

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

CZU: 621.621.9

Ing. PAVEL COSOVSKI

**Sporirea durabilității formelor de turnare prin
procedee tehnologice și metode constructive**

242.05 – Tehnologii, procedee și utilaje de prelucrare

Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice

CHIȘINĂU, 2019

Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Universitatea Tehnică a Moldovei. Școala Doctorală Inginerie Mecanică și Civilă.

Conducător științific:

MAZURU Sergiu, conf. univ., dr. în șt. tehnice, specialitatea 242.05 – Tehnologii, procedee și utilaje de prelucrare

Referenți oficiali:

1. **MUSCĂ Gavril**, prof. univ., dr. ing., Universitatea Tehnică „Gh. Asachi”, Iași, România
2. **MALCOCI Iulian**, dr., conf. univ., Universitatea Tehnică a Moldovei

Componența nominală a Consiliului Științific Specializat:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. STOICEV Petru , prof. univ., dr. hab., UTM | – <i>președinte CȘS</i> |
| 2. BODNARIUC Ion , conf. univ., dr., UTM | – <i>secretar științific al CȘS</i> |
| 3. DULGHERU Valeriu , prof. univ., dr. hab., UTM | – <i>membru al CȘS</i> |
| 4. BOSTAN Ion , prof. univ., dr. hab., academician, AȘM | – <i>membru al CȘS</i> |
| 5. TOPALĂ Pavel , prof. univ., dr. hab., US <i>Alecu Russo</i> , Bălți | – <i>membru al CȘS</i> |
| 6. VACULENCO Maxim , conf. univ., dr., UTM | – <i>membru al CȘS</i> |

Susținerea va avea loc la 17.05.2019, ora 14.00, în ședința Consiliului științific specializat D 242.05-08 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei (MD 2045, Republica Moldova, or. Chișinău, str. Studenților 9. aud. 6-415).

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Națională a Republicii Moldova, biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a C.N.A.A. (www.cnaa.md).

Autoreferatul a fost expediat la _____

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat:

conf. univ., dr. în tehnică _____

Conducător științific:

conf. univ., dr. în șt. tehnice _____

Autor: _____



BODNARIUC Ion

MAZURU Sergiu

COSOVSCI Pavel

(Cosovschi Pavel, 2019)

Actualitatea temei: tema de cercetare este argumentată prin următoarele puncte:

- din anii '50 sunt cunoscute principiile practice și teoretice de ecruisare a materialului în stratul exterior al oțelurilor prin deformarea plastică a suprafețelor cu obținerea unui profil cu rugozitate îmbunătățită. Procesul DPS permite mărirea rezistenței pieselor de cca 1,5-2,3 ori, mărirea preciziei de prelucrare cu 10-15%. Dar principiile teoretice de calcul sunt foarte voluminoase și includ un număr foarte mare al parametrilor de calcul [Kolmogorov V.L., Kudreavțev I.V. ș.a.], ceea ce face, practic, imposibil calculul exact al parametrilor procesului de deformare plastică superficială (DPS);

- dezvoltarea mașinilor de calcul și a softurilor din ultimii ani a făcut posibilă automatizarea procesului de calcul, ceea ce nu a fost posibil în anii precedenți;

- dezvoltarea metodelor noi asistate de calculator în rezolvarea problemelor fizice complexe și voluminoase de DPS, folosind discretizarea matematică;

- contribuțiile ce le aduce această cercetare vizează dezvoltarea proceselor de prognozare a DPS, descoperirea noilor domenii de aplicare care anterior erau imposibil de realizat, fiind cauzate de dificultățile calculului și utilizării ipotezelor și aproximărilor.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute constă în elaborarea unui proces DPS pentru fonta cu grafit lamelar și stabilirea procedurii generale de aplicare a PC în procesul de prognozare a DPS cu determinarea ecruisării materialului în stratul exterior, totodată, și îmbunătățirea calității suprafeței. De asemenea, teza tratează problemele elementelor constructive de răcire privind sporirea durabilității formelor de turnare și metodele de acoperire cu pelicule de protecție a elementelor seturilor de forme supraîncărcate termic.

Semnificația teoretică constă în elaborarea unei metode noi unice de abordare a problemei DPS prin aplicarea tehnicii de calcul contemporane LS-DYNA; vizualizarea și scoaterea la suprafață a proceselor fizice ce parcurg zona DPS și zonele constructive supraîncărcate termic ANSYS.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în recomandările și datele relevante obținute pentru procesul de DPS a fontei cu grafit lamelar, elaborarea modelului de simulare numerică a procesului DPS, elaborarea modelului (termotehnic), calculul canalelor de răcire, recomandări privind executarea standurilor de încercare. O mare parte dintre rezultatele obținute sunt implementate la IS CFS.

Implementarea rezultatelor științifice. Rezultatele obținute în procesul de elaborare a tezei de doctor au contribuit la înțelegerea și vizualizarea detaliată și exactă a procesului DPS în general și în mod special a procesului DPS pentru fonta cu grafit lamelar. A fost elaborată tehnologia nouă de DPS pentru fonta cu grafit lamelar, formulat și analizat materialul special folosit pentru confecționarea formelor în industria de producere a sticlelor și borcanelor. În teză a fost elucidată posibilitatea folosirii stratului nanometric de protecție pentru elemente. Au fost obținute trei brevete de invenție, efectuată analiza elementelor constructive de răcire a formelor și marea majoritatea au fost implementate în producere.

Contribuțiile lucrării. Teza este consacrată elaborării unei tehnici de simulare numerică a DPS și folosirii posibilităților calculatoarelor moderne în problemele legate de calculul foarte complicat și voluminos. Acoperirea cu pelicule de protecție nanometrice și perfecționarea construcției de răcire în scopul măririi productivității procesului de confecționare a formelor, aplicarea metodologiei favorabile pentru mediul

ambiant, mărirea duratei de funcționare prin îmbunătățirea texturii materialului superficial, protecția nanometrică și descărcarea termică.

Contribuții teoretice – elaborarea bazelor teoretice privind procedura de aplicare a simulărilor numerice.

Contribuții practice:

- elaborarea tehnologiei de simulare și prelucrare a DPS pentru fonta cu grafit lamelar;
- aplicarea stratului de protecție termică pentru elementele formelor;
- perfecționarea structurii stratului superficial (de aprox. 2 ori);
- aplicarea diferitor elemente constructive pentru echilibrarea termică a formei.

Scopul și obiectivele tezei. Scopul lucrării constă în dezvoltarea teoriilor existente, aplicarea tehnicii de calcul modern și studierea prin asistența lor a posibilității îmbunătățirii stratului superficial al fontei cu grafit lamelar; compararea datelor simulate cu cele obținute în laborator; acoperirea cu straturi nanometrice de protecție și experimentarea lor în condiții reale de lucru; studierea posibilităților constructive de echilibrare termică a formelor.

Pentru realizarea scopului tezei, atenția a fost focalizată asupra obiectivelor principale:

- elaborarea modelului de simulare;
- elaborarea modelului de material pentru forme;
- simularea numerică a procedeeelor;
- experimentarea proceselor de durificare.

Publicații la tema tezei. Rezultatele obținute în procesul de realizare a tezei au fost publicate în 7 lucrări științifice prezentate la 6 conferințe naționale și internaționale, una dintre care a fost apreciată cu medalia de aur, inclusiv patru articole fără coautori. Trei brevete de invenții.

Volumul și structura tezei: introducere, cinci capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 117 titluri, 2 anexe, 169 pagini de text, 103 figuri, 15 tabele.

Cuvinte-cheie: deformare plastică superficială, ecruisare, acoperire cu pelicule nanometrice, echilibrare termică a fontei.

Conținutul tezei

Introducere: cuprinde momente de actualitate a temei de cercetare, alegerea obiectului de cercetare.

Scopul tezei: include elemente de strategie în abordarea problemei.

Obiective propuse: conține momente de structurare a tezei.

Capitolul 1, “Analiza procedeeelor de durificare și de netezire a suprafețelor organelor de mașini și a sculelor, analiza metodelor constructive și de acoperire cu pelicule de protecție” conține descrierea și analiza stadiului actual al principalelor procedee de durificare și netezire a suprafețelor organelor de mașini și a sculelor. Așadar, sunt analizate critic metodele aplicate pentru netezirea și durificarea superficială a suprafețelor de lucru ale organelor de mașini.

Spre deosebire de *îmbunătățirile de volum*, care asigură o creștere de aproximativ 2 ori și uniformă a caracteristicilor de rezistență ale materialelor pe toată secțiunea acestora, *îmbunătățirile de suprafață* asigură acest lucru (în jurul 1,5-2,3 ori) doar în stratul superficial.

După efectuarea analizei prin metodele cunoscute, legate de obiectul de studiu al tezei, am prezentat date doar privind procedeul care va fi analizat în cadrul tezei, și anume, de netezire și durificare cu o sculă dură (carburi metalice, diamant, oțel de rulmenți etc.) cu cap sferic.

Datele privind schemele de lucru, materialele utilizate, vitezele de lucru, avansul, gradul de deformare, gradul de durificare, tensiunile de contact, regimurile de netezire au fost expuse în capitolele următoare, toate acestea fiind folosite ca o bază de date pentru studiile efectuate.

Capitolul se încheie cu concluzii.

Capitolul 2, “Stabilirea metodologiei pentru realizarea simulărilor numerice ale proceselor tehnologice de prelucrare prin deformare plastică, obiectivele de formare a peliculelor de grafit pe suprafețele lor active și condițiilor termice de lucru al formelor de fasonare a sticlei” include determinarea metodologiei pentru realizarea simulărilor numerice ale proceselor tehnologice de prelucrare

prin deformare plastică și propria simulare numerică, precum și determinarea metodologiei pentru realizarea acoperirii suprafețelor de lucru și condițiilor termice de lucru ale formelor de fasonare a sticlei.

Abordarea proceselor tehnologice de deformare plastică, utilizând metodele de simulare numerică, oferă largi posibilități de înțelegere profundă a fenomenelor, de analiză și de optimizare a proceselor.

Simularea numerică transformă aspectele importante ale problemelor de natură fizică în descriere cu aspect matematic, soluționarea problemelor cu ajutorul calculatorului și, în final, evidențiază aspectele fenomenologice trasate în procesul de analiză care vizează această problemă.

În teza de doctor, modelele de simulare numerică s-au utilizat pentru analiza unor procese și fenomene care se produc în timpul deformării plastice la rece a metalelor.

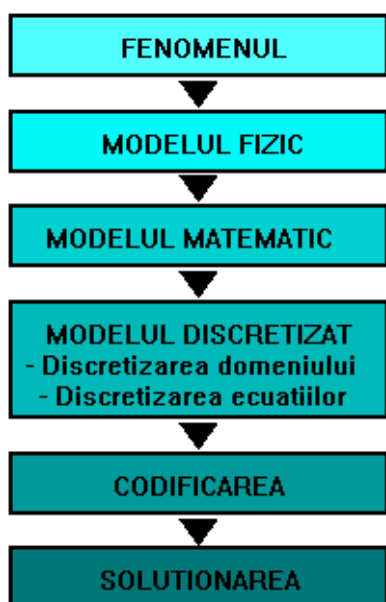


Fig.1. Procedura generală aplicată simulărilor numerice

Simulările numerice dezvoltate în teză utilizează metoda elementelor finite cu rețea Lagrange, adaptată problemelor de mecanică a solidelor. Pentru lucru s-a utilizat în principal codul numeric LS-DYNA. Simulările numerice s-au dovedit eficiente numai fiind aplicate în strânsă legătură cu fundamentele teoretice și cu practica experimentală.

Procedura generală aplicată simulărilor numerice este reprezentată în figura 1.

În secțiunile ce urmează se dezvoltă și se particularizează etapele simulărilor numerice în condițiile delimitate ale procesului de deformare plastică la rece a metalelor.

În general, s-a conceput o metodologie de simulare numerică bazată pe metoda elementelor finite, aplicată proceselor de prelucrare prin deformare plastică. S-a insistat asupra realizării unui model fizic fidel în care sunt incluse corpurile principale ce participă la proces și a cărui funcționare corespunde tehnologiei aplicate.

Având în vedere că proprietățile materialelor, fiind date importante de intrare, joacă un rol hotărâtor asupra acurateții rezultatelor soluției, au fost studiate mai multe modele ale materialului, toate modelate pe baza datelor experimentale. Au fost analizate trei loturi de eșantioane, extrase din șarje de fabricație diferite, toate din fontă cenușie cu grafit lamelar.

Tabelul 1. Teste de duritate

Proba	1	2	3	4	5	6
Duritatea HV 1	121.6	112.1 125.4	130.7	116.7	144.4	
Duritatea HB	115.3	106.7	119.4	124.5	110.3	137.4

Loturile de material au fost analizate experimental prin probe de compresiune (figura 2), tracțiune (figura 3) și duritate (tab.1).



Fig.2. Reprezentarea epruvetelor după încercări la compresiune



Fig.3. Reprezentarea epruvetelor după încercări la tracțiune

În plus, s-a determinat și o caracterizare metalografică a fontei cenușii utilizate în procesul tehnologic de fabricare a unor piese din compunerea agregatelor de prelucrare a sticlei. Aceste teste au fost efectuate în cadrul laboratoarelor de la Universitatea “Politehnică”, București, Institutul Național de Cercetare, Dezvoltare Turbomotoare – COMOTI, București, și Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași. Rezultatele testelor au fost reprezentate în formă grafică și în tabele.

Sunt expuse, pas cu pas, toate operațiile prin care au fost corectate datele experimentale, transformate în diagrame caracteristice convenționale, apoi în cele reale. La sfârșitul lanțului de transformări, datele determinate experimental se regăsesc în forma diagramei de plasticitate pe baza căreia se exprimă modelele de material.

Operațiile de transformare au la bază o metodologie stabilită de autor, justificată în anexele nr 2.01 și nr 2.02 și prin simularea numerică a probei de compresiune.

