

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. Adrian Valentin Petrica

TEZĂ DE DOCTORAT

*Contribuții privind creșterea disponibilității
pieselor de tip alezaj*

Conducător științific
Prof. dr. ing. Livius Miloș

BIBLIOTECA CENTRALĂ
volum 644.713
369 E

2004

CUPRINS

	pag.
1. INTRODUCERE.....	5
2. DISPONIBILITATEA.....	7
3. LAGĂRE CU ALUNECARE.....	10
3.1. Elemente generale.....	10
3.1.1. Tipuri constructive.....	10
3.1.2. Construcția lagărelor cu alunecare.....	10
3.1.3. Domenii de utilizare.....	11
3.1.4. Defecte în exploatare.....	11
3.2. Materiale pentru lagăre cu alunecare.....	12
3.2.1. Solicitățile materialelor pentru lagăre.....	12
3.2.2. Proprietățile materialelor pentru lagăre.....	12
3.2.2.1. Rezistența la presiunea de contact, respectiv duritatea.....	12
3.2.2.2. Rezistența la oboseală.....	13
3.2.2.3. Compatibilitatea.....	13
3.2.2.4. Conformabilitatea.....	14
3.2.2.5. Capacitatea de înglobare a particulelor străine.....	14
3.2.2.6. Coeficientul de dilatare termică.....	14
3.2.2.7. Conductivitatea termică.....	14
3.2.2.8. Rezistența la coroziune.....	15
3.2.2.9. Coeficientul de frecare.....	15
3.2.3. Materiale metalice pentru lagăre cu alunecare.....	15
3.2.3.1. Aliaje pe bază de staniu.....	15
3.2.3.2. Aliaje pe bază de plumb.....	15
3.2.3.3. Aliaje pe bază de Cu – Pb.....	16
3.2.3.4. Aliaje pe bază de aluminiu.....	16
3.2.3.5. Aliaje pe bază de argint.....	17
3.2.3.6. Materiale feroase.....	17
4. TEHNOLOGII DE ACOPERIRE TERMICĂ PRIN PULVERIZARE.....	18
4.1. Procedee de acoperire termică prin pulverizare.....	18
4.1.1. Pulverizarea termică cu flacără.....	21
4.1.1.1. Pulverizarea cu flacără și sârmă.....	21
4.1.1.2. Pulverizarea cu flacără și pulbere.....	22

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

4.1.1.3. Pulverizarea cu flacără și pulbere cu topire.....	24
4.1.1.4. Pulverizarea cu flacără de înaltă viteză.....	25
4.1.1.5. Pulverizarea prin detonație.....	25
4.1.2. Pulverizarea termică cu arc electric.....	26
4.1.3. Pulverizarea termică cu jet de plasmă.....	27
4.1.4. Pulverizarea termică cu curenți de înaltă frecvență și prin inducție.....	28
4.1.5. Pulverizarea cu laser.....	29
4.1.5.1. Pulverizarea cu laser în două faze.....	29
4.1.5.2. Pulverizarea cu laser într-o fază.....	29
4.2. Materiale de adaos pentru pulverizarea termică.....	30
4.2.1. Sârme pentru pulverizarea termică.....	30
4.2.2. Pulberi pentru pulverizarea termică.....	31
4.3. Caracteristici ale straturilor formate prin pulverizare termică.....	31
4.3.1. Caracteristici fizice ale straturilor pulverizate.....	31
4.3.1.1. Masa specifică.....	31
4.3.1.2. Porozitatea.....	31
4.3.2. Caracteristici termice ale straturilor pulverizate.....	32
4.3.2.1. Coeficientul de dilatare termică.....	32
4.3.2.2. Conductivitatea termică.....	33
4.3.3. Caracteristici electrice ale straturilor pulverizate.....	33
4.3.3.1. Rezistivitatea.....	33
4.3.3.2. Proprietățile magnetice.....	33
4.3.4. Caracteristici chimice ale straturilor pulverizate.....	33
4.3.4.1. Compoziția chimică.....	33
4.3.4.2. Oxidarea particulelor.....	33
4.3.5. Comportarea straturilor din metale pulverizate la eforturi.....	35
4.3.5.1. Caracteristici la tracțiune.....	35
4.3.5.2. Rezistența la compresiune.....	36
4.3.5.3. Duritatea.....	36
4.3.5.4. Rezistența la oboseală.....	38
4.3.6. Aderența straturilor pulverizate.....	39
4.3.6.1. Considerații generale asupra aderenței.....	39
4.3.6.2. Aderența pe suprafețe circulare convexe.....	40
4.3.6.3. Aderența pe suprafețe concave.....	41

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

4.3.6.4. Aderența pe suprafețe plane.....	41
4.3.6.5. Variația aderenței cu distanța de metalizare și orientarea jetului de particule pulverizate.....	41
4.3.6.6. Aderența în cazul unui strat intermediar.....	42
4.3.6.7. Corelația aderență – rugozitatea suprafeței.....	42
5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND RECONDIȚIONAREA PRIN PULVERIZARE TERMICĂ A PIESELOR DE TIP ALEZAJ	43
5.1. Probe experimentale.....	43
5.1.1. Recomandări tehnologice la recondiționarea prin pulverizare termică.....	43
5.1.2. Materialul de bază.....	44
5.1.3. Pregătirea suprafeței materialului de bază.....	45
5.1.3.1. Spălarea suprafeței materialului de bază.....	46
5.1.3.2. Procedee de pregătire a suprafeței.....	46
5.1.4. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică a probelor.....	50
5.1.4.1. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică cu arc electric	50
5.1.4.2. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică cu flacără și sârmă ...	54
5.1.4.3. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică cu flacără și pulbere.	57
5.1.4.4. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică cu plasmă și pulbere .	58
5.2. Investigarea calității probelor experimentale.....	61
5.2.1. Analize microscopice.....	61
5.2.1.1. Analiza microscopică a probei P1, material depus – cupru	62
5.2.1.2. Analiza microscopică a probei P2, material depus – combinație între bronz de aluminiu și alamă	70
5.2.1.3. Analiza microscopică a probei P3, material depus – combinație între bronz de aluminiu și alamă	73
5.2.1.4. Analiza microscopică a probei P4, material depus – alama	83
5.2.1.5. Analiza microscopică a probei P5, material depus – bronz de aluminiu	92
5.2.1.6. Analiza microscopică a probei P6, material depus – babbitt	101
5.2.1.7. Analiza microscopică a probei P7, material depus – bronz de aluminiu	111
5.2.1.8. Analiza microscopică a probei P8, material depus – bronz de aluminiu	119
5.2.2. Analize difractometrice cu raze X.....	126

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

5.3. Cercetări experimentale privind aderența straturilor depuse prin pulverizare termică.....	144
5.3.1. <i>Determinarea aderenței prin metoda lipirii.....</i>	145
5.3.2. <i>Determinarea aderenței prin metoda forfecării.....</i>	154
5.4. Analiza microduranței straturilor depuse prin pulverizare termică.....	160
5.5. Analiza porozității straturilor depuse prin pulverizare termică.....	164
6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	167
BIBLIOGRAFIE.....	172
ANEXA 1. IMAGINI MICROSCOPICE ALE PROBELOR	177
ANEXA 2. ASPECTUL SUPRAFETELOR DUPĂ RUPEREA PRODUSĂ LA ÎNCERCAREA DE ADERENȚĂ PRIN METODA LIPIRII	211

1. INTRODUCERE

Într-o etapă a dezvoltării tehnologice aflată la sfârșit de mileniu, condiția de *calitate* a mașinilor și utilajelor este o consecință a creșterii continue a cerințelor de performanță (sarcini, mediu, viteze, presiuni etc.). Calitatea include în mod implicit condiții de fiabilitate.

Durabilitatea sau fiabilitatea, performanțe cantitative și calitative ale unui produs considerat ca sistem, implică deplasarea analizei la nivelul componentelor pentru cunoașterea intercondiționării funcționării tuturor elementelor și a probabilităților de defectare. Se constată că principalele cauze care conduc la necesitatea înlocuirii unor componente ale sistemului sunt distrugerile stratului de suprafață prin uzare, oboseală și coroziune. [80]

Plecând de la aceste aspecte relevate de practica industrială, cercetările efectuate în diverse centre și țări au pus în evidență o serie de cunoștințe care se referă la tehnologii și studii cu caracter fundamental și experimental care contribuie la îmbunătățirea proprietăților straturilor superficiale. În ultimii ani s-a introdus conceptul de ingineria suprafețelor metalice menit să cuprindă într-o perspectivă multidisciplinară acumulările cantitative și calitative referitoare la posibilitățile de ameliorare a comportării straturilor superficiale ale pieselor, sculelor etc. [80]

Acțiunea de prelungire a duratei de viață a valorilor materiale prin “RECUPERARE – RECONDIȚIONARE – REFOLOSIRE” aparține domeniului numit “TEROTEHNICA”. Cuvântul își are originea în limba greacă, rădăcina “teros” înseamnă “a avea grijă de...”. Deci, “TEROTEHNICA” = tehnica de a avea grijă. Dacă “TEHNOLOGIA” ține de domeniul aplicării științelor în scopul transformării materialelor în produse finite, “TEROTEHNOLOGIA” ține de domeniul aplicării științelor în scopul rezolvării obiectivelor terotehnicii printre care și pe cele privind RECUPERAREA – RECONDIȚIONAREA – REFOLOSIREA reperelor subansamblelor și ansamblelor mașinilor, utilajelor și instalațiilor aflate în exploatare. [23]

Specific activităților tero – tehnologice este faptul că aceste activități se referă la piese fabricate anterior și care au o compoziție chimică, structură, formă geometrică și protecție a suprafeței bine definită.

Problemele de terotehnică pornesc de la un diagnostic al situației de fapt (care diferă de la un caz la altul, în funcție de specificul locurilor de muncă) și se finalizează prin indicarea și aplicarea metodelor tehnice de acționare asupra reperelor din mașini, utilaje și instalații, pentru ca acestea să fie repuse în funcțiune și/sau modernizate. [23]

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Scopul unei tehnologii de recondiționare este de a îmbunătăți calitatea reperelor, fiabilitatea acestora și, în ultimă instanță, disponibilitatea lor. [23, 62]

Una dintre posibilitățile de creștere a disponibilității multor categorii de piese este pulverizarea termică. Prin specificul ei, pulverizarea termică prezintă o gamă largă de aplicații. Câteva dintre acestea sunt: straturi antiuzură, straturi rezistente la coroziune, straturi rezistente la temperaturi ridicate, straturi biocompatibile, straturi cu aderență controlată (fabricație de piese) etc. [28]

În figura 1.1 este prezentată evoluția activității în domeniul pulverizării termice în România între anii 1991 – 2000..

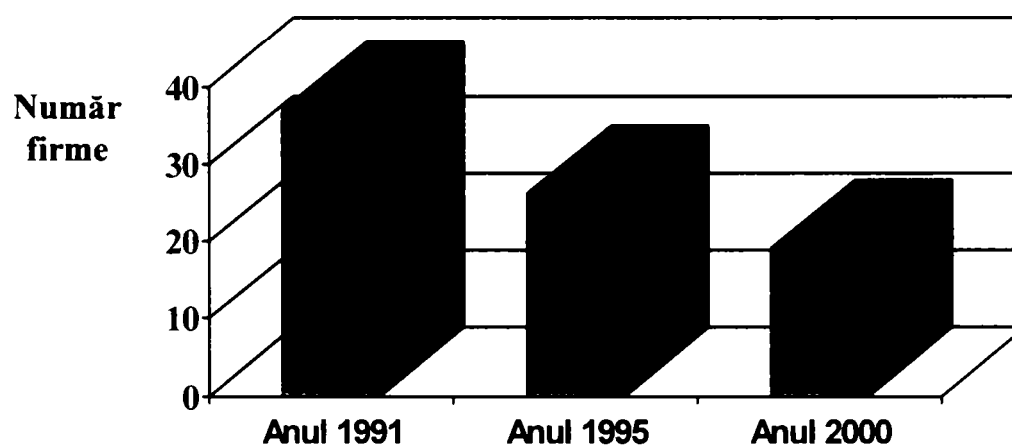


Fig. 1.1. Evoluția pulverizării termice în România între anii 1991 – 2000. [28]

Se constată astfel că aplicarea pulverizării termice în industria românească este într-o scădere continuă. Principalul motiv căruia i se datorează această reducere a interesului față de pulverizarea termică este declinul întregii industrii românești, materializată prin lipsa cererii pe piața pulverizării termice.

Din punctul de vedere al ponderii procedeelelor de pulverizare, cel mai utilizat procedeu este pulverizarea cu flacără care deține 60% din piața pulverizării termice din România. Aceasta se datorează în primul rând gazelor de lucru precum și a echipamentelor mai ieftine. Materialele de adaos cele mai utilizate rămân oțelurile dar față de sondajele precedente se constată o creștere a aplicațiilor cu materiale ceramice sau de tip NiCrBSi.

În acest sens a fost aleasă tematica tezei de doctorat, plecând de la ideea că multe piese de tip alezaj se uzează în timpul funcționării, înlocuirea lor cu altele implicând costuri mari.

Pe toată durata elaborării tezei autorul a beneficiat de sprijinul conducătorului științific, a foștilor profesori și a colegilor cărora le mulțumește și le exprimă întreaga grațitudine.

2. DISPONIBILITATEA

Funcționarea oricărui dispozitiv reparabil în perioada de exploatare normală, de viață utilă, se caracterizează printr-o succesiune de stări, în care stările de funcționare alternează cu stările de defectare, respectiv de ieșire din funcțiune sau oprire forțată, sau cu stările de oprire planificată. Stările de oprire planificată sunt influențate de evenimente deterministe, decizii umane, aceste stări fiind evenimente aleatoare.

Prin funcția de disponibilitate $A(t)$ a sistemului sau elementului se înțelege capacitatea acestora să fie disponibil, adică în stare de funcționare, la momentul t , funcția $A(t)$ fiind o probabilitate.

În cazul în care produsul este în stare de funcționare la momentul t , probabilitatea ca el să se defecteze în intervalul elementar $(t, t + \Delta t)$ este:

$$z(t) \cdot \Delta t \quad (2.1.)$$

- $z(t)$ fiind intensitatea sau rata de defectare a dispozitivului.

De asemenea, atunci când produsul este în stare de defect la momentul t , probabilitatea ca el să fie repus în funcțiune în intervalul de timp $(t, t + \Delta t)$ este:

$$\mu(t) \cdot \Delta t \quad (2.2.)$$

- $\mu(t)$ fiind intensitatea de restabilire a sistemului.

Disponibilitatea dispozitivului este rezultatul a două evenimente: fiabilitatea și mentenabilitatea.

Mentenabilitatea este funcția de reparare a unui produs $G(t)$, în intervalul $(0, t)$.

Notând cu $P(E)$ probabilitatea realizării a cel puțin uneia dintre ele (fiabilitate sau mentenabilitate), respectiv probabilitatea ca dispozitivul să fie în stare de funcționare la un moment dat, se obține expresia:

$$P(E) = P(E_1 \cup E_2) \quad (2.3.)$$

- E_1 este evenimentul de bună funcționare;
- E_2 este evenimentul de reparare.

Evenimentele E_1 și E_2 fiind independente și știind că $E_1 \cup E_2 \neq \emptyset$, se poate scrie:

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1 \cap E_2) \quad (2.4.)$$

dar:

$$P(E_1 \cap E_2) = P(E_1) \cdot P(E_2) \quad (2.5.)$$

din care se obține:

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1) \cdot P(E_2) \quad (2.6.)$$

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + [1 - P(E_1)] \cdot P(E_2)$$

în care s-a folosit relația evidentă:

$$P(E_1) + P(E_2) = 1. \quad (2.7.)$$

Dacă se notează:

$P(E_1 \cup E_2) = A$, disponibilitatea;

$P(E_1) = R$, fiabilitatea;

$P(E_2) = G$, mentenabilitatea;

se obține în cazul general:

$$A = R + (1 - R) \cdot G \quad (2.8.)$$

care exprimă ecuația generală a disponibilității.

Întrucât funcțiile A , R și G sunt în fond, funcții de timp, se poate scrie:

$$A(t) = R(t) + [1 - R(t)] \cdot G(t) \quad (2.9.)$$

Din această relație se deduce că disponibilitatea unui dispozitiv este determinată de două probabilități:

- fiabilitatea $R(t)$, respectiv probabilitatea ca produsul să funcționeze fără defecțiuni într-un interval t ;
- mentenabilitatea $G(t')$, respectiv probabilitatea ca produsul, care se defectează în intervalul t , să fie repus în funcțiune în intervalul t' .

Cu ajutorul acestei expresii se poate găsi optimul economic între cheltuielile pentru fiabilitate și cele pentru mentenabilitate, în scopul obținerii unui nivel cerut de disponibilitate a dispozitivului.

Funcția de disponibilitate $A(t)$ este o funcție monoton descrescătoare de timp, cu valoarea inițială $A(0) = 1$ și cu valoare asimptotică $A_s = \lim A(t)$, pentru $t \rightarrow \infty$.

În contrast cu funcția de disponibilitate $A(t)$, se definește funcția de indisponibilitate $U(t)$ a dispozitivului, ca fiind probabilitatea ca produsul să fie indisponibil (în stare de defect) la momentul t .

Deoarece la un moment t , un dispozitiv poate fi, ori în stare de funcționare, ori în stare de defect, rezultă că între $A(t)$ și $U(t)$ există relația:

$$A(t) + U(t) = 1 \quad (2.10.)$$

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Spre deosebire de $A(t)$, funcția $U(t)$ este o funcție monoton crescătoare de timp, cu valoare inițială $U(0) = 0$ și cu valoare asimptotică $U_s = \lim_{t \rightarrow \infty} U(t)$ pentru $t \rightarrow \infty$, valoare care constituie indisponibilitatea staționară a dispozitivului, respectiv probabilitatea ca produsul să fie indisponibil (în stare de defect), la momente depărtate de momentul inițial.

Întrucât valoarea asimptotică A_s este o constantă în cazul funcției de disponibilitate, această valoare se mai numește și coeficient de disponibilitate, se notează cu K_d și se calculează cu relația:

$$K_d = A_s = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i + \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t'_i} \quad (2.11.)$$

sau simplificând cu $1/N$, se obține expresia:

$$K_d = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i + \sum_{i=1}^N t'_i} \quad (2.12.)$$

- timpul t_i fiind timpul de funcționare fără defecțiuni între reînnoirile funcționărilor $(i-1)$ și i ;
- $t'_i = t_{ri}$ fiind timpul de restabilire după defecțiune i ;
- N fiind numărul de defecțiuni în perioada examinată.

Folosind alte notații uzuale relația (2.11) se mai poate scrie:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} \quad (2.13.)$$

- $MTBF$ este media timpilor de bună funcționare;
- MTR este media timpilor de reparare.

Disponibilitatea este subunitară în orice condiții, din cauza mentenanței, când piesa sau utilajul nu funcționează.

Din relația (2.13) rezultă că mijloacele de creștere a disponibilității sunt:

- creșterea mediei timpilor de bună funcționare, $MTBF$;
- scăderea mediei timpilor de reparare, MTR . [6, 20, 22, 71]

3. LAGĂRE CU ALUNECARE

3.1. Elemente generale

3.1.1. Tipuri constructive

Diferite ca formă constructivă, material și destinație, lagărele cu alunecare prezintă elemente comune din punctul de vedere al tehnologiei de recondiționare. Ele pot fi clasificate din punct de vedere constructiv – tehnologic conform figurii 3.1.

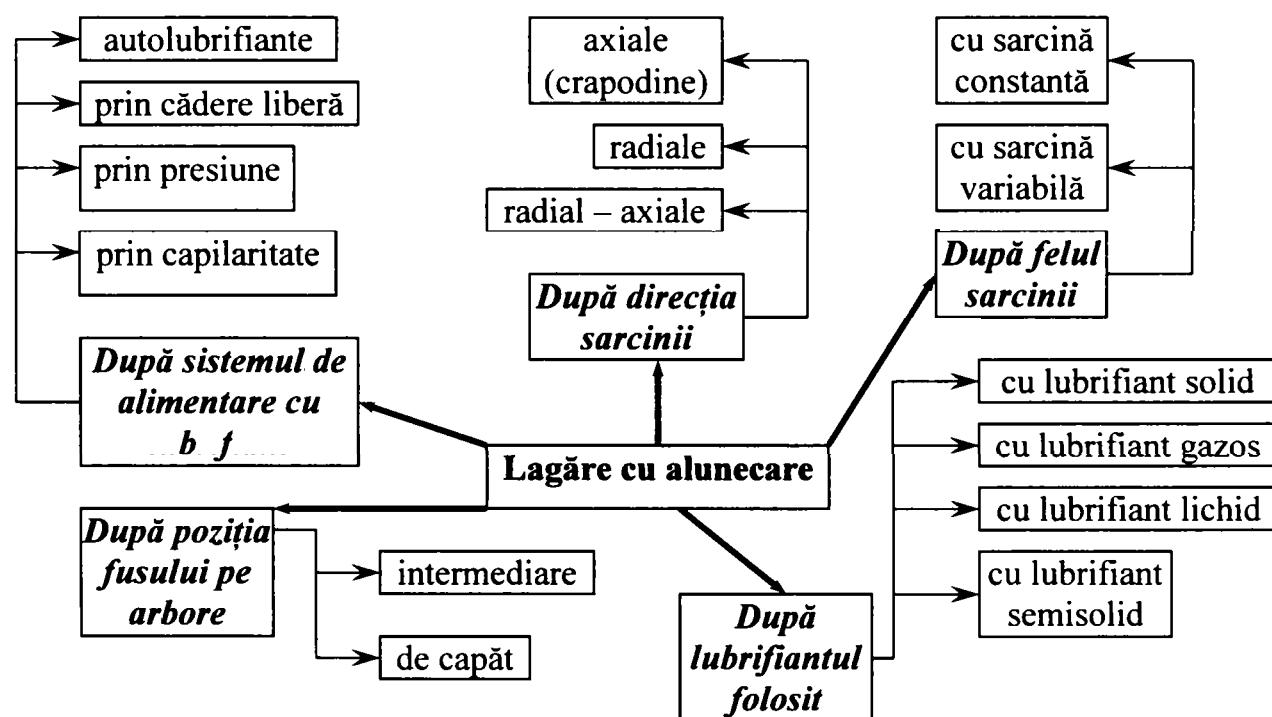


Fig. 3.1. Clasificarea constructiv – tehnologică a lagărelor cu alunecare. [37 – 61]

3.1.2. Construcția lagărelor cu alunecare

Din punct de vedere constructiv, lagărele constau în general din următoarele părți componente:

- corpul lagărului;
- cuzinetul;
- capacul lagărului;
- dispozitive de ungere;
- dispozitive de corectare a jocurilor de uzură;
- dispozitive de etanșare.

3.1.3. Domenii de utilizare

Domeniile de utilizare ale lagărelor cu alunecare rezultă dintr-o comparație a avantajelor și dezavantajelor acestora în raport cu rulmenții. Domeniile de utilizare ale lagărele cu alunecare sunt:

- industria grea;
- industria extractivă;
- industria aeronautică;
- industria metalurgică;
- industria ușoară;
- industria maritimă și fluvială, etc.

3.1.4. Defecte în exploatare

Cele mai uzuale defecte ale lagărelor cu alunecare sunt:

- existența sau contaminarea cu impurități;
- rotirea lagărului în carcasă;
- încărcare pe muchii din cauza nealinierii arborelui sau unei macro-geometrii necorespunzătoare a fusului sau cuzinetului;
- cedarea materialului antifricțiune prin oboseală;
- corodarea materialului de lagăr;
- eroziunea;
- fretajul suprafeței exterioare a cuzinetului;
- ciupirea (pittingul) suprafețelor în frecare.

Aceste defecte pot fi evident cumulative, dacă motivele care le produc se întâlnesc simultan în lagărul respectiv, preponderent fiind efectul a căruia cauză se manifestă cel mai puternic. Ca urmare a unuia dintre aceste defecte se produce uzura lagărului.

Materialele pentru lagăre au comportări diferențiate la uzură, din care cauză acest parametru trebuie luat în considerare în contextul condițiilor funcționale.

În cazul lagărelor cu alunecare, uzura este teoretic nulă pentru condițiile ungerii fluide; în realitate și în această situație se constată uzuri, desigur foarte reduse, ca rezultat al acțiunii particulelor abrazive din lubrifianț și al fenomenelor de coroziune. În condițiile ungerii mixte, și cu atât mai mult al contactului direct dintre suprafețe, viteza de uzură crește semnificativ.

[44]

3.2. Materiale pentru lagăre cu alunecare

3.2.1. Solicitățile materialelor pentru lagăre

Complexul de solicitări și influențe la care sunt supuse materialele antifricțiune se poate rezuma astfel:

- *Solicitări mecanice*: presiuni de contact, solicitări la oboseală, în cazul lagărelor cu forțe variabile, încărcări exagerate pe muchii atunci când alinierea lagărului nu este corectă, șocuri, vibrații etc.;
- *Solicitări termice*, provenite din frecarea în lagăr; în cazul mașinilor termice se adaugă o parte din căldura rezultată din procesele de combustie. În funcție de utilajul la care este montat lagărul, pot apărea importante solicitări termice provenind din mediul extern;
- *Atacuri chimice*. Acestea pot proveni fie din interiorul lagărului, ca urmare a utilizării unui lubrifianț necorespunzător sau degradat, fie din exterior, consecință a caracteristicilor funcționale specifice mașinii sau utilajului respectiv;
- *Efecte de uzură*. Mișcarea relativă a suprafețelor lagărului antrenează diverse tipuri de uzură mecanică, ce pot fi agravate prin procese chimice, precum și prin pornirile și opririle frecvente ale lagărului;
- *Cavitația*, ce poate să conducă la deteriorarea lagărului;
- *Sarcinile electrostatice* au fost identificate ca o altă sursă de solicitare și deteriorare a materialului lagărului;
- *Expunerea la radiații*. Lagărele utilajelor electronucleare și a vehiculelor spațiale sunt supuse la importante doze de radiații ce pot produce mutații nu numai în lubrifianț, ci și în materialele antifricțiune. [26]

3.2.2. Proprietățile materialelor pentru lagăre

Multitudinea factorilor și solicitările ce acționează asupra lagărelor cu alunecare impune, în mod implicit, o gamă largă și pretențioasă de proprietăți materialelor antifricțiune, proprietăți ce au adesea caracter contradictoriu, ca și solicitările ce le impun, astfel că un bun material este rezultatul unui compromis între tendințe contradictorii, iar problema optimizării materialelor pentru lagăre are o deosebită actualitate. [26]

3.2.2.1. *Rezistența la presiunea de contact, respectiv duritatea*. Această proprietate condiționează capacitatea de a suporta solicitările mecanice. Cu această proprietate apare primul și cel mai important compromis privind proprietățile materialelor antifricțiune, duritatea trebuind să fie cât mai ridicată pentru preluarea unor importante presiuni de contact și cât mai scăzută pentru a se putea îngloba microparticulele străine aduse în lagăr prin fluxul de ulei și

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

pentru a se putea îndeplini condițiile de conformabilitate. Asupra limitei superioare a durtății, experiența a demonstrat că o altă limitare provine și din faptul că atunci când durtățile materialelor fusului și cuzinetului sunt apropiate, uzurile cresc considerabil. [26]

3.2.2.2. *Rezistența la oboseală.* Solicitarea la oboseală a materialului de lagăr apare în cazul încărcărilor variabile, depinzând și de numărul ciclurilor. În cazul lagărelor cu încărcare statică nu se pune problema luării în considerare a acestui parametru, dar el devine esențial în cazul lagărelor cu încărcare dinamică. S-a dovedit că pe lângă efortul generat de sarcina variabilă în timp, la distrugerea materialului antifricțiune pot contribui și alți factori:

- concentratorii de efort datorati particulelor înglobate în stratul de material antifricțiune;
- precizia slabă a formei geometrice a fusului;
- asamblarea imprecisă;
- reducerea rezistenței aliajului datorită funcționării la temperaturi ridicate sau în stare de coroziune avansată;
- funcționare în condiții normale, dar pe o durată foarte lungă. [26]

3.2.2.3. *Compatibilitatea* reprezintă proprietatea materialului lagărului de a adera la materialul axului. În figura 3.2 se prezintă, comparativ, tendința unor materiale de lagăr de a adera la materialul fusului (oțel), prin intermediul timpului de funcționare după întreruperea alimentării cu lubrifianț. Se constată că cea mai bună comportare o au materialele plastice, și cea mai slabă – aliajele de zinc. [26]

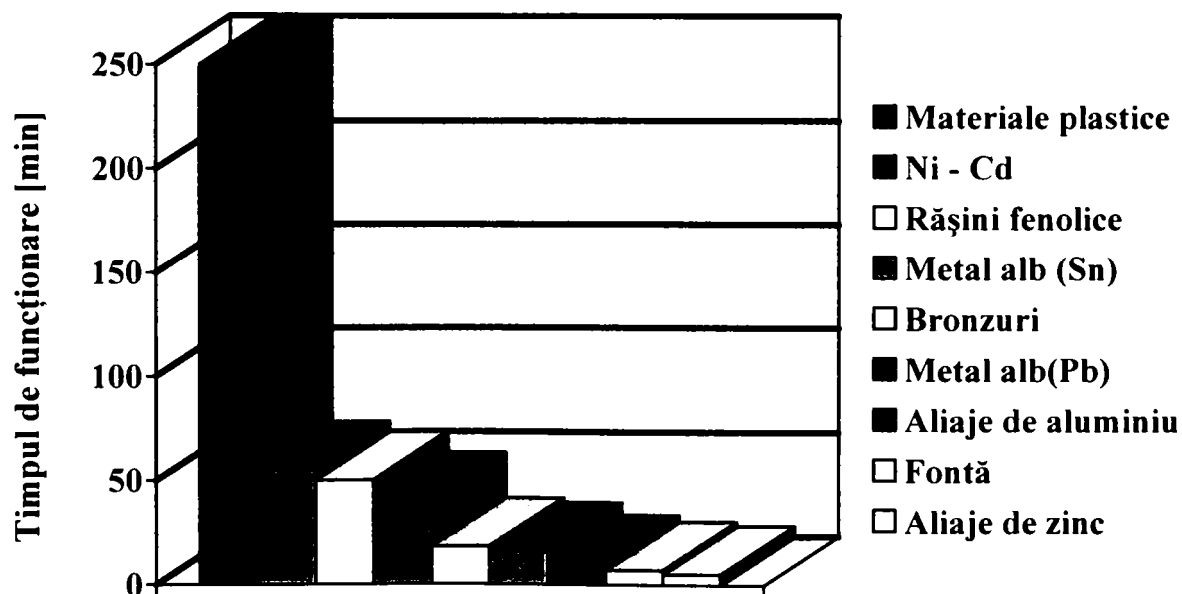


Fig. 3.2. Compatibilitatea diverselor materiale de lagăre lucrând pe fus de oțel, stabilită prin evaluarea timpului de funcționare a lagărului după întreruperea alimentării cu lubrifianț. [26]

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

3.2.2.4. *Comformabilitatea* se referă la proprietatea materialului de a se adapta eventualelor erori geometrice ale pieselor conjugate, sau deformațiilor fusului (carcasei lagărului) în timpul funcționării. [26]

3.2.2.5. *Capacitatea de înglobare a particulelor străine* este o altă caracteristică importantă a materialelor antifricțiune. Este evident că această proprietate se manifestă invers proporțional cu duritatea, trebuind să se ajungă la un compromis între proprietățile de rezistență și capacitate de înglobare a microparticulelor cu efecte dăunătoare, în special din punct de vedere al uzurii de abraziune.

Este de remarcat totodată faptul că, de obicei, aptitudinea de conformabilitate a materialului este direct proporțională cu capacitatea de înglobare și invers. [26]

3.2.2.6. *Coeficientul de dilatare termică* este un factor important pentru materialele de lagăr, deoarece o diferență exagerată față de materialul locașului sau carcasei în care se află montat lagărul poate conduce la o modificare substanțială a jocului în timpul funcționării față de valoarea de montaj.

Cuzineții moderni cu pereți subțiri sunt prevăzuți cu un strat de material antifricțiune cu o grosime doar de 0,2-0,7 mm, placat sau sinterizat pe suportul de oțel (tot de grosime redusă), ceea ce contribuie în mod favorabil la reducerea dilatării diferențiate a materialelor. [26]

3.2.2.7. *Conductivitatea termică* constituie o proprietate esențială pentru nivelul temperaturilor în lagăr, contribuind la evacuarea căldurii prin masa metalică a acestuia. În tabelul 3.1 se prezintă valorile caracteristice pentru câteva clase de materiale antifricțiune. Este de remarcat că elementele de aliere sau impuritățile pot avea, chiar în cantități mici, efecte importante asupra conductivității. [26]

Tabelul 3.1. Conductivitatea termică pentru câteva materiale de lagăre. [26]

Materialul	Conductivitatea termică la 20 °C, [W/m°C]
Fontă turnată	52
Oțel cu puțin carbon	56
Oțel cu mult carbon	43
Oțel inoxidabil	16
Oțeluri aliate	10-60
Aluminiu pur	229
Cupru pur	386
Bronz	26
Aliaje de aluminiu	110-180
Oțel forjat	59

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

3.2.2.8. *Rezistența la coroziune.* În timpul funcționării, lagărul este supus și la o serie de solicitări chimice, pe lângă acelea mecanice și termice, atât prin intermediul lubrifianțului folosit, cât și prin intermediul factorilor care țin de mediul exterior.

O histogramă privind rezistența la coroziune a diverse materiale de lagăr încercate în condiții identice este prezentată în figura 3.3. [26]

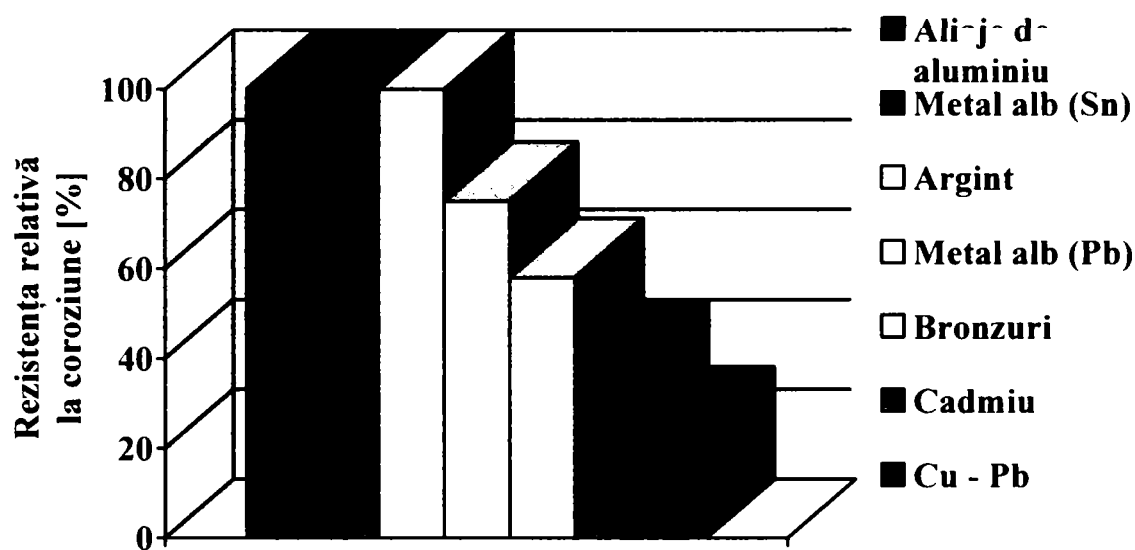


Fig. 3.3. Rezistența relativă la coroziune a unor materiale de lagăre. [26]

3.2.2.9. *Coeficientul de frecare* constituie unul dintre cele mai importante criterii pentru evaluarea comportării materialelor antifricțiune, mai ales când lagărul nu funcționează în regim hidrodinamic, ci în regimuri tranzitorii, caracterizate prin debite mici de lubrifianț, sau în cazul pornirilor și opririlor. [26]

3.2.3. Materiale metalice pentru lagăre cu alunecare

3.2.3.1. Aliaje pe bază de staniu

Metalele albe prezintă atributele metalelor moi, cu punct de topire scăzut, tolerarea fusurilor netratate, capacitate ridicată de înglobare a particulelor străine, ceea ce le conferă avantaje certe în comparație cu alte materiale antifricțiune. Se evidențiază totodată și o calitate de „microcomformabilitate” a metalelor albe, datorită căreia este posibilă menținerea stratului lubrifianț chiar în condiții funcționale dificile (sarcini ridicate, viteze relativ reduse). Un astfel de aliaj, denumit și *babbitt* are compoziția: 88% Sn, 8% Sb și 4% Cu. [26]

3.2.3.2. Aliaje pe bază de plumb

Aliajele pe bază de plumb (sau metalele albe pe bază de Pb), în special aliajele cu conținut de As, sunt folosite încă atât în SUA cât și în Europa, datorită, în special, avantajelor oferite de substituirea staniului cu plumbul care nu este deficitar. Aliajele pe bază de plumb conțin, în general, Sb, Sn și Cu, ca elemente de aliere. [26]

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

3.2.3.3. Aliaje pe bază de Cu – Pb

a) Aliaje de bronz cu Pb, pe suport de oțel. Apariția lagărelor cu aliaje antifricțiune din bronz cu Pb aplicate pe un perete suport din oțel a pus în inferioritate lagărele masive din Cu – Pb. Aliajul de bronz cu Pb se aplică pe suprafața oțelului suport prin turnare sau sinterizare.

b) Aliaje Cu – Pb sinterizat pe suport din oțel. În comparație cu metalele albe pe bază de Pb sau Sn, aliajele pe bază de Cu au capacitatea de încărcare și rezistența la oboseală de 3 – 5 ori mai mari, însă duritatea mare a aliajelor pe bază de Cu impune majorarea durității fusurilor. În plus, aceste aliaje prezintă, tot din cauza durității mari, dezavantajul unei slabe adaptări la deformările fusurilor în timpul funcționării sub sarcină. Tot din cauza durității ridicate, aliajele pe bază de Cu au o redusă toleranță față de particulele străine, pe care însă metalele albe le înglobează ușor. [26]

3.2.3.4. Aliaje pe bază de aluminiu

Inițial, din aceste aliaje s-au turnat lagăre masive, pornind de la ideea realizării unui aliaj cu o structură asemănătoare cu cea a babbittului, adică un aliaj cu o fază dură într-o masă de bază moale. S-a constatat că un astfel de aliaj rezistă la solicitări mai mari decât babbittul sau bronzul. A fost desigur un progres, însă indicațiile de exploatare ale lagărelor bazate pe aceste tipuri de aliaje (ulei curat, evitarea solicitării pe muchie, utilizarea fusurilor durificate) arătau că nu pot fi exploatate în condiții de ungere la limită.

a) Aliaje aluminiu – staniu. O a doua cale de dezvoltare a aliajelor cu aluminiu a constat în realizarea unor aliaje cu masa de bază dură, în care este înglobat un constituent cu punct de topire scăzut, pentru îmbunătățirea proprietăților antifricțiune.

S-a demonstrat că adăugarea de Sn (până la 25% în greutate) scade coeficientul de frecare. În același timp, rezistența la rupere, limita de elasticitate și maleabilitate scad când conținutul de Sn depășește 10%, deoarece Sn are tendința, în acest caz, să formeze o fază continuă. În urma acestor constatări, s-a limitat conținutul de Sn la 5 -10 %, în scopul de a nu se pierde prea mult din proprietățile de rezistență.

b) Aliaje aluminiu – siliciu. Utilizând combinația aluminiului cu 11% Si, s-au executat cuzineți fără suport de oțel. În prezent, se reexaminează acest tip de aliaj, placat pe un suport de oțel, pentru a fi utilizat în lagărele motoarelor cu încărcare specifică mare. Ceea ce stimulează activitatea de realizare a cuzineților pe bază de Al – Si sunt capacitatea portantă și rezistența la oboseală, mai ridicate decât cele ale aliajului AlSn20. Un dezavantaj important în extinderea aliajelor Al – Si este faptul că aliajele pe bază de Al, având constituenți cu puncte de topire

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

ridicate, nu prezintă avantajele celor cu duritate scăzută, având o conformabilitate mult mai redusă.

c) *Aliaje aluminiu - plumb*. Principalele cauze care au impulsionat orientarea către combinația Al – Pb au fost ridicarea calității babbiturilor prin introducerea de Al în locul Sn și realizarea unui aliaj mai ieftin decât AlSn20, dar cu performanțe apropiate sau superioare acestuia.

S-a urmărit în mod deosebit exploatarea calității de bază a babbiturilor și anume compatibilitatea, care este hotărâtoare în cazul cuzineților ce lucrează în motoarele supraturnate, de exemplu. Impedimentul cel mai important în extinderea aliajului cu peste 10% Pb constă în faptul că, folosind Pb în proporția respectivă, rezistența la oboseală scade substanțial în comparație cu rezistența la oboseală a aliajului de Al având sub 3% Pb.

d) *Aliajele aluminiu - zinc*. Prin introducerea Al în masa de Zn, s-a obținut un aliaj ieftin, accesibil, cu o bună conformabilitate. S-au obținut rezultate promițătoare cu aliaje Zn – Al (4 – 10%) și, în special, după majorarea procentului de Al (până la 30%). [26]

3.2.3.5. *Aliaje pe bază de argint*

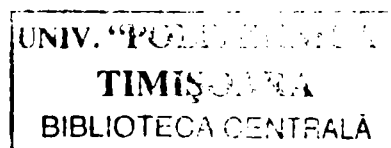
Aliajele pe bază de argint au stârnit în trecut un mare interes. În stare pură a fost folosit pentru cuzineții motoarelor de aviație, însă datorită tendinței de gripare bruscă s-a utilizat metoda acoperirii superficiale cu un strat de Pb, apoi plumbul a fost protejat împotriva coroziunii printr-o acoperire cu indiu. În prezent argintul ca material antifricțiune nu mai este privit cu interes, datorită faptului că alte tipuri de aliaje sunt cel puțin echivalente ca performanțe și mai ieftine. [26]

3.2.3.6. *Materiale feroase*

Fonta este întrebuințată pe scară largă pentru fabricarea de lagăre, prezența grafitului nodular constituind un factor pozitiv din punctul de vedere al proprietăților antifricțiune. Oțelul cu conținut foarte redus de carbon, sinterizat și impregnat cu ulei, este utilizat atunci când încărcarea este prea mare pentru bronzurile sintetizate. [26]

369 E

6hh. 713



4. TEHNOLOGII DE ACOPERIRE TERMICĂ PRIN PULVERIZARE

Disponibilitatea pieselor de tip alezaj poate fi crescută prin refacerea geometriei acestora utilizând procedeele de pulverizare termică.

4.1. Procedee de acoperire termică prin pulverizare

Procedeele de recondiționare a pieselor prin pulverizare termică au cea mai mare eficiență economică, reprezentând, în multe cazuri, singurele soluții tehnice de recuperare a anumitor piese uzate. [71]

Depunerea termică prin pulverizare este o metodă de obținere a unor straturi de acoperire prin încălzirea unui material, până la topire sau înmuiere, și proiectarea acestuia cu viteză mare, sub formă de particule fin dispersate, pe suprafața piesei de acoperit.

Dezvoltarea procedeelelor de acoperire termică a plecat de la necesitatea de a se realiza depuneri cu o gamă diversificată de materiale, începând de la metale și aliaje metalice ușor fuzibile până la metale greu fuzibile, materiale ceramice oxidice (oxizi, silicați etc.) sau neoxidice (carburi, nitruri, boruri) respectiv combinații între acestea.

Procedeul de acoperire termică prin pulverizare s-a dezvoltat ca urmare a două cerințe:

- acoperirea unor piese puternic solicitate cu materiale de adaos incompatibile la sudare, cu proprietăți superioare de rezistență la abraziune, coroziune, șocuri termice și solicitări complexe;
- acoperirea unor piese cu pereți subțiri sau diametru mic care ca urmare a energiei liniare rezultate în procesele de sudare s-ar deforma în afara limitelor de toleranțe.

Procedeele de pulverizare termică prezintă față de încărcarea prin sudare următoarele avantaje:

- temperatura piesei în timpul procesului de acoperire rămâne de 150 – 200°C, fapt care nu conduce la modificări structurale sau deformații semnificative ale piesei de acoperit;
- cantitatea de metal depus este mai redusă și ușor de controlat în timpul depunerii;
- se pot realiza straturi oricât de groase luându-se doar măsuri pentru răcirea piesei după depuneri prelungite;
- stratul obținut este poros, permițând înmagazinarea lubrifiantului, micșorând în acest fel pericolul de gripare a pieselor în mișcare;

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

- se pot obține pseudo-aliaje din metale care nu se pot alia în stare topită, cum ar fi plumbul cu aluminiul sau aluminiul cu oțelul;
- acoperirile se pot efectua pe orice materiale de bază urmărindu-se asigurarea rugozității suprafeței.

Dintre dezavantajele procedeelor de acoperire termică prin pulverizare se menționează:

- stratul metalizat are o rezistență redusă la încovoiere și tracțiune;
- în straturile metalizate nu se pot executa filete, canale iar găurirea trebuie realizată cu atenție, pentru a nu exfolia metalul depus la ieșirea burghiului;
- piesele metalizate prin pulverizare nu pot fi solicitate punctiform sau liniar pe depunere fiind posibile fisuri sau exfolieri;
- procedeul tehnologic de pulverizare nu este eficient pentru piese mici, deoarece se pierde mult material;
- este necesară o puternică ventilație, pentru înlăturarea noxelor.

Procedeele termice de pulverizare necesită două feluri de energie pentru obținerea straturilor de pulverizare și anume **energia termică** și **energia cinetică**. Energia termică este necesară topirii materialului de adaos pentru pulverizare. Valoarea energiei termice este impusă de alegerea procedeeului de pulverizare, datorită purtătorului de energie. Actualmente purtătorul de energie este flacăra oxigaz, arcul electric, arcul de plasmă și fascicolul laser. Energia cinetică care se măsoară sub aspectul vitezei particulelor este un criteriu care influențează grosimea stratului depus, rezistența adeziunii stratului pulverizat. Energia cinetică diferă în funcție de materialul de pulverizare și de mărimea stropilor. [75]

În tabelul 4.1 sunt date câteva caracteristici ale unor procedee de acoperire termică prin pulverizare.

Tabelul 4.1. Date privind procedeele de acoperire termică prin pulverizare. [75]

-	Flacăra de gaze	Detonație	Jet de plasmă	Arc electric
Materialul de adaos (MA)	Metale, ceramice, materiale compozite	Oxizi, carburi, ceramice	Metale, ceramice, materiale compozite	Metale
Forma MA	Pulbere, sârmă	Pulberi	Pulberi	Sârme
Temperatura de lucru, [°C]	2600 - 3100	3100	20.000	4000 – 6000
Metoda de atomizare	Aer comprimat	Preatomizare	Preatomizare	Aer comprimat
Viteza particulelor, [m/s]	90 - 100	≈ 800	600	150 – 300
Rata depunerii, [kg/h]	1 - 10	1 - 3	0,5 - 10	1 – 50

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Materialul cu care se realizează depunerea este adus în stare pulverizată și la o temperatură egală sau mai mare decât temperatura sa de topire, picătura de material de depunere este proiectată cu viteză mare pe suprafața de acoperit.

Viteza imprimată picăturilor este determinată de procedeul de depunere folosit. Picăturile de material de adaos posedând energie termică și cinetică se ciocnesc de suprafața de acoperit rezultând în urma impactului o strivire cu împrăștiere a picăturii lichide în urma căreia se realizează și transferul de energie termică de la picătură la substrat, având drept rezultat solidificarea picăturii.

Considerând temperatura picăturii de peste 1000°C și cea a suprafeței suportului la sub 100°C, transferul de energie termică de la picătură la suport continuă și după solidificarea picăturii, până la egalizarea temperaturilor, având ca rezultat o contracție termică apreciabilă a materialului depus și o dilatare termică minoră a suportului.

Stratul de material depus este constituit dintr-o multitudine de picături fine de material de depunere mai mult sau mai puțin aplatizate, în funcție de starea lor termică și cinetică în momentul impactului.

Forțele dintre materialul de bază și materialul depus prin pulverizare termică sunt de natură mecanic – adezivă peste care se suprapun forțele de contracție. Într-o oarecare măsură se adaugă forțe de natură coezivă ca rezultat al difuziei ce poate apărea în cazul unor depuneri. [43, 45]

Structura materialului depus este stratificat lamelară cu incluziuni gazoase sau incluziuni solide rezultate în urma reacțiilor chimice secundare de oxidare sau descompunere (figura 4.1).

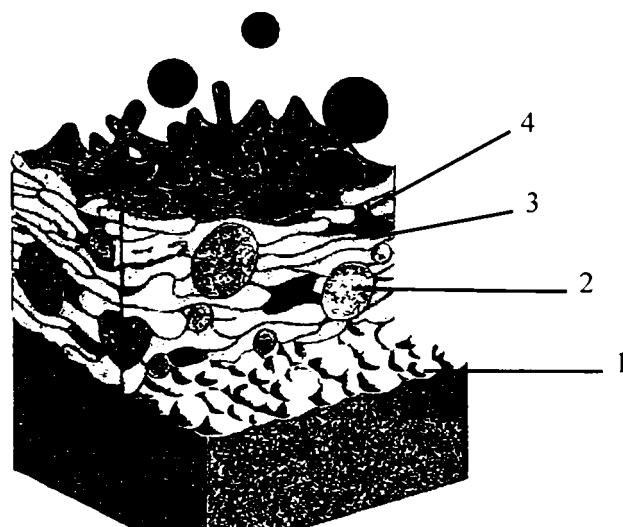


Figura 4.1. Elemente componente ale unui strat depus prin pulverizare termică:

1 – substrat; 2 – particule netopite; 3 – oxizi; 4 – por. [85]

În tabelul 4.2 sunt prezentate proprietățile metalului depus prin acoperire termică prin pulverizare.

Tabelul 4.2 Proprietățile metalului depus prin acoperire termică prin pulverizare [75]

Procedeu de pulverizare	Flacără	Detonație	Jet de plasmă	Arc electric
Caracteristici				
Grad de oxidare	Ridicat	Foarte scăzut	Mediu către scăzut	Mediu către scăzut
Porozitate [%]	5 - 15	0,25 – 5	0,5 - 10	3 – 10
Grosime [mm]	0,1 – 1,5	0,05 – 0,3	0,05 - 1	0,1 – 5+
Diluție [%]	0,1 – 2	0	0 – 0,2	0
Forța de aderență [N/mm ²]	20	170	35 - 70	28

Clasificarea procedeelor de pulverizare termică se poate face după diverse criterii. Se consideră esențială clasificarea procedeelor de pulverizare termică după purtătorul de energie, astfel fiind posibile:

- pulverizarea cu flacără de gaze;
- pulverizarea cu flacără de înaltă viteză (HVOF);
- pulverizarea cu arc electric;
- pulverizarea cu jet de plasmă;
- pulverizarea cu curenți de înaltă frecvență;
- pulverizarea prin detonație.

După starea în care se află materialul de adaos, procedeele de pulverizare termică se clasifică în:

- pulverizare termică cu material de adaos sub formă de sârmă;
- pulverizare termică cu material de adaos sub formă de pulbere. [45]

4.1.1. Pulverizarea termică cu flacără

Sunt posibile diverse variante ale procedeeului care se vor analiza în continuare.

4.1.1.1. Pulverizarea cu flacără și sârmă

Procedeu de pulverizare termică cu flacără și sârmă este cel mai vechi și cel mai răspândit procedeu. Principiul acestui procedeu este acela că materialul de aport este adus cu

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

ajutorul unui mecanism de avans în nucleul unei flăcări. În flacăra sârma se topește și este pulverizată de un gaz sub presiune (figura 4.2).

Avansul sârmei se realizează cu viteză constantă cu ajutorul unui sistem de avans acționat cu ajutorul unei turbine sau motor pneumatic, respectiv un sistem de avans electric cu motor de curent continuu. Pistoletele cu turbină sunt utilizate pentru metalizarea manuală, iar cele cu acțiune electrică se utilizează pentru instalații destinate proceselor mecanizate pentru metalizare.

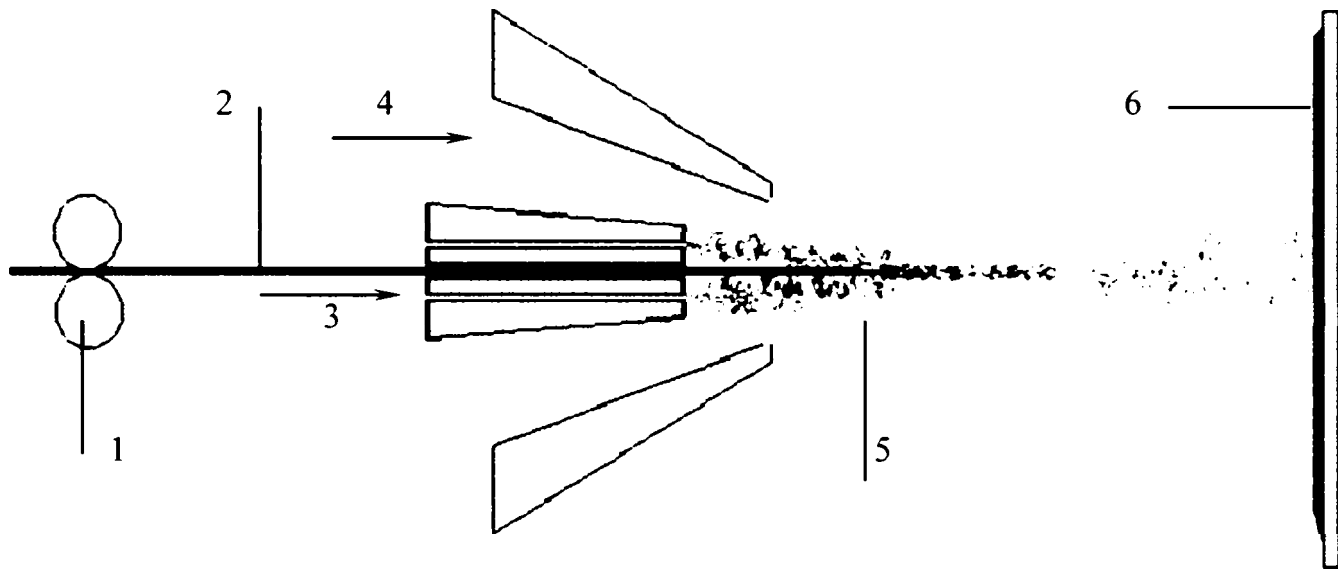


Fig. 4.2. Principiul procedurii de pulverizare termică cu flacăra și sârmă:
1 - mecanism de avans; 2 - sârmă; 3 - amestec oxigen-gaz; 4 - gaz de pulverizare;
5 - flacăra oxigen-gaz; 6 - material depus.[85]

O instalație de metalizare cu flacăra și sârmă se compune, în general, din:

- sursa de gaz combustibil;
- aparatura de reglare și control a presiunii și debitului gazelor;
- suporturi de susținere și curățare a materialului de adaos;
- furtunuri pentru legătura dintre sursele de gaze;
- aparatul de pulverizare și transport a materialului de adaos.

Sursa de aer comprimat se alege în funcție de parametrii aparatului de topire și pulverizare, dar presiunea nu trebuie să fie mai mică de 0,5 MPa. [42]

4.1.1.2. Pulverizarea cu flacăra și pulbere

Pulverizarea cu flacăra și pulbere constă în aducerea în nucleul unei flăcări a materialului de adaos (sub formă de pulbere) cu ajutorul unui gaz de transport sau prin cădere

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

liberă. Pulberea se topește și este proiectată de jetul de gaze pe suprafața materialului de bază.

Dimensiunea particulelor este cuprinsă între 50 și 150 μm .

În figura 4.3 este redat principiul metalizării cu flacără și pulbere.

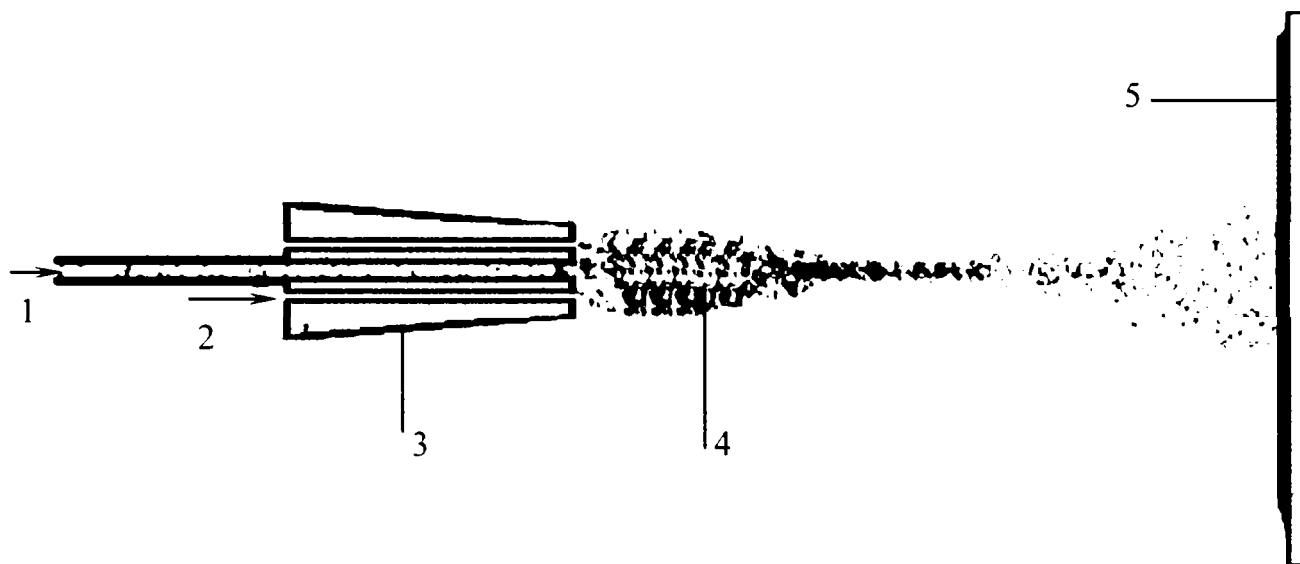


Fig. 4.3. Schema de principiu a procedurii de pulverizare termică cu flacără și pulbere.

1 - alimentare cu pulbere și gaz de transport; 2 - amestec oxigen-gaz; 3 - duză;

4 - flacără oxigen-gaz; 5 - material de bază. [85]

O instalație de metalizare cu flacără și pulbere se compune din:

- sursa de gaz combustibil, care poate fi un generator de înaltă presiune sau o butelie;
- sursa de aer comprimat, inclusiv buteliile de aer și filtrele de purificare;
- sursa de oxigen;
- furtunul de legătură între sursele de gaze și aparatul de pulverizare;
- aparatura de reglare și control a presiunii și debitului gazelor;
- aparatul de pulverizare și transport a pulberii.

Cu excepția aparatului de pulverizare și transport a pulberii, toate celelalte accesorii ale instalației sunt asemănătoare cu cele ale instalației de metalizare cu sârmă. [71]

În figura 4.4 este reprezentat un pistol de pulverizare pentru metalizare cu material de adaos sub formă de pulbere.

În ultimii ani multe firme au realizat aparate și dispozitive care permit depunerea unor straturi pe interiorul pieselor cilindrice. În figura 4.5 este redat un asemenea pistol de pulverizare cu flacără și pulbere realizat de firma Castolin.

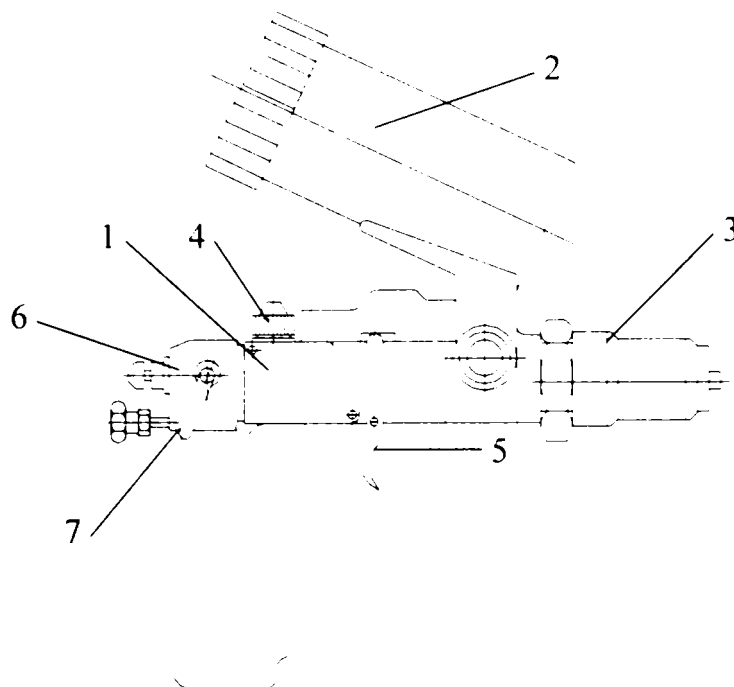


Fig. 4.4. Pistolet de metalizare cu material de adaos sub formă de pulbere: 1 - corpul pistolului; 2 - rezervor de pulbere; 3 - capul pentru amestec și pulverizare; 4 - robinet de reglare a debitului de oxigen; 5 - declanșator; 6 - corp de admisie și distribuție; 7 - robinet mixt de pornire a gazelor. [71]

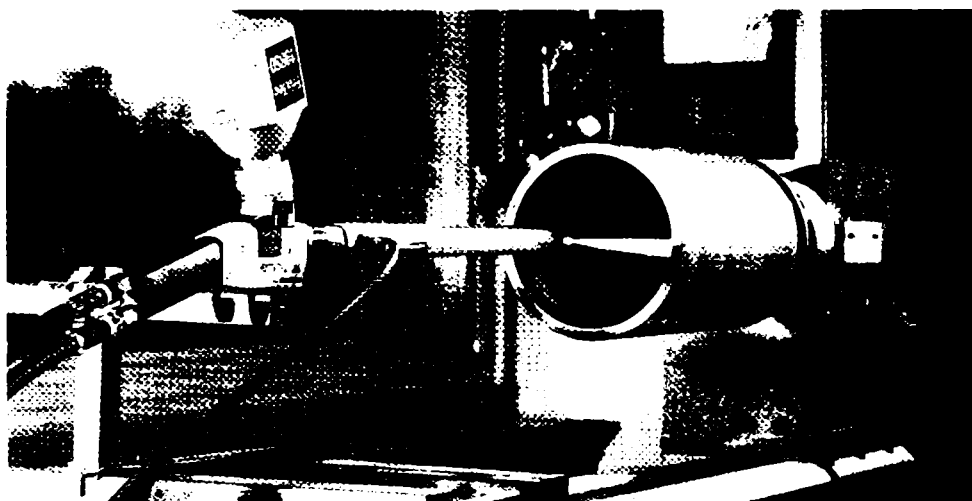


Fig. 4.5. Pistol de pulverizare cu flacără și pulbere Roto Tec 80. [86]

4.1.1.3. Pulverizarea cu flacără și pulbere cu topire

Principiul acestui procedeu constă în faptul că metalul de bază inițial este topit cu flacără oxigaz, electric, în cuptor sau prin inducție.

Temperatura de topire a metalului de bază este cuprinsă între 1020 – 1140°C. Peste 900°C pulberile cu conținut de B și Si dau borosilicați care protejează suprafața metalului de bază la oxidare, realizând și decaparea metalului de bază astfel încât metalul de bază difuzează în metalul de bază.

Din aceste considerente cu acest procedeu se obțin aderențe foarte bune ale metalului de bază la metalul de bază. [43]

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezai

4.1.1.4. Pulverizarea cu flacără de înaltă viteză

Pulverizarea cu flacără de înaltă viteză este un procedeu la care energia termică are valori reduse, respectiv energia cinetică este mult superioară procedeelelor cu pulbere clasice.

Pionierul acestor instalații a fost JET KOTE. Terminologia internațională adoptată pentru acest tip de procedeu este denumirea generică de HVOF (high velocity oxy – fuel).

Principiul procedurii HVOF este redat în figura 4.6.

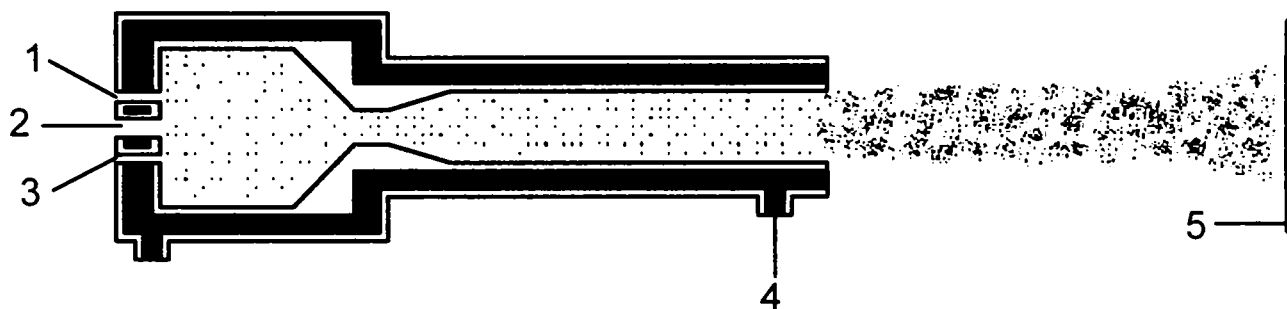


Fig. 4.6. Principiul procedurii de pulverizare termică HVOF.

1 – oxigen; 2 – gaz de transport și pulbere; 3 – gaz pentru flacără;
4 – lichid de răcire; 5 – material depus. [85]

Presiunea gazelor în pistol este ridicată (3 – 7 bar), de aceea se pot folosi ca și gaze combustibile gazele care suportă aceste presiuni (propan, hidrogen).

Straturile depuse au o porozitate foarte scăzută, densitate ridicată, o bună aderență la suprafața metalului de bază. Se pot depune materiale cu valori ridicate ale temperaturilor de topire (ceramice, refractare, carburi de wolfram, oxizi de crom etc.). Straturile depuse sunt foarte netede și astfel se fac economii de manoperă la prelucrarea ulterioară.

Procedeu HVOF este ușor adaptabil și se obțin acoperiri foarte bune pentru rezistență la uzură, protecție anticorrosivă, izolații termice și electrice. Parametrii tehnologici pot fi reglați în limite largi pentru obținerea temperaturii și vitezei optime. Rata mare a depunerii scurtează timpul de pulverizare mai ales pentru piesele mari. [60, 81]

4.1.1.5. Pulverizarea prin detonație

Energia cinetică la acest procedeu de pulverizare este realizată prin detonația unui amestec exploziv de gaze.

Pulberea este adusă în camera de detonație printr-un injector și preluată de gazul de antrenare. Amestecul exploziv este format din acetilenă și oxigen iar aprinderea se produce prin scânteie electrică. Amestecul de pulbere și gaze de ardere fierbinți sunt expulzate cu mare viteză printr-o țevă de evacuare.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

De remarcat la acest procedeu energia cinetică mare (se ating viteze de până la 750 – 1000 m/s) și temperatura ridicată (până la 3300°C) pe care o poate atinge materialul depus. Energia cinetică mare și temperatura ridicată favorizează formarea de microsuduri. Frecvența exploziilor este mare (4 – 8/sec), zgomotul produs este de asemenea ridicat (cca. 150 dB). Dimensiunea recomandată a particulelor de pulbere este de 5 – 60 μm.

Avantajele majore ale acestui procedeu în comparație cu alte procedee de depunere termică prin pulverizare constau în densitatea stratului depus (aproximativ 98% din densitatea teoretică) și în aderența superioară oricărui alt procedeu de pulverizare termică ce nu implică topirea substratului.

Prin acest procedeu se pot depune o gamă largă de materiale, dar mai frecvent este aplicat la depunerea materialelor ceramice și compozite. Grosimea straturilor depuse cu acest procedeu variază în limitele 0,05 – 0,5 mm. [75]

Schema de principiu a pulverizării termice prin detonație este prezentată în figura 4.7.

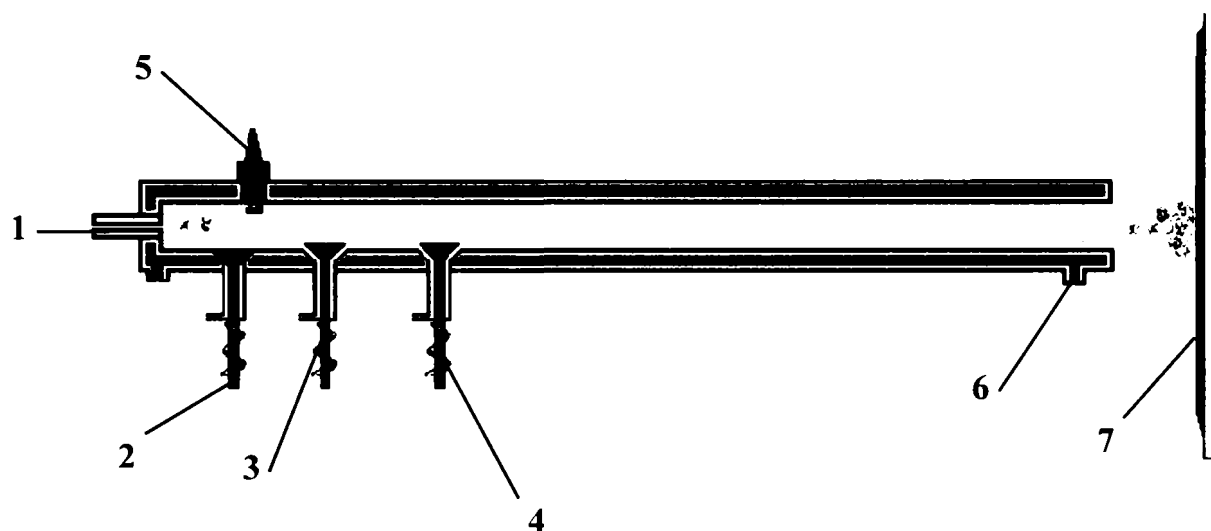


Fig. 4.7 Principiul pulverizării termice prin detonație:

1 - alimentare cu pulbere; 2 - gaz de antrenare; 3 - acetilenă; 4 - oxigen;

5 - aprindere; 6 - răcire cu apă; 7 - material depus. [85]

4.1.2. Pulverizarea termică cu arc electric

Principiul acestui procedeu (fig. 4.8) constă în stabilirea unui arc electric între două sârme electrod care se topesc și pe măsura topirii lor sunt avansate de un dispozitiv de avans. Contactul electric se realizează prin două ghidaje care au și rolul de a le direcționa spre a se atinge și astfel a se stabili arcul electric. Metalul topit este pulverizat de un jet de gaz sub presiune dirijat spre arcul electric de o duză. Presiunea gazului de pulverizare este de 4 – 6 bari.

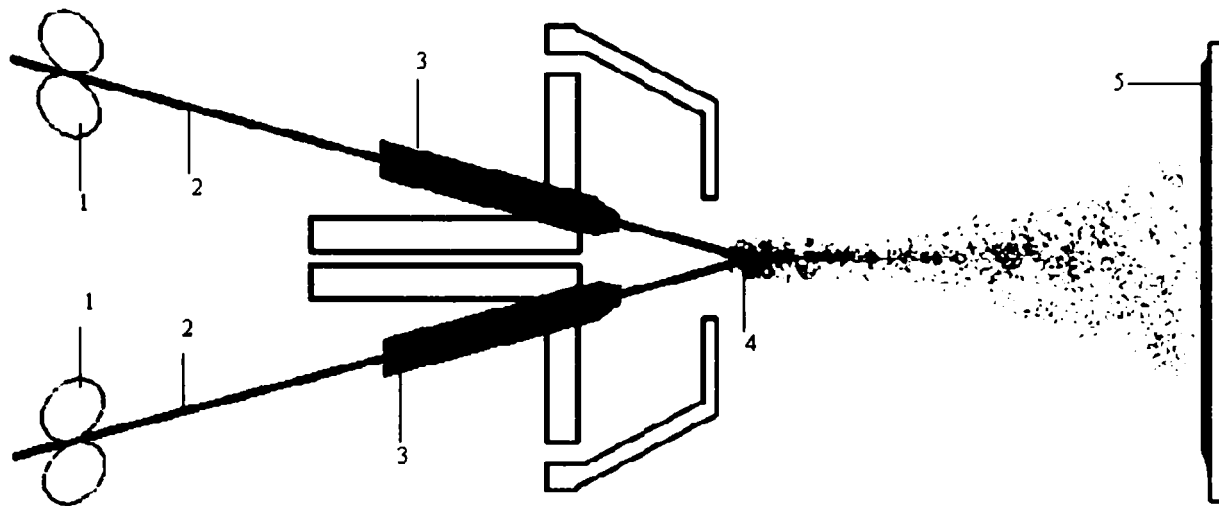


Fig. 4.8. Principiul pulverizării termice cu arc electric:

*1 – rolă de antrenare, 2 – material de adaos, 3 – ghidaj sârmă,
4 – arc electric, 5 – material depus. [85]*

Acest procedeu este avantajos la rate de depunere mai mari de 25 kg/oră. Se poate folosi, de asemenea, atmosferă controlată (vid sau mediu de gaz protector) la acoperirea metalelor refractare. Un alt avantaj al procedurii este posibilitatea obținerii pseudo – aliajelor prin utilizarea a două sârme diferite: Al – OL, Al – Zn etc.

Un dezavantaj constă în oxidarea elementelor de aliere, respectiv carbonul din sârmă scade cu 40 – 60 %, siliciul și magneziul cu 10 – 15 %. [70, 71]

O instalație de metalizare cu material de adaos sub formă de sârmă topită în arc electric conține:

- aparatul de pulverizare;
- sursa de aer comprimat, cu buteliile de stocare;
- sursa de curent electric, care poate fi un redresor sau chiar un grup electrogen de curent continuu;
- tabloul de comandă.

4.1.3. Pulverizarea termică cu jet de plasmă

Procedeu folosește un arc de plasmă cu temperaturi de până la 20.000°C iar ca gaze plasmagene argonul, heliul, hidrogenul, azotul.

Materialul de aport sub formă de pulberi este introdus în mod controlat în jetul de plasmă, care produce topirea particulelor de material și proiectarea lor cu viteză mare asupra substratului.

Densitatea stratului depus este în limitele 85 – 95% din densitatea teoretică. Viteza particulelor poate atinge 250 – 550 m/s. [75]

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Pulberea se transmite în exteriorul duzei. Pentru pulverizare se utilizează de obicei pulbere cu granulație 40 – 100 μm .

Pulverizarea termică cu plasmă prezintă variantele:

- pulverizare cu plasmă la presiune atmosferică (fig. 4.9);
- pulverizare cu plasmă în vid (pentru materiale reactive);
- pulverizare cu plasmă de înaltă viteză.

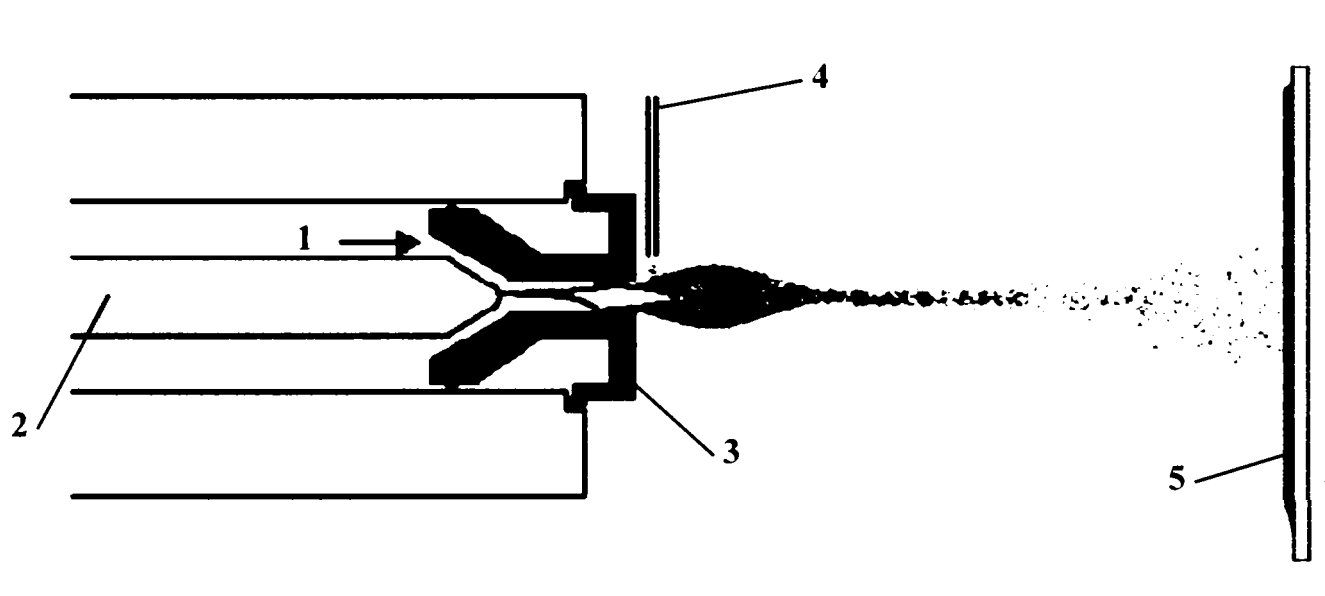


Fig. 4.9. Principiul pulverizării cu jet de plasmă la presiune atmosferică:

1 – gaz plasmagen; 2 – catod; 3 – anod; 4 – alimentare cu pulbere; 5 – material de lucru [85]

Pulverizarea termică în jet de plasmă are următoarele avantaje:

- temperatura ridicată a jetului de plasmă permite topirea materialelor cu puncte ridicate de topire, practic permite topirea oricărui material solid;
- temperatura de topire se poate regla prin schimbarea diametrului duzei și a regimului de lucru al instalației;
- metalul de lucru conține o cantitate redusă de oxizi, datorită gazelor de lucru inerte;
- metalul de lucru are o aderență bună și o densitate ridicată.

Principalele dezavantaje ale procedurii de pulverizare termică în jet de plasmă sunt:

- productivitate scăzută;
- zgomot și iradiere intensă cu radiații ultraviolete;
- prețul ridicat al utilajului și al cheltuielilor de exploatare. [75]

4.1.4. Pulverizarea termică cu curenți de înaltă frecvență și prin inducție

Sârma de pulverizat introdusă în inductor se încălzește și se topește datorită curenților turbionari, care apar sub acțiunea unui câmp magnetic alternativ, care se formează la trecerea unui curent de înaltă frecvență prin bobină. Metalul topit se pulverizează cu ajutorul unui jet de

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

aer comprimat și este depus pe suprafața materialului de bază. La pulverizarea materialelor care se oxidează puternic, în loc de aer comprimat se pot utiliza gaze inerte. [75]

4.1.5. Pulverizarea cu laser

Pulverizarea cu laser are scopul obținerii pe cât posibil a unui metal depus cu o cât mai redusă diluție. De regulă se aplică pe materiale de bază ieftine, materiale de adaos cu rezistență mare la uzură și/sau coroziune.

Prin astfel de depunere pe materialul de bază se mărește mult rezistența la uzură a particulelor de suprafață și crește durata de exploatare și durabilitatea suprafețelor încărcate.

Realizarea depunerilor de pulberi cu fasciculul laser se clasifică în două procedee diferențiate prin felul alimentării cu pulbere. [75]

4.1.5.1. Pulverizarea cu laser în două faze

În prima fază se aplică pulberea pe suprafața materialului și apoi în a doua fază are loc aderarea la metalul de bază prin topire cu fasciculul laser.

Un exemplu pentru depunerea prin procedeul în două faze este redat în figura 4.10.

4.1.5.2. Pulverizarea cu laser într-o fază

Prin acest procedeu se realizează într-o singură fază atât depunerea de material pulverizat cât și topirea acestui strat de material cu un fascicol laser concentrat (figura 4.11).

Materialul de adaos este sub formă de pastă. Pentru obținerea pastelor sunt utilizați lianți. Se recomandă cei pe bază de nitroceluloză cu un conținut mic de rest uscat de zaponlac, oxietilceluloză, clei de amidon. Sub acțiunea laserului lianții ard, formând produse gazoase și nu împiedică formarea rândurilor. Înălțimea rândurilor este de 0,5 – 2 mm, lățimea de 1,2 – 2,6 mm. Se pot suprapune noi rânduri de depunere. [75]

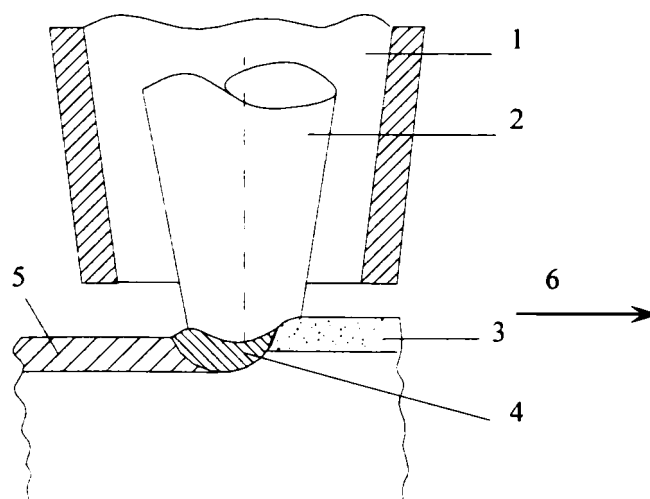


Fig. 4.10. Principiul depunerii cu laser în două faze: 1 – alimentare cu gaz; 2 – fasciculul laser; 3 – pulbere; 4 – topitură; 5 – material depus; 6 – direcția de deplasare.

