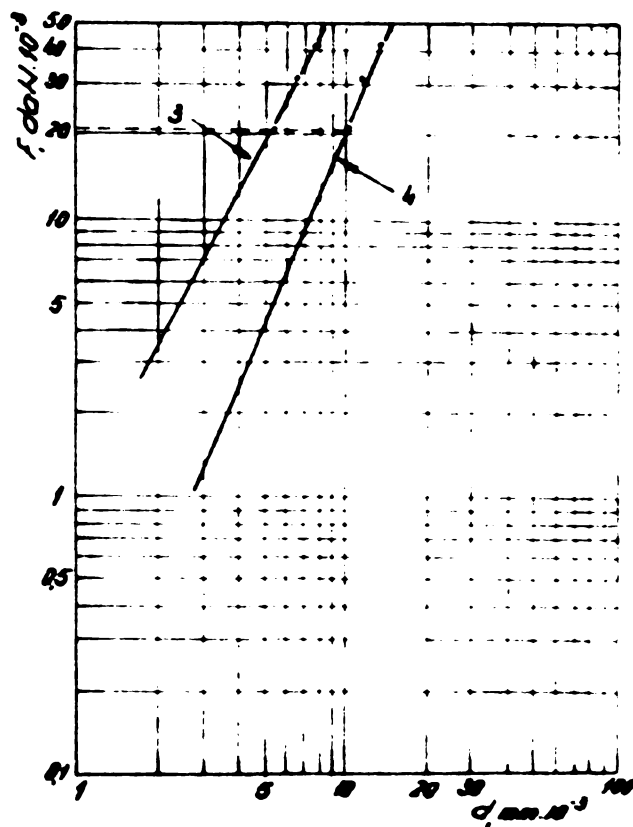
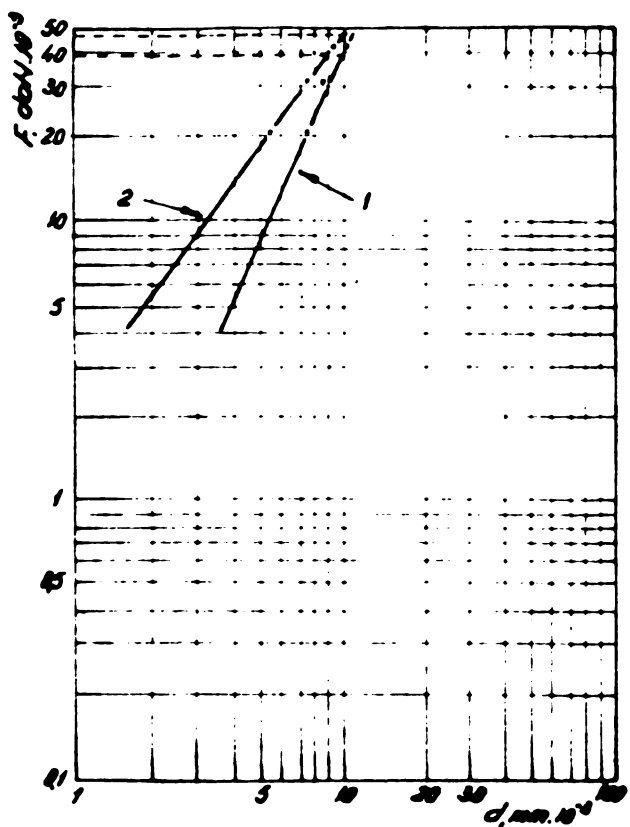
CONTINUARE LA TABELUL NR.13.

Regimul				d _{0N} F _z				d _{LC45}	
S	t	V	F _{z1}	F _{z2}	F _{z3}	F _{z med.}	F _{z1}	F _{z2}	F _{z med.}
mm/rot.	min	m/min.							
0,1	0,05	251	0,889	0,891	0,894	0,891	0,889	0,894	0,891
0,1	0,05	494	0,822	0,83	0,806	0,819	0,822	0,806	0,819
0,1	0,1	251	1,787	1,768	1,776	1,777	1,787	1,776	1,777
0,1	0,1	494	1,578	1,595	1,584	1,585	1,578	1,584	1,585
0,1	0,15	251	2,629	2,612	2,616	2,619	2,629	2,616	2,619
0,1	0,15	494	2,518	2,505	2,514	2,512	2,518	2,514	2,512
0,2	0,05	251	1,527	1,507	1,514	1,516	1,527	1,514	1,516
0,2	0,05	494	1,418	1,423	1,426	1,422	1,418	1,426	1,422
0,2	0,1	251	2,968	2,974	2,966	2,969	2,968	2,966	2,969
0,2	0,1	494	2,789	2,791	2,794	2,791	2,789	2,794	2,791
0,2	0,15	251	4,486	4,483	4,482	4,486	4,486	4,482	4,486
0,2	0,15	494	4,267	4,276	4,261	4,268	4,267	4,261	4,268
0,4	0,05	251	2,523	2,537	2,534	2,531	2,523	2,534	2,531
0,4	0,05	494	2,402	2,413	2,417	2,416	2,402	2,417	2,416
0,4	0,1	251	5,036	5,052	5,038	5,041	5,036	5,038	5,041
0,4	0,1	494	4,855	4,851	4,858	4,854	4,855	4,858	4,854
0,4	0,15	251	7,389	7,379	7,369	7,378	7,389	7,369	7,378
0,4	0,15	494	7,109	7,076	7,050	7,078	7,109	7,050	7,078

Regimul				d _{0N} F _z				d _{LC60}	
S	t	V	F _{z1}	F _{z2}	F _{z3}	F _{z med.}	F _{z1}	F _{z2}	F _{z med.}
mm/rot.	min	m/min.							
0,1	0,05	251	1,288	1,271	1,262	1,273	1,288	1,271	1,273
0,1	0,05	494	1,123	1,118	1,107	1,116	1,123	1,118	1,116
0,1	0,1	251	2,588	2,554	2,582	2,578	2,588	2,582	2,578
0,1	0,1	494	2,415	2,405	2,421	2,413	2,415	2,421	2,413
0,1	0,15	251	3,882	3,798	3,894	3,858	3,882	3,894	3,858
0,1	0,15	494	3,681	3,692	3,689	3,687	3,681	3,689	3,687
0,2	0,05	251	2,177	2,098	2,198	2,157	2,177	2,198	2,157
0,2	0,05	494	2,011	2,020	2,016	2,015	2,011	2,020	2,015
0,2	0,1	251	4,354	4,206	4,376	4,342	4,354	4,376	4,342
0,2	0,1	494	4,172	4,165	4,163	4,166	4,172	4,163	4,166
0,2	0,15	251	6,532	6,489	6,543	6,521	6,532	6,543	6,521
0,2	0,15	494	6,344	6,354	6,360	6,352	6,344	6,360	6,352
0,4	0,05	251	3,542	3,697	3,661	3,633	3,542	3,697	3,633
0,4	0,05	494	3,402	3,986	3,988	3,982	3,402	3,986	3,982
0,4	0,1	251	7,323	7,291	7,298	7,304	7,323	7,298	7,304
0,4	0,1	494	7,112	7,101	7,107	7,106	7,112	7,107	7,106
0,4	0,15	251	10,673	10,998	10,980	10,883	10,673	10,998	10,883
0,4	0,15	494	10,576	10,572	10,564	10,560	10,576	10,572	10,560

STABILIREA DURITATII ECHIVALENTE CU AJUTORUL CURBELOR MEYER.