Totodată, au fost introduse obiectivele de formare a peliculelor de grafit pe suprafețele lor active cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

După cum se observă, în prezent metoda de prelucrare prin electroeroziune s-a bifurcat în două direcții: prelucrarea dimensională cu prelevarea de material și alierea suprafețelor ceea ce conduce la formarea straturilor de depunere. Aceste procese sunt acompaniate de fenomene termice și termo chimice ce se produc în materialul piesei sub influența canalului de plasmă a descărcărilor electrice în impuls (figura 4). Procesul de durificare, ca rezultat al aplicării descărcărilor electrice în impuls asupra suprafețelor

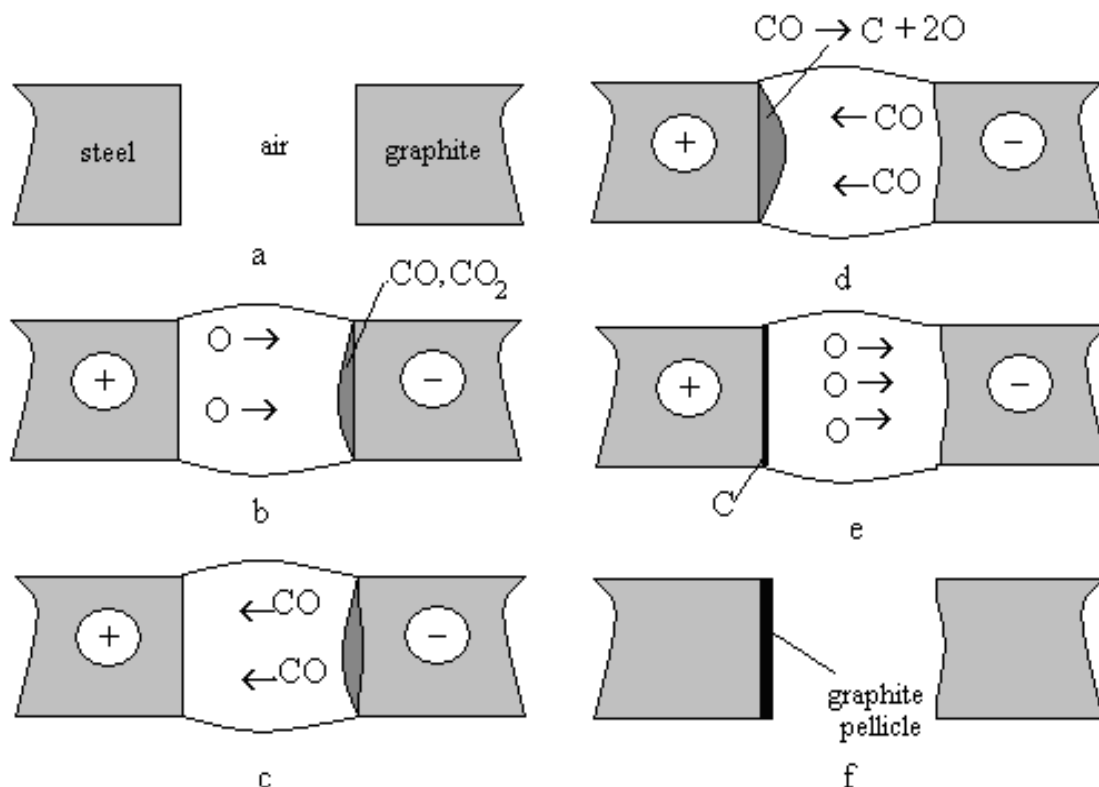


Fig.4. Modelul fizic de formare a peliculei de grafit pe suprafețele pieselor sub acțiunea descărcărilor electrice în impuls: a) starea inițială a electrozilor; b) formarea oxidului și bioxidului de carbon; c) electrizarea moleculelor de gaz; d) disocierea moleculelor de gaz; e) formarea peliculei de grafit și a oxigenului; f) starea finală a electrozilor.

metalice, se bazează pe efectul eroziunii electrice și transferului polar al materialului anodului pe suprafața catodului la străpungerea interstițiului dintre ele. Aceasta asigură posibilitatea de formare a straturilor superficiale cu proprietăți fizico-chimice deosebite pe suprafața piesei supuse prelucrării [1].

În articolele publicate se demonstrează că eroziunea grafitului tehnic pur diferă foarte mult în comparație cu materialele metalice. În cazul când electrodul-sculă din grafit este conectat în circuitul de descărcare în calitate de catod, acesta erodează mai intensiv, iar pe suprafața piesei-anod se formează o peliculă subțire. Însă, în cazul când aceasta se conectează în calitate de anod, influențează asupra modificării microdurității stratului superficial și micșorează rugozitatea suprafeței.

Conceptul modelului fizic pornește de la analiza datelor experimentale obținute anterior de autorii lucrărilor [8, 9], în care demonstrează că eroziunea mai pronunțată a grafitului are loc în cazul când

electrodul din grafit este conectat în circuitul de descărcare a generatorului de impulsuri de putere în calitate de catod.

În continuare, pelicula de grafit formată pe suprafața piesei, sub influența căldurii emisă la interfața cu plasma din canalul de plasmă, este supusă procesului de difuzie în suprafața piesei cu formarea stratului durificat. Nu este exclusă și eroziunea unei cantități de grafit de pe suprafața piesei în faza finală.

Aplicarea practică a ipotezei. Pentru a confirma ipoteza propusă, am cercetat formarea peliculelor de grafit pe suprafețele plonjoarelor formelor de turnare a sticlei.

Analiza morfologiei suprafeței (figura 5) a arătat că formațiunile pe suprafața nu depășesc dimensiunile micrometrice. Pe lângă componentele inițiale ale materialului supus prelucrării, în stratul superficial se atestă

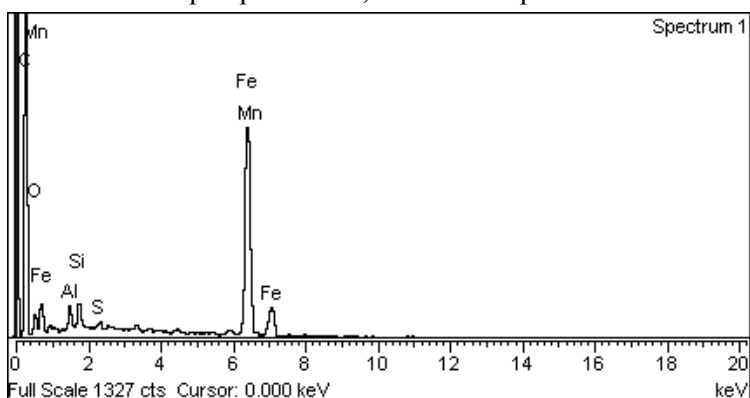


Fig.5. Morfologia și compoziția chimică a suprafeței

o cantitate considerabilă de carbon (circa 80% atomic). Acesta nu este în stare liberă, ci este un conector în structura metalică ce formează carburile, putând exista, de asemenea, în structuri separate cum ar fi grafitul. Dacă vom analiza datele prezentate în figura 6 vom constata că marea majoritate a carbonului transferat pe suprafața piesei se atestă la adâncimi micrometrice. Aceasta permite să concludem că fazele de carburi și grafit pot fi formate separat.

Cele menționate mai sus sunt confirmate prin rezultatele obținute la încercarea plonjoarelor în condiții reale de exploatare la Fabrică de Sticlă din Chișinău. Suprafețele active ale plonjoarelor formelor de turnare a sticlei au fost acoperite cu pelicule de grafit. Aceste plonjoare au funcționat 57600 cicluri

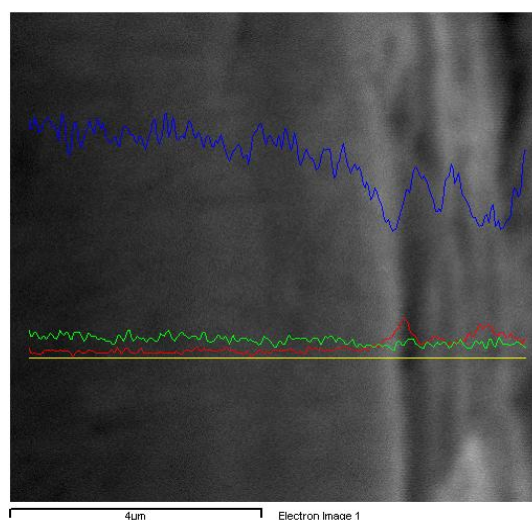
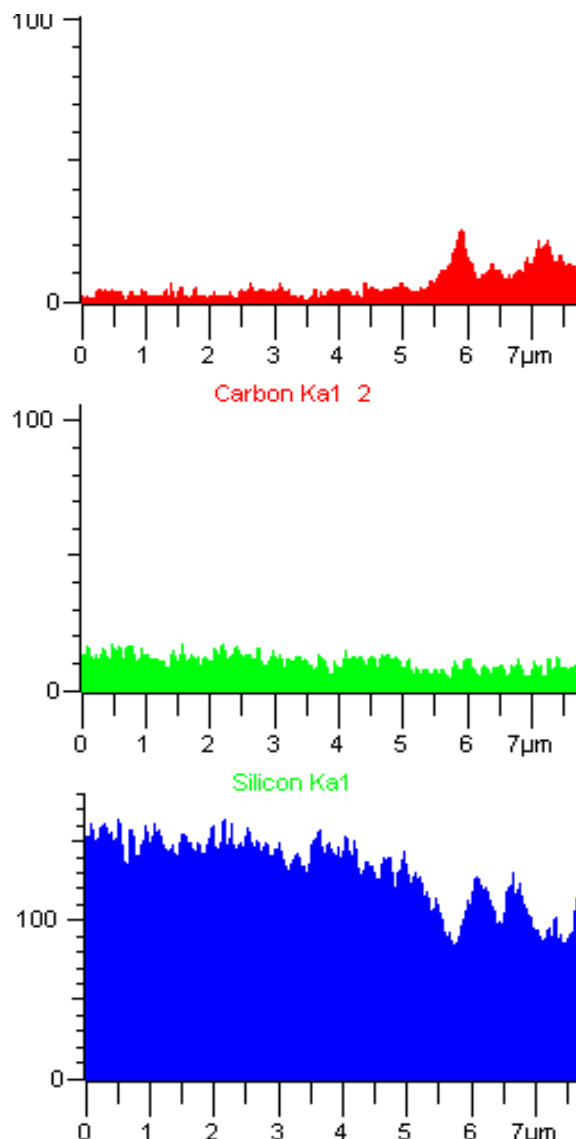


Fig.6. Distribuția carbonului în suprafața prelucrată

fără schimbarea formei și dimensiunilor.

Sporirea rezistenței la uzură a acestor piese poate fi explicată din două puncte de vedere: pe de o parte, pelicula de grafit servește ca unguent solid care nu permite alipirea sticlei lichide de suprafață, iar pe de altă parte, prezența oxigenului în structură poate cauza formarea oxizilor care face piesa mai rezistentă la uzură.

Toate acestea sunt confirmate de aplicări practice descrise în detalii în [7]. Rezultatele măsurării

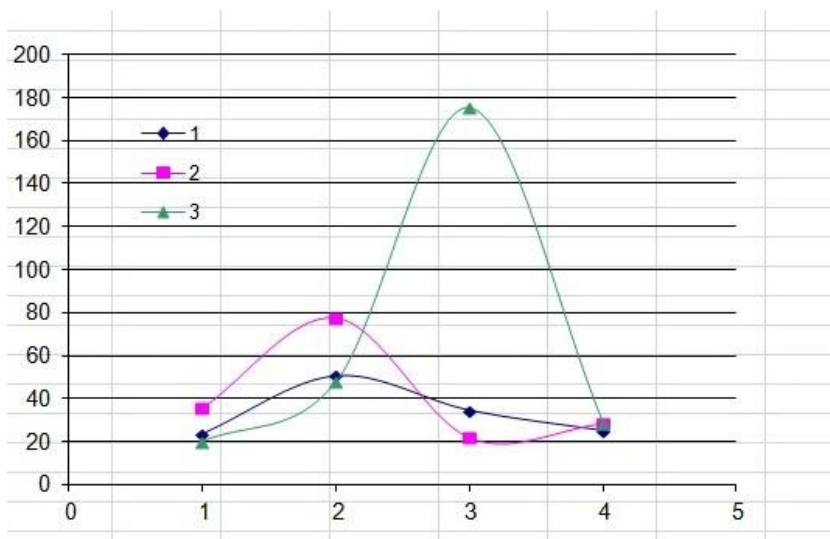


Fig.7. 1)- $W=0,26J$; 2)- $W=0,42J$; 3)- $W=0,58J$;

$W=0,42 J$, respectiv. Adică, microdurețea

crește de 4-7 ori față de cea a materialului în stare inițială. Pentru valoarea energiei degajate în interstițiu $W=0,58 J$ microdurețea maximală se obține pentru trei treceri și este mai mare decât microdurețea inițială de 18 ori, constituind $175,2 \times 10^8 Pa$.

Condițiile termice de lucru a formelor. Procesul de turnare a produselor din sticlă este strâns legat de pierderea energiei termice și viteza de întărire a sticlei, astfel încât pentru a îmbunătăți în continuare tehnologia este necesar a cunoaște condițiile termice în care are loc modelarea producției. Calitatea produsului depinde în mare măsură de temperatura formei și de fluctuațiile ei în timpul ciclului complet. În cazul lucrului formelor cu temperatură scăzută a suprafeței de lucru apar defecte ale produselor. Odată cu apropierea temperaturii formei de $600^{\circ}C$ și mai sus apare, de regulă, adeziunea sticlei de suprafața formei și astfel se perturbază regimul normal de lucru al mașinii de modelare a sticlei.