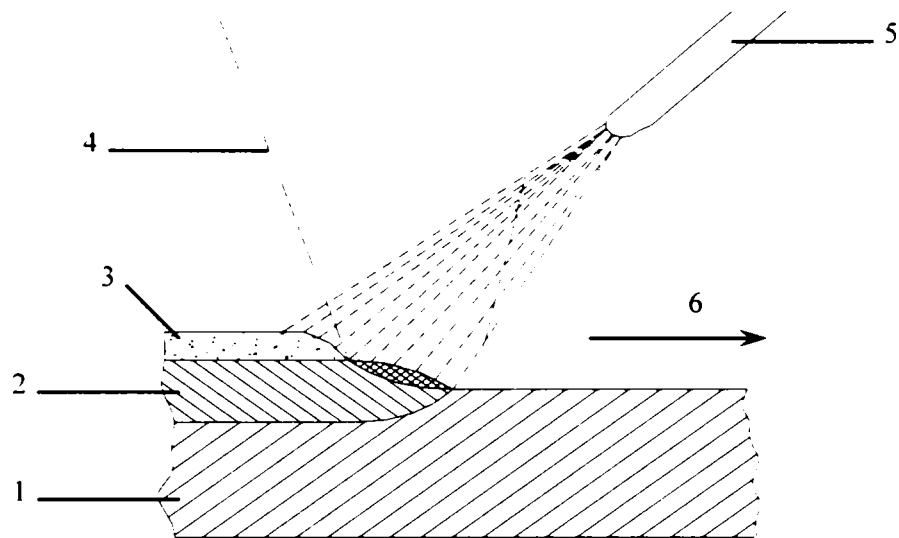


Fig. 4.11. Principiul depunerii cu laser într-o fază. 1 – material de bază; 2 – material depus; 3 – pulbere; 4 – fascicul laser; 5 – duză de pulverizare; 6 – direcția de deplasare.

4.2. Materiale de adaos pentru pulverizarea termică

4.2.1. Sârme pentru pulverizare termică

Sârmele pentru pulverizare termică sunt utilizate pentru procedeele de pulverizare cu arcul electric și la pulverizarea cu flacără.

Se pot utiliza diverse aliaje metalice ca materiale de adaos:

- Molibdenul. Se folosește sârmă de molibden cu o puritate de 99,95% - 99,5%. Molibdenul se pulverizează în particule foarte fine cu temperatură ridicată care realizează microsuduri cu asperitățile suprafeței. De aceea se utilizează ca strat de aderență și ca strat de uzură atunci când piesele lucrează la temperaturi mai scăzute de 300°C;
- Plumbul și aliajele lui. În aliaj cu staniu se obține aliajul babbitt care este destinat metalizării lagărelor moi;
- Bronzuri de aluminiu. Conținutul de aluminiu în astfel de bronzuri este de 5-12%. Pe lângă acestea mai au adaosuri de fier, nichel și mangan. Bronzurile de aluminiu sunt rezistente la oboseală în condiții de coroziune, la eroziune și la uzură;
- Bronzul fosforos. Adaosul de fosfor (0,03 – 0,35 %) în bronz se folosește pentru dezoxidarea lui. Se utilizează la lagărele de alunecare navale;
- Alama. Se utilizează pentru protecția anticorrosivă a unor repere și la unele bușe;
- Nichelul și aliajele sale. În combinație cu aluminiul și molibdenul se utilizează pentru depunerea starterilor de aderență;

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

- Crom-nichel. Se folosește pe scară largă aliajul Cr – Ni (80%Ni – 20%Cr), pentru depunerea unor straturi tampon sau de aderență. [75]

Principalii producători de sârme pentru pulverizare termică sunt Sulzer – Metco și Praxair Tafa. [85, 86]

4.2.2. Pulberi pentru pulverizare termică

Pulverizarea termică cu flacără, pulverizarea termică cu jet de plasmă și alte procedee sunt unele dintre procedeele de recondiționare a lagărelor care folosesc pulberea ca material de adaos.

Liderii mondiali ai fabricării de pulberi pentru pulverizare termică sunt Sulzer – Metco și Praxair Tafa. [85, 86]

4.3. Caracteristici ale straturilor formate prin pulverizare termică

4.3.1. Caracteristici fizice ale straturilor pulverizate

4.3.1.1. Masa specifică

Straturile obținute după pulverizarea termică nu sunt constituite din metale compacte, ci dintr-o aglomerare de particule de metal solidificat. Între particulele solidificate după impact pe suprafața piesei rămân spații libere, constituite din pori închiși, pori deschiși sau interspații între pori. Din cauza acestei porozități, straturile rezultate după pulverizarea metalelor au o masă specifică mai mică decât a materialului de adaos inițial.

Reducerea masei specifice depinde de o serie de factori printre care:

- natura materialului de adaos;
- distanța de pulverizare;
- parametrii electrici în cazul pulverizării cu arcul electric;
- presiunea aerului și diametrul duzei de aer.

S-a stabilit că masa specifică a unui strat din metal pulverizat are următoarea dependență:

- crește cu presiunea aerului comprimat, diametrul duzei de aer sau cu unghiul de impact al conului de pulverizare;
- scade cu distanța de la duza de aer la piesa de metalizat sau viteza de avans a sârmelor. Aceasta deoarece în aceste cazuri stratul obținut este mai puțin compact și procentul de pori este mai mare. [52]

4.3.1.2. Porozitatea

Prin analogie cu materialele obținute prin procedeele metalurgiei pulberii, porozitatea pentru un strat din metal pulverizat se poate considera sub două aspecte și anume:

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

- porozitatea gravimetrică;
- porozitatea volumetrică.

Porozitatea straturilor de metale pulverizate prezintă atât avantaje cât și dezavantaje în comportarea suprafețelor metalizate.

Dintre avantajele se pot menționa:

- la organele de mașini recondiționate prin pulverizare termică, porii deschiși și cei interconectați din stratul obținut, se umplu cu o cantitate de ulei care formează o rezervă de ungere în cazul unei întreruperi intempestive a circuitului de ulei. Situația este favorabilă la fusuri de arbori, axe, cuzineți sau pistoane care din cauza porozității, se comportă pentru câțiva timp ca piese autolubrifiante, îndepărtând pentru o anumită durată riscul de gripare;
- la unele mașini, cum este cazul în industria textilă sau cea alimentară, se impune ca uleiul de ungere să nu vină în contact cu produsele fabricate de aceste mașini. Acest rezultat nu se poate obține decât prin utilizarea de cuzineți poroși autolubrifiți.

Dezavantajele ce rezultă în urma porozității sunt:

- scăderea rezistenței la întindere și a alungirii mecanice ale straturilor obținute prin pulverizare termică;
- protecția contra coroziunii a straturilor metalizate prin pulverizare termică este redusă din cauza porozității. Dezavantajul se remediază prin impregnare sau colmatarea porilor cu diferite substanțe. [52]

4.3.2. Caracteristici termice ale straturilor pulverizate

4.3.2.1. Coeficientul de dilatare termică

La metalele compacte coeficientul de dilatare termică are o valoare stabilă la o anumită temperatură sau interval de temperaturi. În cazul straturilor depuse prin pulverizare termică, valoarea coeficientului de dilatare termică variază cu parametrii metalizării și anume pentru un același metal crește cu greutatea specifică a stratului.

Coeficientul de dilatare termică prezintă un interes deosebit în următoarele cazuri:

- la pulverizarea unor straturi de grosime mare, dacă durata metalizării este prea mare și nu se fac întreruperi pentru răcirea piesei, se pot produce tensiuni termice importante și fisuri în stratul metalizat;
- la pulverizarea termică a suprafețelor concave de mică curbura sau a suprafețelor plane, în care caz valoarea coeficientului de dilatare termică condiționează aderența stratului. Aderența scade pe măsură ce grosimea stratului și valoarea coeficientului de dilatare termică cresc.

4.3.2.2. Conductivitatea termică

Întrucât un strat dintr-un metal depus prin pulverizare este mai puțin compact decât același metal obținut prin turnare sau forjare, conductivitatea termică a acestuia este mai redusă, datorită existenței porilor între particulele solidificate după pulverizare. [52]

4.3.3. Caracteristici electrice ale straturilor pulverizate

4.3.3.1. Rezistivitatea

Din cauza porozității, straturile din metale pulverizate au o rezistivitate electrică mai mare decât metalele compacte din care provin.

Un strat de zinc pulverizat are o rezistivitate de două ori mai mare, iar unul de aluminiu de cinci ori mai mare decât a metalelor respective obținute prin turnare. Pentru aluminiul pulverizat creșterea rezistivității se explică prin faptul că pelicula de oxid de aluminiu care acoperă stratul este slab conducătoare electric.

În cazul când straturile sunt rectificat și lustruite, rezistivitatea electrică scade cu până la 20% din valoarea inițială.

4.3.3.2. Proprietățile magnetice

Straturile obținute prin pulverizarea oțelului sunt magnetice și permit să se obțină magneți permanenți. Când stratul pulverizat nu depășește grosimea de 0,15 mm, iar piesa metalizată depășește lungimea de 8 – 10 cm, apar poli secundari care alterează câmpul magnetic. [52]

4.3.4. Caracteristici chimice ale straturilor pulverizate

4.3.4.1. Compoziția chimică

Un strat de metal pulverizat prezintă, față de metalul de adaos, variații nu numai de structură, ci și de compoziție chimică. Astfel, de exemplu, un strat de oțel pulverizat conține procente mai mici de carbon, siliciu sau mangan, decât metalul de adaos din care a provenit, scăderea datorându-se oxidării unui procent din aceste elemente.

4.3.4.2. Oxidarea particulelor

Fenomenul de oxidare a particulelor metalice are loc în timpul topirii și deplasării acestora spre piesa de metalizat, precum și după aglomerarea lor.

Intensitatea fenomenului de oxidare depinde în principal de următorii factori:

- natura materialului de adaos;
- metoda de metalizare și tipul aparatului folosit;
- distanța de la duză la piesa de metalizat;
- presiunea aerului comprimat;
- diametrul duzei;

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

Cea mai pronunțată oxidare se manifestă în cazul metalizării cu material de adaos sub formă de pulbere. Aceasta rezultă din următoarele motive:

- flacăra este dispersă și oxidantă;
- distanța mare care se recomandă între duză și piesa de metalizat, de circa 150 – 200 mm, dă o durată a deplasării particulelor mai mare;
- pulberea metalică utilizată vine ea însăși cu un procent de oxid mai mare decât metalul de adaos sub formă de sârmă.

Utilizarea metalului de adaos sub formă de sârmă conduce la obținerea celui mai mic procent de oxizi în particulele și straturile obținute prin pulverizare, după cum se poate constata din tabelul 4.3. Aparatul cu care s-au efectuat experiențele era de tipul cu flacăra, iar materialul de adaos folosit a fost cuprul.

Se constată că în cazul pulberii procentul de oxid ajunge la o valoare de circa cinci ori mai mare decât în cazul metalizării cu sârmă, ceea ce are repercusiuni defavorabile asupra calităților mecanice ale straturilor obținute cu pulbere ca metal de adaos.

Asupra procesului de formare a oxizilor în cazul metalizării cu flacăra și sârmă s-au emis o serie de teorii.

Oxidarea se produce mai mult la suprafața piesei după depunerea particulelor din cauza turbulenței jetului de aer comprimat, care proiectează particulele.

Tabelul 4.3. Procente de oxizi obținute pentru metalizarea cu flacăra [52]

Materialul de adaos	Distanța de metalizare, [mm]	Oxigen, [%]	Oxid (Cu ₂ O), [%]
Pulbere	200	2,84	25,6
Pulbere	250	3,39	30,6
Pulbere	300	3,17	28,4
Sârmă	75	1,72	15,4
Sârmă	75	1,02	9,2
Sârmă	75	0,59	5,3
Sârmă	75	0,71	6,3

În cazul când distanța parcursă de particule este mică, atunci acestea deplasându-se într-un mediu înconjurat de gaze de ardere, oxidarea este redusă.

Dacă distanța se mărește, atunci mișcarea turbulentă a jetului de aer produce un amestec al gazelor de ardere cu aerul, fapt care accentuează oxidarea.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Din cauza temperaturii ridicate și a mediului puternic oxidant, particulele metalice se acoperă imediat după pulverizare cu un strat de oxid, care se accentuează în timpul deplasării din cauza frecării provocate de aer pe exteriorul particulelor.

Oxidarea continuă apoi după depunerea particulelor, din cauza cantității mari de aer care vine în contact cu stratul metalizat.

Pentru reducerea oxidării se recomandă, când se realizează straturi groase, aceeași precauție ca și pentru reducerea tensiunilor și anume pulverizarea intermitentă, cu mici perioade de oprire și răcire a straturilor.

Incluziunile de oxizi sunt dăunătoare unei bune protecții a straturilor metalizate prin pulverizare termică contra coroziunii, dar în cazul recondiționării organelor de mașini uzate, prezența oxizilor favorizează prelucrările ulterioare ale straturilor. [52, 74]

4.3.5. Comportarea straturilor din metale pulverizate la eforturi

4.3.5.1. Caracteristici la tracțiune

Supunând la tracțiune un eșantion obținut prin pulverizarea unui metal, ruperea nu se va produce în secțiunile particulelor, ci după conturul acestora.

Din acest motiv rezistența la tracțiune a straturilor obținute prin pulverizare termică este mai mică decât în cazul aceluiași metal compact.

Această rezistență depinde de o serie de factori, cum ar fi:

- natura materialului de adaos;
- metoda de pulverizare;
- tipul aparatului de metalizare;
- porozitatea;
- presiunea și debitul aerului comprimat;
- distanța de metalizare;
- procentul de oxizi;
- metoda de pregătire a suprafeței înainte de metalizare.

La unele metale sau aliaje, cum este cazul cuprului, oțelului sau alamei, diferența între rezistența la rupere prin tracțiune a metalului compact și aceea a stratului pulverizat este destul de importantă, pe când la alte metale, de exemplu plumbul sau zincul, diferența este mai mică.

În tabelul 4.4 sunt indicate valorile rezistenței la rupere pentru materialul straturilor obținute prin pulverizare termică cu flacără sau cu arc electric, la variații ale conținutului de carbon. Materialul de adaos folosit a fost sub formă de sârmă.

Tabelul 4.4. Rezistența la rupere a unor straturi obtinute prin pulverizare termică cu flacără și arc electric [52]

Metoda de pulverizare termică	C, [%]	R _m , [N/mm ²]
Cu flacără	0,1	100
Cu flacără	0,12	106
Cu flacără	0,6 – 0,9	69,6 – 72,6
Cu arc electric	0,4	73,6 – 83,4
Cu arc electric	0,71	117,7
Cu arc electric	1,2	119,3 – 196,2

De asemenea, rezistența la rupere variază în funcție de natura gazelor combustibile utilizate la pulverizare (tabelul 4.5). [52]

Tabelul 4.5. Rezistența la rupere în funcție de natura gazelor combustibile [52]

Metale și aliaje pulverizate	R _m , [N/mm ²]		
	Acetilenă	Propan	Hidrogen
Oțel cu 0,35 % C	160	143,2	164,8
Oțel cu 1 % C	113	108	118,7
Aluminiu	80,5	80	78,5
Zinc	52	44,1	80,5
Cupru	83,4	48	96,1
Alamă	71,6	56,9	100

4.3.5.2. Rezistența la compresiune

Straturile de metale pulverizate rezistă bine la compresiune, calitate importantă pentru comportarea organelor de mașini recondiționate prin pulverizare termică.

Rezistența la compresiune depinde de:

- distanța de pulverizare;
- presiunea aerului comprimat;
- diametrul duzei de aer.

Astfel, rezistența la compresiune scade o dată cu creșterea distanței de pulverizare, și este direct proporțională cu presiunea aerului comprimat și diametrul duzei de aer. [52]

4.3.5.3. Duritatea

Straturile din metale pulverizate sunt caracterizate prin duritate mare. O cauză a creșterii durității este ecruisarea stratului, provocată de loviturile succesive ale particulelor în punctele de impact. De asemenea, prin efectul jetului de aer comprimat se pot forma

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

constituenți de călire, ceea ce conduce la creșterea durității. În cazul folosirii materialului de adaos sub formă de pulbere, duritatea poate să crească și datorită măririi procentului de oxizi.

Următorii factori determină o creștere a durității:

- grosimea stratului metalizat;
- presiunea aerului comprimat;
- presiunea oxigenului și gazului combustibil la aparatele de pulverizat cu flacăra de gaze;
- viteza de avans a sârmelor în cazul metalizării cu sârmă.

Scăderea durității este provocată de:

- porozitatea stratului;
- temperatura stratului după terminarea metalizării, în cazul când depășește 200°C;
- distanța de pulverizare.

În tabelul 4.6 sunt date câteva exemple ale durității pentru straturi obținute din metale pulverizate cu flacăra, comparativ cu duritățile metalelor respective, sub formă turnată.

Tabelul 4.6. Duritatea straturilor din metale pulverizate cu flacăra comparativ cu cele turnate. [52]

Materialul	Duritatea stratului din metal pulverizat, [HB]	Duritatea metalului turnat, [HB]	Creșterea durității, [%]	Scăderea durității, [%]
Oțel moale	200 – 226	118	70 – 91	-
Aluminiu	35 – 40	21	66 – 91	-
Zinc	18 – 23	24	-	25 – 4
Cupru	62 - 91	50	24 – 71	-

În tabelul 4.7 se dau duritățile straturilor obținute prin pulverizarea unor metale și aliaje curent utilizate.

Se remarcă scăderea durității când distanța de pulverizare crește, deoarece se accentuează porozitatea stratului obținut prin pulverizare.

S-au efectuat încercări experimentale de pulverizare termică, utilizând azot în loc de aer comprimat, pentru a se evita oxidarea, obținându-se însă durități mai reduse. De asemenea s-a constatat că efectuarea unui tratament termic de recoacere micșorează duritatea unui strat de metal pulverizat, în funcție de temperatura și durata tratamentului. [52]

Tabloul 4.7 Durități ale unor metale și aliaje pulverizate [52]

Materialul	Forma materialului de adaos	Procedeul de metalizare	Distanța de pulverizare, [mm]	Duritatea stratului	
				Vickers	Brinell
Oțel cu 0,7% C	Sârmă	Flacără oxiacetilenică	100	236	-
Oțel cu 0,7% C	Sârmă	Arc electric	100	-	315
Oțel inoxidabil	Sârmă	Flacără oxiacetilenică	180	-	187
Aluminiu	Sârmă	Flacără oxiacetilenică	100	65	-
Aluminiu	Sârmă	Flacără oxiacetilenică	100	-	44
Zinc	Sârmă	Flacără oxiacetilenică	75	26,2	-
Zinc	Sârmă	Flacără oxiacetilenică	125	21,3	-
Zinc	Pulbere	Flacără oxiacetilenică	200	28	-
Zinc	Pulbere	Flacără oxiacetilenică	300	19	-
Zinc	Sârmă	Arc electric	100	-	32
Cupru	Pulbere	Flacără oxiacetilenică	200	66	-
Alamă	Sârmă	Arc electric	100	-	103

4.3.5.4. Rezistența la oboseală

O chestiune importantă în domeniul metalizării prin pulverizare termică pentru recondiționarea organelor de mașini uzate, este influența stratului metalizat asupra rezistenței la oboseală a acestor organe.

Literatura tehnică dă în general următoarele indicații:

- tratamentele mecanice de suprafață, cum este de exemplu ciocănirea cu alice sau rulara cu role, unele tratamente termice, de exemplu călirea, sau termochimice, ca nitrurarea sau cementarea, măresc rezistența la oboseală a pieselor tratate;
- unele straturi metalice de acoperire, cum sunt cele obținute prin cromare sau nichelare, care măresc rezistența la coroziune a pieselor de bază au un efect defavorabil asupra rezistenței la oboseală a acestora;
- eforturile la compresiune măresc rezistența la oboseală. [52]

4.3.6. Aderența straturilor pulverizate

4.3.6.1. Considerații generale asupra aderenței

Aderența este una dintre cele mai importante calități ale unui strat de acoperire de orice categorie, deoarece condiționează rezistența și durabilitatea stratului precum și gradul de protecție al piesei pe care este aplicat.

În cazul pulverizării termice prima problemă care a apărut a fost natura aderenței dintre stratul pulverizat pe piesă și aceasta, emițându-se diferite teorii.

O primă ipoteză ar fi existența unor forțe de atracție moleculară. A doua ipoteză atribuie aderenței un caracter pur mecanic de ancorare a particulelor metalice în rugozitățile piesei care este metalizată. O a treia ipoteză le combină pe primele două, și anume, se admite într-o primă fază ipoteza a doua, completată, într-o anumită măsură, cu prima ipoteză. Suprafața particulelor metalice este acoperită, în timpul antrenării lor, cu un înveliș de oxid care se rupe în momentul impactului cu suprafața piesei.

Astfel, datorită forțelor de atracție moleculară, se poate realiza în unele puncte o aderență cu metalul de bază. Această forță de aderență nu apare decât limitată, din cauză că oxidul format rămâne în stratul produs prin aglomerarea particulelor, astfel încât cel mai mare procent de aderență finală rămâne de natură mecanică. Această concluzie impune o pregătire atentă a suprafeței de metalizat, pentru a se realiza rugozitatea necesară ancorării particulelor metalice.

O altă teorie afirmă că dacă punctul de topire al oxidului care se formează în exteriorul particulei este inferior celui al particulei propriu-zise, atunci acestea se vor suda pe suprafața piesei.

O aderență bună se poate obține prin pulverizarea prealabilă a piesei cu molibden, al cărui oxid se topește la 750°C. Particulele de molibden ajung pe piesă fără oxid și se sudează pe suprafața acesteia. Acest strat intermediar de molibden prezintă o rugozitate care permite o aderență bună a unui strat din orice material pulverizat.

De asemenea, o aderență bună se poate obține pulverizând inițial de la o distanță mai mică față de piesă, apoi mărin distanța până la cea normal admisă. Trebuie avut în vedere să se evite supraîncălzirea suprafeței piesei, deoarece în această situație se obține un rezultat contrar și anume aderența scade și stratul se poate exfolia.

O altă ipoteză afirmă că energia cinetică a particulelor și succesiunea șocurilor la impact permit să se obțină puncte de sudură, deși masa particulelor este foarte mică. Fenomenul de aderență care se produce este similar celui în care un corp solid este muiat de un fluid.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Această ipoteză este sprijinită de faptul că straturile de metal pulverizat aderă bine pe sticlă, deși în acest caz, pentru a explica aderența, nu se poate admite fenomenul de difuzie sau fixarea mecanică datorită rugozităților. Aderența pe sticlă se datorează forțelor de atracție moleculară.

Aderența se măsoară prin forța necesară pentru desprinderea unității de suprafață a stratului de pe piesa de bază și depinde de următorii factori:

- forma piesei metalizate: convexă, concavă sau plană;
- modul de pregătire al suprafeței de metalizat și gradul de rugozitate obținut, acest factor constituind elementul de bază al aderenței mecanice;
- natura materialului de adaos, modulul de elasticitate și coeficientul de dilatare termică;
- diametrul piesei de metalizat în cazul când aceasta are formă cilindrică;
- granulația particulelor rezultate din pulverizarea materialului topit;
- temperatura particulelor în punctele de impact;
- grosimea stratului obținut prin pulverizare;
- gradul de puritate al gazului de transport. [52, 77]

4.3.6.2. Aderența pe suprafețe circulare convexe

Aderența pe acest tip de suprafață este un caz răspândit care se întâlnește la recondiționarea prin pulverizare a unor organe de mașini. La depunerea straturilor prin pulverizare, datorită răcirii și contracției straturilor depuse, apare efectul de fretaj.

Calculul aderenței, exprimată prin tensiunea σ în acest caz, se face cu relația:

$$\sigma = \frac{E \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_2) \cdot h}{\pi \cdot d_1} \cdot k \quad (4.1.)$$

în care:

σ - aderența stratului metalizat;

E - modulul de elasticitate al materialului din stratul obținut;

α - coeficientul de dilatare termică liniară;

T_1 - temperatura particulelor înainte de impact;

T_2 - temperatura particulelor după solidificare;

h - grosimea stratului metalizat;

d_1 - diametrul piesei înainte de metalizare;

k - coeficientul de aderență care depinde de metoda și calitatea pregătirii suprafeței și de procesul tehnologic de pulverizare. [52]

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

4.3.6.3. Aderența pe suprafețe concave

În acest caz nu mai apar presiuni de fretaj, ci, de la o anumită temperatură și grosime a stratului, apare un joc între stratul metalizat și suprafața piesei.

Astfel, pentru a mări aderența unui strat metalizat aplicat pe o suprafață concavă, trebuie să existe relația:

$$T_2 \leq \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot T_1 \quad (4.2.)$$

în care:

T_2 - temperatura medie a stratului metalizat în momentul terminării metalizării;

α_1 - coeficientul de dilatare termică liniară a metalului piesei de bază;

α_2 - coeficientul de dilatare termică liniară a stratului metalizat;

T_1 - temperatura medie a peretelui interior al piesei în momentul terminării metalizării.

Relația (4.2) arată că temperatura medie a stratului metalizat nu trebuie să depășească o anumită limită pentru ca să existe aderența stratului la metalul de bază.

S-a constatat de asemenea că aderența variază cu grosimea stratului și că se ameliorează când, în timpul metalizării, se încălzește exteriorul piesei, mărindu-se astfel valoarea factorului T_1 din relația (4.2). [52]

4.3.6.4. Aderența pe suprafețe plane

S-a stabilit că se poate obține aderență pe suprafețe plane atunci când există condițiile date de relația:

$$T_2 \leq 0,375 \cdot T_1 \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (4.3)$$

Marginile și colțurile, mai ales la suprafețe plane mici, creează condiții defavorabile aderenței. Aceasta scade pe măsură ce crește grosimea stratului metalizat prin pulverizare și crește când se încălzește suprafața destinată metalizării. [52]

4.3.6.5. Variația aderenței cu distanța de metalizare și orientarea jetului de particule pulverizate

Curbele de variație ale aderenței cu distanța de pulverizare pentru diferite materiale, obținute în cursul unor metalizării cu flacără oxiacetilenică, suprafața de bază fiind oțel, sablată cu electrocorund sunt redată în figura 4.12. Curbele din această figură arată că aderența scade când distanța de pulverizare crește, variația fiind mai accentuată la oțel decât la metalele neferoase. S-ar impune deci reducerea distanței, însă acest fapt atrage o încălzire excesivă a stratului metalizat și a piesei de bază, cu riscuri de tensiuni, deformații sau fisuri ale stratului.

Se recomandă, pentru obținerea unei bune aderențe ca primele straturi să fie depuse de

la distanțe mai mici, de ordinul a 80 – 90 mm, iar restul metalizării să se efectueze de la minimum 120 mm.

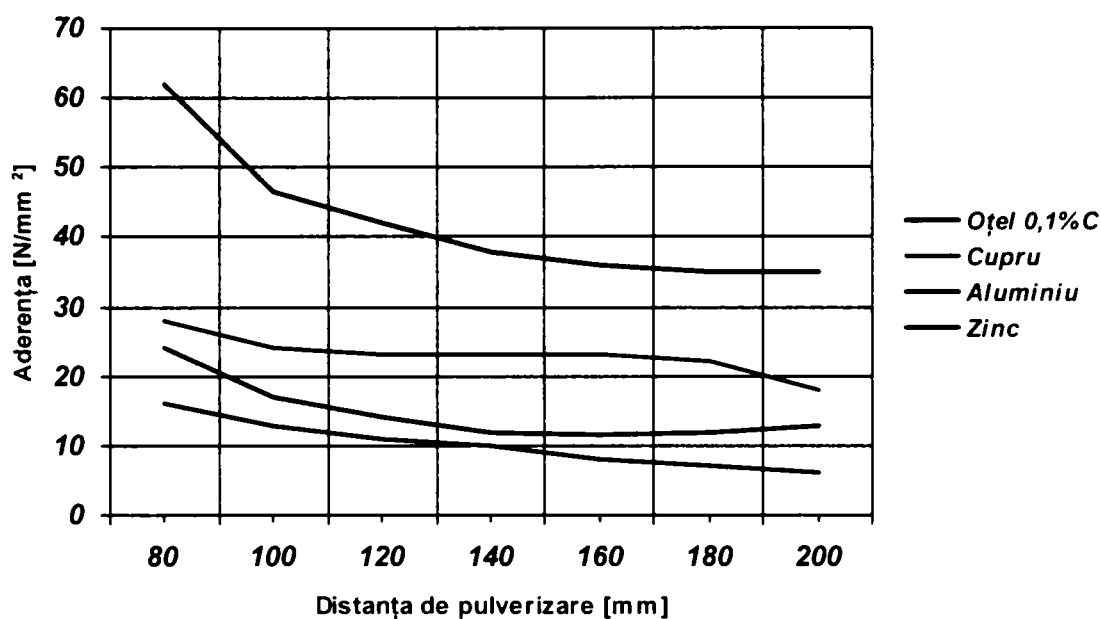


Fig. 4.12. Variația aderenței cu distanța de pulverizare. [52]

În ceea ce privește orientarea jetului, s-a constatat experimental că rezultatele optime se obțin în cazul când axa jetului de particule este deviată față de piesă cu diverse unghiuri.

Alți autori recomandă orientarea jetului normal pe suprafața piesei de metalizat. Însă această orientare este greu de obținut în practică, deoarece jetul de particule de formă conică deplasându-se, diversele zone ale piesei sunt atacate mai întâi oblic de particulele periferice. [52, 77]

4.3.6.6. Aderența în cazul unui strat intermediar

Aderența straturilor obținute prin pulverizare variază după natura materialului de adaos, fiind mai mare pentru unele materiale și mai redusă pentru altele. În acest din urmă caz, pentru a se realiza totuși o aderență bună, se recurge la o pulverizare dublă, și anume: un prim strat, intermediar, între piesa de bază și stratul definitiv, din metal cu aderență bună, urmat de o a doua pulverizare a materialului de interes peste acest strat intermediar, noul strat având în loc de propria sa aderență, redusă, o valoare mai mare datorită stratului intermediar. [52, 77]

4.3.6.7. Corelația aderență - rugozitatea suprafeței

Întrucât aderența straturilor metalizate prin pulverizare se datorează, în cea mai mare măsură, unui fenomen mecanic de pătrundere și ancorare a particulelor metalice în rugozitățile suprafeței de metalizat, este de înțeles că rugozitatea obținută prin pregătirea suprafeței are o importanță deosebită.

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

De asemenea, pentru un același grad de rugozitate, măsurat prin înălțimea asperităților H , aderența variază și cu natura materialului de adaos, după cum se constată din figura 4.13, materialul substratului fiind oțel. [52]

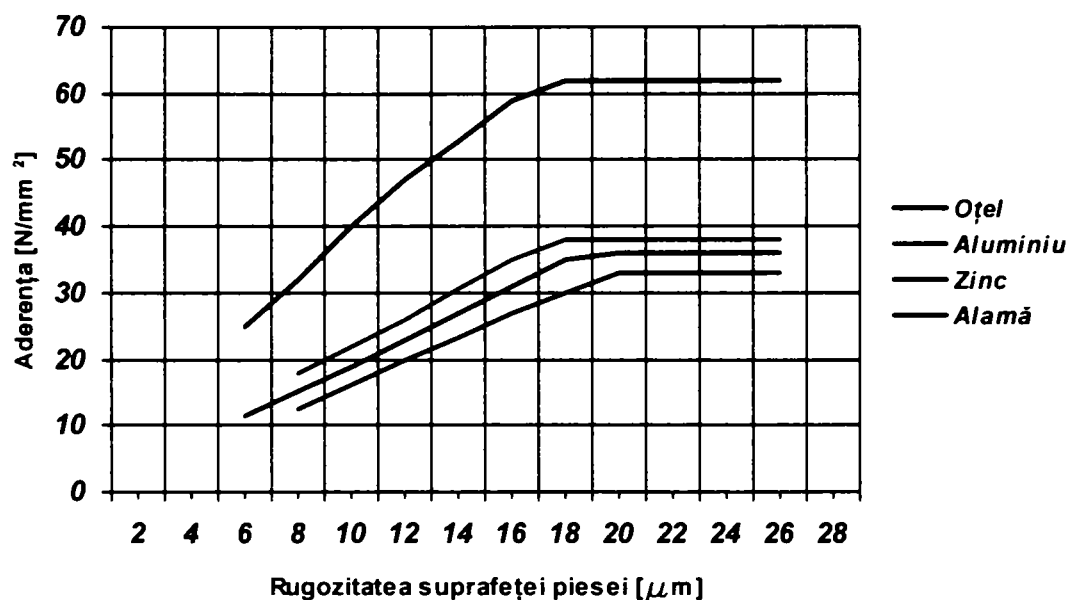


Fig. 4.13. Variația aderenței cu rugozitatea suprafeței piesei [52]

5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND RECONDIȚIONAREA PRIN PULVERIZARE TERMICĂ A PIESELOR DE TIP ALEZAJ

5.1. Probe experimentale

5.1.1. Recomandări tehnologice la recondiționarea prin pulverizare termică

Experimentările au arătat că nu se pot obține rezultate bune cu parametrii recomandați la metalizarea suprafețelor cilindrice interioare dacă nu sunt îndeplinite următoarele condiții:

- se recomandă ca piesele să fie încălzite din exterior, pentru a mări aderența stratului depus. Se recomandă încălzirea până la temperatura de 100 – 200°C pentru a se obține o aderență superioară a stratului de metal pulverizat, la care nu mai există efectul de fretaj, manifestat în cazul suprafețelor convexe. Dacă se depășește temperatura de 200°C, suprafața piesei se oxidează, duritatea și rezistența la uzură a stratului depus scad, iar contracția termică și deci tensiunile interne remanente cresc;
- grosimea stratului metalizat brut nu trebuie să depășească 2,5 - 3 mm pe rază;
- turația piesei și viteza de avans longitudinal al pistolului de pulverizare trebuie să fie alese în funcție de dimensiunile piesei și de faptul că într-o singură trecere grosimea stratului depus nu trebuie să fie mai mare de 0,1 mm;

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

- distanța dintre pistolul de pulverizare și suprafața piesei nu trebuie să fie sub 35 mm, pentru a se evita supraîncălzirea piesei, fapt ce conduce la o contracție puternică;
- suprafața interioară trebuie pregătită prin filetare pentru obținerea unei aderențe superioare;
- după terminarea metalizării tensiunile interne din stratul depus pot fi înlăturate printr-un tratament termic de revenire, încălzind piesa la o temperatură cuprinsă între 270 și 320°C, timp de o oră. [71, 75]

5.1.2. Materialul de bază

Materialul de bază utilizat în cadrul experimentărilor a fost oțelul OLT 35. Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale acestuia sunt prezentate în tabelul 5.1, respectiv 5.2.

Tabelul 5.1. Compoziția chimică a oțelului OLT 35

Materialul de bază	Compoziția chimică, [%]				
	C	Mn	Si	P	S
OLT 35	0,09 ... 0,16	0,4 ... 0,8	0,17 ... 0,37	max. 0,04	max. 0,045

Tabelul 5.2. Caracteristicile mecanice ale oțelului OLT 35

Materialul de bază	Limita de curgere, $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Rezistența la rupere, R_m [N/mm ²]	Alungirea la rupere, A_5 [%]	Gâtuirea la rupere, Z [%]	Reziliența $KCU_{300/2}$ la 20°C, [J/cm ²]
OLT 35	230	340	24	60	60

Probele au fost debitate cu fierăstrăul mecanic (figura 5.1).

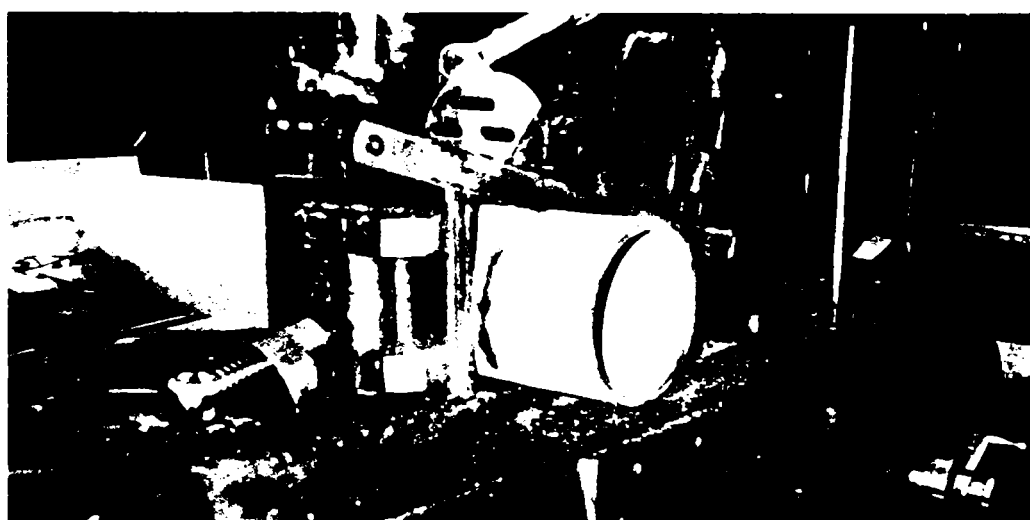


Fig. 5.1. Debitarea probelor cu fierăstrăul mecanic

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezaj

5.1.3. Pregătirea suprafeței materialului de bază

Prelucrarea prealabilă a suprafeței este un factor important pentru asigurarea unei aderențe corespunzătoare a metalului depus prin pulverizare la suprafața materialului de bază. Aceasta deoarece aderența se datorează unor procese de ancorare mecanică și contracție a metalului depus.

Pentru o bună aderență este necesară asigurarea unei rugozități cât mai pronunțate a suprafeței de acoperit, precum și asigurarea unei curățiri foarte atente a suprafeței de substanțe grase, ca ulei, vaselină, și înlăturarea peliculei de oxizi.

Ulterior debitării probele au fost strunjite interior, apoi filetate (figura 5.2).



Fig. 5.2. Strunjirea interioară a probelor

Parametrii folosiți la strunjire și filetare sunt evidențiați în tabelul 5.3. Aceste operații au fost efectuate pe un strung tip SNA 560x2000. În urma acestor operații au rezultat dimensiunile probelor utilizate în experimentări (tabelul 5.4).

Tabelul 5.3. Parametrii folosiți la strunjirea și filetarea interioară a probelor

Strunjire interioară		Filetare interioară			Pas filet, [mm]	Marcaj probe
Turație, [rot/min]	Avans, [mm/rot]	Turație, [rot/min]	Avans, [mm/rot]	Adâncime de așchiere, [mm]		
160	0,125	200	1,5	1,621	1,5	P1 – P6
		150	0,5	0,541	0,5	P7 – P8

Tabelul 5.4. Dimensiunile inițiale ale probelor

Marcaj probe	Diametrul exterior, [mm]	Diametrul interior, [mm]	Lungime, [mm]
P1 – P6	155	140	100
P7 – P8	155	141	80

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

5.1.3.1. Spălarea suprafeței materialului de bază

Există diferite procedee de îndepărtare a vaselinei de pe suprafața pieselor. Cele mai utilizate sunt băile cu sodă, cu tricloretilenă sau alți dizolvanți. Cea mai indicată este degresarea cu vapori de tricloretilenă. Se va ține seama că vaporii acestei substanțe sunt nocivi pentru sănătate.

Peliclele de oxid se îndepărtează de pe suprafață prin sablare cu nisip cuarțos, corindon sau alică de oțel. Pentru îndepărtarea peliculelor de oxizi de pe piesele de oțel uneori se utilizează decaparea în acid azotic. Pentru îndepărtarea țunderului de pe table de oțel se poate utiliza flacăra oxiacetilenică sau oxipropan. Suprafața tablei se supune unei încălziri locale rapide urmată de răcire sub acțiunea căroră se produce desprinderea crustei de oxid de pe suprafața materialului de bază datorită diferenței coeficienților de dilatare termică. [71, 75]

Probele utilizate în experimentări au fost degresate cu acetonă și apoi cu tricloretilenă.

5.1.3.2. Procedee de pregătire a suprafeței

Procedeele de pregătire a suprafeței înainte de pulverizare sunt diverse:

- prin sablare mecanică;
- pulverizarea unui strat de aderență;
- prin scânteii etc.

a) Prelucrarea prin sablare

Pentru sablare se utilizează două tipuri de instalații: pneumatice și centrifugale.

La sablarea pneumatică particulele abrazive sunt antrenate de aerul comprimat și ieșind din duză sub formă de jet lovesc cu forță mare suprafața de prelucrat.

În instalațiile cu centrifugare particulele abrazive se transmit continuu printr-o roată cu palete care se rotesc cu mare viteză, prin care particulele sunt accelerate și sub acțiunea forțelor centrifuge sunt proiectate pe suprafața de prelucrat.

La utilizarea aceluiași material abraziv și a unei duze identice la instalația de sablare, odată cu creșterea presiunii aerului comprimat crește și productivitatea procesului de sablare. Productivitatea sablării crește odată cu creșterea dimensiunilor particulelor abrazive. În general se utilizează amestecuri de particule mari și mici. Odată cu creșterea timpului de sablare (până la 15 minute) rugozitatea suprafeței crește.

Tehnologia de prelucrare prin sablare este influențată de tipul materialului abraziv, de formă și dimensiuni, de condițiile prescrise pentru stratul de material depus.

Ca materiale abrazive pentru sablare se pot utiliza: alică de oțel, de fontă, corindon, carbură de siliciu, nisip cuarțos, granit sau alte materiale. În nisipul cuarțos și granit nu se admite un conținut de minerale ușor destructibile care după sablare să rămână pe suprafața

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

piesei. Materialul abraziv se alege în funcție de dimensiunea piesei de prelucrat, de forma și duritatea materialului piesei. Cea mai lungă durată de utilizare o au alicele de oțel sau fontă și corindonul.

Pentru piese fine se utilizează un corindon cu granulație mică, prelucrarea se realizează la presiuni joase ale aerului comprimat. La pregătirea suprafețelor cu corindon se atinge o productivitate mai mare decât la sablarea cu pulbere de oțel. Trebuie ținut seama că granulele de corindon se sparg ușor și astfel se modifică granulația.

La presiuni înalte ale aerului comprimat spargerea acestora se produce repede, ceea ce nu este rentabil din punct de vedere economic. În afară de aceasta, într-o serie de cazuri nu se pot obține rugozități corespunzătoare a suprafeței de prelucrat.

După terminarea sablării este necesar să se efectueze controlul suprafeței pentru a se confirma uniformitatea rugozității sale.

Timpul dintre sablare și metalizare trebuie să fie minim, deoarece materialul de bază rugos se oxidează ușor. Odată cu creșterea acestui interval de timp se înrăutățește aderența stratului de acoperire la materialul de bază. [71, 75]

În tabelul 5.5 sunt redați parametrii de sablare a probelor experimentale, iar în figura 5.3 instalația cu care s-a efectuat operația de sablare.

Tabelul 5.5. Parametrii de sablare a probelor

Materialul abraziv	Tipul instalației	Granulație	Presiune, [bar]
Corindon	Pneumatică	F 13	4 – 6



Fig. 5.3. Instalația de sablare

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

b) Pulverizarea unui strat de aderență

Pulverizarea unui strat de aderență de molibden este eficientă pentru obținerea unei suprafețe rugoase, bază ideală a pulverizării ulterioare.

Molibdenul se poate depune pe suprafețele pieselor din fontă, oțeluri inoxidabile, monel, aliaje de magneziu și pe majoritatea aliajelor de aluminiu. Grosimea recomandată a stratului de aderență este 0.05 - 0.13 mm.

Pulverizarea se poate face pe o suprafață netedă și degresată. Este recomandabil ca înainte de pulverizare să se prelucereze suprafața cu hârtie abrazivă grosieră. Dacă se pregătește suprafața prin prelucrări mecanice sau prin sablare, metalul depus din molibden are o rezistență de aderență mai mare la bază; în cazul când grosimea stratului depus din molibden este mai mare, materialul de bază necesită prelucrare mecanică preliminară.

Pulverizarea stratului de aderență de molibden nu se face pe oțeluri nitrurate, pe cupru și pe aliaje ale cuprului.

Stratul depus din molibden pe piese în frecare, a căror temperatură superficială depășește 300°C se distruge ușor și se desprinde de pe metalul de bază deoarece la această temperatură are loc oxidarea molibdenului. În astfel de situații se pulverizează ca strat de aderență aliajul constituit din 80 % Ni + 20 % Cr sau oțel inoxidabil tip 24/16.

Aluminații de nichel sunt o combinație intermediară care ia naștere prin reacția exotermă între nichel și aluminiu. Aluminații de nichel aderă pe toate oțelurile, inclusiv pe oțelurile înalt aliate, pe crom, titan, tantal și multe alte metale și aliaje. Straturile sunt aproape complet lipsite de pori. Straturile de metal depus nu sunt sensibile la temperatura de exploatare. Aluminații de nichel se pot obține sub formă de pulbere sau sârmă și se folosesc în exclusivitate la pulverizarea cu flacără. Ca strat de uzură aluminații de nichel nu corespund. [71, 75]

Probele experimentale au fost pregătite prin pulverizare cu un strat de aderență. Tabelul 4.6 prezintă materialele și procedeul de depunere folosit, tabelul 5.7 compoziția chimică a materialelor de adaos folosite, iar tabelele 5.8 și 5.9 prezintă parametrii tehnologici folosiți la depunere.

Tabelul 5.6. Tipul materialului și procedeul ales la pulverizarea stratului de aderență.

Marcaj probe	Forma materialului	Tipul materialului	Procedeul folosit
P1 – P6	Sârmă	Thermanit NiCro 82	Arc electric
P7 – P8	Pulbere	Metco 447 NS	Plasmă

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

Tabelul 5.7. Compoziția chimică a materialelor folosite la pulverizarea stratului de aderență.

Marcaj Probe	Material	Compoziția chimică, [%]												
		C	Fe	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	Al	Ti	Cu	Nb	S	P
P1 – P6	Thermanit NiCro 82	0,016	0,8	3,14	20,6	72,4	-	0,05	-	0,332	0,002	2,53	0,002	0,005
P7 – P8	Metco 447 NS	-	-	-	-	89,5	5	-	5,5	-	-	-	-	-

Tabelul 5.8. Parametrii tehnologici folosiți la depunerea stratului de aderență.

Marcaj probe	P1 – P6
Material	Thermanit Nicro 82
Turație piesă, [rot/min]	200
Intensitatea arcului electric, [A]	160 – 180
Tensiunea arcului electric, [V]	35 – 36
Presiunea aerului comprimat, [bar]	3
Distanță pulverizare, [mm]	130 – 150
Înclinație pistol, [°]	max. 45
Temperatură strat, [°C]	80-100

Tabelul 5.9. Parametrii tehnologici folosiți la depunerea stratului de aderență.

Marcaj probe	P7 – P8
Material	Metco 447 NS
Turație piesă, [rot/min]	200
Intensitatea arcului electric, [A]	500
Tensiunea arcului electric, [V]	64...70
Setare fluometru, Ar / H ₂	80 / 15
Fluometru gaz purtător	37
Distanță pulverizare, [mm]	150
Înclinație pistol, [°]	max. 45
Temperatură strat, [°C]	80-100

Grosimea finală a stratului de aderență astfel depus este 0,05 – 0,1 mm.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

5.1.4. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică a probelor

Cercetările experimentale s-au efectuat pe probe care au fost obținute prin următoarele procedee de pulverizare termică:

- pulverizare termică cu arc electric;
- pulverizare termică cu flacără și sârmă;
- pulverizare termică cu flacără și pulbere;
- pulverizare termică cu plasmă și pulbere.

Toate depunerile prin pulverizare termică au fost realizate la firma *Plasma Jet s.r.l.* din București.

5.1.4.1. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică cu arc electric

Sursa termică este arcul electric stabilit între două sârme la o cădere de tensiune ce depășește 28 V. La o tensiune de 15 - 28 V se formează un arc electric instabil, întrerupt. La valori mari ale tensiunii arcul este continuu și stabil.

În pistol, unghiul dintre sârme este de 35 - 60°. La unghiuri ce depășesc 60° procesul de pulverizare devine instabil. La un regim de pulverizare reglat corect capătul anodului ia formă specifică formând picături de aliaj .

În cazul funcționării pistolului la curent continuu, sârma de la anod se topește cu 50% mai repede decât catodul (teoretic la anod se degajă 66% din energia termică a arcului).

Cea mai importantă problemă la pulverizarea cu arcul electric este reglarea corectă a curentului care permite egalizarea vitezei de alimentare a sârmei cu viteza de pulverizare și asigurarea astfel a unui arc lung și stabil.

În prezent se utilizează echipamente de metalizare cu arcul electric cu productivitate mult mai mare având posibilitatea de a depune până la 50 kg/h. De asemenea se utilizează depunerea prin metalizare cu arcul electric în atmosferă inertă de argon, ceea ce conduce la realizarea unui metal depus cu un grad scăzut de oxidare. [71, 75]

Pentru pulverizarea cu arc electric a fost utilizată o instalație de pulverizare de tip Sulzer Metco LCAE (fig. 5.4), iar pistolul de pulverizare a fost manual de tip LCAG (fig. 5.5). În figura 5.6 este redat modul de depunere prin pulverizare termică cu arc electric. Se remarcă modul de prindere a piesei în poziție verticală. Depunerea s-a efectuat manual de către operator, piesa fiind rotită cu 180° la întreruperea procesului de depunere. Astfel s-a urmărit obținerea unor grosimi de strat depus cât mai constante pe lungimea piesei.

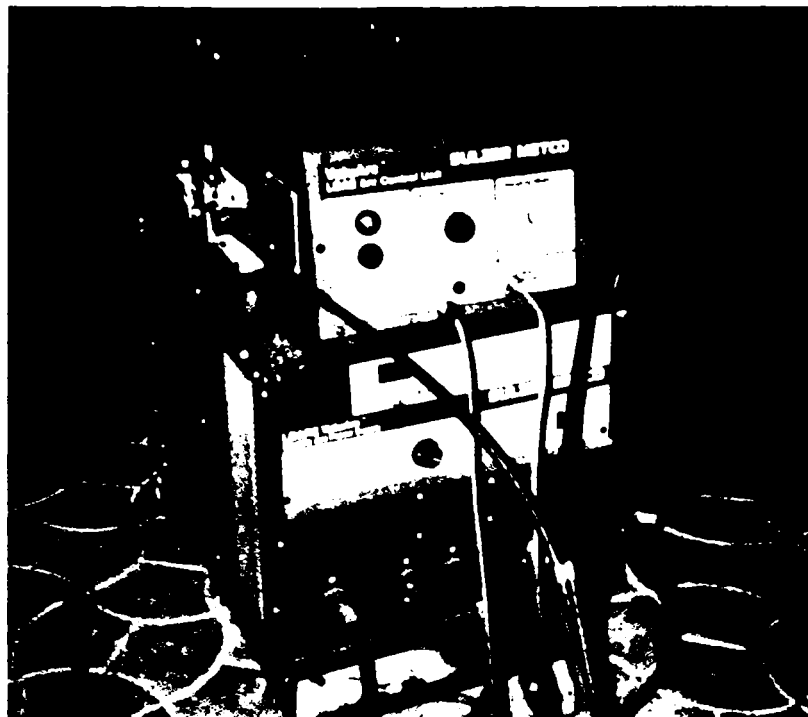


Fig. 5.4. Instalatie de pulverizare termică cu arc electric tip Sulzer Metco TC 41

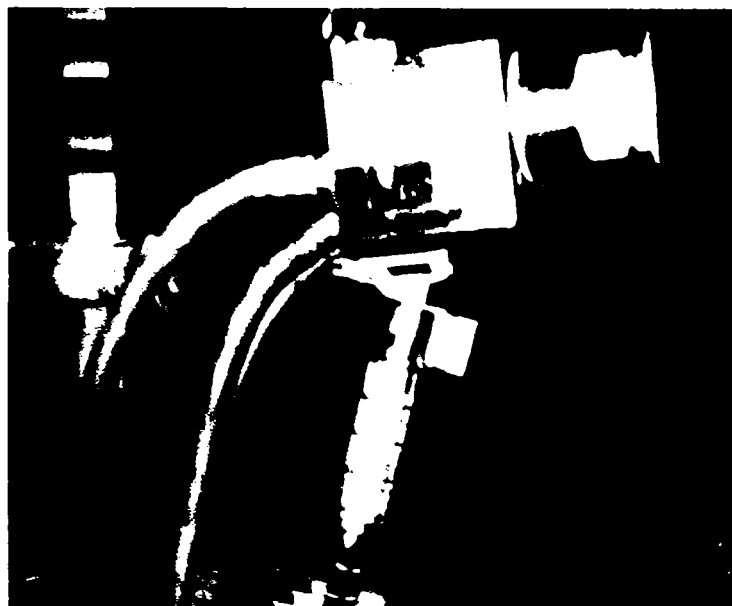


Fig. 5.5. Pistol de pulverizare termică cu arc electric tip Sulzer Metco TC 41



Fig. 5.6. Aspect din timpul procesului de pulverizare termică cu arc electric

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Materialele de adaos folosite pentru depunere și compozițiile lor chimice sunt prezentate în tabelul 5.10, iar în tabelul 5.11 parametrii tehnologici de depunere, recomandați de producătorul materialelor de adaos.

Tabelul 5.10. Materiale de adaos și compoziția lor chimică.

Marcaj probe	Tipul sârmei	Compoziția chimică, [%]	Diametrul sârmei, [mm]
P1	Metco Copper	Cu – 99,8	1,6
P2, P3	Sprabronze AA + Laromet	Cu – 90; Al – 9; Fe – 1 + Cu – 63; Zn – 37	1,6
P4	Laromet	Cu – 63; Zn – 37	1,6
P5	Sprabronze AA	Cu – 90; Al – 9; Fe – 1	1,6

Tabelul 5.11. Parametrii tehnologici de pulverizare termică cu arc electric.

Marcaj probe	Turație piesă, [rot/min]	Intensitatea arcului electric, [A]	Tensiunea arcului electric, [V]	Presiunea aerului comprimat, [bar]	Distanță pulverizare, [mm]	Înclinație pistol, [°]	Temperatură strat, [°C]
P1	200	200	26 – 30	2,4	110 – 130	max. 45	80 – 100
P2	200	200	35 – 36	2,4	100 – 120	max. 45	80 – 100
P3	200	200	28 – 32	2,4	130 – 150	max. 45	80 – 100
P4	200	200	35 – 36	2,4	130 – 150	max. 45	80 – 100
P5	200	200	28 – 32	2,4	130 – 150	max. 45	80 – 100

Realizarea grosimii finale a straturilor depuse s-a obținut după un număr de trei treceri. Grosimile finale ale straturilor sunt prezentate în tabelul 5.12, ele fiind variabile de-a lungul piesei.

Tabelul 5.12. Grosimea straturilor depuse prin pulverizare termică cu arc electric.

Marcaj probe	Grosime strat, [mm]
P1	1,2
P2	1,2
P3	1,0
P4	1,5
P5	1,5

În figurile 5.7 – 5.11 sunt prezentate aspectul pieselor după depunerea prin pulverizare cu arc electric.



Fig. 5.7. Aspectul final al probei P1, material depus - cupru.



Fig. 5.8. Aspectul final al probei P2, material depus - bronz de aluminiu și alamă.



Fig. 5.9. Aspectul final al probei P3, material depus - bronz de aluminiu și alamă.



Fig. 5.10. Aspectul final al probei P4, material depus - alama.



Fig. 5.11. Aspectul final al probei P5, material depus - bronz de aluminiu.

5.1.4.2. Cercetări experimentale privind pulverizarea termică cu flacără și sârmă

Metalizarea prin pulverizare cu flacără și sârmă are cea mai largă răspândire industrială.

Principalele recomandări tehnologice se referă la:

- Înainte de începerea operației de metalizare se va verifica suprafața de depunere și dacă se vor constata zone sablate necorespunzător, pete de umezeală, pelicule de oxizi sau alte impurități este necesară o nouă sablare și degresare. Primul strat se va realiza la maxim 3 – 4 ore după sablare;
- Distanța de pulverizare în timpul procesului (distanța de la pistolul de pulverizare la suprafața de metalizat) este de 75 - 250 mm. La alegerea distanței de pulverizare se va ține seama de dimensiunile piesei de metalizat, de felul materialului de adaos etc. La o distanță de pulverizare prea mică se produce supraîncălzirea suprafeței peste

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

200°C, ceea ce conduce la exfolieri și arderea metalului depus. O distanță de pulverizare prea mare conduce la creșterea porozității și la scăderea aderenței prin înglobarea în metalul depus a unei mari cantități de particule reci;

- Cea mai bună calitate a depunerii se va obține când jetul de metal pulverizat este proiectat perpendicular pe suprafața de pulverizat. La depășirea unghiului de 45° față de suprafață se obține o depunere necorespunzătoare cu aderență scăzută și porozitate accentuată prin așa-numitul efect de umbră;
- Pe părțile laterale ale adânciturilor sau canalelor prelucrate pe suprafața piesei, pentru creșterea aderenței stratului metalizat, nu se face depunerea perpendicular pe suprafață, ci la un unghi de la 30° la 60° ;
- Pentru fiecare material producătorul sau utilizatorul va stabili o viteză optimă de pulverizare;
- De asemenea se va verifica dacă aerul comprimat este uscat și are presiunea și debitul necesar;
- Aprinderea flăcării la pistol și reglarea parametrilor de lucru se vor face la distanță de suprafața de pulverizat;
- La viteze mici de alimentare dimensiunile particulelor pulverizate se micșorează și se răcesc rapid pe traiectul de la pistol la piesa de pulverizat. Ca urmare aderența metalului depus va fi redusă. La viteze mari de alimentare cu sârmă, crește lungimea sârmei ce se topește instantaneu, ducând la oxidarea particulelor de metal topit, formarea de particule mari, scăderea calității depunerii. [71, 75]

Pentru efectuarea probelor experimentale a fost utilizat pistolul de pulverizare de tipul Metco 10E (fig. 5.12).

Materialul de adaos folosit, compoziția lui chimică și parametrii regimului de pulverizare termică recomandați de producătorul sârmei sunt prezentați în tabelele 5.13, respectiv 5.14.

Tabelul 5.13. Compoziția chimică a materialului de adaos utilizat la pulverizarea cu flacără și sârmă.

Marcaj probă	Tipul sârmei	Compoziția chimică, [%]				Diametrul sârmei, [mm]
		Sn	Sb	Cu	Pb	
P6	Sprababbitt A	87,75	7,5	3,5	0,25	3,2

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Tablă 5.14. Parametrii regimului de depunere prin pulverizare termică cu flacără și sârmă

Marcaj probă	Turație piesă. [rot/min]	Distanță pulverizare. [mm]	Presiunea oxigenului și acetilenei. [bar]	Viteză avans sârmă. [cm/s]	Presiunea aerului comprimat. [bar]	Înclinație pistol. [°]	Temperatură strat. [°C]
P6	200	100 – 120	2	2	3.65	max. 45	80 – 100



Fig. 5.12. Pistol de pulverizare cu flacără și sârmă, tip Metco 10F

Grosimea finală a stratului a fost obținută după un număr de patru treceri și este de 3 mm. Ea este variabilă de-a lungul piesei.

Aspectul final al probei este prezentat în figura 5.13.

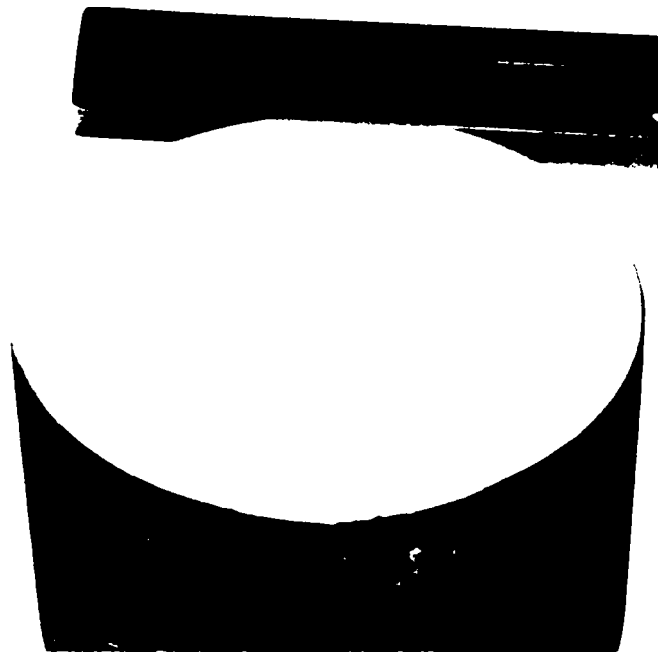


Fig. 5.13 Aspectul final al probei P.6, material de tip babbit.

5.1.4.3. Cercetări experimentale privind pulverizarea cu flacără și pulbere

Instalația utilizată pentru pulverizare împreună cu pistolul de pulverizare este prezentată în figura 5.14. Materialul de adaos folosit, compoziția lui chimică și parametrii tehnologici folosiți sunt prezentați în tabelele 5.15, respectiv 5.16.



Fig. 5.14 Instalație de pulverizare termică cu flacără și pulbere

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

Tabelul 5.15. Compoziția chimică a materialului de adaos utilizat la pulverizarea cu flacără și pulbere

Marcaj probă	Tipul pulberii	Compoziția chimică, [%]			Granulație, [μm]
		Cu	Al	Fe	
P7	Metco 51 NS	89,5	9,5	1,0	-125+45

Tabelul 5.16. Parametrii regimului de depunere prin pulverizare termică cu flacără și pulbere.

Marcaj probă	Turație piesă, [rot/min]	Distanță pulverizare, [mm]	Presiunea oxigenului, [bar]	Presiunea acetilenei, [bar]	Înclinație pistol, [°]	Temperatură strat, [°C]
P7	200	130 – 180	1,86	1,03	max. 45	80 – 100

Grosimea finală a stratului a fost obținută din două treceri și este de 0,6 mm. Ea este variabilă de-a lungul piesei.

Aspectul final al probei este prezentat în figura 5.15.

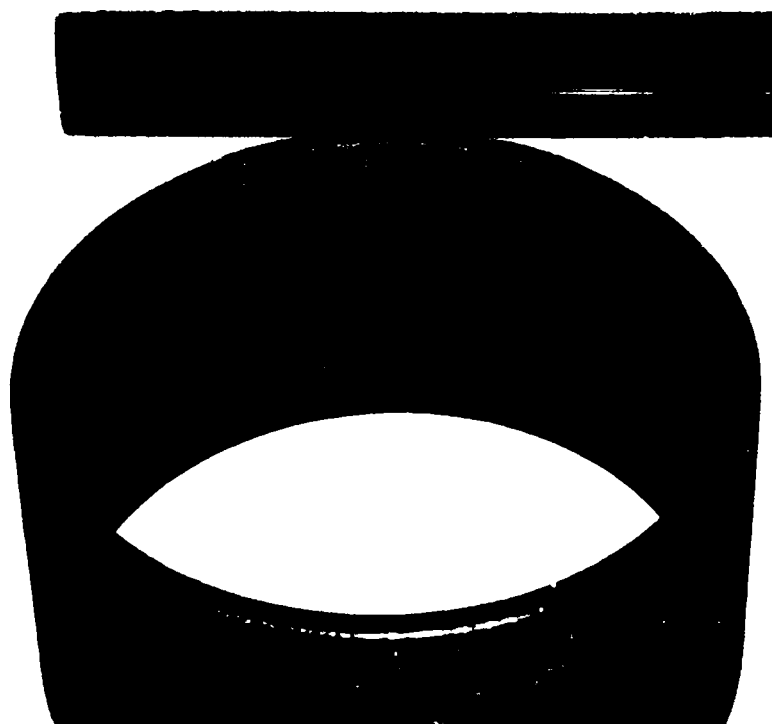


Fig. 5.15. Aspectul final al probei P 7, material depus – bronz de aluminiu.

5.1.4.4. Cercetări experimentale privind pulverizarea cu plasmă și pulbere

Instalația utilizată este de tipul Metco 7MC (80 KW), iar pistolul de tipul Metco 7 MP (figura 5.16, respectiv 5.17). Materialul de adaos folosit, compoziția lui chimică și parametrii tehnologici folosiți sunt prezentați în tabelele 5.17, respectiv 5.18.

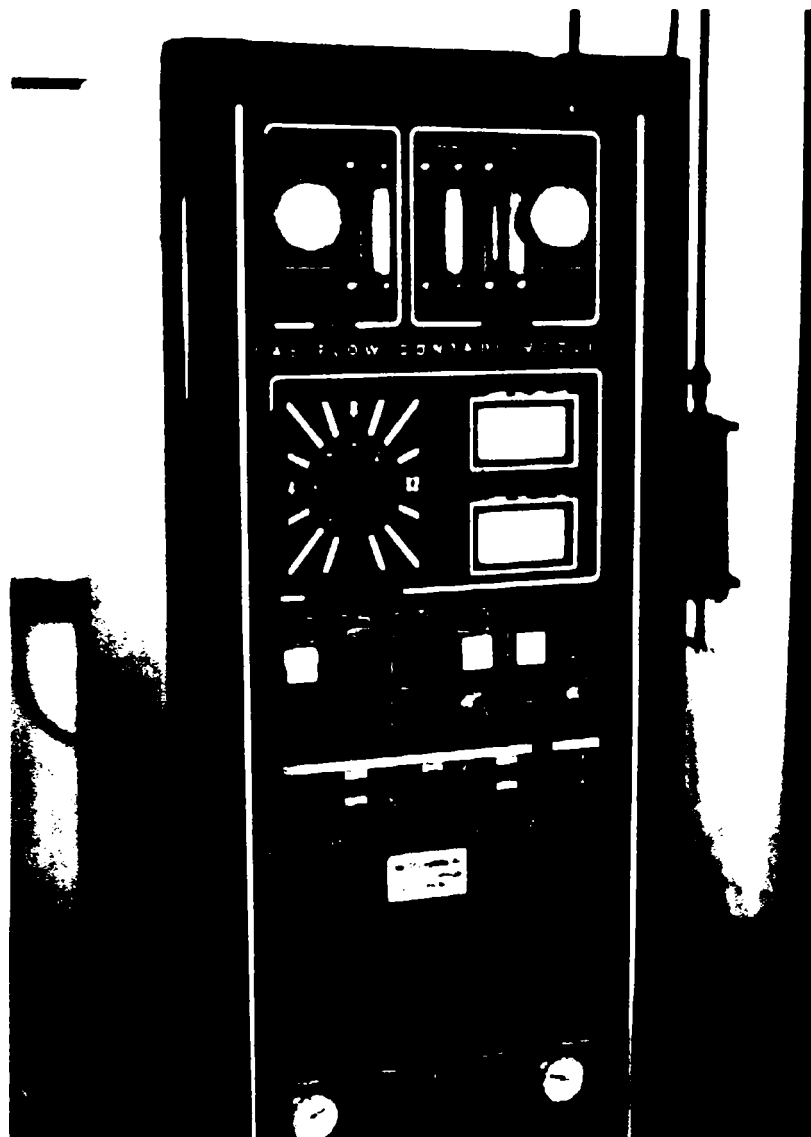


Fig. 5.16. Instalatiile de pulverizare termică cu plasma, tip Metco 7-MC



Fig. 5.17. Pistol de pulverizare termică cu plasmă, tip Metco 7-MP

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Tabloul 5.17. Compoziția chimică a materialului de adaos utilizat la pulverizarea cu plasmă

Marcaj probă	Tipul pulberii	Compoziția chimică, [%]			Granulație, [μm]
		Cu	Al	Fe	
P8	Metco 51 F – NS	89,5	9,5	1,0	-53+11

Tabloul 5.18. Parametrii regimului de depunere prin pulverizare termică cu plasmă.

Marcaj probă	P8
Turație piesă, [rot/min]	200
Distanță pulverizare, [mm]	130 – 150
Fluometru Ar	150
Fluometru H ₂	5
Fluometru gaz purtător	37
Intensitatea arcului de plasmă, [A]	500
Tensiunea arcului de plasmă, [V]	60... 70
Înclinație pistol, [°]	max. 45
Temperatură strat, [°C]	80...100

Grosimea finală a stratului a fost obținută din trei treceri și este de 0,9 mm. Ea este variabilă de-a lungul piesei.

Aspectul final al probei este prezentat în figura 5.18.



Fig. 5.18. Aspectul final al probei P 8, material depus – bronz de aluminiu.

5.2. Investigarea calității probelor experimentale

5.2.1. Analize microscopice

Probele realizate prin pulverizare termică cu diverse procedee au fost analizate microscopic urmărindu-se evidențierea calității depunerilor din punctul de vedere al aderenței straturilor la substrat, al repartiției elementelor chimice, al volumului de oxizi din strat și al porozității straturilor.

Din probele obținute prin pulverizare termică au fost prelucrate probe pentru analizele microscopice. Din fiecare probă au fost debitate epruvete metalografice astfel încât analizele să se poată efectua în două secțiuni diferite: una longitudinală și una transversală față de axa piesei.

Aspectul acestor epruvete metalografice este prezentat în figura 5.19.

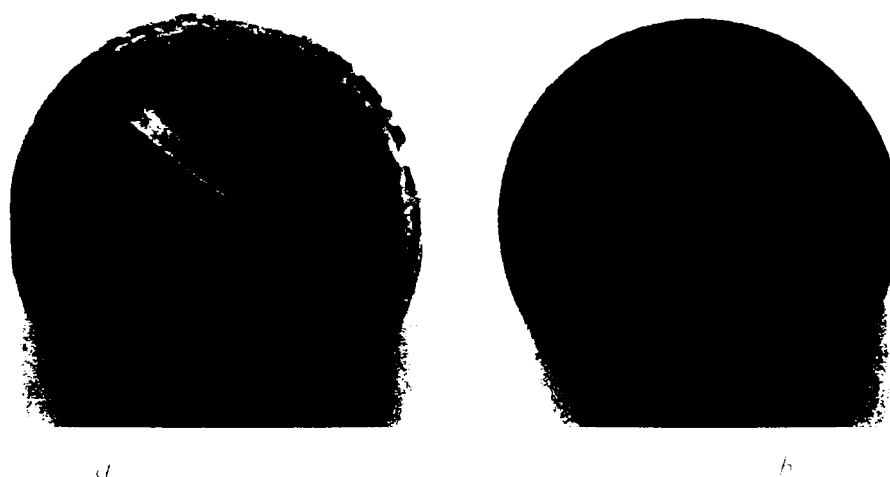


Fig. 5.19 Epruvete metalografice pentru analiza microscopică
a – secțiune transversală, b – secțiune longitudinală

Investigațiile microscopice au fost efectuate la „Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes” din Saarbrücken, în laboratorul de specialitate cu ajutorul unui microscop electronic cu baleiaj pentru epruvetele metalografice prelevate din probele P2 și P6 (proba netratată termic), respectiv pentru celelalte probe, respectiv P1, P3, P4, P5, P6 (tratată termic), P7 și P8 au fost efectuate la Universitatea „Politehnica” București, cu ajutorul unui microscop electronic cu baleiaj.

Epruvetele au fost prelucrate metalografic în vederea investigării microscopice în cadrul acelorași laboratoare.

Au fost preluate imagini după două tehnici:

- Tehnica BES (backscattered electron) – electroni retrodifuzăți. La această metodă luminozitatea suprafețelor este o măsură directă a greutateii atomice a elementelor.

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Acest fapt se poate interpreta astfel: elementele mai grele produc mai mulți electroni, deci zonele respective vor fi mai luminoase:

➤ *Tehnica SEI (secondary electron image)* – electroni secundari.

5.2.1.1. Analiza microscopică a probei P1, material depus cupru

În figurile 5.20 și 5.21 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului de aderență. Aceste analize au evidențiat prezența elementelor chimice din sârma cu care s-a realizat depunerea stratului și prezența oxizilor.

Analiza prezentată în figura 5.20 indică prezența principalelor elemente chimice din sârma utilizată la depunerea stratului de aderență, respectiv Cr și Ni, în proporții foarte apropiate de valorile inițiale din sârmă.

Analiza prezentată în figura 5.21 evidențiază din punct de vedere cantitativ participarea elementelor prezente în sârma utilizată la depunerea stratului de aderență la formarea oxizilor complecși.

În figurile 5.22 și 5.23 sunt prezentate analizele cantitative ale stratului depus prin pulverizare termică cu arc electric, materialul de adaos fiind cuprul.

Figura 5.22 prezintă analiza chimică cantitativă a matricei metalice de bază, cuprul fiind singurul element chimic prezent în sârma cu care s-a realizat depunerea stratului. Figura 5.23 prezintă o incluziune accidentală.

De asemenea, din figurile inserate în anexa 1 (fig. A 1.1), se observă prezența oxizilor în stratul depus într-un număr mult mai redus decât la nivelul stratului de aderență, legătura bună realizată la nivelul straturilor și prezența porilor.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.24 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 457,73 μm, numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute pentru această analiză sunt prezentate în tabelul A 1.1 din anexa 1. Aceste valori au fost prelucrate cu ajutorul softului *Microsoft Excel*, rezultând diagramele din figurile 5.25 – 5.30.

Aceste diagrame reprezintă curbele de variație a distribuției elementelor chimice evidențiate în urma analizei efectuate. Softul utilizat permite trasarea unei curbe care reprezintă media aritmetică a valorilor din tabel pentru un număr de 15 puncte consecutive.