TABELUL NR. 15.



VARIATIA DURITATII DE-A LUNGUL UNOR BARE CU 8 TRONSOANE A 60mm FIECARE. TABELUL NR.17.

Nr Piese	Tronsonul 1			Tronsonul 2			Tronsonul 3			Tronsonul 4			Tronsonul 5			Tronsonul 6			Tronsonul 7			Tronsonul 8									
	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3			
3.107	51	53	61	51,6	54	57	56,3	54	55	56	55	56	55	55	55	55	55	55	47	47	49	47,3	44	50	47	47	-	-	-	-	
2.113	48	51	53	50,6	50	51	50,6	46	51	49	48,6	56	54	53	53	53	53	53	55	55	53	54,3	52	52	50	51,2	48	49	50	48,8	
3.105	51	50	50	50,3	50	51	50,6	46	50	49	48,3	56	54	55	55	55	54	54	50	51	51	50,6	48	48	47	47,6	49	48	48	48,6	
2.119	49	49	51	49,6	54	55	54,3	52	51	53	52	54	55	55	55	54	54	54	53	53	53	54,3	53	53	51	49,6	49	50	49	48,3	
2.108	46	46	47	46,3	53	54	54	52	54	54	53,3	56	56	56	56	56	56	56	53	53	53	53,6	53	52	51	51,6	49	51	50	50	
2.112	48	49	52	49,6	53	53	53	48	50	48	48,6	52	53	53	53	53	53	53	50	51	51	50,6	50	49	49	50	49	49	51	50	49,8

Variatia duritatii de-a lungul unei bare si pe circumferinta din 30 in 30° HRC.

Nr piese si unghiul	Tronsonul 1			Tronsonul 2			Tronsonul 3			Tronsonul 4			Tronsonul 5			Tronsonul 6			Tronsonul 7			Tronsonul 8										
	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med	1	2	3	Med				
2.107 0°	45	42	48	45	44	43	42	43	46	45	46	45,6	40	42	45	42,3	40	38	43	44,3	39	39	37,3	42	42	43	43	43	41	43	46	44,3
30°	46	45	49	46,3	44	41	43	42,8	47	43	43,6	41	44	46	43,6	41	44	45	49	46	43,6	41	44	43,8	46	46	45	44	44	45	46	45
60°	46	44	49	46,8	45	47	46	47,3	48	44	46	44,6	49	48	48	46	44	46	46	44	46	44	44,6	49	44	44	44	44	44	44	49	45,6
90°	49	44	46	43,3	46	40	45	43,6	42	46	45	44	44	42	43,3	41	46	42	44	44	42	43	43	42	44	44	44	44	44	44	44	44
120°	44	42	49	45	39	48	50,3	55	47	46	50,3	46	42	43	43,6	44	45	47	48	44	42	48	49	48	42	48	46	46	45	45	44,3	
150°	44	44	42	43,3	45	45	45,3	47	43	45	45	44	44	44,3	44	45	44	43	43	44	43	44	44	43,6	39	42	42	42	42	42	41	
180°	42	43	43	42,6	49	44	45	44,6	40	47	46	45,6	47	46	45,6	41	40	43	43	43	40	45	43	42,6	42	40	40	41	41	41	41	
210°	44	45	45	44	49	48	49,6	47	46	43	45,3	45	44	44,3	45	42	43	42	42	44	42	42	42	42	42	42	42	42	40	40	40,6	
240°	44	47	48	46,3	49	44	46	46,3	44	46	46,3	46	43	46	42	43	45	45	45	43	48	45	43,3	48	45	45	45	45	48	46,3		
270°	38	38	38	37,3	48	44	44,3	47	50	45	47,3	45	46	42	41,6	42	44	44	46	46	44	44	42,3	44	42	44	44	42	45	46	44,3	
300°	41	43	45	43	46	47	48	47	48	46	47	47	47	48	47,6	47	48	47	48	47	48	47	48	47,6	47	48	45	45	42	42,3		
330°	44	43	40	42,3	42	43	46	43,6	50	47	48,3	42	44	46	44,3	46	48	46	47	48	46	45	45	42,3	46	46	45	46	45	45	45,6	

PASTRAREA COTEI INITIALE DE-A LUNGUL UNOR BARE CU 8 TRONSOANE A 60mm FIECARE. TABELUL NR.18-19.

Nr tronsoare	Dimensiuni de circumferinta ale piulelor pe tronsoane de 60mm																			
	2 01	2 02	2 03	2 04	2 05	2 06	2 07	2 08	2 09	2 10	2 11	2 12	2 13	2 14	2 15	2 16	2 17	2 18	2 19	2 20
1	4925	4943	4957	4954	4948	4938	4924	4954	4937	4943	4941	4951	4942	4978	4958	4944	4955	4939	4945	4935
2	4926	4942	4932	4953	4947	4939	4924	4953	4937	4942	4944	4950	4941	4977	4951	4943	4950	4938	4946	4938
3	4927	4942	4933	4951	4947	4938	4924	4952	4938	4942	4941	4950	4941	4976	4951	4943	4950	4939	4947	4939
4	4927	4942	4939	4950	4947	4937	4924	4953	4939	4943	4942	4949	4977	4952	4952	4945	4953	4939	4947	4939
5	4928	4942	4939	4951	4949	4937	4925	4953	4937	4943	4941	4949	4976	4951	4951	4945	4954	4939	4947	4939
6	4928	4942	4931	4950	4948	4938	4924	4951	4938	4941	4939	4948	4976	4949	4953	4945	4951	4938	4946	4938
7	4927	4943	4939	4949	4947	4937	4924	4950	4939	4941	4938	4947	4974	4949	4952	4945	4951	4938	4946	4937
8	4928	4941	4930	4949	4946	4937	4923	4950	4937	4940	4938	4947	4939	4974	4947	4944	4951	4937	4946	4937
OL C 60																				
1	4973	4988	4987	4984	4964	4967	4980	4971	4957	4974	4973	4978	4950	4962	4991	4955	4978	4956	4965	4947
2	4974	4977	4983	4980	4966	4964	4980	4971	4958	4975	4975	4979	4950	4963	4991	4958	4973	4951	4968	4949
3	4976	4979	4985	4981	4966	4964	4982	4975	4968	4974	4976	4981	4950	4963	4990	4957	4970	4950	4967	4949
4	4977	4980	4986	4982	4967	4964	4984	4975	4961	4978	4980	4980	4950	4963	4982	4962	4970	4950	4967	4946
5	4977	4980	4987	4981	4968	4970	4985	4975	4961	4978	4978	4979	4950	4964	4984	4958	4970	4950	4967	4947
6	4978	4977	4985	4983	4969	4968	4983	4972	4963	4976	4979	4979	4949	4964	4982	4958	4972	4950	4967	4947
7	4977	4977	4986	4982	4967	4968	4982	4972	4963	4973	4974	4980	4946	4963	4988	4955	4971	4956	4968	4947
8	4977	4977	4983	4983	4968	4968	4981	4972	4963	4976	4975	4980	4946	4962	4987	4953	4979	4955	4965	4947