Transferul de căldură în zona de contact sticlă-metal. Odată cu apropierea temperaturii produsului de temperatura mediului, viteza de răcire scade treptat. Prin urmare, fluxul de căldură în zona de contact sticlă-metal atinge cea mai mare intensitate în etapa inițială de formare. Apoi, ca urmare a egalizării temperaturilor, fluxul de căldură se reduce semnificativ. Densitatea fluxului de căldură în zona de contact în timpul fasonării sticlei este egală cu $1450 \times 10^3 Wt/m^2$, dar la producerea articolelor cavitate pe automate de suflare de la 348×10^3 până la $580 \times 10^3 Wt/m^2$. Intensitatea fluxului de căldură în zona de contact sticlă-metal depinde în mare măsură de tipul contactului termic dintre sticlă și suprafața de lucru a formei. Rezultatele cercetărilor efectuate arată că odată cu creșterea timpului de formare, contactul dintre sticlă și formă scade semnificativ, cauza majoră fiind contractarea stratului superficial al sticlei, care este mult mai importantă decât contractarea straturilor interne. Ca rezultat, suprafața sticlei devine ondulată, ceea ce conduce la

scăderea contactului și creșterea zonei discrete. Prezența decalajului chiar și de 0,005 mm între sticlă și formă are impact asupra trecerii de căldură, iar decalajul de 0,5 mm are efect de scădere semnificativă a procesului de răcire. Ca rezultat, are loc formarea zonelor locale cu viscozitatea scăzută a sticlei, ceea ce conduce la diferența dintre grosimea pereților produsului finit.

Temperatura formei mai mică de 300°C conduce la o răcire bruscă a sticlei, iar contactul termic se înrăutățește în 0,1-0,3s. Însă când temperatura formei este mai înaltă, contactul termic se menține un timp mai îndelungat (până la câteva secunde și mai mult), la fel, crește și calitatea suprafeței produsului. La temperatura de 600-620°C se atestă lipirea sticlei de metalul formei.

Însă, în conformitate cu cercetările altor specialiști, straturile oxizilor chiar și cu o grosime monomoleculară asigură umectarea suprafeței metalului cu topitura silicatului. În afară de oxizi, în calitate de strat absorbant poate servi și un alt strat monomolecular.

Astfel, transferul de căldură la limita sticlă-metal este un proces complicat, iar viteza transferului de căldură în mare parte depinde de condițiile de contact și rezistența termică în zona dată. Contactul fizic dintre sticlă și formă nu este ideal din cauza că răcirea intensă a sticlei conduce la contractarea ei, iar încălzirea formei de la căldura sticlei conduce la extensia volumică a acesteia. Din cauzele menționate trebuie să se țină cont de rezistența termică a mediului din zona intermediară, care este mai mare de sute de ori decât a metalului sau a sticlei. Capitolul se încheie cu concluzii.

Capitolul 3, „Simularea numerică a procedeeleor de netezire și de durificare a suprafețelor active ale sculelor din compunerea utilajelor de turnare a sticlei în forme și transferul de căldură în formă”, este dedicat simulării numerice a procedeeleor de netezire și de durificare a suprafețelor active ale sculelor conform celor stabilite în procedura din mai sus.

Ca metodă de analiză s-a optat pentru o metodă cu rețea – metoda elementelor finite – care asigură o

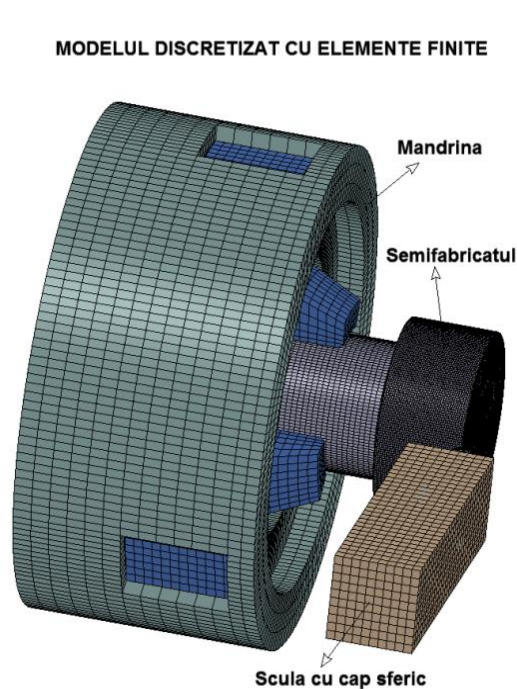


Fig.8. Modelul discretizat cu elemente finite

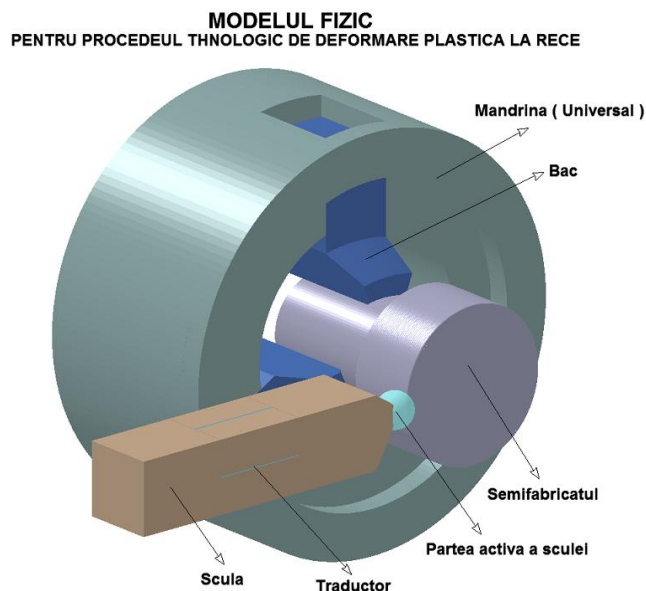


Fig.9. Modelul fizic pentru procedeul tehnologic de deformare plastică la rece

foarte bună reprezentare discretă a corpurilor implicate în proces.

Solverul explicit al programului LS-DYNA, ales pentru integrarea ecuațiilor, are avantajul unei mai bune reprezentări în timp a soluțiilor față de solverul implicit.

Conform metodologiei stabilite mai sus, pentru realizarea simulării numerice a proceselor de netezire și durificare a sculelor prin deformare plastică superficială este necesară realizarea unui model discretizat cu elemente finite în concordanță cu scopul urmărit.

Discretizarea modelului fizic descris mai sus și reprezentat în figura 8, ca o esențializare a procesului impus analizei, a fost realizată cu densități diferite de elemente finite, în funcție de locul și importanța

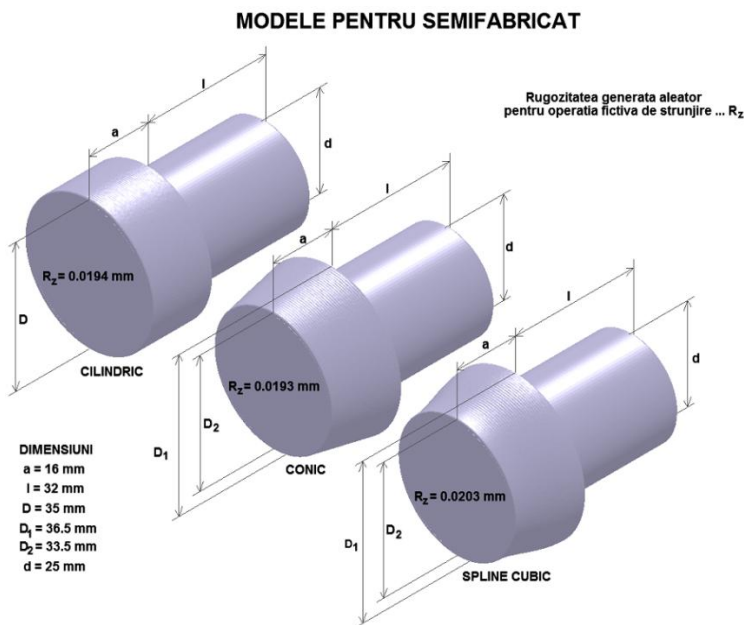


Fig.10. Modele pentru semifabricat

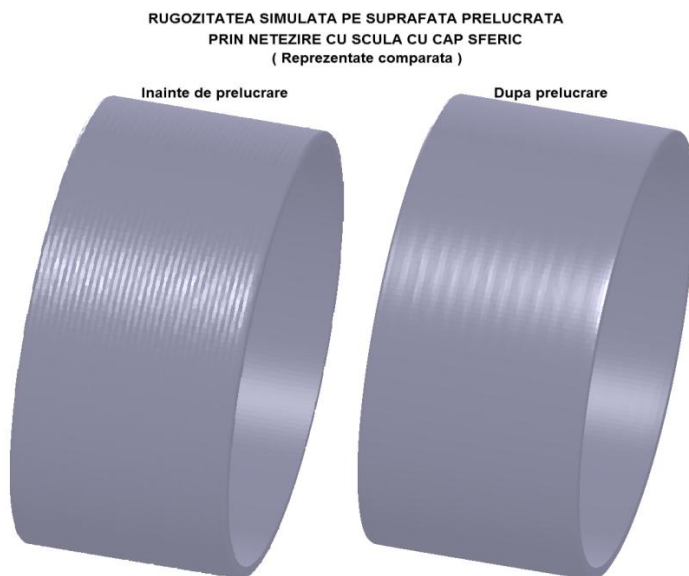


Fig.11. Rugozitatea simulată pe suprafața prelucrată prin netezire și durificare cu scula cu cap sferic

corpului în proces. Modelul procedurii de netezire și

durificare a sculelor prin deformare plastică prin contact de alunecare este reprezentat în figura 9.

Modelele analizate încearcă să fie fidele realității, purtând pe suprafața de prelucrat o rugozitate simulată, similară celei rezultate în procesul de strunjire normală, cu avansul compatibil cu rețeaua de elemente finite de 0.5 mm/rot.

Generarea rugozității virtuale s-a realizat printr-o metodă de calcul aleator.

Rugozitatea fictivă corespunzătoare procedurii de strunjire normală $R_a = 3.2...6.3 \mu\text{m}$ se obține pentru un parametru de generare $\Delta = 0.01 \text{ mm}$. În lucrare se utilizează mai des rugozitatea măsurabilă R_z . Concret, pentru parametrul de generare folosit, $\Delta = 0.01 \text{ mm}$, valorile rugozității R_z sunt în jur de $20 \mu\text{m}$ (fig. 10) și are corespondentul $R_a \approx 5 \mu\text{m}$, încadrat în limitele impuse.

Rugozitatea generată aleator pe o suprafață (fig. 10) a fost evaluată, utilizând procedura standardizată, prin calcul într-o serie de noduri predefinite, dispuse pe generatoarea suprafeței. Astfel, pentru piesa cilindrică reprezentată în figura 11 s-a obținut seria de valori: 20.15,

19.28, 17.23, 19.22, 21.65 μm cu valoarea medie $R_z = 19.5 \mu\text{m}$.

După prelucrare, rugozitatea va fi recalculată în aceleași noduri de control și comparată cu cea inițială. Din considerentele expuse mai sus derivă justificarea utilizării sculei cu capul de netezire sferic cu rază mare $R_{sf} = 4 \text{ mm}$, la limita celor uzuale.

Controlul forțelor aplicate de sculă piesei în procesul de prelucrare simulat este realizat de sistemul de senzori dispuși pe corpul sculei. Al doilea pas important în faza de preprocesare se referă la elaborarea modelului de material. Analiza insistentă a materialelor asociate modelelor simulate efectuată în capitolul 2 își dovedește acum utilitatea. Modelul de plasticitate Johnson-Cook

$$\sigma_y = \left(A + B \varepsilon_p^n \right) \left[\left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_{top} - T_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

în formă simplificată este dat de relația:

$$\sigma_y = \left(A + B \varepsilon_p^n \right) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \quad (2)$$

Termenul termic din relația (1), din motive justificate – încălzire nesemnificativă, dovedită experimental – a fost suprimat.

Celelalte corpuri sunt modelate din materiale elastice (oțeluri) sau perfect rigide.

Necesitatea confruntării soluțiilor simulate cu datele experimentale a condiționat alegerea vitezei periferice corespunzătoare acestei turații ($\approx 42 \text{ m/min}$). Turația mică a arborelui utilajului este un dezavantaj, deoarece mărește durata calculului unui ciclu tehnologic complet.

În consecință, simulări importante au fost realizate la turația de 380 rot/min.

Valoarea avansului axial pentru majoritatea simulărilor ($s = 0.09 \text{ mm/rot}$) se încadrează în recomandările din tabelul 2.

Pentru forțele de apăsare s-a folosit o gamă mai largă cuprinsă între 200 și 1000 N. Forțele mai mari sunt necesare pentru netezirea rugozităților mai mari ($6.3 \mu\text{m}$).

Tabelul 2. Regimurile optime la netezire cu diamant

<i>Duritatea materialului prelucrat</i>	<i>Rugozitatea inițială Ra, μm</i>	<i>Raza diamantului mm</i> <i>Regimurile de prelucrare</i>	<i>Rugozitatea suprafeței prelucrate Ra, μm</i>			
			<i>forța, N</i>	<i>avans la o rotație, mm</i>	<i>viteza m/min</i>	
50–65 HRC	0,32	1,3–2	200–250	0,02–0,04	50–100	0,08
	0,16		150–200			0,08
	0,08		120–150			0,04
30–50 HRC	0,63	1,5–2	120–150	0,03–0,05	50–100	0,16
	0,32		120–150			0,04–0,08
	0,16		100–120			0,02–0,04
20–25 HRC	2,5	2–2,5	120–150	0,03–0,08	50–200	0,32 –

	1,25 0,63		100–120 80–100			0,63 0,16 0,08 – 0,16
300 HB	1,25 0,63 0,32 0,16 0,08	2,5 – 3,5	120 – 150 100 – 120 80 – 100 80 – 100 60 – 80	0,06 – 0,10	50 – 200 0,32 – 0,63 0,16 0,08 – 0,16 0,04 – 0,08 0,02 – 0,04	

E de notat că dispozitivul tehnologic simulat este complet izolat și nu interacționează cu alte corpuri, fiind o idealizare a unui agregat experimental, care în întregime, prin deformații elastice, jocuri și vibrații, influențează calitatea produsului.

