

Aprobat,
Reprezentant legal
Rățoi Viorel

Director proiect,
Cucoș Iulian

Nr. contract de finanțare: 260/ 17.06.2020

Axa prioritară 1 - Cercetare, dezvoltare tehnologica si inovare (CDI) în sprijinul competitivității economice și dezvoltării afacerilor

Acțiunea 1.2.1 Stimularea cererii întreprinderilor pentru inovare prin proiecte de CDI derulate de întreprinderi individual sau în parteneriat cu institutele de CD și universități, în scopul inovării de procese și de produse în sectoarele economice care prezintă potențial de creștere

Titlul proiectului: Instalație inovatoare pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă destinată eficientizării extragerii resurselor energetice convenționale - INOCEM

ID: -

MySMIS: 120032

RAPORT INTERMEDIAR A 2.3.

Perioada 01 Decembrie 2023 – 29 Decembrie 2023

Activitate: A2. Activitatile de Dezvoltare Experimentală

Subactivitatea: A2.3. Testarea echipamentului pilot utilizabil comercial in medii reprezentative pentru conditii de functionare reale

17 Septembrie 2022 - 29 Decembrie 2023

Lider S.C. PETAL S.A. Husi

Cuprins	pag.
A. Obiectivele proiectului	3
B. Obiectivele subactivității A 2.3	4
C. Rezumatul subactivității A 2.3	6
D. Descrierea științifică și tehnică a activităților din perioada pentru care se realizează predarea (01 Decembrie 2023 – 29 Decembrie 2023)	7
Testare componente mecanice si componente de uzura pompa din cadrul Ansamblului echipament Instalație inovatoare pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă.	7
1. Testarea pompelor mecanice de cimentare din cadrul Instalației pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă	10
2. Testarea motoarelor electrice din cadrul Instalației pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă	12
3. Validarea prin cercetare experimentală a tratamentelor termice pentru componenta principală din ansamblul echipament Instalație inovatoare pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă.	13
4. Determinarea prin spectrometrie EDAX a compoziției chimice a materialului plunjerului pompei.	19
5. Caracterizarea macro și microstructurală prin microscopie optică a plunjerelor tratate termic în cuptorul cu sistem de conducere clasic și bazat pe algoritm PID și predictiv pe un pas.	23
6. Analiza prin microscopie electronică SEM a plunjerului pompei tratat termic.	27
7. Analiza proprietăților mecanice ale materialului plunjerul pompei tratat termic.	30
Concluzii	38
Bibliografie:	41-46

A. OBIECTIVELE PROIECTULUI

Obiectivul general al proiectului constă în realizarea unui produs inovativ complex, destinat exploatarea eficientă a resurselor energetice convenționale, având caracteristici funcționale semnificativ îmbunătățite prin schimbări esențiale ale specificațiilor tehnice și ale componentelor și materialelor și printr-un proces inovativ de realizare.

Integrată domeniului de specializare inteligentă *ENERGIE, MEDIU ȘI SCHIMBĂRI CLIMATICE*, subdomeniul 3.1. *Energie*, respectiv 3.1.2. *Resurse energetice convenționale, neconvenționale și regenerabile*, instalația destinată operației de cimentare și altor operațiuni speciale la sondele de petrol și gaze naturale, cu performanțe unice pentru producția unui asemenea echipament în România, ce asigură exploatarea superioară a acestor resurse convenționale de energie, cu păstrarea mediului ambiant și care va contribui la creșterea calității și la diversificarea ofertei de produse moderne a liderului de proiect pe piața echipamentelor complexe destinate extracției de resurse de petrol și gaze.

Obiectivele specifice ale proiectului sunt:

1. Obținerea prin cercetare industrială de metode inovative pentru echipamentul de cimentare și operații speciale la sonde și stabilirea specificațiilor pentru subansambluri și echipamente;
2. Realizarea și testarea subansamblurilor inovative privind acționarea electrică în curent alternativ, antrenarea mecanică și componente de uzură ale pompelor;
3. Realizarea, pe baza documentației tehnice întocmite, a echipamentului pilot utilizabil comercial și testarea în medii reprezentative;
4. Investiții în vederea introducerii în producție a rezultatelor CD, prin achiziții de active corporale și necorporale;
5. Pregătirea fluxului de fabricație și a documentației de punere în fabricație;
6. Crearea a 4 noi locuri de muncă pe durata implementării proiectului, dintre care 2 femei.

B. OBIECTIVELE SUBACTIVITĂȚII A 2.3

Subactivitatea A2.3. „Testarea echipamentului pilot utilizabil comercial in medii reprezentative pentru conditii de functionare reale” prevăzută a se desfășura între 17 Septembrie 2022 - 29 Decembrie 2023 are ca obiectiv testarea subansamblurilor care au fost realizate anterior in cadrul subactivității A2.2.

Echipamentul pilot este destinat operatiilor de cimentare si altor operatii speciale la sonde. Testarea se va realiza pe platforma special destinata acestui scop la PETAL S.A.. Se are in vedere a fi testata instalatia in conditii reprezentative pentru functionarea reala. In acest scop colectivele de cercetare vor elabora o documentatie de testare care sa cuprinda operatiile necesare de verificare functionala si conditiile operationale in care se vor desfasura acestea.

Testarile vor trebui sa cuprinda, cel putin:

- verificarea presiunii maxime pe care o pot crea pompele cu un lichid de pompare;
- functionarea pentru realizarea unui amestec clasic de cimentare, urmarind realizarea automata a amestecului, parametri instalatiei, posibilele deviatii ale parametrilor de la valori nominale;
- functionarea cu un mestec destinat operatiei de acidificare.

Dupa testare, colectivele de cercetare si implementare vor analiza rezultatele privitoare la performante si modul in care au raspuns inovarile implementate privitor la cresterea a calitatii operatiilor executate de instalatie.

Pe baza proiectelor pentru fiecare componenta si subansamblu se vor realiza practic:

- Testarea solutiilor inovatoare realizate pentru instalatia de cimentare si operatii speciale la sonde se adreseaza tuturor subansamblurilor si componentelor, pe intreg ciclul lor de realizare.
- Inainte de testare, colectivul de cercetare si implementare va stabili manuale de testare pentru fiecare subansamblu, cu fise in care vor fi trecute rezultatele obtinute si persoanele care certifica rezultatele.
- Se va testa fiecare componenta in parte din punct de vedere dimensional imediat dupa producere, pentru a certifica pastrarea conditiilor impuse prin proiectul respectiv. In acest

mod, eventualele deficiente de realizare fizica pot fi indreptate fara a periclita termenele de finalizare ale activitatii respective.

- Se vor testa componentele de uzura cu acoperiri speciale in conditii similare cu cele la care vor lucra, in special acidificari si nisip, pentru a observa comportarea acoperirilor la suprafetele de contact cu substantele erozive.
- Se vor testa elementele noi de etansare in cadrul instalatiei de verificare la presiune a componentelor, instalatie din dotarea PETAL S.A.. Astfel, se va aprecia calitatea materialelor si a conceptiei tehnologice de realizare, cu posibilitatea remedierii rapide a eventualelor deficiente.
- Se va testa subsistemul de antrenare mecanica pe bancul de testare existent la PETAL S.A. pentru a observa functionarea lantului cinematic realizat pe baza noilor inovari.
- La sistemul electric de actionare vor fi testate separat, in momentul realizarii componentei respective, atat motorul electric de actionare cat si convertizorul de frecventa.
- Se vor verifica parametri de functionare nominali si actiunea protectiilor contra regimurilor ce pot conduce la defecte. La finalizarea testarilor componentelor se va testa subansamblul de actionare electrica in ansamblu, determinand caracteristica mecanica si corespondenta cu caracteristica mecanica a pompelor actionate.
- Pentru protectia actionarii electrice exista prin proiect un sistem de protectii (impamantari, scurtcircuite etc.) care vor fi testate.
- Se va urmari testarea comunicatiilor realizate pentru sistemul electric intre componentele acestuia si modul in care ele asigura optimizarea functionarii conform proiectului respectiv.