ABATERI DE LA ROTUNJIME

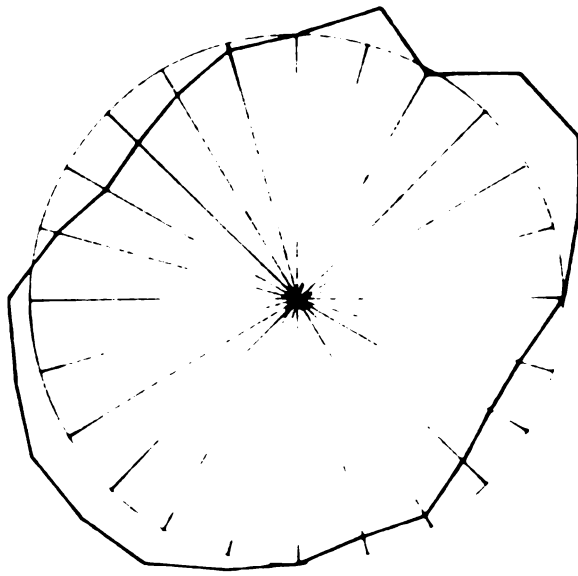
TABELUL NR.20

Abatero de la rotunjime in μm.

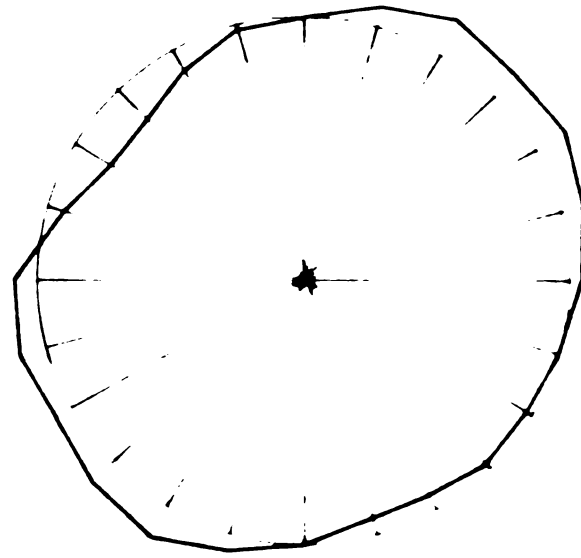
Nr pese	Abatero de la rotunjime in μm.																									
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°	360°	
2.1021	0	+2	+4	+4	+4	+3	+2	0	0	+1	+2	+4	0	+6	+6	+6	+4	+4	+2	+1	+1	+1	+2	+4	+6	0
2.1022	0	0	0	+1	0	-2	-4	-4	-3	-4	-1	-1	0	+1	+1	+1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-1	0	0
2.1023	0	0	0	0	-1	-2	-4	-5	-5	-5	-4	-2	0	0	-1	-2	-4	-4	-4	-6	-5	-4	-2	-2	-1	0
2.1024	0	0	-2	-3	-5	-6	-7	-7	-5	-3	-1	0	0	0	-1	-2	-4	-4	-6	-7	-7	-6	-4	-1	0	0
2.1021	0	+1	+1	+2	+2	+3	+2	+3	+2	+1	0	0	0	+1	0	+1	0	0	0	+1	+1	0	0	0	+1	0
2.1022	0	+1	+2	+1	0	0	0	-1	-1	-2	-4	-2	0	+1	+1	+1	0	0	0	+1	+1	0	-1	-2	-1	0
2.1023	0	+1	+1	+2	+2	+1	0	-1	-2	-4	-2	-1	0	0	+1	+1	0	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-3	0
2.1024	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-7	-7	-6	-3	-1	0	0	-1	-2	-4	-4	-6	-7	-7	-6	-4	-2	0	0
2.1025	0	+1	+1	0	-1	-2	-1	-2	-3	-4	-6	-2	0	-1	0	-1	0	0	-1	-5	-5	-6	-2	-1	0	0
2.1026	0	+1	0	-2	-4	-6	-7	-8	-6	-3	-2	-1	0	0	-1	-3	-4	-4	-6	-7	-6	-5	-4	-1	0	0
2.1027	0	0	-1	-3	-4	-6	-8	-9	-9	-6	-3	-2	0	-1	-2	-3	-6	-6	-9	-9	-8	-4	-2	-1	0	0
2.1021	0	+1	0	0	+1	-1	0	+3	+5	+5	+4	+3	0	+1	-1	-1	0	0	+1	+3	+4	+4	+3	+2	0	0
2.1022	0	-1	0	-2	-2	-3	-1	0	+3	+4	+4	+3	0	-1	-2	-3	-2	0	+4	+3	+4	+4	+3	+1	0	0
2.1023	0	-1	0	+1	+2	+1	0	-1	-1	0	0	-1	0	-1	-1	0	+1	0	-1	-2	-1	0	-1	-1	0	0
2.1024	0	-1	0	+3	+6	+7	+6	+2	-1	-5	-7	-6	0	+3	+5	+7	+6	+2	+2	-4	-4	-6	-6	-2	0	0
2.1121	0	+2	+5	+6	+7	+6	+2	-1	-1	-1	0	+1	0	+1	0	-1	0	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0
2.1122	0	+1	+1	0	+1	+1	+2	+2	+1	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	+1	0	0	-1	0	0	0	0
2.1123	0	-2	-4	-6	-4	-2	+1	+4	+4	+4	+2	0	0	-4	-6	-6	-5	-2	-2	0	+2	+3	+3	+2	0	0
2.1124	0	-1	-3	-4	-3	-2	0	+2	+4	+7	+7	+6	0	-1	-3	-4	-2	0	+4	+6	+7	+6	+5	+2	0	0
2.1071	0	+1	+2	+2	+1	0	-1	-2	-4	-5	-4	-2	0	-2	-2	-3	-4	-5	-5	-3	-7	-6	-7	-4	0	0
2.1012	0	+2	+3	+2	+4	+3	+2	+1	0	0	+1	+1	0	+3	+4	+2	+3	0	+4	0	-1	0	+1	0	0	0
2.1073	0	0	0	0	+1	+2	+1	+1	0	0	0	0	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0
2.1074	0	+2	+5	+1	+7	+6	+4	+1	+1	0	+5	+2	0	+1	0	+1	+2	+5	+7	+1	+2	+2	0	+6	0	0
2.1071	0	+2	+4	+3	+3	+2	+1	0	-1	-1	-2	-2	0	+2	+4	+3	+2	+3	+2	+1	+1	+1	-1	-2	-1	0
2.1012	0	+1	0	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-2	-3	-3	-2	-2	-3	-1	-2	-1	0
2.1013	0	-1	-2	-3	-4	-5	-4	-4	-4	-4	-5	-3	0	-1	-1	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-2	0	0
2.1014	0	+1	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-4	-2	0	0	-2	-2	-3	-4	-6	-6	-7	-7	-5	-4	0	0
2.1171	0	+4	-1	+3	+6	+2	0	-4	-5	-4	-2	-2	0	+2	+4	+6	+5	+2	+2	-2	-2	-5	-3	-1	0	0
2.1172	0	+1	+2	+1	0	0	-1	-3	-8	-7	-4	-2	0	0	0	+1	+1	0	+2	-6	-6	-7	-5	-4	0	0
2.1028	0	+1	+2	+1	0	0	-1	-4	-6	-6	-4	-2	0	0	+2	+1	+1	0	+2	-7	-7	-5	-4	-2	0	0