Confirmarea alegerii juste a modelului de material plastic (Johnson-Cook) se bazează pe simularea numerică a testului de duritate Brinell pe modelul fizic din figura 12.

Compararea durităților simulate cu cele măsurate experimental se constituie în criteriul de validare a modelelor de material. Rezultatele testului de duritate Brinell simulate sunt completate cu cele măsurate experimental pe cele două loturi de materiale reținute pentru aplicațiile și date în tabelul 3.

Tabelul 3. Duritatea Brinell

Specimen		1	2	3	4	5	6 Aver.	Err. [%]	
Lot									
Brinell Hardness [HB]	1	115	107	119	125	110	137	118	8.7
	2	150	139	137	141	138	136	140	3.7
	3	126	102	112	124	115	119	116	6.9

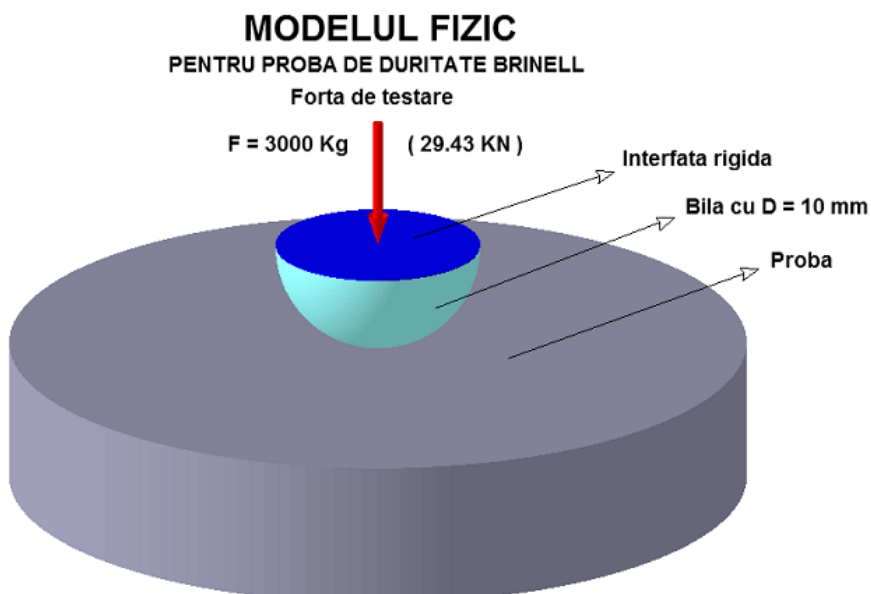


Fig.12. Modelul fizic pentru proba de duritate Brinell

Între rezultatele simulate (122 și 148 HB) și cele medii măsurate (122 și 140) diferențele procentuale de material definite în capitolul 2 sunt în conformitate cu realitatea. Concluziile favorabile ale procedurii de validare a modelelor de material dau siguranța obținerii unor rezultate reale în simulările numerice care urmează.

Piesa cilindrică cu

diametrul de 35 mm cu rugozitatea simulată aproximativă R_a 5.0 μm a fost supusă prelucrării simulate cu trei regimuri de forță. S-au folosit forțe de apăsare radială de 250 N, 500 N, 1000N.

Îmbunătățirea proprietăților mecanice ale pieselor și creșterea calității suprafețelor obținute prin deformare plastică în procesul de netezire pot fi determinate, folosind metodele de simulare numerică, prin analiza în profunzime a stratului în care se produc deformațiile plastice.

Sub suprafața supusă procesului de netezire a fost delimitat un strat de control a cărui grosime a fost sugerată de simulările preliminare expuse în paragraful anterior.

În cadrul acestor simulări s-a constatat că grosimea stratului deformat plastic prin netezire cu sculă cu cap sferic nu depășește 0.8 mm, chiar în cazul în care forța radială de lucru ia valoarea maximă de 1000N. În

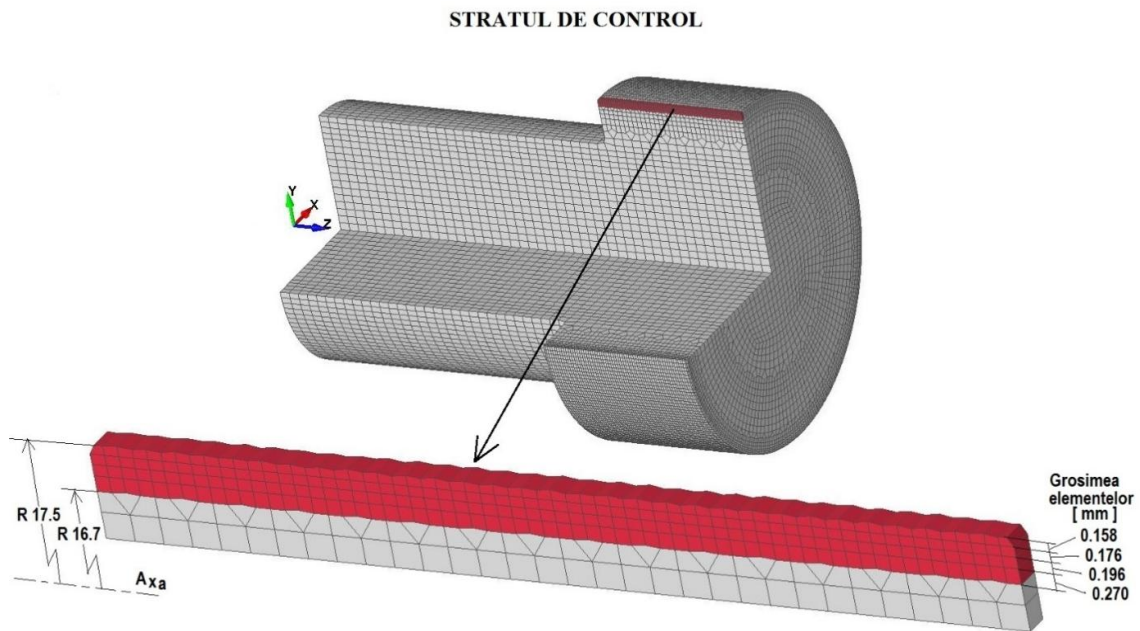


Fig.13. Stratul de control

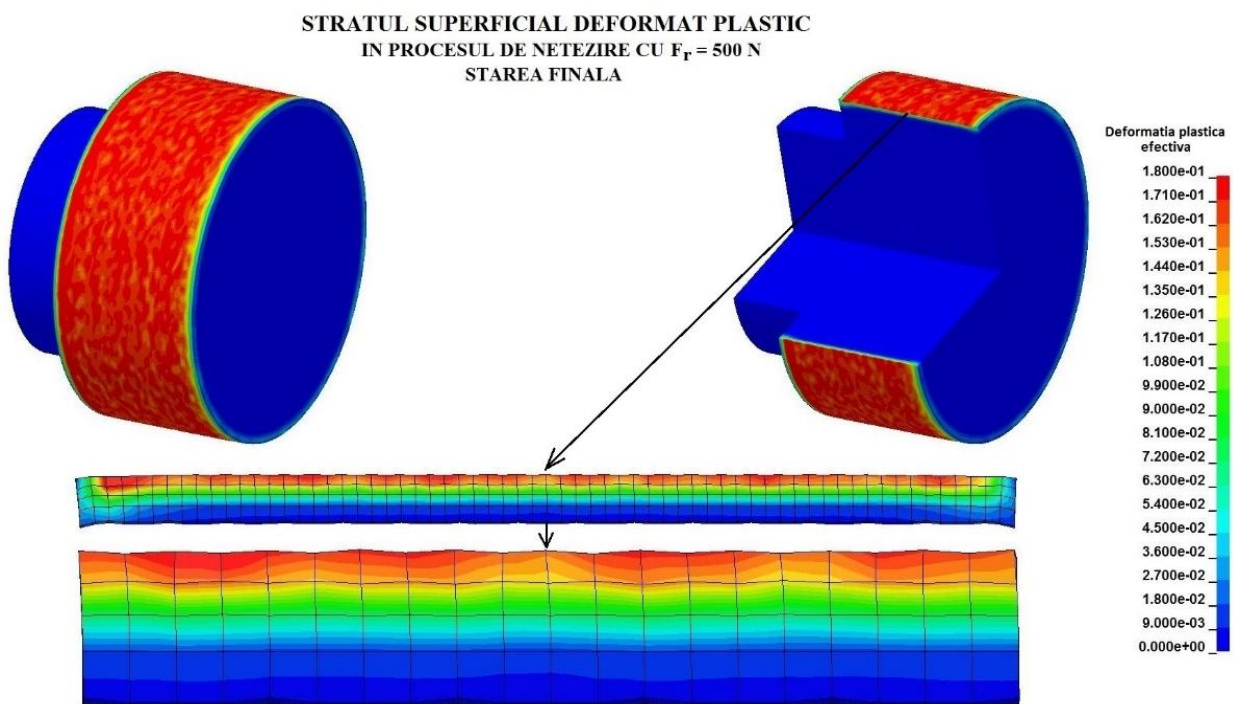


Fig.14. Stratul superficial deformat plastic în procesul de netezire

figura 13 este reprezentat acest strat, compus din 4 rânduri de elemente, cu grosimile variabile în funcție de rază. Simetria problemei a permis dezvoltarea circumferențială a stratului de control pe un singur rând de elemente.

Producerea și dezvoltarea în profunzime, în stratul de control, a stării plastice

Analiza s-a efectuat pentru fiecare caz de încercare, considerând două stări de deformare: o stare

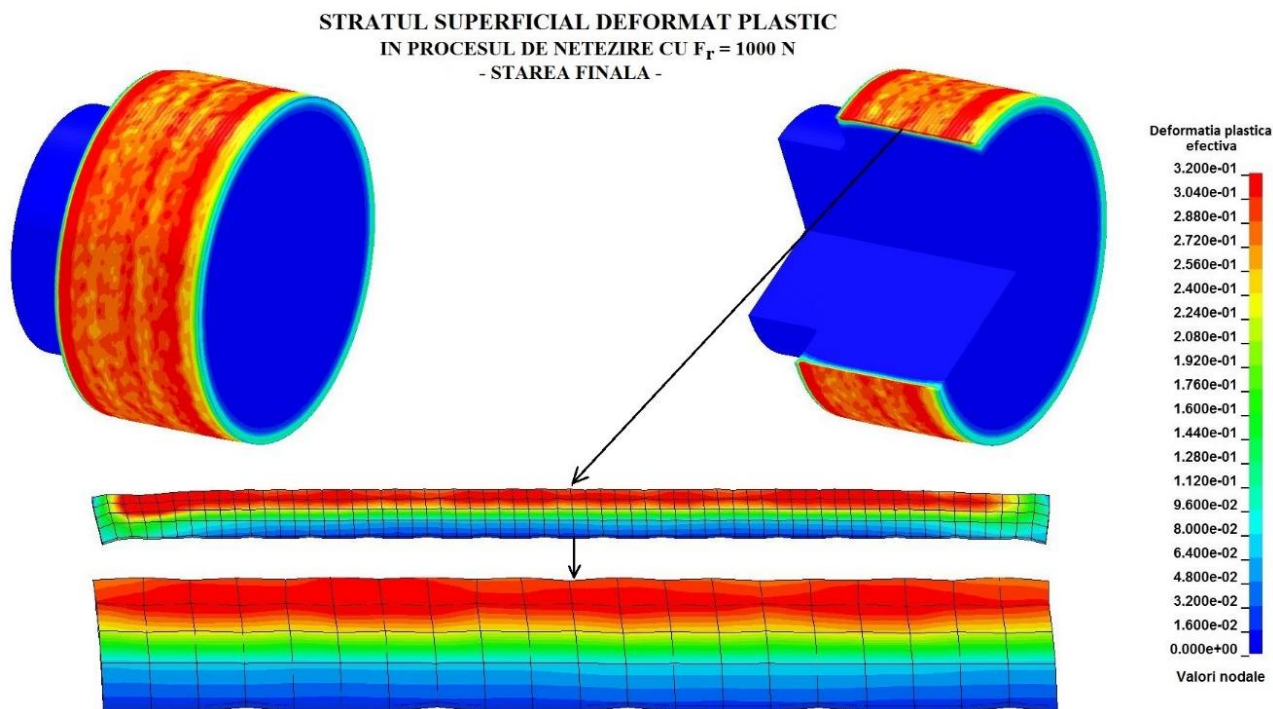


Fig.15. Stratul superficial deformat plastic în procesul de netezire cu $F_r = 1000\text{ N}$ – starea finală.

intermediară și o stare finală.

În figura 14 sunt reprezentate deformațiile plastice efective produse la netezirea cu forța de 500 N. Se constată că în stratul superficial – primul rând de elemente – câmpul deformațiilor plastice este, relativ, neomogen. Una dintre cauzele deformării stratului superficial cu intensități variabile este prezența asperităților. Pe măsură ce deformația plastică pătrunde în profunzime, gradul de omogenitate a câmpului crește.

Efectul de margine este evident. Suprafețele frontale, libere, ale semifabricatului dau libertate de mișcare axială, fapt ce reduce din intensitatea deformației plastice efective.

Exceptând zonele de margine ale semifabricatului, se poate constata că operația de netezire rezolvă problema întăririi materialului pe suprafața prelucrată cu forța de lucru de 500 N. Astfel, pe această suprafață tensiunea de curgere crește de la valoarea inițială de 215 MPa la minimum 400 MPa în zonele cele mai slabe. Pe detaliul din figura 14 se poate observa că deformația plastică variază monoton, reducându-se ca intensitate odată cu pătrunderea în material. La această forță de lucru, ultimul rând de elemente este foarte puțin afectat.