C. REZUMATUL SUBACTIVITĂȚII A 2.3

Raportarea 01 Decembrie 2023 – 29 Decembrie 2023

Subactivitatea A2.3. „Testarea echipamentului pilot utilizabil comercial in medii reprezentative pentru conditii de functionare reale” prevăzută a se desfășura între 17 Septembrie 2022 - 29 Decembrie 2023 are ca obiectiv testarea subansamblurilor care au fost realizate anterior in cadrul subactivității A2.2.

Pe baza proiectelor pentru fiecare componenta si subansamblu se vor realiza practic:

- Testarea solutiilor inovatoare realizate pentru instalatia de cimentare si operatii speciale la sonde se adreseaza tuturor subansamblurilor si componentelor, pe intreg ciclul lor de realizare.
- Inainte de testare, colectivul de cercetare si implementare va stabili manuale de testare pentru fiecare subansamblu, cu fise in care vor fi trecute rezultatele obtinute si persoanele care certifica rezultatele.
- Se va testa fiecare componenta in parte din punct de vedere dimensional imediat dupa producere, pentru a certifica pastrarea conditiilor impuse prin proiectul respectiv. In acest mod, eventualele deficiente de realizare fizica pot fi indreptate fara a periclita termenele de finalizare ale activitatii respective.
- Se vor testa componentele de uzura cu acoperiri speciale in conditii similare cu cele la care vor lucra, in special acidificari si nisip, pentru a observa comportarea acoperirilor la suprafetele de contact cu substantele erozive.
- Se vor testa elementele noi de etansare in cadrul instalatiei de verificare la presiune a componentelor, instalatie din dotarea PETAL S.A. Astfel, se va aprecia calitatea materialelor si a concepiei tehnologice de realizare, cu posibilitatea remedierii rapide a eventualelor deficiente.
- Se va testa subsistemul de antrenare mecanica pe bancul de testare existent la PETAL S.A. pentru a observa functionarea lantului cinematic realizat pe baza noilor inovari.

D. DESCRIEREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ A ACTIVITĂȚILOR DIN PERIOADA PENTRU CARE SE REALIZEAZĂ PREDAREA

01 ecembrie 2023 – 29 Decembrie 2023

Cap. 1. Testare componente mecanice si componente de uzura pompa din cadrul Ansamblului echipament Instalație inovatoare pentru cimentare și operațiuni speciale la sondă.

Colectivul de cercetare pentru implementarea proiectului al liderului S.C. PETAL S.A. Huși participă la această activitate în perioada de raportare 01 Decembrie 2023 – 29 Decembrie 2023 la realizarea unor activități de testare a echipamentului pilot pentru utilizare comercială în medii reprezentative pentru condiții de funcționare reale este crucială pentru a evalua performanța, fiabilitatea și adaptabilitatea acestuia înainte de lansarea pe piață sau utilizarea în producție.

Câteva etape și considerații pentru acest proces:

1. Definirea Mediilor Reprezentative:

Identificarea și caracterizarea mediilor care reflectă condițiile reale de funcționare pentru echipamentul respectiv.

Evaluarea factorilor precum temperatură, umiditate, presiune, vibrații, nivelul de murdărie sau coroziune, care pot influența performanța echipamentului.

2. Planificarea Testelor:

Elaborarea unui plan detaliat care să cuprindă scenariile de testare și parametrii specifici care trebuie evaluați în fiecare mediu.

Definirea duratei testelor și a condițiilor specifice care vor fi simulate pentru a reproduce cât mai fidel condițiile reale de funcționare.

3. Teste de Funcționare și Performanță:

Teste de operare normală: Verificarea funcționării echipamentului în condiții optime pentru a evalua performanța într-un mediu reprezentativ.

Teste sub sarcină: Evaluarea comportamentului și performanței echipamentului atunci când este supus unor sarcini variate sau solicitări specifice.

4. Teste de Fiabilitate și Durabilitate:

Teste de durată: Rularea continuă sau pe termen lung a echipamentului pentru a evalua fiabilitatea și durabilitatea acestuia în condiții de funcționare constante sau variate.

Teste de încălzire și răcire repetată: Verificarea comportamentului echipamentului în condiții de schimbare a temperaturii pentru a evalua rezistența la stres termic.

5. Teste de Mediu și rezistență:

Teste de rezistență la mediu: Examinarea comportamentului echipamentului în medii cu niveluri ridicate de umiditate, praf, coroziune sau alte condiții agresive.

Teste de rezistență la vibrații și șocuri: Evaluarea rezistenței la vibrații și impact pentru a simula condiții de transport sau utilizare în medii instabile.

6. Analiză și Raportare:

Documentarea tuturor rezultatelor testelor și a observațiilor relevante într-un raport detaliat.

Analiza datelor pentru a identifica problemele sau limitările și pentru a propune eventualele îmbunătățiri.

7. Iterații și Corectări:

Bazat pe rezultatele testelor, se pot efectua modificări sau ajustări pentru a îmbunătăți performanța sau fiabilitatea echipamentului.

Repetarea testelor pentru a valida și verifica eficacitatea modificărilor aduse.

Testarea echipamentului pilot în medii reprezentative pentru condiții reale de funcționare este esențială pentru a asigura că acesta îndeplinește standardele și cerințele așteptate înainte de a fi introdus pe piață sau utilizat într-un mediu de producție real.



1. Testarea pompelor mecanice de cimentare în industria de foraj implică verificarea funcționării corecte a acestora pentru a asigura performanța optimă în condiții de utilizare specifice. Iată câteva proceduri comune de testare pentru pompele mecanice de cimentare:

Teste de Funcționare a Pompei verificarea funcționării motorului și a sistemului de acționare, testarea presiunii și debitului pentru a asigura că pompa funcționează la parametrii specificați.

Teste de Etanșeitate verificarea etanșeității sistemului pentru a preveni scurgerile sau pierderile de presiune.

Teste de Rezistență la Presiune aplicarea unei presiuni superioare la sistem pentru a evalua rezistența acestuia și a asigura că poate gestiona presiunile din timpul operațiunilor de foraj.

Teste de Durabilitate și Fiabilitate teste efectuate pe o perioadă mai lungă de timp pentru a evalua durabilitatea pompei în condiții continue de operare.

Teste de Precizie a Dozării și Amestecului verificarea preciziei și consistenței amestecului de ciment pentru a asigura calitatea procesului de cimentare.

Teste de Temperatură și Rezistență la Mediu evaluarea comportamentului pompei în condiții de temperatură variabile și în diverse medii pentru a asigura funcționarea corectă în condiții de teren diverse.

Teste de Asamblare și Dezamblare verificarea ușurinței de asamblare și dezamblare a pompei pentru întreținere și reparații.

Teste de Control și Siguranță verificarea sistemului de control al pompei și a funcțiilor de siguranță pentru a asigura operațiuni sigure și fără incidente.

Teste de Rezistență la Coroziune și Uzură evaluarea materialului și tratamentelor de suprafață pentru a asigura rezistența la coroziune și uzură în medii agresive.

Teste de Lubrifiere și Sistem de Răcire verificarea sistemului de lubrifiere și răcire pentru a asigura funcționarea corectă și durabilitatea componentelor critice ale pompei.

Verificarea Documentației și Certificării asigurarea că documentația de testare și certificările pentru pompe sunt complete și conforme cu standardele și reglementările relevante.

Teste de Performanță teste de debit și presiune: Verificarea capacității pompei de a furniza debitul și presiunea specificate pentru injectarea cimentului în sondă, Teste de funcționare continuă:

Verificarea performanței pompei în timpul unor perioade extinse de funcționare pentru a evalua stabilitatea și fiabilitatea în condiții de lucru intense.

Teste de Rezistență la Presiune: Examinarea comportamentului și integrității pompei sub presiuni mai mari decât cele normale de lucru pentru a evalua rezistența la presiune și siguranța operațională.

Teste de Asamblare și Dezasamblare: Verificarea procesului de asamblare pentru a asigura că piesele se potrivesc corect și că montajul este realizat în conformitate cu specificațiile producătorului.