REPREZENTARI GRAFICE ALE ABATERILOR
DE LA ROTUNJIME.

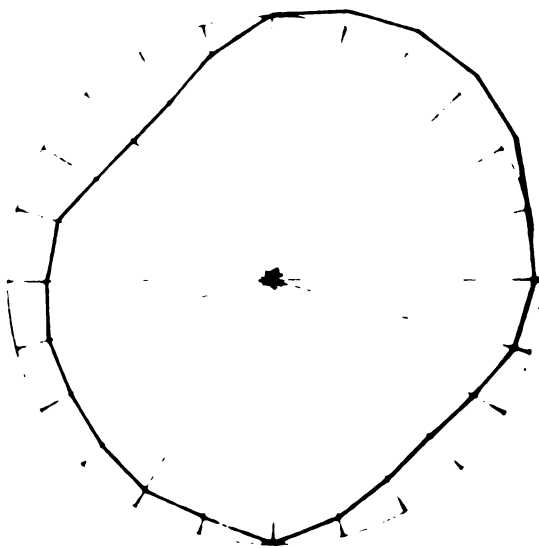
TABELUL NR. 21.



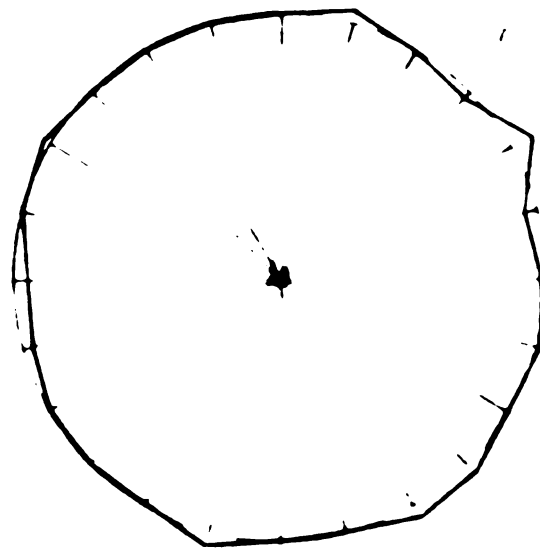
2.117.1



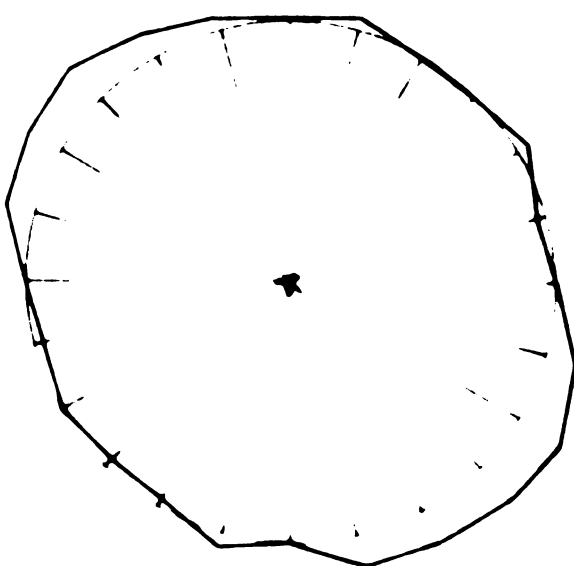
2.101.1



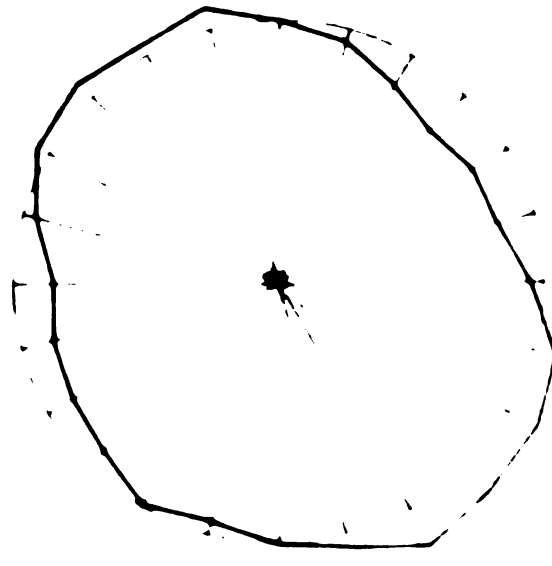
2.107.1



2.112.1



2.108.1






Pasi prelorati clasici

SCARA 1mm ÷ 0001mm

TABELE CU COEFICIENTI SI RELATII UTILIZATE LA INTERPRETAREA RUGOZITATII CU AJUTORUL FUNCTIILOR DE CORELATIE.

TABELUL NR.22.

Forma aboterilor suprafeței și coeficientul C_p .

Forma aboterilor suprafeței	Formă sinusoidală	Formă parabolică	Formă triunghiulară
			
Coeficientul C_p	1,22	1,17	1,15

TABELUL NR.25

Caracteristici de corelație ale profilului suprafeței.