Rezultatele obținute la simularea cu forța de 1000 N, reprezentate grafic în figura 15, evidențiază același efect de margine. În privința omogenității se constată o îmbunătățire la nivelul primului rând de

**PRODUCEREA STĂRII PLASTICE ÎN STRATUL SUPERFICIAL AL SEMIFABRICATULUI
ÎN TIMPUL PROCESULUI DE NETEZIRE CU FORȚA $F_r = 500\text{ N}$
- Reprezentare pe elementele de control -**

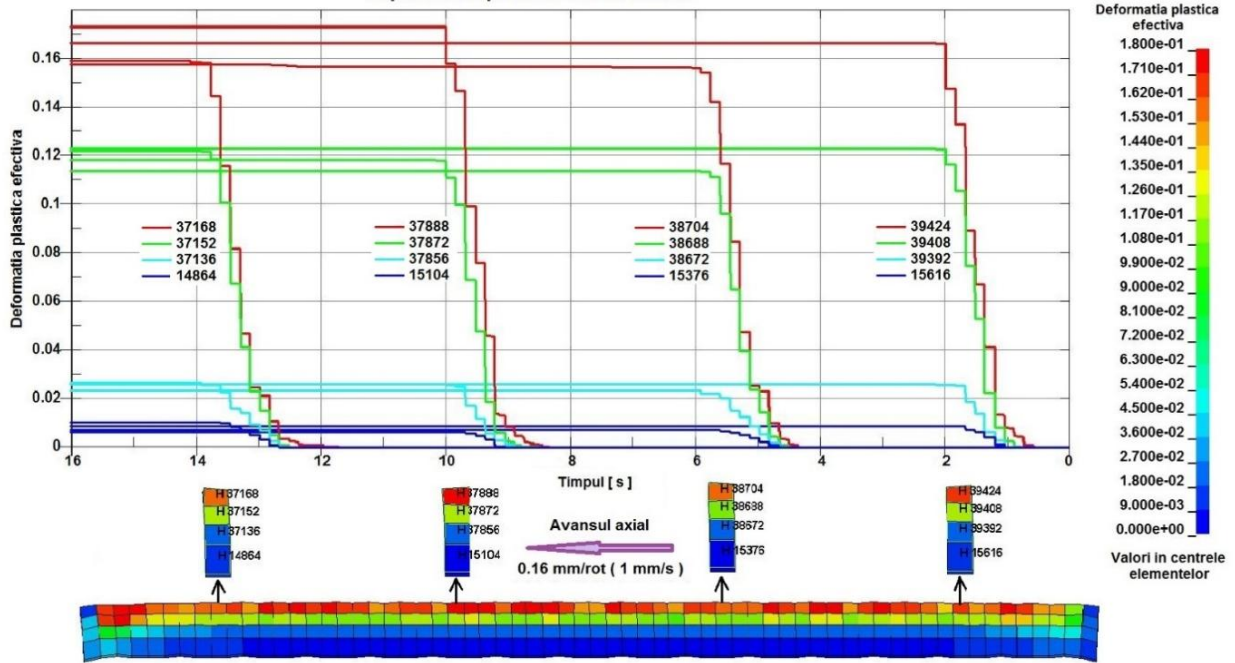


Fig. 16. Producerea stării plastice în stratul superficial al semifabricatului în timpul procesului de netezire cu forța $F_r = 500\text{ N}$ – reprezentare pe elementele de control.

**PRODUCEREA STĂRII PLASTICE ÎN STRATUL SUPERFICIAL AL SEMIFABRICATULUI
ÎN TIMPUL PROCESULUI DE NETEZIRE CU FORȚA $F_r = 1000\text{ N}$
- Reprezentare pe elementele de control -**

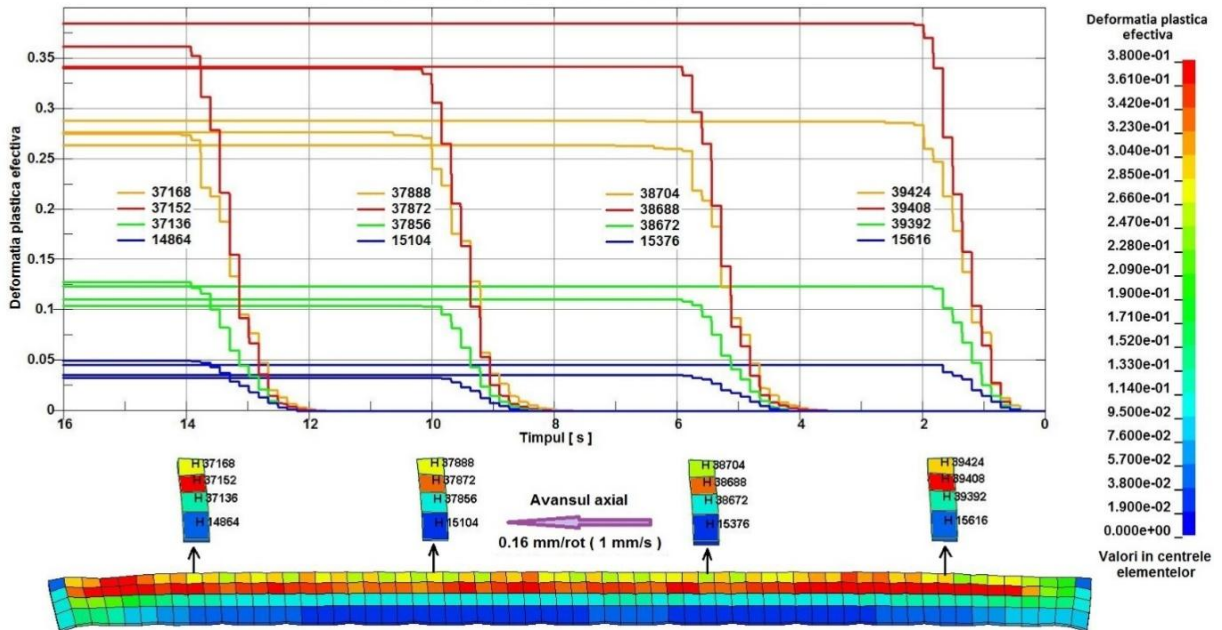


Fig. 17. Producerea stării plastice în stratul superficial al semifabricatului în timpul procesului de netezire cu forța $F_r = 1000\text{ N}$ – reprezentare pe elementele de control.

elemente. La prelucrarea cu forța de 1000 N, durificarea pe suprafața exterioară crește corespunzător până la o valoare a tensiunii de curgere de min. 420 MPa, conform curbei de material. Producerea stării plastice și evoluția ei în timp în stratul superficial al semifabricatului se poate analiza, luând în considerație graficele din figurile 16 și 17.

În aceste grafice sunt trasate funcțiile de timp ale deformației plastice efective pe o parte dintre elementele de control alese în patru grupe echidistante, conținând câte patru elemente pe grosime. Pentru a fi mai sugestive, graficele sunt orientate după mișcarea sculei, abscisa fiind legată de poziția centrului capului sferic.

O evidențiere mai clară a variației în profunzimea stratului de control s-a făcut prin reprezentarea valorilor deformațiilor nu pe noduri, ca până acum, ci în centrele elementelor. În reprezentările câmpurilor din cele două figuri, întregului element i s-a atribuit valoarea calculată în centrul său, fără interpolări. La analiza acestor reprezentări grafice se constată că deformațiile plastice cresc în trepte, la intervale egale cu avansul axial de 0.16 mm/rot. Deformațiile variază numai în timpul interacțiunii dintre elemente și capul sferic al sculei. În grafice, elementele de pe același rând sunt reprezentate cu aceeași culoare, apropiată de cea predominantă din reprezentarea câmpului deformației plastice efective pe elemente.

Analiza transferului de căldură în interiorul formei. În timpul modelării produsului, prin pereții formei trec până la 95% de căldură. Câmpul termic în formă se schimbă în funcție de timp, ceea ce conduce la dificultăți în rezolvarea matematică a acestei probleme. Forma lucrează într-un regim cvazistaționar, care este caracterizat prin repetarea câmpurilor termice și pentru care este veridică ecuația transferului de căldură în regim staționar, luând în considerare adăugarea coeficientului de corecție pentru ciclul de formare.

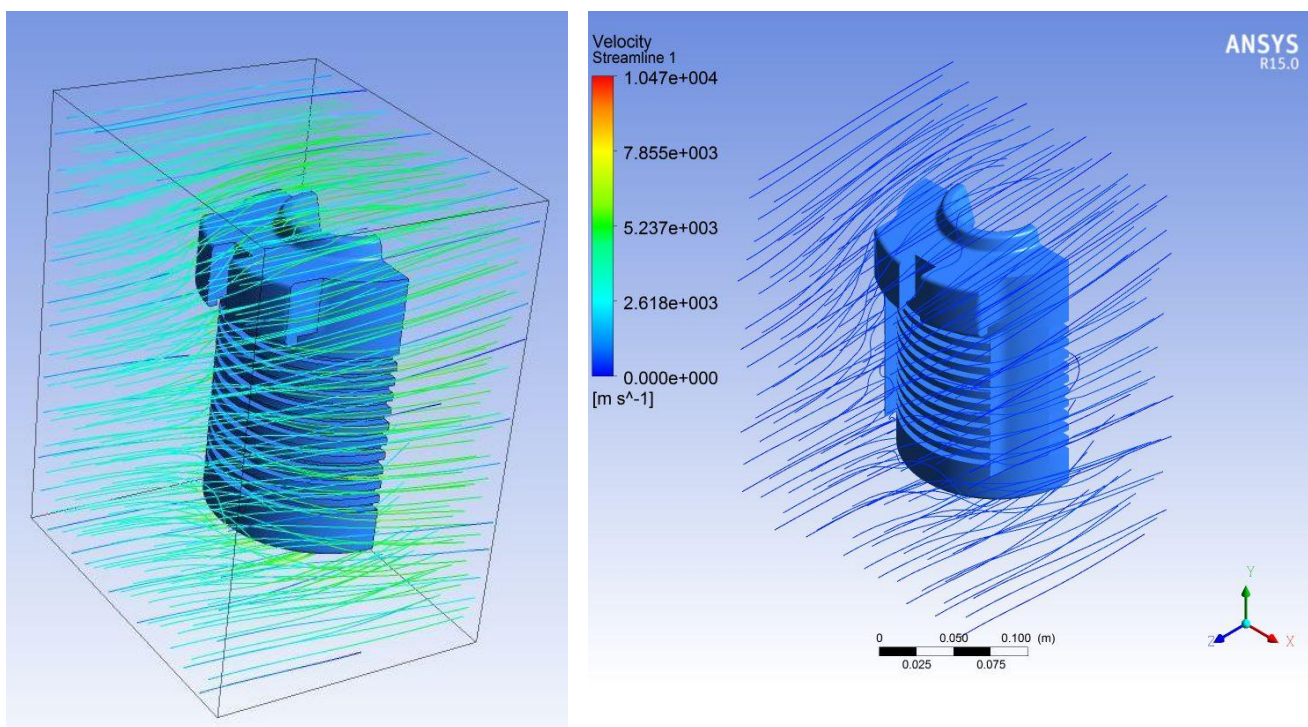


Fig. 18. Discretizarea modelului fizic

Diferența dintre temperatura medie a suprafeței interne și externe a formei dreptunghiulare se exprimă prin următoarea dependență de parametrii tehnologici:

$$t_1 - t_2 = \frac{kQ\delta}{S\lambda\tau} \quad (3)$$

Simularea regimului de răcire-încălzire a formei pentru două variante Piesa cilindrică cu diametrul de 150 mm cu elemente de răcire (radiatoare speciale) prima variantă și cu elemente de răcire și aripe speciale a doua variantă. S-au folosit vitezele de suflare cu aer. Utilizând procedeul din figura 18, se va putea analiza calitativ suprafața prelucrată în funcție de viteza de suflare. Este vizibilă o diferență de temperatură delimitată prin culoarea suprafețelor răcite.