Teste de dezasamblare: Evaluarea facilității și siguranței procesului de dezasamblare pentru întreținere și reparații.

Inspectare Vizuală și Teste NDT: Examinarea vizuală pentru detectarea defectelor, fisurilor sau a uzurii premature a componentelor pompei.

Teste NDT: Utilizarea testelor non-destructive pentru a detecta defecte ascunse, cum ar fi radiografiile sau ultrasunetele, pentru a evalua integritatea componentelor.

Teste de Temperatură și Mediu: Evaluarea comportamentului și performanței pompei la temperaturi extreme specifice mediului de lucru. Verificarea rezistenței la substanțele chimice din mediul în care se va opera pompa.

Teste de Asigurare a Calității: Verificări ale parametrilor tehnici: Măsurarea și verificarea parametrilor tehnici pentru a asigura conformitatea cu specificațiile de proiectare, Teste de funcționare a sistemului de control: Verificarea funcționalității și eficacității sistemului de control al pompei.

Teste de Rezistență la Impact și Vibrare: Evaluarea comportamentului pompei sub vibrații și șocuri pentru a asigura stabilitatea și integritatea structurală.

Teste de Izolare și Etanșeitate: Verificarea etanșeității sistemului pentru a preveni scurgerile de lichid. Verificarea etanșeității la presiuni specifice pentru a asigura funcționarea fără pierderi.

2. Testarea motoarelor electrice este esențială pentru a asigura funcționarea corectă și sigură a acestora în diverse aplicații industriale sau comerciale. Iată câteva proceduri comune de testare pentru motoarele electrice:

Teste de Continuitate și Rezistență: Verificarea conexiunilor electrice pentru a asigura că nu există întreruperi în circuit. Măsurători de rezistență: Utilizarea multimetrului pentru a măsura rezistența între terminalele motorului și a verifica dacă valorile sunt în intervalul specificat.

Teste de Izolație: Utilizarea unui instrument specializat pentru a testa izolația între bobine și între bobine și carcasă pentru a evita scurtcircuiturile și defecțiunile.

Teste de Tensiune și Curent: Teste de tensiune nominală: Alimentarea motorului cu tensiunea nominală pentru a verifica funcționarea la parametrii specificați. Măsurători de curent: Verificarea curentului consumat de motor în diverse condiții de funcționare.

Teste de Încălzire și Timp de Funcționare: Verificarea temperaturii motorului în timpul funcționării pentru a evalua încălzirea excesivă sau abaterile termice. Teste de timp de funcționare: Rularea motorului pentru perioade prelungite pentru a evalua performanța și fiabilitatea în timp.

Teste de Vibrație și Zgomot: Verificarea nivelului de vibrație pentru a identifica eventualele probleme de echilibrare sau montaj. Evaluarea nivelului de zgomot produs de motor pentru a identifica abaterile față de limitele normale.

Teste de Eficiență și Putere: Calcularea eficienței motorului în condiții specifice de sarcină pentru a evalua performanța energetică. Verificarea puterii motorului în diverse condiții de operare.

Teste de Funcționalitate și Control: Verificarea funcționării corecte a sistemului de pornire și oprire a motorului. Testarea funcționalității și eficacității sistemelor de control al motorului.

Teste de Supraîncălzire și Protecție: Verificarea funcționării corecte a dispozitivelor de protecție împotriva supraîncălzirii. Verificarea funcționării corespunzătoare a dispozitivelor de protecție împotriva evenimentelor neașteptate.

Creșterea durabilității în funcționare și a rezistenței la solicitările mecanice și de uzură necesită:

- realizarea unei durtăți ridicate pe o adâncime mare a stratului de material această proprietate se obține printr-un tratament termic de călire;

- realizarea unei microstructuri a materialului fină cu perlita uniform distribuită sub formă de insule înglobate în masa de ferită pentru obținerea unei tenacități ridicate (pentru preluarea șocurilor mecanice), această caracteristică se obține în urma recoacerii de normalizare.

În scopul validării experimentale a modelului matematic pentru predicția proprietăților mecanice și structurale ale piesei finite și a sistemului pentru conducerea tratamentului termic s-au realizat 18 tratamente termice de normalizare, călire și revenire înaltă pentru plunjerul pompei din care câte 2 tratamente termice clasice, 2 tratamente termice cu structuri de reglare bazate pe algoritmul PID și 2 tratamente termice cu structuri de reglare bazate pe algoritmul predictiv pe un pas.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice au fost proiectați cu un software de expert, bazat pe modelul matematic pentru predicția proprietăților mecanice și structurale ale piesei tratate termic având ca date de intrare parametrii inițiali ai procesului: compoziția chimică a oțelului de tratat termic, numărul și mărimea semifabricatelor, starea inițială a structurii de piesei, condițiile geometrice și termice impuse piesei și proprietățile mecanice și structurale de obținut după tratamentul termic.

Optimizarea tratamentului termic se face prin reiterarea calculului parametrilor de proces, compararea proprietăților mecanice și structurale ale piesei obținute după simularea tratamentului termic cu valorile reale obținute prin funcționarea cuptorului electric de tratament termic care are implementat un sistem de conducere flexibil cu structură de reglare clasică și reglare bazată pe algoritmul PID și predictiv pe un pas.

Încercările experimentale au fost realizate cu ajutorul unui cuptor electric pentru tratamente termice comandat cu sisteme clasice de reglaj și sisteme cu termoregulate tip PID și predictiv pe un pas.

Pentru încercările și determinările experimentale s-au utilizat probe prelevate din:

- materialul de bază oțel S235J2 din care s-au prelucrat pe un utilaj CNC plunjerul pompei;
- plunjerul pompei tratat termic cu tehnologia clasică;

4. Determinarea prin spectrometrie EDAX a compoziției chimice a materialului plunjerului pompei.

În figurile următoare sunt prezentate imagini de electroni secundari obținute cu ajutorul microscopiei electronice pe un microscop cu scanare de electroni (scanning electrons microscope SEM) VegaTescan LMH II, lucrându - se în modulul High 46 Vacuum, la presiuni de lucru cuprinse între 50 - 60 Pa, folosind detectorul de tip LFD (Large Field Detector), tensiunea de accelerare a fasciculului de electroni utilizată a fost de 30kV, iar distanța de lucru a fost de 15 mm, s - a lucrat la puteri de mărire cuprinse între 300x - 5.000x.

Pregătirea probelor pentru investigațiile experimentale se face prin debitate la dimensiuni corespunzătoare, încapsulare în rășină, șlefuire cu hârtie de șlefuit cu granulație crescândă în finețe:180; 320; 800; 1200; 1500; 2000; 3000, lustruire cu pâslă cu granulație 5000 și atac chimic al suprafeței cu reactiv chimic Nital B concentrație 2%.

În cazul tratamentului termic clasic distribuția elementelor chimice în materialul probei este neuniformă, perlita se regăsește în insule mari dispersate, înconjurate de zone mari formate din ferită.

În probele prelevate din palele tratate termic în cuptor cu sistem de conducere bazat pe algoritm PID și predictiv pe un pas se constată că fierul care se observă în urma analizei elementale se regăsește distribuit uniform în materialul de bază după cum poate fi observat în harta de distribuție. Oxigenul se găsește distribuit uniform în materialul de bază în general acesta aflându- se sub formă de oxizi.

Carbonul se prezintă aliat cu fierul, uniform distribuit, dar se observă și insule dispersate neuniform de aliaje ale unor compuși chimici ai acestuia cu Mn, S și Si.

Manganul se regăsește sub formă de insule de dimensiuni mari dispersate neuniform în masa materialului de bază. Sulfurul este în proporții mici și apare în diferite aliaje cu Fe, Mn, C dispersat neuniform în materialul de bază. Siliciul este în proporții mici și apare doar ca element de aliere a materialului de bază.

Analiza chimică și elementală, a probelor prelevate din pala pentru turbina de microhidrocentrală, tratată termic în cuptorul electric care are implementat un sistem de conducere cu structură de reglare bazată pe algoritmul PID și algoritmul predictiv pe un pas.