Denumirea caracteristicii	Simbol	Formula de calcul		
		Pentru partea periodică	Pentru partea aperiodică	Pentru profilul total.
Aboterea medie aritmetică	R_a	$R_{ap} = \frac{C_p}{C}$	$R_{ap} = \frac{C_p}{C}$	$R_a = \frac{\sqrt{D}}{C}$
Distanta medie între aboterile de la formă	T	$T_p = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} T_{pi}}{n_p}$	$T_p = \frac{5 \cdot \sigma_p}{\sqrt{\ln K_p(\xi_p)}}$	$T = \frac{T_p \cdot T_\beta}{T_p + T_\beta}$
Coeficient de profil	C	C_p din tabelă	$C_p = 1,25$	$C = \sqrt{C_p^2 \cdot \beta} + \sqrt{C_p^2 \cdot \beta}$
Coeficient de hazard	β	0	1	$\beta = \frac{D_p}{D}$

TABELUL NR.22 (continuare)

Coeficientul β pentru diferite procedee de prelucrare.

Procedeul de prelucrare	Limita de domeniu β	Procedeul de prelucrare	Limita de domeniu β .
Lepuire.	0,8 ... 0,95	Robotare de finisare	0,25 ... 0,5
Polizare.	0,75 ... 0,95	Văluire	0,4 ... 0,7
Slefuire.	0,7 ... 0,9	Robotare de degrosare	0,15 ... 0,35
Prelucrare electro-erozivă.	0,8 ... 0,95	Frezare de degrosare	0,2 ... 0,35
Strungire și frezare de finisare.	0,25 ... 0,7		

ORDONATELE CURBELOR DE NIVEL PENTRU PRELUCRAREA CU FUNCTIA DE CORELATIE. Tabela Nr.23

Piesa Nr. 2.112. n = 160 rot/min. ; S = 0,315 mm/rot. T = 1100°C ; V = 25,13 m/min

7	12	12	9	9	8	9	11	14	12	11	13	13	12	13	11	9	8	9	10	9	9	12	9	9
9	10	10	9	7	7	8	11	15	17	13	13	12	12	13	15	18	17	15	15	16	15	14	11	11
11	12	11	10	7	7	11	11	17	13	12	9	9	9	10	13	16	14	12	11	11	11	12	12	14
14	12	12	11	10	9	9	8	8	8	9	10	11	13	13	15	13	13	11	9	9	9	9	14	20
19	15	15	15	16	16	17	15	14	11	9	10	11	9	10	10	7	5	6	8	8	8	7	7	5
4	5	5	6	10	13	10	9	8	9	9	12	13	11	10	10	9	10	13	11	7	6	6	8	8
8	10	11	10	10	10	9	8	6	6	7	7	9	14	18	14	14	14	14	14	15	15	13	10	10
10	10	10	8	7	5	6	8	9	6	4	6	6	6	6	6	5	3	4	4	5	8	13	14	10
10	10	10	11	12	14	13	11	10	11	12	13	14	12	11	10	12	12	10	13	15	14	13	12	12
10	8	8	9	9	13	16	14	12	12	11	12	15	16	12	10	11	10	10	8	8	8	8	8	10
10	11	9	9	9	9	9	9	8	5	6	7	8	11	14	11	11	11	10	11	11	14	16	15	11
10	11	11	11	12	11	10	10	10	10	15	13	8	9	9	9	9	9	6	6	6	6	7	10	14
12	11	13	15	15	15	18	20	13	13	13	14	13	11	12	8	9	10	11	13	17	12	12	11	11
10	9	9	6	7	7	7	9	14	15	10	11	12	13	14	16	15	12	12	12	13	12	10	12	9
7	7	9	9	12	12	8	9	9	9	8	8	6	5	6	6	7	10	14	12	12	14	13	13	13
17	17	14	11	11	11	10	10	10	8	7	10	11	12	9	7	8	8	8	7	7	6	4	4	5
5	10	13	12	11	11	10	11	11	14	16	14	11	11	10	10	12	9	6	5	12	11	11	12	10
11	10	10	9	9	8	6	6	6	6	9	11	14	10	10	12	13	15	12	10	9	9	9	10	9
7	5	5	4	8	7	4	4	5	5	5	5	4	3	3	4	6	10	12	8	9	10	9	10	11
11	14	15																						

Tabela Nr.23 (continuare)

Piesa Nr.2.102. n = 315 rot/min ; S = 0,1 mm/rot. ; T = 1200°C ; V = 49,48 m/min. M₃