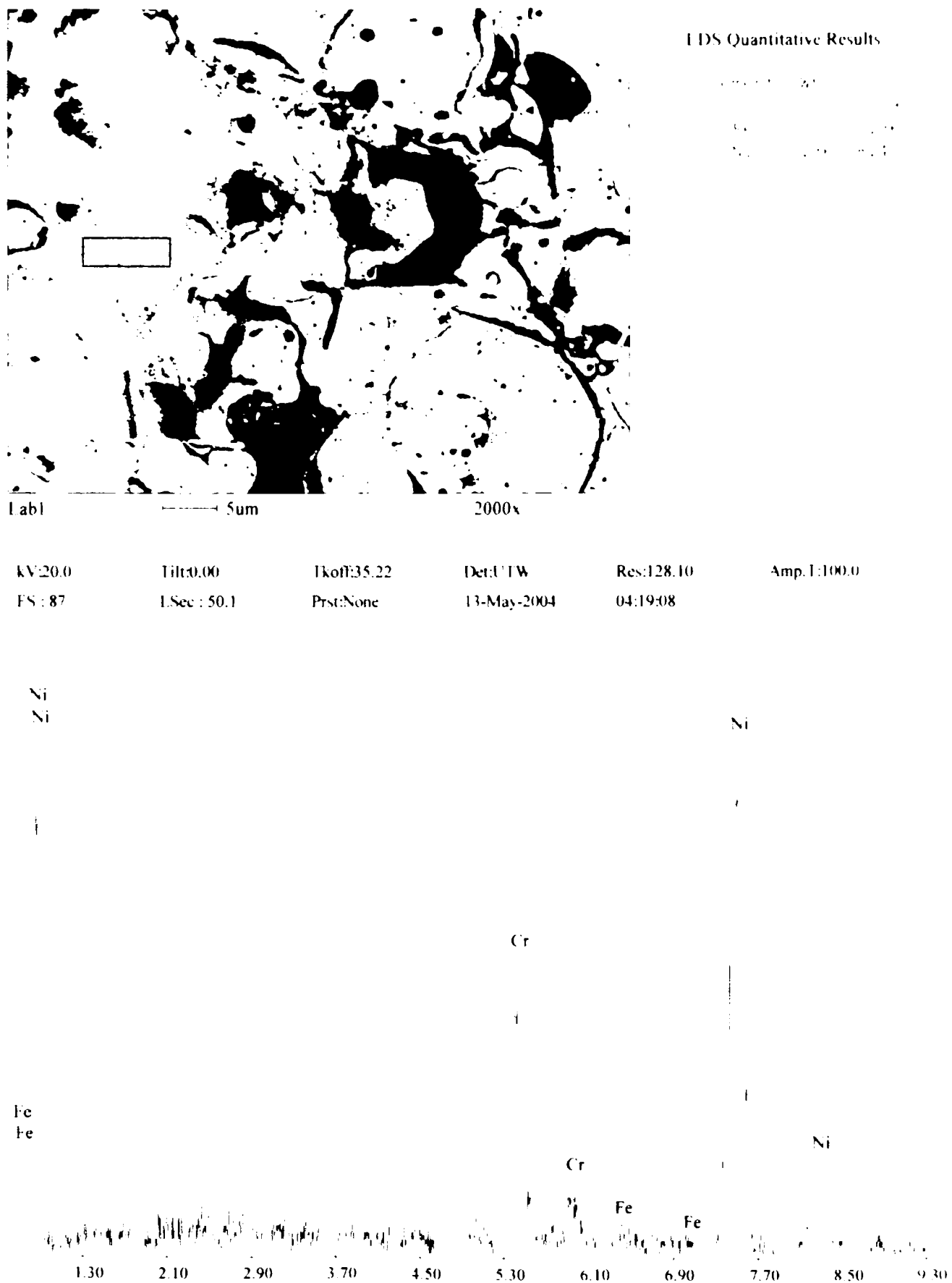


Fig. 5.20 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P1 – matrice de bază

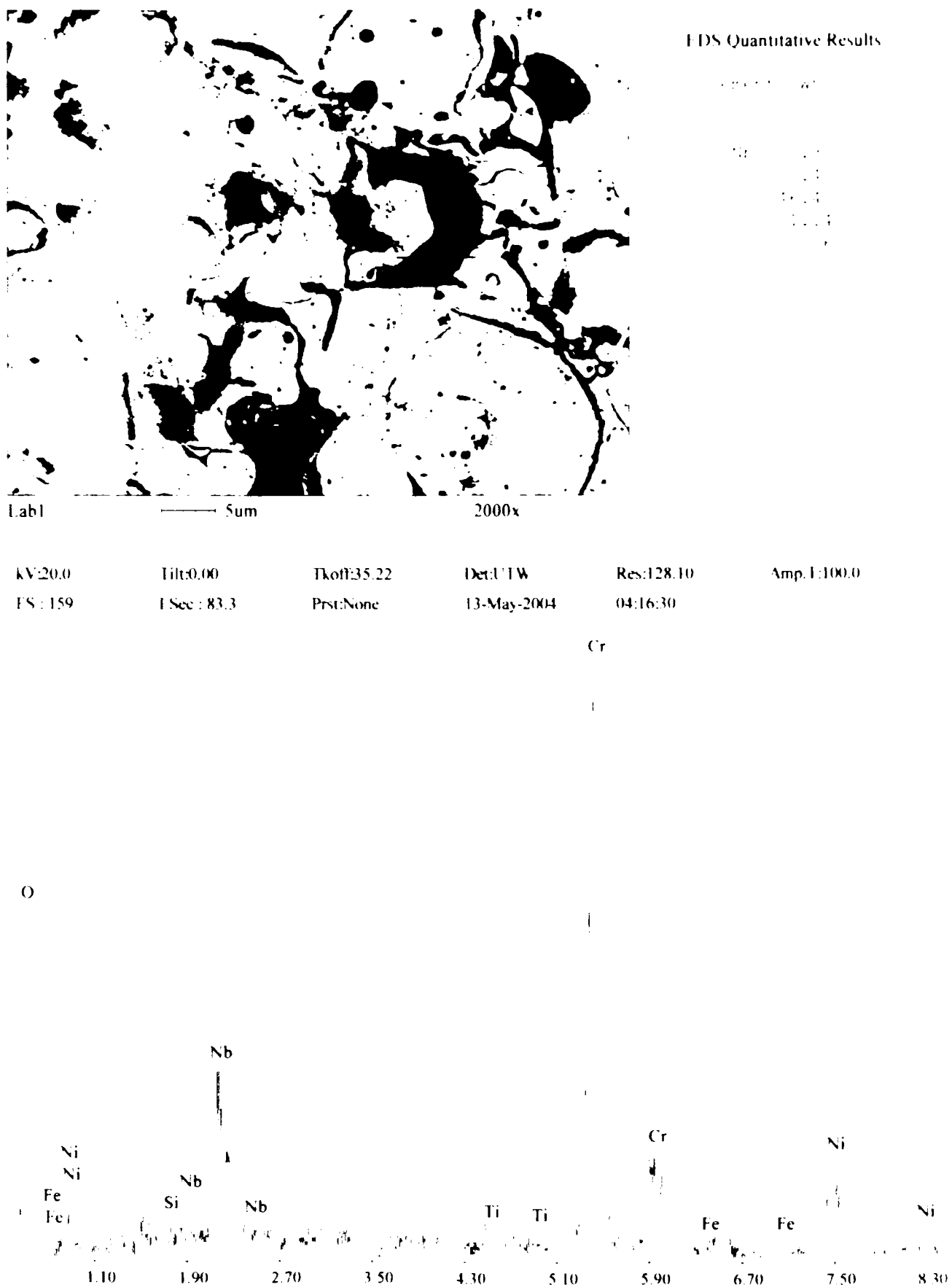
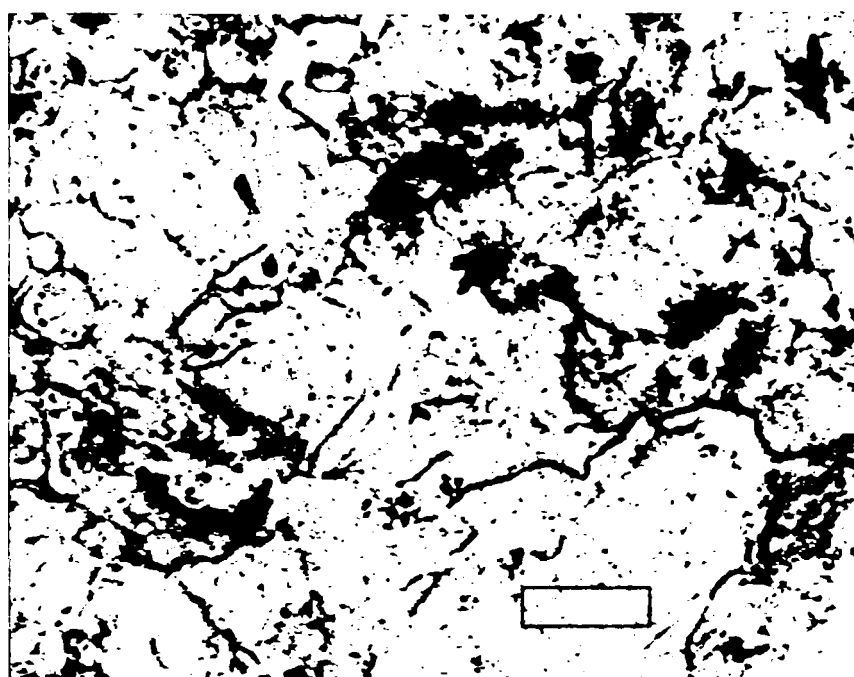


Fig. 5.21 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P1 - oxizi



EDS Quantitative Results

Element	Wt. %	At. %
Cu	100.00	100.00

Lab1 5um 2000x

kV:20.0	Tilt:0.00	Tkoff:35.22	Det:UTW	Res:128.10	Amp.T:100.0
FS : 172	LSec : 33.0	Prst:None	13-May-2004	04:23:05	

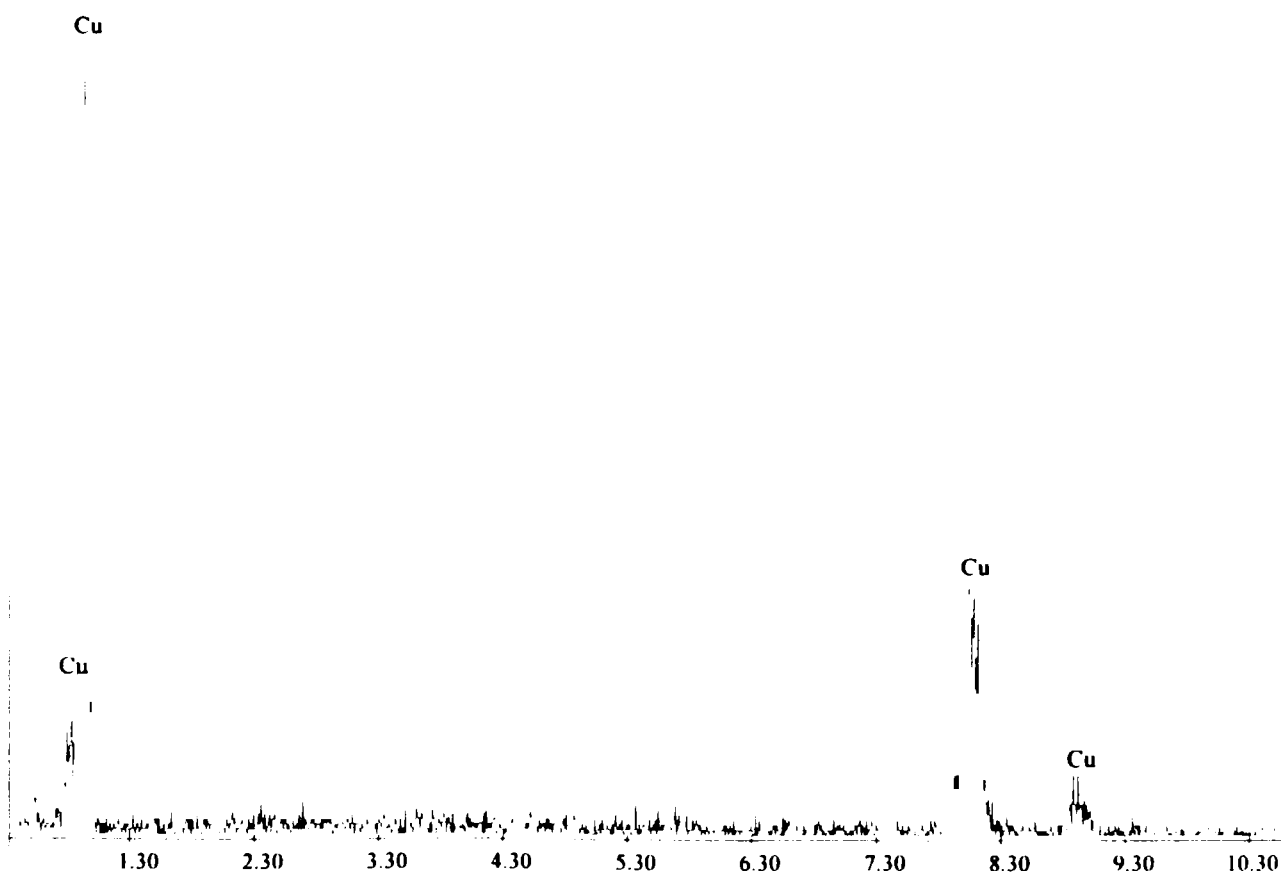
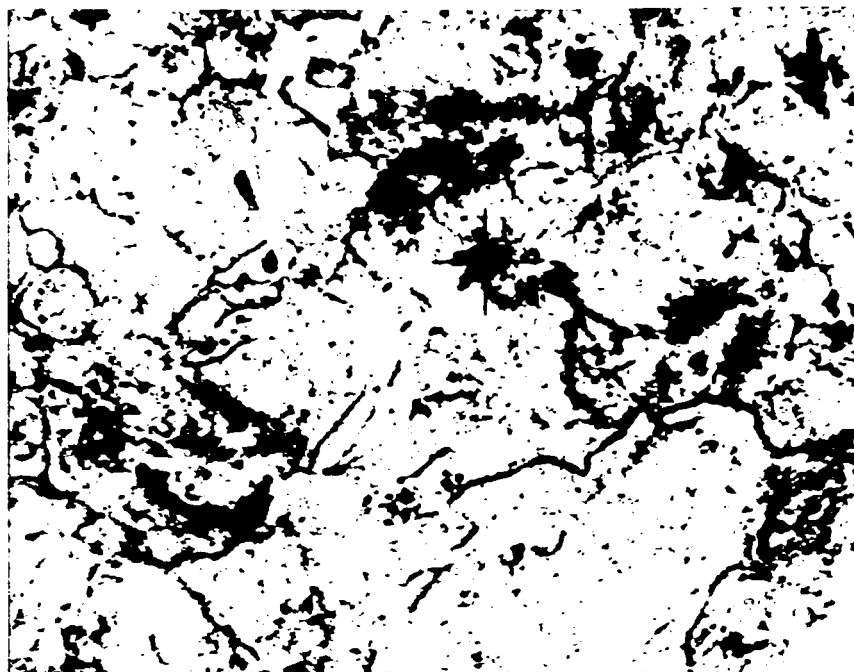


Fig. 5.22. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de suprafață pentru proba P1 - matrice de bază.



EDS Quantitative Results

Element	Wt%	At%
Si	31.93	51.48
Cu	68.07	48.52

Lab1 5um 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.22 Det:UTW Res:128.10 Amp.T:100.0
FS : 129 LSec : 44.8 Prst:None 13-May-2004 04:25:05

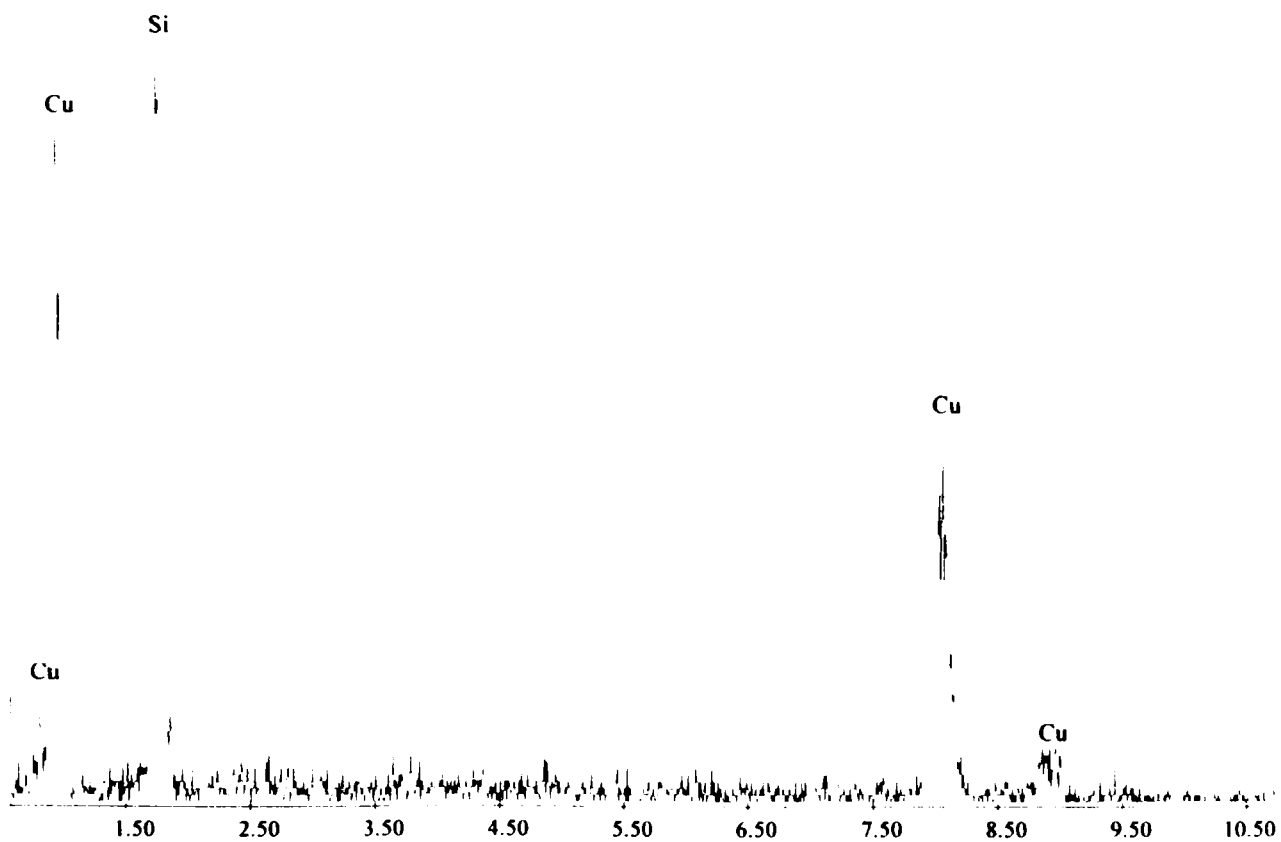


Fig. 5.23. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P1 - incluziune.

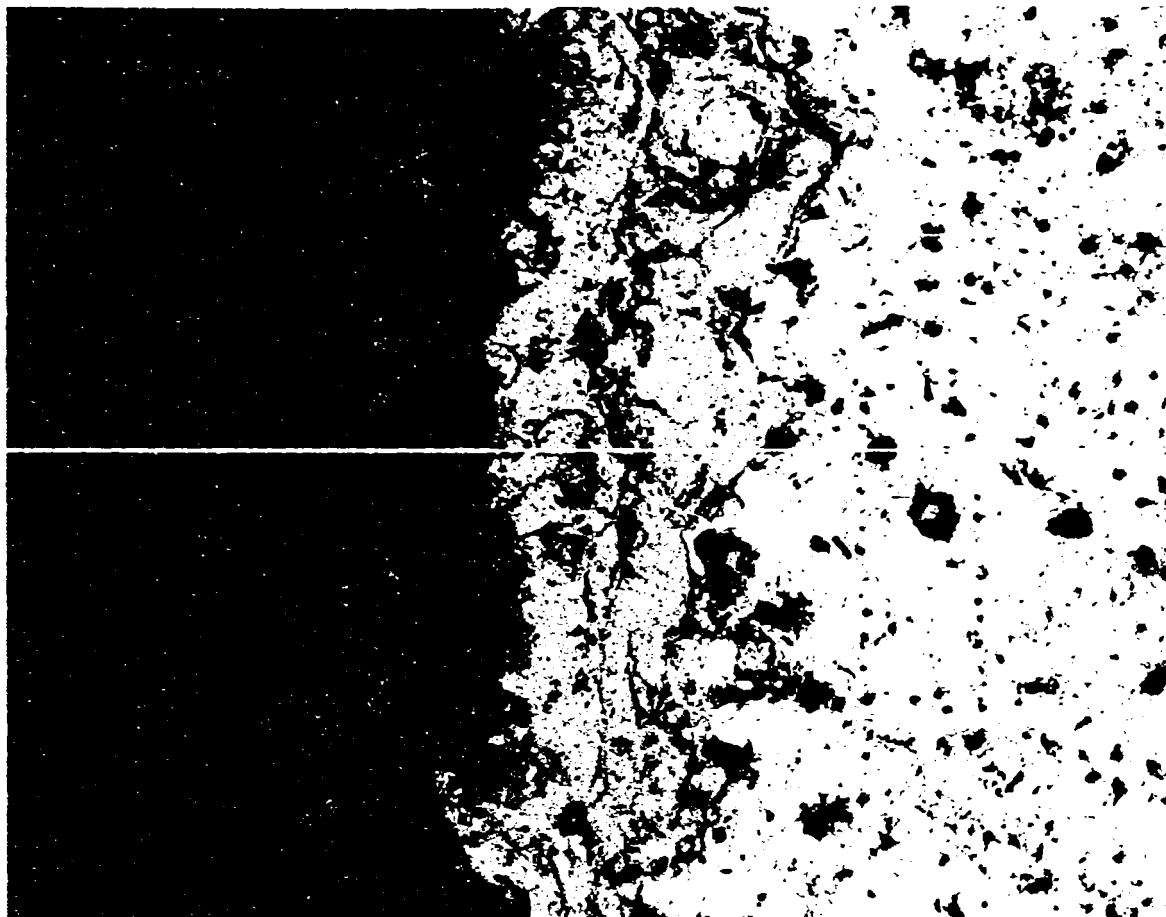


Fig. 5.24. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba P1. 250x.

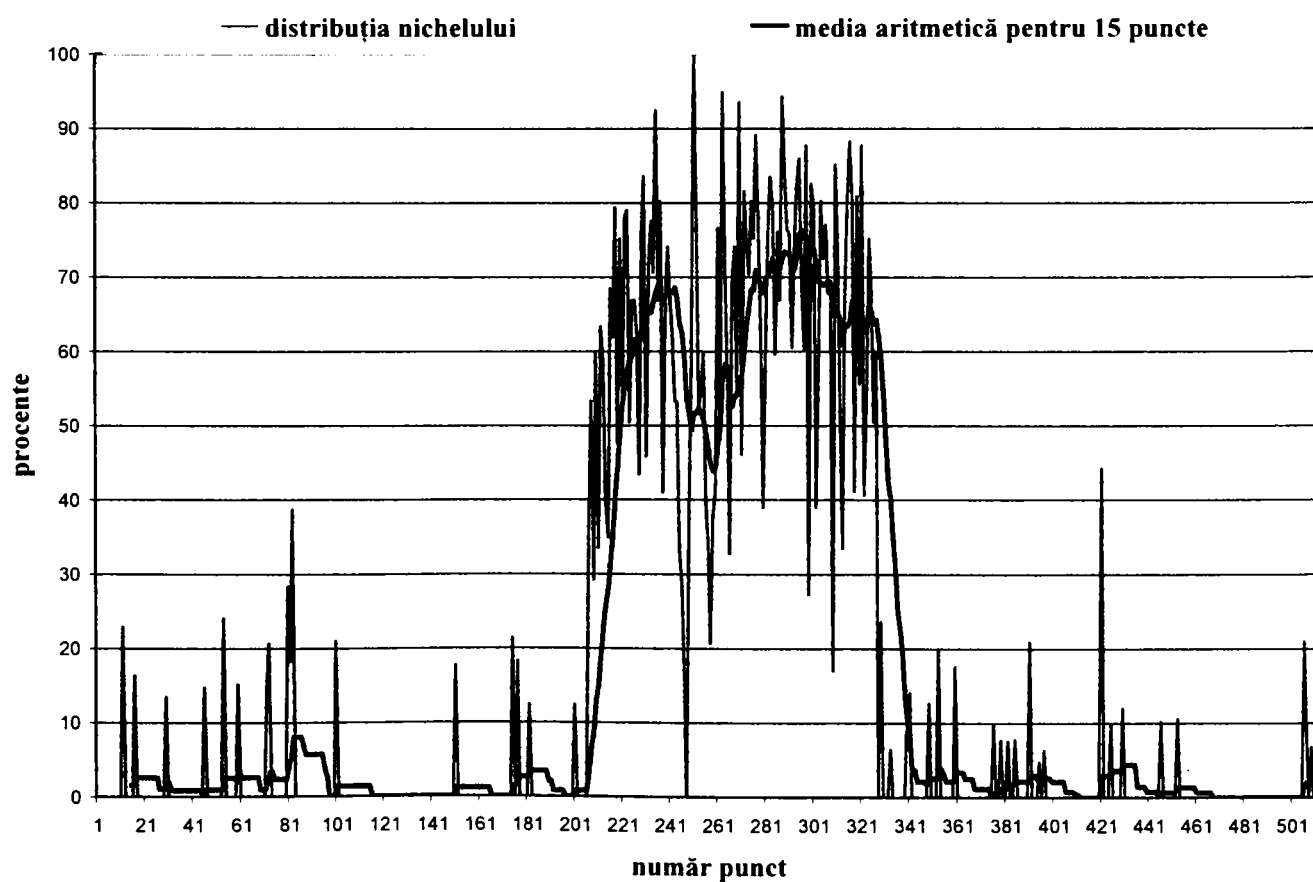


Fig. 5.25. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P1.

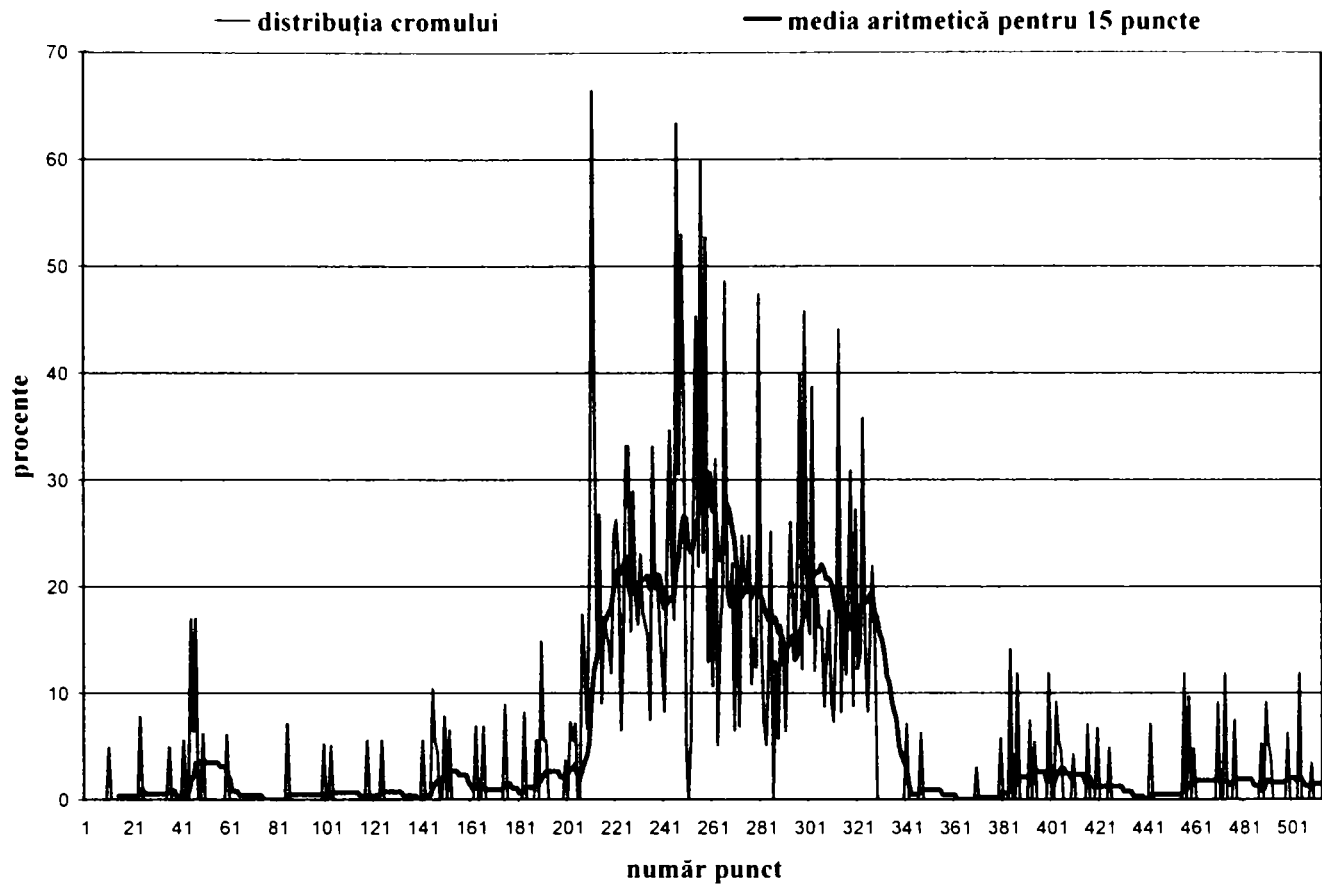


Fig. 5.26. Distribuția cromului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P1

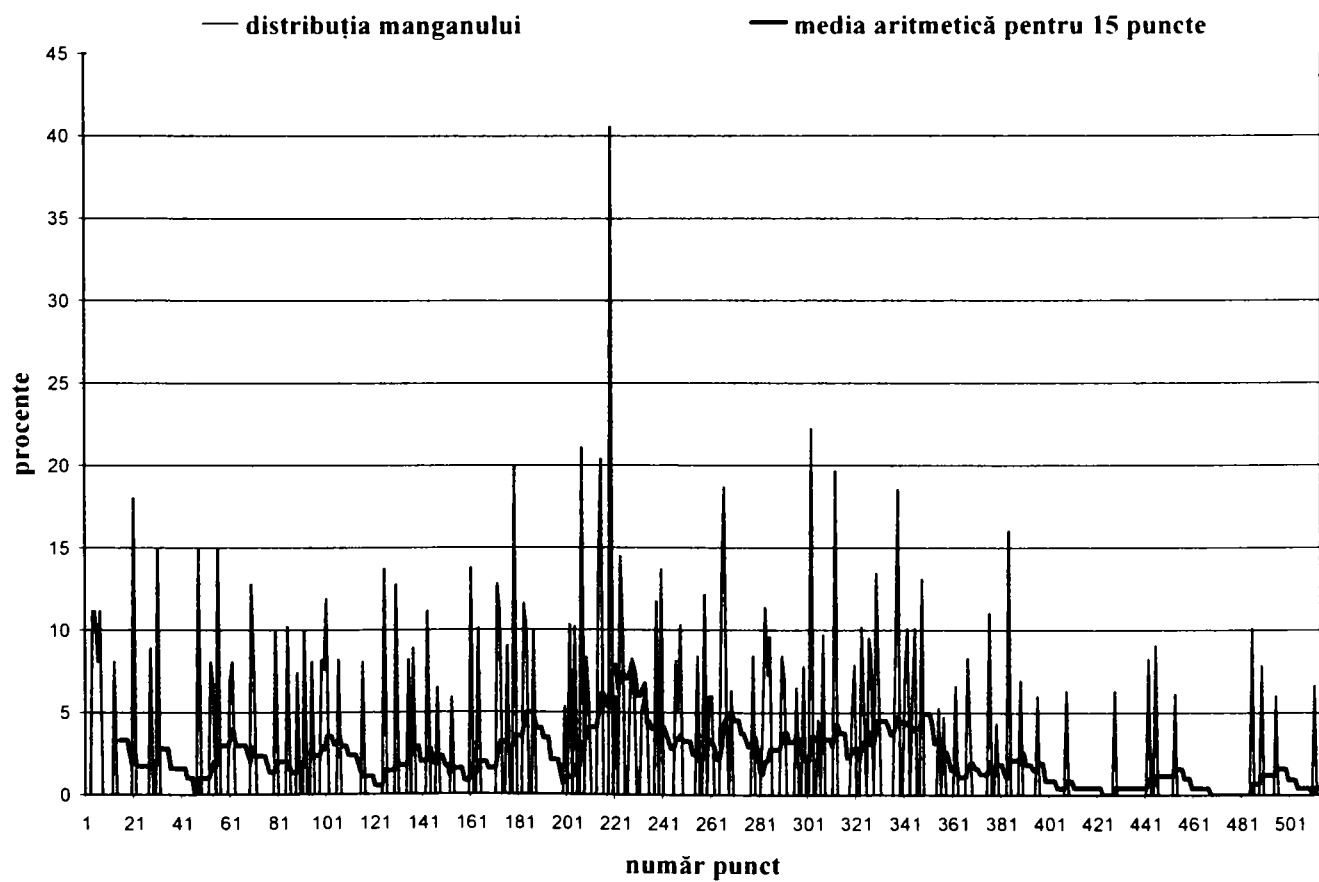


Fig. 5.27. Distribuția manganului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P1.

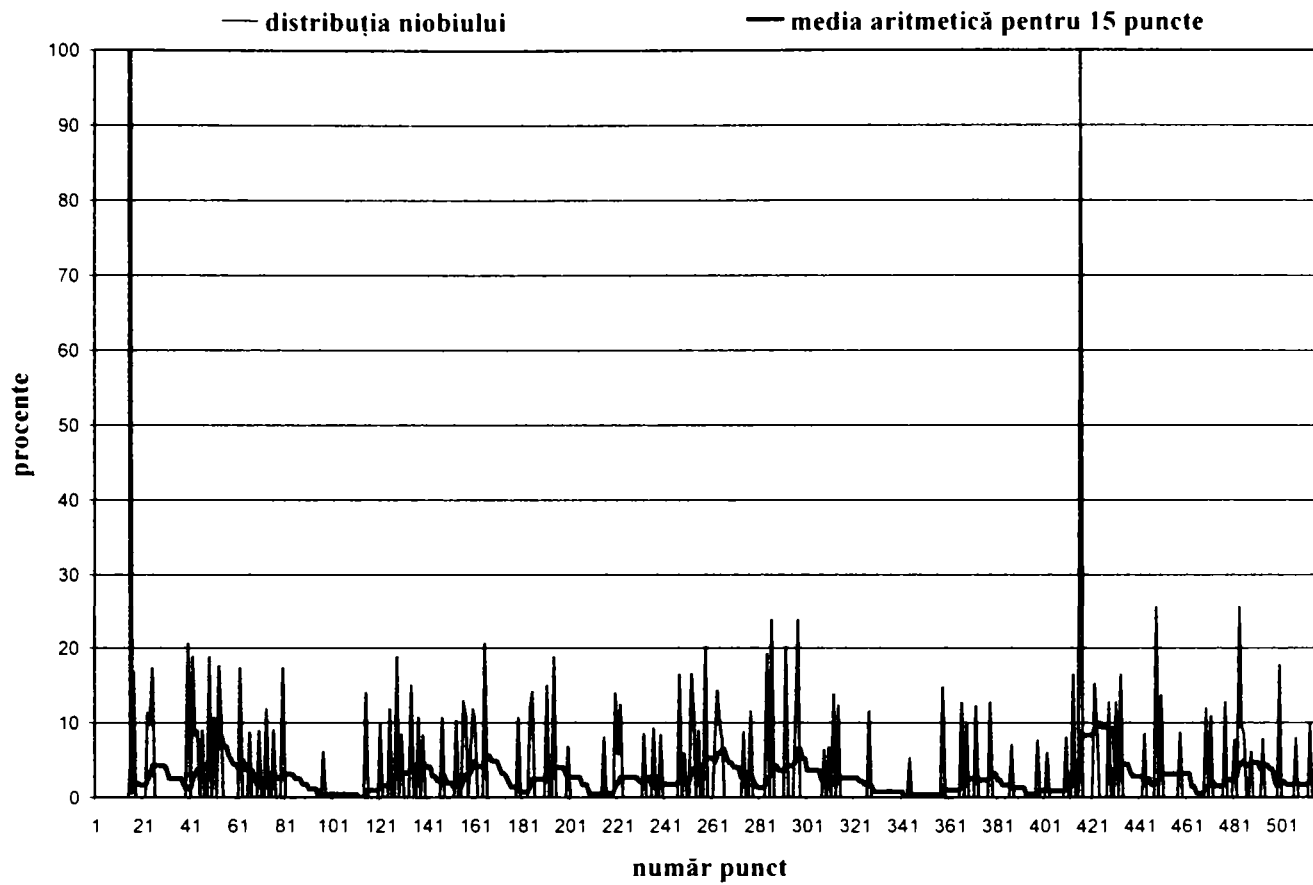


Fig. 5.28. Distribuția niobiului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P1

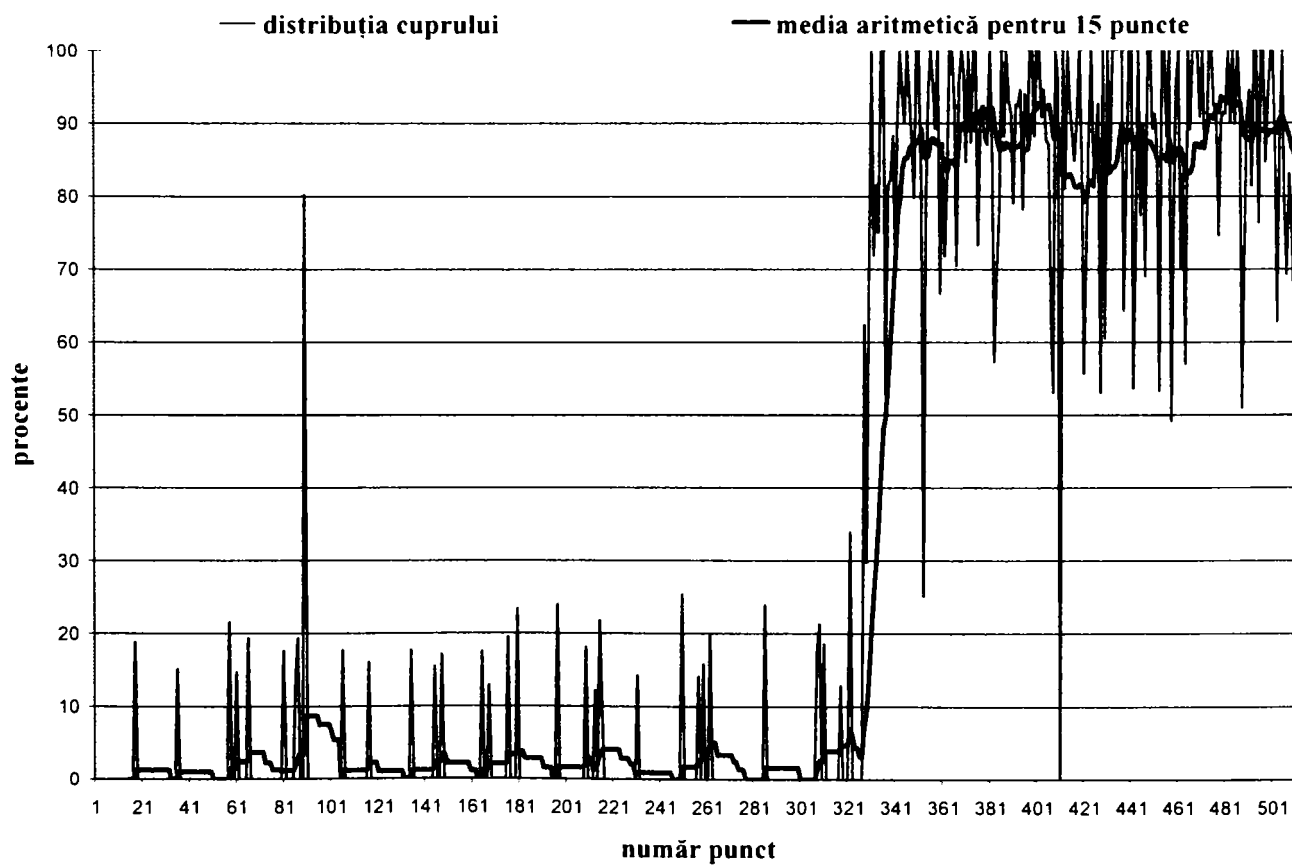


Fig. 5.29. Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P1.

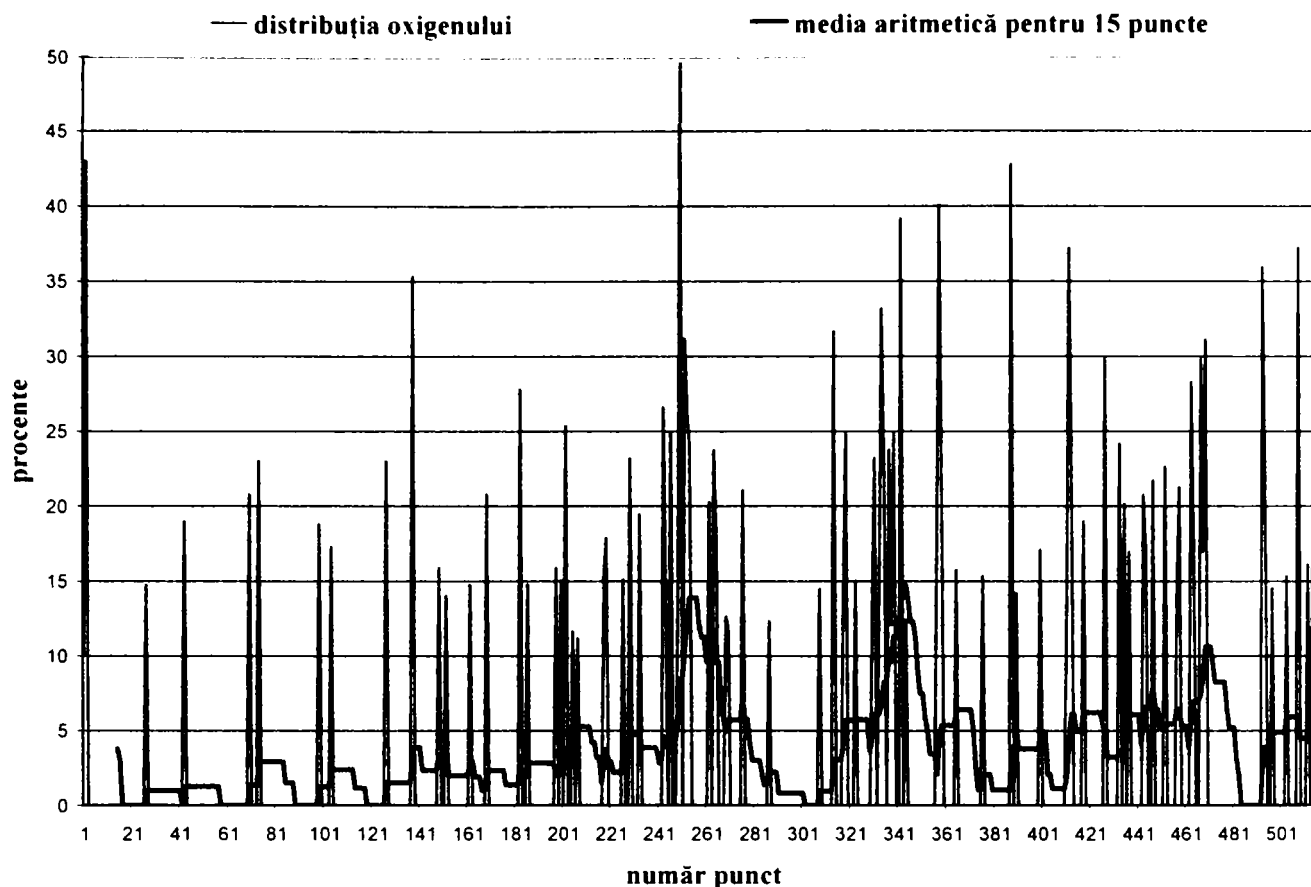


Fig. 5.30. Distribuția oxigenului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P1

5.2.1.2. Analiza microscopică a probei P2, material depus – bronz de aluminiu și alamă

În figura 5.31 este prezentată imaginea microscopică preluată de la proba P2. Rezultatele analizei spectrale sunt sintetizate în tabelul 5.19, valorile fiind exprimate în procente de greutate.

Tabelul 5.19. Rezultatele analizei spectrale a probei P2

Nr. spectru	O	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Nb
10_01	2,04	-	-	-	18,73	1,26	1,09	74,81	-	-	2,08
10_02	25,58	-	-	0,98	44,35	2,36	-	18,64	-	-	8,09
10_03	2,05	0,69	-	-	-	-	-	-	68,51	28,76	-
10_04	46,65	40,48	-	-	-	-	-	-	13,88	-	-
10_05	0,85	7,54	-	-	-	-	-	-	91,61	-	-
10_06	-	-	0,67	-	0,63	1,49	97,21	-	-	-	-

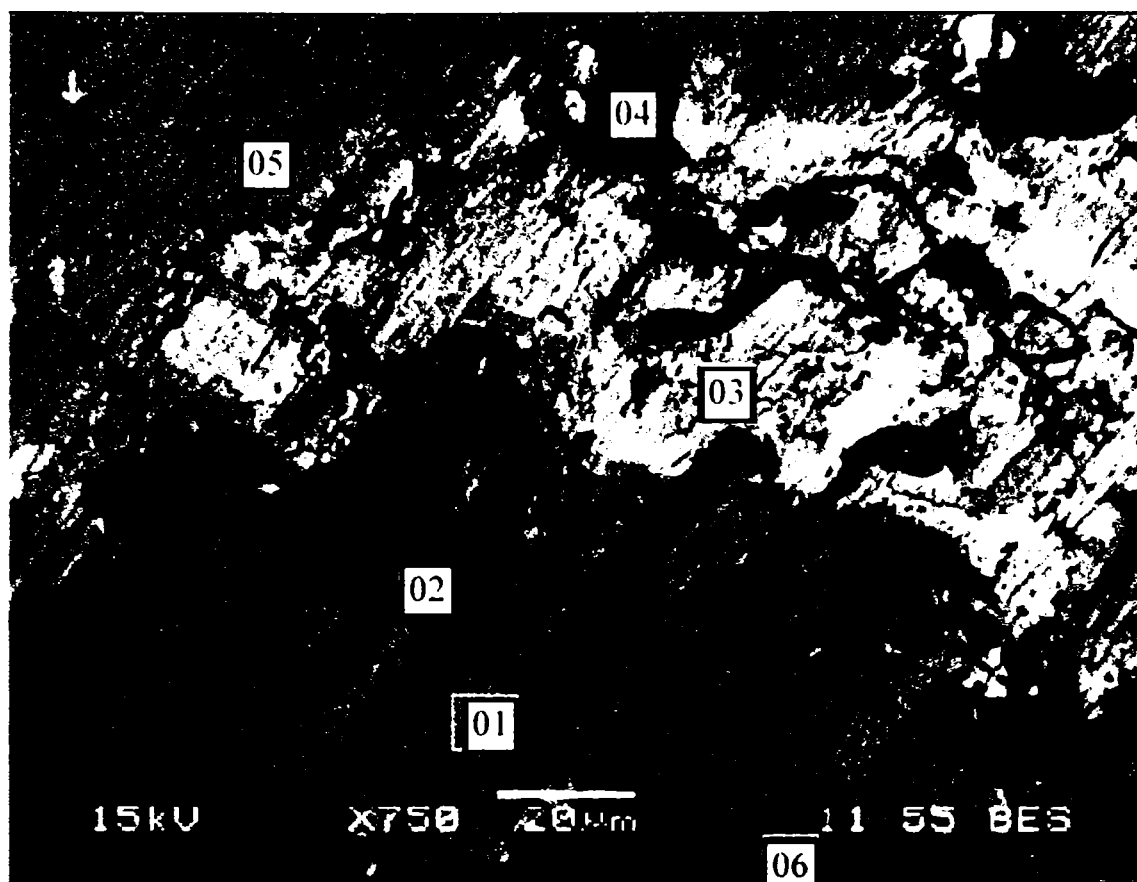


Fig. 5.31. Microstructura probei P2 pulverizată termic cu arc electric, materialele de adaos folosite fiind bronzul de aluminiu și alama.

Analiza spectrală realizată relevă următoarele aspecte:

- Spectrul 01 și 02 reprezintă stratul de aderență. Compoziția chimică a spectrului 01 diferă foarte puțin de compoziția chimică inițială a sârmei folosite. În spectrul 02 prezența oxizilor este pronunțată, cauza fiind răcirea probei după depunerea stratului de aderență înaintea începerii depunerii finale. Se remarcă o creștere pronunțată în procente a Nb și Cr, ca urmare a formării oxizilor acestor elemente. De asemenea se observă un volum mai mare de oxizi la limita substrat – strat. Aderența stratului la substrat este foarte bună, la limita acestora observându-se lipsa discontinuităților;
- Spectrul 03 reprezintă compoziția chimică a alamei folosite la pulverizare. Prezența oxigenului este foarte redusă, iar față de conținutul inițial zincul este mai puțin prezent. Reducerea procentuală a zincului este de aproximativ 22%. Nu se observă discontinuități la interfața stratului cu stratul de aderență ceea ce permite concluzia că aderența este foarte bună;
- Spectrul 04 indică o zonă cu oxizi de Al și Cu;

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

- Spectrul 05 reprezintă compoziția chimică a bronzului de aluminiu folosit la pulverizare. Prezența oxizilor este nesemnificativă. Se remarcă legătura foarte bună între cele două straturi de materiale;
- Spectrul 06 reprezintă practic materialul substratului.

Pentru a elimina eventualele influențe ale stratului de aderență s-a efectuat o analiză a acestei probe în mijlocul stratului depus, figura 5.32 prezentând microstructura acestei zone. Rezultatele analizei spectrale sunt sintetizate în tabelul 5.20 valorile fiind exprimate în procente de greutate.

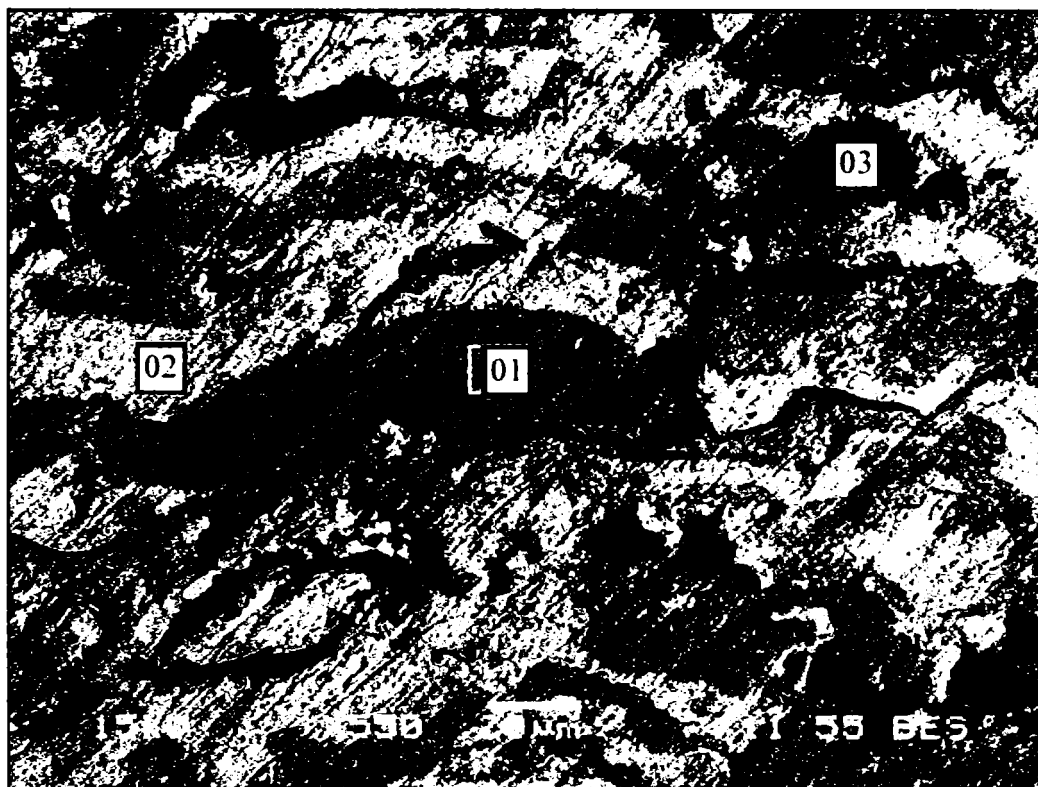


Fig. 5.32. Microstructura probei P2 la nivelul stratului depus.

Tabelul 5.20. Rezultatele analizei spectrale a probei P2 la nivelul stratului.

Nr. spectru	O	Al	Cu	Zn
07_01	0,96	7,94	91,09	-
07_02	0,92	-	67,39	31,69
07_03	48,62	45,94	5,43	-

Analiza pune în evidență existența celor două aliaje și anume în spectrul 01 bronzul de aluminiu, iar în spectrul 02 alama. Cel de-al treilea spectru reprezintă oxizi de Al și Cu. Se mai poate remarca prezența oxizilor și în anumite zone situate la limita de separație a celor două aliaje.

Alte imagini microscopice ale acestei probe sunt trecute în anexa 1 (fig. A 1.2).

5.2.1.3. *Analiza microscopică a probei P3, material depus bronz de aluminiu și alama*

În figurile 5.33 și 5.34 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului de aderență.

Analiza chimică cantitativă prezentată în figura 5.33 indică prezența principalelor elemente chimice din sârma utilizată la depunerea stratului de aderență, respectiv Cr și Ni, în proporții foarte apropiate de valorile inițiale din sârmă. În plus, în proporții mici, mai sunt prezente și elemente din sârmele cu care s-a realizat depunerea stratului final (Cu, Al, Zn), ceea ce conduce la concluzia apariției unor zone de difuzie la nivelul interfeței celor două straturi.

Analiza chimică cantitativă prezentată în figura 5.34 evidențiază participarea elementelor prezente în sârma utilizată la depunerea stratului de aderență la formarea oxizilor complecși. Prezența și în această analiză chimică cantitativă a elementelor Cu, Al, Zn permite aceeași concluzie ca și în situația anterioară.

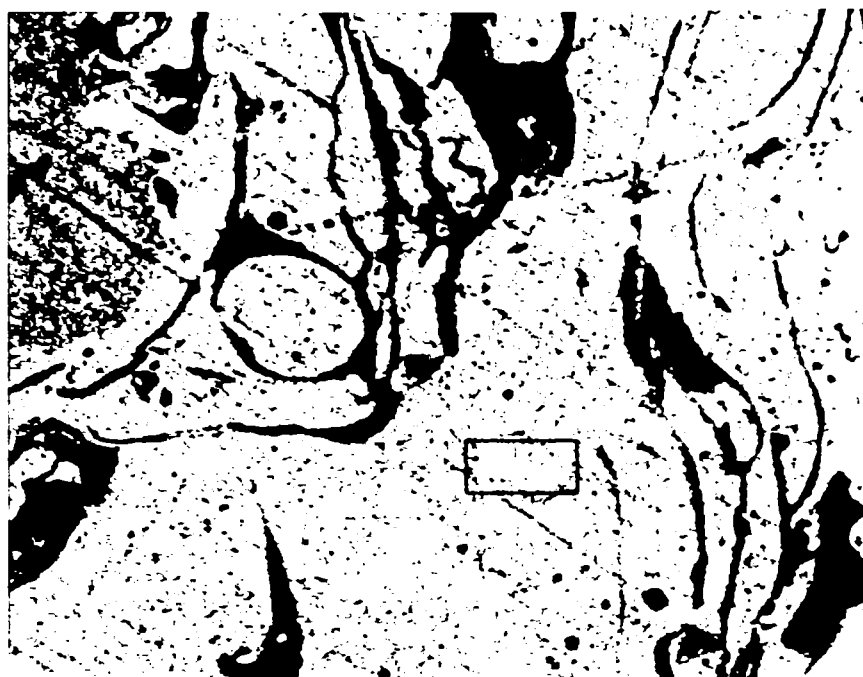
În figurile 5.35, 5.36 și 5.37 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului depus prin pulverizare termică cu arc electric, materialele de adaos utilizate fiind alama și bronzul de aluminiu.

Figurile 5.35 și 5.36 prezintă analiza chimică cantitativă a matricei metalice de bază, evidențiindu-se prezența celor două faze, respectiv alama (fig. 5.35) și bronzul de aluminiu (fig. 5.36). Figura 5.37 prezintă oxizii rezultați în urma depunerii straturilor.

De asemenea, din figurile inserate în anexa 1 (fig. A 1.3), se observă prezența oxizilor în stratul depus într-o proporție ridicată, cauza fiind distanța de pulverizare mai mare decât cea recomandată a fi utilizată de către producătorul sârmelor, legătura bună realizată la nivelul straturilor și prezența porilor.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.38 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 228,87 μm , numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute în urma acestei analize au fost prelucrate ca și în cazul probei P1, rezultând diagramele din figurile 5.39 – 5.45.



EDS Quantitative Results

Element	Wt%	At%
Al	1.27	1.14
Ni	12.77	12.12
Cr	14.11	21.66
Mn	2.27	2.21
Fe	1.71	1.1
Nb	1.1	6.92
Cu	1.14	1.17
Zn	1.14	1.14

Lab1 5um 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Iloff:35.22 Det:UTW Res:128.10 Amp.I:100.0
 FS : 292 LSec : 86.2 Prst:None 13-May-2004 04:57:52

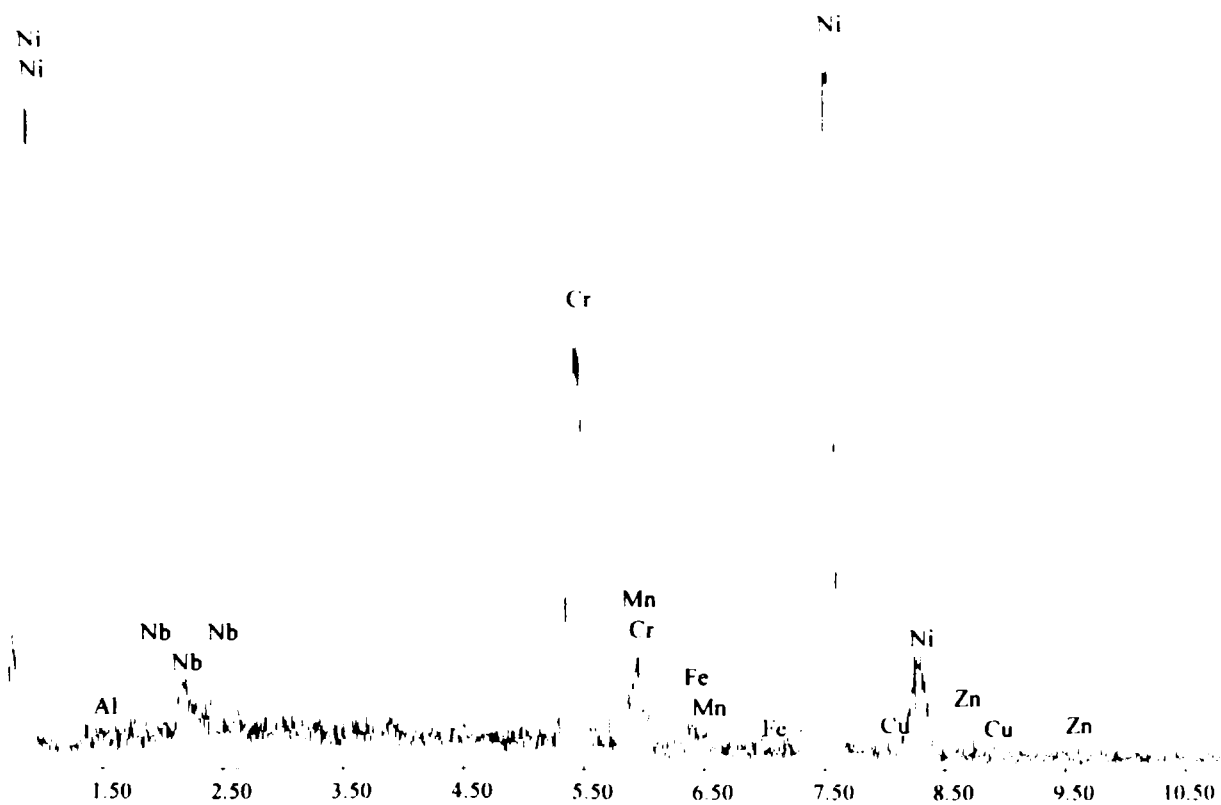
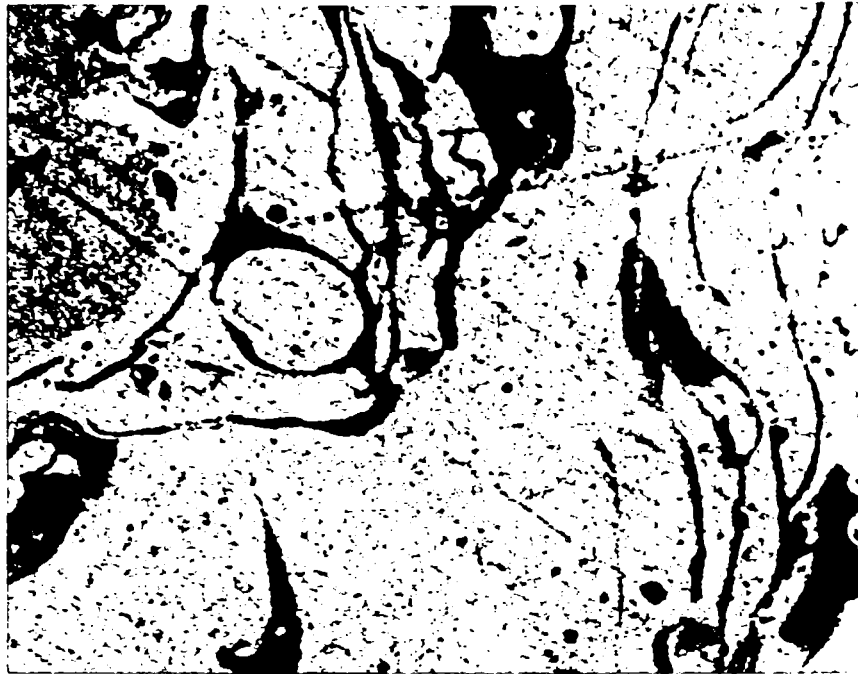


Fig. 5.33 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P3 – matrice de bază.



EDS Quantitative Results

Element	Wt%	At%
Al	1.22	2.21
Si	1.66	2.64
Fe	22.29	23.24
Mn	2.52	2.58
Ni	14.44	11.38
Zn	1.88	1.55
Zr	1.81	1.56

Lab1 5um 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.22 Det:UTW Res:128.10 Amp.F:100.0
 FS : 163 I.Sec : 57.8 Prst:None 13-May-2004 05:00:16

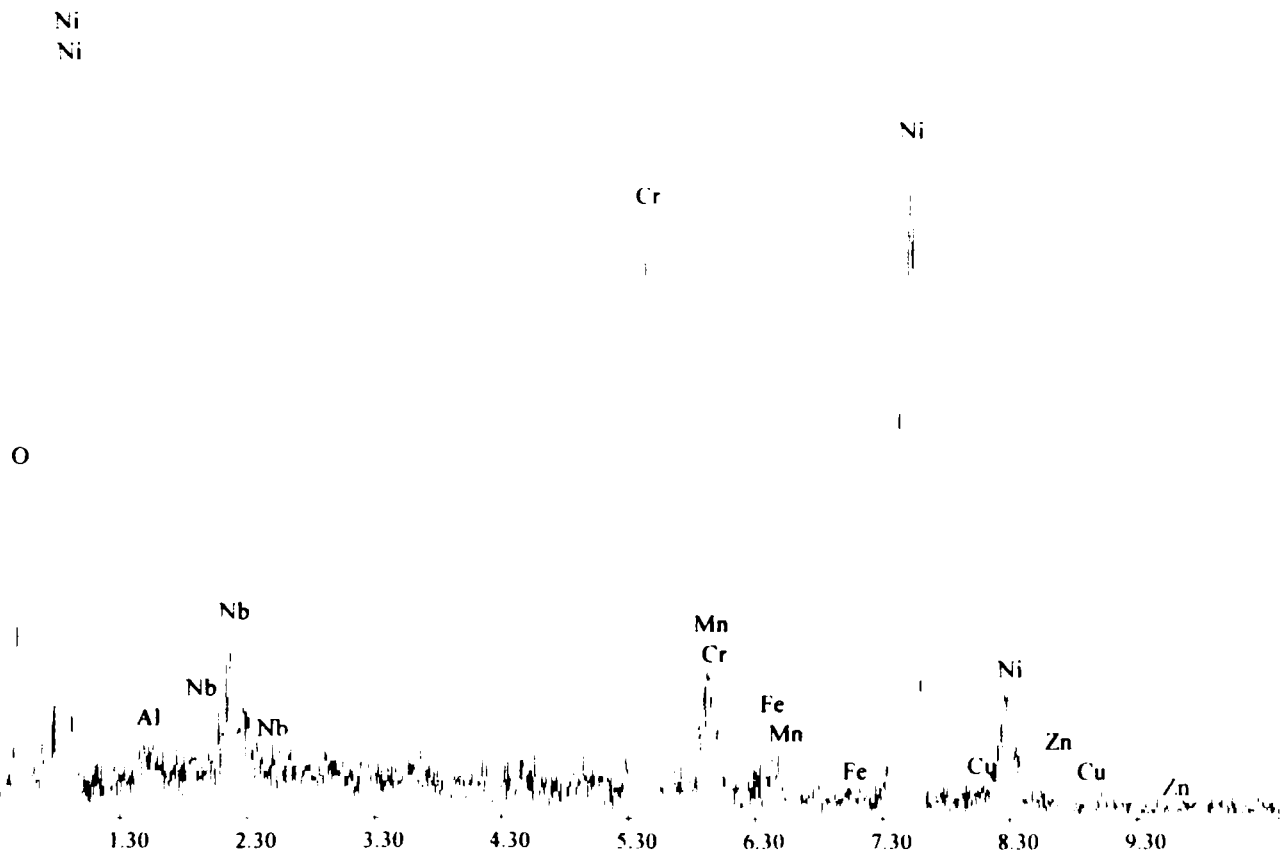


Fig. 5.34 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P3 – oxizi.

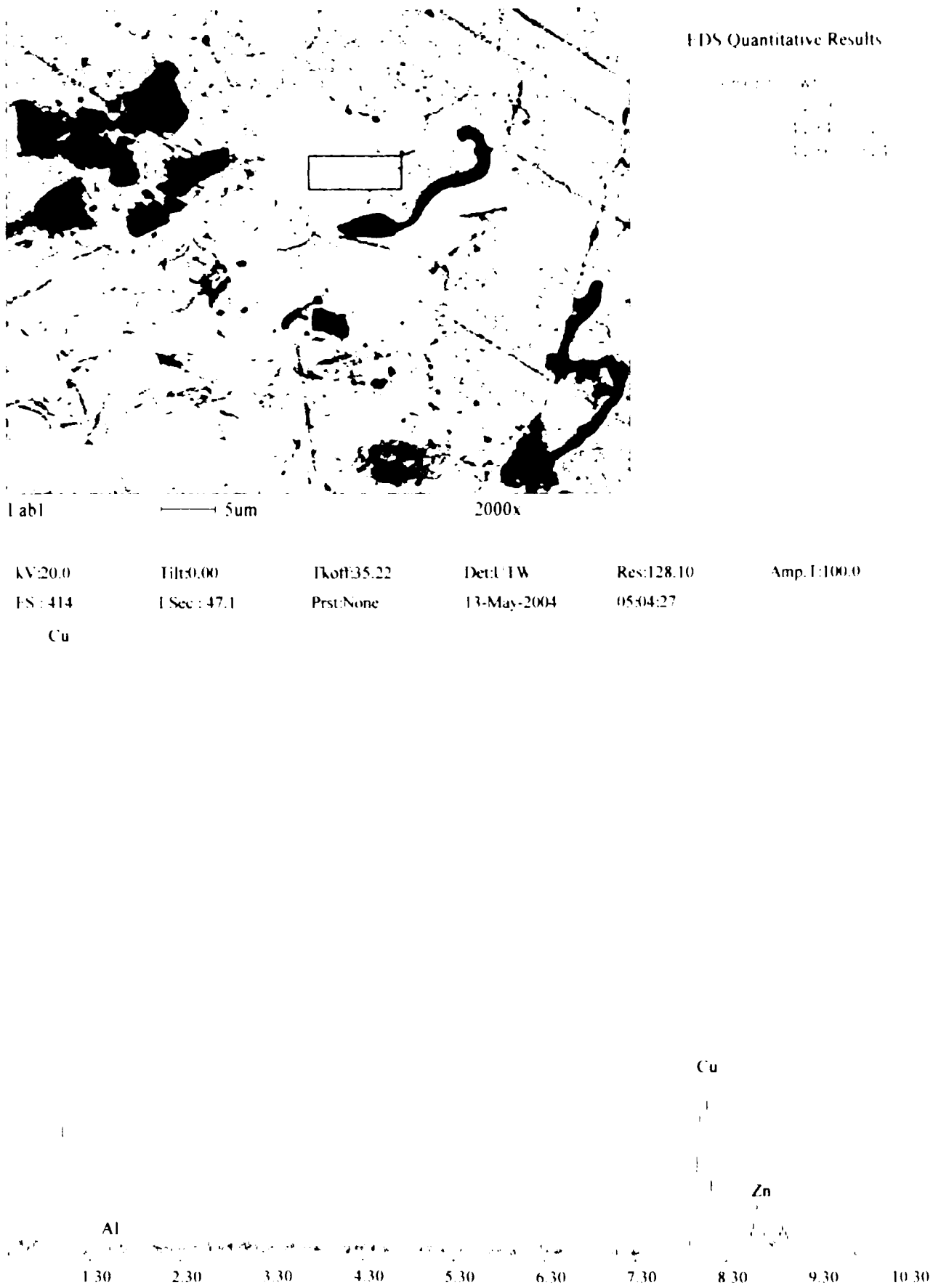


Fig. 5.35. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P3 – material de adaos alama.

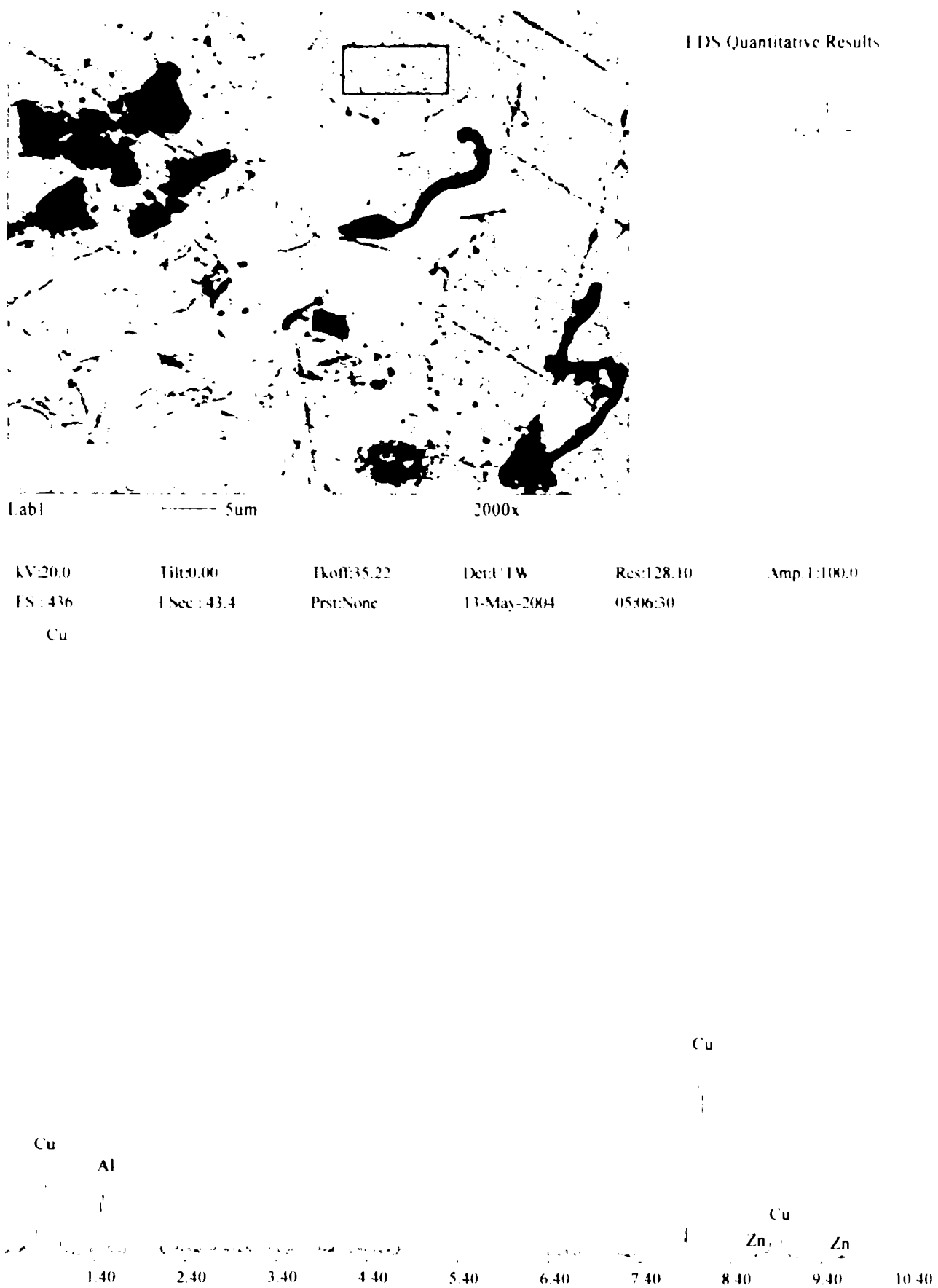
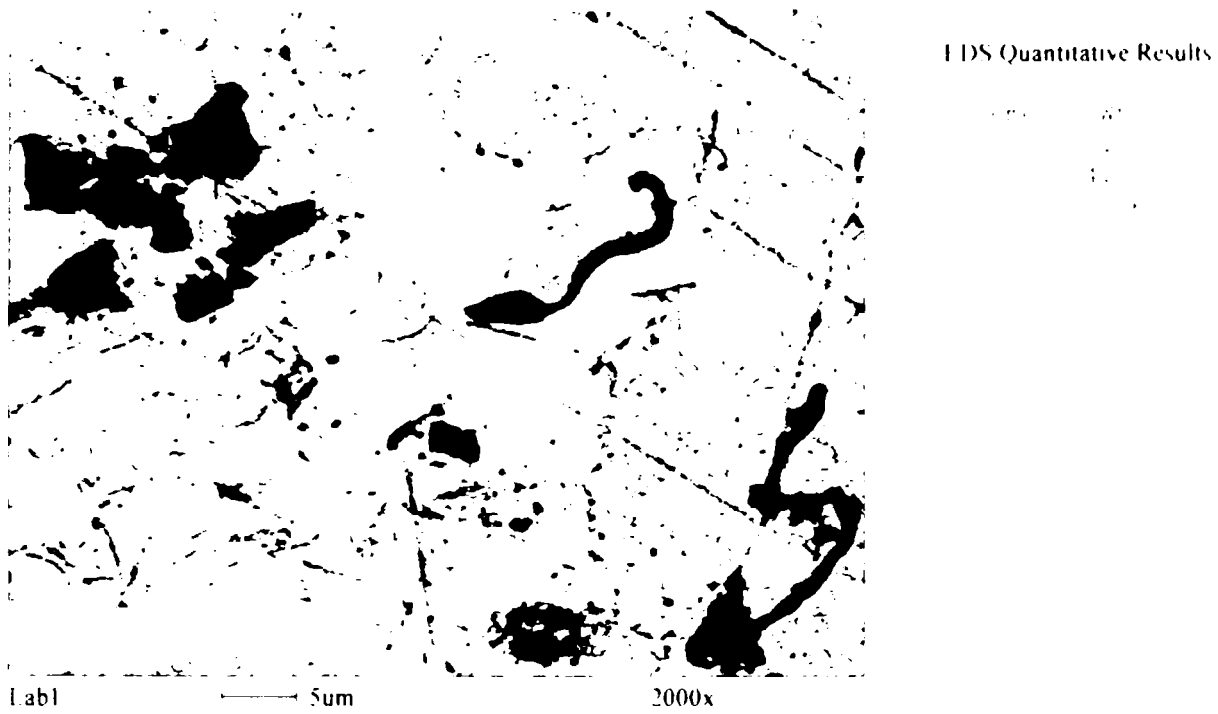


Fig. 5.36. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P3 – material de adaos bronzul de aluminiu



kV:20.0 Filt:0.00 Iloff:35.22 Det:UFW Res:128.10 Amp.I:100.0
 FS: 494 L.Sec : 35.3 Prst:None 13-May-2004 05:07:44

Al

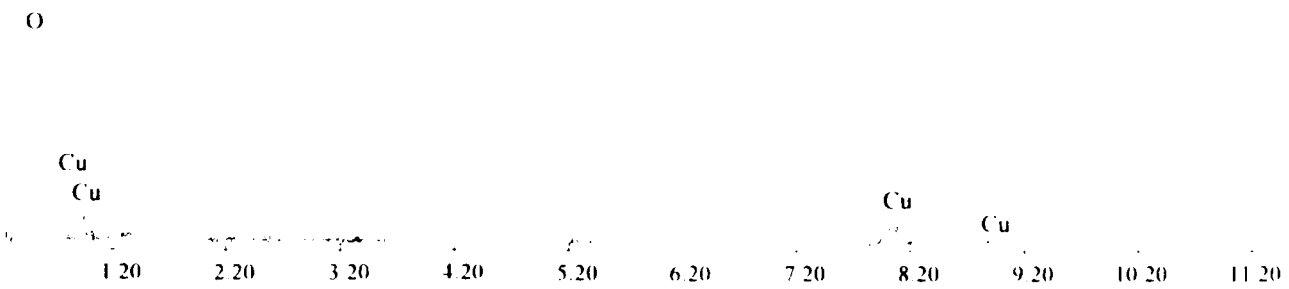


Fig. 5.37 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P3 – oxizi.

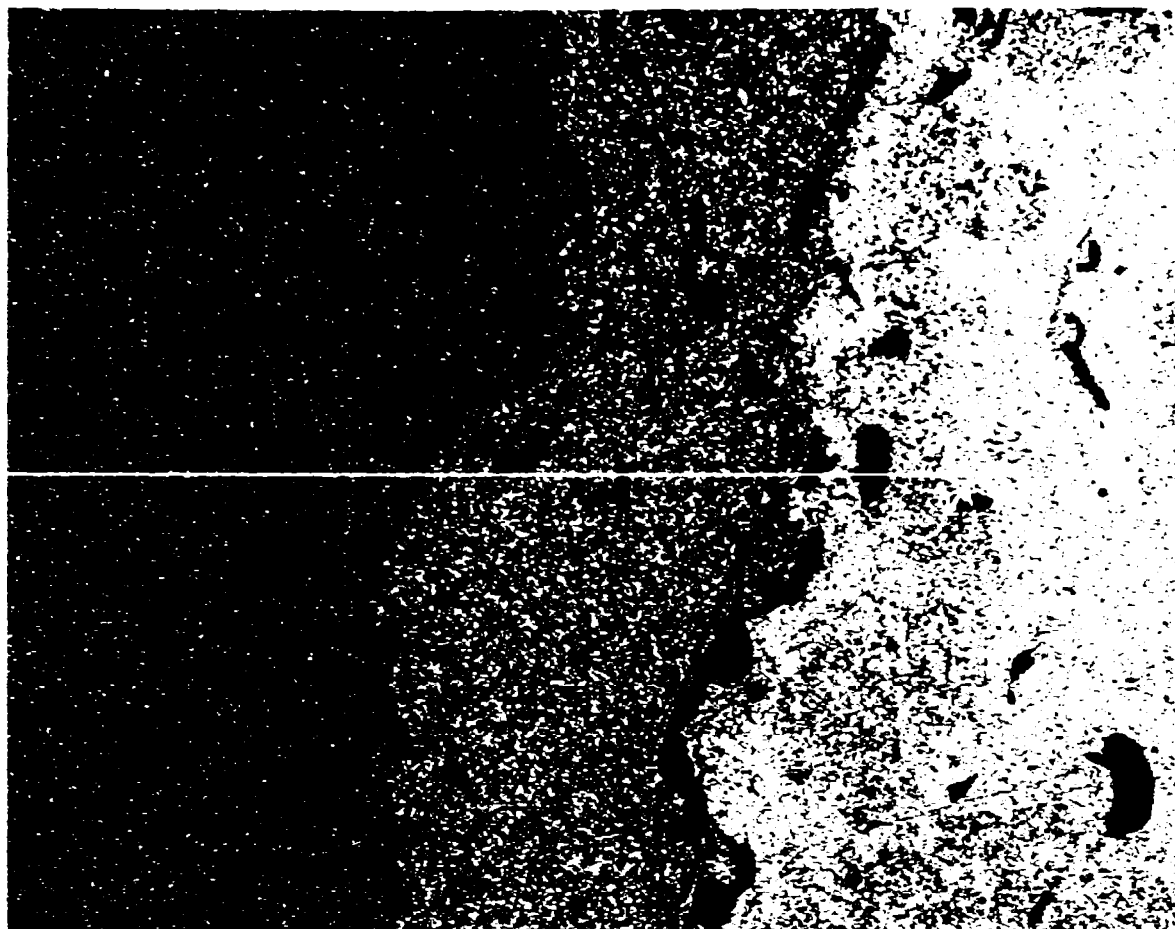


Fig. 5.38. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba P3. 250x.

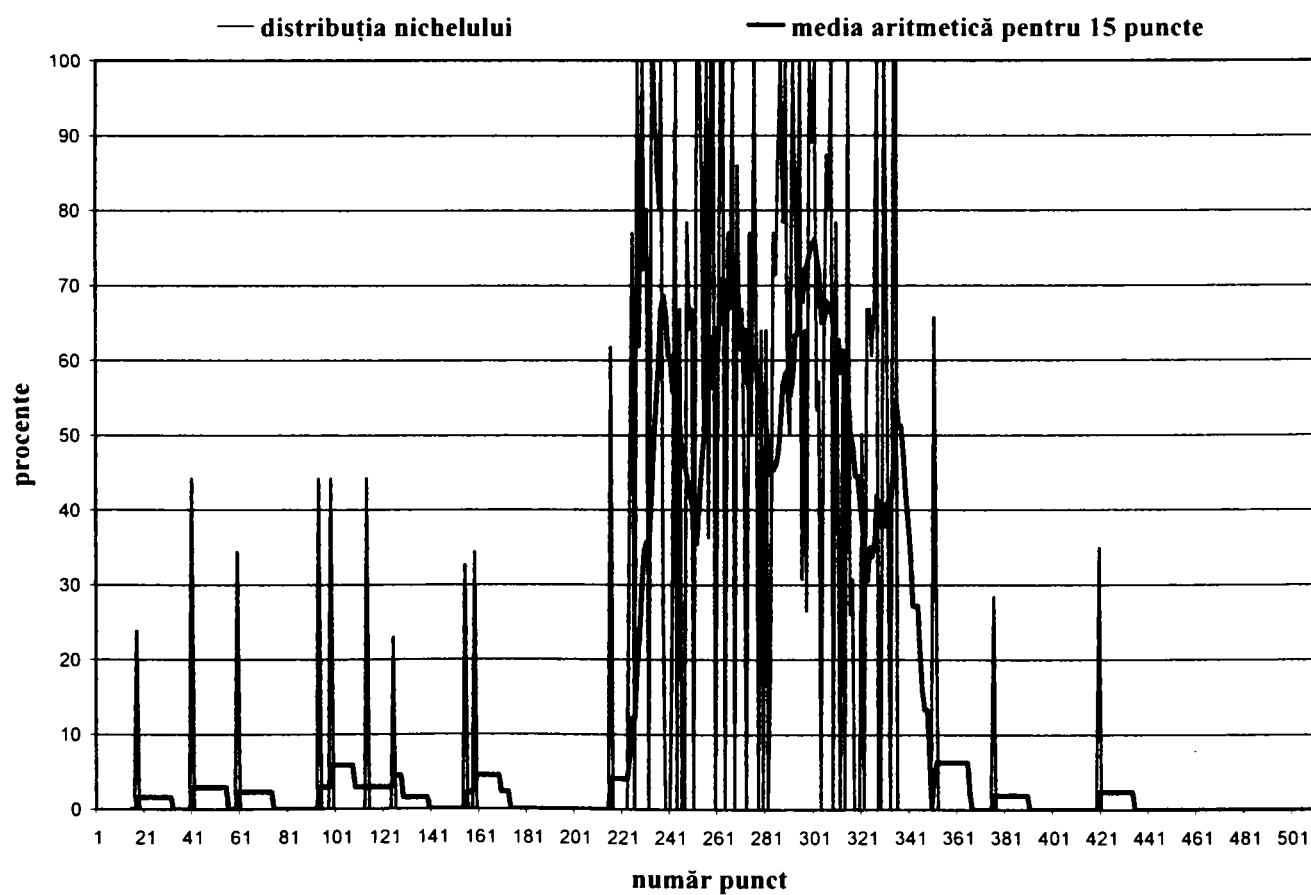


Fig. 5.39. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P3.