Capitolul 4, intitulat „Experimentarea proceselor de durificare și de netezire prin presare cu scule cu cap sferic”, expune modul de realizare a experimentelor, precum și rezultatele acestora. Experimentele s-au realizat pe un stand din laboratorul Facultății Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice din cadrul Universității “Politehnica”, București. Pentru realizarea practică a acestui procedeu de deformare plastică la rece au fost necesare următoarele mașini-unelte, dispozitive, aparatură de măsurare și software: strung universal KART E-2H; sculă pentru deformarea plastică la rece cu bilă de rulment; dinamometru KISTLER tip 9257B pentru determinarea forțelor care apar în timpul desfășurării procesului de deformare plastică; amplificator electronic de semnal ”Charge Amplifier type 5070”; calculator de proces; placă de achiziție 2855A4 PCIM-DAS 1602/16 destinată pentru măsurarea forțelor și momentelor care apar în timpul procesului de deformare plastică; Dyno Ware - software-ul pentru prelucrarea datelor de achiziție furnizate de placa de achiziție (firma KISTLER); termocameră în infraroșu FLIR P660 pentru vizualizarea din punct de vedere termic al procesului de deformare plastică la rece; trepid (fig.18). Au fost încercate pe un semifabricat mai multe regimuri de lucru obținute prin variația celor trei parametri până a fost obținut un

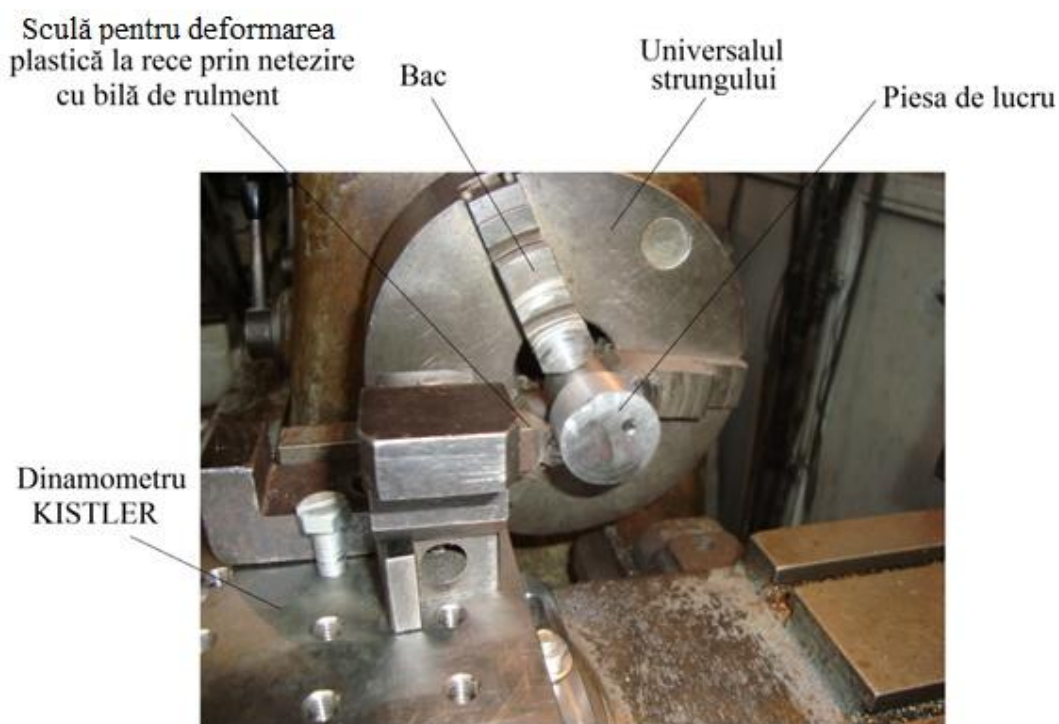


Fig.19. Realizarea procesului de deformare plastică la rece prin netezire și durificare cu bilă pe un strung universal KART E-2H

regim de lucru optim (turația [rot/min]: 380; avans longitudinal [mm/rot]: 0.09; avans radial (adâncime) [mm]: 0.2 (pe rază)). Pentru micșorarea efortului de deformare a fost utilizat și ulei de tip Shell Omala F.

În urma testelor efectuate pe standul de testare prezentat mai sus au fost achiziționate date referitoare la forțele (de pe cele trei direcții x, y și z) care apar în timpul procesului de netezire prin deformare plastică la rece cu bilă de rulment. Au fost selectate datele de achiziție pentru câteva probe reprezentative (probele 6, 7, 9 și 12).

După prelucrarea acestor date s-au construit graficele forțelor ce se dezvoltă în timpul prelucrării prin deformare a pieselor respective după cele trei direcții, reprezentate în figura 20, a), b), c) și d).

La finele capitoului sunt expuse nouă concluzii referitoare la experimentele efectuate.

Descrierea procesului de aplicare a peliculelor de grafit. Schema procesului tehnologic de depunere a grafitului însoțită de durificarea simultană a suprafeței active a plonjorului cu aplicarea DEI este reprezentată în figura 21.

Mărimea interstițiului dintre electrodul-sculă și piesa supusă prelucrării rămâne constantă pe tot parcursul prelucrării ($S = 1 \text{ mm}$). Electrocul-sculă are

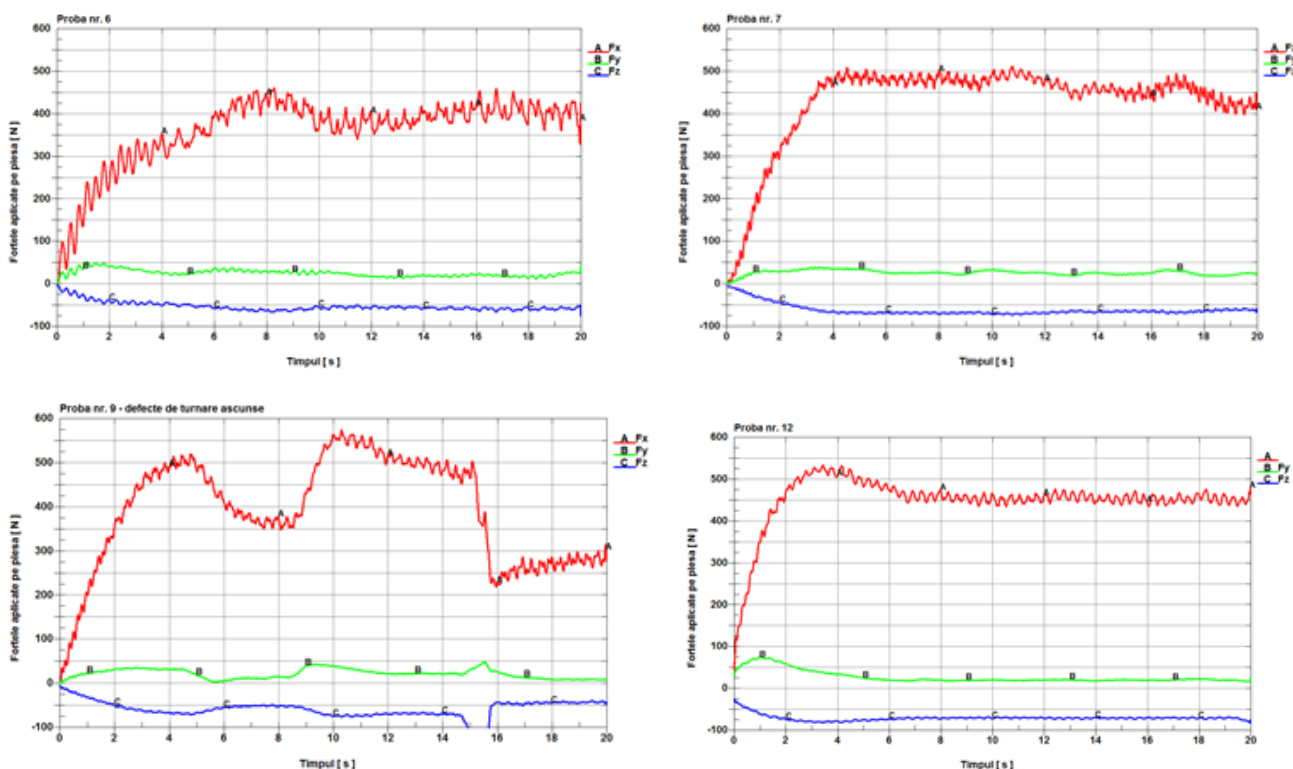


Fig.20. Graficul forțelor care se dezvoltă în timpul procesului de netezire și durificare pentru:

a) proba nr. 6; b) proba nr. 7; c) proba nr. 9; d) proba nr.12.

posibilitatea să se miște (după necesitate) în direcțiile

reprezentate în schemă. Anodul 3 reprezintă piesa (plonjor din fig. 21, a) care a fost fixată și centrată în mandrină cu 3 fălci și efectuează mișcarea de rotație sub acțiunea motorului electric al mașinii-unelte.

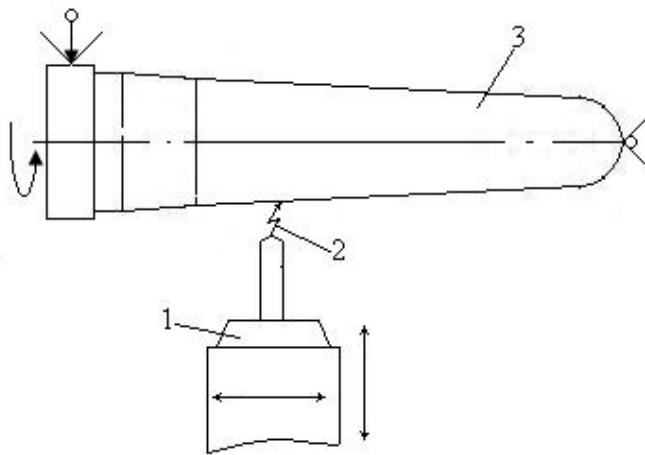


Fig.21. Schema de poziționare a electrozilor în procesul prelucrării cu DEI: 1- electrod-sculă din grafit (catod); 2 - canalul de plasmă; 3 - piesa supusă prelucrării (plonjor, anod).

Nivelul uzurii a fost măsurat, utilizând microscopul universal de tipul UIM-21, deoarece acesta permite măsurarea cu precizia de 1 μm . Inițial au fost măsurate diametrele a două plunjoare noi în zece puncte, stabilind astfel nivelul zero al măsurărilor. Suprafața unuia din plunjoare a fost acoperită cu peliculă de grafit și supusă măsurărilor dimensionale în aceleași zece puncte ca și pentru plonjorul nou confecționat.

Procedura a fost repetată după ce plunjoarele au fost incluse în fluxul de fabricare a produselor din sticlă. Plunjorul nou confecționat (proba 23) a funcționat 39900 cicluri (75 de ore). Frecvența ciclurilor constituia $v=8,75$ cicluri/min. Temperatura

picăturilor de sticlă 1129 $^{\circ}\text{C}$; marca sticlei folosită în procesul de producție BT-1, a cărei conținut chimic corespunde cu standardul SM GOST R 52022-2004.

Prezentarea rezultatelor și analiza lor. Analiza morfologiei suprafeței prelucrate a arătat că



Fig.22. Vederea generală a plunjoarelor formelor de turnare a sticlei: a) neprelucrat; b) prelucrat cu aplicarea DEI.

schimbările fizico-chimice pe suprafață nu depășesc dimensiunile micrometrice. Pe lângă componentele inițiale ale materialului supus prelucrării, în stratul superficial se atestă o cantitate considerabilă de carbon (circa 90% atomic). Analiza microstructurii microșlifului transversal arată că o parte din carbon transferată pe suprafața piesei difuzează în adâncime cu formarea stratului alb cu adâncime de ordinul micrometrilor. Putem presupune că în stratul de suprafață prelucrat se formează faze noi ce includ carburile componentelor de aliere ale materialului de execuție a piesei și structuri grafitice. Aceasta conduce la modificarea proprietăților fizico-chimice și de exploatare a suprafeței piesei.

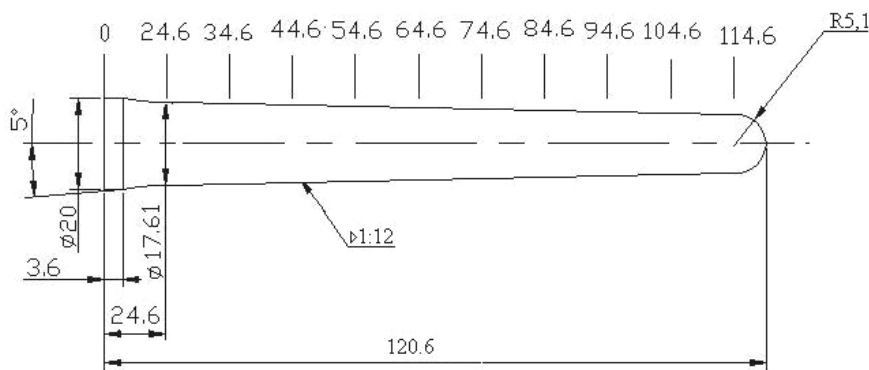


Fig.23. Vederea generală a plonjorului neprelucrat cu punctele de măsurare

În lucrarea (Topala et al., 2010) au fost expuse rezultatele încercărilor în condiții reale de exploatare a plonjoarelor și s-a stabilit că plonjoarele formelor de turnare a sticlei cu suprafața activă acoperită cu peliculă de grafit au funcționat 57600 cicluri fără modificarea

forme și dimensiunilor lor.

Așadar, pentru compararea uzurii suprafeței de lucru a plonjoarelor formelor de turnare a sticlei au fost efectuate cercetări experimentale în cicluri tehnologice. Au fost supuse încercărilor două plonjoare, unul cu suprafața acoperită cu peliculă de grafit cu aplicarea DEI, altul – neprelucrat, reprezentat în figura 23.

După ce suprafața activă a piesei a fost acoperită cu peliculă de grafit, diametrul secțiunilor transversale ale plonjorului a crescut în medie cu aproximativ 35 μm în comparație cu diametrul inițial. Deci, ca rezultat obținem depuneri de grafit pe suprafața piesei supuse prelucrării a căror grosime medie este de circa 35 μm .

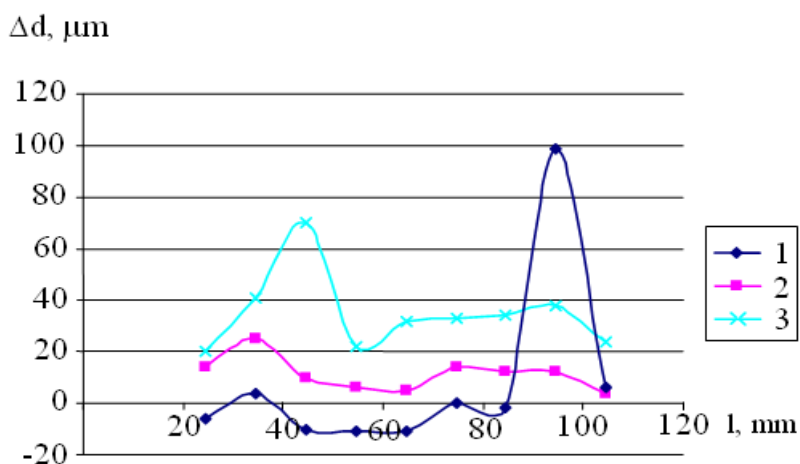


Fig.24. Dependența schimbării diametrului secțiunii transversale a suprafeței active a plunjorului pe lungimea lui : 1 – proba 19 după funcționare în ciclul tehnologic; 2 – proba 23 după funcționare în ciclul tehnologic; 3 – proba 23 după formarea peliculei de grafit prin metoda DEI.