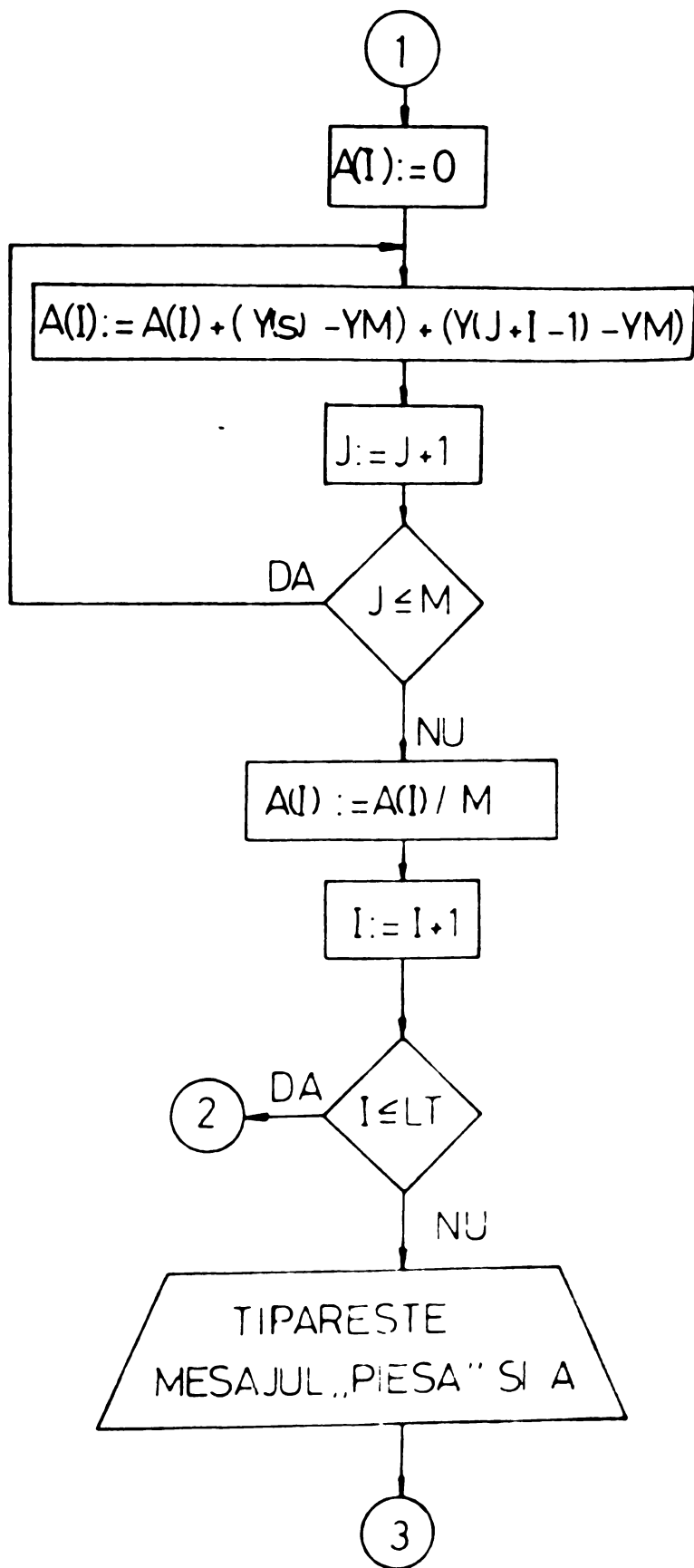
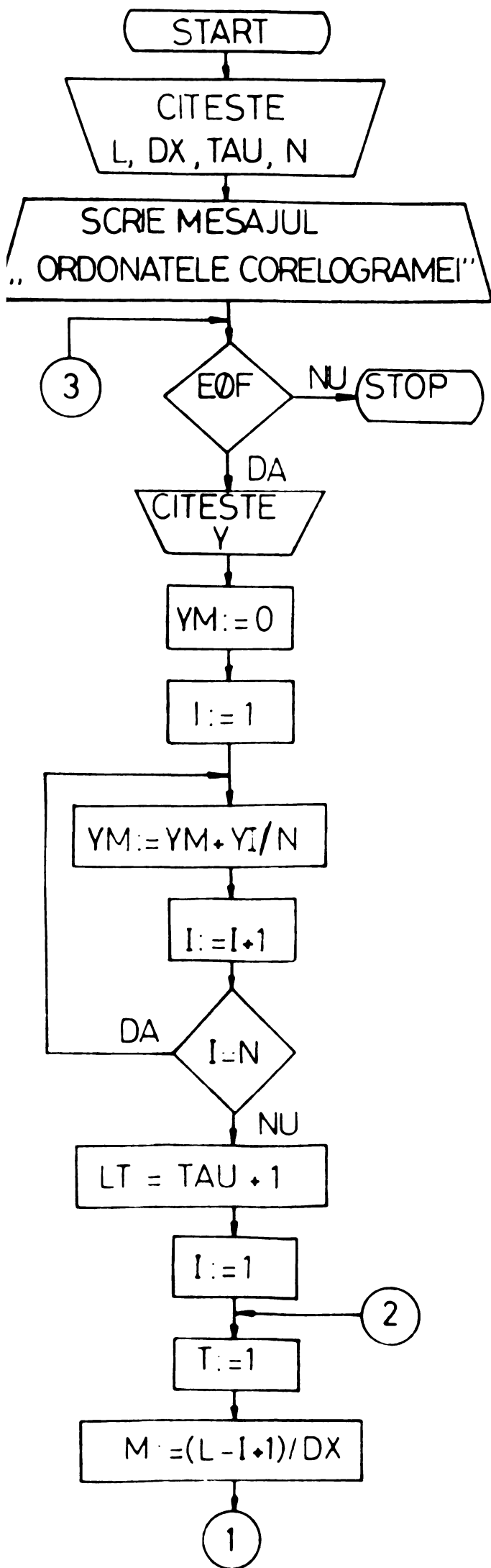
12	10	9	8	8	7	7	11	10	10	10	7	8	8	6	8	6	7	7	8	7	10	18	23
17	11	13	8	9	11	11	13	10	11	14	18	15	6	6	4	5	9	7	6	6	7	5	5
5	7	8	8	9	10	11	10	14	12	10	11	13	12	12	14	14	11	11	12	10	9	10	11
10	9	8	9	14	11	10	11	9	10	12	13	12	13	12	10	10	11	14	12	11	11	12	11
11	11	14	10	10	10	9	9	10	10	10	11	12	12	12	10	9	9	10	12	13	13	11	14
17	10	10	9	7	10	11	8	10	11	15	13	10	10	12	13	11	15	14	13	13	14	14	11
10	9	8	9	10	11	13	10	11	10	10	9	9	10	12	12	12	12	14	13	11	9	9	7
7	9	11	8	9	12	13	13	11	10	9	8	7	9	11	11	12	10	11	12	11	10	9	7
9	10	9	10	11	14	15	10	11	12	8	9	13	10	9	6	5	6	6	5	5	6	8	9
7	7	9	8	9	11	12	12	14	14	15	13	11	11	11	11	10	9	8	7	8	10	10	8
10	10	8	8	8	9	9	7	9	10	11	11	11	11	12	11	9	11	12	12	12	13	11	12
11	12	11	11	12	13	11	10	10	11	14	13	11	11	8	9	9	10	10	11	11	9	10	11
11	10	11	11	11	11	11	13	9	8	8	5	5	8	6	7	7	10	8	6	9	10	11	8
10	10	10	10	12	12	11	10	13	12	13	11	11	12	13	11	10	10	11	10	11	9	10	12
12	11	13	12	14	12	12	11	10	12	12	11	9	8	8	6	9	10	8	7	9	10	12	13
11	12	13	12	13	12	11	13	14	13	12	13	10	11	12	10	11	10	9	10	11	10	9	13
10	10	10	8	11	10	12	10	12	13	11	10	11	11	8	8	11	10	10	12	12	13	11	12
12	12	14	14	14	13	11	10	10	10	10	10	10	12	12	11	10	12	11	9	10	11	10	8
6	10	9	5	5	6	6	7	6	6	7	9	9	8	8	9	10	10	11	12	12	10	10	10
11	11	9	7	8	7	11																	

Tabela Nr.23 (continuare)

Piesa Nr. 3101.n = 315 rot/min; S = 0,2 mm/rot. T = 900°C ; V = 49,48 m/min.