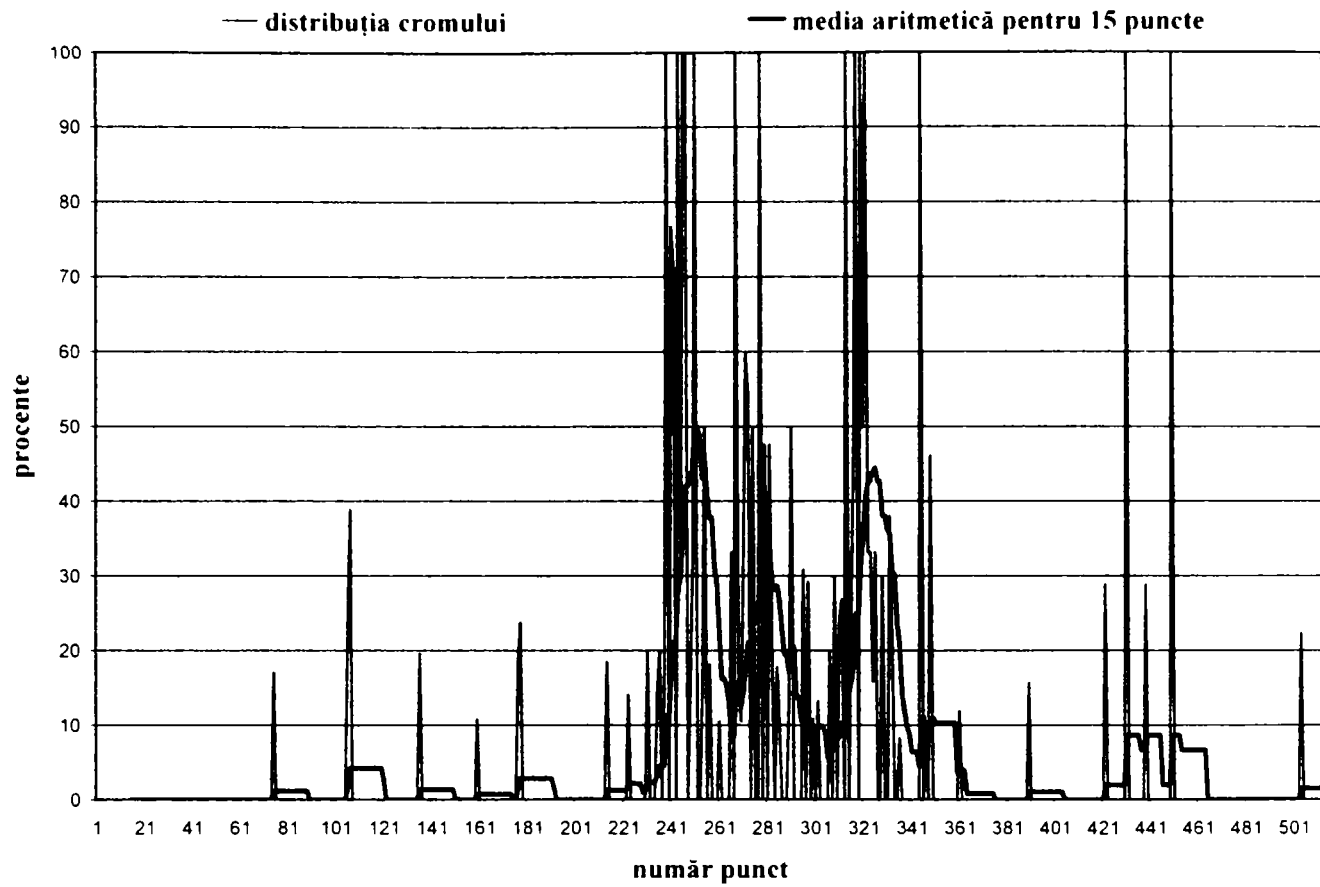


Fig. 5.40. Distribuția cromului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P3

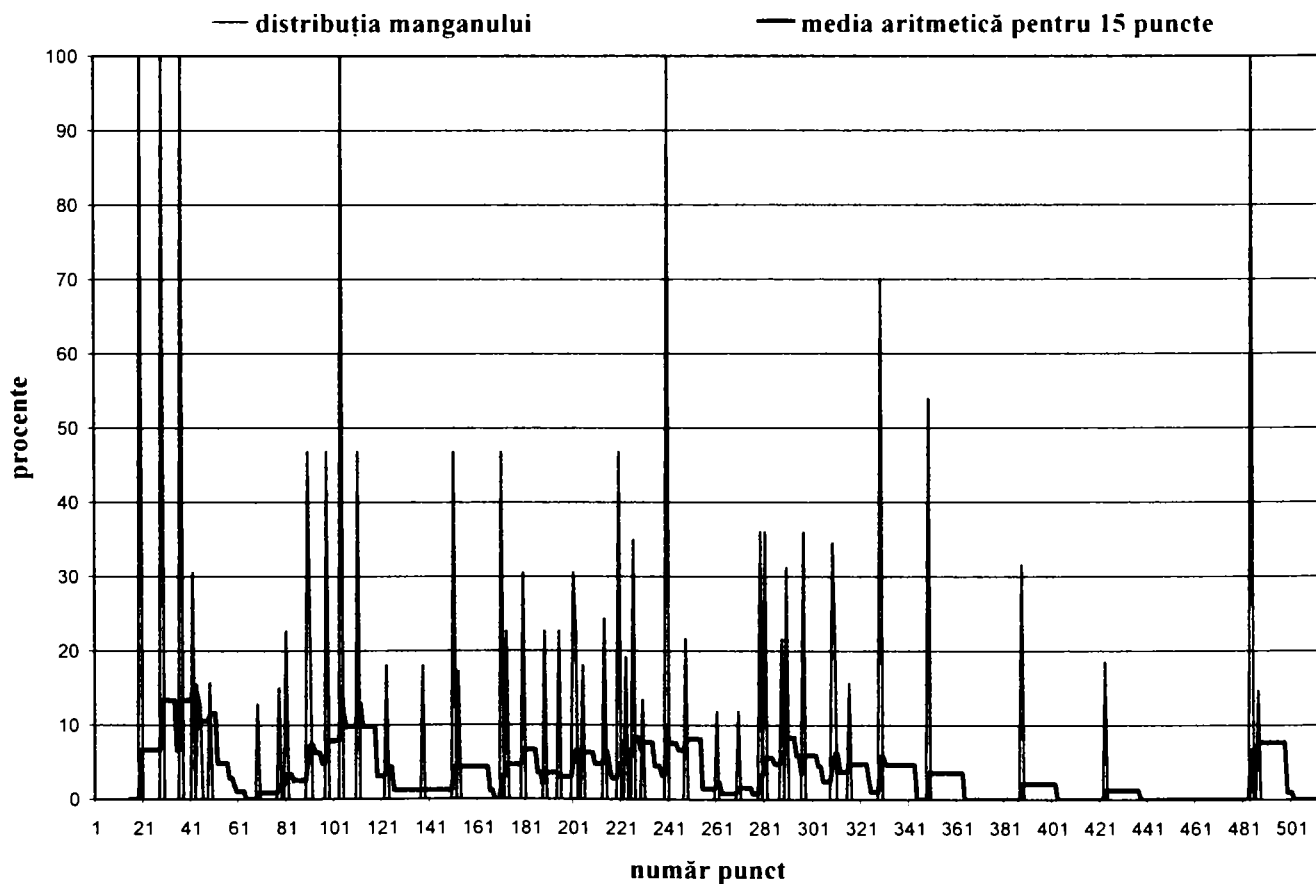


Fig. 5.41. Distribuția manganului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P3.

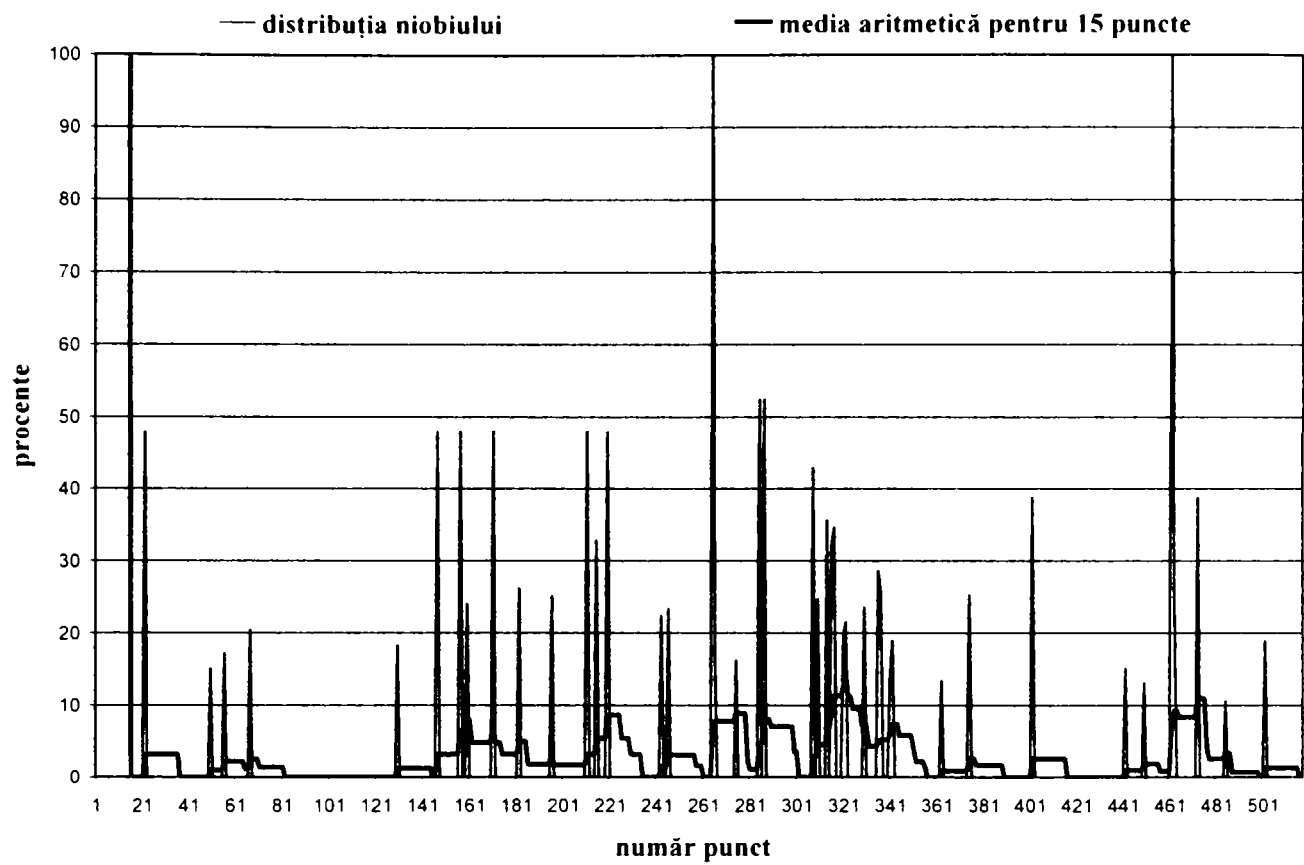


Fig. 5.41. Distribuția niobiului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P3.

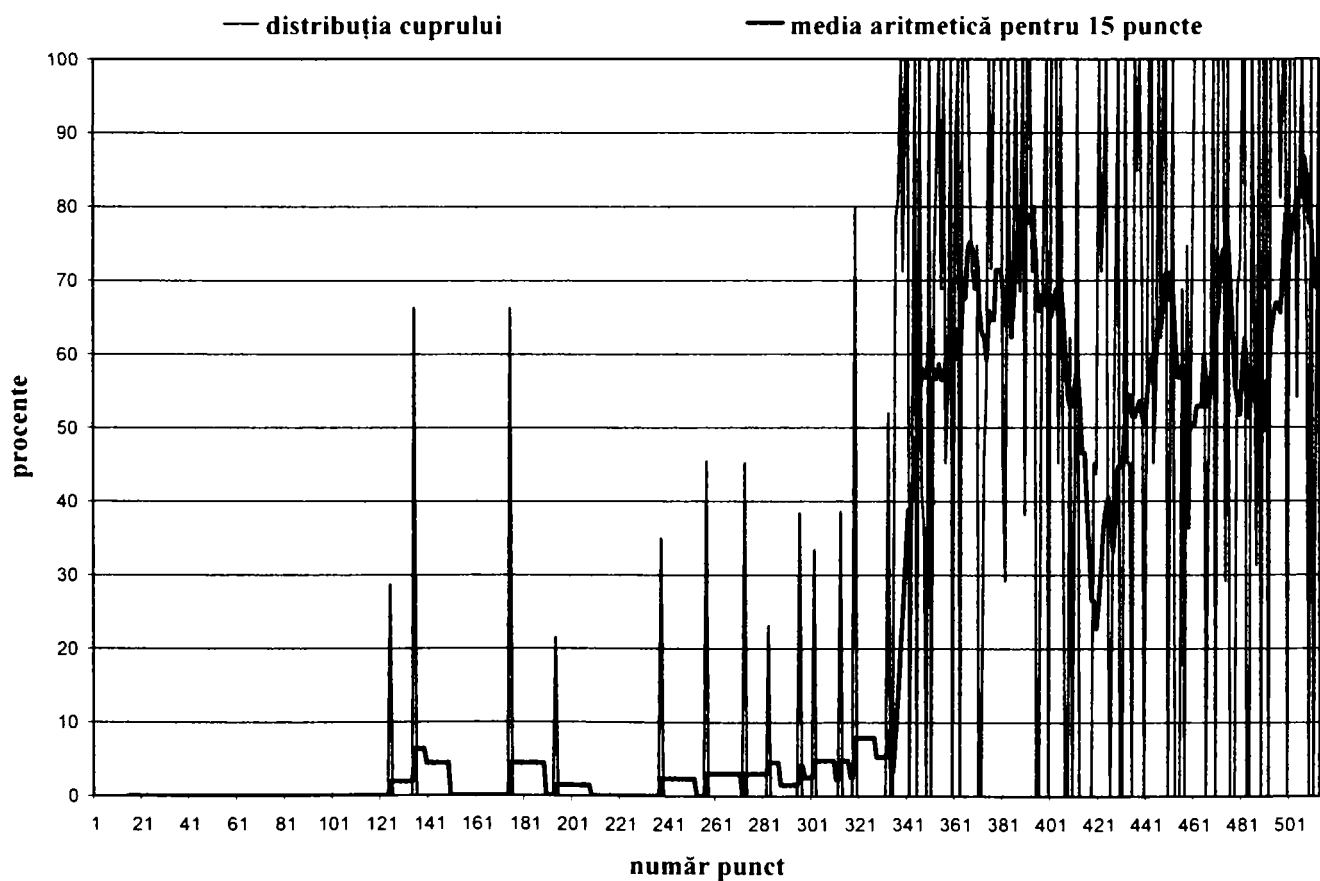


Fig. 5.41. Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P3.

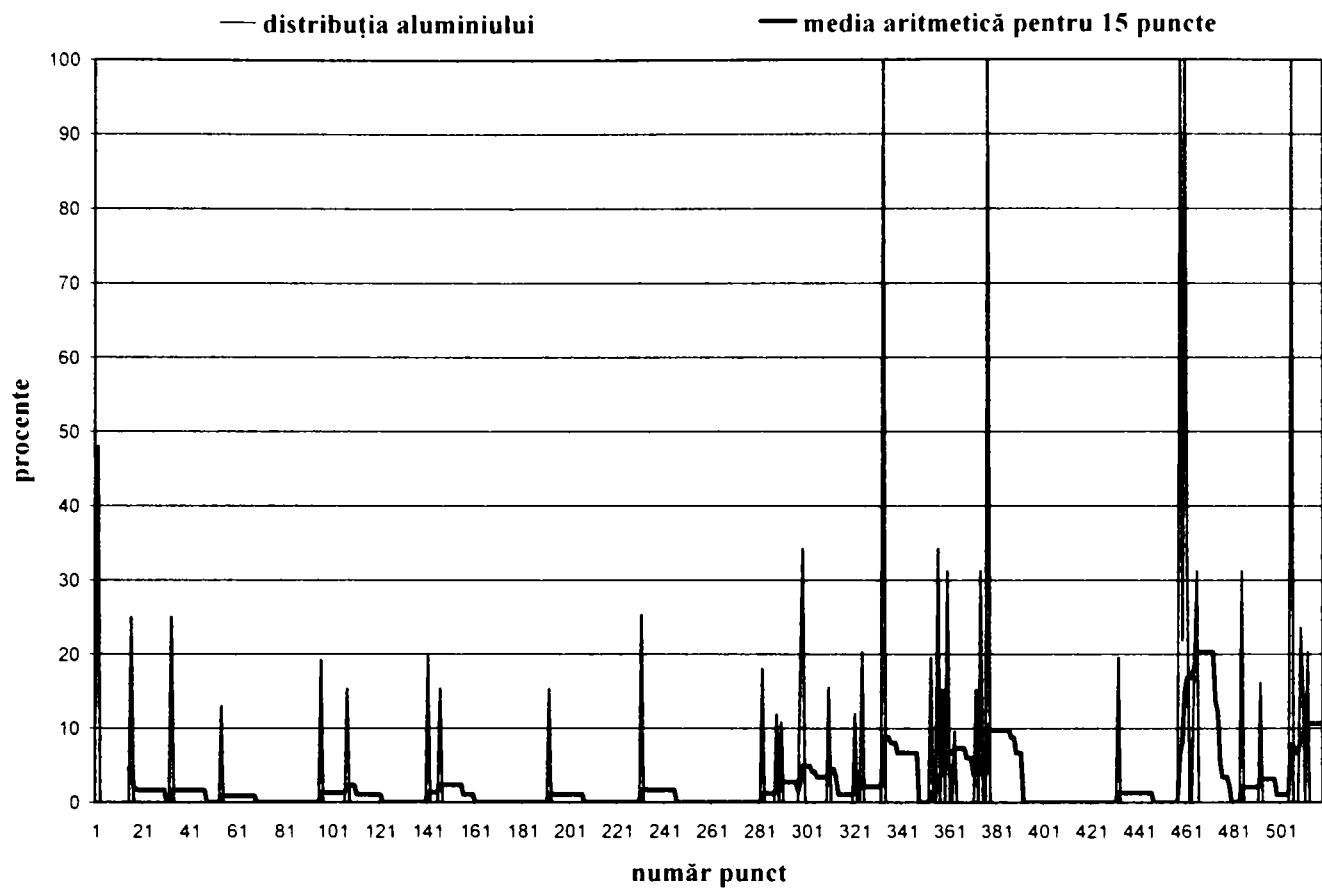


Fig. 5.41. Distribuția aluminiului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P3

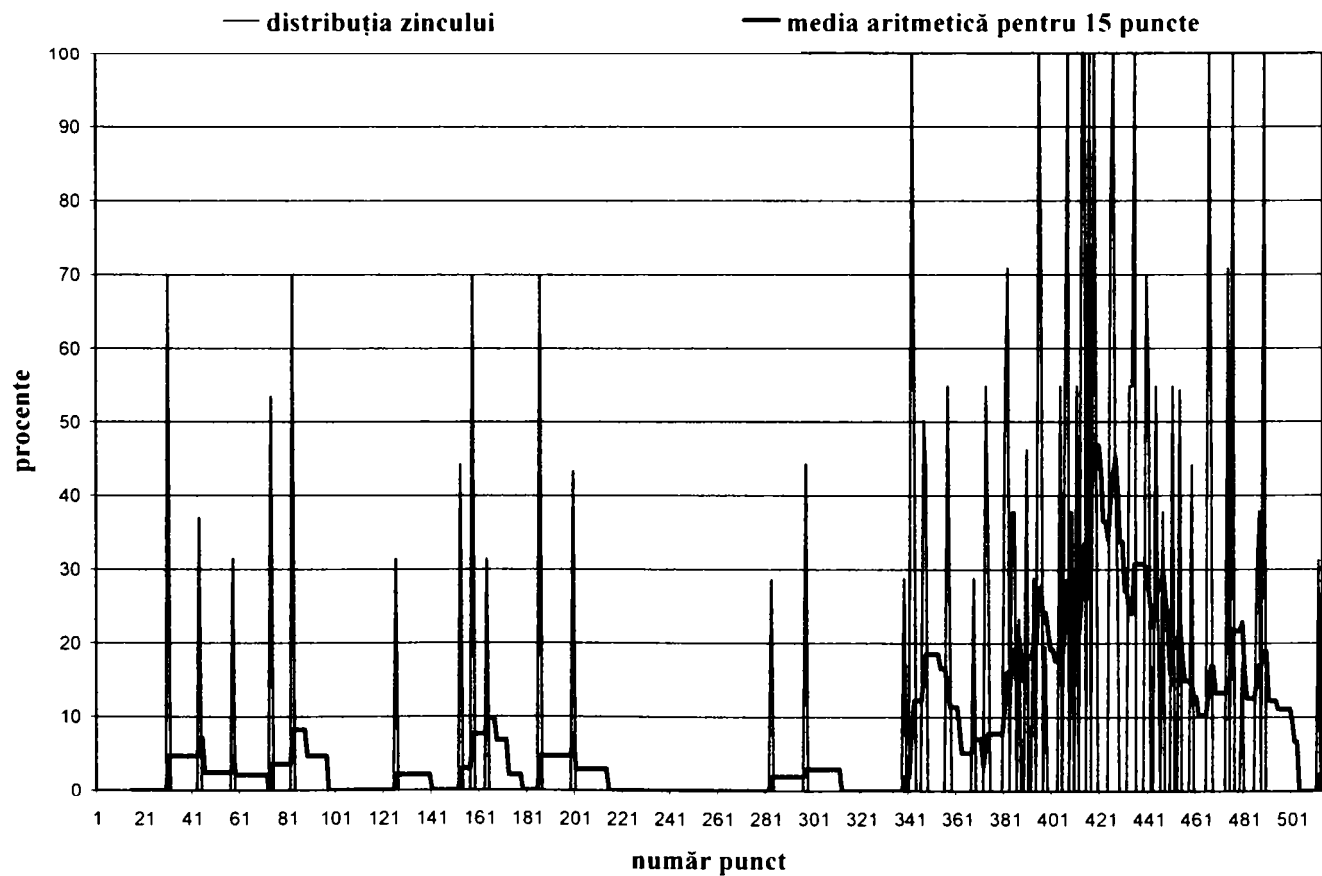


Fig. 5.41. Distribuția zincului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P3.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

5.2.1.4. Analiza microscopică a probei P4, material depus - alama

În figurile 5.42 și 5.43 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului de aderență.

Analiza chimică cantitativă prezentată în figura 5.42 indică prezența principalelor elemente chimice din sârma utilizată la depunerea stratului de aderență, respectiv Cr și Ni, în proporții foarte apropiate de valorile inițiale din sârmă. În spectrul analizat se remarcă și prezența unui procent redus de oxigen, datorat prezenței porilor în acest spectru.

Analiza chimică cantitativă prezentată în figura 5.43 evidențiază participarea elementelor prezente în sârma utilizată la depunerea stratului de aderență la formarea oxizilor complecși.

În figurile 5.44 și 5.45 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului depus prin pulverizare termică cu arc electric, materialul de adaos utilizat fiind alama.

Figura 5.44 prezintă analiza cantitativă a matricei metalice de bază, evidențiindu-se prezența alamei, respectiv fig. 5.45 prezintă oxizii rezultați în urma depunerii straturilor.

De asemenea, din figurile inserate în anexa 1 (fig. A 1.4), se observă prezența oxizilor în stratul depus într-o proporție redusă, legătura bună realizată la nivelul straturilor și prezența porilor.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.46 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 57,22 μm , numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute în urma acestei analize au fost prelucrate ca și în cazul probei P1, rezultând diagramele din figurile 5.47 – 5.53.



EDS Quantitative Results

Element	WT	At
O	3.44	11.44
Nb	3.93	2.23
Cr	16.83	17.23
Mn	2.95	2.56
Fe	2.06	2.46
Ni	30.79	64.23

Lab1 Sum 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:UTW Res:128.10 Amp.T:100.0
 FS : 169 I.Sec : 31.1 Prst:None 14-May-2004 04:00:24

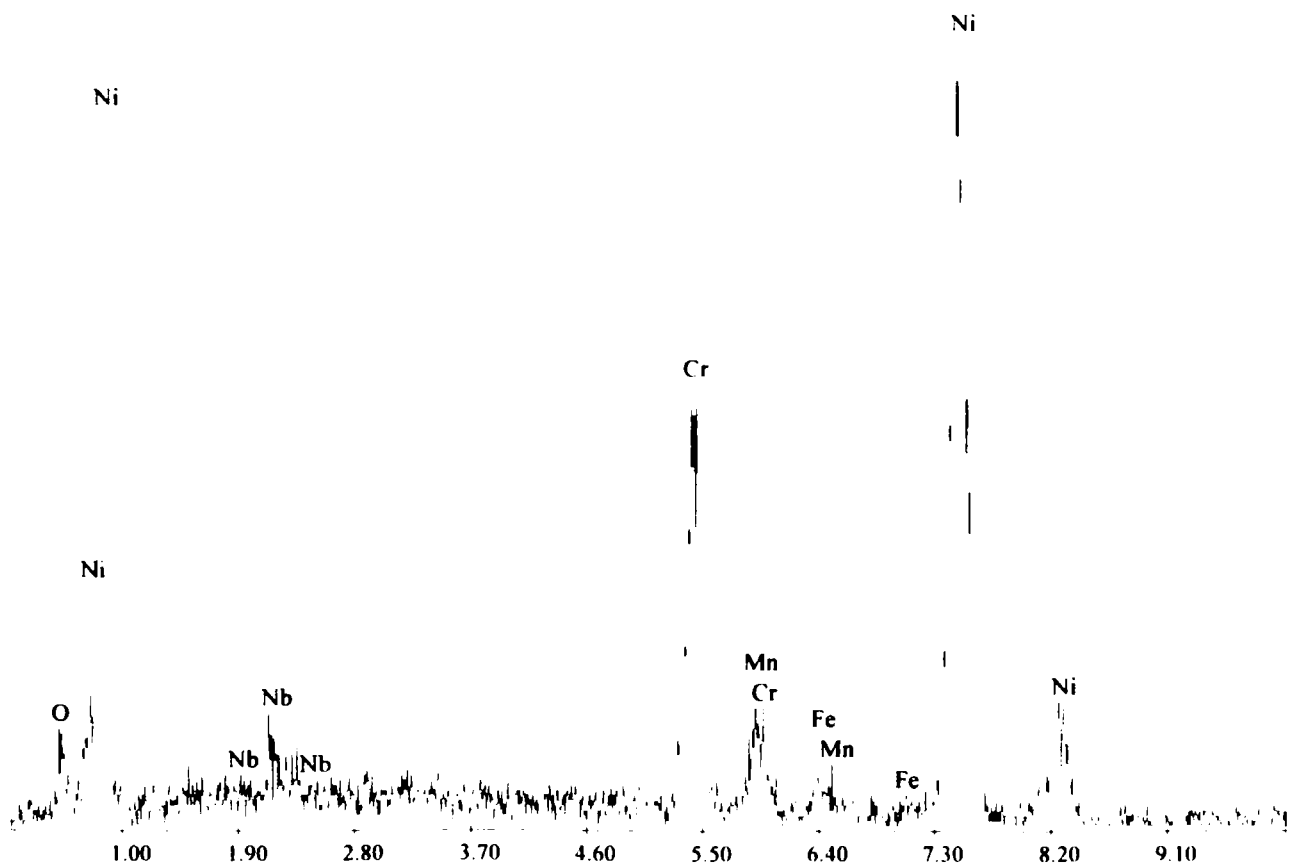


Fig. 5.42. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P4 – matrice de bază.



EDS Quantitative Results

Element	Wt	At
O	29.51	48.27
Nb	8.46	3.40
Cr	31.28	22.61
Mn	2.94	1.45
Fe	1.87	1.28
Ni	35.91	23.32

Lab1 5um 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:UTW Res:128.10 Amp.T:100.0
 FS : 238 LSec : 49.4 Prst:None 14-May-2004 03:58:36

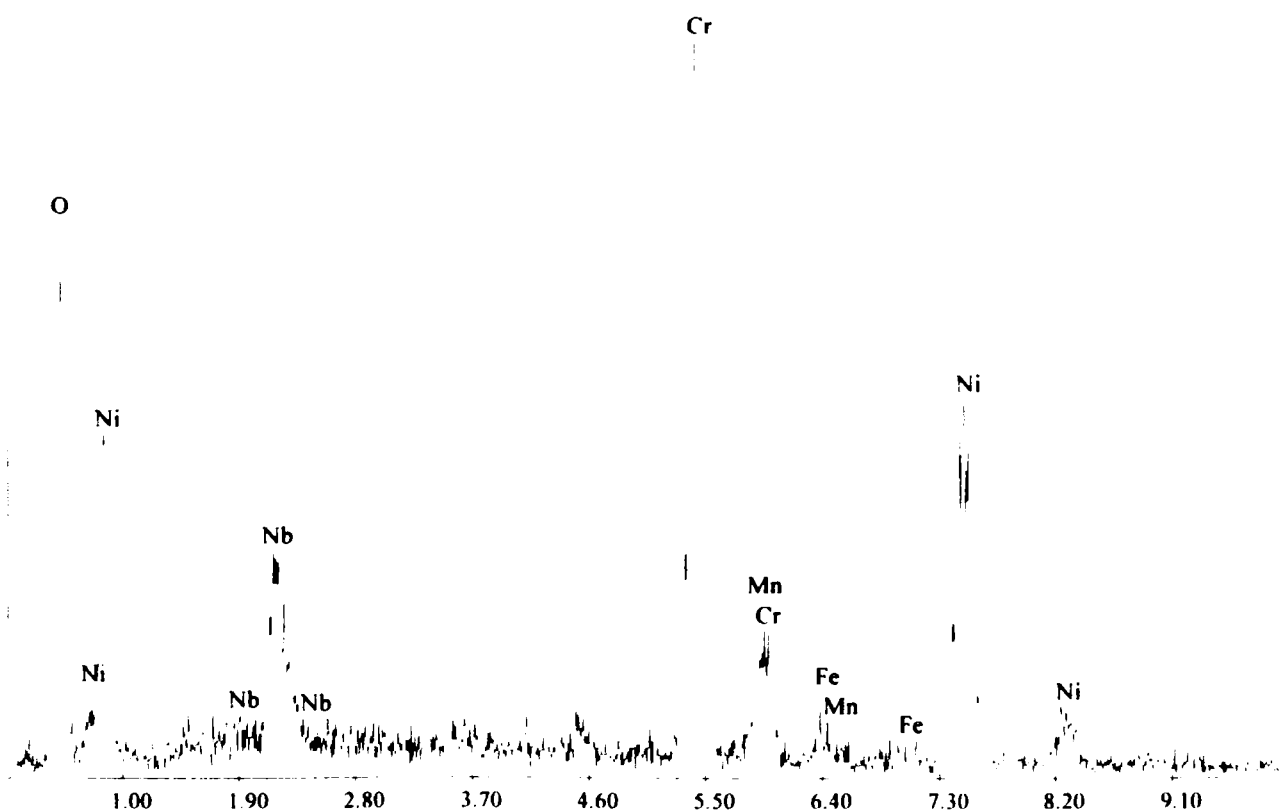
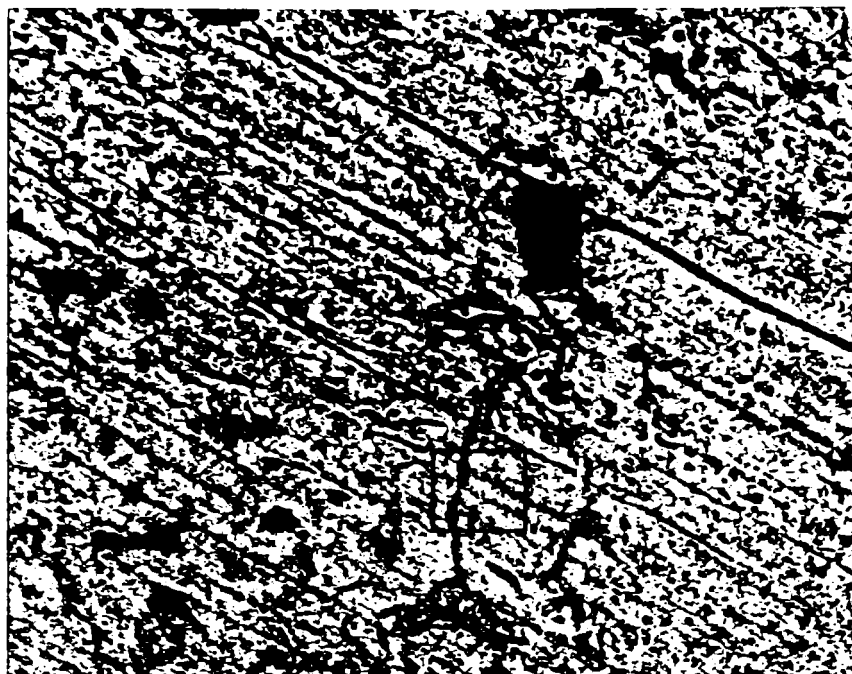


Fig. 5.43. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P4 – oxizi.



EDS Quantitative Results

Element	Wt %	At %
Cu	66.01	66.65
Zn	33.99	33.35

Labl Sum 2000x

kV:20.0	Tilt:0.00	Tkoff:35.00	Det:UTW	Res:128.10	Amp.T:100.0
FS : 335	LSec : 25.1	Prst:None	14-May-2004	04:03:49	

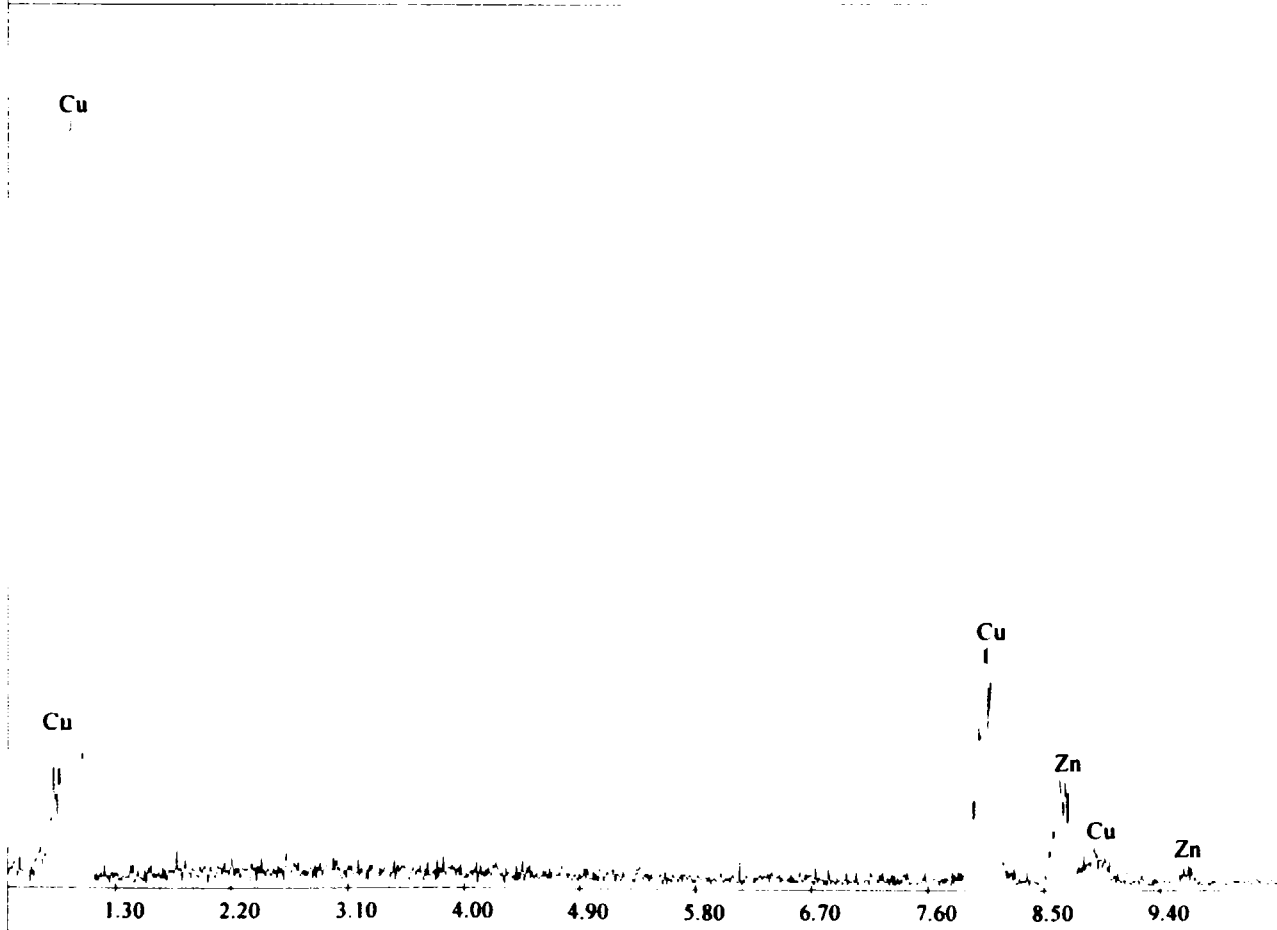


Fig. 5.44. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului deșus pentru proba P4 – matrice de bază.



EDS Quantitative Results

Element	Wt%	At%
O	12.92	37.62
Cu	14.50	10.63
Zn	72.58	51.74

Lab1 5um 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:UTW Res:128.10 Amp.T:100.0
 FS : 370 L.Sec : 29.1 Prst:None 14-May-2004 04:05:12

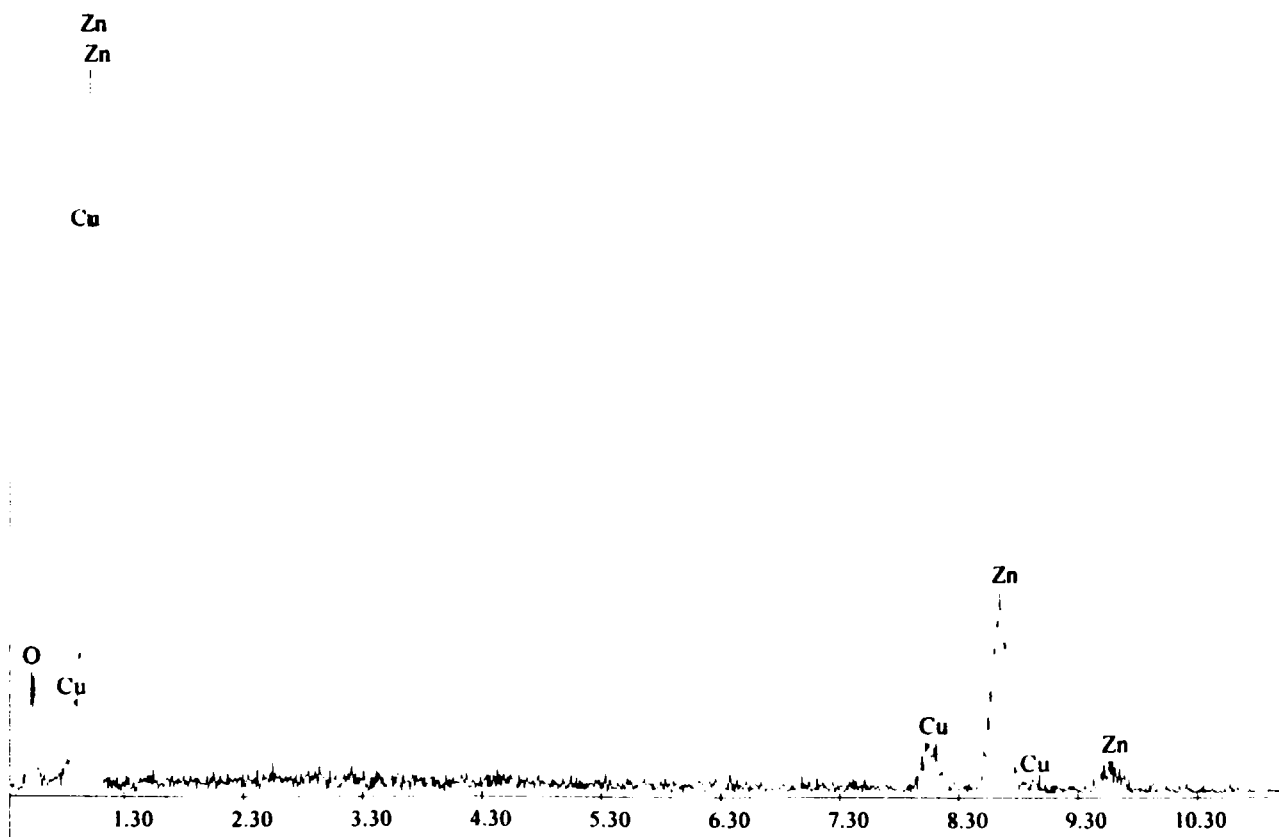


Fig. 5.45. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P4 – oxizi.



Fig. 5.46. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba P4. 2000x

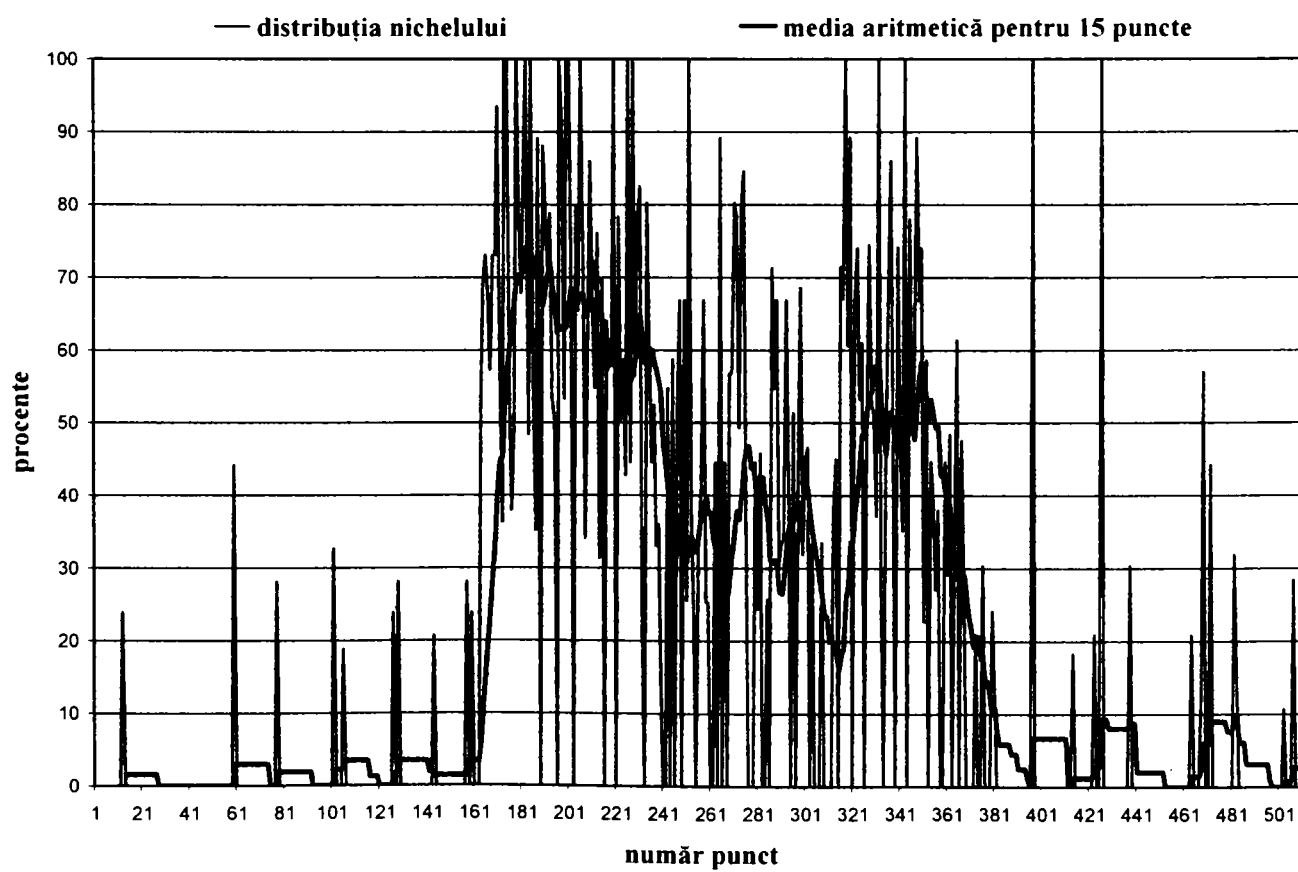


Fig. 5.47. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4.

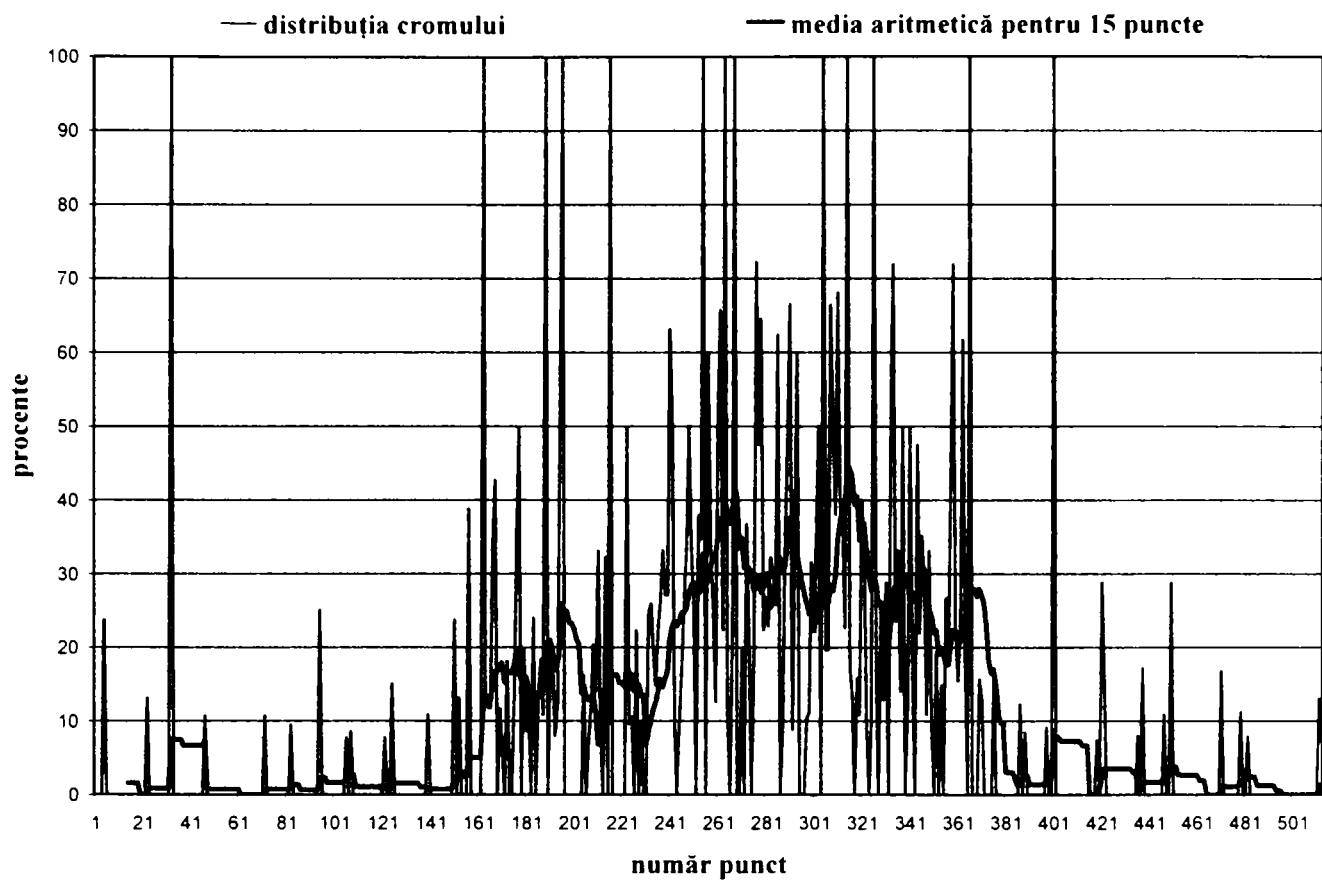


Fig. 5.48. Distribuția cromului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4.

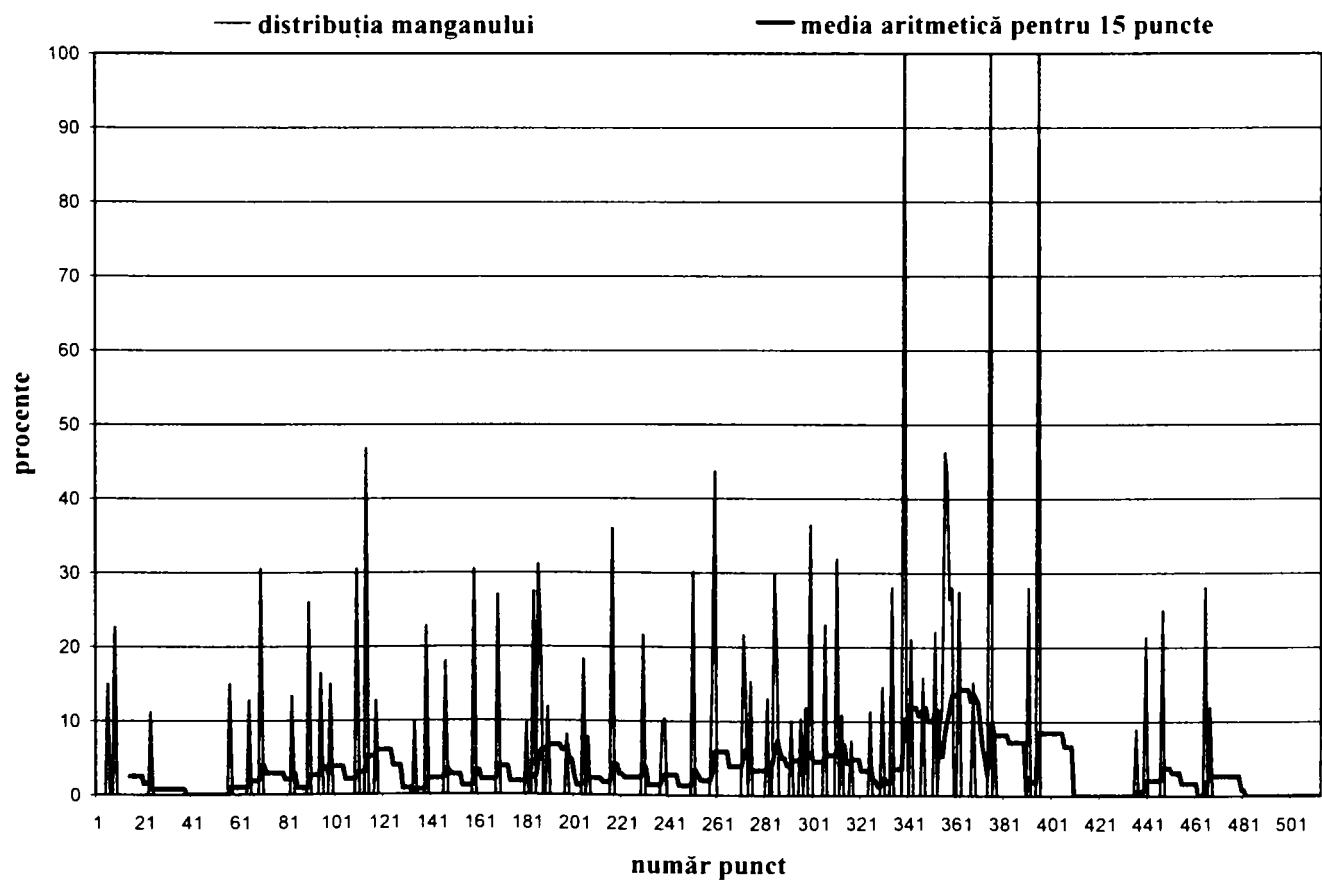


Fig. 5.49. Distribuția manganului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4.

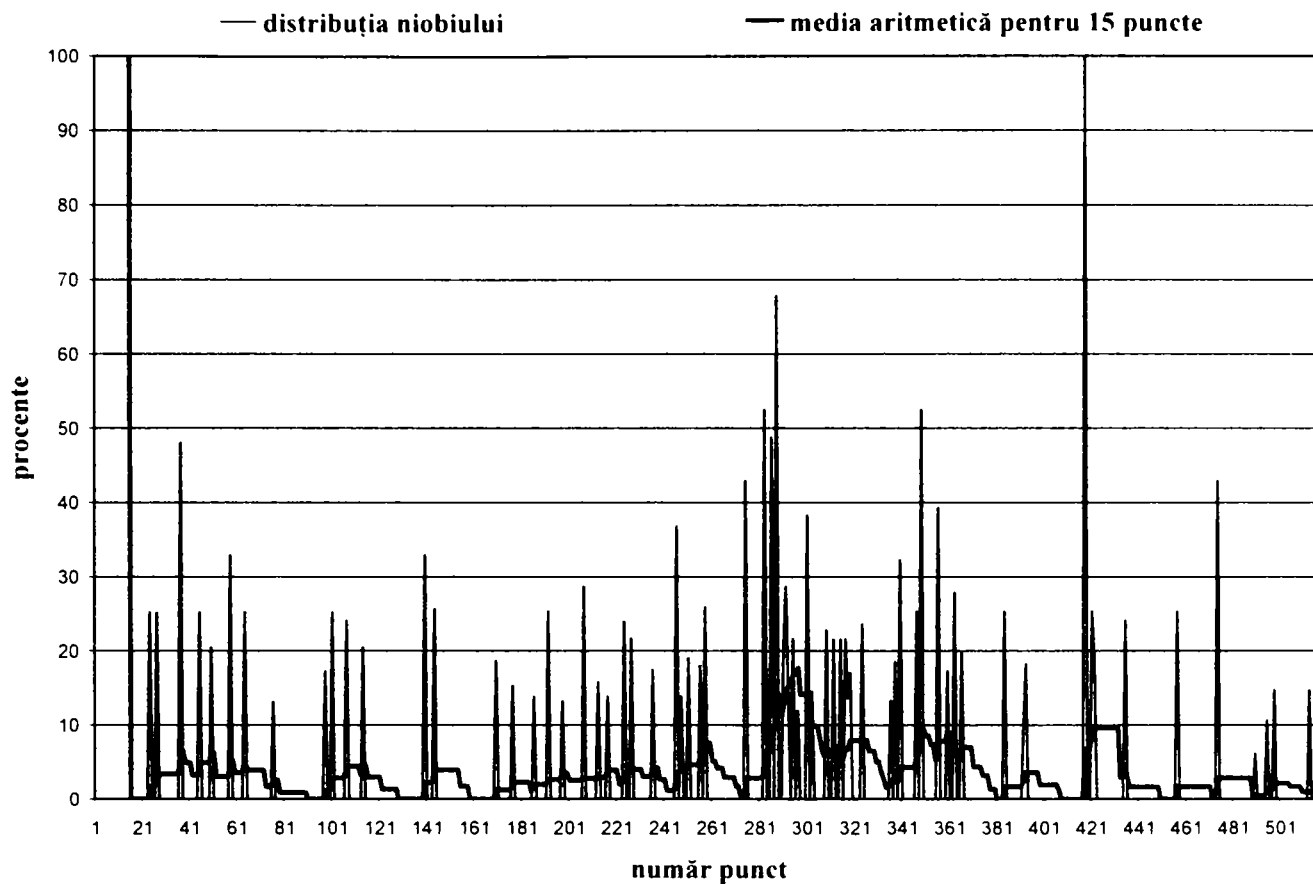


Fig. 5.50. Distribuția niobiului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4

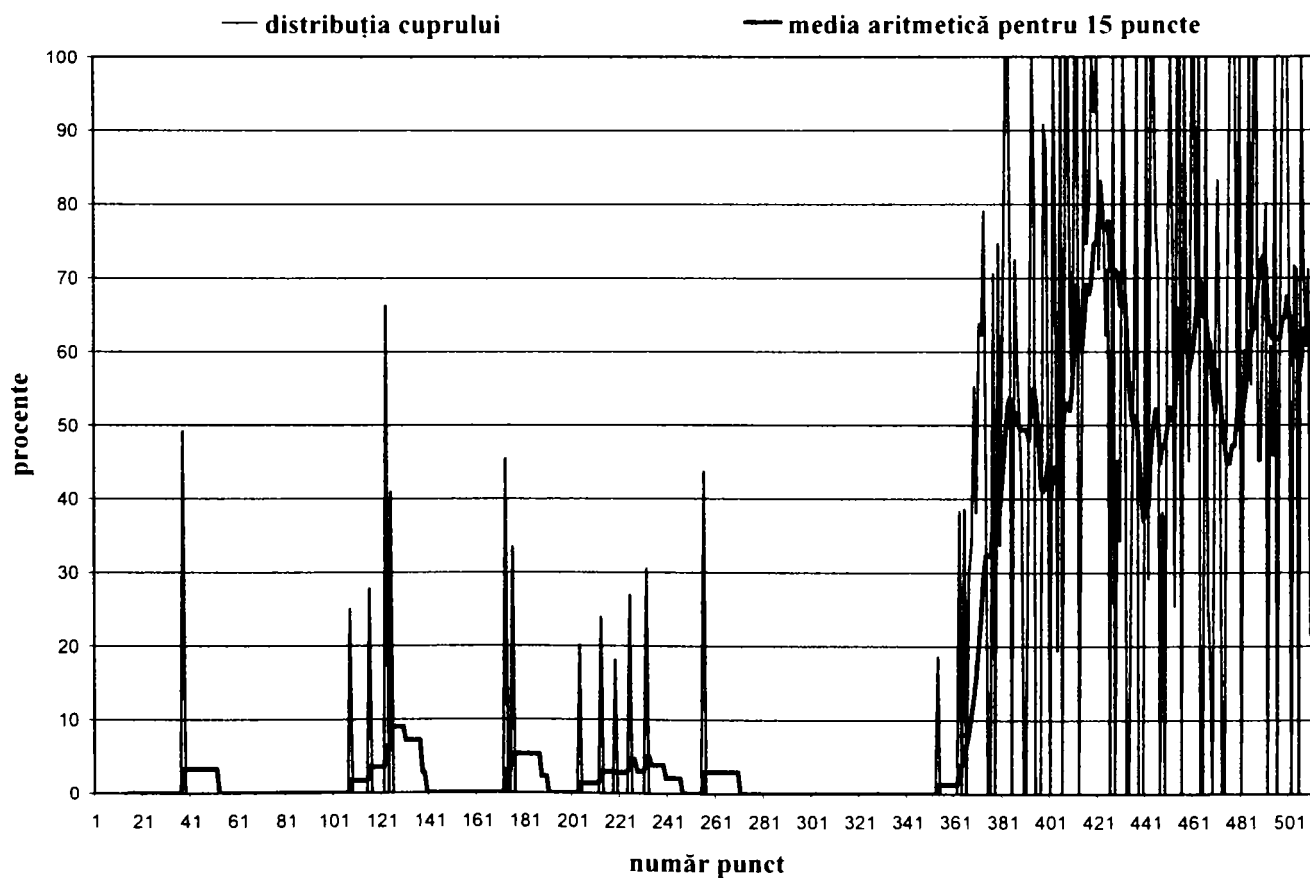


Fig. 5.51. Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4.

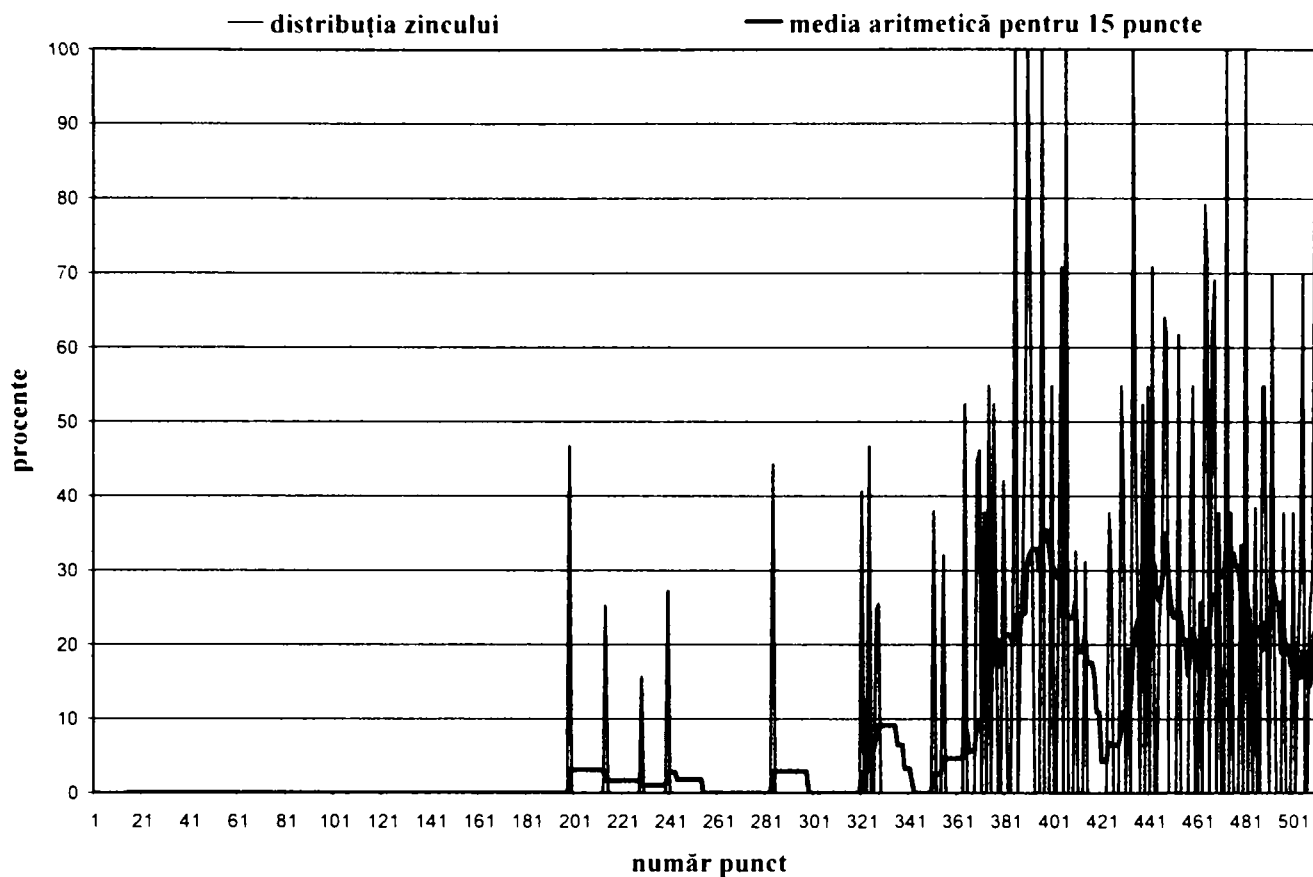


Fig. 5.52. Distribuția zincului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4

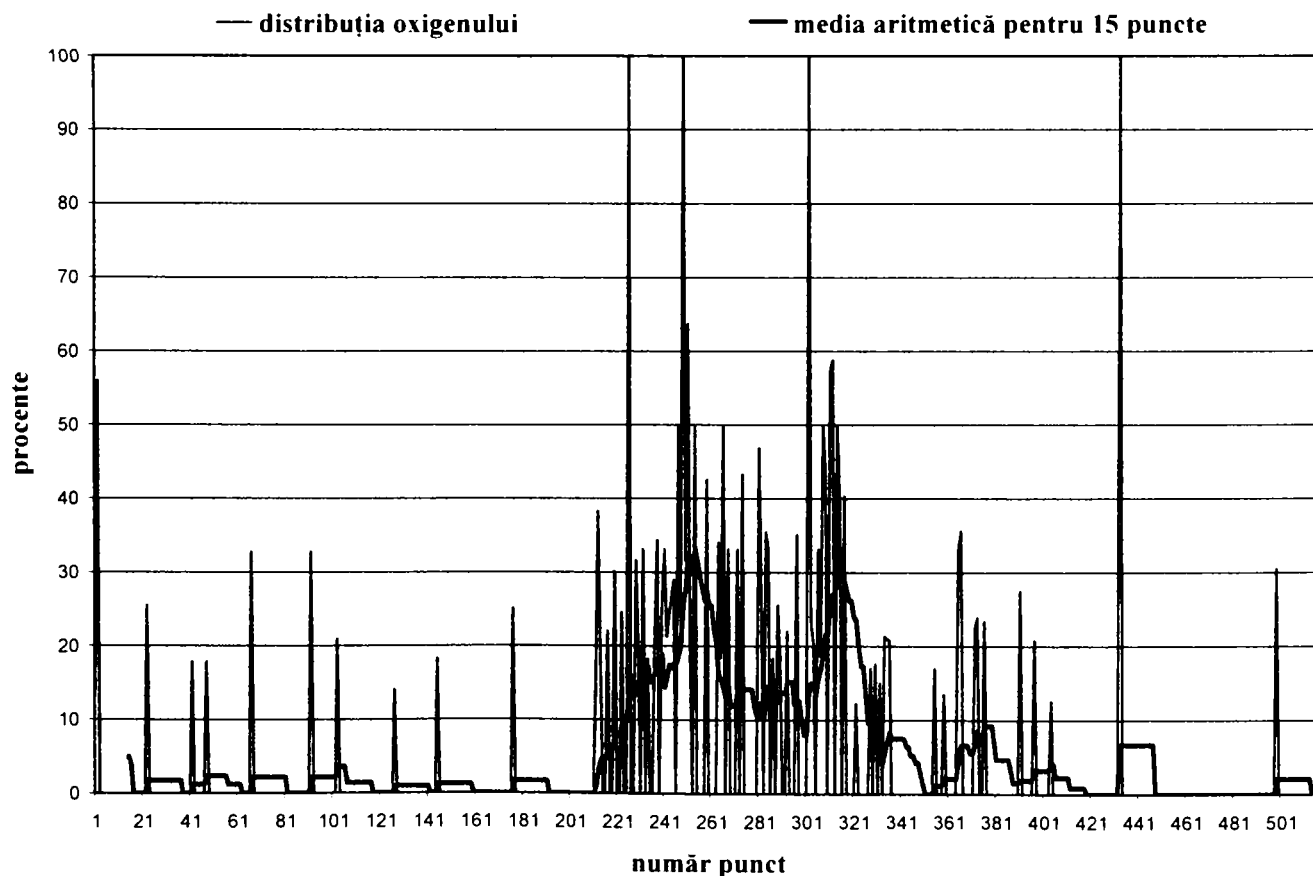


Fig. 5.53. Distribuția oxigenului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P4.

5.2.1.5. Analiza microscopică a probei P5, material depus – bronz de aluminiu

În figurile 5.54 și 5.55 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului de aderență.

Analiza chimică cantitativă prezentată în figura 5.54 indică prezența principalelor elemente chimice din sârma utilizată la depunerea stratului de aderență. În acest spectru se remarcă o creștere accentuată a conținutului în nichel și o scădere pronunțată a conținutului de crom față de compoziția chimică inițială a sârmei utilizate la depunerea acestui strat de aderență. Analiza chimică cantitativă prezentată în figura 5.55 evidențiază participarea elementelor prezente în sârma utilizată la depunerea stratului de aderență la formarea oxizilor complecși.

În figurile 5.56 și 5.57 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului depus prin pulverizare termică cu arc electric, materialul de adaos utilizat fiind bronzul de aluminiu.

De asemenea, din figurile inserate în anexa 1 (fig. A 1.5), se observă prezența oxizilor în stratul depus într-o proporție ridicată, datorită afinității mari a aluminiului față de oxigenul din gazul de transport, legătura bună realizată la nivelul straturilor și prezența porilor.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.58 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 22,81 μm, numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute în urma acestei analize au fost prelucrate ca și în cazul probei P1, rezultând diagramele din figurile 5.59 – 5.65.

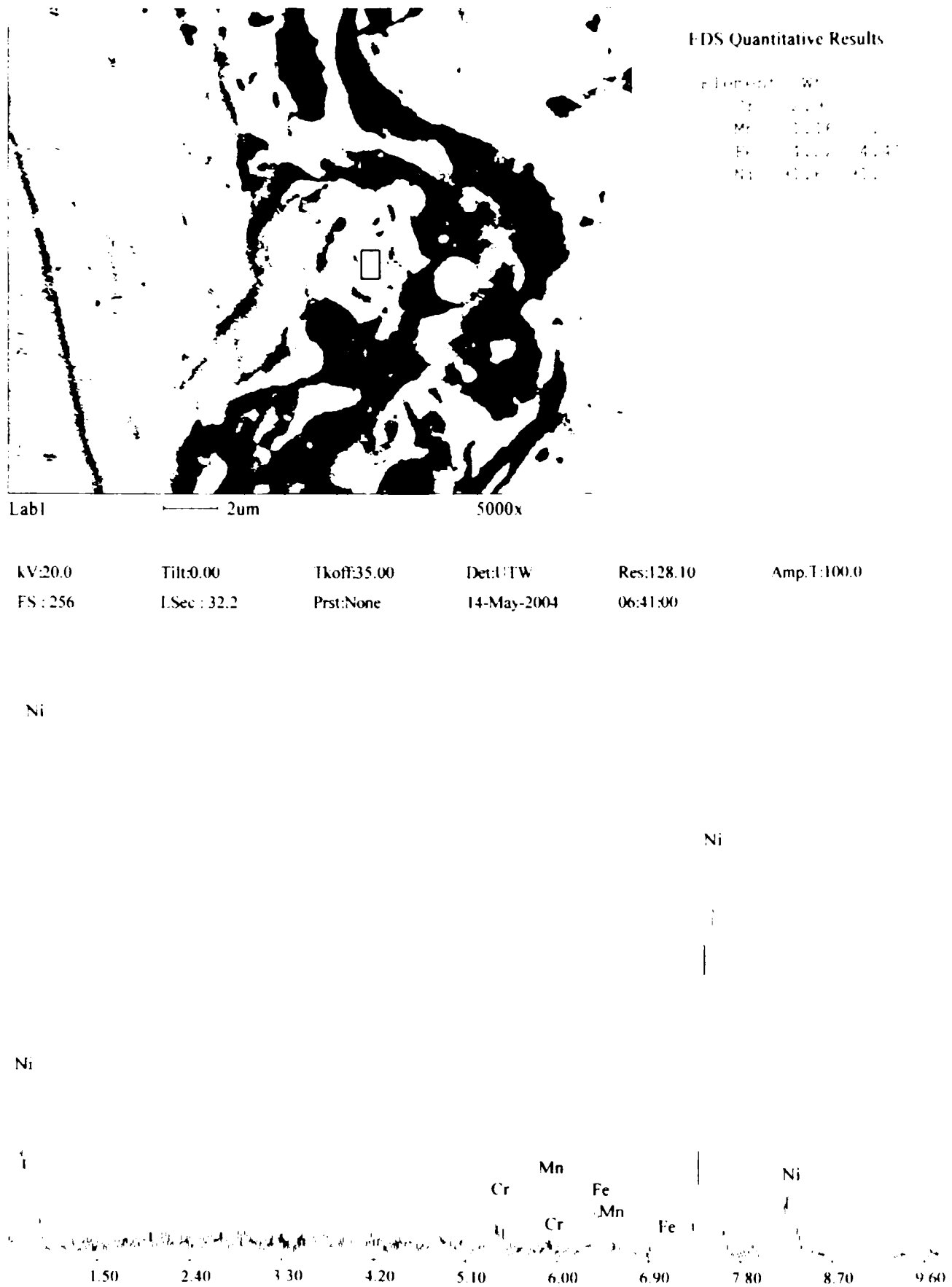


Fig. 5.54. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P5 – matrice de bază

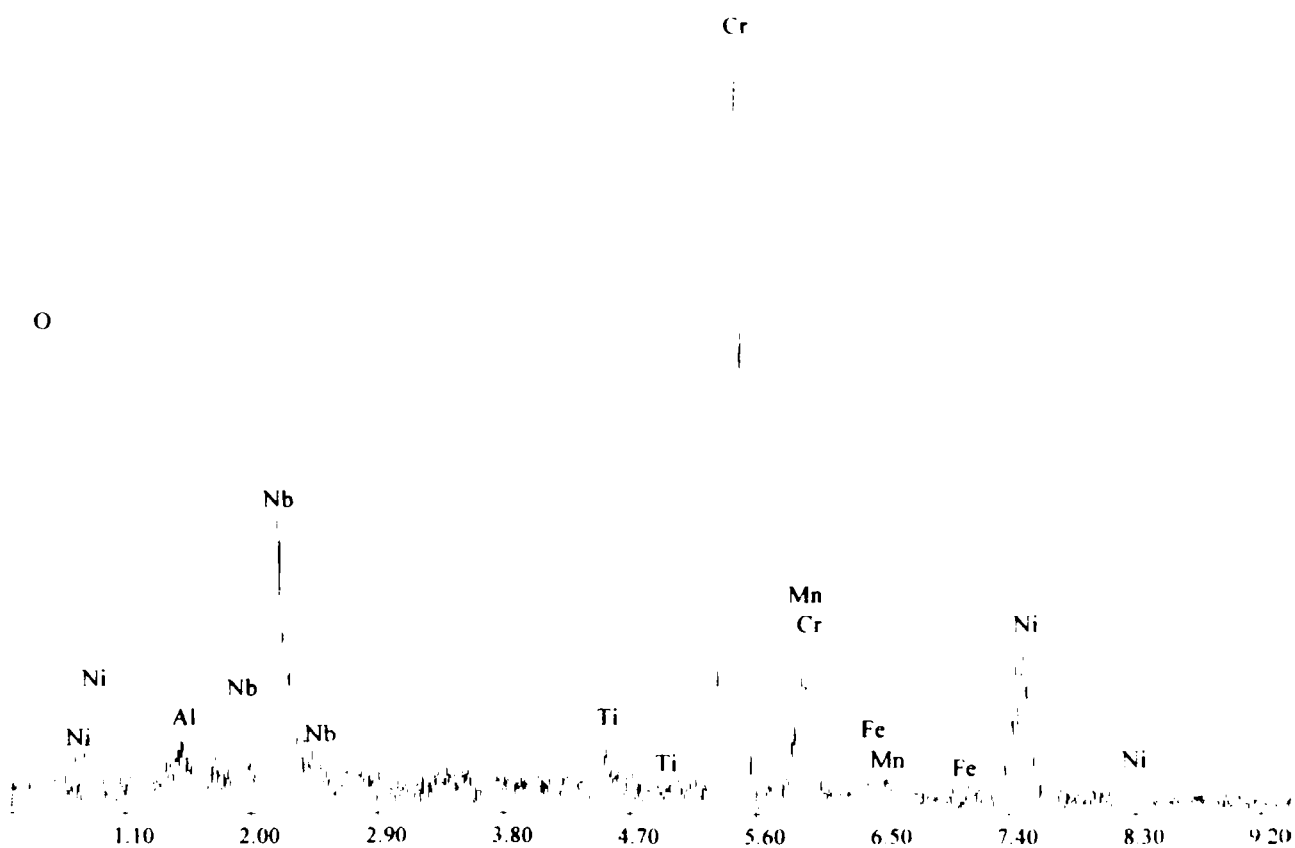
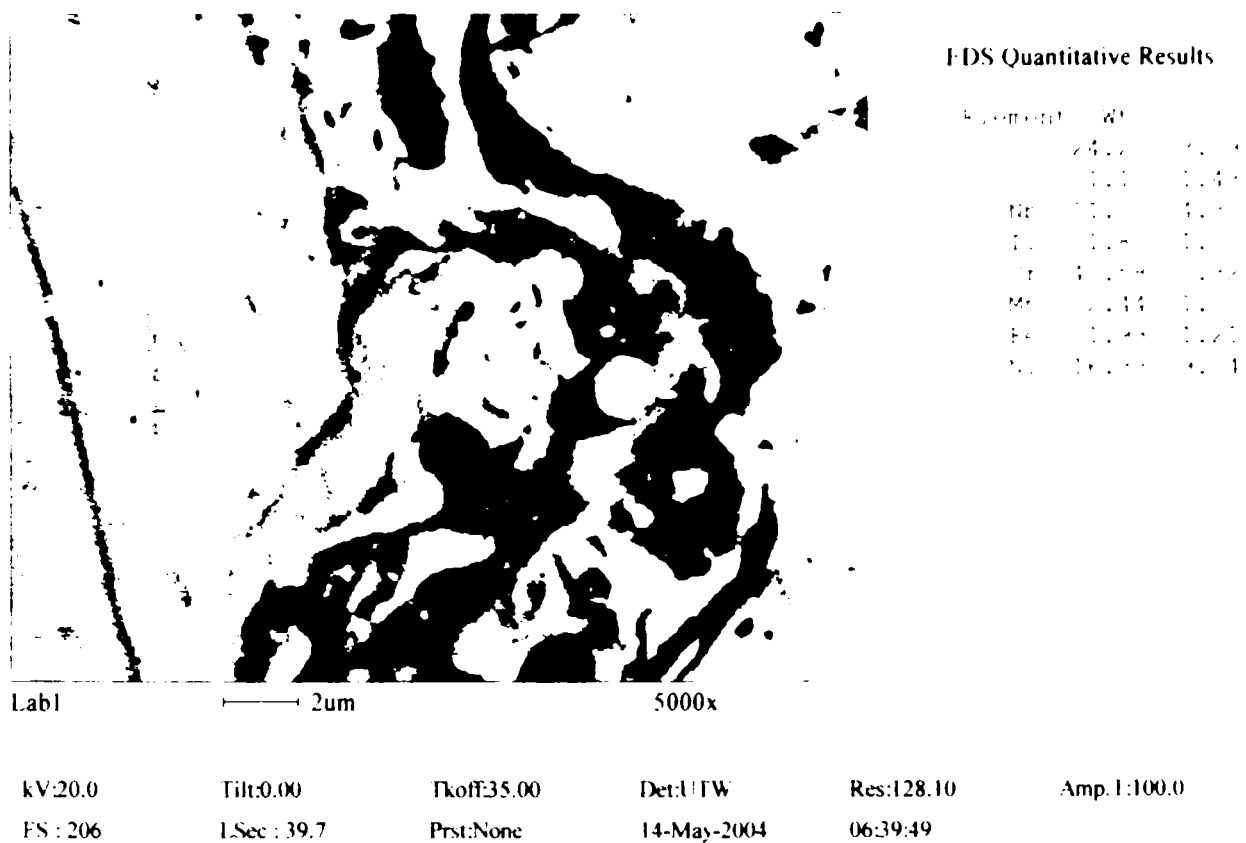


Fig. 5.55 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P5 – oxizi

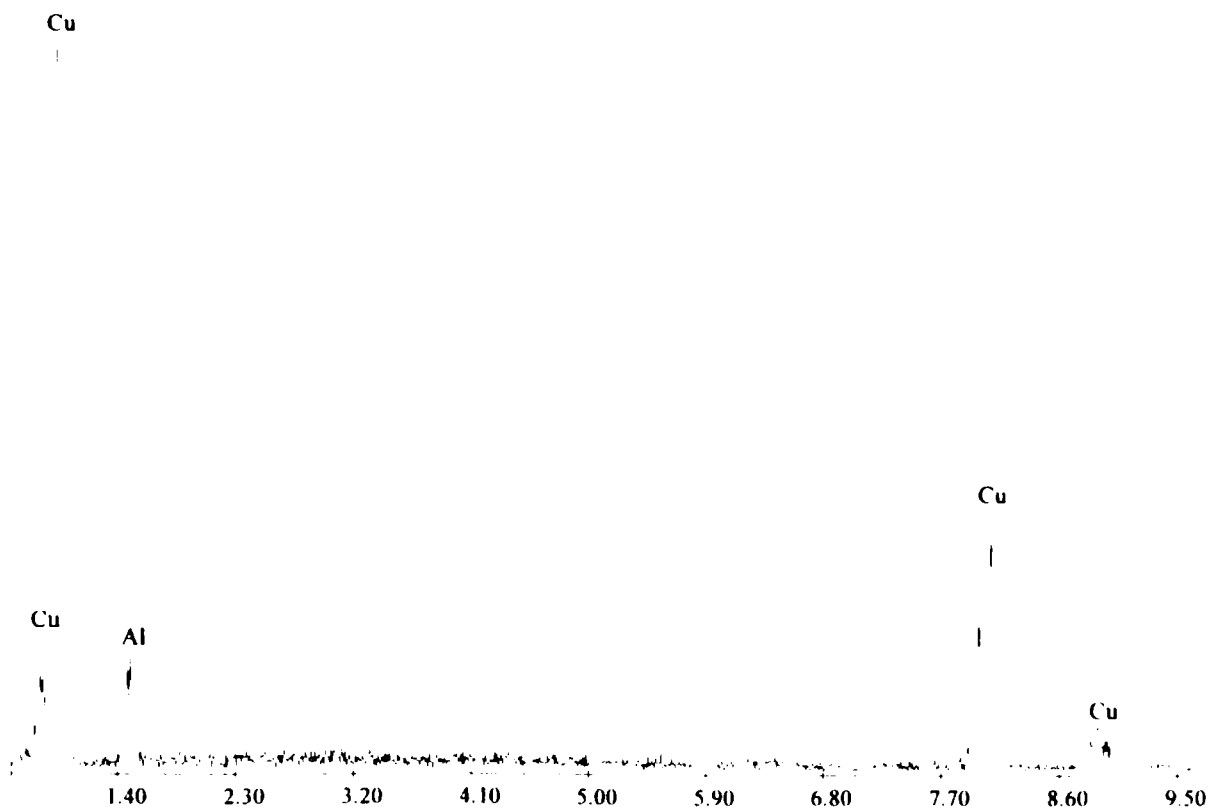
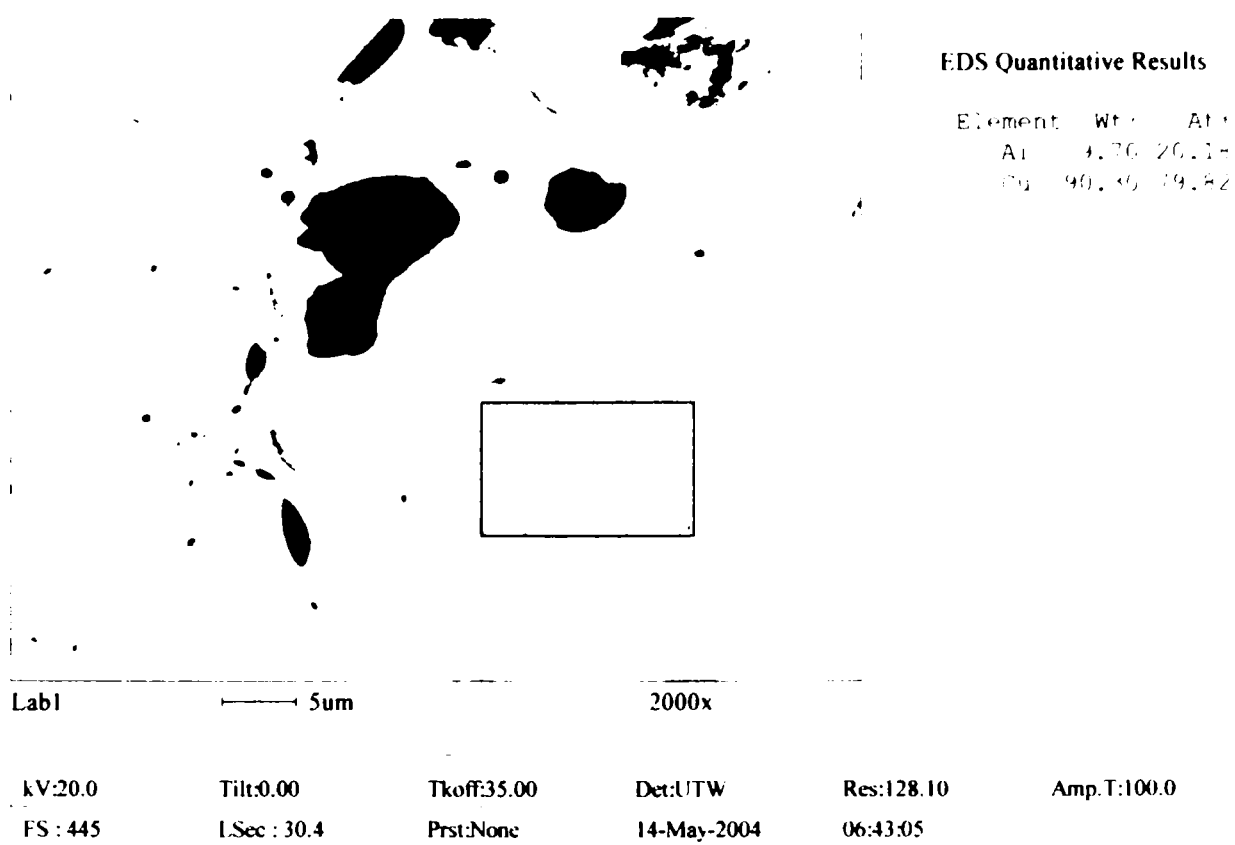


Fig. 5.56. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P5 - matrice de bază.