Diferența între aceste două tipuri de tratamente constă în uniformitatea mult mai mare a structurii și o finețe ridicată în cazul tratamentului termic condus de termoregulate predictiv pe un pas.

6. Analiza prin microscopie electronică SEM a plunjerului pompei tratat termic.

Analiza microstructurală a plunjerului pompei realizat din oțel S235J2, s-a realizat pe un microscop cu scanare de electroni (scanning electrons microscope SEM) VegaTescan LMH II prezentat în figura următoare.

Microscopul cu scanare de electroni (SEM) are următoarele performanțe:

Caracteristici tehnice: putere de amplificare 100000x, detector de electroni secundari (SE), vid înaintat, filament de tungsten, carusel 7 probe (dimensiuni standard 10x10x45 mm), software VegaTescan.

Probe analizate: toate tipurile de materiale metalice șlefuite mecanic sau nu, materiale ceramice și polimerice (cu recomandarea folosirii unui strat superficial metalic), materiale compozite, materiale textile, materiale biologice, filme subțiri.

Analize: microstructură, starea suprafeței, straturi subțiri, dimensionare, analiză profilometrică prin variația intensității luminoase, analiză 3D a suprafeței, identificare faze prin Binary operations, split RGB, Colomapping, creare imagini stereotip, creare imagini 3D.

Denumirea materialului probei: oțel S235J2

Compoziție chimică: C = 0,49% ; Mn = 0,24% ; Si = 0,039% ; S = 0,22%

Tehnică de analiză: Scanning electron microscopy (SEM)

Length bar: 20 μm

Descriere: microstructura de oțel carbon - grăunți de ferită și perlită distribuiți în pala pentru microhidrocentrală.

7. Analiza proprietăților mecanice ale materialului plunjerul pompei tratat termic.

Cercetările de duritate pentru epruvetele prelevate din plunjerul pompei executat din oțel S235J2, după tratamentul termic realizat în cuptorul de tratament termic condus de sistemul cu termoregulate tip PID și respectiv predictiv pe un pas s-au realizat pe un durimetru Wilson Wolpert - model 751N care măsoară duritatea în sistemele HB, HV, HRC, HRB, HRA, HL.

Durimetrul este prevăzut cu un penetrator cu forma dată care se imprimă, sub o sarcină inițială F_0 în material, dispozitivul de măsurare a adâncimii de penetrare se aduce la zero și se aplică pe penetrator suprasarcina F_1 .

Tabelul 2. Extras din STAS 7057-78 (EN ISO 6507)

Simbol	Penetrator	Sarcina [daN], [kgf]		Valoarea unității 1HR= μ m	E	Domeniul de utilizare
		inițială	totală			
0	1	2	3	4	5	6
HRB HRF HG	Bilă de oțel =1,588 mm	9,8(10)	9,80(100) 147,1(150) 58,8(60)	2	130	Metale neferoase, oțeluri netratate și tratate, fonte.

După epuizarea curgerii materialului, vizibilă la dispozitivul de măsurare a adâncimii pătrunderii prin oprirea practic completă a mișcării indicatorului, se îndepărtează suprasarcina F_1 și se măsoară adâncimea remanentă de pătrundere a penetratorului în material.

Inercarea la duritate s-a realizat pe un lot de 6 probe prelevate din 3 plunjere de pompă realizate din același material și care au fost tratate termic individual în cuptorul de tratament termic care a fost comandat succesiv cu sistem clasic de comandă, cu sistem de comandă cu regulator tip PID și cu sistem de comandă cu regulator tip predictiv pe un pas.

Duritatea HB s-a măsurat în 5 puncte pentru a include toată secțiunea plunjerului pompei, cu sarcina de 9,8[daN], conform STAS 7057-78 (EN ISO 6507) iar valorile luate în discuție constituie media a 5 determinări.

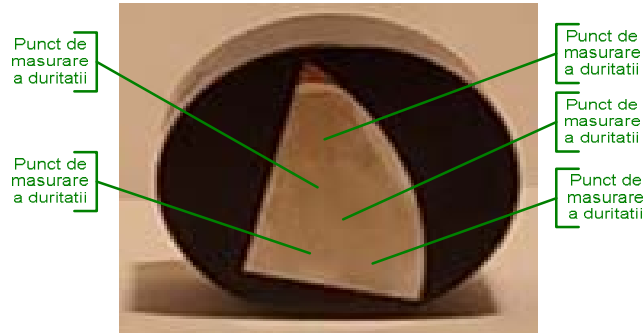


Fig. 15. Stabilirea punctelor de măsurare a durtății pentru epruvetele prelevate din plunjerul pompei realizată din oțel S235J2

La așezarea probelor trebuie să se țină seama de trei condiții principale: perpendicularitatea suprafeței față de direcția de acționare a penetratorului, imobilitatea piesei sub acțiunea sarcinii, evitarea deformării piesei sub acțiunea sarcinii.

a) Determinarea durtății plunjerul pompei în urma tratamentului termic primar de normalizare

În figurile 16...19 se prezintă punctele de măsurare a durtății și diagramele de variație a durtății HB pentru epruvetele: A, B și C

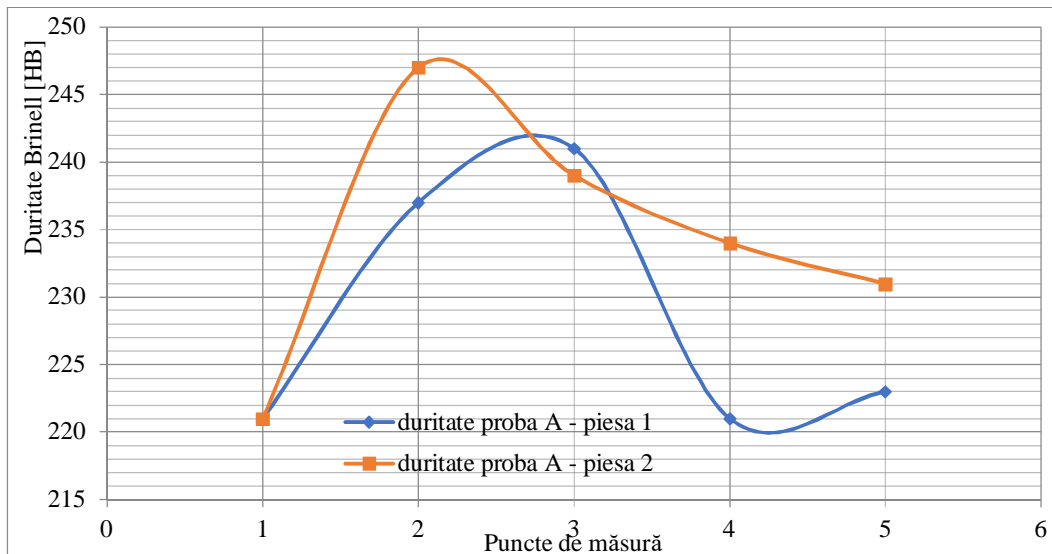


Fig. 16. Diagrama de variație a durtății HB în funcție de punctele de măsurare pentru Proba A - normalizare tehnologie clasică - TC