După cum se arată în figura 24, curba 1, în afară de micșorarea diametrului secțiunii transversale a plonjorului neprelucrat cu DEI (proba 19) putem observa creșterea lui în unele puncte cercetate. Aceasta poate fi explicat prin aderența masei sticloase la suprafața activă a plonjorului. Acest fenomen practic nu a fost observat în cazul probei 23 acoperite cu peliculă de grafit. Aceasta dovedește că stratul de grafit depus pe suprafața activă a plonjorului îndeplinește mai multe funcții simultan cum ar fi: protecția

antiuzură, exclude aderența masei sticloase la suprafața plonjorului, servește ca unguent în stare solidă și sporește refractabilitatea piesei. După măsurarea uzurii plonjorului acoperit cu pelicule de grafit ca rezultat al funcționării lui în ciclul tehnologic (75 ore) observăm că dimensiunile de-a lungul suprafeței lui active nu au atins nivelul inițial, în timp ce plonjorul 19 a depășit uzura-limită dimensională în câteva puncte cu

aproximativ 11 μm , iar în alte porțiuni dimensiunile inițiale au crescut datorită aderenței masei sticloase de suprafața prelucrată.

Comparând rezultatele obținute referitor la uzura dimensională a plonjoarelor cu și fără depuneri de grafit, putem afirma că cel cu depuneri de grafit are o anumită rezervă de funcționare înainte de a ajunge la dimensiunile inițiale și, desigur, o rezervă considerabilă înainte de a ajunge la valoarea admisibilă a uzurii tehnologice.

Tabelul 4. Mărima uzurii plonjoarelor supuse încercărilor de exploatare

<i>Diametrul plonjorului, mm</i>					<i>Intervalul de măsurare, mm</i>	Ød_1	Ød_2	Ød_3
<i>înainte de prelucrare</i>		<i>după prelucrarea cu DEI</i>	<i>după funcționare în ciclul tehnologic</i>					
Nr.19	Nr.23	Nr.23	Nr.19	Nr.23				
17,61	17,586	17,606	17,604	17,6	24,6	-0,006	0,02	0,006
17,206	17,171	17,212	17,21	17,196	34,6	0,004	0,041	0,016
16,82	16,78	16,85	16,81	16,79	44,6	-0,01	0,07	0,060
16,42	16,387	16,409	16,409	16,393	54,6	-0,011	0,022	0,016
16,023	15,99	16,022	16,012	15,995	64,6	-0,011	0,032	0,027
15,61	15,586	15,619	15,61	15,6	74,6	0	0,033	0,019
15,22	15,19	15,224	15,218	15,202	84,6	-0,002	0,034	0,022
14,83	14,792	14,83	14,929	14,804	94,6	0,099	0,038	0,026
14,42	14,397	14,421	14,426	14,401	104,6	0,006	0,024	0,020

În **capitolul 5**, intitulat „Validarea experimentală a metodologiei de simulare numerică propusă și aplicată în cadrul tezei de doctor”, sunt tratate pe rând atât necesitatea și scopul validării experimentale a metodologiei de simulare numerică, cât și validarea experimentală bazată pe încercarea de duritate Brinell, precum și validarea experimentală bazată pe datele obținute pe parcursul aplicării procedurii tehnologice de netezire și durificare prin mode simple.

La validarea prin această metodă se urmăresc două aspecte importante:

- convergența metodei de simulare;
- coresponderea rezultatelor simulate cu cele simulate înainte.

Pentru testul de convergență au fost folosite modele discretizate cu rețele diferite. În principiu, rețelele de discretizare sunt similare cu cele reprezentate în figura 25, dar diferite prin finețe.

Au fost utilizate cinci niveluri de finețe pentru rețelele de discretizare, evaluate cu ajutorul numărului total de noduri în modelul pe sfert (1/4).

Din figura 26 se poate constata finețea diferită a rețelelor în funcție de numărul general de noduri utilizate la discretizare. Reprezentarea din figura 26 este limitată la startul superior de material din zona de contact cu bila aparatului Brinell.

Pentru urmărirea convergenței au fost simulate numeric toate cele cinci modele cu discretizări diferite. În aceste simulări numerice modelul de material a fost unic – modelul Johnson-Cook – cu parametrii stabiliți pentru lotul nr. 2 de material.

Drept criteriu de convergență a fost folosit criteriul presiunii maxime de contact dintre bila aparatului Brinell și materialul testat, evaluată la sfârșitul perioadei de menținere.

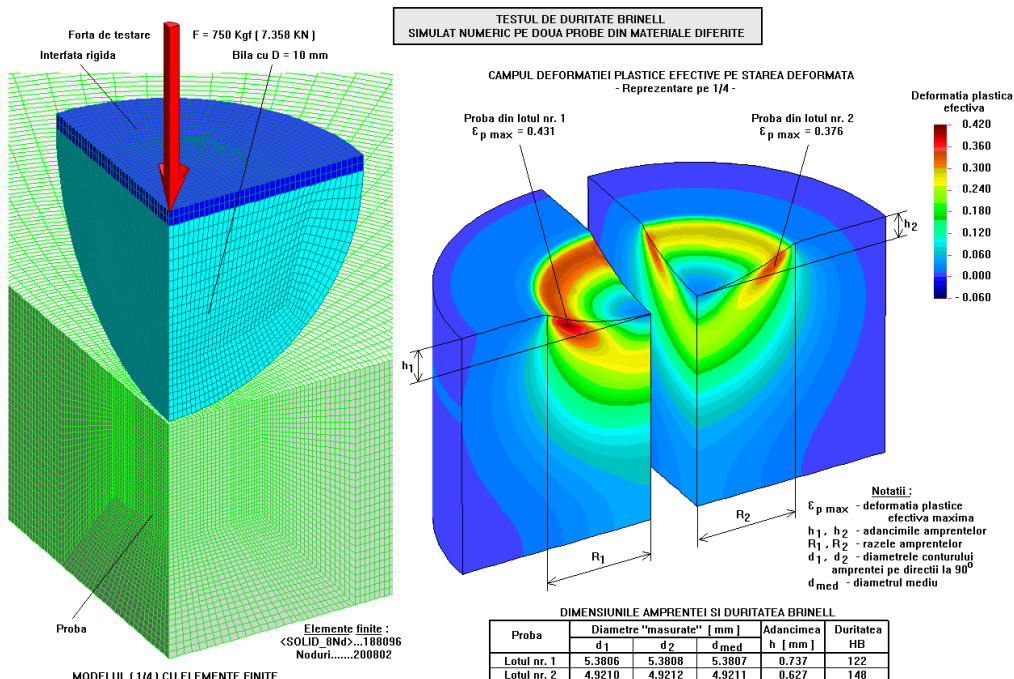


Fig. 25. Testul de duritate Brinell simulat numeric pe două probe din materiale diferite

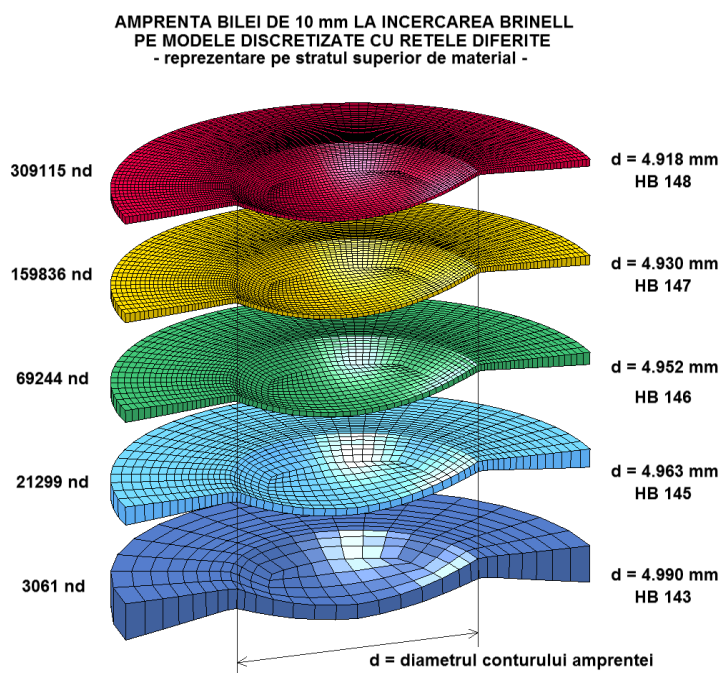


Fig.26. Amprenta bilei de 10 mm la încercarea Brinell pe modele discretizate cu rețele diferite – reprezentare pe stratul superior de material

Folosirea unui criteriu de convergență bazat pe o mărime derivată – presiunea de contact – garantează convergența soluției problemei simulate numeric.

În tabelul 5 sunt centralizați parametrii pe baza cărora se pot lua decizii privind convergența metodei și validarea metodologiei de simulare numerică. Tabelul conține, în plus, coloana cu datele rezultate din simularea numerică în capitolul 3, efectuată în urma validării modelului de material.

Analiza parametrilor selectați din tabelul 5 pune în evidență convergența soluțiilor obținute prin simulare numerică cu metodologia formulată în capitolul 3 al tezei de față. Se constată că toți parametrii de control, în primul rând presiunea maximă de contact, pe baza căreia s-a constituit criteriul de convergență, dar și parametrii primari (h – adâncimea amprentei, d – diametrul conturului amprentei, HB – duritatea Brinell) tind asimptotic spre valori-limită pe măsură ce finețea rețelei de discretizare crește. Comparând datele obținute pentru variantele de discretizare 4 și 5, foarte puțin diferite, se determină că soluția simulată pentru ultima variantă este soluția “exactă a problemei”. În ultima coloană a tabelului 5 sunt date erorile maxime pentru parametrii analizați în raport cu soluția admisă ca „exactă”. Datele din această coloană justifică alegerea unei mărimi derivate – presiunea de contact – pentru formularea criteriului de convergență.

Tabelul 5. Parametrii simulați selectați pentru validare

<i>Varianta de discretizare</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Test material</i>	<i>5</i>	<i>Err. max. %</i>
Numărul de noduri	3061	21299	69244	159836	200802	309115	-
Presiunea maximă de contact [MPa]	1542	1561	1569	1570	-	1572	1.91
Adâncimea amprentei [mm]	0.636	0.633	0.631	0.629	0.627	0.626	1.57
Diametrul amprentei conturului [mm]	4.990	4.963	4.952	4.930	4.921	4.981	1.44
Duritatea Brinell HB	143	145	146	147	148	148	3.38

CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI CONCLUZII

CONTRIBUȚII ORIGINALE

1. Fundamentarea metodologiei pentru simularea numerică a proceselor tehnologice de netezire și durificare superficială a pieselor din compunerea agregatelor pentru turnarea sticlei. Metodologia de simulare concepută respectă în linii mari procedura de simulare numerică a proceselor mecanice, dar este structurată în cazul particularizării la condițiile concrete ale obiectivelor tezei de doctor (cap. 2).
2. O atenție deosebită a fost acordată acurateței modelului fizic al procesului fără care succesul simulării numerice nu ar putut fi asigurat (§ 2.3.3, fig. 2.07). Astfel, a fost conceput un model fizic, într-o configurație funcțională simplă, care însă păstrează toate caracteristicile importante ale tehnologiei simulate. Părților componente ale modelului fizic, exceptând semifabricatul, li s-au asociat proprietățile mecanice ale materialelor elastice reale.
3. Acuratețea soluțiilor simulate, dar și economia de resurse de calcul a fost asigurată de construirea unui model discretizat cu elemente finite cu densitate variabilă în funcție de gradientii de câmp preevaluați (§ 3.1, fig. 3.01, 3.02, 3.03, 3.04). Pe suprafața prelucrată, rețeaua de discretizare are densitate maximă și a fost construită, ținând cont de concluziile de la simularea probei Brinell (§ 3.2, fig. 3.05).
4. Propunerea și utilizarea a două metode originale de validare experimentală, a metodologiei de simulare numerică a procesului de netezire și durificare. Prima metodă este fundamentată pe similitudinea procesului studiat prin proba de duritate Brinell, în ambele procese deformarea plastică realizându-se cu corpuri de formă sferică. Această metodă de validare se aplică prin simularea numerică, cu ajutorul elementelor finite, a procesului de deformare elasto-plastică produs la proba Brinell, în condițiile materialului modelat. Criteriul de validare compară parametrii caracteristici comportării materialului simulat cu ai materialului real (§ 5.2, fig. 5.01, tab. 5.01, fig. 5.02, fig. 5.03). A doua metodă de validare experimentală se bazează pe compararea rezultatelor obținute prin simulare numerică cu baza de date achiziționate în timpul experimentării procesului de netezire și durificare pe standul utilizat pentru aplicarea acestui procedeu (§ 5.3, fig. 5.04; § 4.1, fig. 4.04).
5. Metodologia de simulare numerică a fost aplicată pentru două variante tehnologice de control al procesului de deformare: control în deplasări și control în forțe. O analiză comparativă susține alegerea procedeuului de control în funcție de complexitatea mașinilor-unelte disponibile (fig. 3.06 – 3.12).
6. Simularea numerică pe baza metodologiei stabilite s-a aplicat și altor procese abordate în teza de doctor: interpretarea realistă a probelor de compresiune; validarea experimentală a metodologiei (fig. 2.28).

CONCLUZII GENERALE

1. Reducerea poluării mediului ambiant sub aspect social, medical și economic este o cerință stringentă care impune necesitatea îmbunătățirii calității vieții umane. În acest context, înlocuirea procedeele de rectificare și lustruire cu cele de netezire devine tot mai actuală.

2. În general, s-a conceput o metodologie de simulare numerică bazată pe metoda elementelor finite, aplicată proceselor de prelucrare prin deformare plastică. S-a insistat asupra realizării unui model fizic fidel în care sunt incluse corpurile principale ce participă la proces și a căror funcționare corespunde tehnologiei aplicate [4, 6].