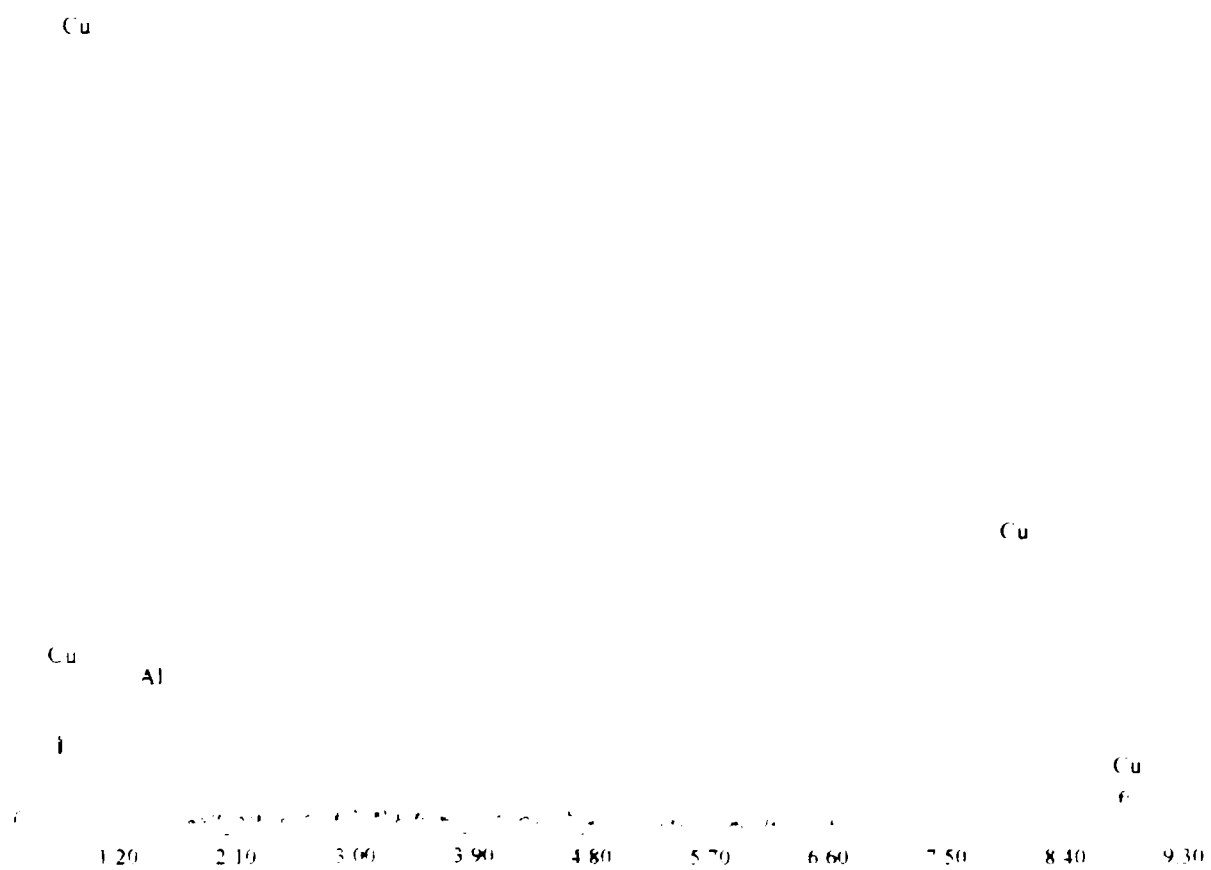
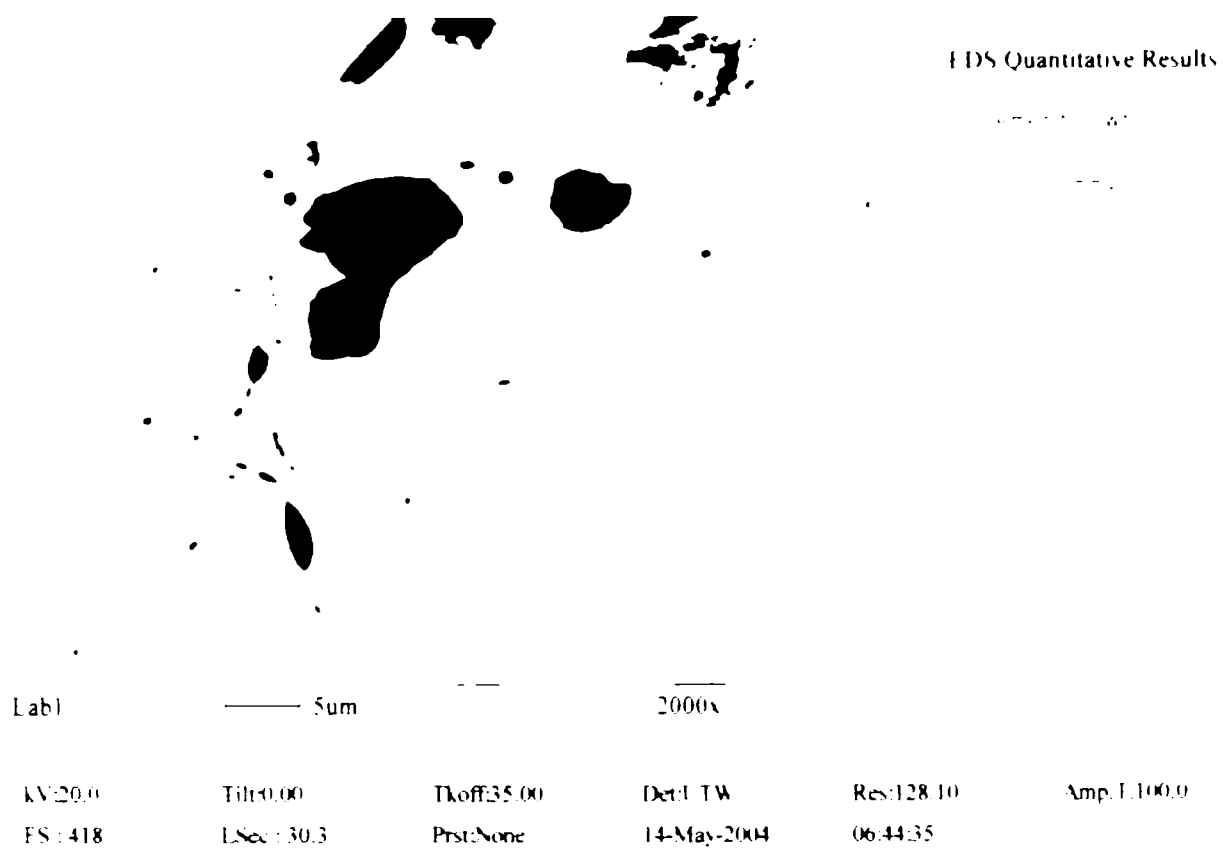


Fig. 5.57 Analiza termică a disponibilității metalice a alezajului P5 – comp. complet

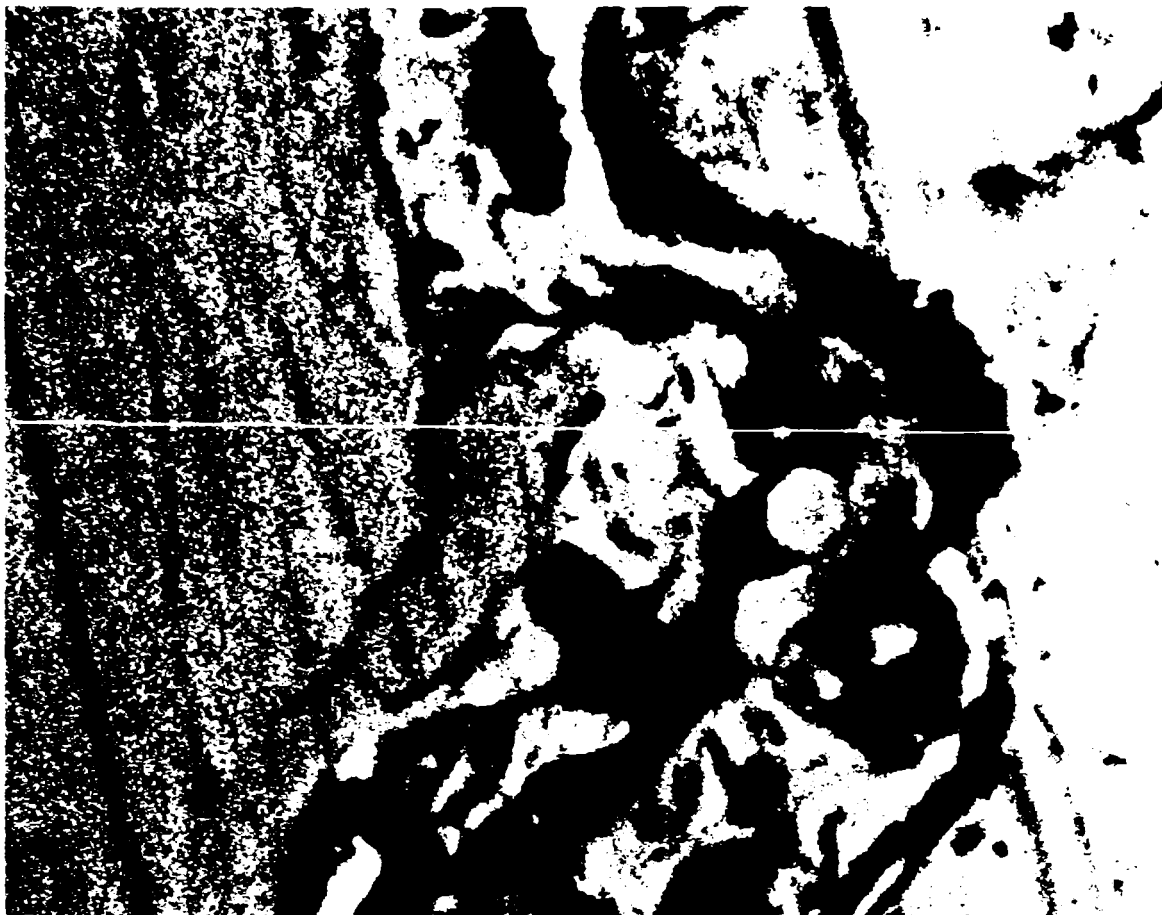


Fig. 5.58. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba P5 - 5000x

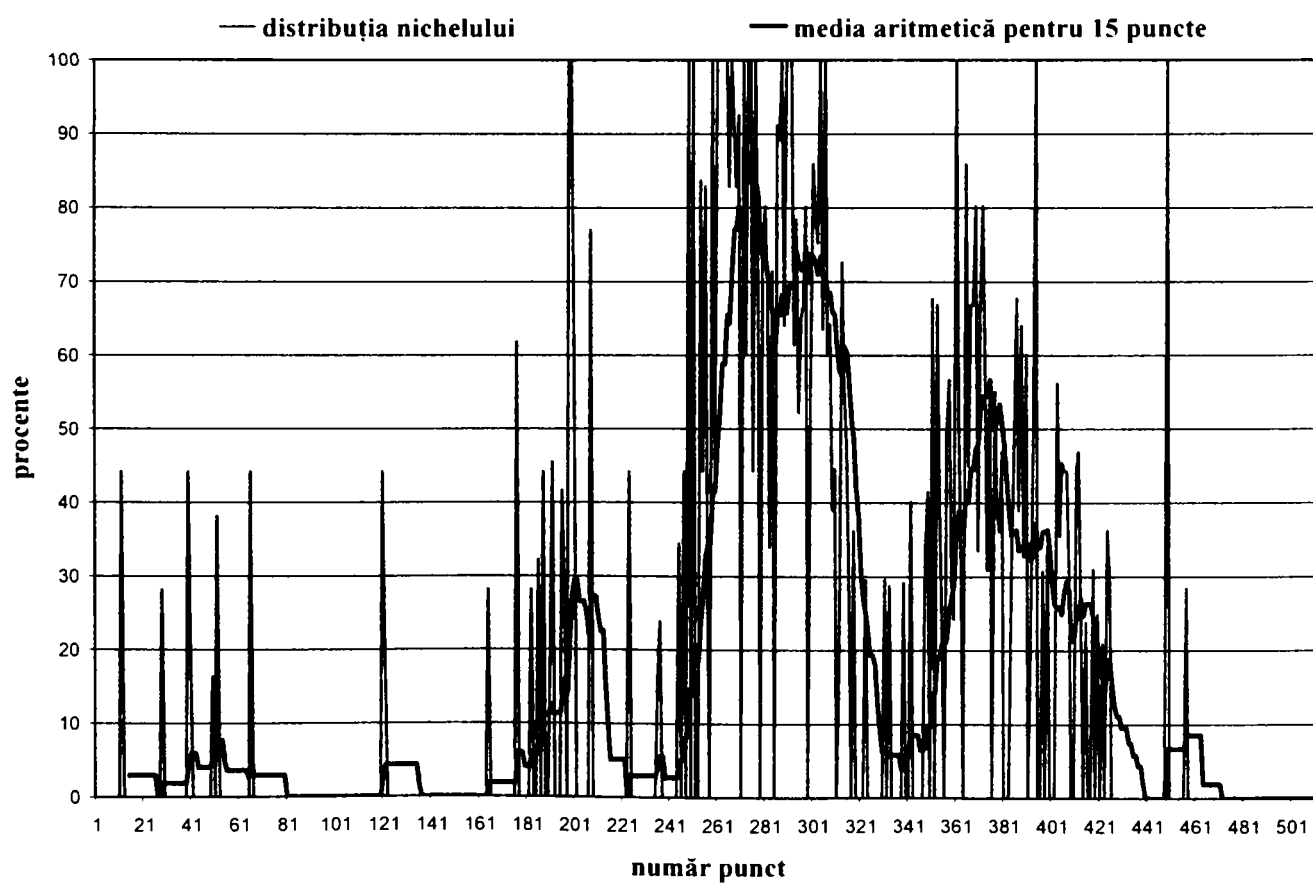


Fig. 5.59. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P5.

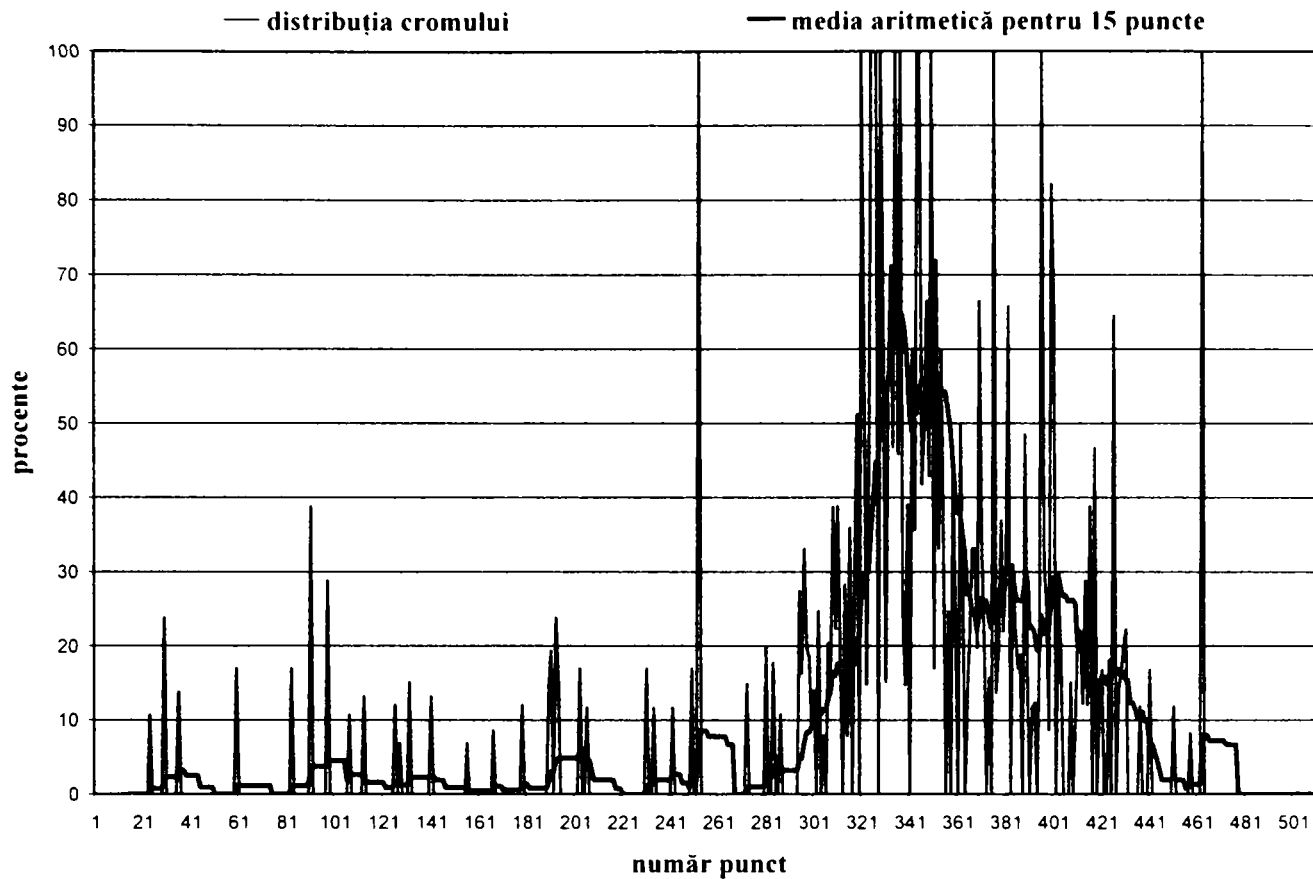


Fig. 5.60. Distribuția cromului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P5

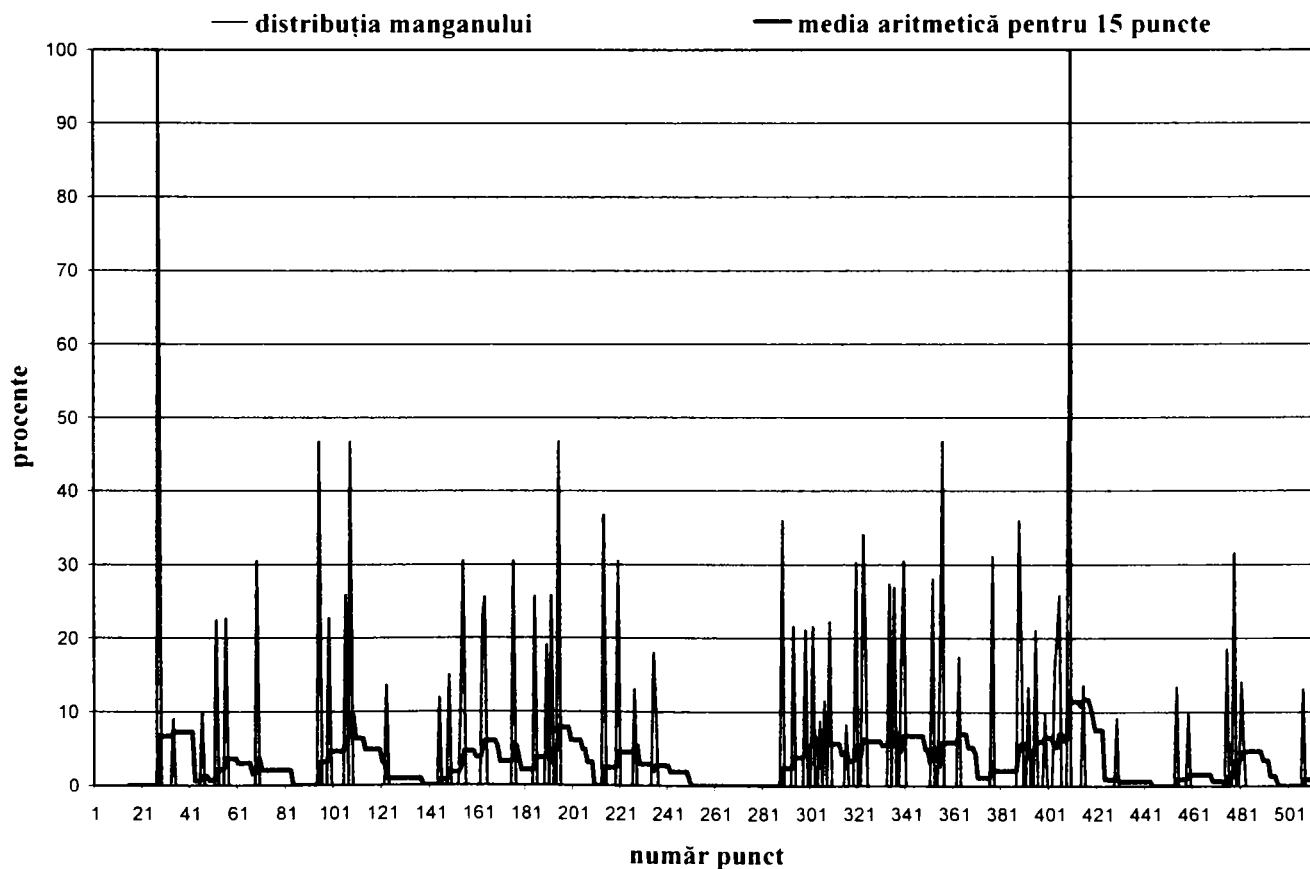


Fig. 5.61. Distribuția manganului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P5.

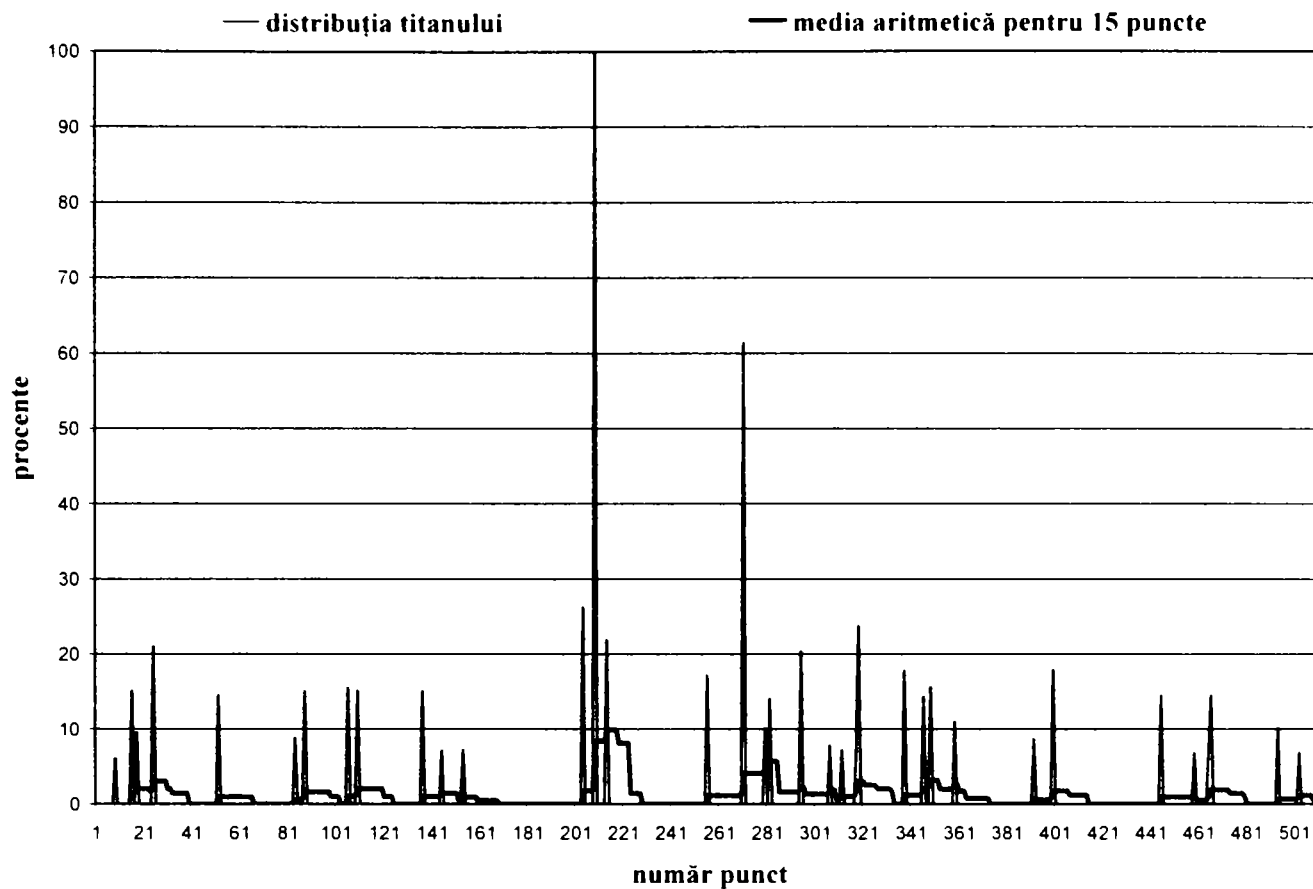


Fig. 5.62. Distribuția titanului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P5

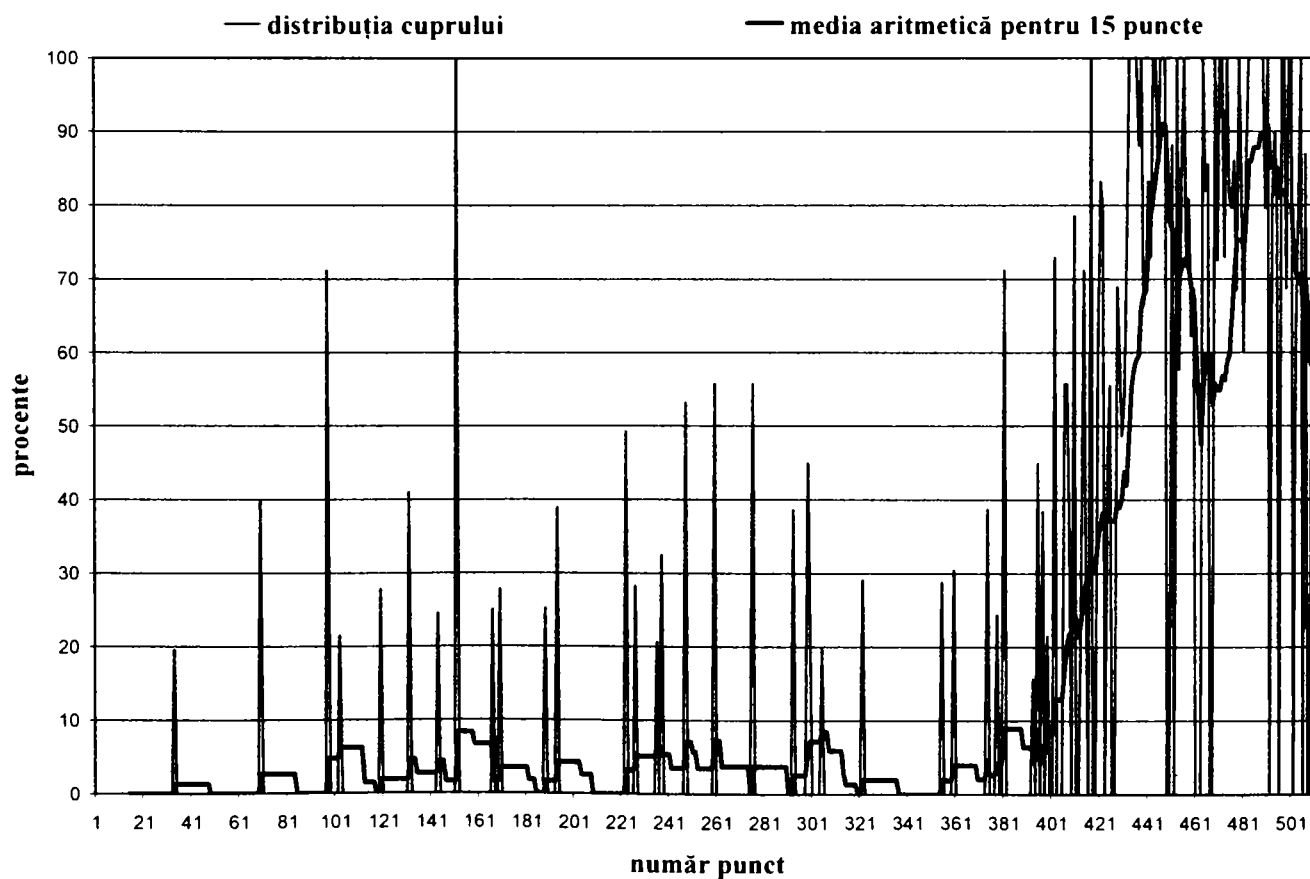


Fig. 5.63. Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P5

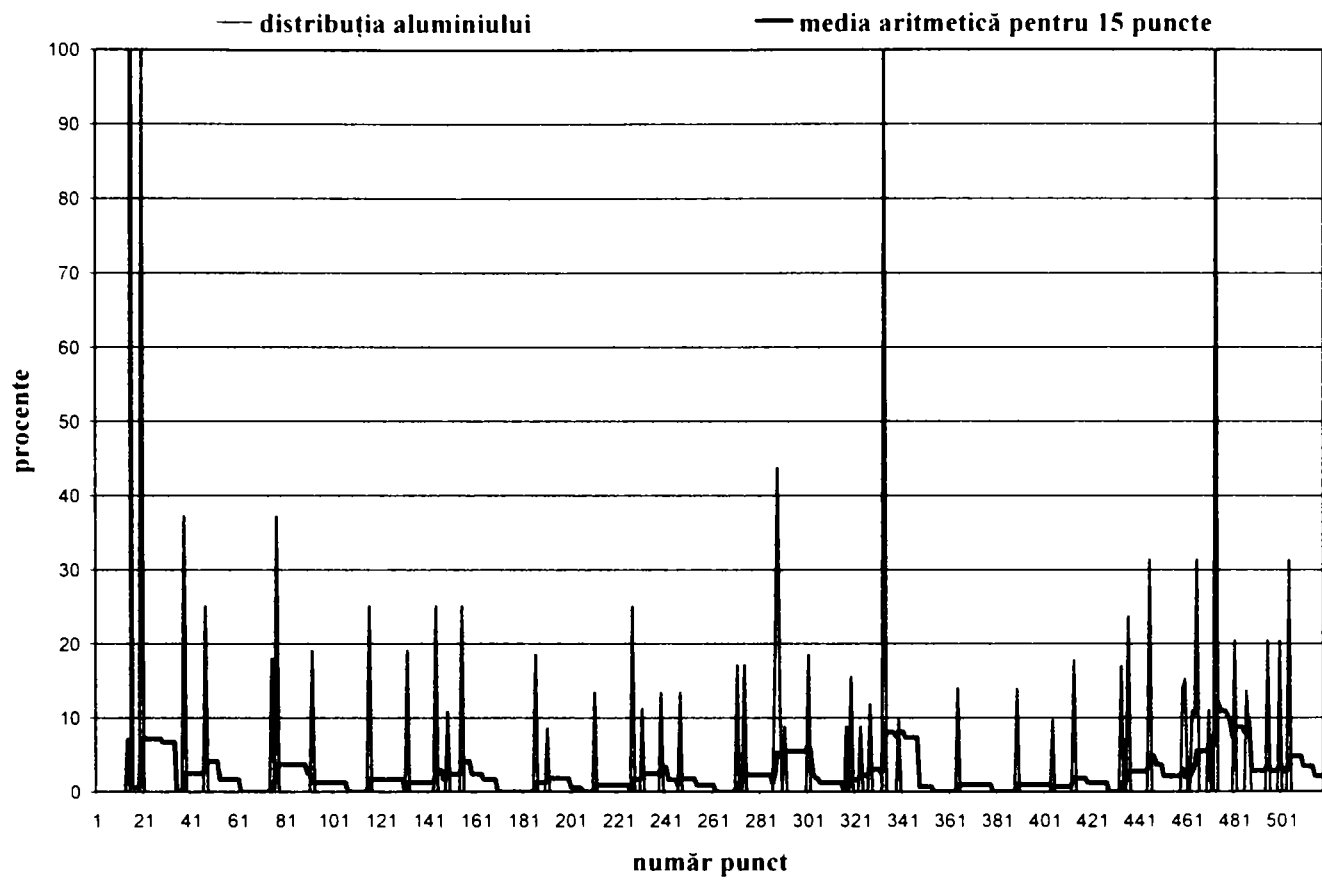


Fig. 5.64. Distribuția aluminiului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P5.

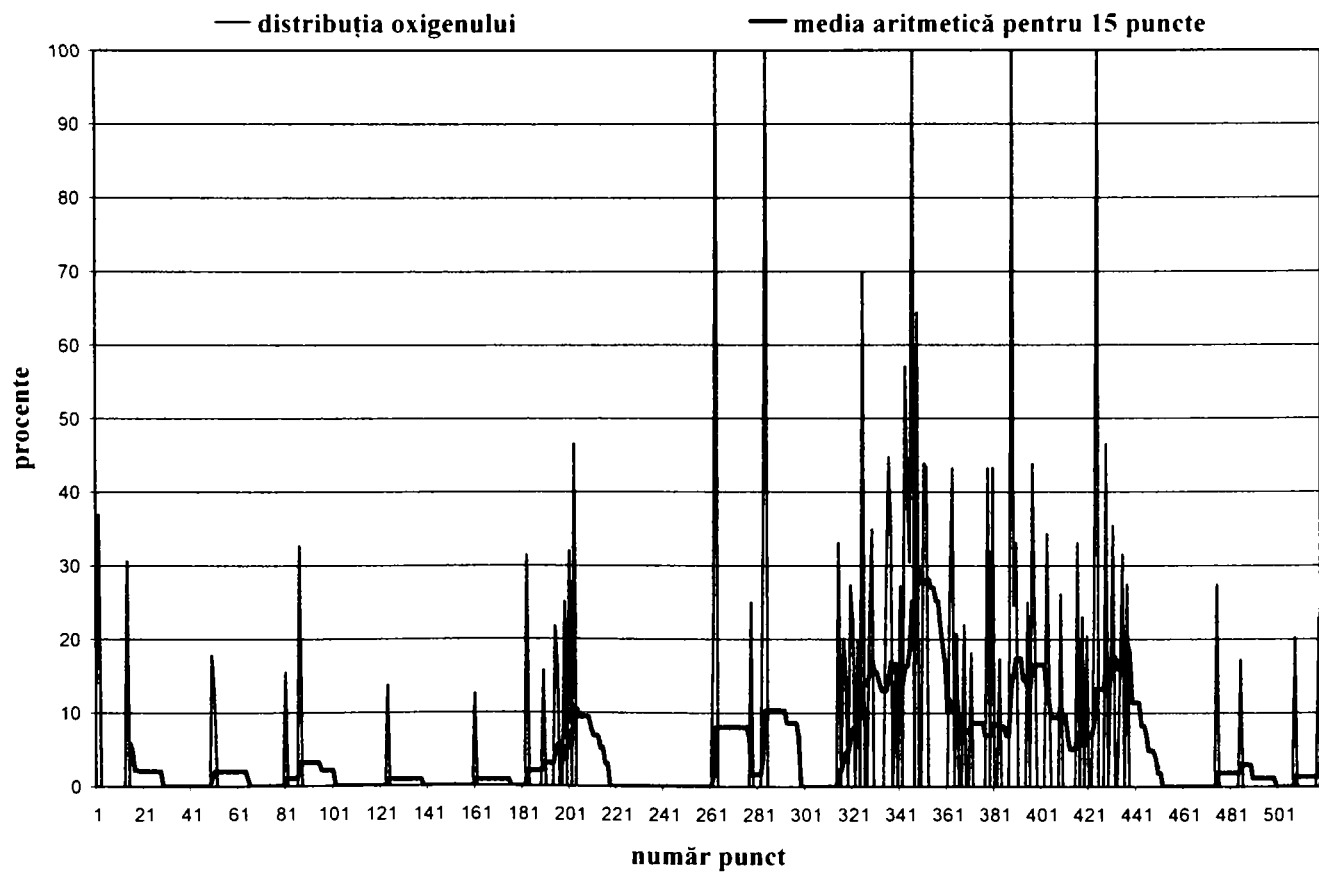


Fig. 5.65. Distribuția oxigenului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P5.

5.2.1.6. Analiza microscopică a probei P6, material depus - babbitt

Pentru această probă au fost necesare efectuarea a două seturi de analize. Astfel, o primă analiză a fost efectuată pe o epruvetă metalografică aflată în stare netratată termic (proba P6a), iar cea de-a doua analiză a fost efectuată pe o probă aflată în stare tratată termic (proba P6b).

a) Proba P6a

Figura 5.66 prezintă imaginea microscopică preluată de la proba P6a.

Rezultatele analizei spectrale sunt sintetizate în tabelul 5.21, valorile fiind exprimate în procente de greutate.

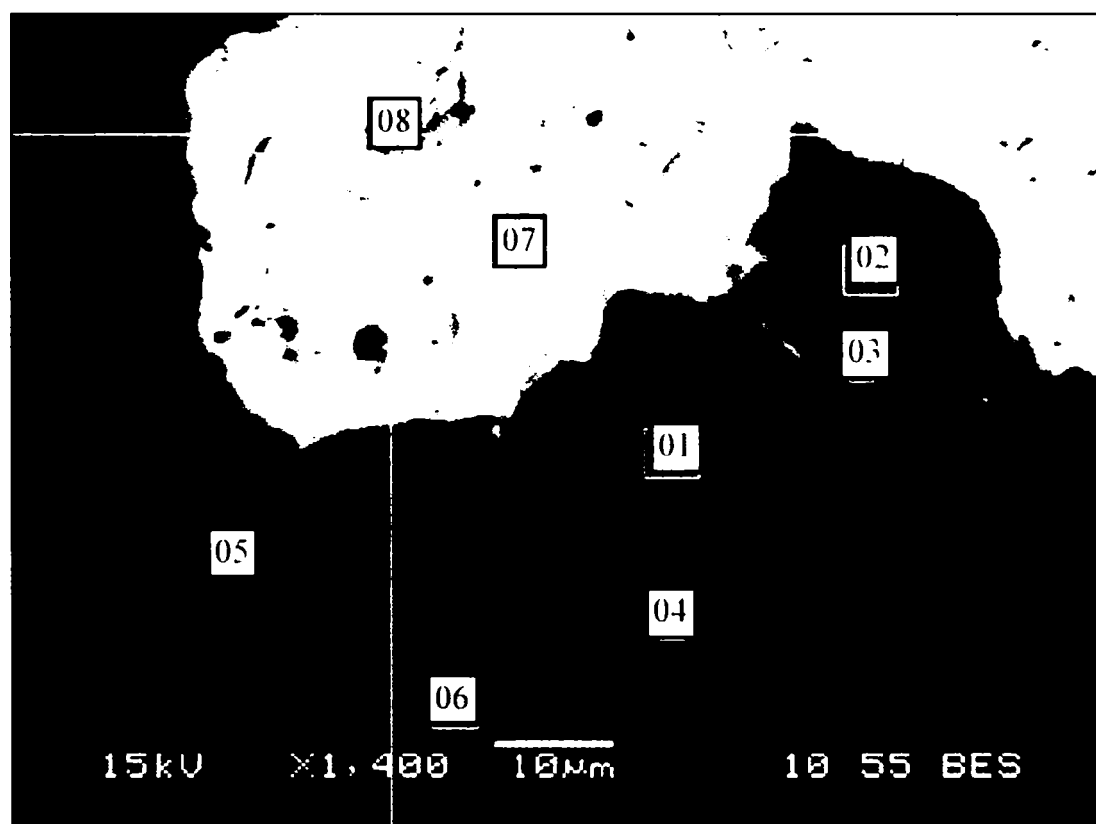


Fig. 5.66. Microstructura probei P6a, pulverizată termic cu flacără și sârmă.

Aspectele relevate de această analiză sunt:

- Spectrele 01, 02, 03, 04 reprezintă stratul obținut în urma pulverizării termice cu arc electric, materialul de adaos fiind sârma Thermanit NiCro 82. Prezența oxizilor este masivă în spectrele 03 și 04, respectiv la limita strat – substrat. Practic în urma segregării și afinității mari a Nb față de oxigen în spectrele 01 și 02 el nu se regăsește. În spectrele 03 și 04 prezența niobiului este puternică alături de cea a cromului;
- Spectrul 05 reprezintă un oxid de aluminiu. El este situat la limita strat – substrat și provine probabil din procesul de sablare cu corindon a piesei;

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezaj

- Spectrul 06 reprezintă substratul;
- Spectrul 07 reprezintă matricea de babbitt;
- Spectrul 08 reprezintă o incluziune accidentală.

Tabel 5.22. Rezultate analiză spectrelor EDS

Nr. spectru	O	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Nb	Sn	Sb
10_01	4.49	-	-	-	-	-	-	95.51	-	-	-	-
10_02	1.73	-	-	-	17.57	1.34	1.28	78.07	-	-	-	-
10_03	32.03	0.72	-	3.18	37.99	3.45	-	4.36	-	16.08	2.19	-
10_04	30.43	-	-	-	42.49	3.27	1.90	15.09	-	6.82	-	-
10_05	48.84	45.91	-	1.69	0.63	-	2.93	-	-	-	-	-
10_06	-	-	-	-	-	1.88	98.12	-	-	-	-	-
10_07	-	-	-	-	-	-	-	-	6.35	-	69.48	24.17
10_08	3.06	-	76.66	-	-	-	-	-	-	-	20.28	-

Se remarcă o bună aderență între straturi. Prezența oxizilor este limitată în principal la limita de separație între straturi.

S-a efectuat și o a doua analiză în altă zonă la o mărire mai mică. Microstructura este prezentată în figura 5.67, iar rezultatele analizei spectrelor în tabelul 5.22.

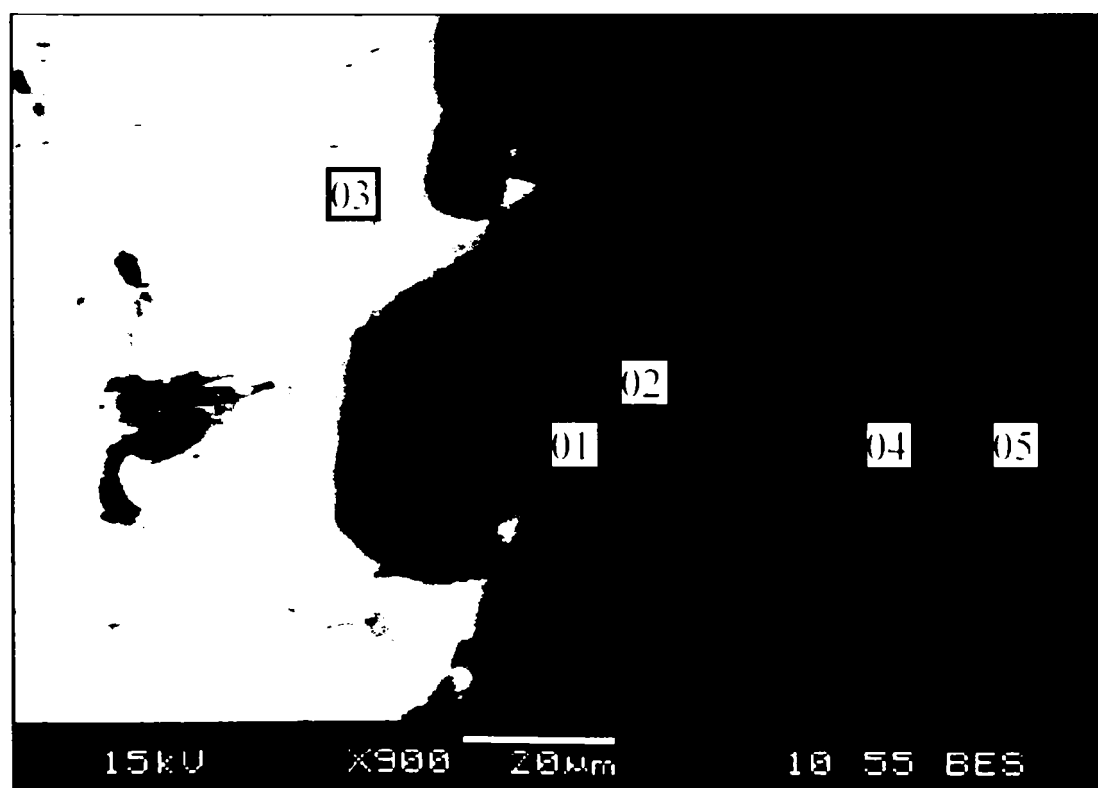


Fig. 5.67. Microstructura probei P6a în cea de a doua zonă

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Lipsa int. 22 Rezultatele analizei spectrale a probei P6a în cadrul adăugării

Nr. spectru	O	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Nb	Sn
03_01	5.31	-	-	22.23	-	-	70.16	-	2.31	-
03_02	33.08	0.98	5.00	34.26	4.40	-	4.65	-	17.63	-
03_03	-	-	-	-	-	-	-	11.91	-	88.09
03_04	-	-	-	-	-	100.00	-	-	-	-
03_05	-	-	-	-	-	100.00	-	-	-	-

Analiza acestor spectre conduce la următoarele concluzii:

- Spectrul 01 reprezintă compoziția chimică a materialului de adaos folosit la metalizarea stratului de aderență;
- Spectrul 02 reprezintă oxizii care au apărut în timpul operației de metalizare a stratului de aderență. Se remarcă și aici segregări ale Nb, Cr și Ti care formează oxizii din acest spectru;
- Spectrul 03 reprezintă matricea metalică Cu – Sn obținută în urma metalizării cu sârma Sprababbitt A;
- Spectrele 04 și 05 sunt practic materialul substratului, adică oțelul.

Din imaginea metalografică se poate remarca aderența bună între straturi.



Fig. 5.68 Microstructura zonei 3 a probei P6a

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

A treia analiză pentru această probă pune în evidență prezența elementelor chimice din materialele de adaos. Figura 5.68 prezintă imaginea preluată cu microsonda electronică, analiza efectuându-se în punctul situat în stânga-sus a fiecărei denumiri.

Figura 5.69 prezintă analiza spectrală prin fluorescență de raze X a acestei zone, iar tabelul 5.23 compoziția chimică a spectrelor analizate.

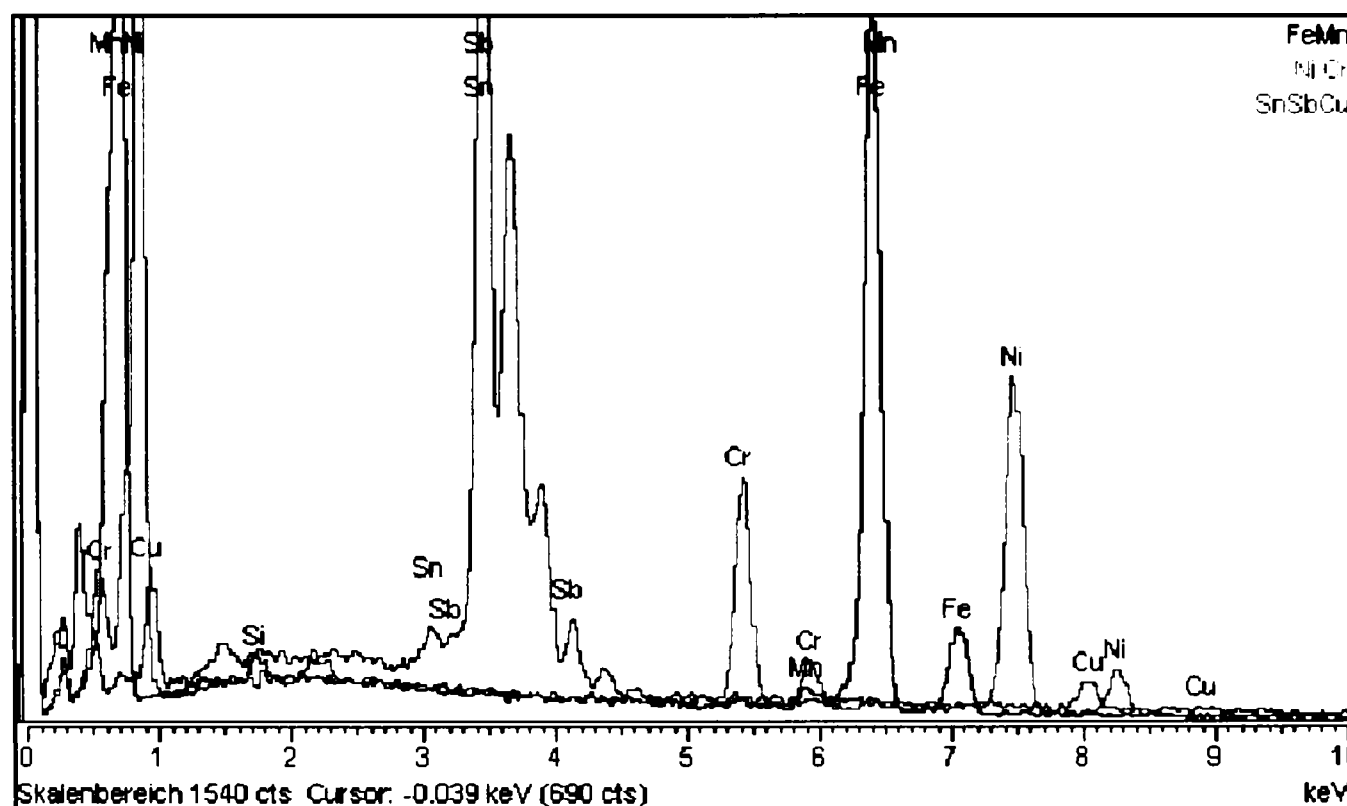


Fig. 5.69. Analiza spectrală prin fluorescență de raze X a probei P6a.

Tabelul 5.23. Compoziția chimică în urma analizei spectrale a probei P6a în a treia zonă

Nume spectru	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Sn	Sb
NiCr	-	19,78	2,30	-	77,92	-	-	-
FeMn	0,53	-	2,18	97,29	-	-	-	-
SnSbCu	-	-	-	-	-	10,23	72,57	17,20

Analiza spectrală evidențiază prezența elementelor chimice principale folosite la depunerea straturilor prin pulverizare termică.

În spectrul 3 (SnSbCu) se remarcă segregări ale Sb și Cu și o reducere procentuală a Sn, provocat de arderea acestuia în timpul pulverizării.

Spectrul 2 (NiCr) evidențiază o reducere nesemnificativă a elementelor chimice prezente în materialul de adaos, reducere datorată arderii acestora în timpul pulverizării.

b) Proba P6b

Această analiză a devenit necesară în urma investigațiilor difractometrice cu raze X (paragraful 5.2.2), care a pus în evidență apariția compușilor SnSb și Cu₃Sn după un tratament termic efectuat unei asemenea probe.

În figura 5.70 este prezentată analiza chimică cantitativă a compusului din imagine. Se remarcă doar prezența staniului și stibiului, el tinzând să aibă o formă regulată, ca și compușii SnSb din stare turnată. Se poate remarca că acest compus diferă de matricea metalică de bază prin culoarea pe care o are în urma analizei prin tehnica BES. Cantitatea mică de SnSb este probabil rezultatul unui timp de menținere prea scurt a probei (1 h) la temperatura de 150°C.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.71 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 457,73 μm, numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute în urma acestei analize au fost prelucrate ca și în cazul probei P1, rezultând diagramele din figurile 5.72 – 5.78.

În cazul depunerii cu babbitt analiza chimică cantitativă demonstrează apariția compușilor SnSb în urma tratamentului termic efectuat. Decelarea compusului de tipul Cu₃Sn este mai dificil de realizat datorită formei acestuia (acicular, în cazul babbitturilor turnate) și datorită dimensiunii mici pe care o are.

Apariția acestor compuși în structura straturilor depuse de babbitt contribuie la îmbunătățirea calității acestora și la creșterea proprietății antifricțiune a straturilor depuse prin pulverizare termică.

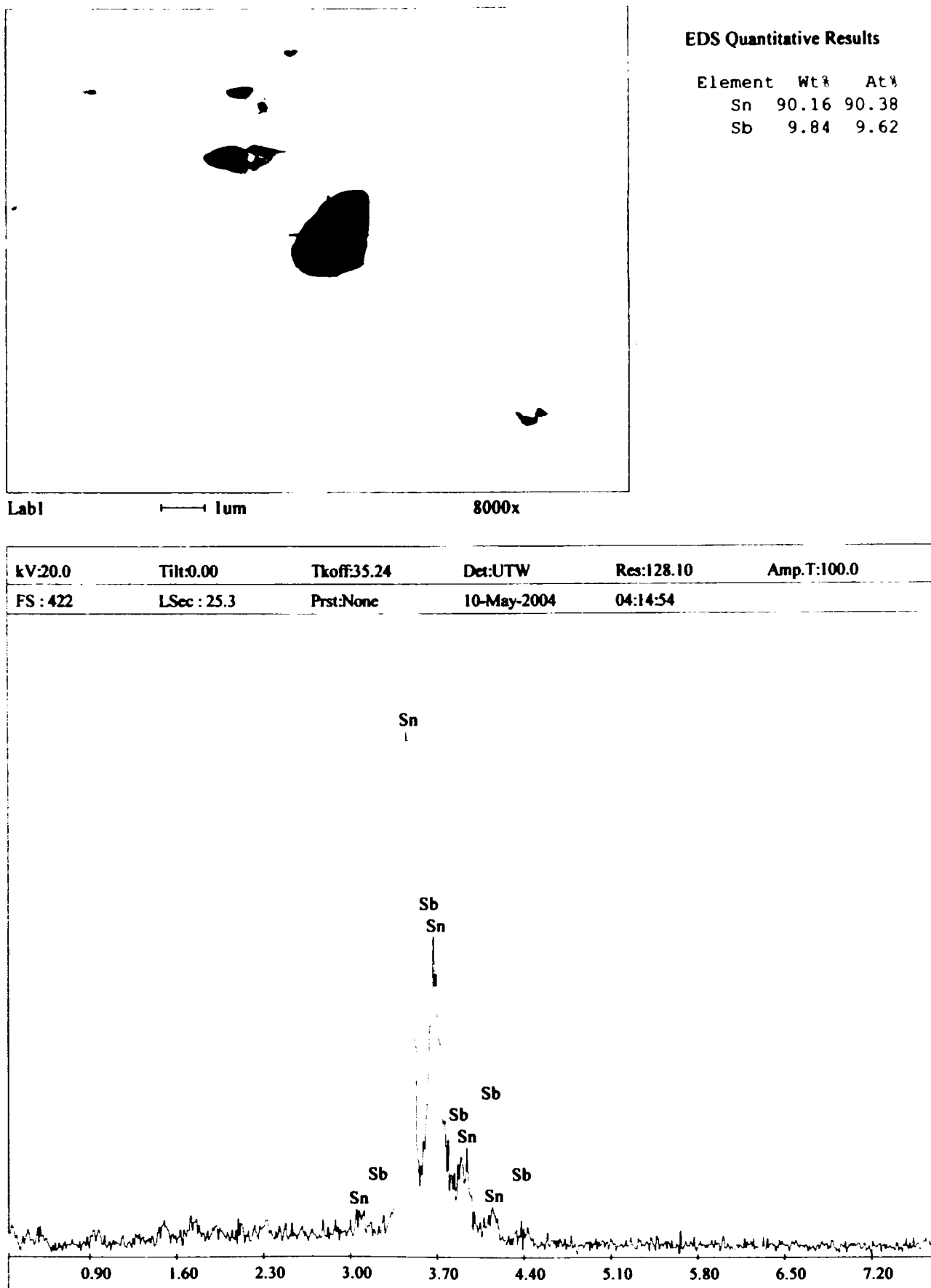


Fig. 5.70. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P6b - compus SnSb.



Fig. 5.71. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba P6b - 250x.

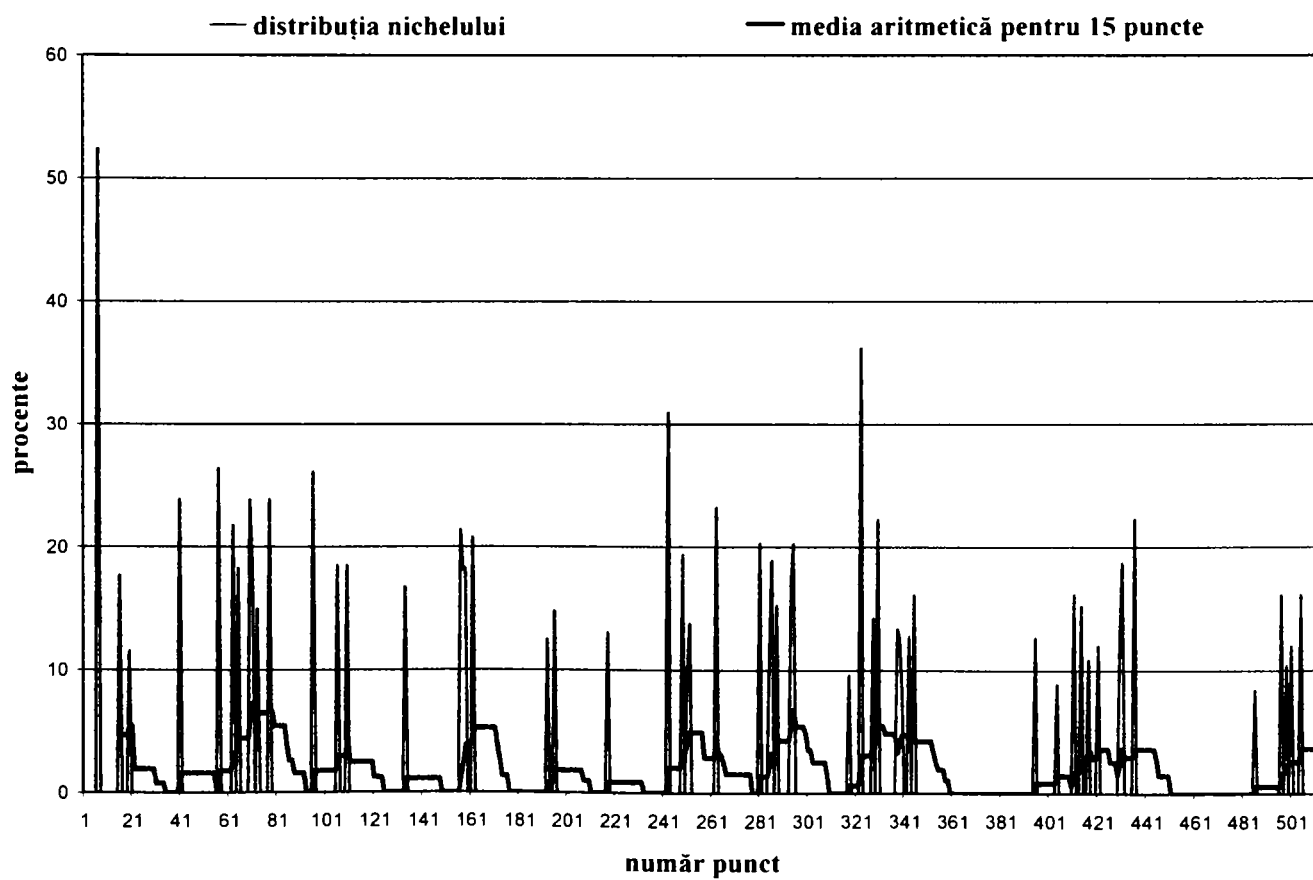


Fig. 5.72. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P6b.

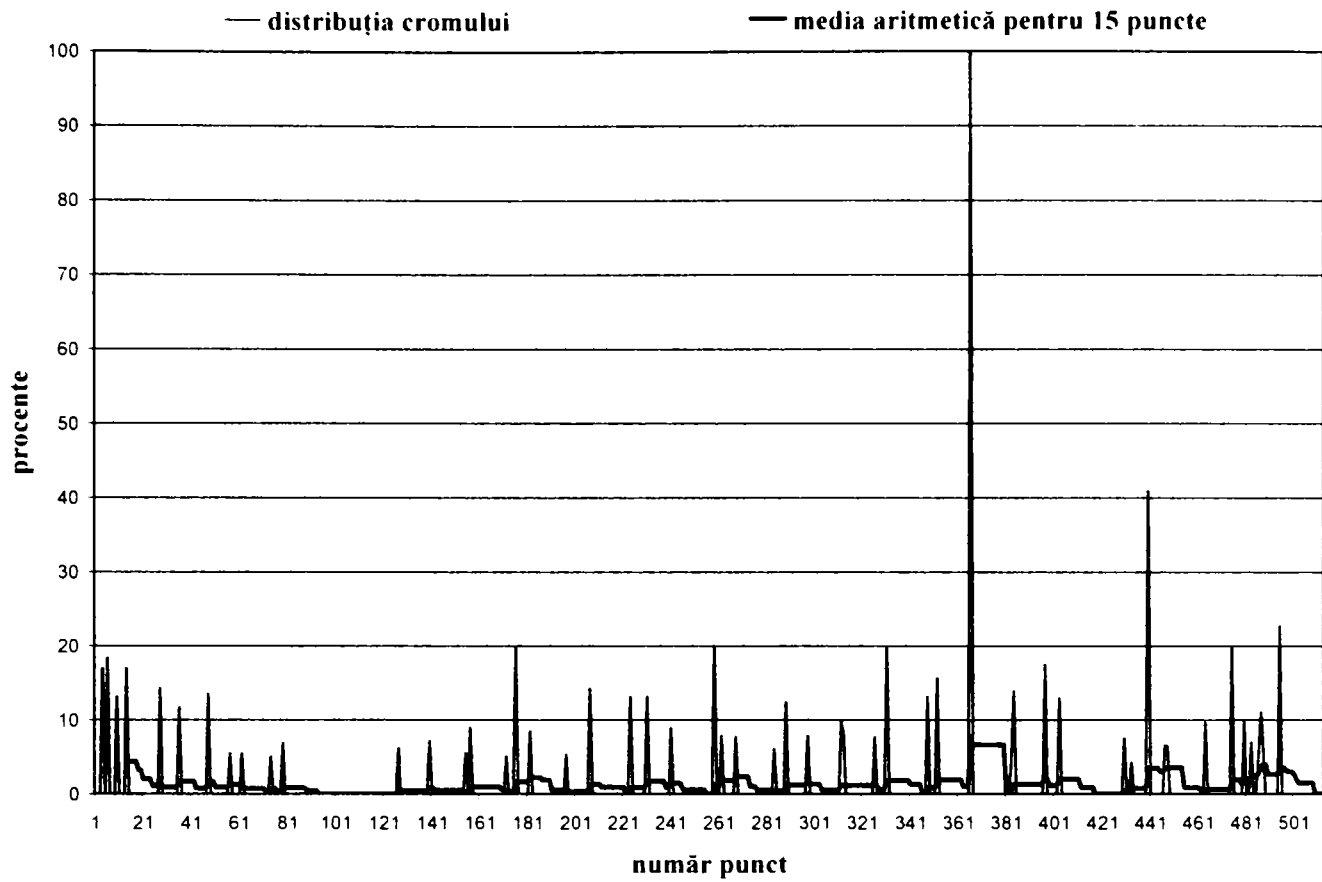


Fig. 5.73. Distribuția cromului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P6b

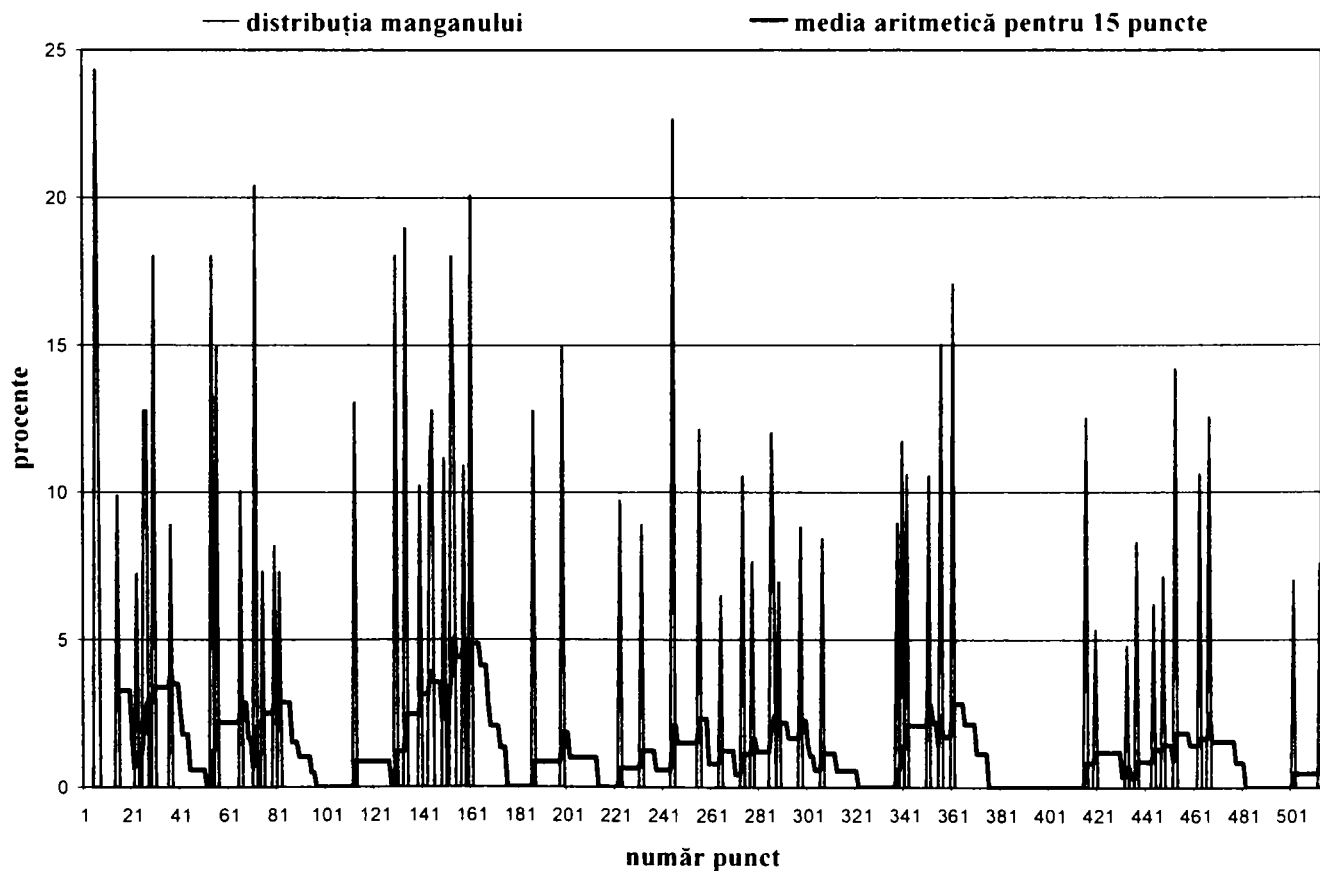


Fig. 5.74. Distribuția manganului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P6b.

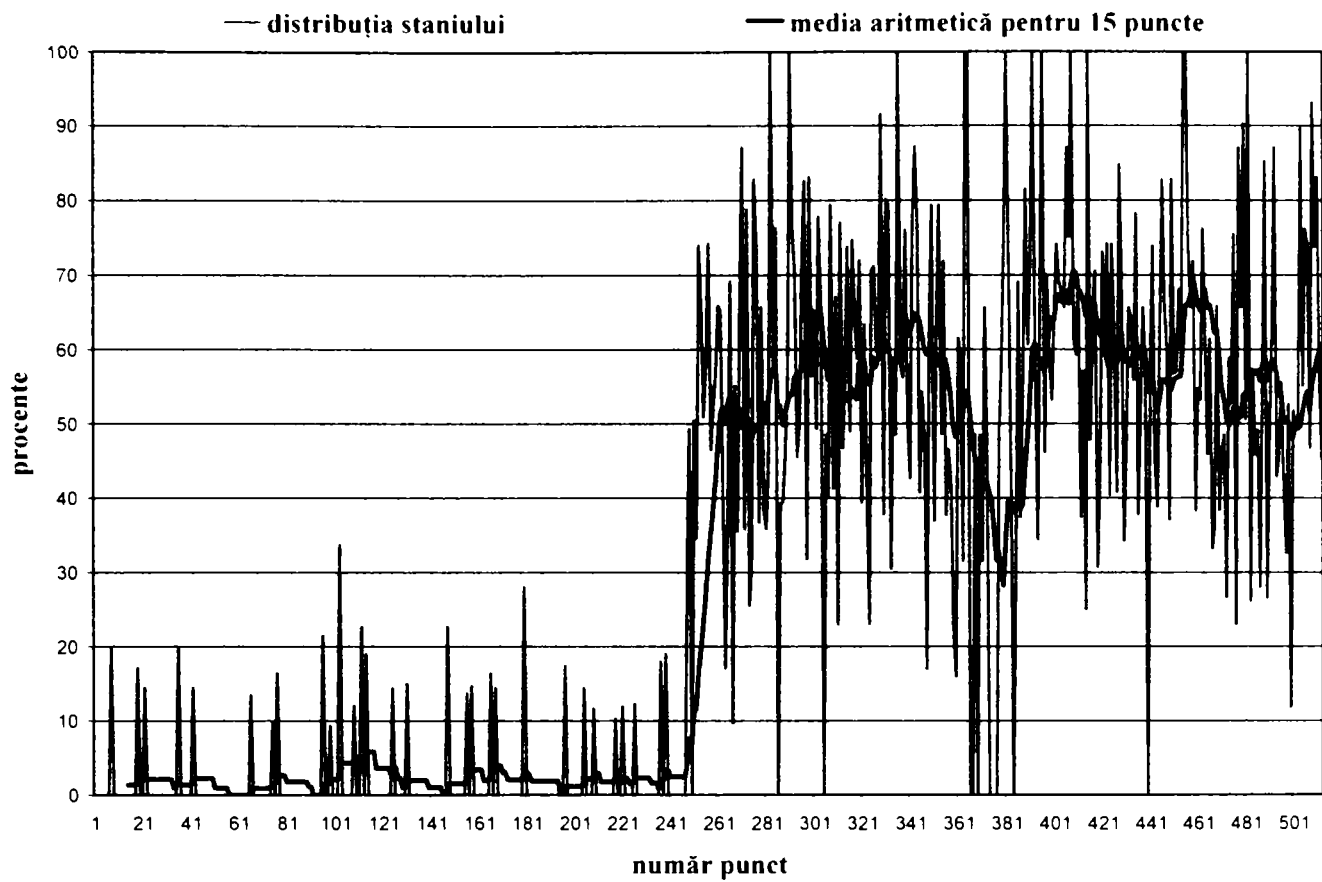


Fig. 5.75. Distribuția staniului de-a lungul limei substrat - strat depus pentru proba P6b

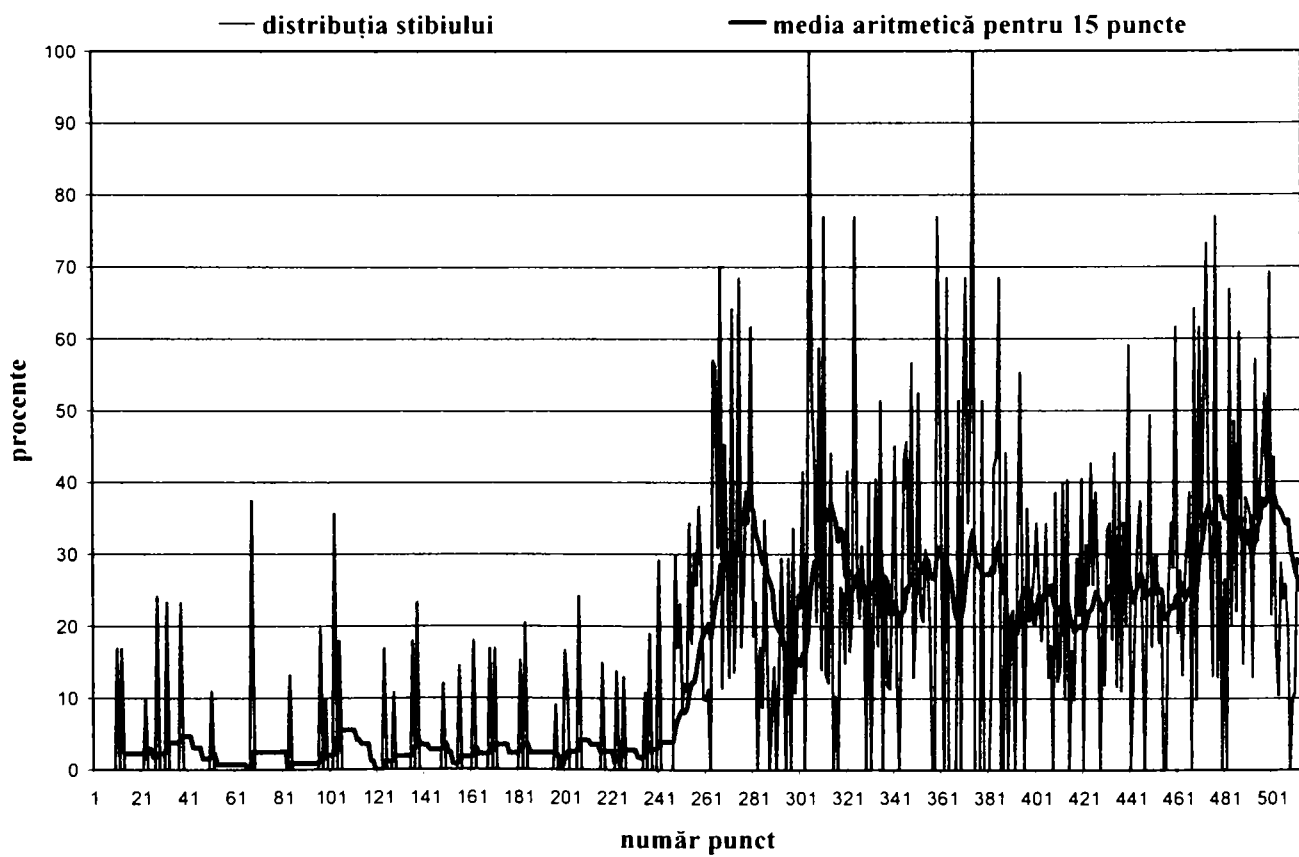


Fig. 5.76. Distribuția stibiului de-a lungul limei substrat - strat depus pentru proba P6b

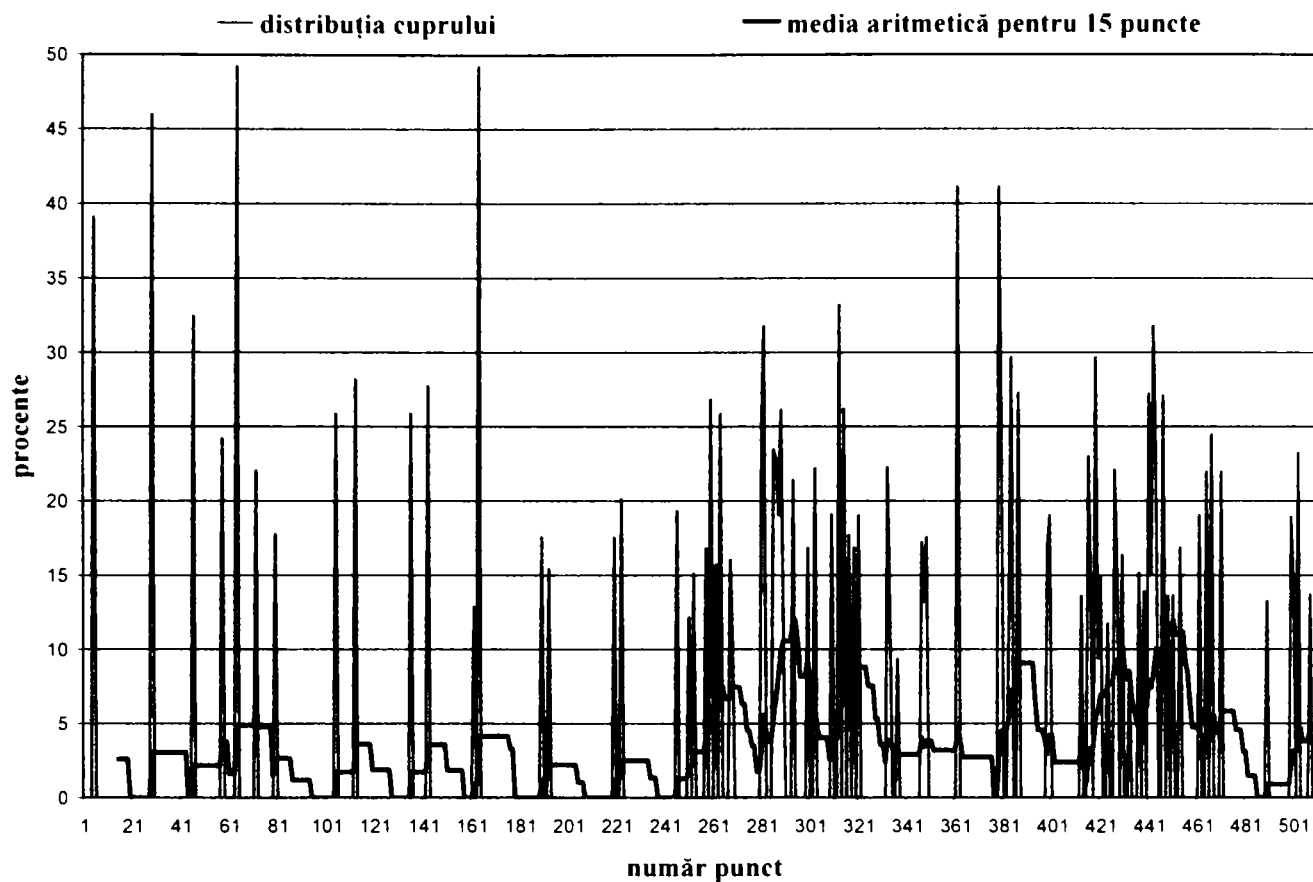


Fig. 5.77. Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat strat depus pentru proba P6b.