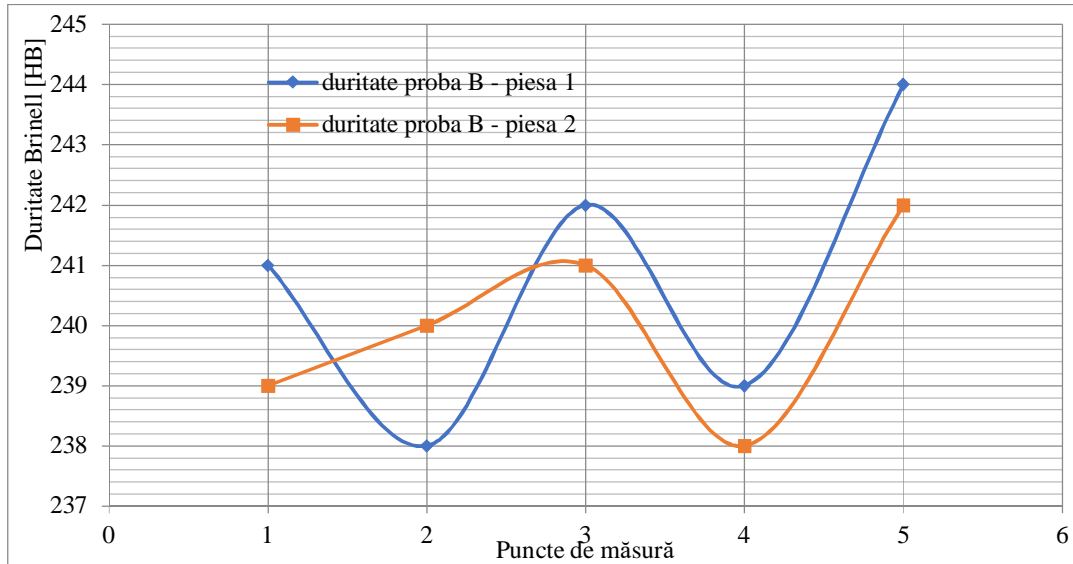


Fig. 17. Diagrama de variație a durității HB în funcție de punctele de măsurare pentru Proba B - tratament termic de normalizare realizat cu sistem de comandă cu regulator tip PID - TPid;

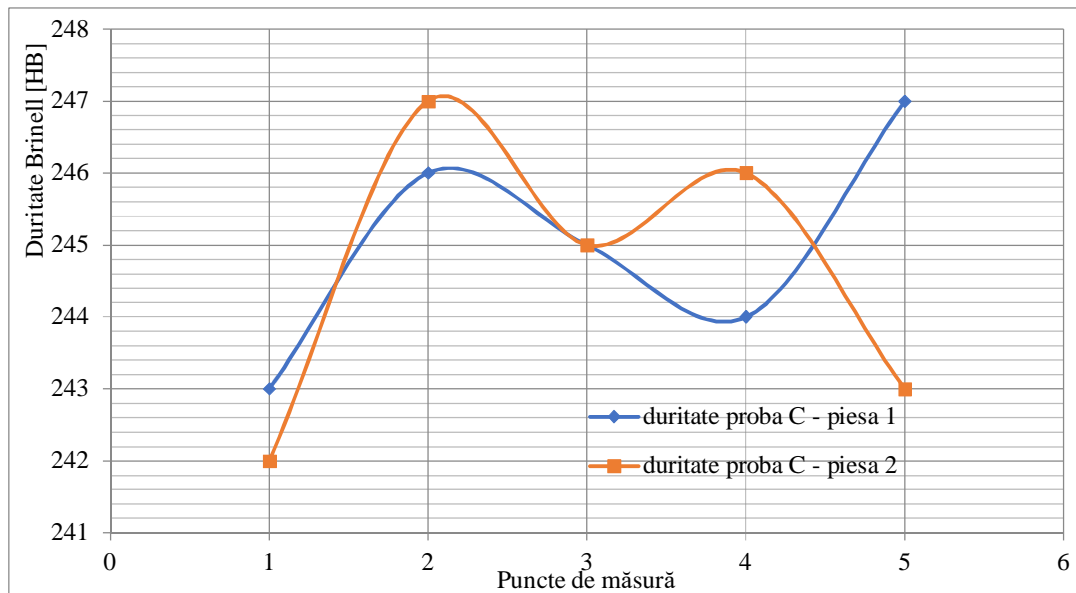


Fig. 18. Diagrama de variație a durității HB în funcție de punctele de măsurare pentru Proba C- tratament termic de normalizare realizat cu sistem de comandă cu regulator tip predictiv pe un pas - Tpid-pred.

Luând în considerare valorile durităților HB, pentru zona de măsurare a epruvetelor se poate realiza graficul următor cu datele experimentale pentru fiecare epruvetă în parte.

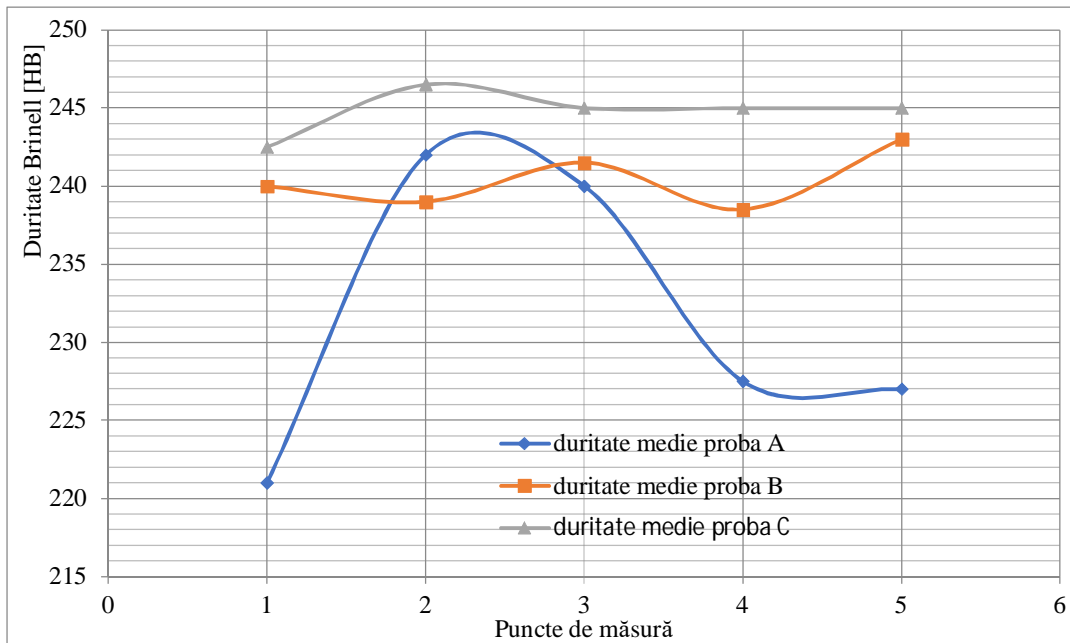


Fig. 19. Diagrama cumulată a durității HB pentru epruvetele luate în discuție A, B și C în funcție de punctele de măsurare (tratament de normalizare)

Tabelul 3. Centralizarea datelor experimentale cu valorile durității HB ale epruvetelor

Simbol epruvetă		Punctul de măsură - valoare duritate HB					Duritatea medie	
		1	2	3	4	5		
A	proba 1	221	237	241	221	223	228,6	231,5
	proba 2	221	247	239	234	231	234,4	
B	proba 1	241	238	242	239	244	240,8	240,4
	proba 2	239	240	241	238	242	240,0	
C	proba 1	243	246	245	244	247	245,0	244,8
	proba 2	242	247	245	246	243	244,6	

Din analiza rezultatelor experimentale obținute respectiv valorile medii ale durtății HB pentru fiecare epruvetă în parte se poate afirma că durtatea medie a pieselor normalizate în cuptoare cu sistem de conducere bazat pe tehnologiile clasice este de 228,6 HB pentru proba prelevată din piesa A1 și 234,4 HB pentru proba prelevată din piesa A2 spre deosebire de durtatea pieselor supuse tratamentului termic de normalizare în cuptoare cu sistem de conducere cu termoregulate tip PID unde pentru proba prelevată din piesa B1 durtatea medie este 240,8 HB iar pentru proba prelevată din piesa B2 durtatea medie este 240,0 HB iar în cuptoare cu sistem de conducere cu termoregulate tip predictiv pe un pas durtatea medie pentru proba prelevată din piesa C1 este 245 HB respectiv durtatea medie pentru proba prelevată din piesa C2 este 244,6 HB. Am calculat media celor două probe prelevate din pale pentru tratamentul clasic și tratamentele termice cu regulate tip PID și predictiv pe un pas.