7	8	10	11	12	12	11	13	13	11	9	11	10	10	9	9	9	8	7	8	8	9	9
10	12	11	12	11	12	14	15	12	10	7	6	6	7	7	7	5	6	7	7	7	8	10
11	16	14	16	16	16	15	15	12	11	11	11	10	10	7	8	9	9	9	10	10	11	13
14	10	11	11	11	13	11	8	7	7	8	8	8	6	7	9	9	9	10	10	11	12	18
15	16	17	17	17	15	11	11	10	10	10	10	7	8	9	8	9	10	10	11	11	14	12
13	13	13	13	13	8	8	8	8	8	8	5	6	8	7	8	9	9	9	10	11	14	12
13	15	14	13	10	9	9	9	9	9	7	7	9	8	8	9	9	10	11	13	17	13	12
14	14	10	7	7	7	7	7	5	6	6	7	7	7	7	8	9	10	11	12	13	13	15
15	15	14	13	11	10	9	9	8	7	8	9	8	9	9	10	10	10	13	11	10	11	14
11	10	7	7	7	7	7	7	5	6	8	8	7	9	9	10	11	14	15	13	14	15	16
11	10	10	10	10	10	10	7	8	9	8	8	9	9	10	11	13	11	10	10	11	13	12
9	7	6	6	6	7	7	4	4	6	7	6	6	8	9	10	12	14	12	13	15	15	11
11	10	10	10	10	10	7	8	9	8	9	10	10	11	11	14	15	15	17	16	15	16	6
8	8	8	8	5	7	8	7	8	8	9	9	10	11	13	15	15	15	15	17	17	13	12
11	11	11	10	10	7	8	9	9	10	10	11	11	13	14	12	12	13	14	14	14	10	10
9	9	9	9	7	7	8	8	9	9	9	10	11	13	14	14	14	17	18	17	13	10	8
8	8	8	6	6	8	7	7	8	8	8	9	10	10	15	13	15	16	14	13	11	7	7
7	7	7	5	6	7	7	7	7	8	8	9	12	13	14	15	15	14	12	10	9	10	10
10	10	9	7	8	9	11	11	9	9	9	9	11	11	9	10	10	11	9	9	5	4	5
5	5	3	4	5	5	5	7	7	8	9	10	15	15	15	16	15	15	12	11	12	12	12
11	10	9	10	10	10	10	11	12	11	14	11	10	13	15	15	12	10	7				

TABELUL NR. 24.



SCHEMA LOGICA DE CALCUL
A FUNCTIEI DE CORELATIE
DATA DE FORMULA

$$K(\tau) = \frac{1}{L - \tau} \sum_{j=0}^{\frac{L - \tau}{\Delta x}} (Y_j - Y_M)(Y_{j+\tau} - Y_M)$$

11. BIBLIOGRAFIE

1. NANU A., Tehnologia materialelor, Ed. Didactică, Buc., 1972
2. NANU A., COMAN L., TEODORESCU A., Extrudarea la rece și forjarea cu fibraj continuu a oțelului, Ed. Facla, Timișoara, 1975.
3. NANU A., BRESTIN A., SPOREA I., Studiul prelucrabilității oțelurilor manganoase înalt aliate, contract cercetare științifică IPT-Energo-reparații, București, 1969.
4. MARTINOSIAN, R.B., Rezanie metalov kak proțes plasticeskoi deformații, URSS, Erevan, 1963.
5. VAZACA C., Incălzirea prin inducție în joasă și înaltă frecvență, Ed. Academiei, București, 1956.
6. DREUCEAN A., Mașini unelte și prelucrări prin așchiere, Ed. Didactică, București, 1968.
7. DUCA Z., Așchiera metalelor, Tipografia învățămîntului, București, 1957.
8. SPOREA I., Tehnologie mecanică, IPTVT, Timișoara, 1975
9. BRESTIN A., Studiul influenței preîncălzirii inductive a stratului de suprafață la oțelurile supuse prelucrării prin așchiere, Teză de doctorat, IPTVT, Timișoara, 1972.
10. DATCU L., Frezarea la temperatură ridicată, Rev. Construcția de mașini Nr.2, București, 1968.
11. x x x, Strunjirea metalelor la cald prin încălzirea prealabilă a stratului de suprafață, I.D.T., București, 1967.
12. APRACSIN, V.I., Nekatorjie vaprosi teorii stanova rezania, URSS Masghiz, Maskva, 1951.
13. SLUHOTKI A.E., Inductorî Mașinostroenie, URSS Maskva, 1965.
14. KLUSIN M.I., Rezanie metalov, URSS Masghiz, Maskva, 1963.
15. ALTGAUZEN A.P., Instalații electrotermice industriale, Ed. Tehnică, București, 1975.
16. CUIKOV I.M., Procese de deformare plastică a oțelurilor aliate și aliajelor neferoase speciale, Ed. Tehnică, București, 1961.
17. x x x, Hot turning, Anglia, Toll and Manufacturing, Nr.3, 1963.
18. x x x, Working with hot chipping, Anglia, Mechanical Engineering Nr.1, 1964.

19. x x x, Cercetări privind încălzirea prin inducție electromagnetică a unor piese cilindrice în scopul prelucrării lor la cald, contract cercetare științifică IPTV - ICMR, Timișoara, 1972.
20. ANDRONESCU P., Bazele electrotehnicii, Ed.Didactică, București, 1972.
21. ILIUC I., Tribologia straturilor subțiri, Ed.Academiei, București, 1974.
22. ENACHE S., Calitatea suprafețelor prelucrate, Ed.Tehnică, București, 1966.
23. MANTEA S., Teoria și practica tratamentelor termice, Ed. Tehnica, București, 1966.
24. MANTEA S., Metalurgie fizică, Ed.Tehnică, București, 1970.
25. LAMM M.M., Ghidrodinamiceskaia teoria rezania metalelor, URSS, Harkov, 1956.
26. ASCHINAZI, B.M., Prelucrarea de finisare electromecanică a pieselor de mașini, Mașinostroitel, Nr.9, 1971.
27. BRAJUNAS A.I., Starea termică a sculei la prelucrarea electromecanică, URSS Vestnic masinostroenia. Nr.12, 1972.
28. MILBERG J., Funcția de transfer a procesului de așchiere, RFG, Industrie Anzeiger Nr.58, 1972.
29. OKUSHIMA K., Un studiu asupra tensiunilor interne produse la așchiera metalelor, Departament of Precision Mechanics Nr.28, 1971.
30. COLUMBA M., Dispozitiv tensometric de măsurat cele trei componente ale forței la strunjire, Ses.Tehnică Științifică, Baia Mare, 1976.
31. COLUMBA M., Prelucrarea prin rulare, Ses.Tehnică Științifică, Reșița, 1975.
32. HARTLEY J., Prelucrarea mecanică fără așchiere, Anglia, The engineer, sept. 1972.
33. x x x, Procedee speciale de prelucrare, SUA, Machine Design, Nr.24, 1972.
34. PAHLITZCH, G., Nerotunjimea la finisarea pieselor cilindrice, RFG, Z.ind. Fertig Nr.61, 1971.
35. MILBERG J., Model analitic pentru descrierea procesului de așchiere la strunjire, RFG, Zeitschrift fur Wirtschaftliche Fertigung, vol.67, Nr.8, 1972.