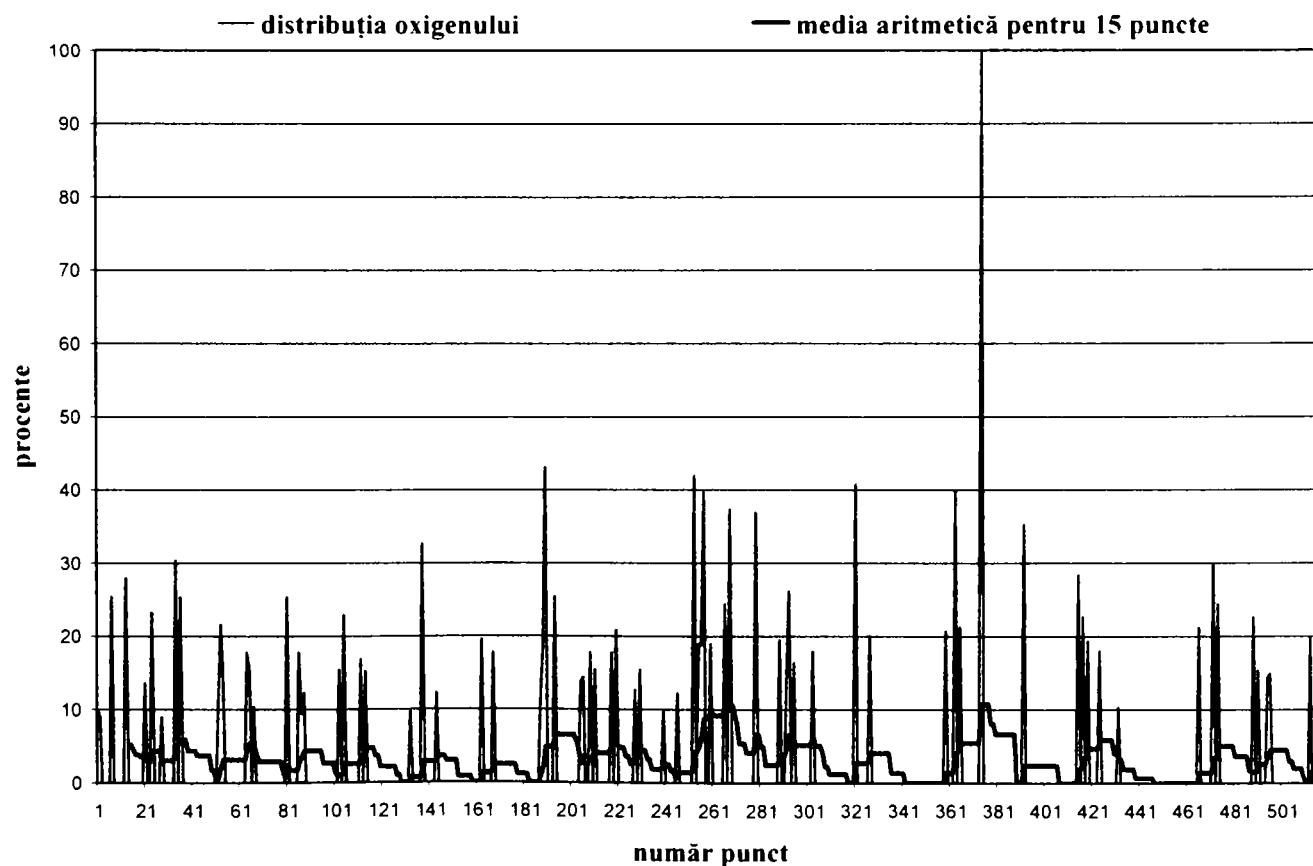


Fig. 5.78. Distribuția oxigenului de-a lungul liniei substrat strat depus pentru proba P6b.

5.2.1.7. Analiza microscopică a probei P7, material depus bronz de aluminiu

În figurile 5.79 și 5.80 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului de aderență.

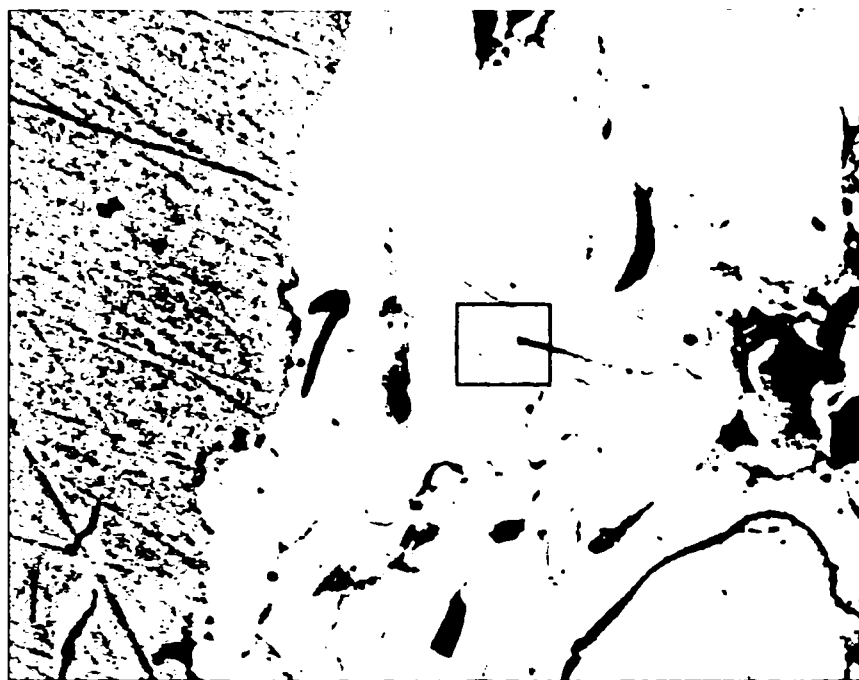
În ambele analize chimice cantitative prezentate în aceste figuri se remarcă prezența principalelor elemente chimice din pulberea utilizată la depunerea stratului de aderență. De asemenea, se poate observa buna aderență între acest strat și substrat.

În figurile 5.81 și 5.82 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului depus prin pulverizare termică cu flacără și pulbere, materialul de adaos utilizat fiind bronzul de aluminiu. Se remarcă o proporție ridicată de oxizi, neomogenități, incluziuni, practic acest procedeu fiind cel care conduce la cel mai ridicat procent de oxizi și porozitate.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.83 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 57.03 μm , numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute în urma acestei analize au fost prelucrate ca și în cazul probei P1, rezultând diagramele din figurile 5.84 – 5.88.

Alte imagini, la diverse mărimi, preluate de la această probă sunt inserate în anexa 1 (fig. A 1.7).



EDS Quantitative Results

Element	Wt%	At%
Al	7.42	15.24
Mo	7.36	4.25
Cr	0.40	0.43
Fe	0.94	0.93
Ni	83.87	79.15

Labl 5um 2000x

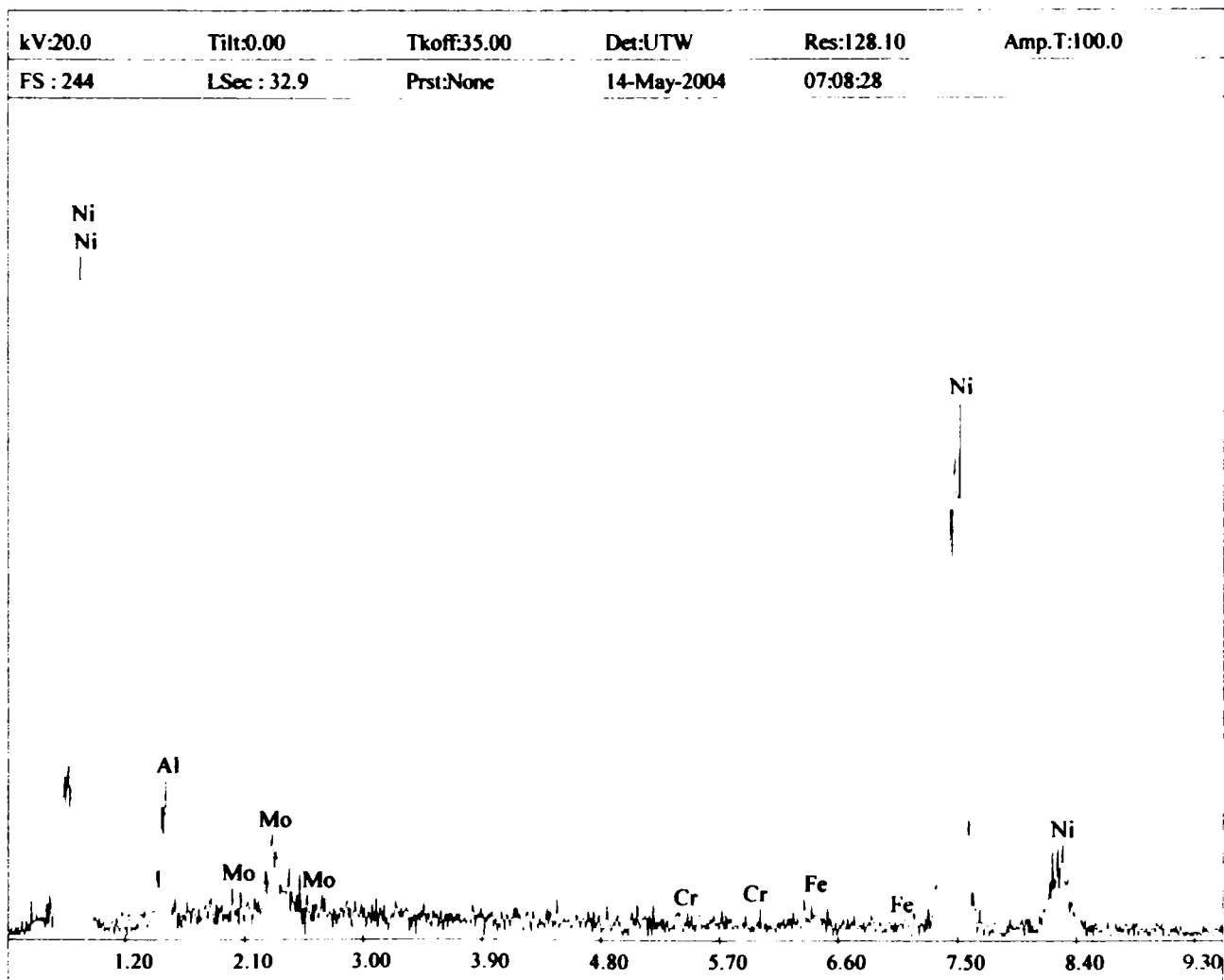
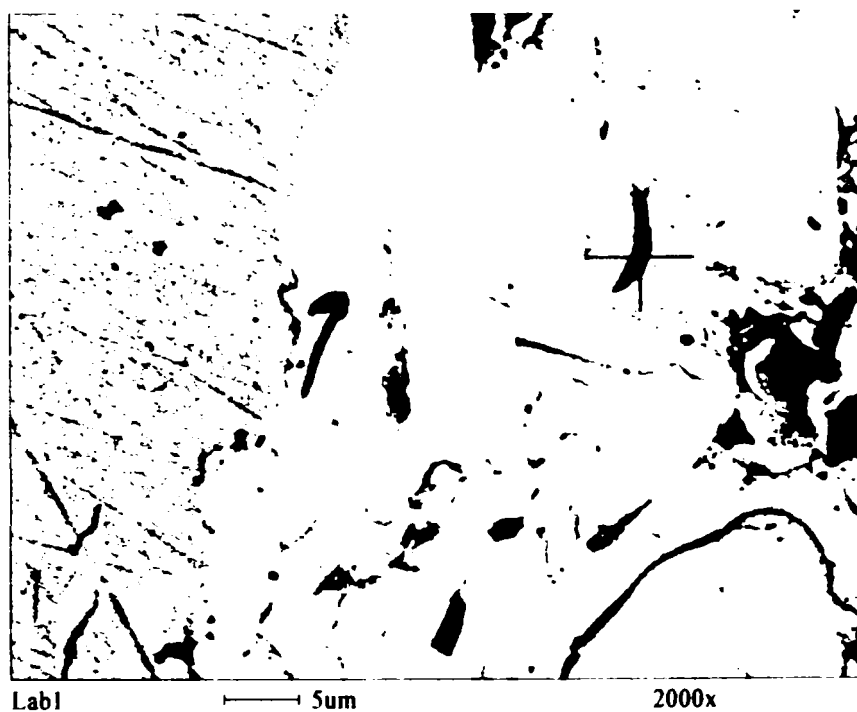


Fig. 5.79. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P⁻ matrice de bază.



EDS Quantitative Results

Element	Wt%	At%
Al	5.40	11.34
Mo	7.51	4.44
Cr	0.32	0.35
Fe	1.32	1.34
Ni	85.46	82.54

kV:20.0	Tilt:0.00	Tkoff:35.00	Det:UTW	Res:128.10	Amp.T:100.0
FS : 278	LSec : 30.5	Prst:None	14-May-2004	07:09:46	

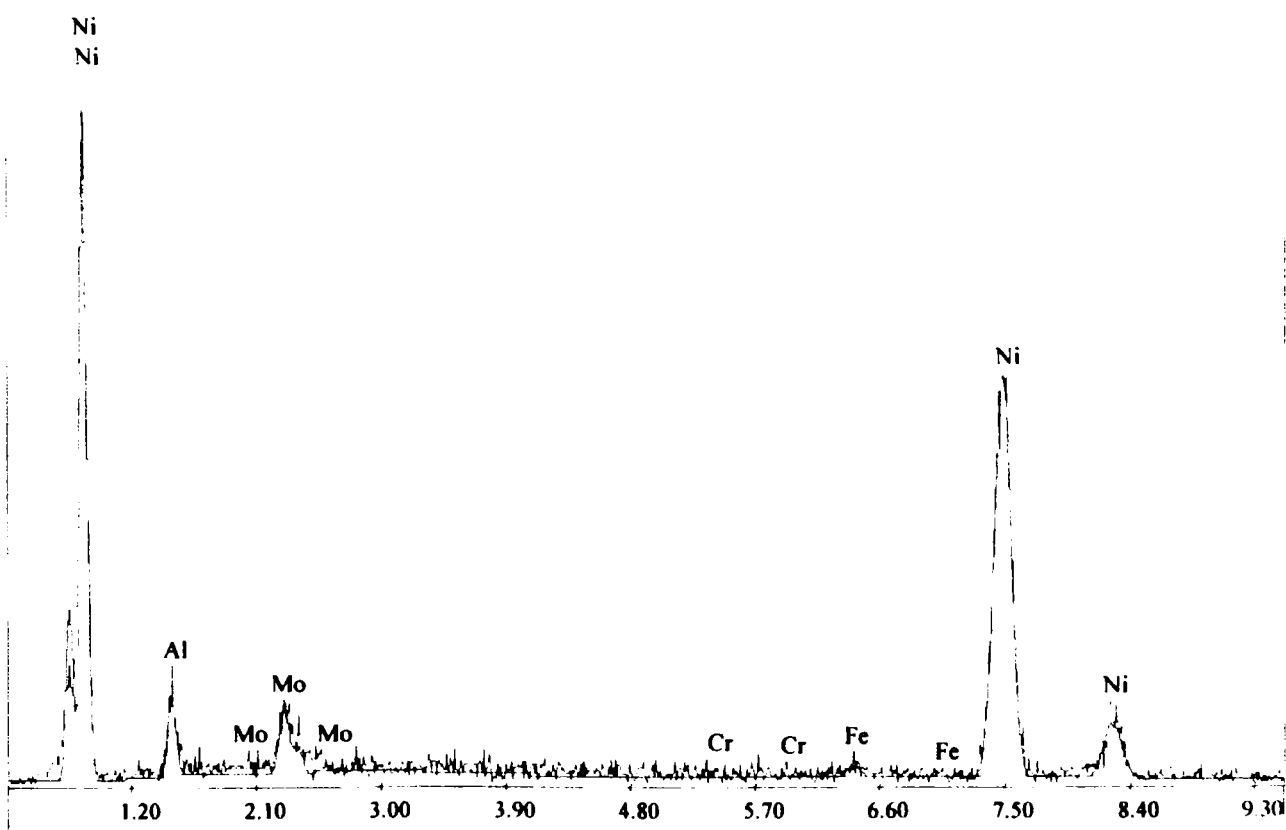
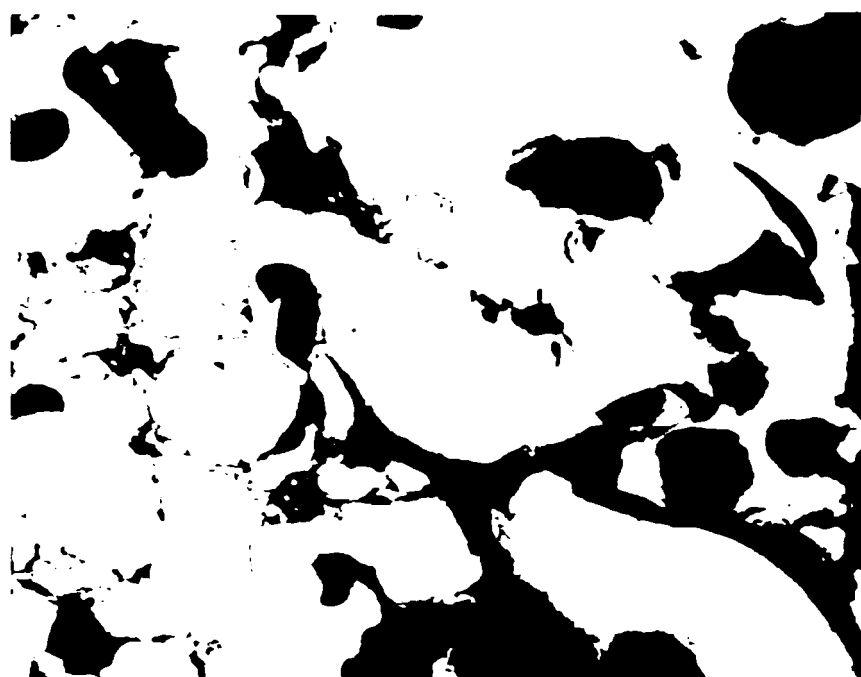


Fig. 5.80. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba P⁷ - matrice de bază (compuși).



Fig. 5.81. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P7 – matrice de bază



EDS Quantitative Results

Lab1 10um 1000x

KV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:FW Res:128.10 Amp:1:100.0
 FS:662 LSec:56.2 Prst:None 14-May-2004 07:12:18

Al

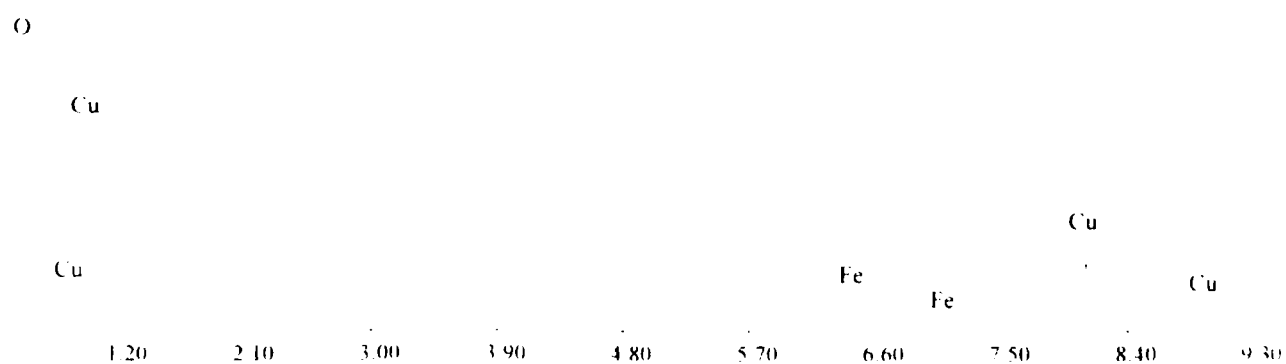


Fig. 5.82 Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pe suprafața probei P⁷ - oxizi

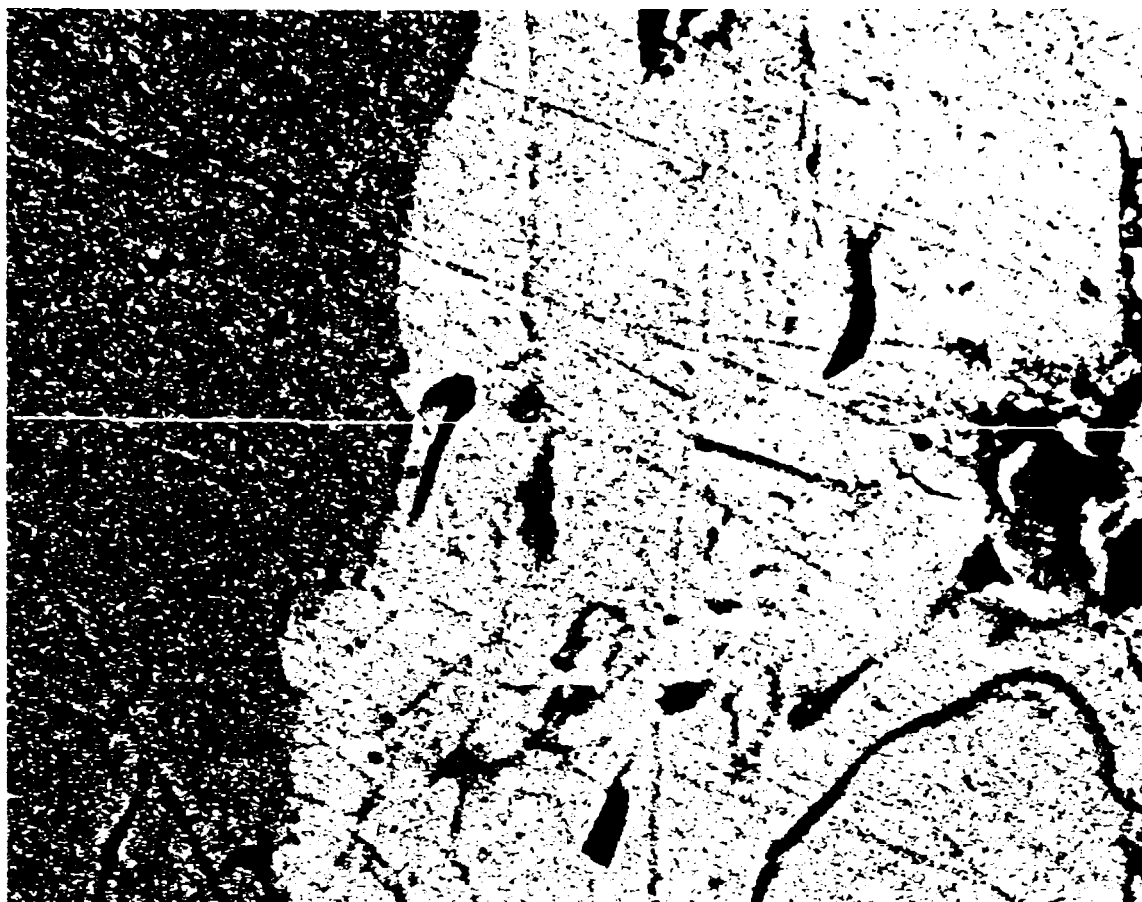


Fig. 5.83. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba P7, 2000x

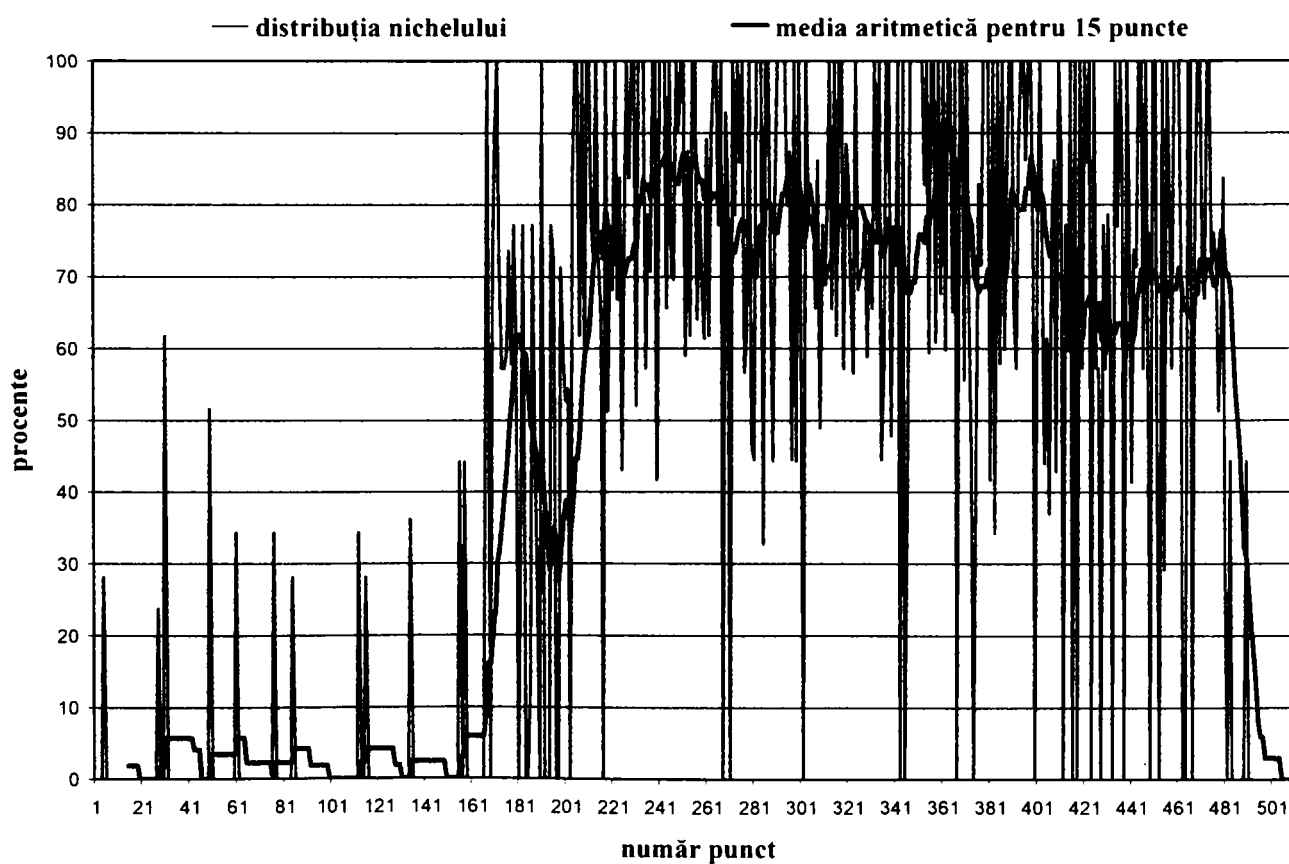


Fig. 5.84. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P7.

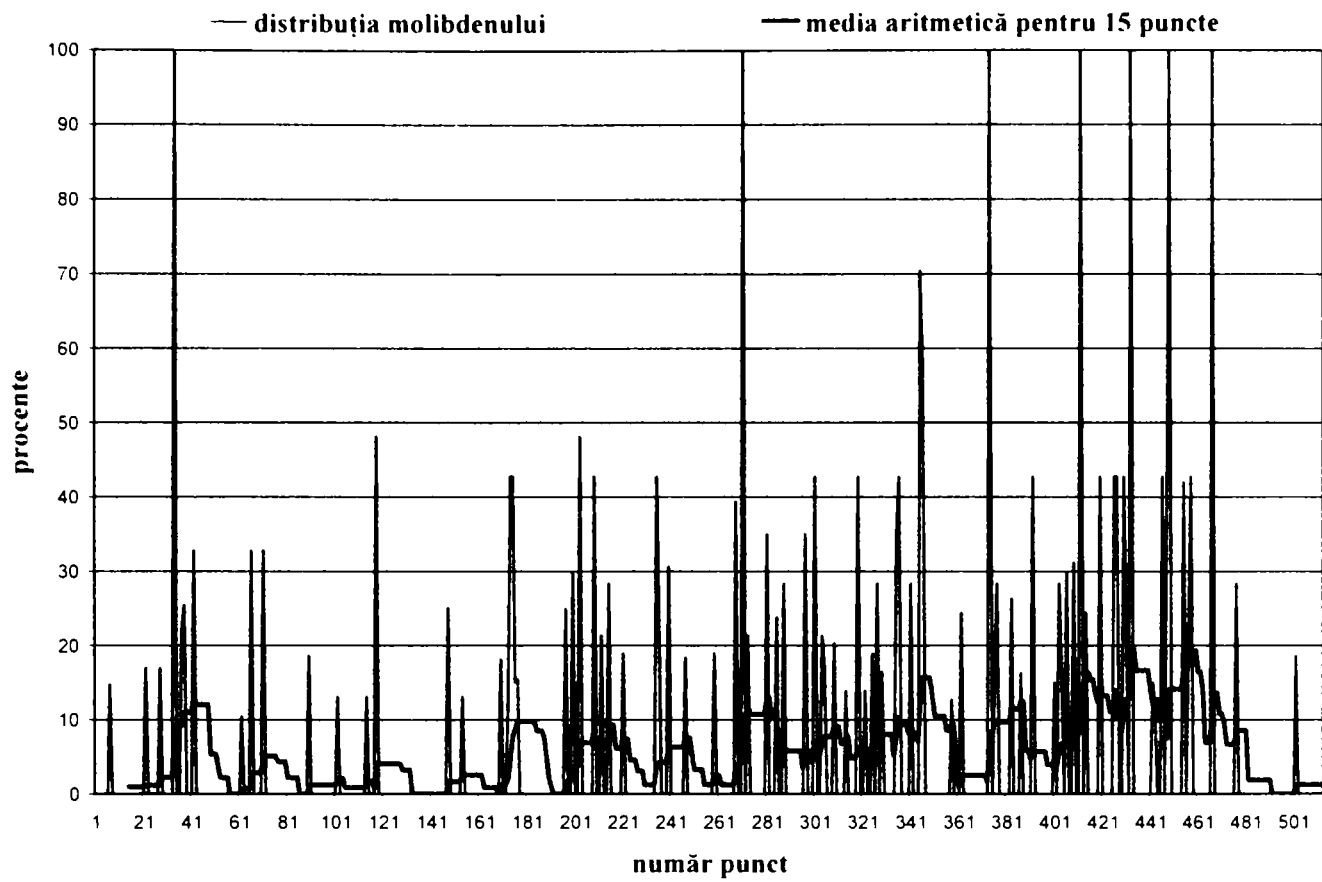


Fig. 5.85. Distribuția molibdenului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P⁷

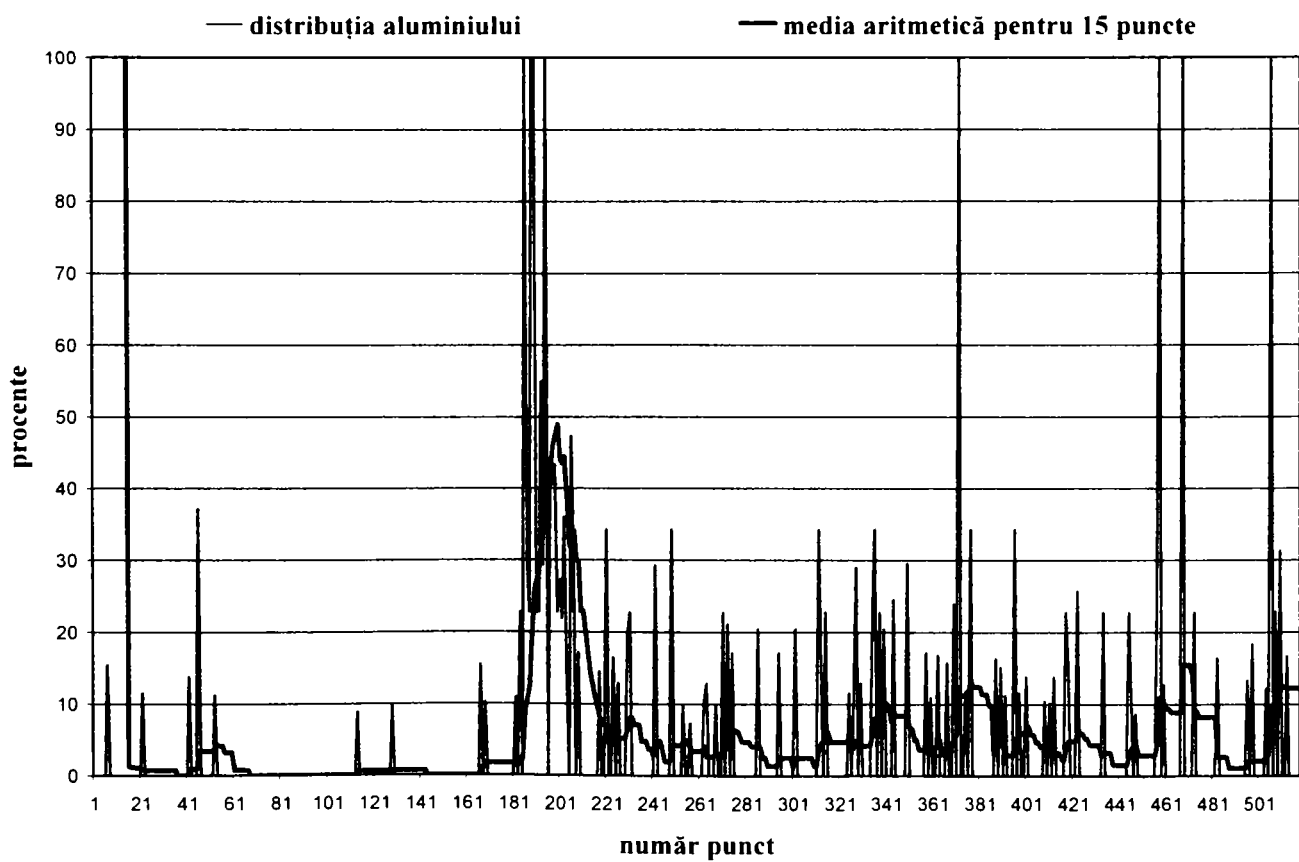


Fig. 5.86. Distribuția aluminiului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba P⁷

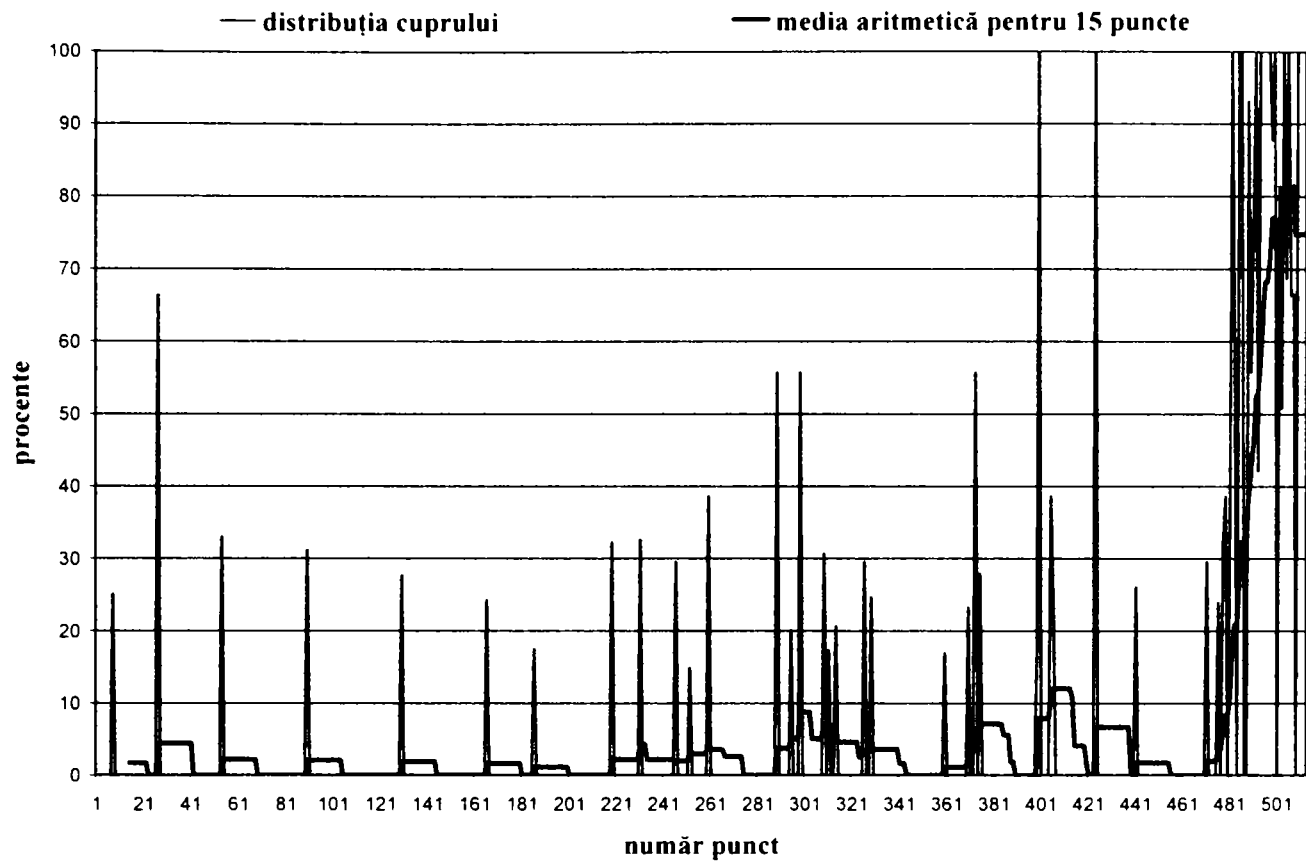


Fig. 5.87 Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P⁷

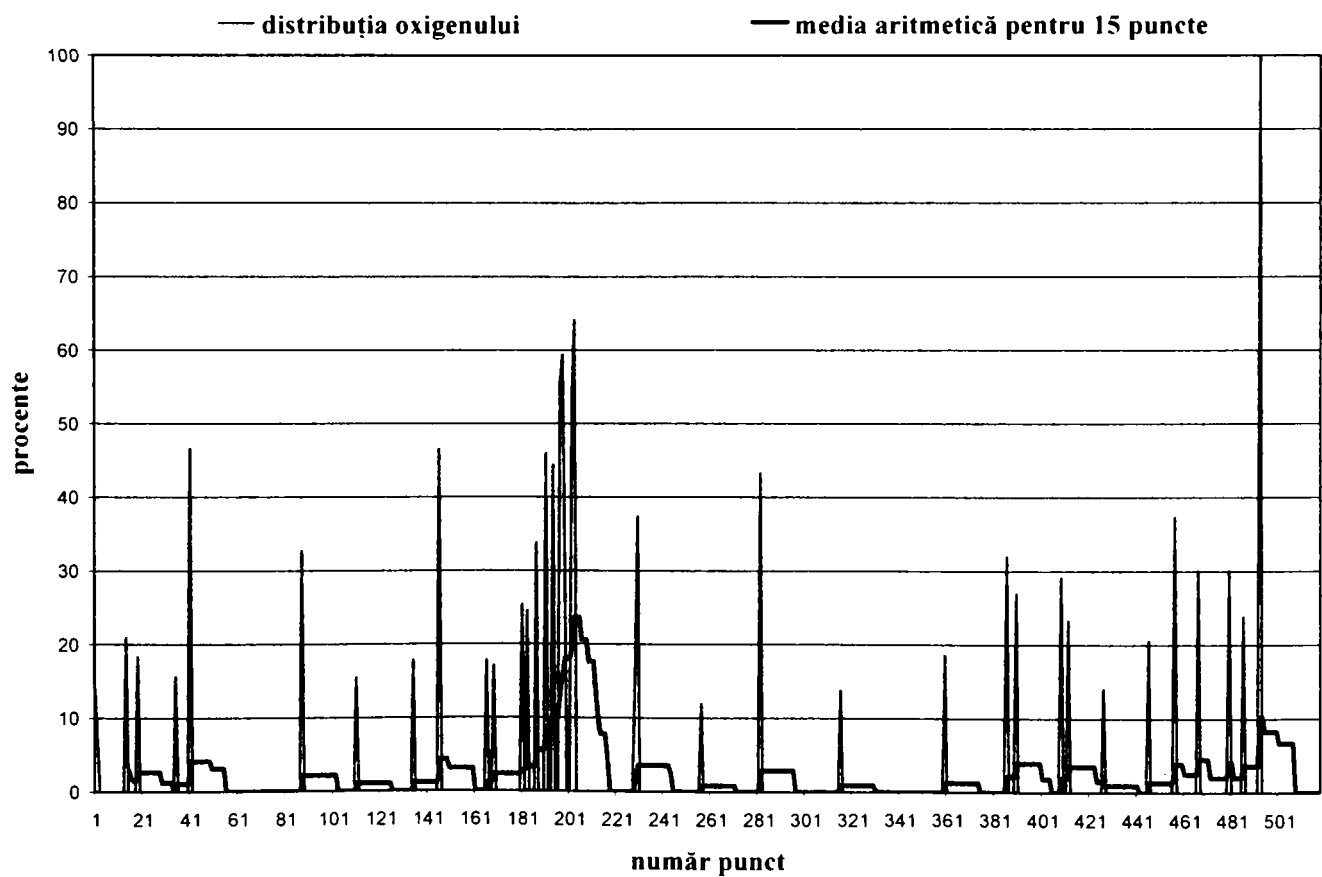


Fig. 5.88 Distribuția oxigenului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba P⁷

5.2.1.8. Analiza microscopică a probei P8, material depus – bronz de aluminiu

În figurile 5.89 și 5.90 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului de aderență.

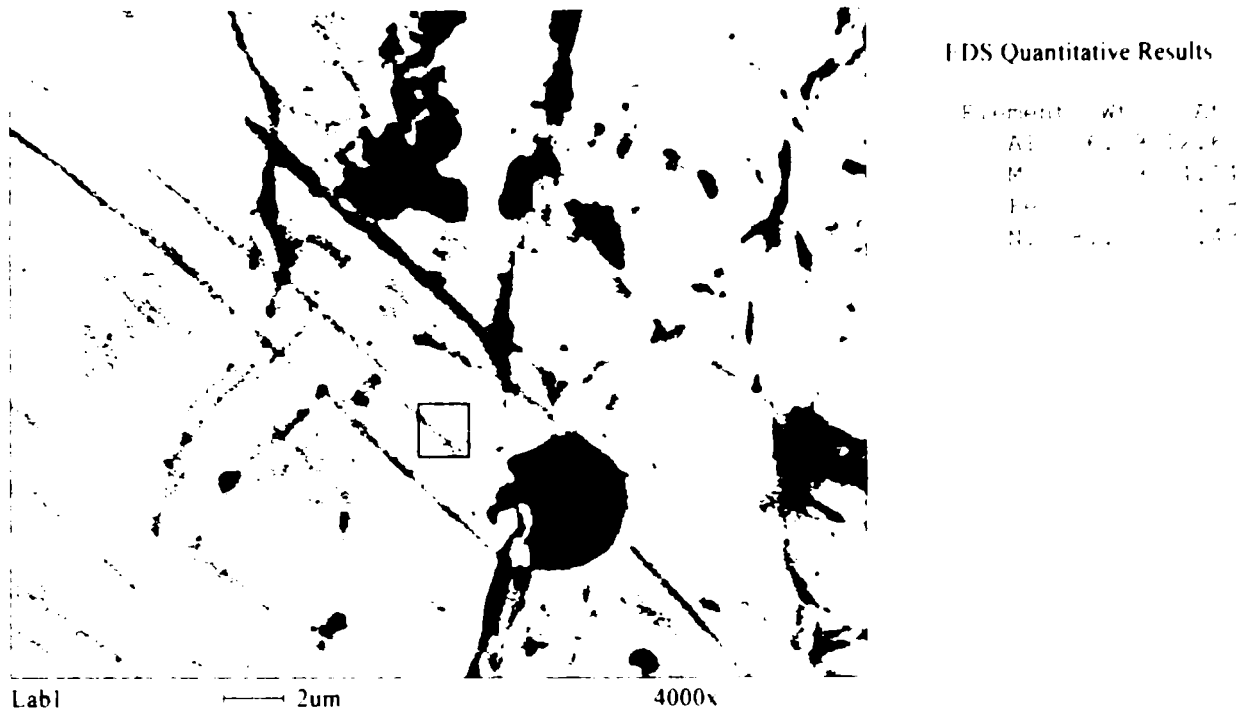
În ambele analize chimice cantitative prezentate în aceste figuri se remarcă prezența principalelor elemente chimice din pulberea utilizată la depunerea stratului de aderență. De asemenea, se poate observa buna aderență între acest strat și substrat, precum și prezența oxizilor.

În figurile 5.91 și 5.92 sunt prezentate analizele chimice cantitative ale stratului depus prin pulverizare termică cu jet de plasmă și pulbere, materialul de adaos utilizat fiind bronzul de aluminiu. Deși acest procedeu conduce la proporții foarte reduse de oxizi, din aceste analize se remarcă o proporție mai ridicată de oxizi, cauza principală fiind distanța de pulverizare mai mare decât cea impusă de producătorul pulberii.

Din imaginile inserate în anexa 1 (fig. A 1.8) se observă o compactitate mult mai ridicată a straturilor depuse față de celelalte procedee.

Pentru imaginea microscopică prezentată în figura 5.93 a fost realizată o analiză chimică cantitativă liniară. Astfel, lungimea liniei pe care s-a efectuat analiza a fost de 228,12 μm , numărul de puncte în care s-a realizat analiza fiind de 512.

Valorile obținute în urma acestei analize au fost prelucrate ca și în cazul probei P1, rezultând diagramele din figurile 5.94 – 5.97.



kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:UTW Res:128.10 Amp. F:100.0
 FS : 267 LSec : 36.5 Prst:None 14-May-2004 07:31:36

Ni
Ni

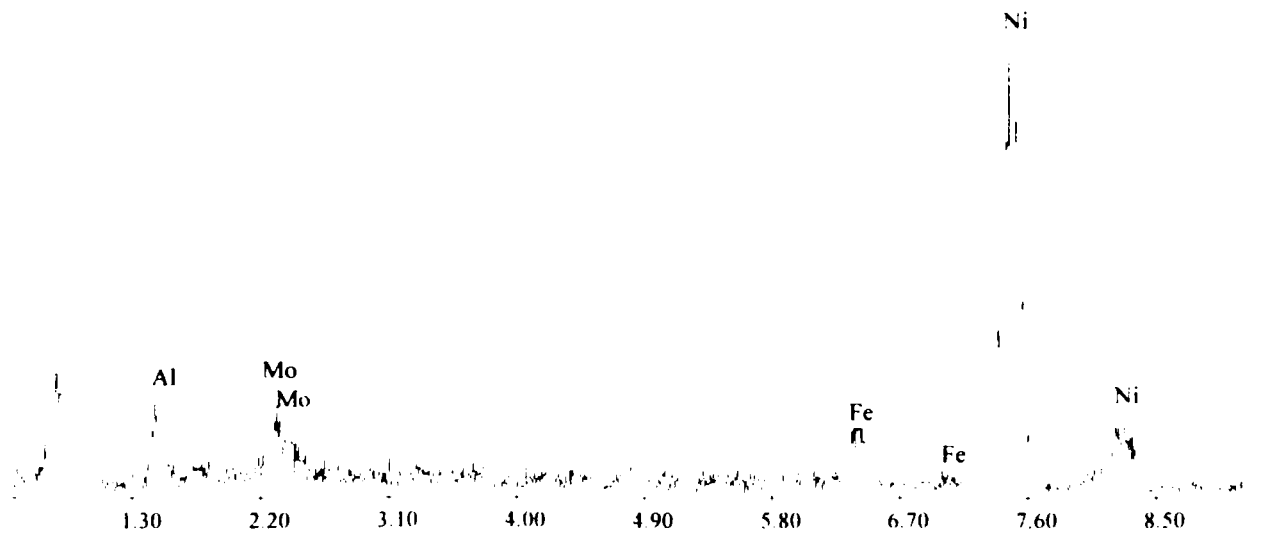


Fig. 5.89. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba PS – matrice de bază.

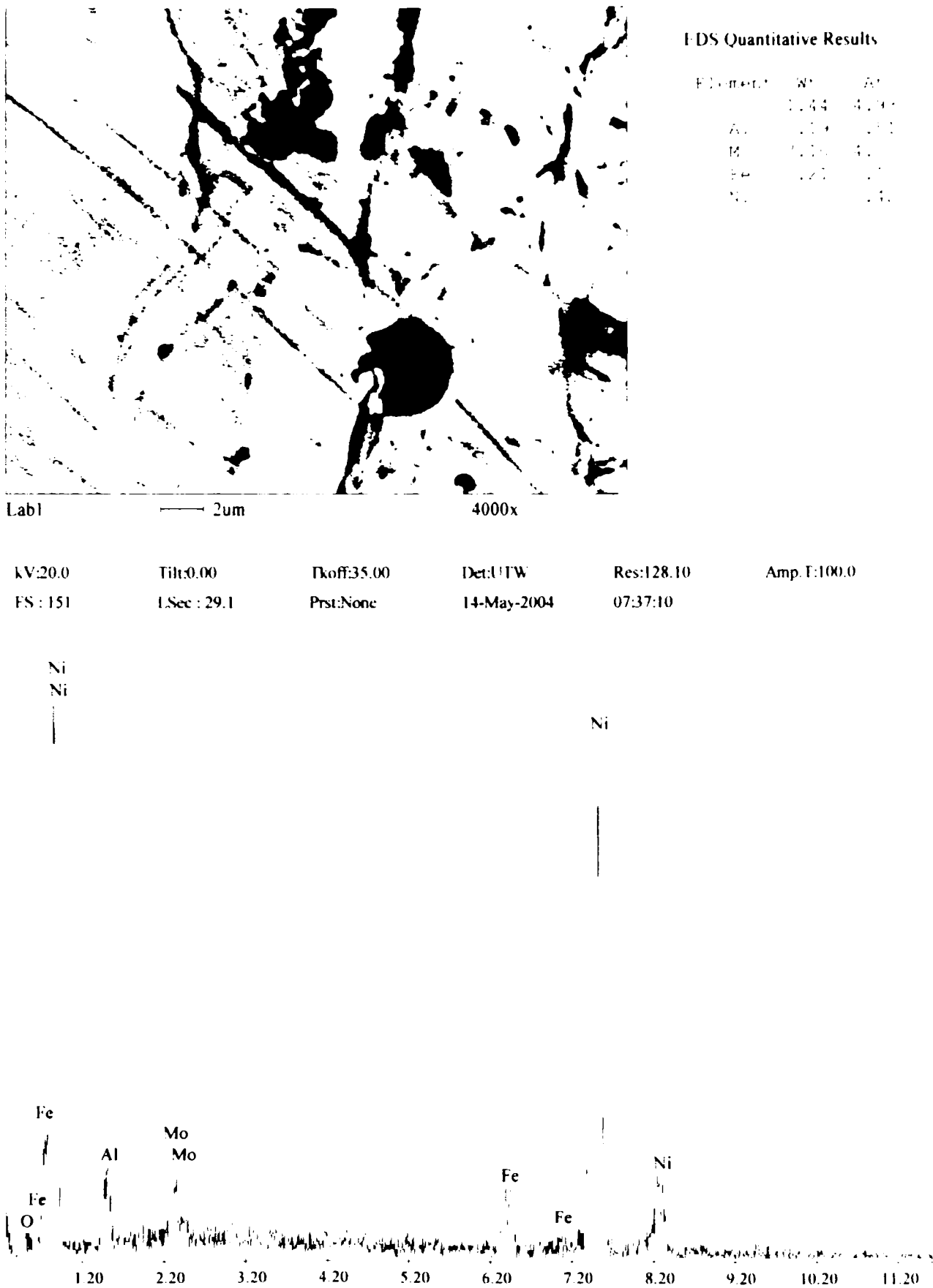


Fig. 5.90. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului de aderență pentru proba PS – oxid.



EDS Quantitative Results

Element	Wt	At
Al	16.42	11.57
Fe	2.15	2.09
Cu	81.42	66.44

Lab1 ← Sum 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:UTW Res:128.10 Amp:1:100.0
 FS : 465 L.Sec : 42.3 Prst:None 14-May-2004 07:41:10

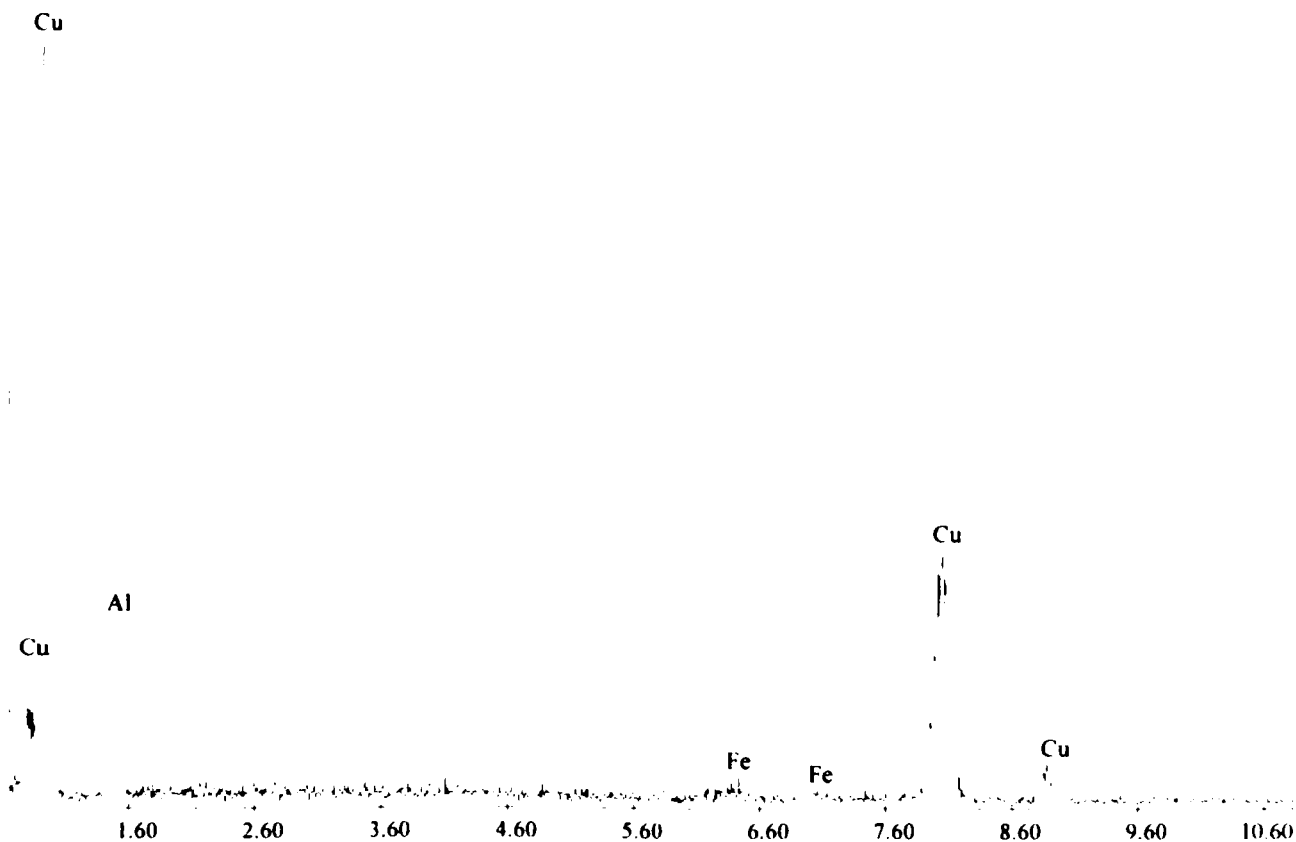


Fig. 5.91. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba P8 – matrice de bază.



EDS Quantitative Results

Element	Wt	At
O	28.48	46.16
Al	43.58	42.33
Fe	20.4	11.14
Si	25.43	19.47

Labl 5um 2000x

kV:20.0 Tilt:0.00 Tkoff:35.00 Det:UTW Res:128.10 Amp.T:100.0
 FS : 453 I.Sec : 35.3 Prst:None 14-May-2004 07:44:11

Al

O

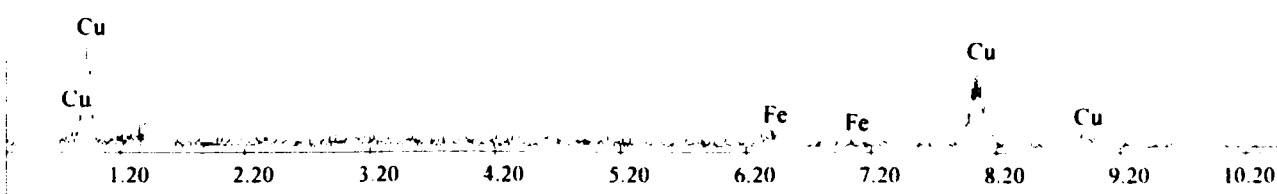


Fig. 5.92. Analiza chimică cantitativă la nivelul stratului depus pentru proba PS – oxizi.

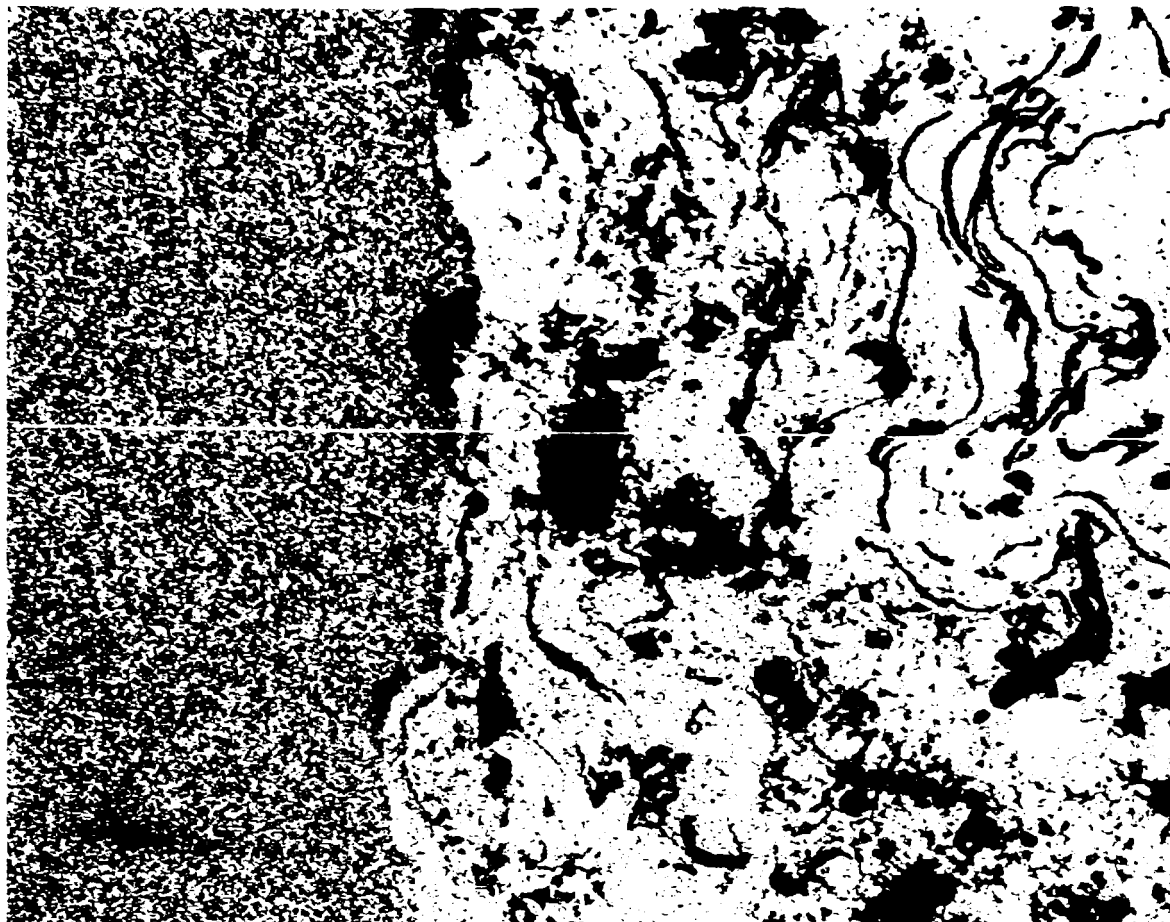


Fig. 5.93. Imaginea microscopică utilizată la efectuarea analizei chimice cantitative liniare pentru proba PS. 500x.

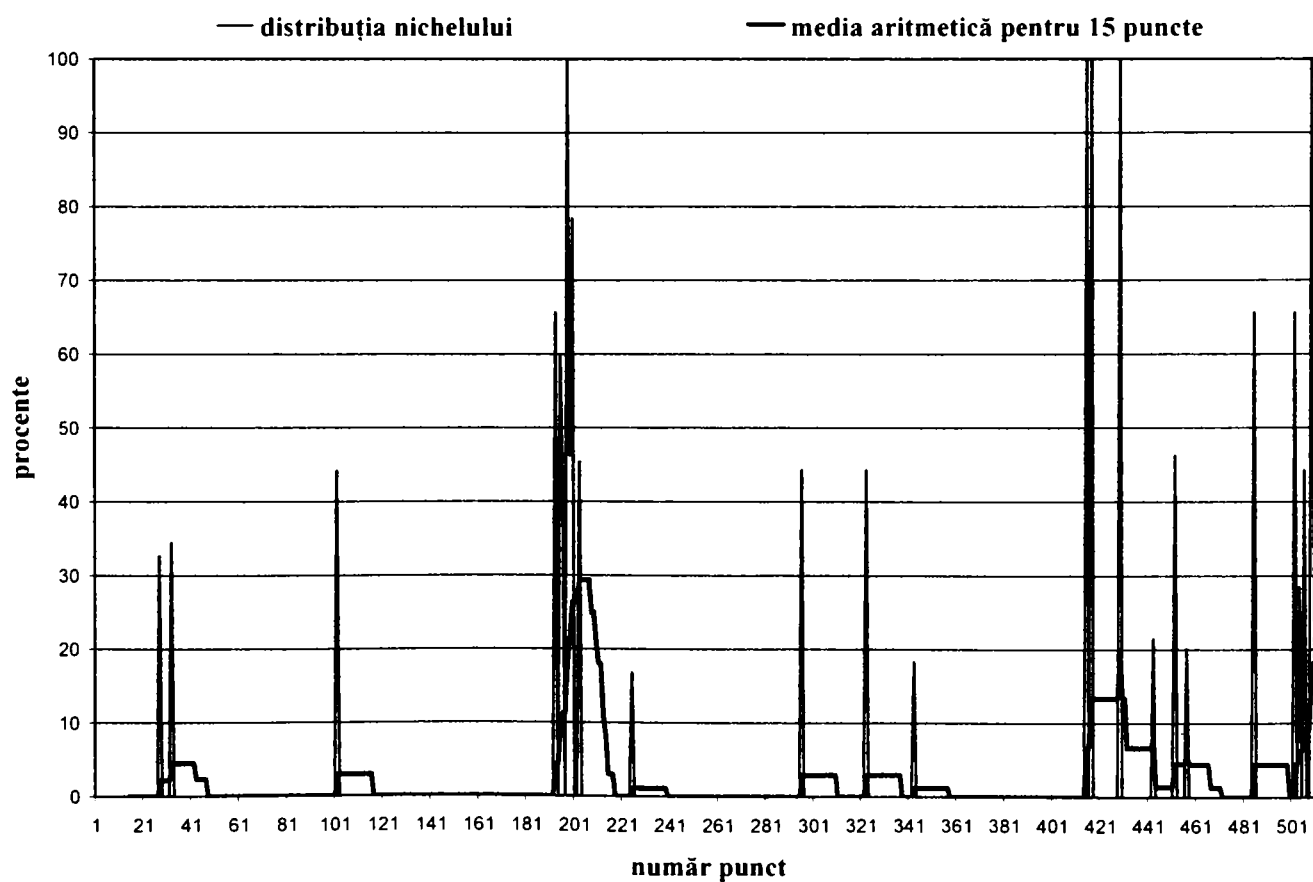


Fig. 5.94. Distribuția nichelului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba PS.

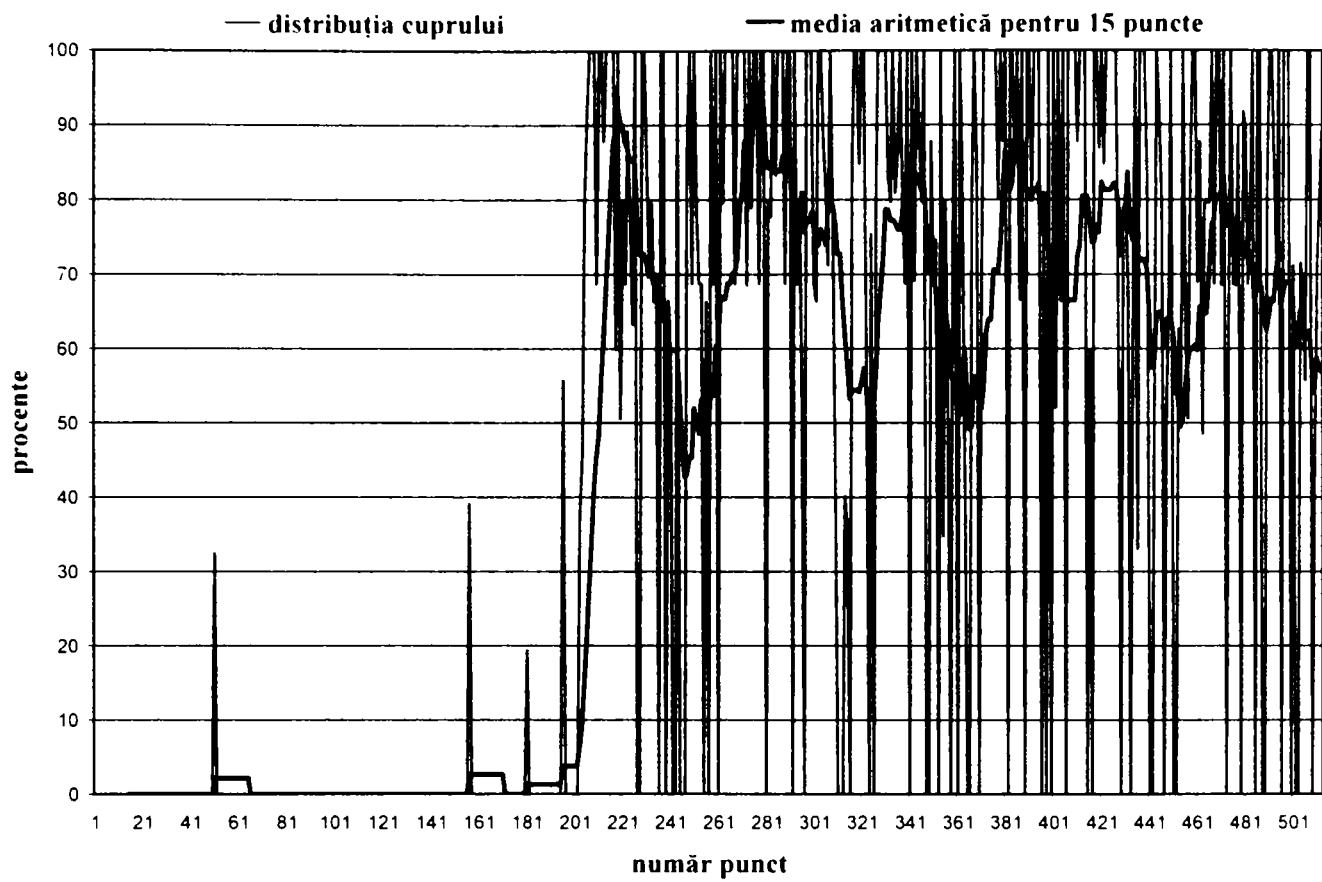


Fig. 5.95. Distribuția cuprului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba PS.

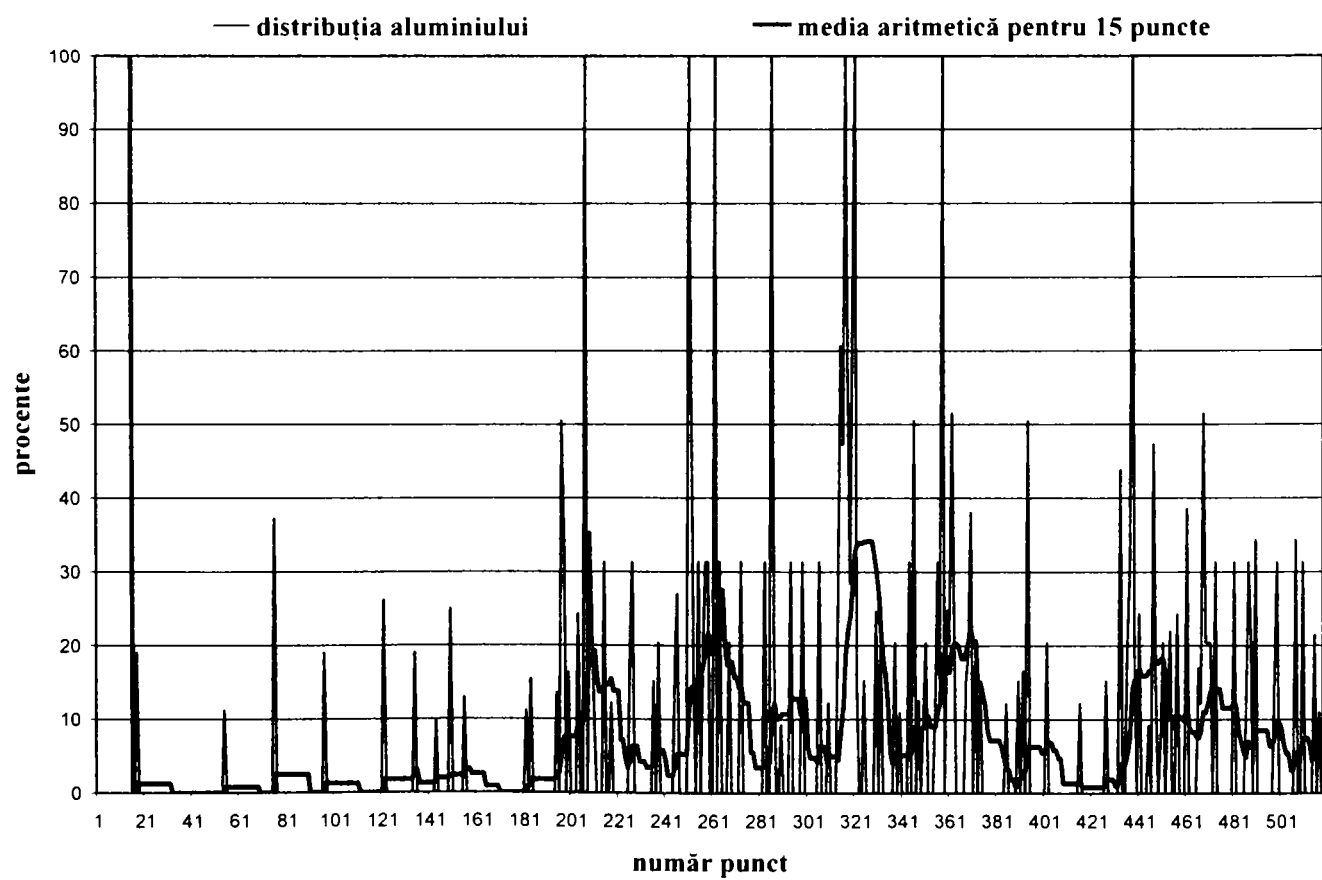


Fig. 5.96. Distribuția alumiului de-a lungul liniei substrat - strat depus pentru proba PS.

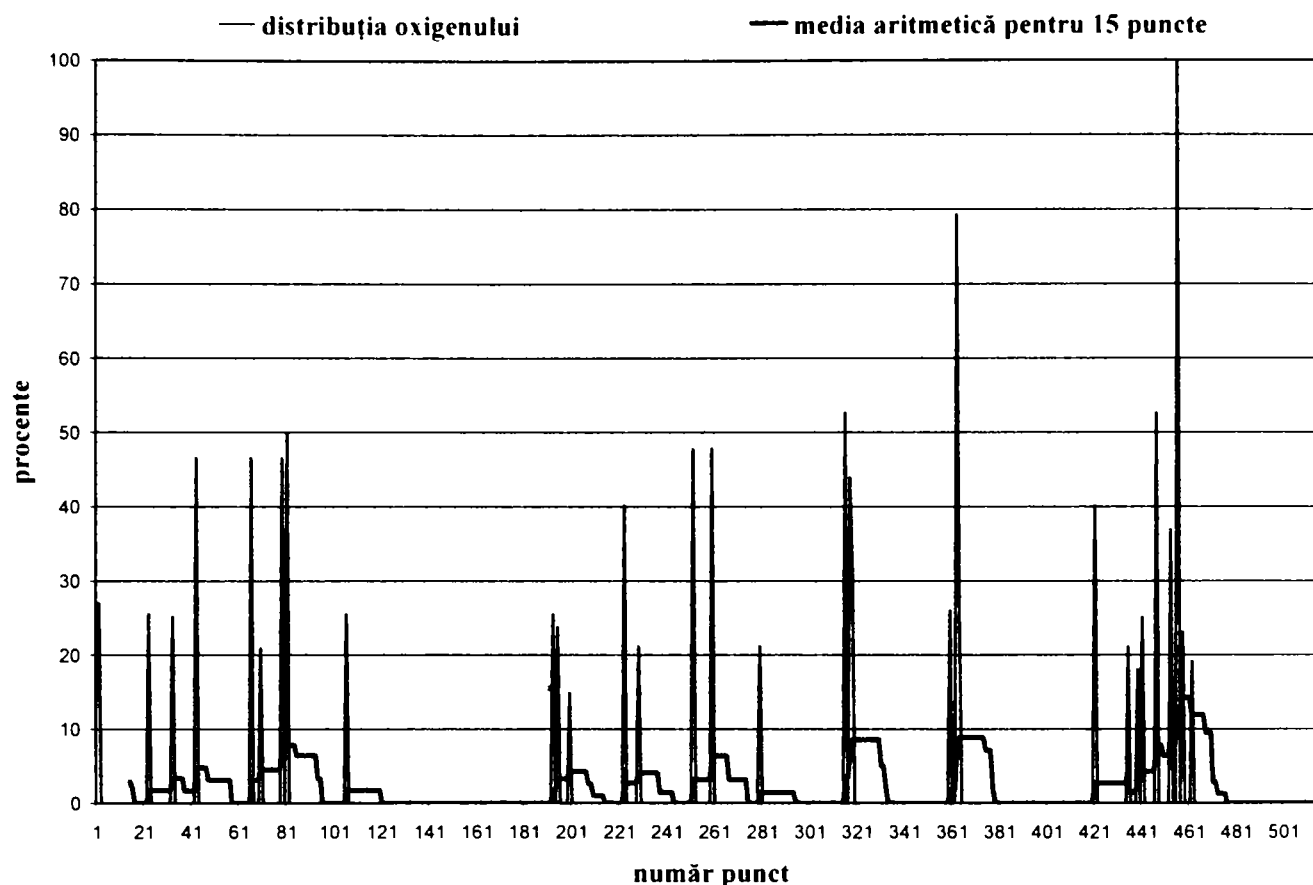


Fig. 5.97. Distribuția oxigenului de-a lungul liniei substrat – strat depus pentru proba PS.

5.2.2. Analize difractometrice cu raze X

Prin aceste analize s-a urmărit decelarea naturii constituenților microstructurali pentru trei materiale de adaos folosite în realizarea straturilor depuse prin pulverizare termică.

De asemenea s-a urmărit evoluția eventualelor schimbări structurale în cazul unor tratamente termice efectuate asupra straturilor depuse.

Astfel, s-au ales ca materiale de adaos alama (Cu63Zn37 – produs Laromet), bronzul de aluminiu (Cu9Al1Fe – Sprabronze AA) și babbittul ($\text{Sn7,5Sb3,5Cu0,25Pb}$ – Sprababbitt A).

Procedeele de depunere au fost: pulverizarea cu arc electric în cazul alamei și bronzului de aluminiu, iar în cazul babbittului s-a folosit pulverizarea cu flacără și sârmă.

Tehnologiile folosite pentru depunerea straturilor au fost identice cu cele folosite la pulverizarea probelor experimentale. Dimensiunile epruvetelor prelevate pentru analiza difractometrică cu raze X au fost de 20/25 mm.

Experimentările au fost conduse cu ajutorul difractometrului de raze X „DRON 3” utilizând radiația caracteristică $K\alpha$ a molibdenului ($\lambda = 0,71 \text{ \AA}$). Parametrii de lucru ai instalației au fost:

- $U_{\text{acc}} = 40 \text{ KV}$;
- $I = 30 \text{ mA}$.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Viteza de deplasare a detectorului a fost de:

- $2^\circ/\text{min}$ pentru înregistrările efectuate în domeniul unghiular $2\theta = 7\dots55^\circ$;
- $(1/2)^\circ/\text{min}$ pentru înregistrările efectuate în domeniul unghiular $2\theta = 30\dots41^\circ$.

Au fost efectuate analize pe două tipuri de probe. O primă probă analizată a fost netratată termic, iar cea de-a doua a fost supusă unui tratament termic conform parametrilor din tabelul 5.24.

Aspectul probelor supuse analizei difractometrice cu raze X este prezentat în figurile 5.98 – 5.100.

Spetrele de difracție cu raze X obținute în urma analizei acestor probe sunt prezentate în figurile 5.101 – 5.112.

În tabelele 5.25 – 5.28 se regăsesc valorile rezultate în urma acestor analize.

Tabelul 5.24 Parametrii tratamentului termic efectuat asupra probelor pentru analizele difractometrice cu raze X

Marcaj probă	Material depus	Temperatura de încălzire, [°C]	Timp de menținere, [h]	Mediu de răcire
P 4.1.	Alamă	550	1	Cuptor
P 5.1.	Bronz de aluminiu	550	1	Cuptor
P 6.1.	Babbitt	150	1	Cuptor

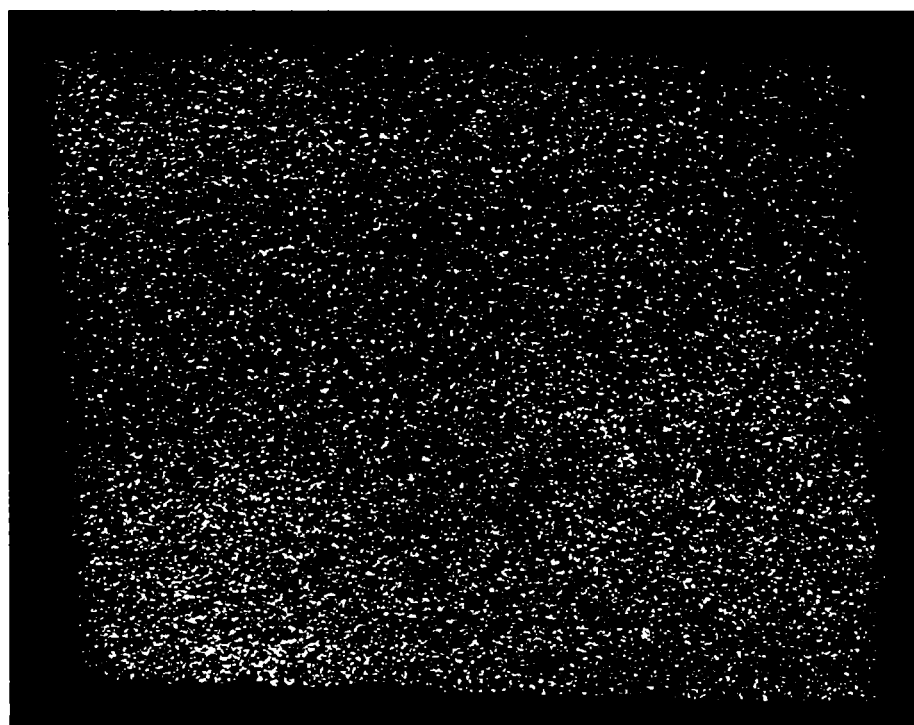


Fig. 5.98. Imagine macroscopică a probei P 4.1 material depus alamă, 4x.