În conformitate cu datele prezentate în standardele de specialitate durtatea oțelului S235J2 din care sunt realizate plunjerul pompei, pentru tratamentul de normalizare este de 235 HB, comparând rezultatele obținute se constată că în cazul tratamentului clasic de normalizare durtatea medie este de 231,5 HB mai mică decât cerințele din standard, iar în cazul tratamentului termic de normalizare valorile medii sunt 240,4 HB pentru termoregulate PID și 244,8 HB pentru termoregulate predictiv pe un pas, valori superioare cerințelor din standard.

b) Determinarea durtății plunjerului pompei în urma tratamentului termic final de călire în ulei urmată de o revenire înaltă.

În figurile 20...22 se prezintă punctele de măsurare a durtății și diagramele de variație a durtății HB pentru epruvetele: A, B și C obținute în urma tratamentelor de călire urmate de revenire înaltă.

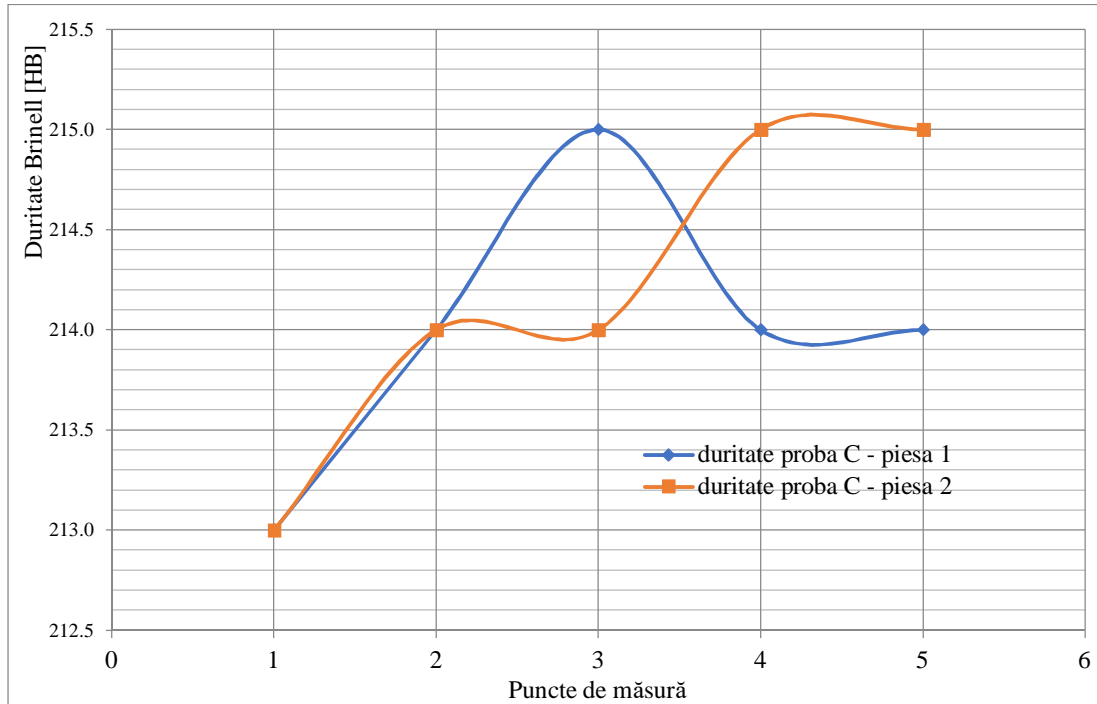


Fig. 22. Diagrama de variație a durezzații HB în funcție de punctele de măsurare pentru Proba C- tratament termic de călire realizat cu sistem de comandă cu regulator tip predictiv pe un pas - Tpid-pred.

Luând în considerare valorile durezzațiilor HB, pentru zona de măsurare a epruvetelor se poate realiza graficul următor cu datele experimentale pentru fiecare epruvetă în parte.

Tabelul 4. Centralizarea datelor experimentale cu valorile durezzațiilor HB ale epruvetelor

Simbol epruvetă		Punctul de măsură - valoare durezzație HB					Durezzația medie	
		1	2	3	4	5		
A	proba 1	203	206	205	205	203	204,4	204,6
	proba 2	204	205	206	204	205	204,8	
B	proba 1	209	210	210	211	210	210,0	210,2
	proba 2	210	211	211	210	210	210,4	
C	proba 1	213	214	215	214	214	214,0	214,1
	proba 2	213	214	214	215	215	214,2	

Din analiza rezultatelor experimentale obținute respectiv valorile medii ale durității HB pentru fiecare epruvetă în parte se poate afirma că duritatea medie a pieselor călite și revenite în cuptoare cu sistem de conducere bazat pe tehnologiile clasice este de 204,4 HB pentru proba prelevată din piesa A1 și 204,8 HB pentru proba prelevată din piesa A2 spre deosebire de duritatea pieselor călite și revenite în cuptoare cu sistem de conducere cu termoreguloare tip PID unde pentru proba prelevată din piesa B1 duritatea medie este 210,0 HB iar pentru proba prelevată din piesa B2 duritatea medie este 210,4 HB iar în cuptoare cu sistem de conducere cu termoreguloare tip predictiv pe un pas duritatea medie pentru proba prelevată din piesa C1 este 214,0 HB respectiv duritatea medie pentru proba prelevată din piesa C2 este 214,2 HB.

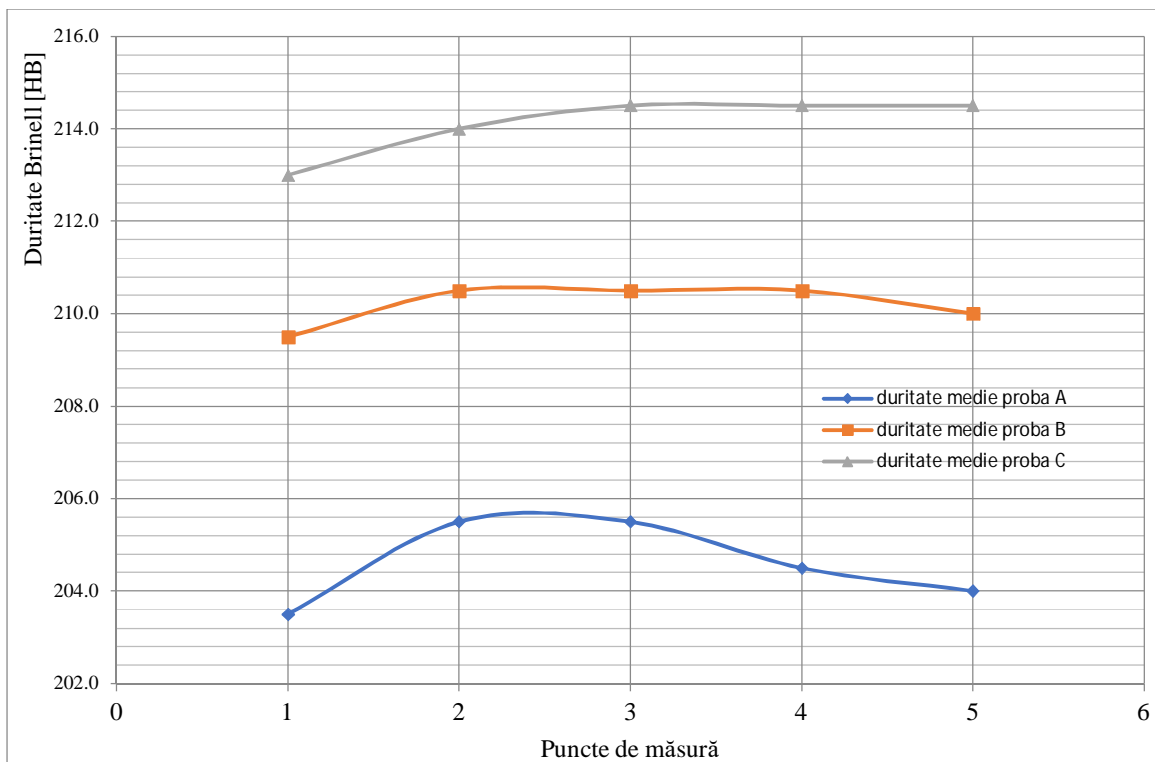


Fig. 23. Diagrama cumulată a durității HB pentru epruvetele luate în discuție A, B și C în funcție de punctele de măsurare (tratament de călire și revenire înaltă)

Am calculat media celor două probe prelevate din pale pentru tratamentul clasic și tratamentele termice cu reguloare tip PID și predictiv pe un pas.