3. Comportarea fontei cenușii cu grafit lamelar la deformări plastice a fost încadrată în mai multe tipuri de modele de material. Dintre acestea, două realizează o aproximare foarte bună: modelul poliliniar și modelul experimental. Studiile efectuate au justificat o corecție de ϵ_{pl} (a curbei caracteristice plastice), o extensie de 60% în condițiile operației de netezire + compresiune în cele trei direcții [5].

4. Rezultatele obținute în urma simulărilor numerice ale proceselor de netezire și durificare a pieselor din fontă cenușie cu grafit lamelar confirmă capacitatea acestor metode de a aborda fenomenele complexe care se produc în materialele deformate plastic, și anume, întărirea materialului pe suprafața prelucrată cu forța de 500N asigură creșterea tensiunii de curgere de aproximativ 2 ori (215-400 Mpa), iar cu forța de 1000N practic nu modifică aceste rezultate (420MPa).

5. Compararea datelor simulate cu cele experimentale, selectate din ambele procese de deformare plastică de referință, a evidențiat constatarea suprapunerii în bune condiții a acestora. De aceea se consideră că metodologia de simulare numerică a procesului de netezire și durificare superficială a proceselor din structura utilajelor pentru turnarea sticlei este validată experimental [3, 6, 7].

6. Tehnologia de netezire a suprafețelor formelor din fontă cenușie cu grafit lamelar elaborată în lucrare permite obținerea durității suprafeței până la HB 148, în cazul dacă sunt respectate regimurile optime de prelucrare: viteza $V=45$ m/min; $s= 0.09$ rot/min; avansul radial $=0,2$ mm, cu o rază la vârful sculei de 4 mm și cu aplicarea unei forțe de 500 N [5, 7].

7. Procedeele constructiv-tehnologice brevetate permit reducerea temperaturii în zona de formare a produsului din sticlă în etapa de proiectare a formei de turnare printr-o răcire optimă sau prin aplicarea pe suprafața matricei a peliculelor de protecție de grafit [1, 2].

BIBLIOGRAFIE

1. Kostrjičkii A.I., Lebedinskii O.V. Mnogokomponentnĕ vakuumnĕ pokrĭtia. M.: Mařinostroenie. 1987. 208.s.
2. Kotov O. K. Poverhnostnoe uprocnenie detalei mařcin himiko-termiceskoi obrabotki. -M.: Mařinostroenie, 1969. – 344 s.
3. Kroha V.A. Uprocnenie metallov pri holodnoi plasticeskoi deformaĭii: Sprovocnik. -M.: Mařinostroenie, 1980. – 109 s.
4. Kudreavĭev I.V. Ostatocnĕ napreajenĕa, kak rezerv procnosti v mařinostroenii. –M.: Mařinostroenie, 1951. – 260 s.
5. Kudreavĭev I.V. Poverhnostnĭi naclep dlea povĭšenĕa procnosti i dolgovecnosti detalei mařcin. M.: Mařinostroenie, 1969. - 100 s.
6. Kudreavĭev I.V., Naumcenko N.E., Savvina N. M. Ustalosti krupnĭh detalei mařcin. M.: Mařinostroenie, 1981. - 237 s.
7. Kuzneĭov N.D., Ťeitlin V. I., Volkov B.I. Tehnologhiceskie metodĭ povĭšenĕa nadiojnosti detalei mařcin: Spravocnik. M.: Mařinostroenie, 1992. - 304 s.
8. Kustovskĭi V.N., Gudĭm L. N., Kninsberg Ť.Z. Opĭt vnedrenĕa cistovoi obrabotki zubceatĭh profilei plasticeskim deformirovanĕm // Vestnik mařinostroenia. -1995. -№10. –c.34-40.
9. Lugovskĭi V.V. Vliianĕ obrabotki poverhnostnĭm plasticeskim deformirovanĕm na korrozionnuu stoicosti stalei austenitnogo klassa // Vestnik mařinostroenia. -1990. -№12. - c.20-24.
10. Pamela Sloane. The existing technological ways of processing of the gears // CM&. -1999.-№7. P. 23-30.
11. Kupfer V.V. i dr. Issledovanie haraktera izmenenĕa v kontaktnoi zone i stenkah form pri mehanizirovannoi vĭrabortke butĭlok/Kupfer V.V., Guloian Iu.A., Sadovnikov R.N. – V sb.: Proizvodstvo i issledovanie stekla i silikatnĭh materialov, vĭp.4. Iaroslavlĭ, 1974, s.100-107.
12. Ŗĭĭka G.N. i dr. Opĭt izmerenĕa temperaturĭ metalliceskih form pri izgotovlenĕi stekliannĭh izdelĕi/Ŗĭĭka G.N., Varonik P.A., Saponenko A.F., Kazakov B.D. – Steklo i keramika, 1972, №7, s.16-17.
13. Stepanov I.E., GladŖĭstein I.E. Konstruĕirovanĕ form dlĕa stekleannĭh izdelĕi. M., 1974.
14. Trnka J. Sklarske formy. -Praha, 1972, s.270.
15. Smrcek A. Zakonisti prestupu tepla pri tvarovani sklovin.-I cast (2) Prestup tepla pri tvarovani lahvi.- II cast (4) Sklara a keramik, 1968, №2, s.40-43, 96-98.
16. Ŗmid W. Modelltechnische Unterzuchung des Fliessvorganges in flaschen – Vorformen mit besonderen berucksichtigung der Speise – Wellenenstnung. – glastechn.Ber., 1970, Bd.43, N 11-12.
17. Naughton T.J., McGrow D.A. Analises of heat transfer in glass. Advances in Glass technology, 1962, p.603-606.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZEI

Articole în diferite reviste științifice:

1. **COSOVSCI P.** Îmbunătățirea răcirii componentelor seturilor de forme pentru formarea sticlelor//buletinul institutului politehnic din Iași. -2008, vol liv.p.45-48.
2. **BESLIU VITALIE,, MAZURU SERGIU, COSOVSCI PAVEL, OJEGOV ALEXANDR** application of edi in increasing durability of glass moulding forms poansons// „modtech 2011”.
3. **КОСОВСКИЙ П.Г.** исследование влияния процесса выглаживания алмазным инструментом на качественные показатели поверхности легированных чугунов. “Машиностроение и техносфера XXI века”, том 2, с.88-91, 2011.
4. **CHERECHES T., LIXANDRU P., MAZURU S., COSOVSCI P., DRAGNEA D.** NUMERICAL SIMULATION OF PLASTIC DEFORMATION PROCESS OF THE GLASS MOLD PARTS// „Applied Mechanics and Materials”, vol 657, pp126131, 2014 Trans Tech Publications, Switzerland.
5. **CHERECHES T., LIXANDRU P., MAZURU S., COSOVSCI P., DRAGNEA D.** NUMERICAL SIMULATION OF PLASTIC DEFORMATION PROCESSES FROM CAST IRON PARTS, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2014, vol.12, ISSUE2 p.29-36.
6. **COSOVSCI P.** SIMULAREA NUMERICĂ A PROCEDEELOR DE NETEZIRE ȘI DE DURIFICARE// Fizica și tehnica, 2013, vol.2, p28-33, Bălți.
7. **COSOVSCI P.** PRESENTATION OF RESULTS FOR SURFACE PLASTIC DEFORMATION BY LAMINAR GRAPHITE CAST IRON// Meridian Ingineresc, vol. 4(55),p.54-57, 2014.

Brevete:

8. **MAZURU Sergiu, COSOVSCI Pavel.** Brevet Nr. 4143 MD. Dispozitiv pentru turnarea produselor din sticlă prin metoda de aspirație cu vacuum, B2 2011.12.31.
9. **MAZURU Sergiu, COSOVSCI Pavel; MARDARI Alexandru.** Brevet Nr. 358 MD. Echipament de prefasonare pentru mașina automată de formare a produselor din sticlă cu gât îngust, Y 2011.04.30.
10. **BESLIU V., MAZURU S., COSOVSCI P.** Brevet Nr.4184 MD. Procedeu de durificare a suprafețelor metalice.

ADNOTARE

Titlul: Sporirea durabilității formelor de turnare prin procedee tehnologice și metode constructive.

Lucrarea este structurată din introducere, cinci capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 117 titluri, 2 anexe, 169 pagini de text, 103 figuri, 15 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 7 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: durabilitatea formelor, netezire cu diamante, ecrusarea stratului superficial, acoperire cu pelicule nanometrice.

Domeniul de studiu se referă la metodele de durificare prin DPS, acoperirea suprafețelor active cu straturi de protecție și de proiectare a elementelor de răcire.

Scopul tezei constă în aprofundarea teoretică și experimentală a proceselor care apar pe parcursul aplicării tehnologiei de netezire și durificare superficială prin deformare plastică, de concepere a unei metodologii de simulare numerică cu validare experimentală.

Obiectivele lucrării: studiul proceselor de durificare și de netezire a suprafețelor organelor de mașini cunoscute și aplicate în procesele industriale; stabilirea unei metodologii pentru realizarea simulărilor numerice ale proceselor tehnologice de prelucrare prin deformare plastică; elaborarea modelelor de material; validarea modelului de material folosit în operațiunile de simulare a procesului tehnologic de deformare plastică la rece și de netezire prin ecrusare; experimentarea proceselor de durificare și de netezire prin presare cu scule dure; validarea experimentală a metodologiei de simulare numerică propusă și aplicată în teză.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării constă în elaborarea unui proces DPS pentru fonta cu grafit lamelar și stabilirea procedurii generale de aplicare a PC în procesul de prognozare a DPS cu determinarea ecrusării materialului în stratul exterior și, totodată, cu îmbunătățirea calității suprafeței.

Semnificația teoretică constă în lărgirea domeniului de aplicare a procedurii DPS, elaborarea metodologiei de cercetare și asistate de calculator a procedurii DPS, proiectarea elementelor de răcire și acoperirea suprafețelor de contact cu straturi de protecție.

Metodologia cercetării științifice constă în stabilirea procedurii generale privind realizarea simulărilor numerice ale proceselor tehnologice de prelucrare prin deformare plastică, a metodei de efectuare a acoperirii suprafețelor de lucru și condițiilor termice de lucru al formelor de fasonare a sticlei.

АННОТАЦИЯ

Название: Повышение долговечности формокомплектов технологическими и конструктивными методами.

Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, литературы из 117 названий, 2 приложений, 169 страниц (без литературы), 103 рисунков и 15 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 7 научных работах.

Ключевые-слова: долговечность форм, алмазное выглаживание, упрочнение поверхностного слоя, покрытие нанометрические плёнки.

Область исследования: относится к методам упрочнения ППД покрытие рабочих поверхностей защитными слоями и проектирование элементов охлаждения.

Цель работы состоит в теоретическом и практическом углублении понимания процессов, возникающих при применении технологии поверхностного выглаживания и упрочнения с помощью пластической деформации, в закладке методики компьютерного моделирования и экспериментальной валидации.

Задачи работы исследование процессов упрочнения и выглаживания поверхностей деталей машин известные и применяемые в промышленных процессах, разработка методики для проведения программного моделирования технологических процессов обработки пластическим деформированием, определение свойств материала, валидация использованных свойств материала для моделирования технологического процесса холодного пластического деформирования и выглаживания с упрочнением. Экспериментирование процессов упрочнения и выглаживания посредством сжатия твёрдым инструментом. Экспериментальная валидация методики моделирования предложенной и применённой в работе.

Научная новизна работа заключается в разработке процессов ППД для чугуна с пластинчатым графитом и определение базовой процедуры применения ПК в процессах моделирования ППД с оценкой упрочнения материала в поверхностных слоях и одновременным повышением чистоты поверхности.

Теоретическая значимость заключается в расширении области применения ППД и разработки методики компьютерного исследования и разработки процессов ППД, проектирование элементов охлаждения и покрытия рабочих поверхностей защитными слоями.

Методика исследования заключается в определении базовой процедуры для выполнения компьютерного моделирования технологических процессов обработки ППД, метода нанесения покрытий рабочих поверхностей и термических условий работы формокомплектов стекольной промышленности.

ANNOTATION

Title: Increasing durability of casting moulds by technological processes and constructive methods.

The thesis consists of introduction, five chapters, general conclusions and recommendations, references with 117 titles, 2 annexes, 169 pages (before the references), 103 figures, 15 tables. The obtained results have been published in 7 scientific articles.

Key words: durability of moulds, diamond smoothing, superficial layer hardening, covering with nanometrical films.

The field of study refers hardening methods by SPD, covering of the active surfaces with protective layers and design of the cooling elements.

The purpose of thesis is to deepen theoretically and experimentally the processes that appear with applying of the technology of superficial smoothening and hardening by plastic deformation. Developing a method of numerical simulation with experimental validation.

Objections of the thesis: studying the process of hardening and smoothing of the surfaces of machine parts, known and applied in industrial processes, developing a method for making a numerical simulation of the technological processes of treatment by plastic deformation, determination of the material's properties, validation of the applied properties of the material for modeling the technological process of cold plastic deformation and smoothening with hardening. Experimenting the processes of hardening and smoothening by compressing with a hard tool. Experimental validation of the numerical simulating method proposed and applied in thesis.

Scientific novelty and original value of the work consists in elaborating a SPD process for cast iron with lamellar graphites and determining general procedure to apply PC forecasting process of SPD with appreciating of hardening of the material in superficial layer with improving the surface's quality.

Theoretical significance is in extension of the field of application of the SPD process and elaborating a method of study and developing a PC assisted procedure of SPD, design of the cooling elements and covering of the contact surfaces with protective layers.

Scientific research methodology consists in determination of the general procedure for numerical simulation of the technological processes of treatment by plastic deformation, method of covering of the working surfaces and thermal conditions of work of glass moulds.