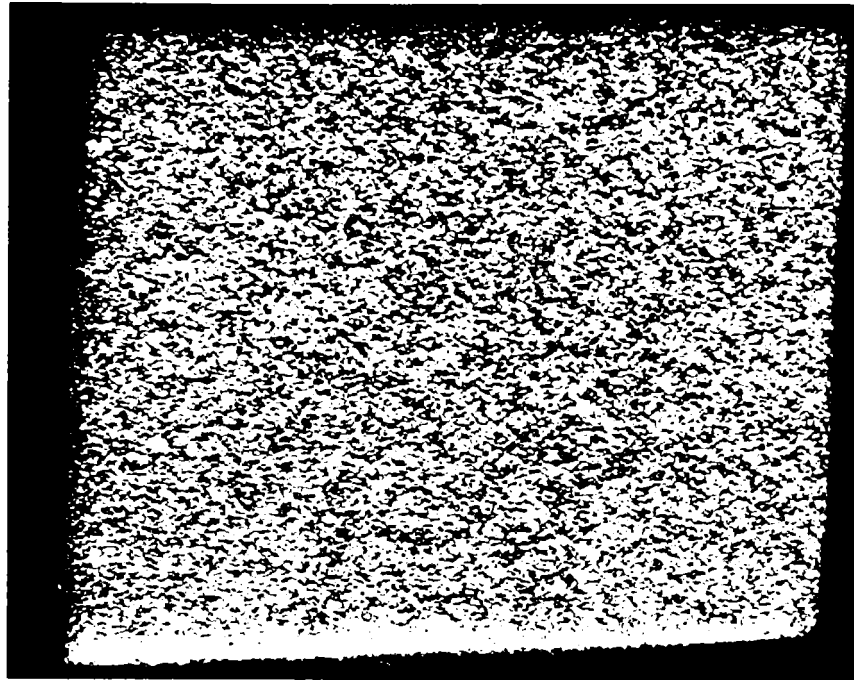


Fig. 5.99. Imagine macroscopică a probei P 5.1 material depus bronz de aluminiu. 4x

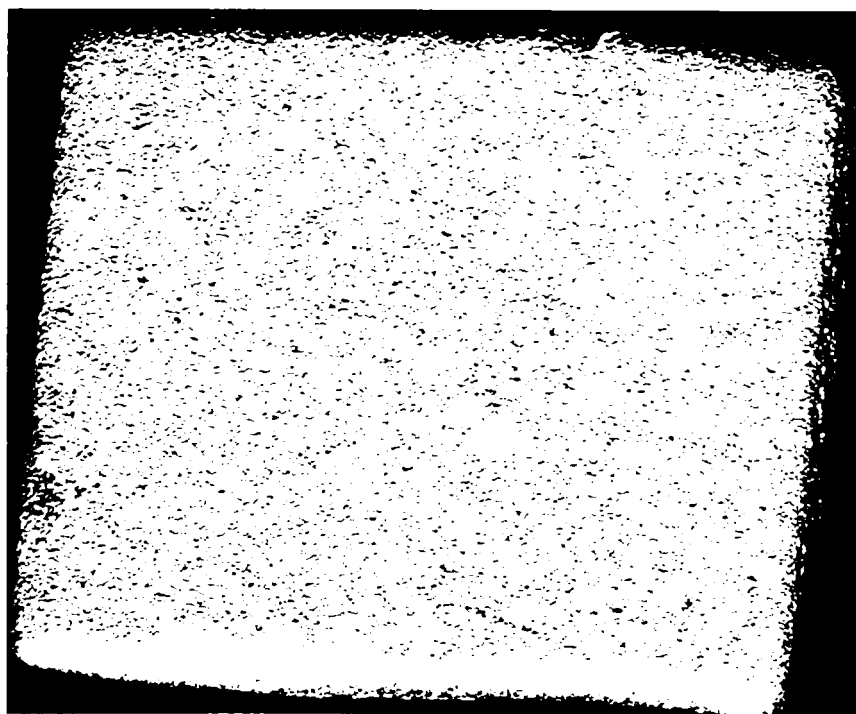


Fig. 5.100. Imagine macroscopică a probei P 6.1 material depus babbitt. 4x

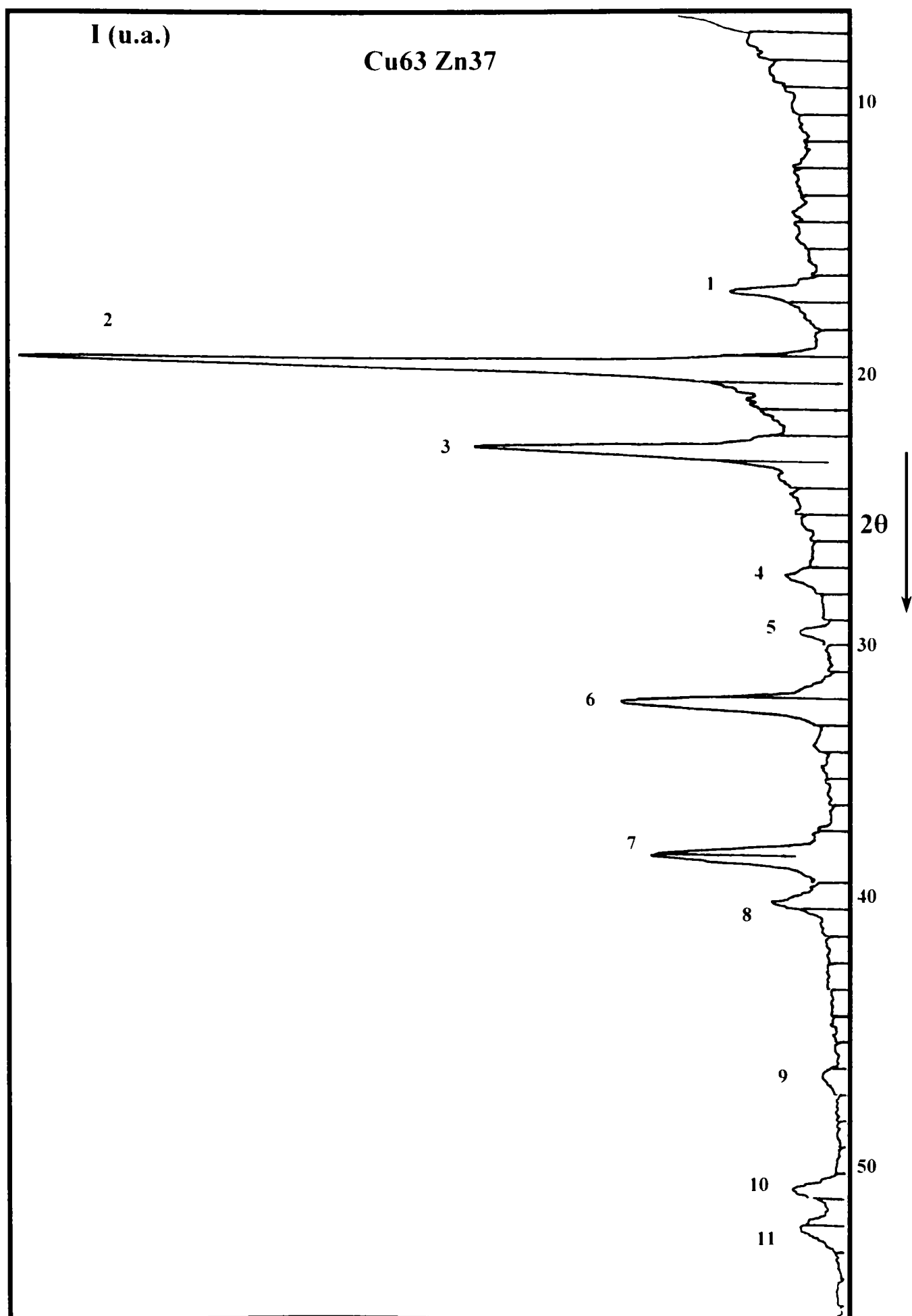


Fig. 5.101. Spectrul total de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Laromet Cu₆₃Zn₃₇, netratat termic.

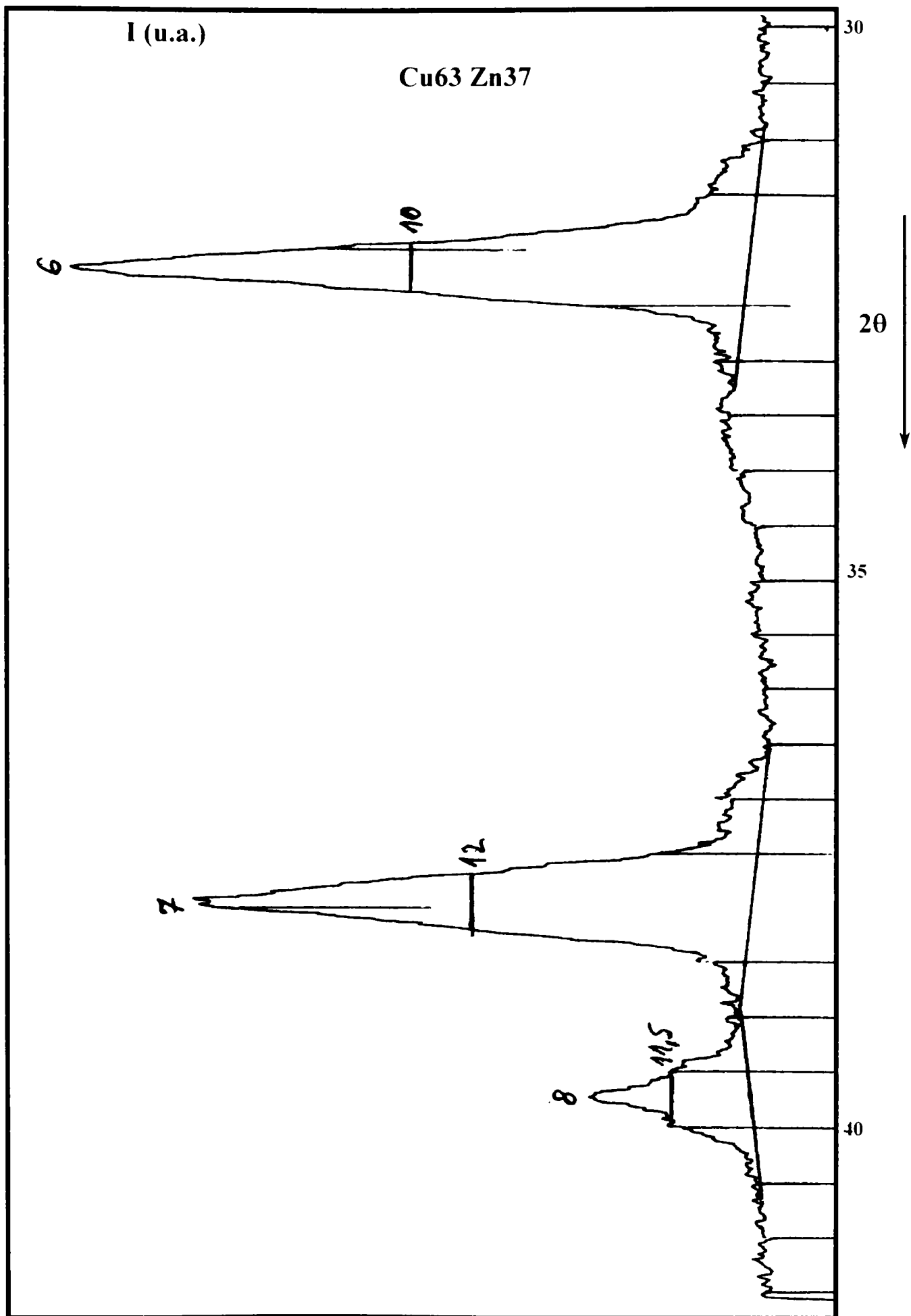


Fig. 5 102 Spectrul parțial de difracție caracteristic stratului depus cu sarma Laromet Cu₆₃Zn₃₇, netratat termic.

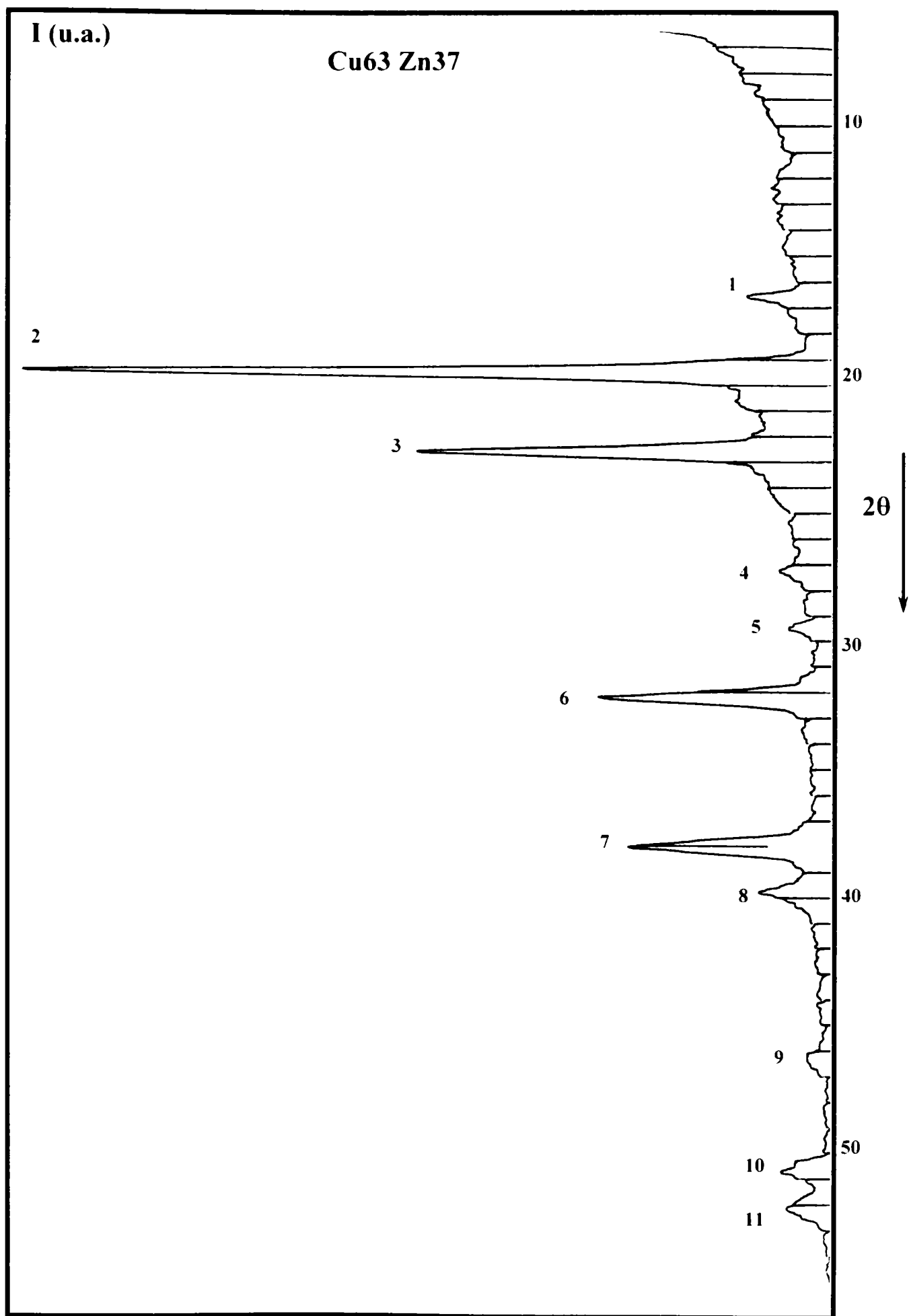


Fig. 5.103. Spectrul total de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Laromet Cu₆₃Zn₃₇, tratat termic

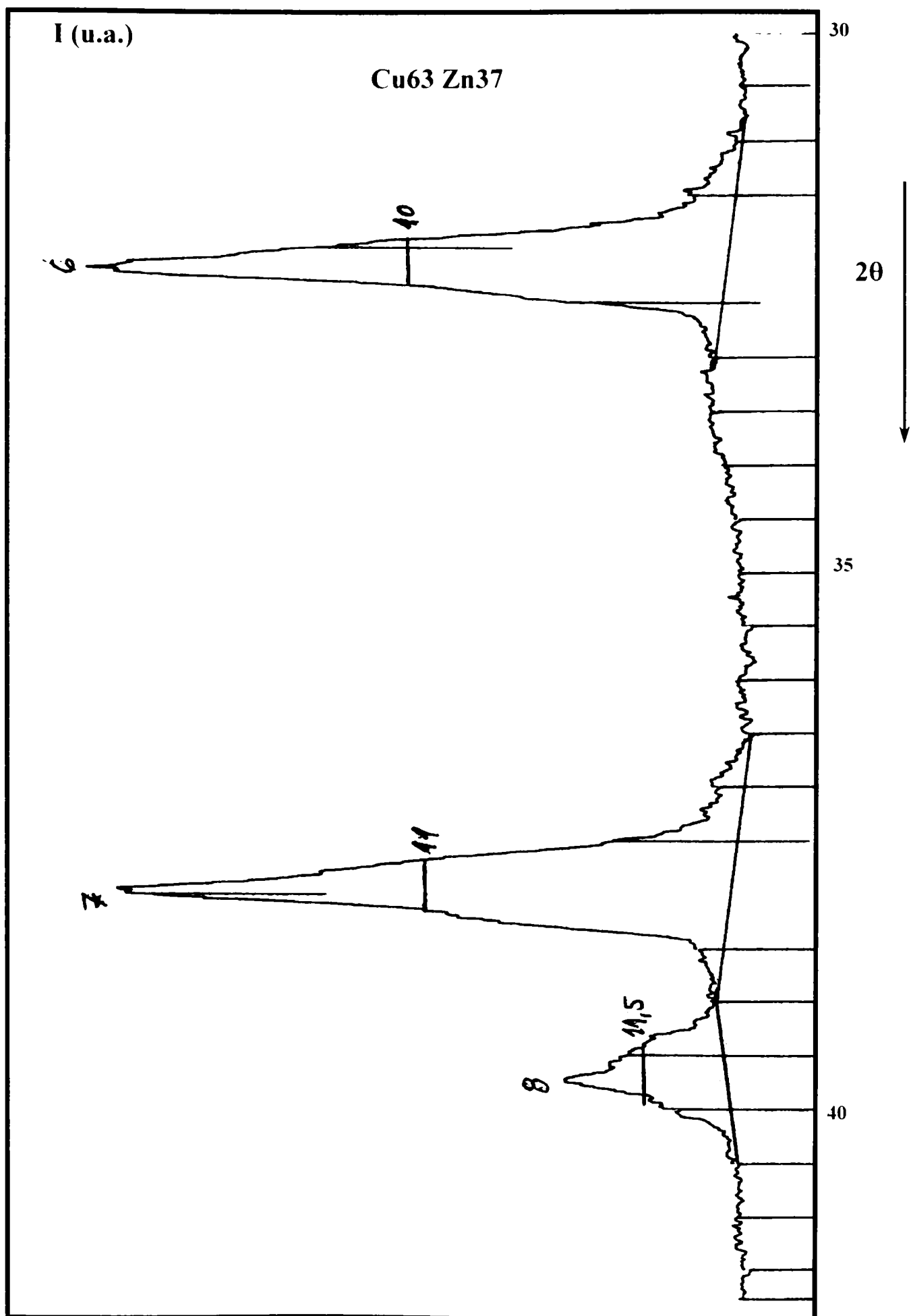


Fig. 5.104. Spectrul parțial de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Laromet Cu63Zn37 tratat termic

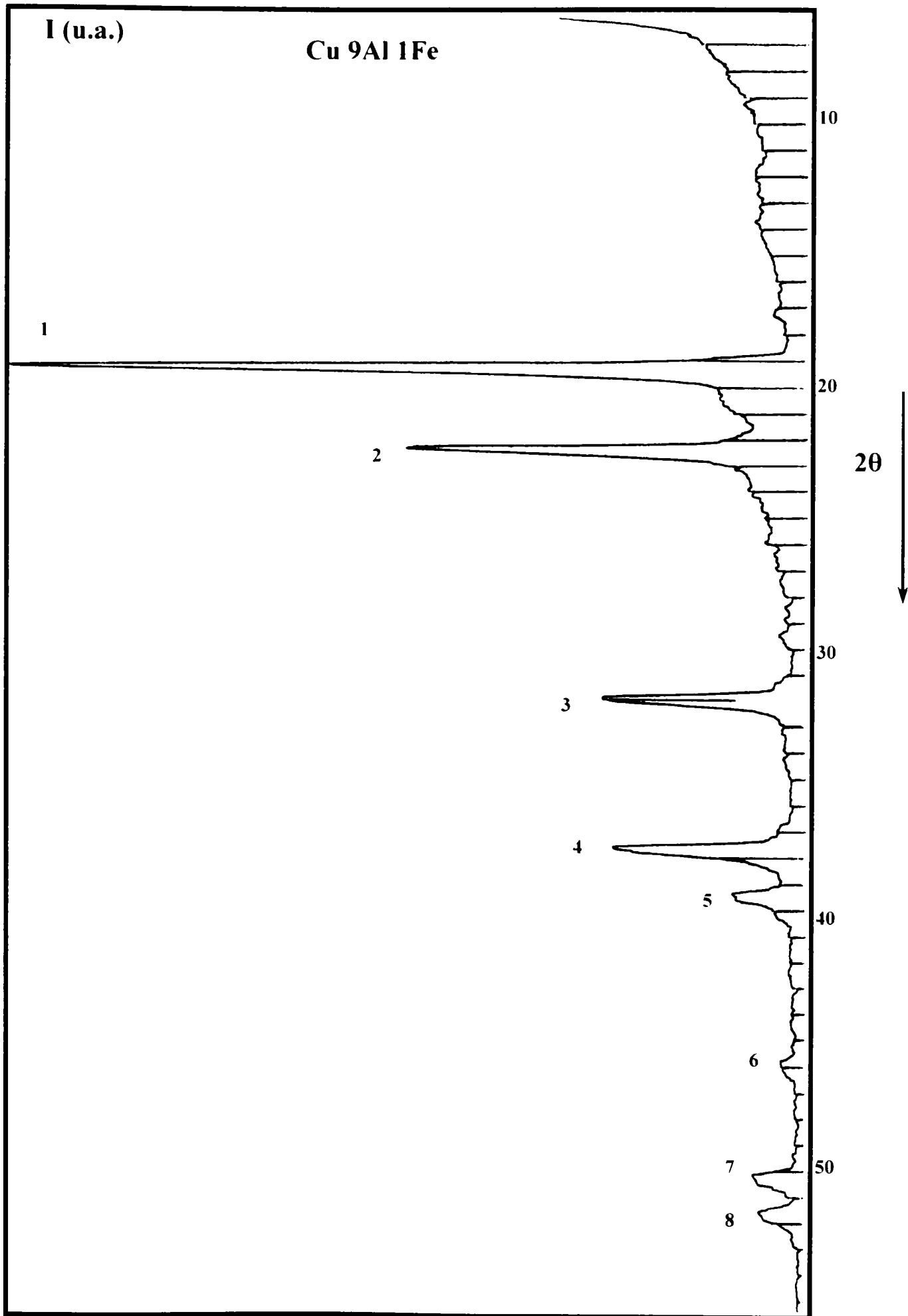


Fig. 5.105. Spectrul total de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Sprabronze AA, netratat termic

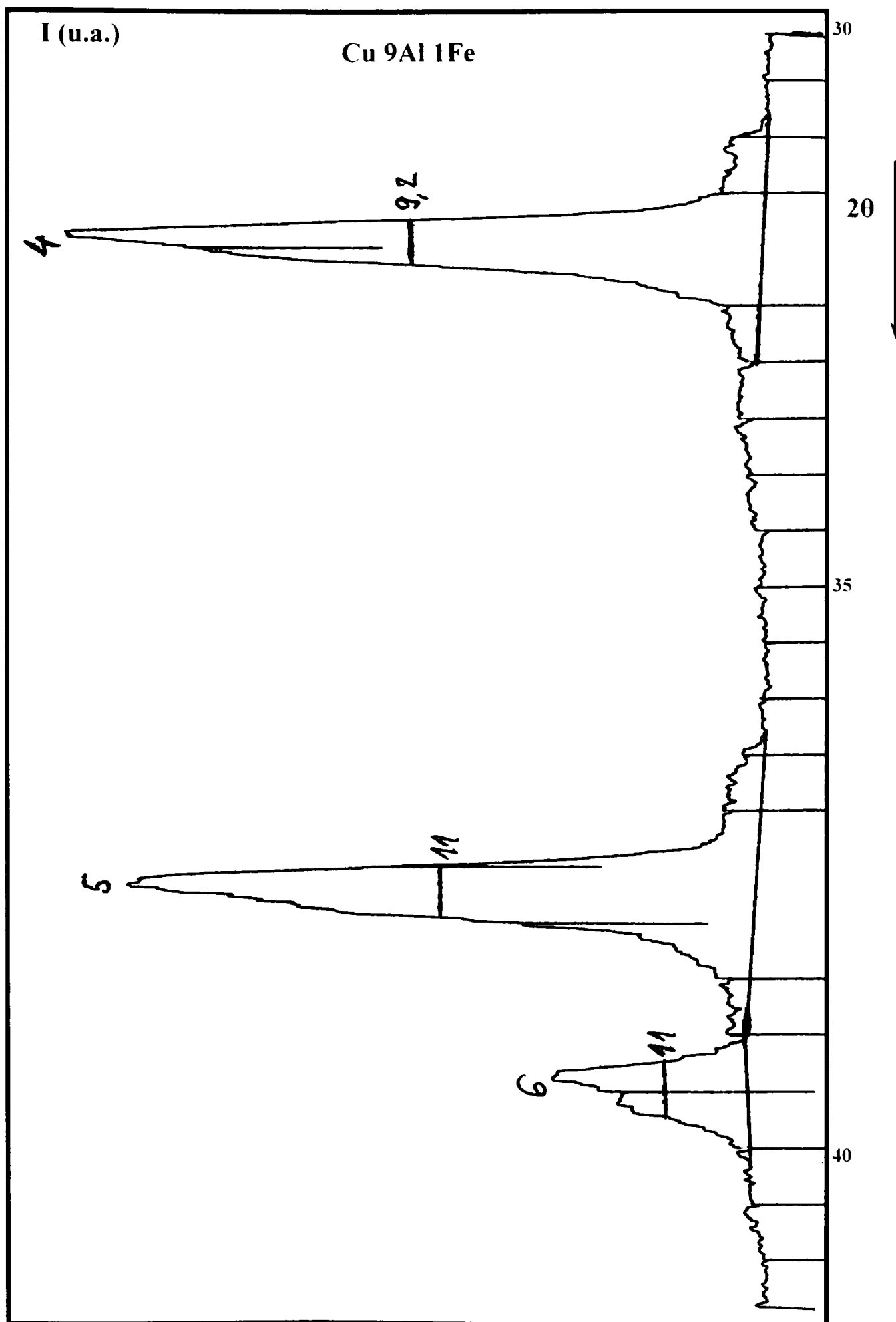


Fig. 5 106 Spectrul parțial de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Sprabronze 1A, netratat termic.

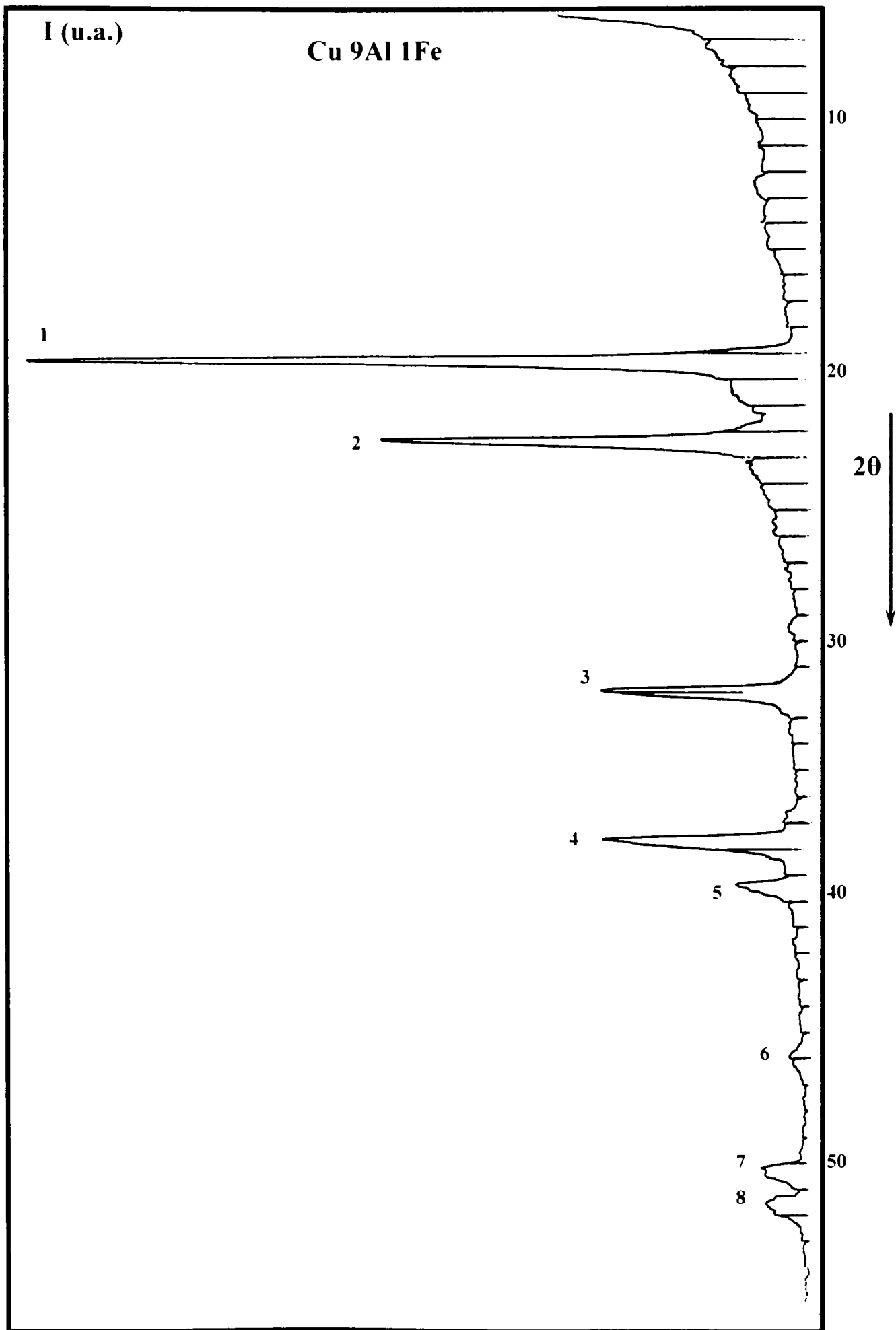


Fig. 5.107 Spectrul total de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Sprabronze AA, tratat termic

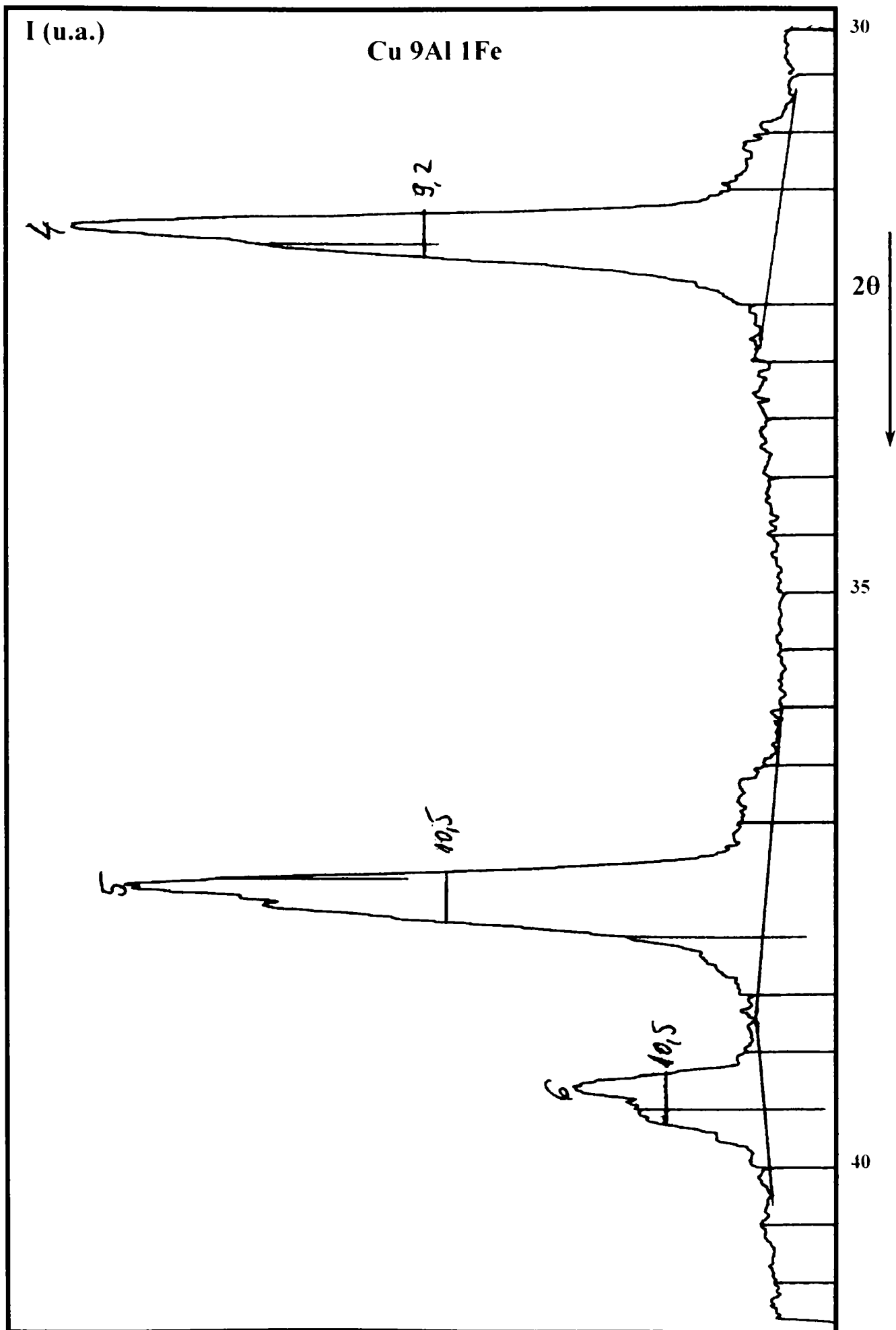


Fig. 5.108. Spectrul parțial de difracție caracteristic stratului depus cu sarma Sprabronze 44, tratat termic

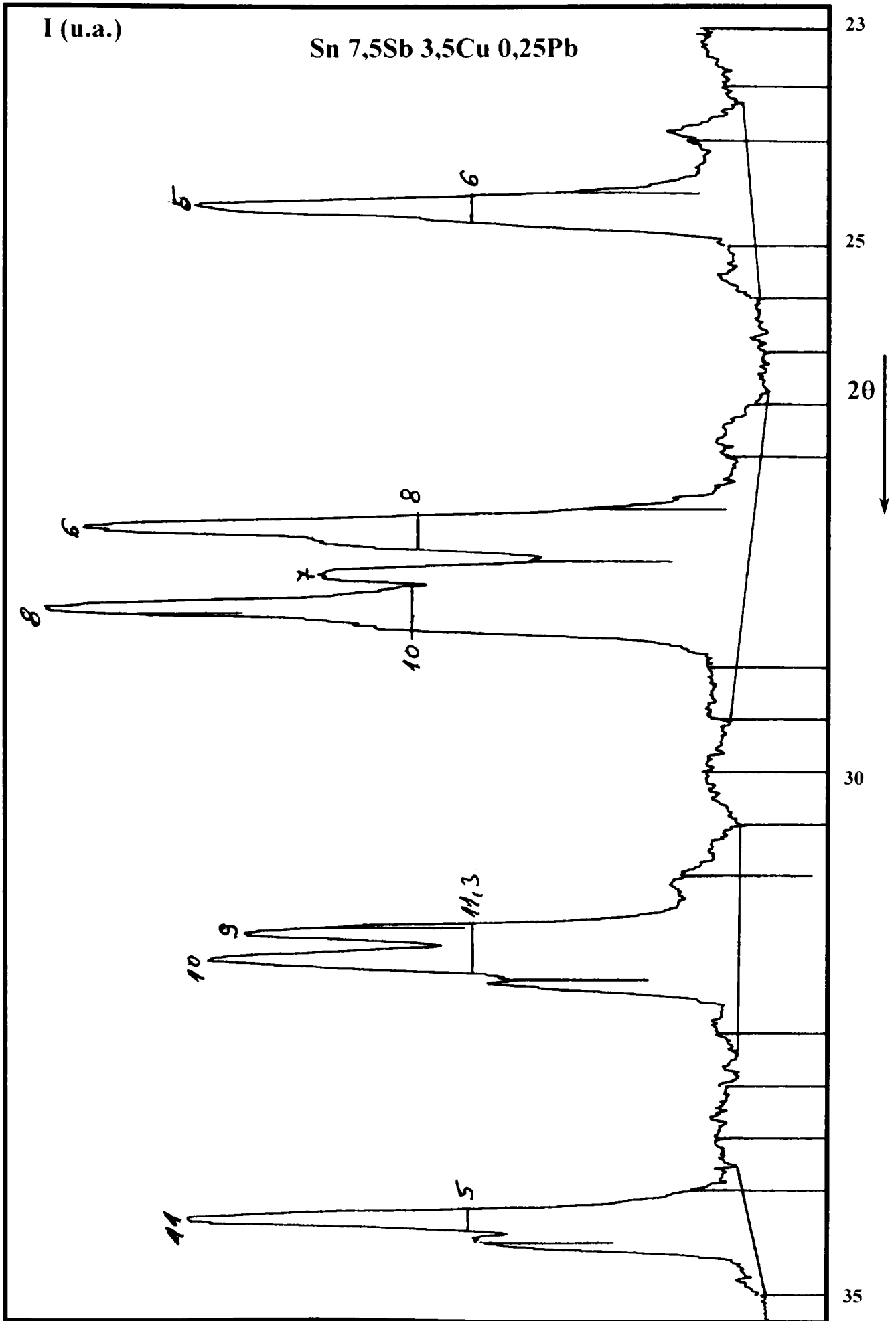


Fig. 5.110. Spectrul parțial de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Sprababbitt A, netratat termic

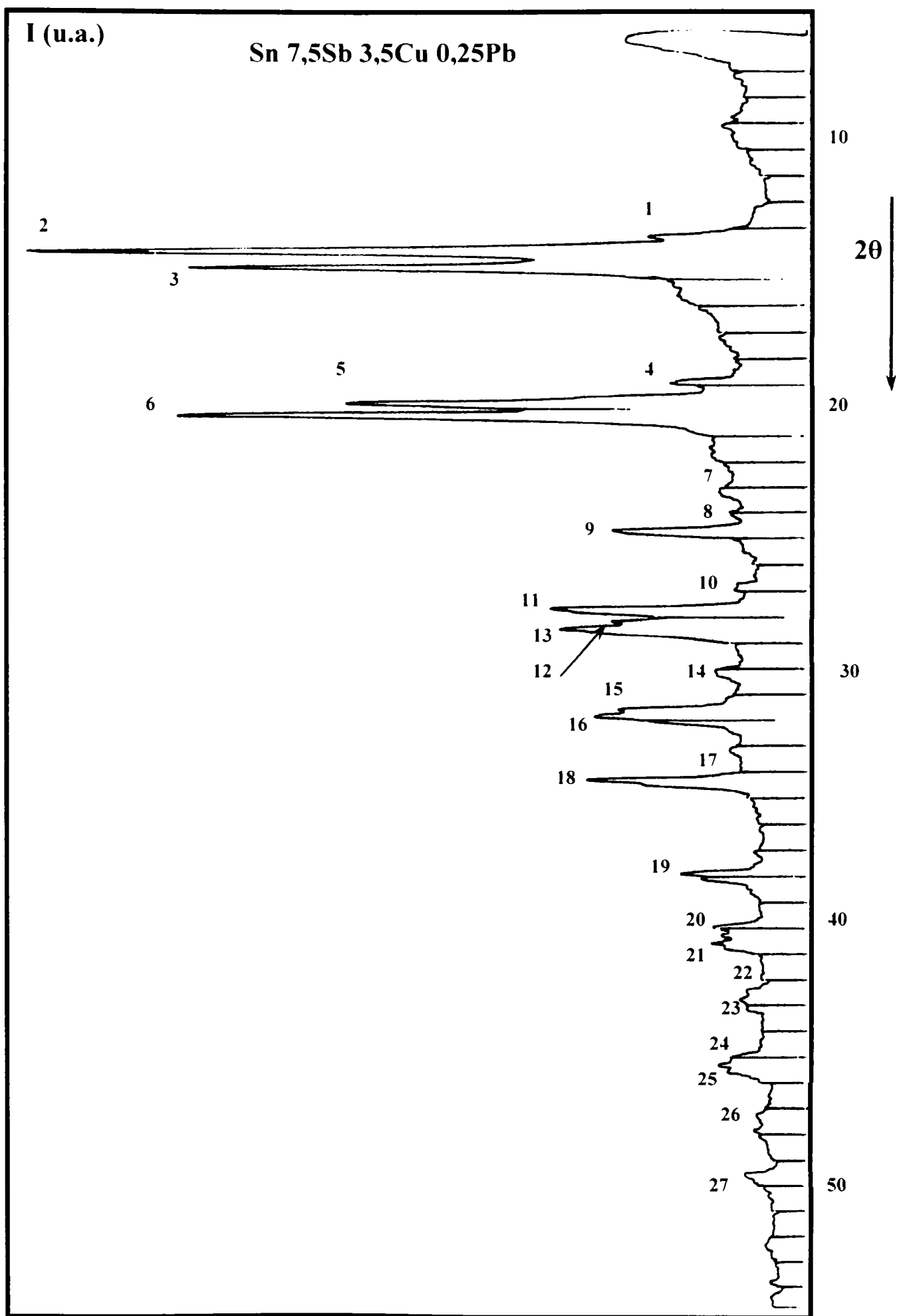


Fig. 5.111. Spectrul total de difracție caracteristic stratului depus cu sârma Sprababbitt A, tratat termic.

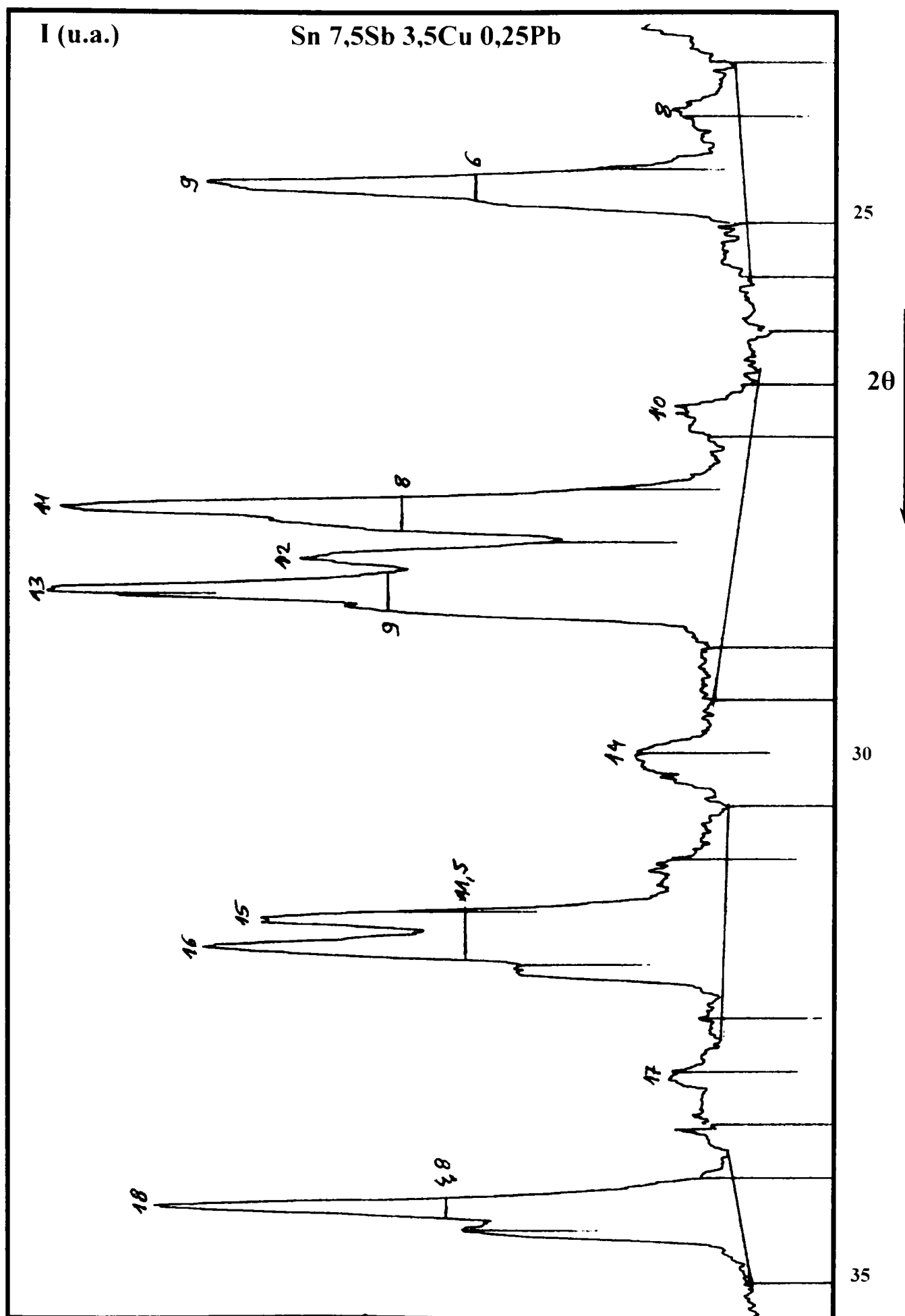


Fig. 5.112. Spectrul parțial de difracție caracteristic stratului depus
cu sârma Sprababbitt 1, tratat termic

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Tabloul 5.25. Valori ale analizei difractometrice cu raze X caracteristice stratului depus cu sârma Laromet Cu63Zn37

Nr. pic	Unghiul 2 θ	d [Å]	(hkl)	Faza
1	16,65	2,451	(111)	Cu ₂ O
2	19,65	2,080	(111)	α – Cu(Zn)
3	22,75	1,800	(200)	α – Cu(Zn)
4	27,35	1,501	(220)	Cu ₂ O
5	29,50	1,394	(311)	Cu ₂ O
6	32,20	1,280	(220)	α – Cu(Zn)
7	38,01	1,090	(311)	α – Cu(Zn)
8	39,91	1,040	(222)	α – Cu(Zn)
9	46,24	0,904	(400)	α – Cu(Zn)
10	50,64	0,830	(331)	α – Cu(Zn)
11	52,12	0,808	(420)	α – Cu(Zn)

Tabloul 5.26. Valori ale analizei difractometrice cu raze X caracteristice stratului depus cu sârma Sprabronze AA

Nr. pic	Unghiul 2 θ	d [Å]	(hkl)	Faza
1	19,35	2,112	(111)	α – Cu(Al)
2	22,51	1,818	(200)	α – Cu(Al)
3	31,95	1,289	(220)	α – Cu(Al)
4	37,71	1,098	(311)	α – Cu(Al)
5	39,31	1,055	(222)	α – Cu(Al)
6	46,00	0,908	(400)	α – Cu(Al)
7	50,45	0,833	(331)	α – Cu(Al)
8	51,51	0,817	(420)	α – Cu(Al)

Tabloul 5.27 Valori ale analizei difractometrice cu raze X caracteristice stratului depus cu sârma Sprababbitt A, netratat termic

Nr. pic	Unghiul 2 θ	d [Å]	(hkl)	Faza
1	13,95	2,92	(200)	Sn (Sb, Cu)
2	14,50	2,81	(101)	Sn (Sb, Cu)
3	19,65	2,08	(220)	Sn (Sb, Cu)
4	20,35	2,01	(211)	Sn (Sb, Cu)
5	24,85	1,65	(301)	Sn (Sb, Cu)
6	27,75	1,48	(112)	Sn (Sb, Cu)
7	28,20	1,45	(400)	Sn (Sb, Cu)
8	28,45	1,44	(133)	Sb ₂ O ₄
9	31,55	1,30	(035)	Sb ₂ O ₄
10	31,85	1,293	(420)	Sn (Sb, Cu)
11	34,25	1,205	(312)	Sn (Sb, Cu)
12	37,75	1,097	(431)	Sn (Sb, Cu)
13	39,85	1,041	(332)	Sn (Sb, Cu)
14	40,45	1,026	(440)	Sn (Sb, Cu)
15	42,35	0,982	(441)	Sn (Sb, Cu)
16	44,90	0,929	(512)	Sn (Sb, Cu)
17	47,20	0,886	(323)	Sn (Sb, Cu)
18	49,50	0,848	(413)	Sn (Sb, Cu)

Contributii privind cresterea disponibilității pieselor de tip alezai

Tabloul 5.28 Valori ale analizei difractometrice cu raze X caracteristice stratului depus cu sârma Sprababbitt A, tratat termic

Nr. pic	Unghiul 2θ	d [Å]	(hkl)	Faza
1	13,25	3,077	(200)	SnSb
2	14,00	2,91	(200)	Sn (Sb, Cu)
3	14,55	2,803	(101)	Sn (Sb, Cu)
4	18,90	2,162	(220)	SnSb și ε – Cu ₃ Sn (002)
5	19,70	2,075	(220)	Sn (Sb, Cu) și ε – Cu ₃ Sn (2.12.0)
6	20,40	2,005	(211)	Sn (Sb, Cu)
7	23,20	1,765	(222)	SnSb
8	24,05	1,704	(310)	Sb ₂ O ₄
9	24,80	1,653	(301)	Sn (Sb, Cu)
10	26,85	1,529	(400)	SnSb
11	27,75	1,480	(112)	Sn (Sb, Cu)
12	28,20	1,457	(400)	Sn (Sb, Cu)
13	28,50	1,442	(133)	Sb ₂ O ₄
14	30,12	1,366	(420)	SnSb și ε – Cu ₃ Sn (083)
15	31,50	1,307	(035)	Sb ₂ O ₄
16	31,90	1,292	(420)	Sn (Sb, Cu)
17	33,20	1,242	(422)	SnSb și ε – Cu ₃ Sn (2.26.1)
18	34,40	1,200	(312)	Sn (Sb, Cu)
19	37,90	1,0293	(431)	Sn (Sb, Cu)
20	39,95	1,039	(332)	Sn (Sb, Cu) și ε – Cu ₃ Sn (174)
21	40,70	1,021	(440)	Sn (Sb, Cu)
22	42,45	0,980	(441)	Sn (Sb, Cu)
23	43,12	0,966	(620)	SnSb
24	45,00	0,927	(512)	Sn (Sb, Cu)
25	45,40	0,920	(622)	SnSb și ε – Cu ₃ Sn (5.21.1)
26	47,20	0,887	(323)	Sn (Sb, Cu)
27	49,55	0,847	(413)	Sn (Sb, Cu) și ε – Cu ₃ Sn (0.8.5)

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Pentru probele P 4.1 și P 5.1, obținute în urma pulverizării termice a alamei și bronzului de aluminiu, analizele difractometrice cu raze X relevă următoarele aspecte:

- prezența fazei α în structura materialului depus;
- prezența oxidului de Cu (picurile 1, 4 și 5) – în cazul alamei;
- structura și tensiunile existente în stratul depus nu se modifică semnificativ în cazul tratamentului termic efectuat;
- se poate afirma că în situația unor încălziri accidentale a acestor straturi în timpul funcționării (la temperaturi cu mult sub cele la care s-a efectuat tratamentul termic), nu vor avea loc modificări ale structurii acestora care să conducă la schimbări semnificative ale caracteristicilor straturilor.

Pentru proba P 6.1, obținută în urma pulverizării termice a sârmei de babbitt, analiza difractometrică relevă următoarele aspecte:

- prezența soluției solide a Sb și Cu în Sn;
- prezența oxidului de Sb (picurile 8 și 9) – la proba netratată termic;
- absența cristalelor de compus SnSb și acelor de Cu_3Sn la proba netratată termic;
- în urma tratamentului termic efectuat structura stratului depus se schimbă semnificativ prin apariția compușilor SnSb și Cu_3Sn . Prezența acestora în matricea metalică de bază a Cu și Sb în Sn este benefică pentru proprietățile antifricțiune ale stratului depus;
- se poate afirma că la pulverizarea termică a straturilor de babbitt, este *obligatorie* efectuarea unui tratament termic, având ca efect o îmbunătățire considerabilă a calităților stratului.

5.3. Cercetări experimentale privind aderența straturilor depuse prin pulverizare termică

Cel mai important factor calitativ al straturilor depuse prin pulverizare termică este considerat aderența straturilor la substrat.

Aderența poate fi considerată cantitativ prin efortul unitar de desprindere a straturilor depuse prin pulverizare termică față de substrat.

Metodele de măsurare a aderenței în cazul pieselor cilindrice se referă doar la straturile depuse pe exteriorul suprafeței. În acest caz aderența este măsurată prin efortul unitar de forfecare sau de tracțiune a stratului pulverizat.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Din punct de vedere funcțional straturile depuse pe interiorul suprafețelor cilindrice sunt supuse solicitării de forfecare. Considerând la scară microscopică materialul depus ca fiind omogen se poate afirma că eforturile unitare sunt egale în orice direcție.

În acest sens, pentru a putea stabili o măsură a aderenței în cazul straturilor depuse prin pulverizare termică pe interiorul pieselor cilindrice (bucșe, lagăre, inele, etc.) se consideră suficientă determinarea efortului unitar de forfecare a straturilor depuse față de substrat.

Trebuie avut în vedere că piesele au fost filetate interior înainte de depunerea straturilor. De aceea este important ca ruperea straturilor să aibă loc cel mult la nivelul vârfurilor spirelor filetului.

Cercetările privind stabilirea calității aderenței au fost efectuate prin două metode.

5.3.1. Determinarea aderenței prin metoda lipirii

Din cele opt probe pulverizate termic au fost decupate inele de 10 mm lățime. S-au măsurat diametrele interioare la aceste inele. Pentru fiecare inel au fost prelucrate bucșe cu diametrul exterior mai mic decât diametrul interior al inelelor.

Adezivii care au fost folosiți pentru lipire au fost oferiți de firma *LOCTITE*.

Interstițiul recomandat pentru adezivul *Loctite 638* este de maxim 0,25 mm pe rază. El este sub forma unui gel și se întărește anaerobic. Acest adeziv a fost folosit pentru șapte din totalul probelor.

Pentru o singură probă și anume P6, pe care a fost depus *habbitt*, a fost folosit adezivul *Loctite 3425*. La acest tip de adeziv interstițiul este mai mare (maxim 3 mm pe rază). El este format din două soluții sub formă de pastă care se amestecă omogen în raport de 1:1. S-a optat pentru acest adeziv la proba P6 deoarece babbittul are aderența cea mai scăzută.

Diametrele exterioare la care au fost prelucrate bucșele sunt prezentate în tabelul 5.29.

Tabelul 5.29. Diametrele exterioare ale bucșelor pentru epruvetele de încercare a aderenței.

Marcaj probă	Diametrul exterior, [mm]
P1	137,2
P2	137,2
P3	137,6
P4	136,6
P5	136,6
P6	133
P7	139,4
P8	138,8

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

După ce au fost lipite, probele au fost încercate pe mașina universală de tracțiune de 20 tf din cadrul *Laboratorului de Încercări mecanice al UCMR S.A.*

Aspectul probelor lipite este prezentat în figura 5.113. În figura 5.114 este prezentată mașina pe care s-au efectuat măsurătorile, iar în figura 5.115 dispozitivul și modul în care s-au efectuat încercările. Forțele la care au avut loc ruperile sunt sintetizate în tabelul 5.30.

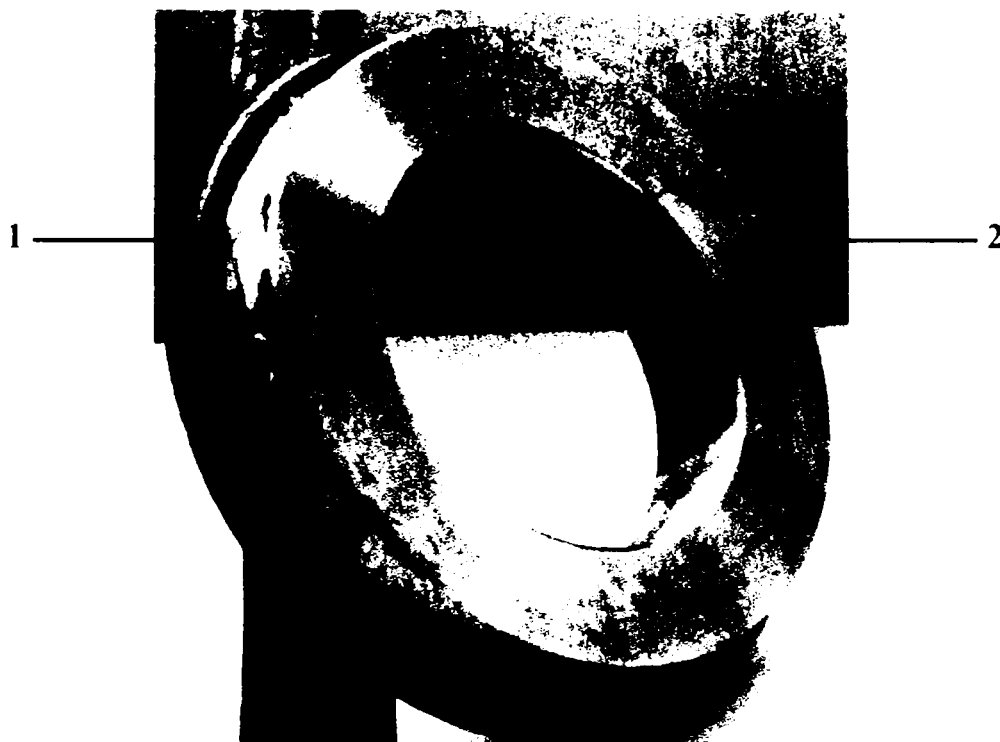


Fig. 5.113. Probă lipită pentru încercarea la aderență. 1 - mel pulverizat, 2 - fixaș



Fig. 5.114. Mașina de tracțiune universală de 20 tf



Fig. 5.115. Dispozitiv pentru creșterea de aderență

1 –inel suport 2 –piesă spring 3 –cilindru care apasă asupra bușei 4 –cigplul lipii bușei –inel

Tabloul 5.30. Forțele la care a avut loc ruperea eprouetelor

Marcaj probă	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8
Forța, [tf]	5,82	6,5	4	4,5	3,5	4,35	3,84	3,24

După rupere s-a constatat că suprafața lipită nu a fost completă la nici o probă. Se poate concluziona că nu toată suprafața a participat la rupere.

De asemenea în unele zone ruperea a avut loc în adeziv, pe când în alte zone ruperea a avut loc în strat. Acest aspect se poate remarca și în figurile 5.116 – 5.123.

Bucșele au fost astfel marcate încât să se poată urmări întreaga circumferință a bucșelor. În anexa 2 sunt prezentate aspectul complet al suprafețelor bucșelor.

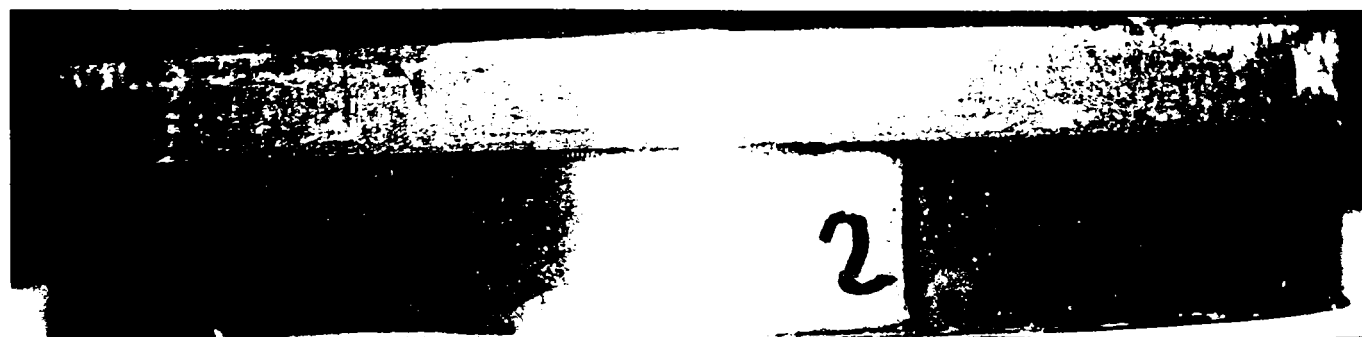


Fig. 5.116. Aspectul suprafeței după rupere la proba P1



Fig. 5.117 Aspectul suprafeței după rupere la proba P7

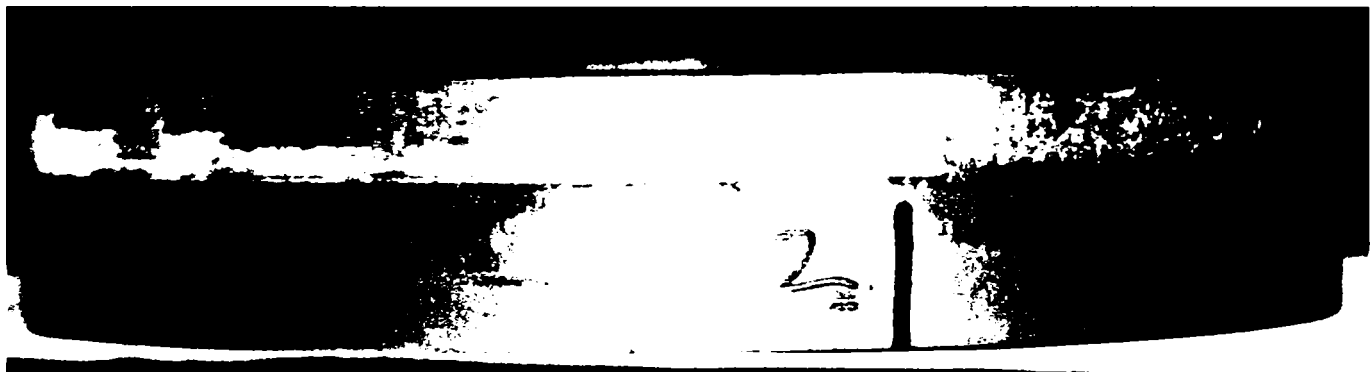


Fig. 5.118 Aspectul suprafeței după rupere la proba P8

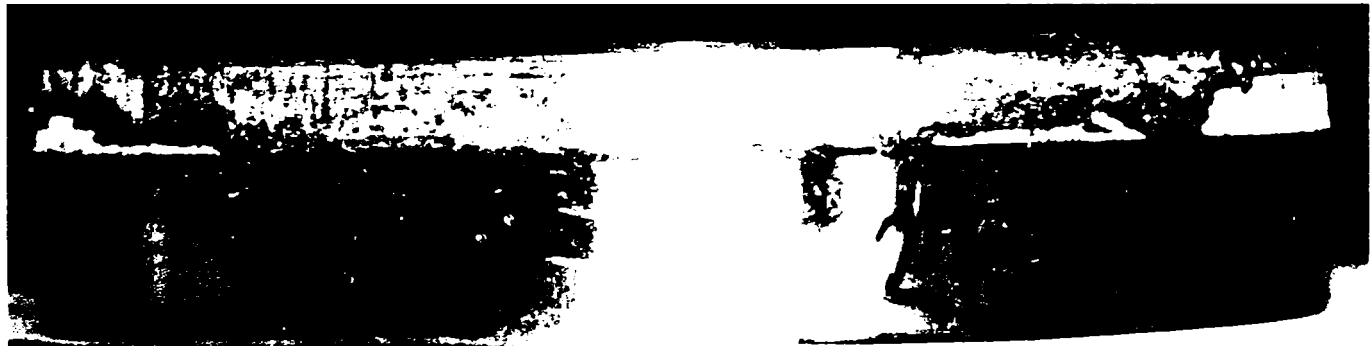


Fig. 5.119 Aspectul suprafeței după rupere la proba P4

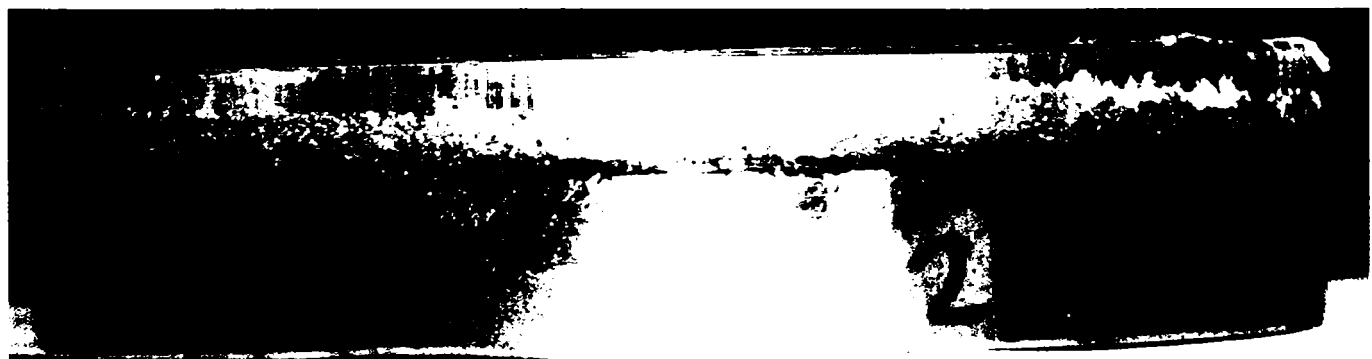


Fig. 5.120 Aspectul suprafeței după rupere la proba P5



Fig. 5.121 Aspectul suprafeței după rupere la proba P6



Fig. 5.122 Aspectul suprafeței după rupere la proba P7



Fig. 5.123 Aspectul suprafeței după rupere la proba P8

Se remarcă din aceste figuri zonele lipite, zonele nelipite și zonele în care ruperea s-a produs la nivelul stratului.

Pentru a putea calcula efortul unitar de forfecare este necesar a determina suprafața care a participat la rupere, adică doar suprafața care a fost lipită. În acest sens a fost creat un dispozitiv prezentat în figura 5.124 care a permis scanarea suprafețelor bușelor.



*Fig. 5.124. Dispozitiv pentru scanarea suprafeței întrușchi.
1 - scaner manual, 2 - bucsă, 3 - cilindru, 4 - mandină treză, 5 - divizor treză*

Aspectul suprafețelor scanate este prezentat în figurile 5.125 – 5.132.



Fig. 5.125. Aspectul suprafeței scanate a probei P1



Fig. 5.126. Aspectul suprafeței scanate a probei P2

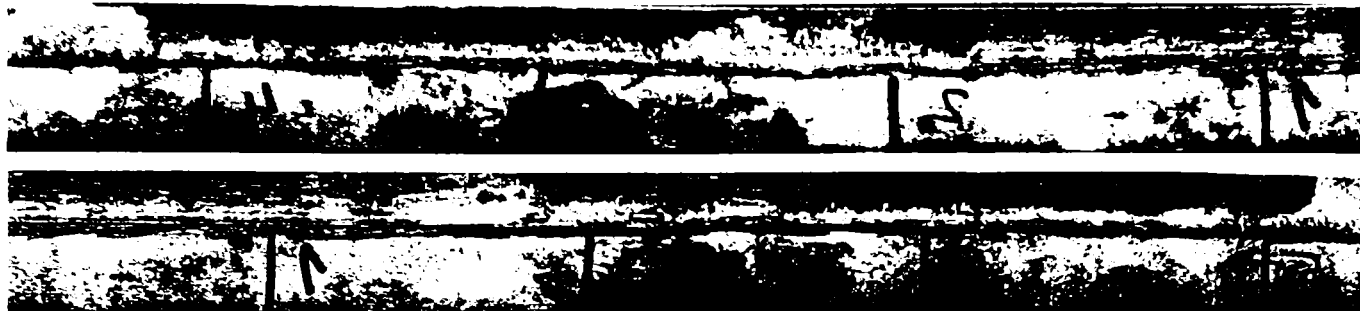


Fig. 5.127. Aspectul suprafeței scanate a probei P3.



Fig. 5.128. Aspectul suprafeței scanate a probei P4.

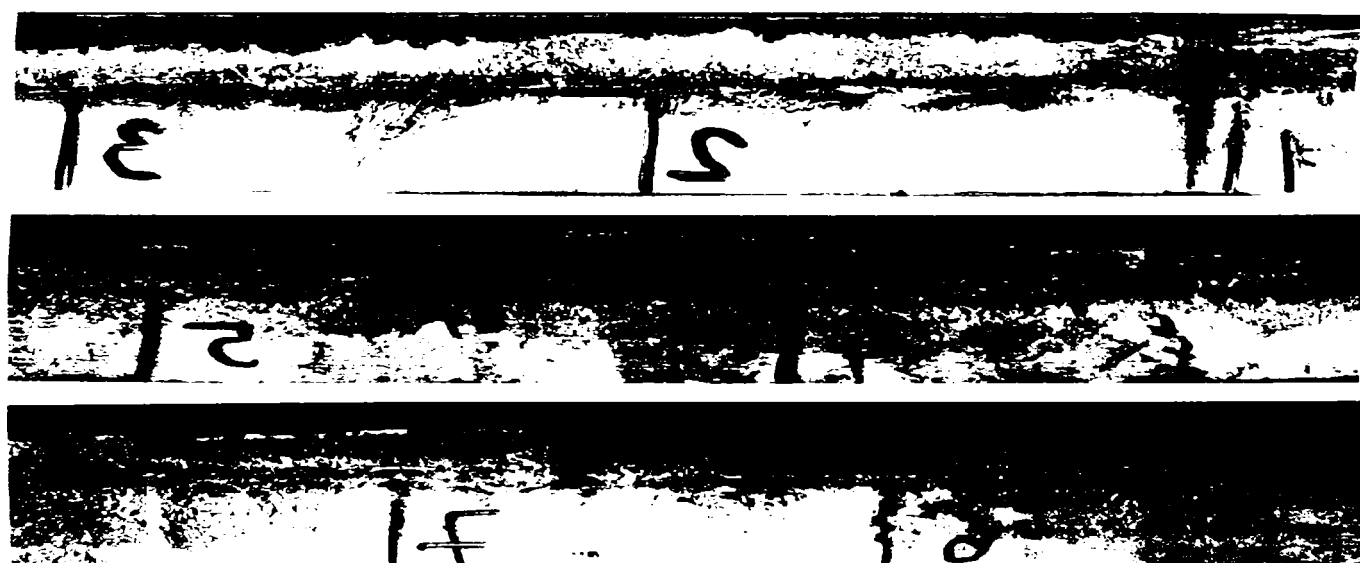


Fig. 5.129. Aspectul suprafeței scanate a probei P5.



Fig. 5.130. Aspectul suprafeței scanate a probei P6.

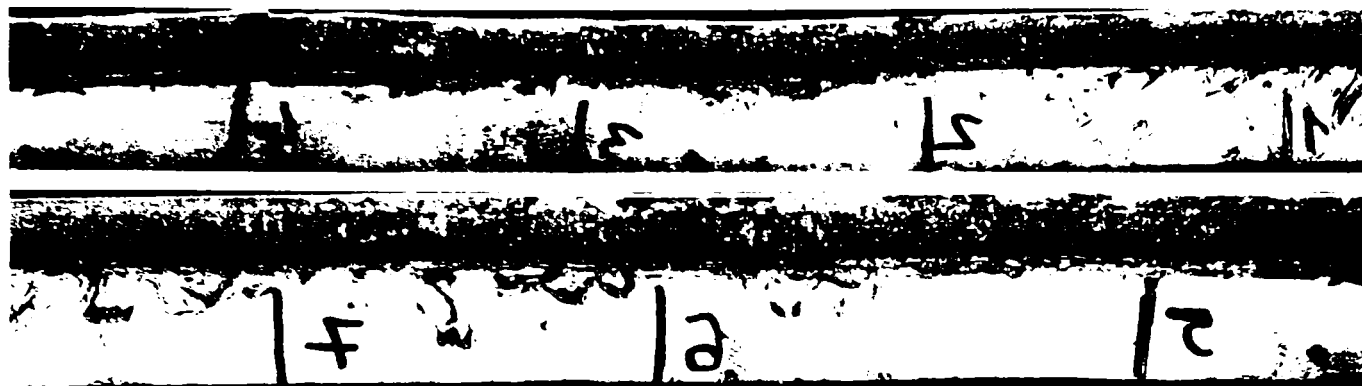


Fig. 5.131 Aspectul suprafeței scanate a probei P7



Fig. 5.132 Aspectul suprafeței scanate a probei P8.

Aceste imagini preluate de scanner au fost prelucrate apoi cu softul *Adobe Photoshop* astfel încât să se poată distinge în mod evident care zonă a fost lipită și care nu.

Un detaliu al unei asemenea imagini prelucrate este reprezentat în figura 5.133.

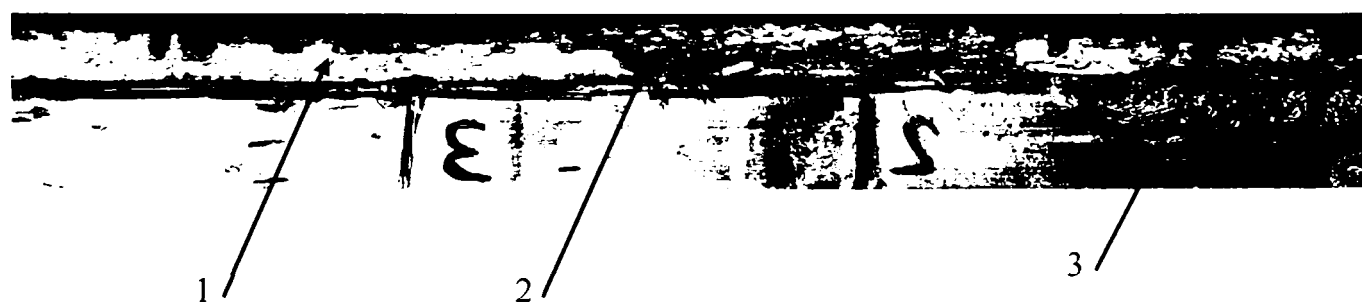


Fig. 5.133. Detaliu al unei imagini scanate și prelucrate cu *Adobe Photoshop*

1 – strat de material depus prin pulverizare termică; 2 – zonă lipită; 3 – zonă nelipită.

Imaginile rezultate au fost apoi prelucrate cu ajutorul softului *AutoCAD 2002* în modul următor:

- fiecare imagine a fost caroiată în mod egal;
- caroiajul a fost apoi împărțit în două moduri și anume:
 - pătrate „pline”, respectiv zone care au participat la rupere;
 - pătrate „goale”, respectiv zone care nu au participat la rupere;

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Softul are posibilitatea de a cuantifica aceste pătrate. Astfel pentru fiecare imagine a rezultat numărul de pătrate „pline” și „goale” număr care a făcut posibil stabilirea suprafeței care a participat la rupere.

Un detaliu al acestei proceduri este prezentat în figura 5.134.

Rezultatele finale sunt sintetizate în tabelul 5.31. Efortul unitar de forfecare a fost calculat raportând forța de rupere la suprafața lipită.

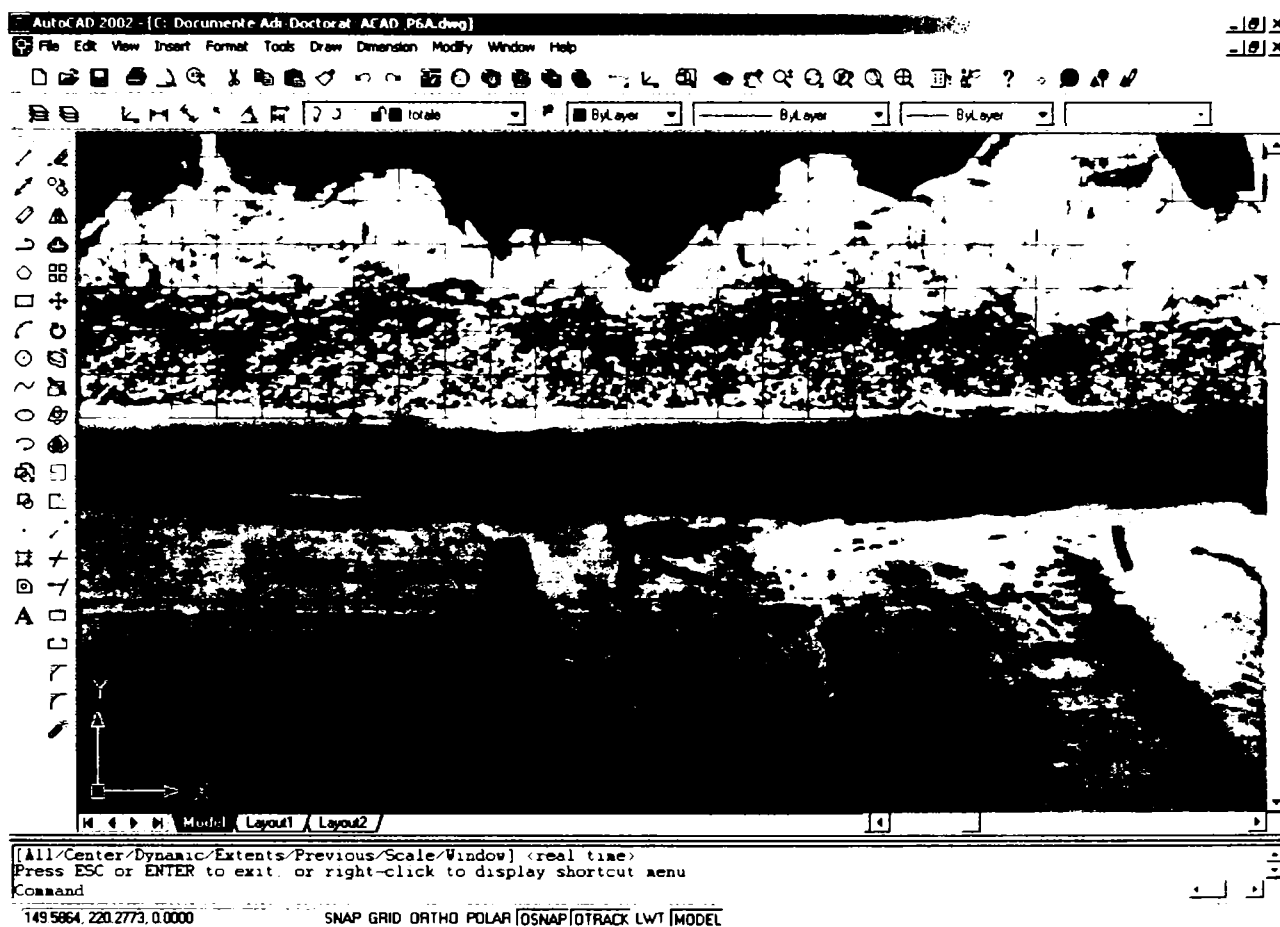


Fig. 5.134. Aspect al modulului de prelucrare al imaginilor scanate cu ajutorul softului AutoCAD 2002

Tabelul 5.31. Rezultate experimentale obținute la încercarea de forfecare prin metoda lipirii

Marcaj probă	Forța, [N]	Diametrul, [mm]	Suprafața lipită, [%]	τ_f , [N/mm ²]
P1	51777,2996	137,2	80	15,01
P2	57826,881	137,2	67	20,02
P3	35585,77292	137,6	38	21,66
P4	40033,99454	137,6	78	11,87
P5	31137,55131	137,6	62	11,62
P6	38699,52805	133	68	13,62
P7	34162,34201	139,4	77	10,13
P8	28824,47607	138,8	79	8,37

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezai

Ca o primă concluzie se poate afirma că aceste valori ale efortului unitar reprezintă valorile minime la care o parte din strat s-a forfecat.

Pentru a stabili calitatea aderenței s-a procedat în felul următor: cu ajutorul soft-urilor precizate s-a calculat doar procentul de strat care s-a forfecat la aceste valori ale efortului unitar. Rezultatele sunt sintetizate în tabelul 5.32.

Tabelul 5.32. Rezultate experimentale obținute la încercarea de forfecare prin metoda lipirii.

Marcaj probă	Suprafață strat ruptă, [%]	Calitatea aderenței
P 1	54	Bună
P 2	24	Foarte bună
P 3	10	Foarte bună
P 4	34	Bună
P 5	0	Foarte bună
P 6	18	Foarte bună
P 7	77	Satisfăcătoare
P 8	79	Satisfăcătoare

În concluzie se poate afirma că această metodă permite aprecierea într-o primă instanță a valorii aderenței straturilor depuse prin pulverizare termică pe suprafețe cilindrice interioare.

Dezavantajele acestei metode care limitează utilizarea ei sunt:

- timpul îndelungat de lucru;
- productivitate scăzută;
- valorile care se obțin sunt doar valori estimative și de asemenea valori minime.

5.3.2. Determinarea aderenței prin metoda forfecării

Metoda este mult mai simplă, mai rapidă și oferă informații mai complete asupra valorii aderenței. Principiul acestei metode este prezentat în figura 5.135.

Pentru a efectua măsurările s-a procedat astfel:

- din fiecare probă s-a debitat un inel cu lungimea de 10 mm, în mod identic cu metoda anterioară;
- materialul depus a fost înlăturat din ambele părți prin strunjire, astfel încât la mijlocul inelului să rămână un „dop” de material depus;
- s-a prelucrat un dorn cu două diametre exterioare. Un prim diametru a fost astfel stabilit încât să fie egal cu diametrul interior al materialului depus. Al doilea diametru este mai mare astfel încât să ajungă doar pe stratul depus prin pulverizare termică.