Determinarea compoziției chimice prin spectrometrie EDAX a permis analiza comparativă a distribuției elementelor chimice în materialul probelor prelevate din plunjerul pompei relevă faptul că în cazul tratament termic realizat în cuptorul cu sistem de conducere bazat pe algoritmul predictiv pe un pas dispersia elementelor chimice este mai uniformă relativ cu probele tratate termic în cuptor cu sistem de conducere PID acest lucru permite transformarea unui procent mai mare de austenită în perlită, obținerea unor structuri mai fine dispersate uniform care determină îmbunătățirea proprietăților mecanice ale piesei.

Caracterizarea macro și microstructurală prin microscopie optică a pieselor tratate termic în cuptorul cu sistem de conducere clasic și bazat pe algoritmul PID și predictiv pe un pas evidențiază că microstructura materialului de bază al plunjerului pompei este un amestec neuniform de grăunți cristalini de ferită și perlită specifică oțelului laminat la cald.

Microstructura materialului din plunjerul pompei tratat termic în cuptorul de tratament termic comandat cu sisteme clasice este compusă din grăunți cristalini monofazici de ferită care au suprafață plană și grăunți de perlită care sunt un amestec de două faze și se prezintă în relief, microstructura este specifică unui oțel supraîncălzit, se identifică separații de ferită în jurul precipitatelor, structura este necorespunzătoare din punct de vedere al proprietăților mecanice.

Microstructura materialului din plunjerul pompei tratat termic în cuptorul de tratament termic comandat cu termoregulate tip PID și predictiv pe un pas este formată din ferită și perlită uniform distribuită, transformarea austenitei în perlită s-a realizat sub formă de insule înglobate în masa de ferită, acest lucru determină proprietăți mecanice superioare.

Diferența între aceste două tipuri de tratamente constă în uniformitatea mult mai mare a structurii și o finețe ridicată în cazul tratamentului termic condus de termoregulate predictiv pe un pas.

Din analiza probelor prin microscopie electronică SEM se constată că în cazul tratamentului termic clasic grăunții de perlită sunt grosolani distribuiți neuniform în matricea de ferită din acest motiv proprietățile mecanice ale materialului plunjerului pompei sunt reduse, piesa are un timp de bună funcționare mic, o durabilitate redusă și o rezistență mecanică mică.

În cazul tratamentului termic realizat în cuptorul de tratamente termice comandat de sisteme de conducere cu termoregulate de tip PID și predictiv pe un pas structura materialului este formată

În conformitate cu datele prezentate în standardele de specialitate duritatea oțelului S235J2 din care sunt realizate plunjerul pompei pentru tratamentul de călire urmat de revenire înaltă este de 207 HB, comparând rezultatele obținute se constată că în cazul tratamentului clasic final de călire urmat de revenire înaltă duritatea medie este de 204,6 HB mai mică decât cerințele din standard, iar în cazul tratamentului termic de călire realizat în cuptoare cu sisteme evaluate valorile medii sunt 210,2 HB pentru termoregulate PID și 214,1 HB pentru termoregulate predictiv pe un pas, valori superioare cerințelor din standard.

Precizăm că există o bună concordanță între duritate și caracteristicile mecanice de rezistență și plasticitate ale piesei deci o duritate ridicată și o distribuție uniformă a fazelor microcristaline (ferita și perlita) garantează o durabilitate și tenacitate ridicată a piesei cu efect pozitiv asupra timpului de bună funcționare al plunjerului pompei simultan cu creșterea capacității de preluare a șocurilor hidraulice datorate fluxului de fluid vehiculat, deasemeni crește rezistența la coroziune și uzura prin cavitație a plunjerului.

Bibliografie:

- [1]. Aloman, A., Șaban, R., Dumitrescu, C., Bane, M. - Tratat de știința și ingineria materialelor metalice Antetitlu: Academia de Științe Tehnice din România. vol. I și II, ISBN:978-973-720-064-0, București, 2006
- [2]. Antonio Carlos Buriti da Costa, Angelus Giuseppe Pereira da Silva, Uílame Umbelino Gomes - Analysis of the Structure of a Hard Metal: A Simple Method of Relating Properties, Stereological Structures Materials Research, Vol. 8, No. 2, 2005, pag. 131-134.
- [3]. Aronov, M.A., Kobasko, N.I., Powell, J.A., Wallace, J.F., Schwam, D. - Practical Application of the Intensive Quenching Technology for Steel Parts, Industrial Heating, 1999, pag. 59-63.
- [4]. Avram, P., Imbrea, M. S., Istrate, B., Strugaru, S. I., Cucuș, I., Axinte, C., Munteanu, C. - Wear Resistance and XRD Analyses of CMOCuNiCrSiBO Coatings Obtained by Thermal Deposition on OLC45 Substrate, Applied Mechanics and Materials Vol. 659 (2014), pag.10-15. © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.659.10
- [5]. Avram, P., Imbrea, M. S., Istrate, B., Strugaru, S. I., Cucuș, I., Axinte, C., Munteanu, C. - Wear Resistance and XRD Analyses of CNiCrSiBO Coatings Obtained by Thermal Deposition on

OLC45 Substrate, Applied Mechanics and Materials Vol. 659 (2014), pag. 16-21, © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.659.16.

[6]. Banka, A., Franklin, J., Li, Z., Ferguson, B.L., Aronov, M. - Applying CFD to Characterize Gear Response during Intensive Quenching Process, Proceedings of the 24th ASM Heat Treating Society Conference, 2007, pag. 147-155.

[7]. Bammann, D. - Development of a Carburizing and Quenching Simulation Tool: A Material Model for Carburizing Steels Undergoing Phase Transformations, Proceedings of the 2nd International Conference on Quenching and the Control of Distortion, 1996, pag. 367-375.

[8]. Barabina, M., Ferrari G. - Experimentation of regulation advanced techniques for dereactor control off a power plant, Automazione e Strumentazione, Italia, 2010.

[9]. Brooks, B.E., Beckermann, C. - Prediction of Heat Treatment Distortion of Cast Steel C-Rings, in Proceedings of the 61st SFSA Technical and Operating Conference, Paper No. 4.5, Steel Founders' Society of America, Chicago, IL, 2007, pag. 1-30.

[10]. Carlone, P., Palazzo, G. S. - Development and Validation of a Thermo-Mechanical Finite Element Model of the Steel Quenching Process Including Solid-Solid Phase Changes, Int. Appl. Mech. 46, 2011, pag. 955-971.

[11]. Chiriac, F., Leca, A., Pop, M., Badea, A., Luca, L., Antonescu, N. - Procese de transfer de căldură și de masă în instalațiile industriale, Editura Tehnică, București, 1982.

[12]. Cucos, I., Munteanu, C., Avram, P. - The Advanced System for Conducting the Electric Furnaces for Heat Treatments Applied Mechanics and Materials Vol. 659 (2014) pag. 359-364, © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.659.359

[13]. Cucos, I., Munteanu, C. - The experimental researches of advanced systems for managing thermosensitive heat treatments, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials (ISI), Vol 17, No. 3-4, March-April 2015, pag. 409-420 (ISI); ISSN: 14544164.

[14]. Cucos, I., Munteanu, C. - The management systems for conducting heat treatment furnaces with PID one step ahead, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, iss. 5-6/2015, (ISI); ISSN: 14544164.