36. x x x, Netezirea prin rulare RFG, Klepzig, Fackberichte, vol.80, Nr.2, 1972.
37. LEONOV B.I., Microgeometria poverhnosti pri tonkom tocenii, URSS, Maşghiz, Moskova, 1971.
38. LIAKOV, A.I., Prelucrarea electromecanică a oţelurilor cu conţinut redus de carbon, URSS, Tehnologhia i organizaţia proizvodstva Nr.3, 1970.
39. GOLUMBA M., Inductor pentru încălzirea de suprafaţă a semifabricatelor, cerere brevet invenţie, 1976.
40. GOLUMBA M., Vîrf de prindere compensator de dilataţie, cererea de brevet invenţie, 1976.
41. BORN M., Fizică atomică, Ed. Stiinţifică, Bucureşti, 1973.
42. GOLUMBA M., Punctul Curie funcţie de viteza de încălzire prin inducţie a oţelurilor OLC 45 şi OLC 60, Ses. Tehnico Stiinţifică I.S.Reşiţa, 1977.
43. GOLUMBA M., Cercetări privind netezirea electromecanică a arborilor, contract cercetare ştiinţifică ISR-ICMR, 1975.
44. CONTOROVICI I.E., Tratamentul termic al oţelurilor şi fontelor, Ed. Tehnică 1953.
45. DIETER G., Metalurgie mecanică, Ed. Tehnică, 1970.
46. GAVRILAS I., Netezirea şi ecruisarea suprafeţelor prin rulare şi alunecare, Ed. Tehnică, 1972.
47. CONSTANTIN N., Tratamente termice şi termochimice prin CIF, sinteză documentară, INID, 1974.
48. BRASOVAN I., Electrotermie, IPT, Timişoara, 1955.
49. BUTUNOV, V.N., Finisarea bolţurilor, URSS, Masinostroitel Nr.9, 1971.
50. NEESE P., Influenţa materialului asupra formării necircularităţii la rolarea de netezire a pieselor cilindrice, RFG, Industrie Auzeiger, Nr.20, 1972.
51. MILBERG J., Analiza stabilităţii la strunjire, RFG, Industrie Auzeiger, Nr.68, 1972.
52. CHILDENGARN M.S., RUBIN I.I., Determinarea tensiunilor lineare de curgere la calculul forţei de presare, URSS, Trennie metalli, Nr.11, 1970.
53. SPATH W., Fenomene de suprafaţă la deformarea plastică a unei epruvete, RFG, Metal, Nr.1, 1971.
54. x x x, Procedul PERA de prelucrare la cald aplicat la strunjire, Anglia, Machinery Nr.3051, 1971.

55. ADKINS H., Măsurarea și compararea rugozității suprafețelor, SUA, American Machinist, Nr.18, 1969.
56. BACHMANN B., Analiza neregularității pieselor prelucrate pe strung, Italia, Macchine, Nr.10, 1969.
57. LEONOV B.N., Microgeometria suprafeței la finisare, URSS, Izv. VUZ Mașinostrenie, Nr.2, 1970.
58. VITENBERG I.R., Caracteristicile rugozității suprafețelor și influența factorilor tehnologici, URSS, Vestnik masinostroenie, Nr.2, 1970.
59. CLAUSEN R., Reducerea forțelor de așchiere la strunjirea la cald, RFG, Industrie-Auzeiger, Nr.24, 1970.
60. SCHEFFER F., Incălzirea inductivă pentru prelucrarea la cald, RFG, Elektro-Wärme Internațional, Nr.4, 1970.
61. CLAUSEN R., Stadiul actual al strunjirii la cald, Italia, Macchine, Nr.3, 1970.

CUPRINSUL

	pag.
1. Introducere	1
2. Stadiul actual al cercetării și al aplicării unor procedee tehnologice de netezire a arborilor.	3
2.1 Unele aspecte asupra prelucrării prin așchiere	3
2.2 Netezirea prin deformare plastică la temperatura obișnuită și cu preîncălzirea stratului de suprafață.	6
3. Condiții tehnice și tehnologice folosite la cercetarea netezirii electromecanice a arborilor.	9
3.1. Prezentarea instalațiilor de bază folosite	10
3.2 Scule și dispozitive	14
3.3 Aparate de măsură și control.	19
3.4 Materialele supuse prelucrării	20
4. Încălzirea prin curenți de înaltă frecvență.	23
4.1 Încălzirea prin inducție.	23
4.1.1 Stabilirea ecuațiilor câmpului electromagnetic	23
4.1.2 Determinarea parametrilor electrici ai sistemului inductor-piesă.	26
4.2 Încălzirea superficială progresivă și determinarea curbei temperaturilor.	28
4.3 Variația constantelor metalului în timpul încălzirii.	31
4.4 Calculul inductorului.	35
4.5 Studiul încălzirii prin inducție a oțelurilor OLC 45 și OLC 60 la netezirea electromecanică a arborilor.	41
4.5.1 Încălzirea cu inductor și piesă în repaus.	42
4.5.2 Încălzirea cu inductor în mișcare și piesă în repaus.	53
4.5.3 Încălzirea cu inductor și piesă în mișcare	63
4.5.4 Încălzire și răcire cu inductor și răcitor în mișcare și piesă în repaus.	64
5. Studiul teoretic și experimental al procesului de netezire electromecanică a arborilor.	73
5.1 Studiul experimental al netezirii.	73
5.2 Temperatură optimă de aplicare a netezirii electromecanice.	84
5.3 Ecuațiile componentelor forței de așchiere la netezirea electromecanică a arborilor din OLC 45 și OLC 60.	87
5.4 Considerații asupra determinării pe cale teoretică a forței la netezirea electromecanică.	89

6.	Studiul transformărilor structurale la netezirea electromecanică a arborilor din OLC 45 și OLC 60	95
6.1	Particularități ale formării austenitei la încălzirea de suprafață prin inducție.	95
6.2	Transformarea martensitică a austenitei obținute cu încălzire prin inducție.	97
6.3	Analiză asupra structurilor de transformare obținută la netezirea electromecanică a arborilor din OLC 60.	99
6.4	Determinarea tensiunilor interne remanente după aplicarea netezirii electromecanice.	103
7.	Studiul variației proprietăților stratului de suprafață cu variația parametrilor tehnologici la netezirea electromecanică a arborilor din OLC 45 și OLC 60.	107
7.1	Influența parametrilor tehnologici asupra proprietăților mecanice ale stratului de suprafață.	108
7.2	Influența parametrilor tehnologici asupra preciziei dimensionale a arborilor din OLC 45 și OLC 60 neteziți electromecanic.	112
7.3	Influența parametrilor tehnologici asupra gradului de netezire a suprafeței prelucrate electromecanic.	115
7.4	Studiul influenței parametrilor tehnologici asupra rugozității suprafeței netezite electromecanic cu ajutorul funcțiilor de corelație.	118
7.4.1	Transformarea prin corelare a curbelor de profil	119
7.4.2	Caracteristici de corelare a profilului de suprafață.	121
7.4.3	Studiul influenței factorilor tehnologici asupra caracteristicilor de corelație ale profilului suprafețelor netezite electromecanic.	122
8.	Unele aspecte de eficiență economică ale netezirii electromecanice a arborilor.	133
9.	C o n c l u z i i	134
10.	Anexe cu date experimentale, de calcul și unele reprezentări grafice.	139
11.	Bibliografie	181