[15]. Cucos I., Munteanu C., Mirea C. - The electric furnaces for heat treatment with PID predictive system, Applied Mechanics and Materials, 2015, (2015) Trans Tech Publications, Switzerland;

- [16]. Ferguson, B.L., Li, Z., Freborg, A.M. - Modeling heat treatment of steel parts Computational Materials Science 34, 2005, pag. 274-281.
- [17]. Freborg, A., Ferguson, B., Li, Z. - Bending Fatigue Strength Improvement of Carburized Aerospace Gears, Proceedings of the 23rd ASM HTS Conference, 2005, pag. 186-195.
- [18]. Ferguson, B., Freborg, A., Li, Z. - Residual Stress and Heat Treatment-Process Design for Bending Fatigue Strength Improvement of Carburized Aerospace Gears, Proceeding of 5th International Conference on Quenching and Control Distortion. IFHTSE Press, Berlin, 2007, pag. 95-104.
- [19]. Geru, N., Chircă, D., Marin, M., Bane, M. - Materiale metalice : Structură, proprietăți, utilizări, Editura Tehnică București, 1985
- [20]. Geru, N., Bane, M., Coșmeleață, G., Gurgu, C. - Analiza structurii materialelor metalice, Editura Tehnică, ISBN: 973-31-0282-2, București, 1991
- [21]. Gherghely, M., Reti, T., Somogyi, S., Konkoly, T. - Aide au choix d'acier par calcul des caracterisque mecanique, Traitement Thermique, Franța, 1992.
- [22]. Gergely, M., Somogyi, S., Konkoly, T. - Computerized Properties Prediction and Technology Planning in Heat Treatment of Steels ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating, ASM Handbook Committee, DOI: 10.1361/asmhba0001190, 1991, pag. 638-656.
- [23]. Giacomelli, I., Bormambet, M., Zamfirescu, G. - Materiale și tratamente termice pentru produse sudate, O. U. P, Constanța, 2004.
- [24]. Giacomelli, I. - Fizica metalelor , Editura Universitatii Transilvania din Brasov, Brasov, 2006.
- [25]. Harnischmacher, G., Marquardt, W. - Nonlinear model predictive control of multivariable processes using block-structured models, Control Engineering Practice 15, 2007, pag. 1238-1256
- [26]. Hai L. Yu, Jin W. Kang, Tian Y. Huang - Simulation and Control of Distortion of Hydro Turbine Blade Steel Casting in Heat Treatment Process, Materials Science Forum (Volumes 706-709), 10.4028/www.scientific.net/MSF.706 -709.1580, 2012, pag.1580-1585.
- [27]. Hai L. Yu, Jin W. Kang, Shi X. Huang, Tian Y. Huang - Integrated Simulation of Castings Deformation during Casting and Heat Treatment Processes, Advanced Materials Research, Volumes 148-149, 10.4028/www.scientific.net/AMR.148 -149.103, 2010, pag.103-107.

- [28]. Hai-liang Yu, Jin-wu Kang, Tian-jiao Wang, Ji-yu Ma, - Distortion Behavior of a Heavy Hydro Turbine Blade Casting During Forced Air Cooling in Normalizing Treatment Process, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 21, Issue 1, 2012, pag. 55-61.
- [29]. Huan, Y. He, Ke, Sun, Yong, Ma, Liang, Zhang - Self -Starting Performance Numerical Analysis of Fixed - Pitch Vertical Axis Hydro -Turbine, Applied Mechanics and Materials (Volume 535), 10.4028/www.scientific.net/AMM.535.102, 2014, pag. 102-105.
- [30]. Inoue, T., Arimoto, K. - Development and Implementation of CAE System “HEARTS” for Heat Treatment Simulation Based on Metallo-Thermo Mechanics, Journal of Materials Engineering and Performance, 6. 1997, pag. 51-60.
- [31]. Li, Z., Ferguson, B., Freborg, A. - Data Needs for Modeling Heat Treatment of Steel Parts, Proceedings of Materials Science & Technology Conference, 2004, pag. 219-226.
- [32]. Lohe, D., Lang, K.H., Vohringer, O. - Residual Stresses and Fatigue Behavior, Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, ASM International, 2002, pag. 27-53.
- [33]. Lusk, M., Wang, W., Sun, X.G., Lee, Y.K. - On the Role of Kinematics in Constructing Predictive Models of Austenite Decomposition, Proceedings of TMS, Warrendale, PA, 2003, pag. 311- 331.
- [34]. Kirkaldy, J.S., Venugopalan, D. - Prediction of Microstructure and Hardenability in Low Alloy Steels, in Phase Transformations in Ferrous Alloys, The Metallurgical Society of AIME, 1984, p 125-148.
- [35]. Maynier, Ph., Dollet, J., Bastien, P. - Prediction of Microstructure via Empirical Formulae Based on CCT Diagrams, in Hardenability Concepts with Applications to Steel, Ed. Metallurgical Society of AIME, 1978, p 163-178.
- [36]. Martineau, S., Burnham, K.J., Haas, O.C.L., Heeley, A. - Fourterm bilinear PID controller applied to an industrial furnace Control Engineering Practice 12, 2004, pag. 457- 464.
- [37]. Mahfoufa, M., Jameia, M., Linkensa, D.A., Tennerb, J. - Inverse modelling for optimal metal design using fuzzy specified multi-objective fitness functions, Control Engineering Practice 16, 2008, pag. 179-191.
- [38]. Potecașu, F. - Știința și ingineria materialelor, Editura Europlus, Galați, 2006;

- [39]. Qiang, Gu, Zhong, Rui, Dong- ying, Ju - Development of materials database system for cae system of heat treatment based on data mining technology, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 16, 2006, pag. 572-576.
- [40]. Qing Rui Meng, Jian Wang, Dao Ming Wang, Kai Wang, Bao Cheng Song - Study on BP Neural Network PID Control for Hydro-Viscous Drive System, Advanced Materials Research (Volumes 860-863), 10.4028/www.scientific.net/AMR.860- 863.1525, 2013, pag. 1525-1529.
- [41]. Trzaska, J., Dobrzanski, L.A., Jagiello, A. - Computer programme for prediction steel parameters after heat treatment , Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, volume 24 Issue 2, 2007, pag. 171-174.
- [42]. Trzaska, J. - Calculation of the steel hardness after continuous cooling, Archives of Materials Science and Engineering, volume 61, Issue 2, 2013, pag 87-92.
- [43]. Trzaska, J., Sitek, W., Dobrzanski, L.A. - Selection method of steel grade with required hardenability Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, volume 17 Issue 1-2, 2006, pag. 289-292.
- [44]. Trzaska, J., Dobrzanski, L.A. - Modelling of CCT diagrams for engineering and constructional steels, Journal of Materials Processing Technology 192-193, 2007, pag. 504-510.
- [45]. Vermeșan, G. - Tratamente termice, Editura Dacia, Cluj Napoca, 1998.
- [46]. Vermeșan, H., Mudura, P., Vermeșan, G., Berar, A. I., - Bazele teoretice ale tratamentelor termice, Editura Universității din Oradea, ISBN 973 -8083-91 -5, 2001.
- [47]. Zhanli, Guo, Richard, Turner, Alisson, D. Da Silva, Nigel, Sauders, Florian, Schroeder, Paulo, R. Cetlin, Jean- Philipag.e Schillé - Introduction of Materials Modelling into Processing Simulation, Materials Science Forum Vol. 762, Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.762.266, 2013, pag. 266-276.
- [48]. Wang Wei, Han- Xiong Li, Jingtao Zhang - A hybrid apag.roach for supervisory control of furnace temperature, Control Engineering Practice 11, 2003, pag. 1325-1334.
- [49]. Warke, V., Sisson, R., Makhlof, M. - FEA Model for Predicting the Response of Powder Metallurgy Steel Components to Heat Treatment, Mater.Sci.Eng., A, 518(1-2), 2009, pag. 7-15.
- [50]. Wikstrom, P., Blasiak, W., Berntsson F. - Estimation of the transient surface temperature and

heat flux of a steel slab using an inverse method, *Apag. lied Thermal Engineering* 27, 2007, pag. 2463-2472.

[51]. xxx - ASM Handbook, Vol. 4: Heat Treating, ASM International, 1991 ASM International Library of Congress.

[52]. xxx - Matlab-Simulink (MATLAB®) Mediu de dezvoltare si simulare pentru sisteme automate (<http://www.mathworks.com/control-systems>)