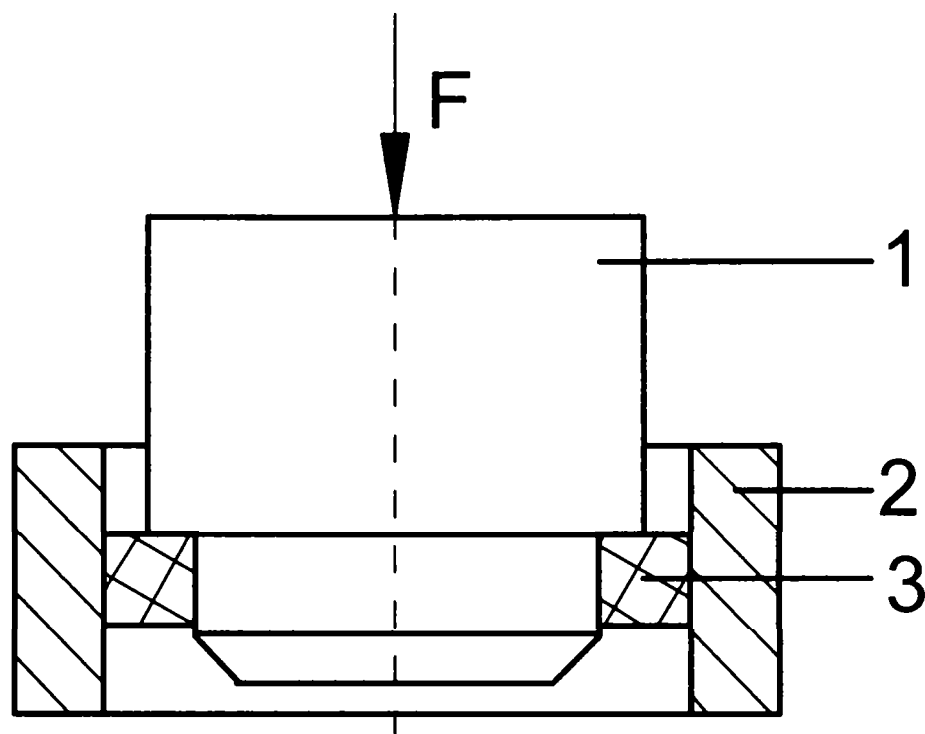


Figura 5.135. Principiul metodei tortecării pure a straturilor depuse prin pulverizare termică.

1 – dorn; 2 – inel; 3 – strat depus prin pulverizare termică.

Încercările au fost efectuate pe aceeași mașină ca și la metoda precedentă, dispozitivul folosit fiind identic. Rezultatele încercărilor sunt sintetizate în tabelul 5.33.

Tabelul 5.33. Rezultate experimentale obținute în urma încercărilor prin metoda tortecării.

Marcaj probă	Forța, [tf]	Forța, [N]	Diametrul, [mm]	Înălțime strat depus, [mm]	Grosime strat rupt, [mm]	τ_f , [N/mm ²]
P1	9,42	83804.49523	139,6	4,5	1,0	42,46
P2	11,1	98750.51986	139,2	5	0,8	45,16
P3	10,3	91633.36527	139,4	5	0,7	41,85
P4	10,64	94658.15597	139,4	5	1,2	43,23
P5	10,18	90565.79209	139,4	5	1,2	41,36
P6	4,24	37720.9193	137	5	-	17,53
P7	6,8	60495.81397	140,6	4,5	0,4	30,43
P8	5,6	49820.08209	140,8	5,5	0,8	20,48

Aspecte ale pieselor după rupere sunt prezentate în figurile 5.136 – 5.143.

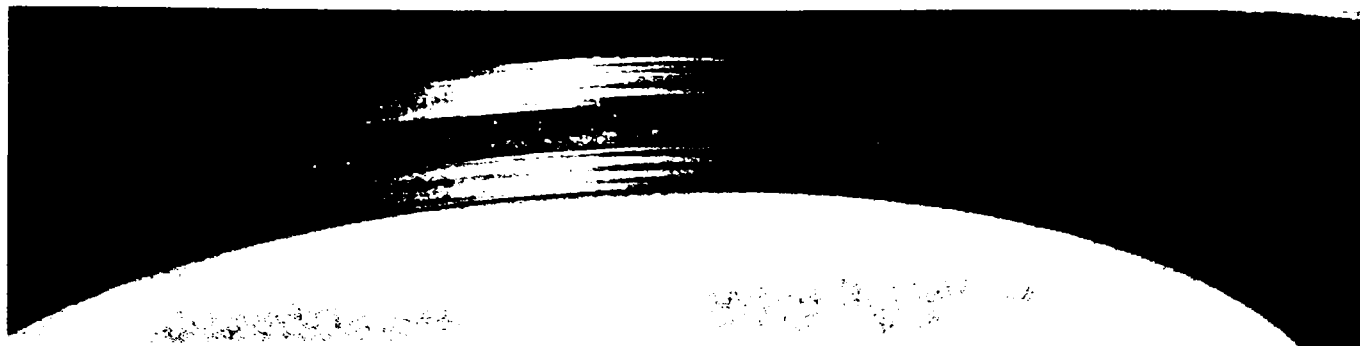


Fig. 5.136 Aspectul suprafeței și straturii după rupere al probei P1

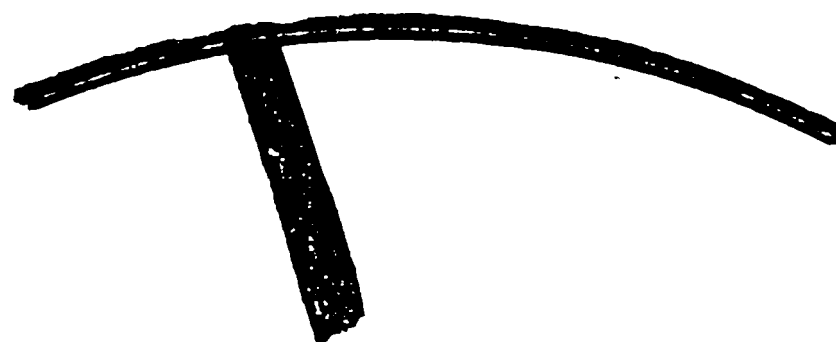
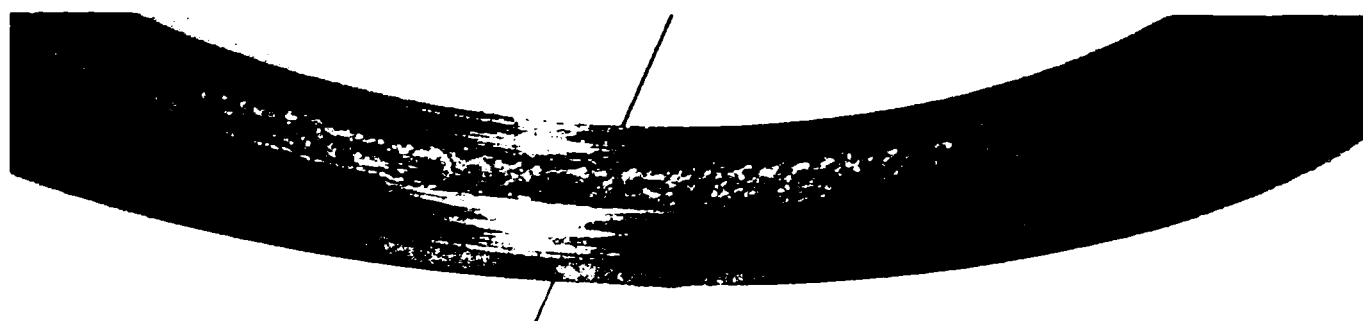


Fig. 5.137 Aspectul suprafeței și straturii după rupere al probei P2

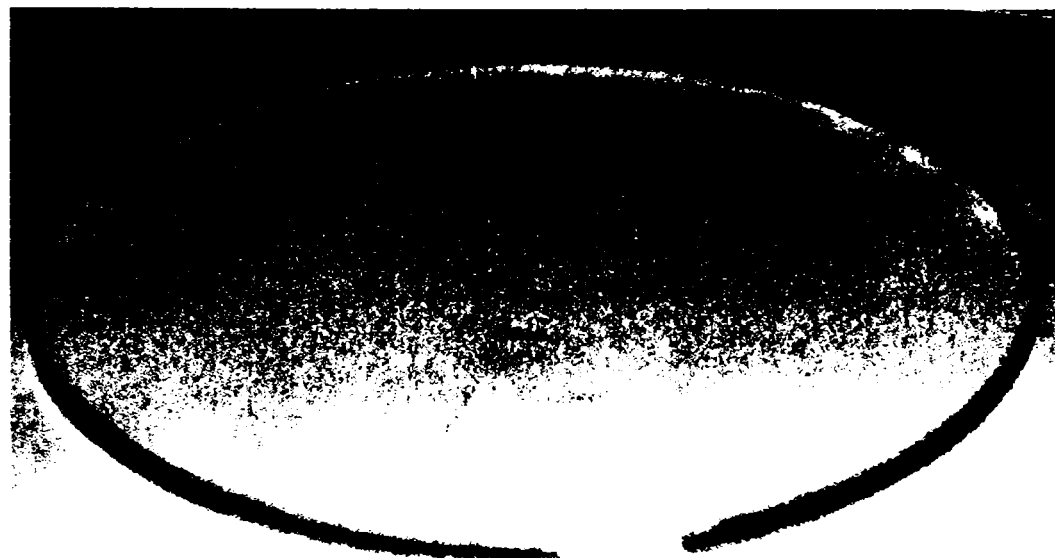
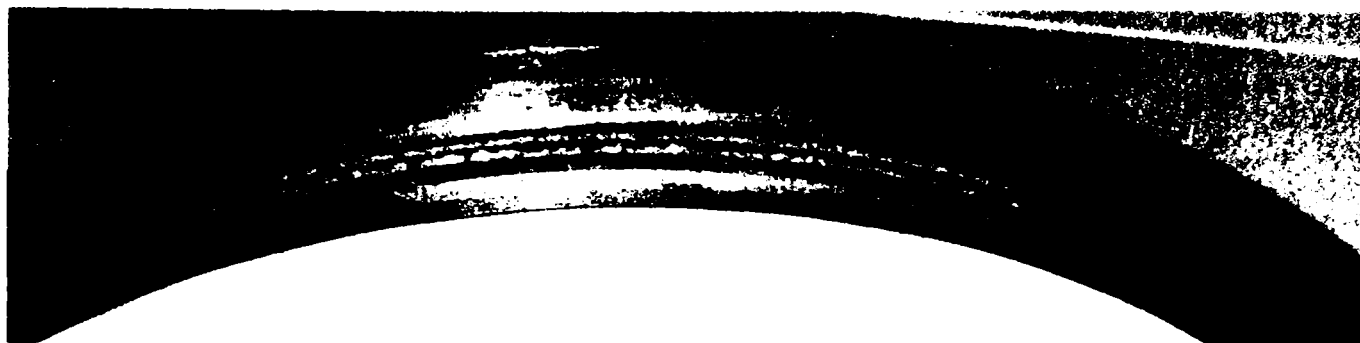


Fig. 5.138. Aspectul suprafeței și stratului după rupere al probei P3.



Fig. 5.139. Aspectul suprafeței și stratului după rupere al probei P4.



Fig. 5.140. Aspectul suprafeței și stratului după rupere al probei P5

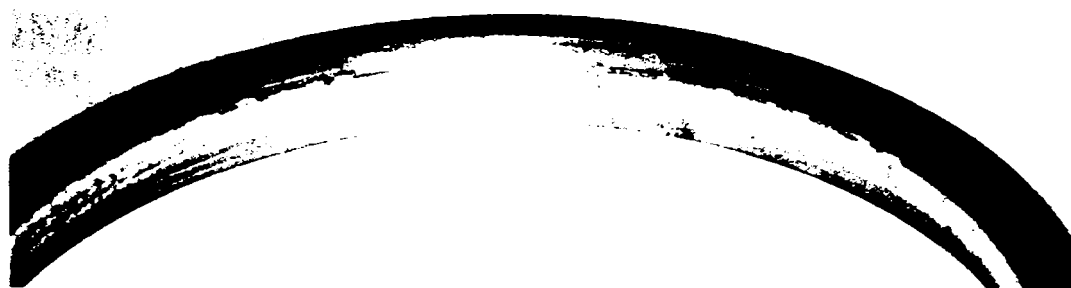


Fig. 5.141. Aspectul suprafeței și stratului după rupere al probei P6



Fig. 5.142. Aspectul suprafeței și stratului după rupere al probei P7



Fig. 5 143 Aspectul suprafeței și stratului după rupere al probei PS

Modul de rupere a straturilor depuse (în majoritatea situațiilor sub forma unui inel), aspectul suprafețelor în care a avut loc ruperea și valorile determinate ale eforturilor de forfecare cu această metodă conduc la concluzia că ele exprimă valoarea maximă a aderenței straturilor depuse prin pulverizare termică.

În concluzie se poate afirma că în raport cu cea de a doua metodă, prima variantă, deși mai complexă, oferă suficiente informații cu privire la valorile minime la care are loc desprinderea straturilor.

Comparând valorile obținute cu cele două metode se poate concluziona că aderența straturilor depuse prin pulverizare termică pe suprafețe cilindrice interioare este bună atunci când pe suprafața pe care se fac depunerile se asigură o rugozitate mare, aceasta eliminând necesitatea preîncălzirii atunci când procedeele de depunere folosite au o energie termică scăzută. O energie termică mare, cum este cazul plasmelor, conduce la încălzirea în exces a materialului depus, iar dacă substratul este „rece” aderența va avea valori scăzute.

Un alt element care influențează valoarea aderenței este diametrul interior al pieselor pe care se face depunerea. Valoarea minimă a diametrului interior este limitată în primul rând de distanța de pulverizare și de accesibilitatea capului de pulverizare. De asemenea, la un diametru mai mic este mai mare posibilitatea obținerii unei aderențe mai scăzute.

Pe plan mondial, firma Sulzer Metco a reușit să obțină performanțe foarte bune pentru diametre mici. Astfel, a dezvoltat un procedeu, denumit generic *Roto Arc Plasma* (un pistol de pulverizare rotitor), care permite să se depună straturi subțiri de până la 250 μm prin pulverizare termică pe diametre interioare mai mari de 70 mm.

5.4. Analiza microdurității straturilor depuse prin pulverizare termică

Pentru a efectua măsurări ale microdurității straturilor au fost debitate epruvete conform celor prezentate în figura 5.144. Acestea au pregătite metalografic și analizate prin măsurarea microdurității Vickers pe grosimea stratului, dat fiind grosimea relativ mică a straturilor depuse. Rezultatele încercărilor sunt sintetizate în diagramele din figurile 5.145 – 5.152.



Fig. 5.144 Epruvete debitate pentru analiza microdurității straturilor depuse

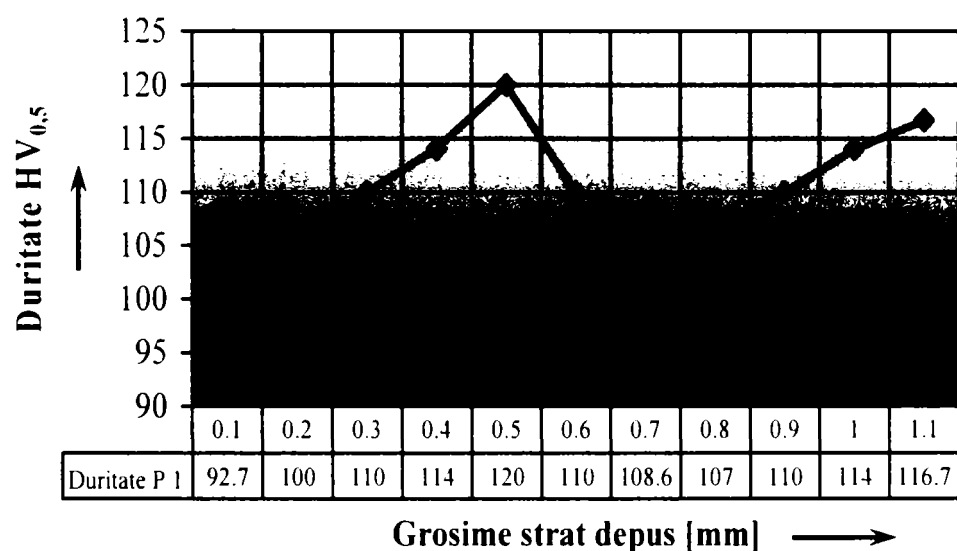


Fig. 5.145. Variația microdurității probei P1

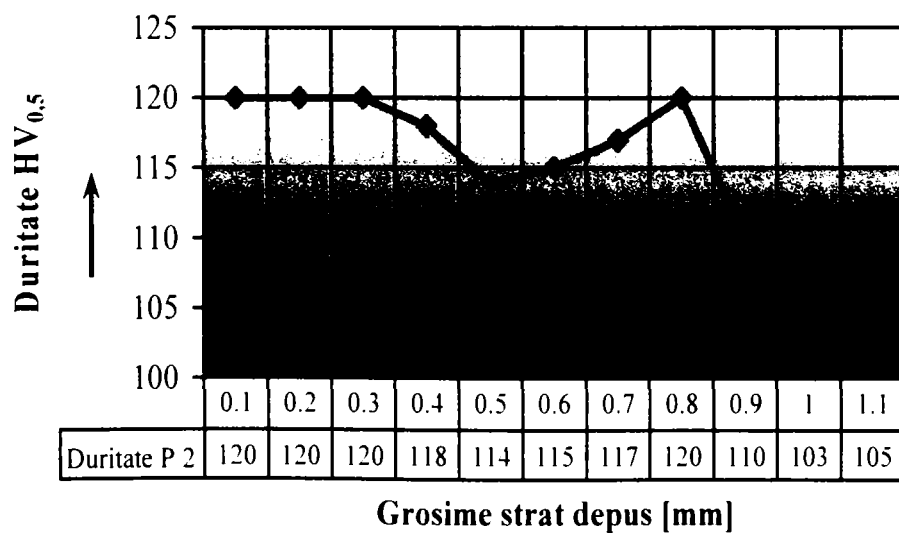


Fig. 5.146. Variația microdurității probei P2

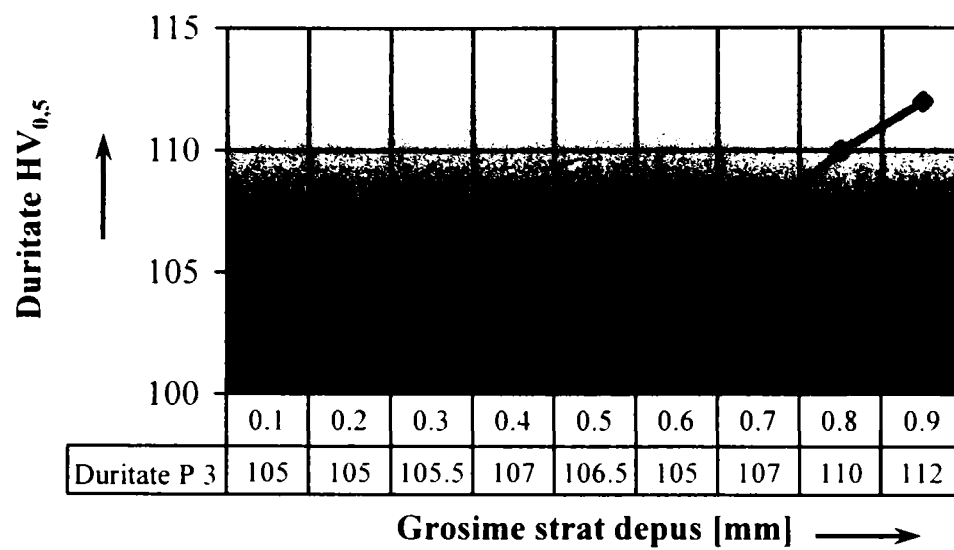


Fig. 5.147. Variația microdurității probei P3.

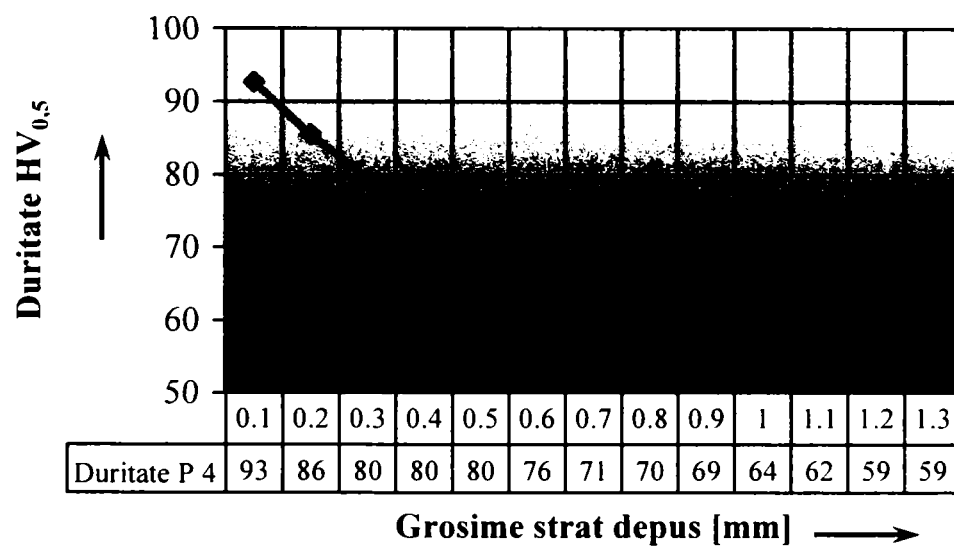


Fig. 5.148. Variația microdurității probei P4.

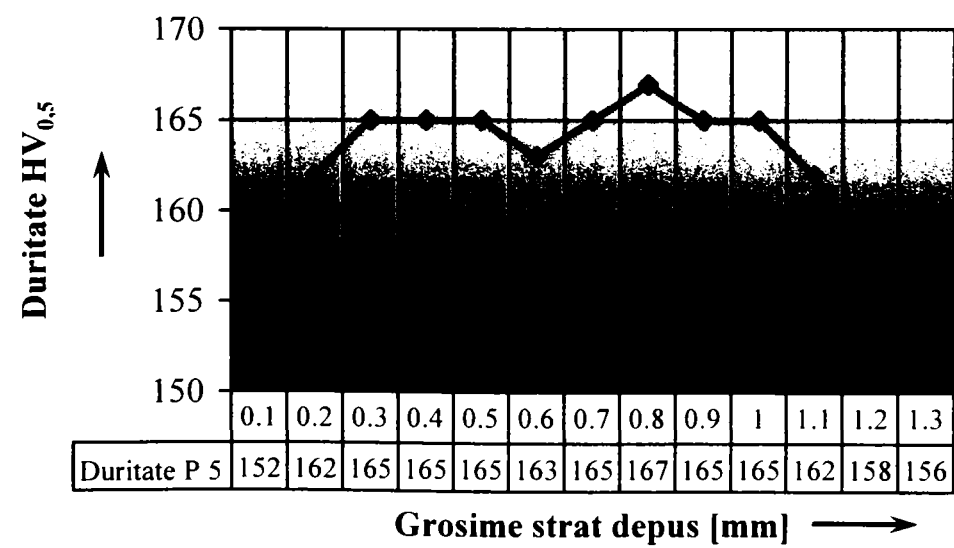


Fig. 5.149. Variația microdurității probei P5.

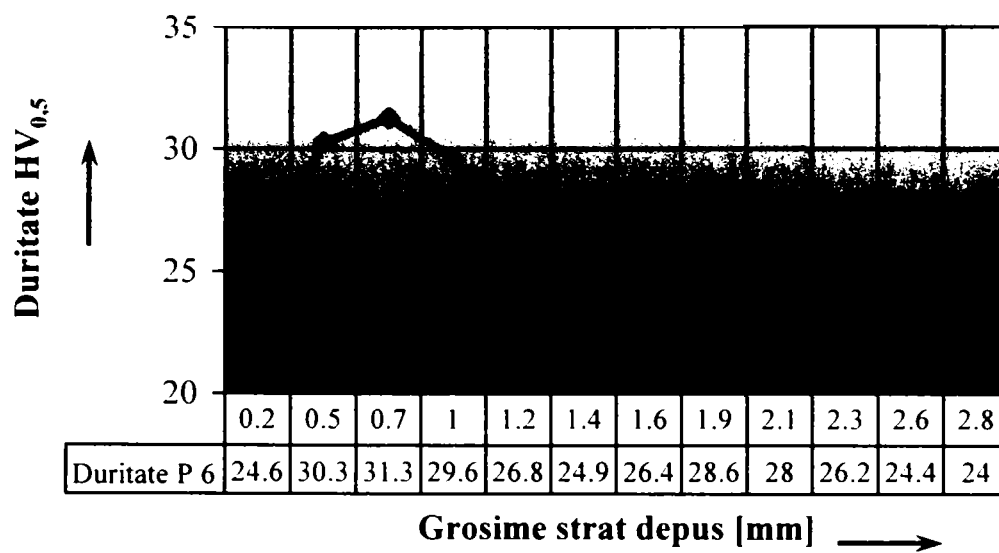


Fig. 5.150. Variația microdurității probei P6.

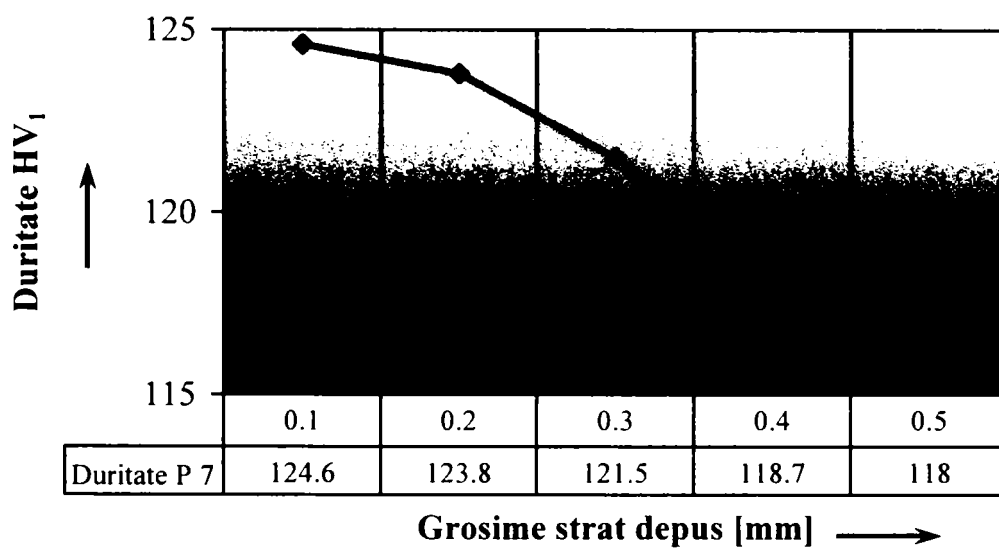


Fig. 5.151. Variația microdurității probei P7.

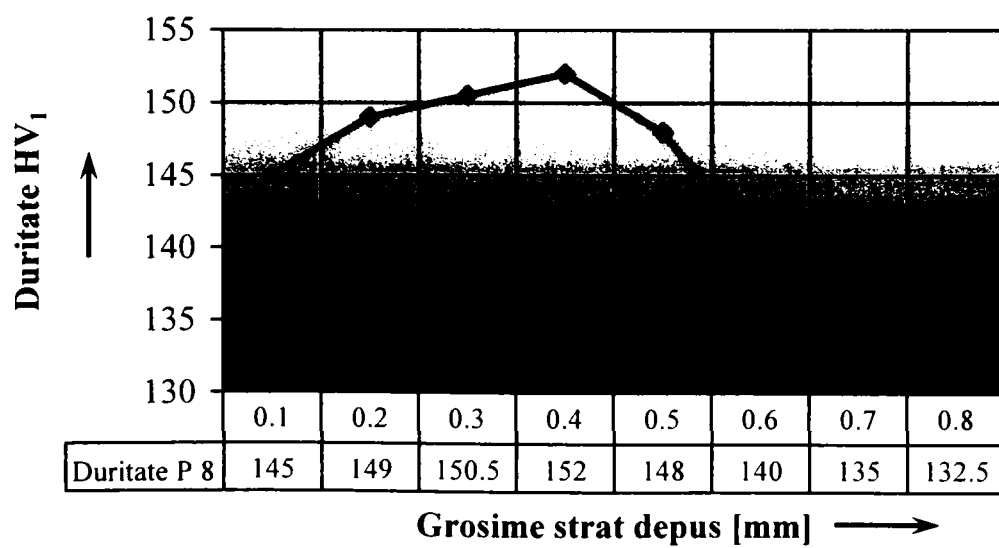


Fig. 5.152. Variația microdurității probei P8.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

Din aceste curbe se observă că microduratea pentru toate probele este mai mare decât a materialelor aflate în stare turnată. Prezența oxizilor, ecrusarea mecanică a particulelor care are loc în timpul pulverizării sunt factorii determinanți ai creșterii microdurateții.

Comparând microduratea probei P2 cu cea a probei P3 se poate afirma că creșterea distanței de pulverizare la proba P3 a condus la scăderea microdurateții.

La același material de adaos folosit, în cazul probelor P7 și P8, se observă o microduratea mai ridicată în cazul probei P8. Diferența între aceste două probe constă în procedeul ales pentru depunerea stratului, proba P7 fiind pulverizată cu flacără și pulbere, în timp ce proba P8 a fost pulverizată cu plasmă. Porozitatea mai ridicată a probei P7 a condus la o microduratea mai scăzută decât a probei P8.

Pentru probele P2 și P3 s-a folosit ca material de adaos o combinație de două sârme și anume alamă și bronz de aluminiu. Ulterior aceste sârme au fost utilizate separat pentru pulverizarea probelor P4 (alama) și P5 (bronz de aluminiu). Se poate observa că duritatea medie a probelor P2 și P3 este aproximativ media durităților probelor P4 și P5.

Din punct de vedere al variației microdurateții în raport cu grosimea straturilor depuse se pot face următoarele aprecieri:

- microduratea probei P1 are în general, o tendință crescătoare cu creșterea grosimii stratului depus. Însă, între 0,5 și 0,8 mm grosime de strat depus se remarcă o scădere a durității, datorită creșterii porozității stratului în această zonă (fig. A 1.1, anexa 1);
- variația microdurateții probelor P2 și P3, care sunt practic depuse cu aceleași materiale de adaos, are o evoluție diametral opusă. Astfel, în timp ce la proba P2 tendința de variație a microdurateții este descrescătoare, la proba P3 variația microdurateții are tendință crescătoare. Acest fapt poate fi explicat prin utilizarea unei distanțe mai mari de pulverizare la proba P3, ceea ce a condus la creșterea numărului de oxizi, mai ales spre limita superioară a stratului, unde s-a finalizat depunerea (fig. A 1.3, anexa 1). Pe de altă parte, materialele de adaos utilizate au durități diferite, respectiv bronzul de aluminiu este mult mai dur decât alama, iar așa cum s-a remarcat din analizele microscopice ale acestor probe cele două materiale sunt separate în structură, ceea ce conduce la astfel de variații ale microdurateții în funcție de faza care este amprentată;
- scăderea microdurateții probei P4 cu grosimea stratului depus poate fi explicată prin procentul scăzut de oxizi (fig. A 1.4, anexa 1);
- variația microdurateții probei P5 are o tendință crescătoare la început, urmată de un palier, iar spre limita superioară are o tendință descrescătoare. Creșterea procentului

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

de oxizi din straturile depuse, datorită prezenței aluminiului în materialul de adaos, conduce la creșterea microdunității în prima porțiune a curbei. Omogenitatea structurii (fig. A 1.5, anexa 1) determină apariția palierului, iar scăderea spre final a microdunității poate fi pusă pe seama creșterii temperaturii stratului la ultima trecere;

- evoluția microdunității probei P6 este ușor descrescătoare, evoluție ce poate fi pusă pe seama unei proporții reduse de oxizi;
- variația microdunității probei P7 este ușor descrescătoare, porozitatea ridicată a acestei probe conducând la această tendință (fig. A 1.7, anexa 1);
- microdunitatea probei P8 crește puțin la început, datorită prezenței oxizilor (fig. A 1.8, anexa 1), ulterior ea având o tendință descrescătoare, motivația fiind creșterea porozității și scăderea proporției de oxizi.

5.5. Analiza porozității straturilor depuse prin pulverizare termică

Pentru stabilirea porozității straturilor depuse prin pulverizare termică s-a procedat în modul următor:

- s-au prelevat eșantioane de material depus prin pulverizare termică. Aceste eșantioane au rezultat în urma ruperii straturilor la încercarea de aderență prin forfecare;
- eșantioanele au fost cântărite cu balanța analitică a *Laboratorului chimic din cadrul UCMR SA*;
- în cuve separate a fost încălzit ulei tip *MORLINA 10*, special pentru lubrifierea lagărelor, a cărui densitate la 20°C a fost stabilită în cadrul aceluiași laborator;
- uleiul a fost încălzit la o temperatură de 120°C;
- eșantioanele au fost scufundate în ulei și menținute la această temperatură timp de două ore;
- după ce au fost scoase din cuve, eșantioanele au fost lăsate pe o hârtie de filtru să se răcească și să se scurgă uleiul de pe suprafața lor, iar după aceasta au fost cântărite din nou.

Pentru a calcula porozitatea volumetrică a acestor straturi se consideră următoarea relație:

$$P_V = \frac{V_P}{V_{MD}} \cdot 100, \quad [\%] \quad (5.1.)$$

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

unde:

P_V – porozitatea volumetrică, [%];

V_P – volumul porilor, [cm³];

V_{MD} – volumul materialului depus, [cm³].

Cunoscându-se cantitatea de ulei absorbită de pori (m_{ulei}) și densitatea uleiului (ρ_{ulei}) se poate calcula volumul porilor (V_P).

Cunoscându-se masa eșantioanelor (m_{MD}) și densitatea relativă a straturilor obținute prin pulverizare termică (ρ_{MD}), valoare specificată de către producătorul materialelor de adaos, se poate calcula volumul materialului depus în stare inițială (V_{MD}).

Rezultatele acestor calcule sunt sintetizate în tabelul 5.34.

Tabelul 5.34. Valori experimentale ale porozității straturilor depuse prin pulverizare termică.

Marcaj probă	Greutate inițială, [grame]	Greutate finală, [grame]	Densitate material depus, ρ_{MD} [g/cm ³]	Densitate ulei, ρ_{ulei} [g/cm ³]	Porozitate volumetrică, P_V [%]
P1	2,0743	2,1213	6,5	0,875	16,92
P2	2,2301	2,2827	6,9	0,875	18,8
P3	3,4492	3,5354	6,9	0,875	19,6
P4	6,6376	6,7786	7,4	0,875	16,16
P5	2,8044	2,8695	6,5	0,875	17,25
P6	3,6162	3,6298	6,3	0,875	2,7
P7	0,8483	0,8772	6,0	0,875	23,36
P8	2,2510	2,3052	6,4	0,875	17,61

Concluziile care apar în urma analizei acestor valori sunt:

- probele P1 – P5, la care procedeul de depunere a fost pulverizarea cu arc electric, iar gazul de transport a fost aerul, au o porozitate medie de 17,75%. Această valoare este mai mare decât valoarea dată de literatură (~ 10%). Factorii care au condus la această creștere a porozității sunt:
 - folosirea aerului comprimat ca gaz de transport;
 - distanța de pulverizare mai mare;
 - unghiul de înclinare al jetului de particule, care a variat între 90° și 45°.
- proba P6, la care procedeul de depunere a fost pulverizarea cu flacără și sârmă, iar materialul de adaos a fost babbittul, are o porozitate foarte scăzută. Temperatura de topire a babbittului fiind foarte scăzută (~ 600°C) în raport cu temperatura flăcării oxigaz, determină ca particulele pulverizate să ajungă în stare topită pe suprafața

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

substratului. Pe de altă parte duritatea babbittului este foarte mică în comparație cu celelalte aliaje utilizate. Acești doi factori conduc la obținerea unor straturi compacte, așa cum se observă și din imaginile microscopice ale acestei probe:

- proba P7, are porozitatea cea mai ridicată, procedeul de pulverizare cu flacără și pulbere fiind cel care conduce la obținerea straturilor cu cea mai ridicată porozitate;
- proba P8, care a fost obținută în urma pulverizării cu jet de plasmă și pulbere, are o porozitate excesivă față de valorile din literatura de specialitate (5 – 8%). Unul dintre factorii care conduc la valori ridicate ale porozității în acest caz este intensitatea curentului în arcul de plasmă. Astfel, cu creșterea intensității curentului porozitatea straturilor scade, datorită creșterii gradului de topire a particulelor pulverulente în spațiul arcului de plasmă, până la topirea completă a acestora. Mecanismul de solidificare în contact cu substratul, este cel care determină de fapt morfologia depunerii și deci și a porozității. Efectul distanței de pulverizare este de asemenea important. La distanțe mari de pulverizare, cum este în cazul de față, porozitatea ridicată este cauzată de reducerea semnificativă a energiilor termice și cinetice ale particulelor la impactul cu substratul făcând ca stratul să fie poros datorită procentului ridicat de particule insuficient topite din care este realizat.
- aceste valori ale porozității, relativ mari, sunt benefice totuși pentru scopul urmărit, respectiv acela de a îngloba ulei în pori, ulei care poate asigura o lubrifiere suplimentară, și în același timp poate asigura în situații limită, lubrifierea necesară evitării gripării lagărului.

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Tendențele actuale ale cercetărilor din domeniul Ingineriei suprafețelor metalice, de a găsi noi soluții care să permită creșterea durabilității sau fiabilității unor produse considerate ca sistem, implică deplasarea analizei la nivelul componentelor pentru cunoașterea intercondiționării funcționării tuturor elementelor și a probabilităților de defectare.

- Disponibilitatea, ca rezultat a două evenimente – mentenabilitate și fiabilitate – poate fi apreciată analitic luând în considerare media timpilor de bună funcționare (*MTBF*) și media timpilor de reparare (*MTR*). Disponibilitatea este subunitară în orice condiții, din cauza mentenanței, când piesa sau utilajul nu funcționează. Mijloacele de creștere a disponibilității pot fi creșterea timpilor de funcționare și/sau scăderea timpilor de reparare.
- Lagărele de alunecare ca piesă complexă de tip alezaj prezintă diversitate constructivă, utilizarea acestora în domenii variate și importanța lor din punct de vedere funcțional au generat cercetări diverse pentru creșterea disponibilității. Multitudinea factorilor și solicitările ce acționează asupra lagărelor cu alunecare impune, în mod implicit, o gamă largă și pretențioasă de proprietăți materialelor antifricțiune, proprietăți ce au adesea caracter contradictoriu, ca și solicitările ce le impun, astfel că un bun material este rezultatul unui compromis între tendințe contradictorii, iar problema optimizării materialelor pentru lagăre are o deosebită actualitate.
- Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au vizat fundamentarea teoretică și practică a posibilităților de creștere a disponibilității pieselor de tip alezaj. Una dintre posibilitățile de creștere a disponibilității la piesele de tip alezaj este utilizarea procedeelor de pulverizare termică. Din gama procedeelor de pulverizare termică pretabile în astfel de situație sunt:
 - pulverizarea termică cu arc electric;
 - pulverizarea termică cu flacără și sârmă;

- pulverizarea termică cu flacără și pulbere;
- pulverizarea termică cu jet de plasmă.

procedee abordate în cadrul tezei de doctorat.

- Încercările experimentale efectuate în cadrul tezei de doctorat în scopul aprecierii disponibilității pieselor s-au realizat pe probe cilindrice interioare ce reproduc piesele de tip alezaj.
- Pentru certificarea calității straturilor depuse prin pulverizare termică s-au efectuat încercări specifice:
 - Analizele microscopice efectuate cu microscopul și microsonda electronică au permis stabilirea repartiției și variația elementelor chimice în straturile depuse, concluzii referitoare la aderența straturilor depuse, la variația microdurității cu grosimea straturilor depuse și determinarea prezenței oxizilor și a porilor;
 - Analizele difractometrice cu raze X au permis decelarea tipului de constituenți prezenți în structura straturilor, determinarea eventualelor modificări structurale și a nivelului tensiunilor interne în cazul efectuării unor tratamente termice asupra straturilor depuse;
 - Aderența straturilor pulverizate este cea mai importantă calitate a straturilor depuse prin pulverizare termică. Valorile obținute privind aderența straturilor depuse prin diverse procedee și cu diverse materiale de adaos au condus la concluzia că există o suficientă aderență la nivelul strat – substrat, o bună contribuție în acest sens având-o utilizarea unui strat de aderență;
 - Determinările cantitative ale porozității straturilor depuse prin pulverizare termică au permis aprecieri privind valorile porozității în funcție de tipul procedului de pulverizare termică utilizat, de tipul materialului de adaos utilizat și de influența unor parametri tehnologici folosiți la obținerea straturilor;

- Determinările cantitative ale microdurității straturilor depuse prin pulverizare termică au permis aprecieri privind variația microdurității pe grosimea stratului depus, în funcție de procedeul de pulverizare cu care au fost obținute straturile depuse și de tipul materialului de adaos utilizat.

Se apreciază ca principale contribuții personale și elemente de noutate relevante în teza de doctorat:

- În aprecierea posibilităților de creștere a disponibilității pieselor de tip alezaj s-a considerat adecvată pulverizarea termică pentru refacerea suprafețelor interioare ale acestor tipuri de piese. În acest sens s-au utilizat diferite procedee de pulverizare termică și materiale de adaos. Procedecele utilizate au fost: pulverizare termică cu arc electric, pulverizare termică cu flacără și sârmă, pulverizare termică cu flacără și pulbere, pulverizare termică cu jet de plasmă. Materialele de adaos utilizate în cadrul cercetărilor experimentale au fost alese din categoria celor neferoase, având în vedere că aceste aliaje au pondere mare de utilizare în domeniul lagărelor de alunecare. Pentru obținerea probelor experimentale s-au utilizat ca materiale de adaos: cupru, alamă, bronz de aluminiu, babbitt.
- Pentru certificarea calității și în consecință a disponibilității pieselor de tip alezaj s-au executat probele experimentale în condiții limită de realizare a stratului depus:
 - alegerea unui diametru interior cât mai mic pentru probele experimentale, avându-se în vedere faptul că această valoare influențează în mod hotărâtor aderența straturilor depuse prin pulverizare termică;
 - eliminarea preîncălzirii probelor experimentale, pentru reducerea timpilor de lucru și a costurilor de depunere. Preîncălzirea pieselor este recomandată pentru eliminarea pericolului de desprindere a straturilor depuse prin pulverizare

- termică. Valorile obținute pentru aderența straturilor depuse prin pulverizare termică conduc la concluzia că preîncălzirea nu este necesară în aceste situații;
- pregătirea suprafeței probelor experimentale s-a realizat prin filetarea interioară a acestora. Astfel, au fost realizate două tipuri de filete care conduc la obținerea unor rugozități diferite, urmărindu-se influența acestei rugozități asupra aderenței straturilor depuse prin pulverizare termică.
 - Tratamentele termice ulterioare pulverizării straturilor, în vederea modificării structurii și a reducerii tensiunilor interne, nu sunt necesare în cazul alamei și a bronzului de aluminiu, fapt relevat de analizele difractometrice cu raze X. În cazul babbittului, tratamentul termic efectuat la temperatura de încălzire de 150°C și timp de menținere de o oră, a condus la modificări benefice ale structurii stratului depus prin apariția compușilor SnSb și Cu₃Sn, compuși decelați prin analizele difractometrice cu raze X și care au putut fi decelați ulterior și prin analiza microscopică. Acest element original al lucrării a condus la aprecierea că în cazul straturilor de babbitt depuse prin pulverizare termică este necesar efectuarea unui tratament termic în vederea îmbunătățirii calității acestor straturi. Compușii de tip SnSb și Cu₃Sn îmbunătățesc proprietatea de antifricțiune a babbittului, calitate esențială din punct de vedere funcțional a lagărelor de alunecare.
 - Tot ca o contribuție personală se consideră și elaborarea a două metode de determinare a aderenței straturilor depuse prin pulverizare termică. Principiul ambelor metode consideră suficientă determinarea rezistenței la forfecare a straturilor depuse prin pulverizare termică, deoarece aceste straturi sunt supuse solicitării de forfecare în timpul funcționării pieselor pe care sunt depuse. O primă metodă utilizează soft-uri de proiectare și de prelucrare a imaginilor. Cea de-a doua metodă utilizează principiul determinării aderenței straturilor depuse prin pulverizare termică pe suprafețe convexe. Aceste metode oferă informații

suficiente în vederea stabilirii mărimii și calității aderenței straturilor depuse prin pulverizare termică.

- Metodele de determinare a porozității straturilor depuse prin pulverizare termică sunt, ca și în cazul aderenței, multiple. În domeniul determinării porozității straturilor depuse prin pulverizare termică s-a elaborat o metodă simplă, directă, ce oferă informații cantitative suficient de precise. În urma determinărilor s-a putut aprecia mărimea porozității straturilor depuse prin pulverizare termică pentru fiecare procedeu utilizat.
- Analiza variației microdurității pe grosimea stratului a certificat rezultatele obținute prin analiza microscopică, efectuată la diverse mărimi, fapt care poate constitui un element de facilitare în aprecierea calității straturilor depuse pentru creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj.

Rezultatele obținute în cadrul prezentei teze de doctorat au fost valorificate prin contractul nr. 126/2004 la recondiționarea lagărelor din componența reductoarelor de la laminoarele reversibile. Totodată sunt tratative pentru valorificarea rezultatelor în cadrul secției Cuzineți a UCMR SA Reșița la recuperarea cuzineților rebutați.

O altă posibilitate de valorificare rezultată pe parcursul desfășurării cercetărilor experimentale ar fi recondiționarea cămășilor cilindrilor de la motoarele navale la Șantierul Naval Constanța.

Se consideră că cele prezentate în teza de doctorat pot fi privite ca elemente semnificative în ceea ce privește creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj prin utilizarea procedeelor de pulverizare termică, apelând la materiale de adaos uzuale în construcția lagărelor de alunecare, fiind de apreciat și caracteristicile definitorii ale straturilor depuse.

BIBLIOGRAFIE

- 1 Ambroz, O., ș.a. *Application of image analysis at determining the porosity of hot sprayed coatings of cermet type*, Zvaranie, 1997, nr. 4, p. 3 – 4;
- 2 Ambroz, O., ș.a. *Determination of the Adhesive and Cohesive Fracture Modes of the Adhesion Tensile Test*, Proceedings of the International Thermal Spray Conference & Exposition, Orlando, Florida, USA, 28 May – 5 June 1992, p. 921 – 927;
- 3 Bach, Fr.-W., ș.a. *High velocity arc spraying*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 240;
- 4 Barbezat, G., ș.a. *The advantages of the plasma spray process for the coating of cylinder bores on AlSi cast alloy in the automotive industry*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 10;
- 5 Barbezat, G. *High velocity flame spraying – the complement to plasma spraying*, Schweissen und Schneiden, 1993, nr. 2, p. E25 – E27;
- 6 Baron, T. *Calitatea și fiabilitatea produselor*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982;
- 7 Beczowiak, J., ș.a. *Produits d'apports pulverulents pour la projection thermique*, Souder, 1991, vol. 15, nr. 4, p. 21 – 25;
- 8 Bennett, A. P., Quigley, M.B.C. *The spraying of boiler tubing in power stations*, Welding and Metal Fabrication, 1990, nov., p. 485 – 490;
- 9 Bent, R. M. *Good design principles key to successful weld repairs*, WRC Proceedings IIW, Conferința IIS, San Francisco, 1997, p. 375 – 386;
- 10 Berinde, V. *Recuperarea, recondiționare, refolosirea pieselor în construcția de mașini*, Ed. Tehnică, București, 1982;
- 11 Berinde, V. *Recondiționări cu plasmă*, Ed. Tehnică, București, 1986;
- 12 Berndt, C. C. *Tensile Adhesion Testing Methodology for Thermally Sprayed Coatings*, 1990, J. Mater. Eng., nr. 12, p. 151 – 158;
- 13 Berreth, K., ș.a. *Investigation of thermal spray coatings for applications with abrasion, erosion, corrosion and cavitations wear*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 117;
- 14 Borbeck, K. *Markübersicht über das thermische spritzen*, Schweissen und Schneiden, 1990, aug., p. 379 – 381;
- 15 Borisov, Y., ș.a. *Thermal spraying of metal – polymeric composite coatings with an increased corrosion and wear resistance*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 588;
- 16 Borisova, A., ș.a. *Thermal spraying of coatings containing solid lubricants*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 174;
- 17 Borisova, A., ș.a. *Phase transformations in thermal – sprayed coatings of aluminium oxide*, Avtomaticheskaja Svarka, 1997, nr. 9, p. 48 - 50;

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

- 18 Bouaifi, B., ș.a. *High performance plasma – powder weld surfacing – increase in efficiency and in the service life of components subject to wear and corrosion*, Schweissen und Schneiden, 1992, nr. 12, p. E220 – E222 (675 – 677);
- 19 Breitsameter, M. *Surfacing using the HVOF process*, Welding and Metal Fabrication, 1994, vol. 62, nr. 2, p. 66 – 68;
- 20 Caba, M. *Fiabilitatea și siguranța în funcționare a utilajelor*, București, I.C.D. T., 1972;
- 21 Calea, Gh., Dumitrache, Fl. *Mașini unelte și prelucrări mecanice*, curs I.P.B., 1992;
- 22 Cătuneanu, M.V. *Bazele teoretice ale fiabilității*, Ed. Acad. RSR, București, 1983;
- 23 Ceaușu, I. *Terotehnică și terotehnologie*, M.I.C.M., 1988;
- 24 Chizhskaya, T.G., ș.a. *Laser hard - surfacing of Ni-Cr-B-Si system powders on copper and its alloys*, Automaticeskaja Svarka, 1997, nr. 8, p. 45 - 47;
- 25 Clyne, T. W., ș.a. *Residual Stresses in Thermal Spray Coatings and Their Effect on Interfacial Adhesion*, december 1996, A Review of Recent Work, JTST, volume 5(4), p. 401 – 418;
- 26 Constantinescu, V. N., Nica, A., ș.a. *Lagăre cu alunecare*, Ed. Tehnică, București, 1980;
- 27 Davies, G., Breitsameter, M. *Advances in HVOF surfacing technology*, Welding and Metal Fabrication, 1995, iulie, p. 271 – 272;
- 28 Dehelean, D., Markocsan, N. *Stadiul actual al tehnologiilor de pulverizare termică în industria românească*, Conferința internațională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p. 23 – 31;
- 29 Drimer, D. *Recondiționarea pieselor în construcția de mașini*, Curs I.P.B., 1988 – 1989;
- 30 Duhamel, J. P., ș.a. *La projection thermique plasma et HVOF*, Soudage et techniques connexes, 1996, nr. 11/12, p. 35 – 37;
- 31 Dumon, P. *Rechargements/revetements antiusure par soudage et par projection thermique (part 3)*, Souder, 1991, vol. 15, nr. 4, p. 3 – 20;
- 32 Dvorak, M., ș.a. *Non – destructive testing of thermal sprayed coatings by pulsed infrared technique*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 345;
- 33 Ebert, K., ș.a. *Repair of damaged cylinder surfaces by thermal spraying*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 5;
- 34 Erning, U., ș.a. *Electric arc spraying – Recent Developments and Advanced Applications*, Conferința internațională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p.33 – 44;
- 35 Fagoaga, I., ș.a. *The high frequency pulse detonation (HFPD) spray process*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 282;

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

- 36 Fagoaga, I. ș.a. *High frequency pulse detonation (HFPD): Processing parameters*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 726;
- 37 Gafițanu, M. *Organe de mașini, vol. I și II*. Ed. Tehnică București, 1983;
- 38 Godfrey, P.S. *The philosophy of when to repair*. Welding in the World, 1993, vol. 32, nr. supl., p.215 – 222;
- 39 Hartmann, S., ș.a. *Implementation and characterization of polymers in thermally sprayed coatings*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 169;
- 40 Heinrich, P., Molnar, R. *What Role do Industrial Gases play in the Quality of Thermal Spraying*. Conferința internațională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p. 53 – 58;
- 41 Henne, R. *Direct current plasma torches for thermal spraying – present status and new developments*, Schweissen und Schneiden, 1993, nr. 2, p. E31 – E33 (91 – 95);
- 42 Hoff, I.H. *Thermal spraying and its application*, Welding and Metal Fabrication, 1995, iulie, p. 266 – 269;
- 43 Höhle, H. M. *The state of thermal spraying*, Schweissen und Schneiden, 1993, nr. 2, p. E22 – E25 (75 – 80);
- 44 Horovitz, B. *Organe de mașini*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1969;
- 45 Howes, C. P. *Thermal spraying: Processes, Preparation, Coatings and Applications*, Welding Journal, 1994, aprilie, p. 47 – 51;
- 46 Kozyakov, L A., ș.a. *Tribotechnical characteristics of amorphized flame – sprayed coatings deposited with Fe - B system flux - cored wires*, Avtomaticheskaja Svarka, 1996, nr. 10, p. 24 – 28;
- 47 Kozyakov, I.A., ș.a. *Abrasive wear resistance of amorphized thermal spray coatings produced using flux cored wire of the Fe - B system*, Avtomaticheskaja Svarka, 1996, nr. 11, p. 21 – 23;
- 48 Kreye, H., ș.a. *New developments for thermal spray systems, materials and applications*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 90;
- 49 Loon, L. *Nouveaux developpements dans la techniques de projection de poudres pour l'entretien et les reparations*, Revue de la Soudure, 1991, vol. 47, nr. 3, p. 33 – 35;
- 50 Lukina, G.N., Boljshakov, M. V. *Structure and properties of the impulse - plasma coatings based on the Fe - Mo - Cr - B powder alloys*, Avtomaticheskaja Svarka, 1997, nr. 3, p. 14 – 18;
- 51 Lugscheider, E., ș.a. *Influence of HVOF process parameters during spraying of metal alloys*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 428;
- 52 Marcu, V. *Metalizarea prin pulverizare*, Ed. Acad. RPR, București, 1963;
- 53 Matejka, D. *Application of plasma arc spraying of metallic and ceramic materials*, Zvaranie, 1995, vol. 44, nr. 2, p. 4 - 6;

Contributii privind cresterea disponibilitatii pieselor de tip alezaj

- 54 Mc Cune, R.C. *Thermal spraying of cylinder bore surfaces for aluminium engine blockes*, Welding Journal, 1995, vol. 74, nr. 8, p. 41 -48;
- 55 Miller, D.K. *Don't sacrifice quality when reducing weld metal volumes*, Welding Innovation Quarterly, 1996, vol. XIII, nr. 2, p 12 - 14;
- 56 Miloş, L.,
Petrica,A. *Aspecte referitoare la influenţa unor factori asupra calităţii straturilor din materiale pulverizate şi a condiţiilor formării acestora*, Conferinţa internaţională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p. 73 – 75;
- 57 Moravek, T. *Renovation of cylindrical surfaces by resistance surfacing*, Zvaranie,1994, vol. 43, nr. 2, p. 10-12;
- 58 Ohmori, A., ş.a. *Reaction spray by laser – plasma jet – synthesis of TiN coatings*, Transactions of JWRI, 1991, vol. 20, nr. 2, p. 27 – 33;
- 59 Palka, V.,
Matejka,D. *Characteristics of consumables and coatings of HVOF system*, Zvaranie, 1997, nr. 5, p. 4 – 7;
- 60 Palka, V.,
Matejka,D. *High – velocity oxy – fuel gas spraying – a new thermal spraying technology*, Zvaranie, 1996, nr. 3, p. 4 – 6;
- 61 Pavelescu, D.,
ş.a. *Organe de maşini, vol. I*, Ed. Did. şi Ped. Bucureşti, 1985;
- 62 Pekkari, B. *Repair and maintenance*, Svetsaren, 1995, voi. 50, nr. 2, p. 3;
- 63 Petrica, A. *Analiza claselor uzură – solicitări şi a principalelor caracteristici ale depunerilor*, Conferinţa internaţională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p.165 – 169;
- 64 Petrica, A. *Posibilităţi de investigare a aderenţei straturilor din materiale pulverizate termic pe suprafeţe interioare*, trimisă spre publicare la Lucrările Conferinţei Internaţionale – Integritatea structurală a construcţiilor sudate, 4 – 5 noiembrie 2004, Timișoara;
- 65 Petrica, A. *Analize microscopice şi difractometrice cu raze X asupra straturilor de babbitt depuse prin pulverizare termică cu flacără şi sârmă*, trimisă spre publicare la Lucrările Conferinţei Internaţionale – Integritatea structurală a construcţiilor sudate, 4 – 5 noiembrie 2004, Timișoara;
- 66 Petrica, A. *Aprecieri comparative a unor procedee de pulverizare termică în cazul depunerii pe suprafeţe cilindrice interioare*, trimisă spre publicare la Lucrările Conferinţei Internaţionale – Integritatea structurală a construcţiilor sudate, 4 – 5 noiembrie 2004, Timișoara;
- 67 Petrica, A. *Contract de cercetare nr. 126/2004 – Pulverizarea termică a suprafeţelor cilindrice interioare – alternativă pentru creşterea disponibilităţii lagărelor de alunecare*, Beneficiar- S.C. Gavazzi Steel S.A. Oţelu Roşu
- 68 Popescu, M. *Pulverizarea termică – Bază de date*, Conferinţa internaţională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p. 67 – 71;
- 69 Puljka, Ch.V. *The influence of parameters of induction surfacing on thickness of the deposited layer and distorsion of thin steel discs*, Automaticeskaja Svarka, 1997, nr. 10, p. 57 – 58;

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

- 70 Radic, P. *Importance of repairs and renovation of components*, Zvaranie, 1997, nr. 6, p. 5 – 7;
- 71 Rădoi, M., ș. a. *Recondiționarea pieselor*, Ed. Tehnică, București, 1986;
- 72 Rezeanu, M. *Lucrări în domeniul recondiționării*, Conferința I.P. București, 1988;
- 73 Schulz, W.D. *Thermisches Spritzen von Zink, Aluminium und deren Legierungen als Korrosionsschutz von Stahlkonstruktionen*, Schweissen und Schneiden, 1996, nr. 2, p. 137 – 142;
- 74 Sobolev, V., Guilemany; J. M. *Mechanisms of oxidation of thermally sprayed coatings*, UTSC Düsseldorf, feb. 1999, p. 45;
- 75 Subu, T. *Încărcarea prin sudare și metalizare pentru recondiționare pieselor și fabricarea de piese noi*, OID-ICM, 1992;
- 76 Takahashi, K., ș.a. *A study about atomic interaction at the interfaces of transient metal – ceramics*, Transactions of JWS, 1993, vol. 24, nr. 2, p. 70 – 73;
- 77 Vaida, O., Vaida, M. *Studiul fenomenelor care se produc la interfața dintre stratul metalizat și substrat, partea I – aderența*, Conferința internațională „Pulverizarea termică”, 20 – 21 iunie 2000, Timișoara, p.149 – 164;
- 78 Vaida, O. *Metode de determinare a aderenței straturilor depuse prin metalizarea termică*, Conferința „Sudura’96”, 19 – 20 septembrie 1996, Bistrița;
- 79 Vaida, O. *Aderența în metalizarea termică*, Conferința Jubiliară 60 de Ani de Cooperare Științifică în Domeniul Sudării, 19 – 21 noiembrie 1997, Timișoara;
- 80 Vermeșan, G., Vermeșan, E. *Introducere în ingineria suprafețelor*, Ed. Dacia, Cluj – Napoca, 1999;
- 81 xxx *High velocity flame spraying in practice*, Schweissen und Schneiden, 1993, nr. 2, p. E34 – E36 (95 – 98);
- 82 xxx *Special welding wires speed up maintenance and repair*, Welding Journal, 1990, vol. 69, nr. 11, p. 58 – 59;
- 83 xxx *10 Steps to improved productivity: repair and reclamation*, Welding and metal fabrication, 1995, nr. 10, p. 460 – 462;
- 84 xxx *Advanced maintenance and coating services*, Hitstekn, 1994, vol. 44, nr. 5, p. 43.
- 85 xxx www.sulzermetco.com
- 86 xxx www.praxair.com
- 87 xxx www.loctite.ro

Anexa 1. Imagini microscopice ale probelor

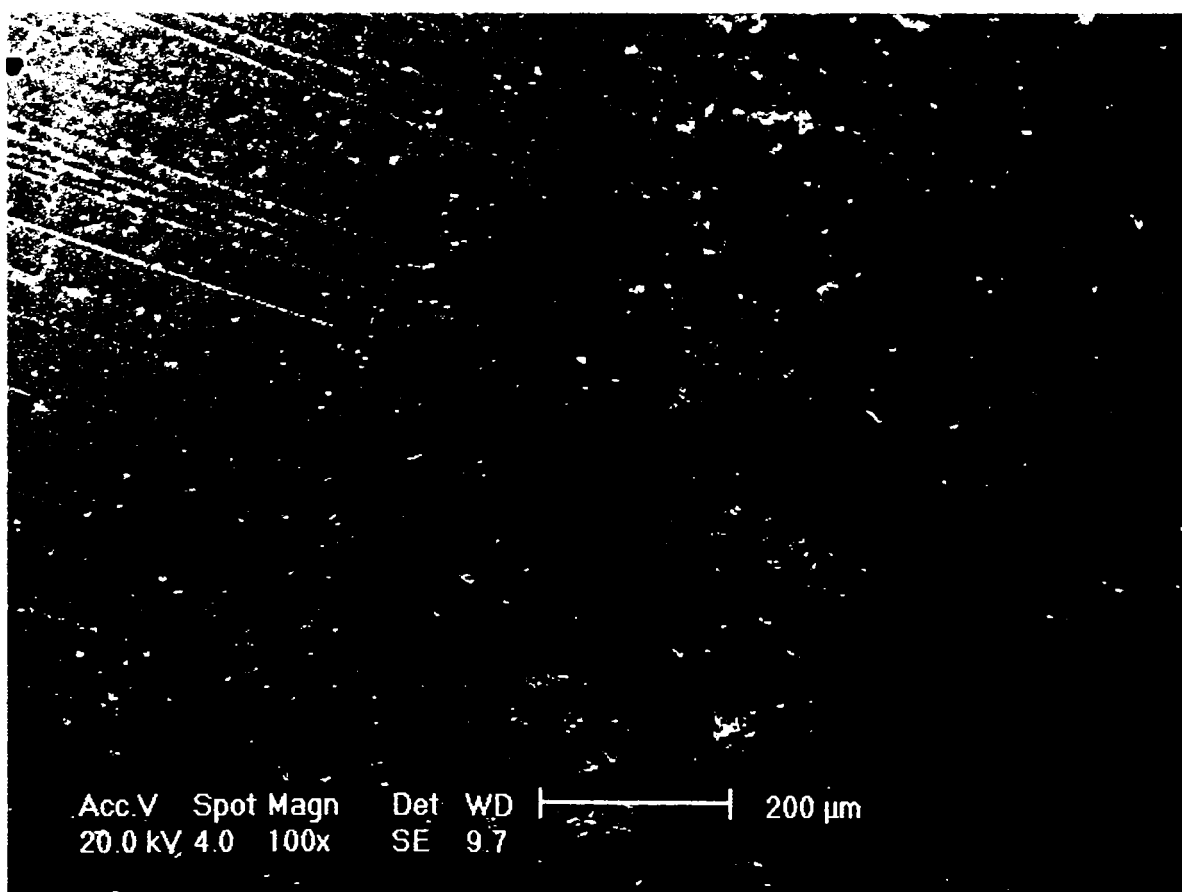
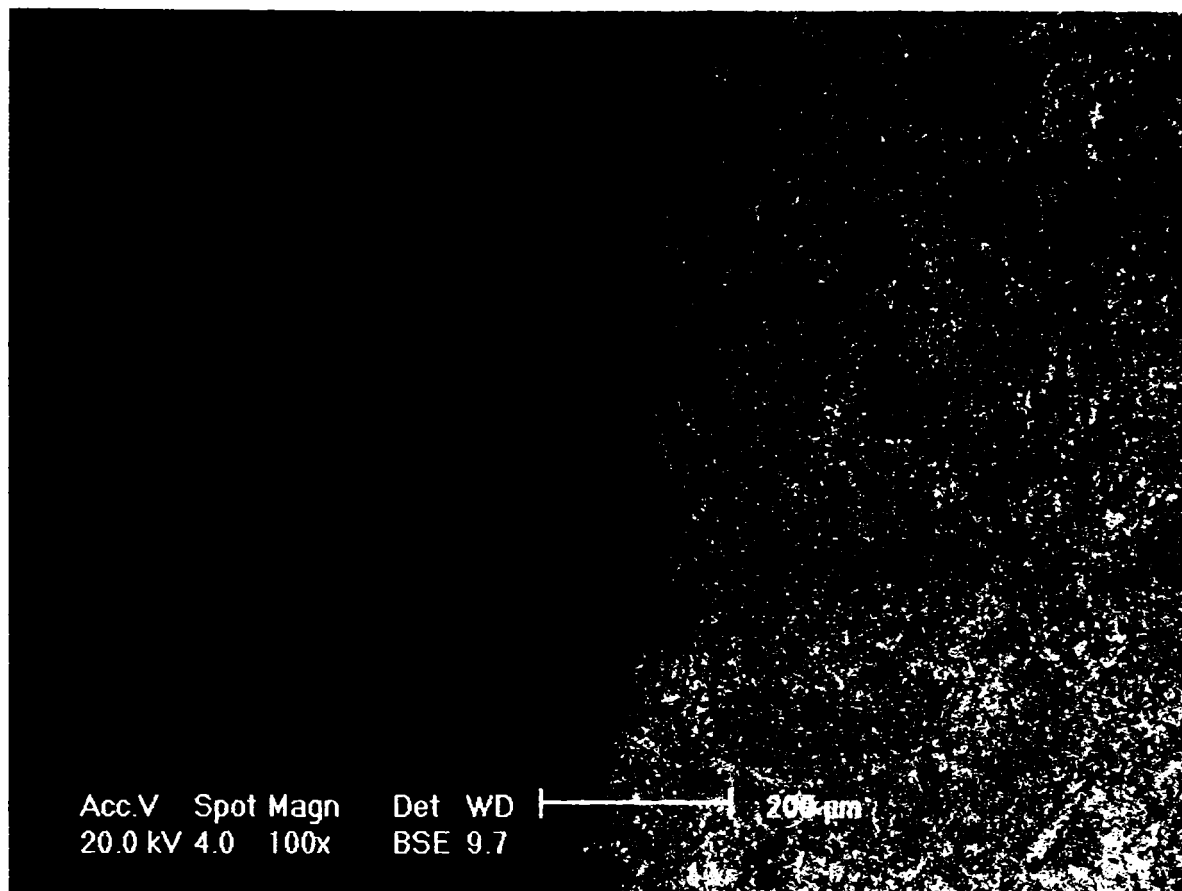


Fig. A 1.1. Imagini microscopice ale probei P1, diverse mărimi.

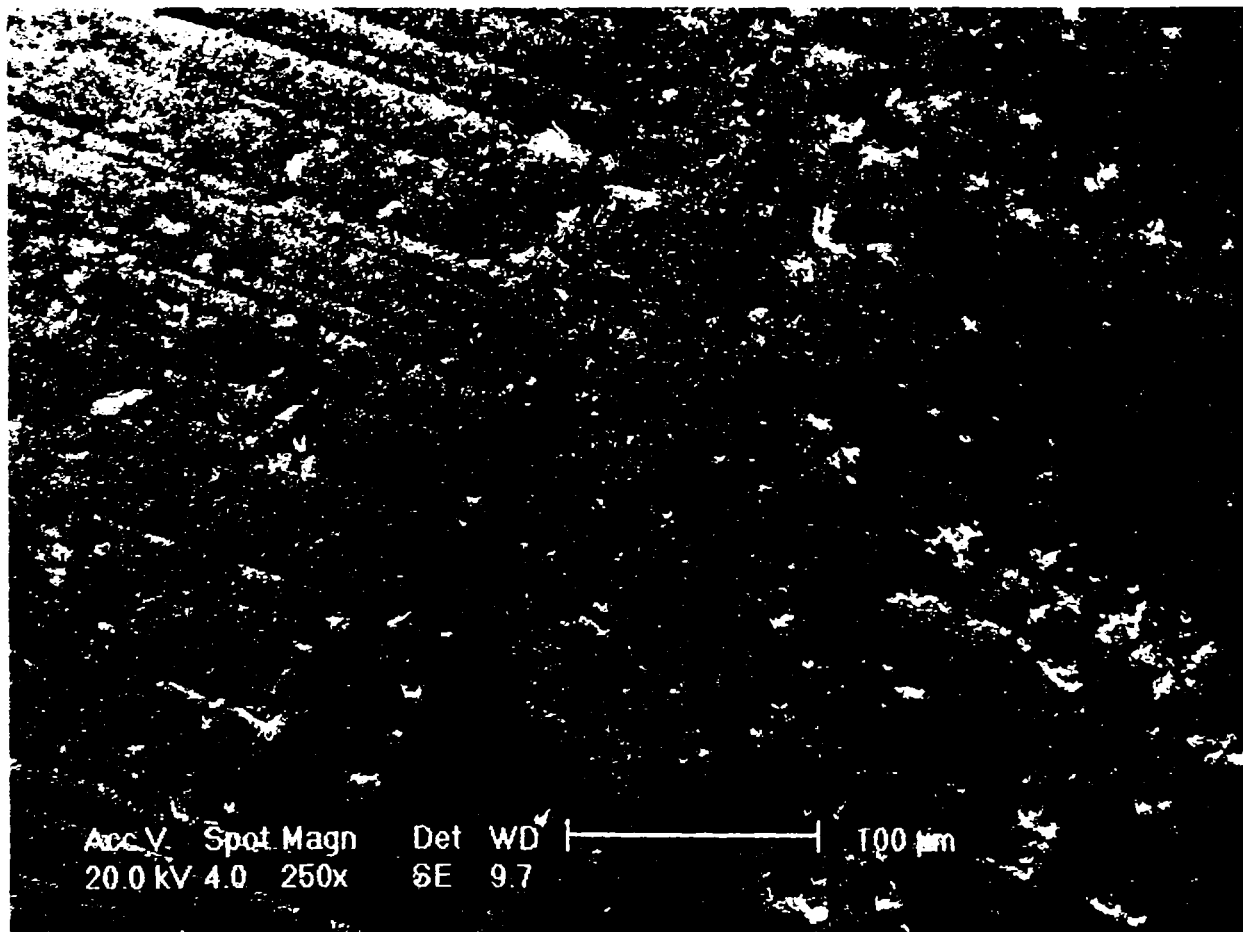
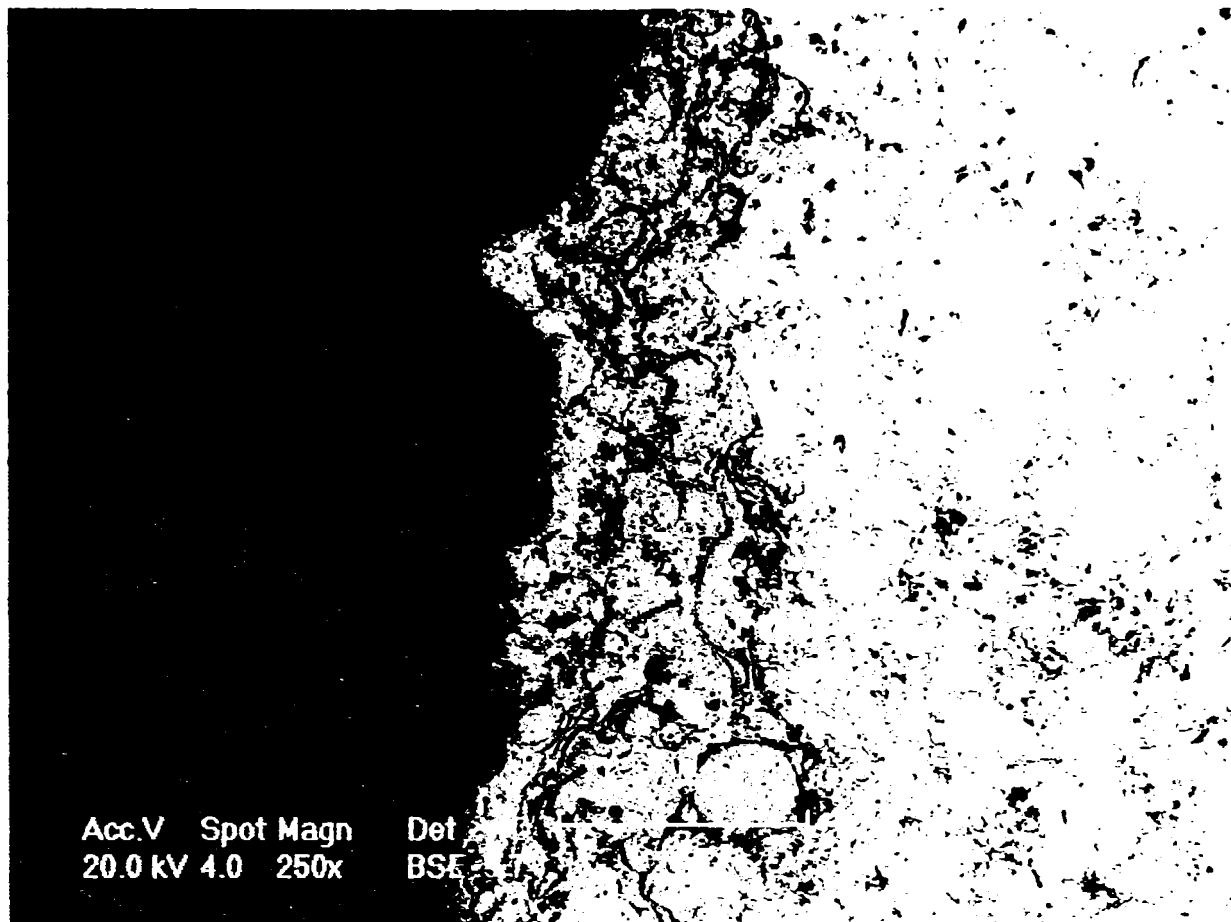


Fig. A 1.1. Imagini microscopice ale probei P1, diverse mărituri.

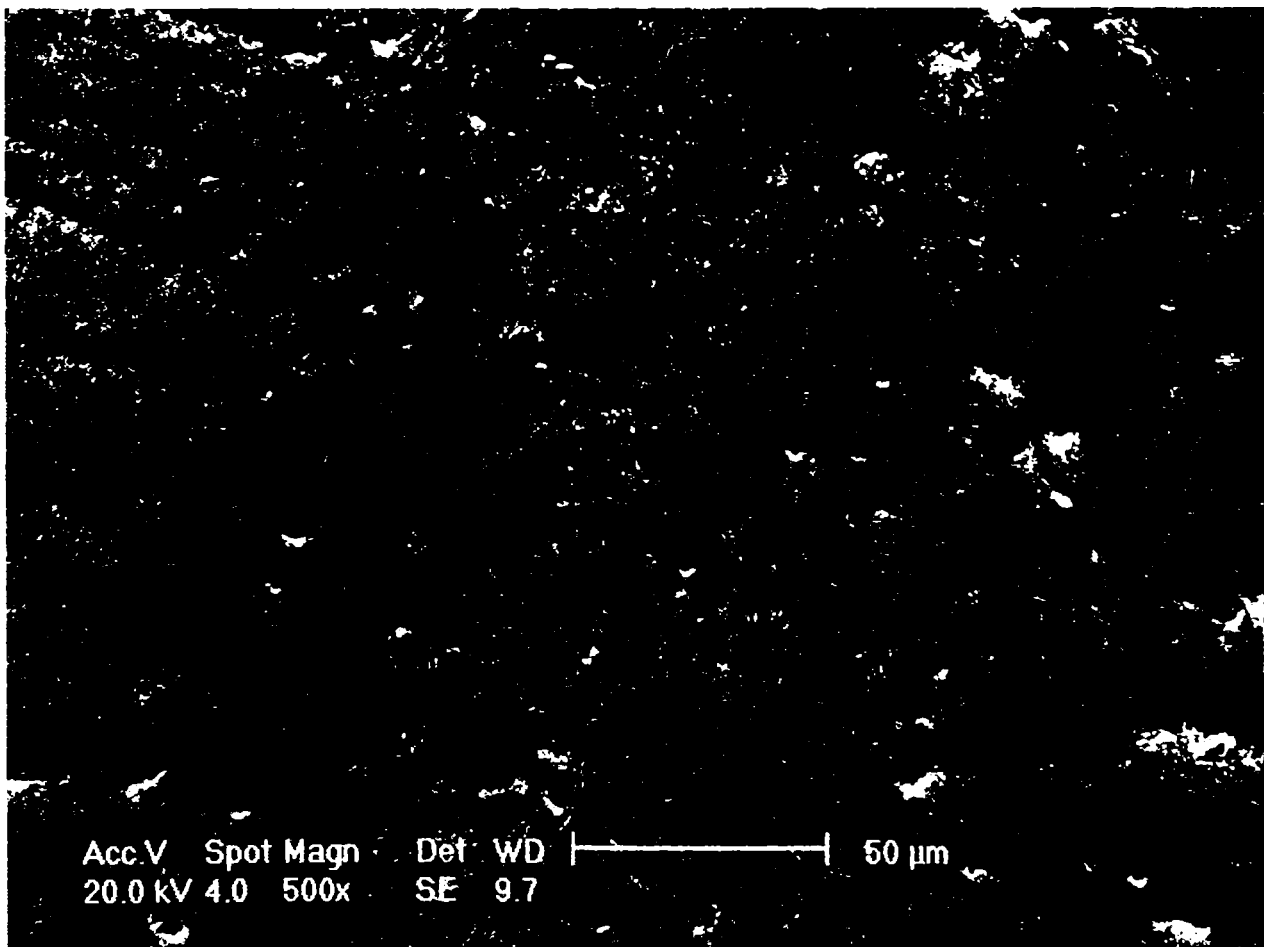
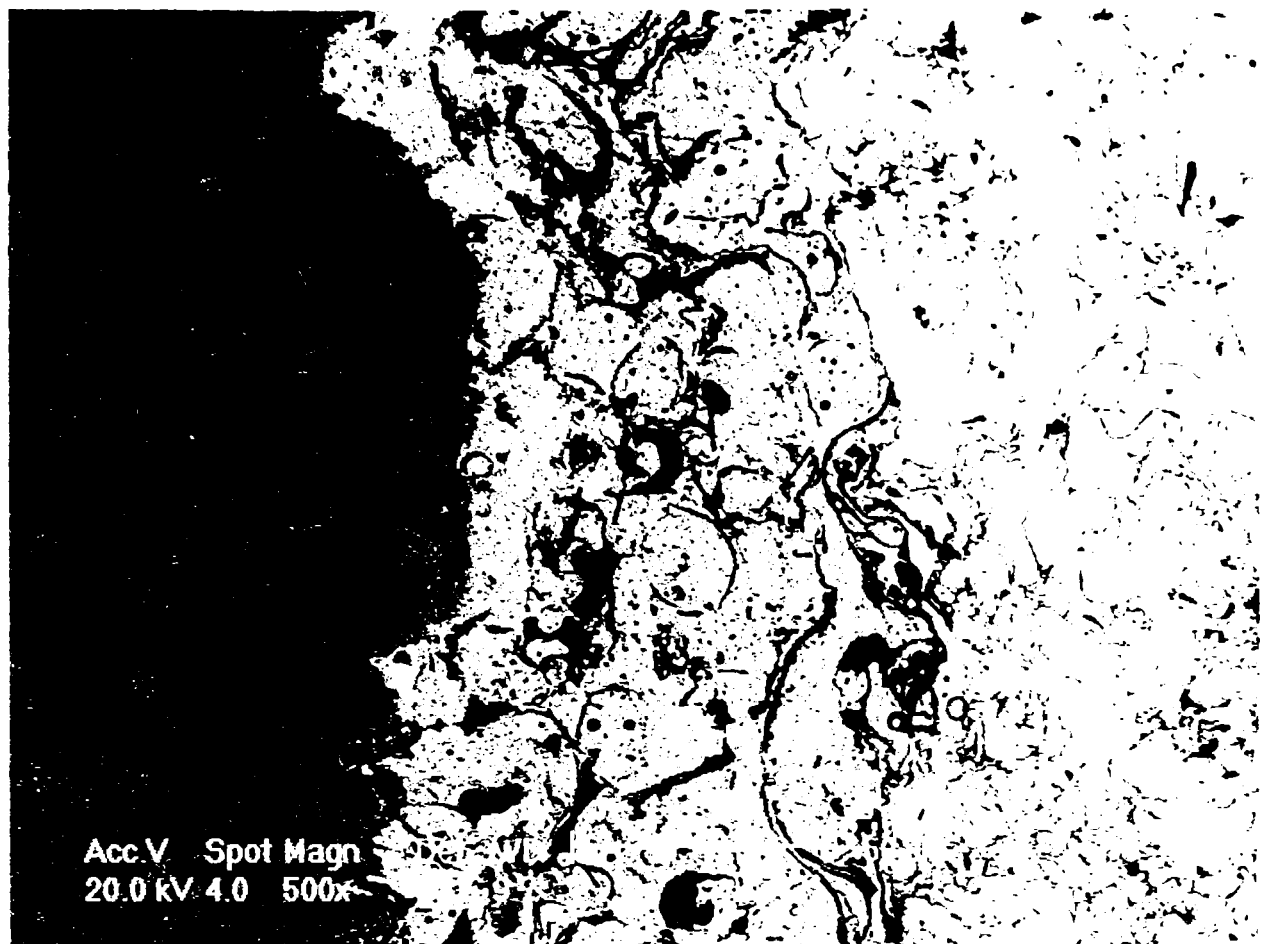


Fig. A 1.1. Imagini microscopice ale probei P1, diverse mărituri.

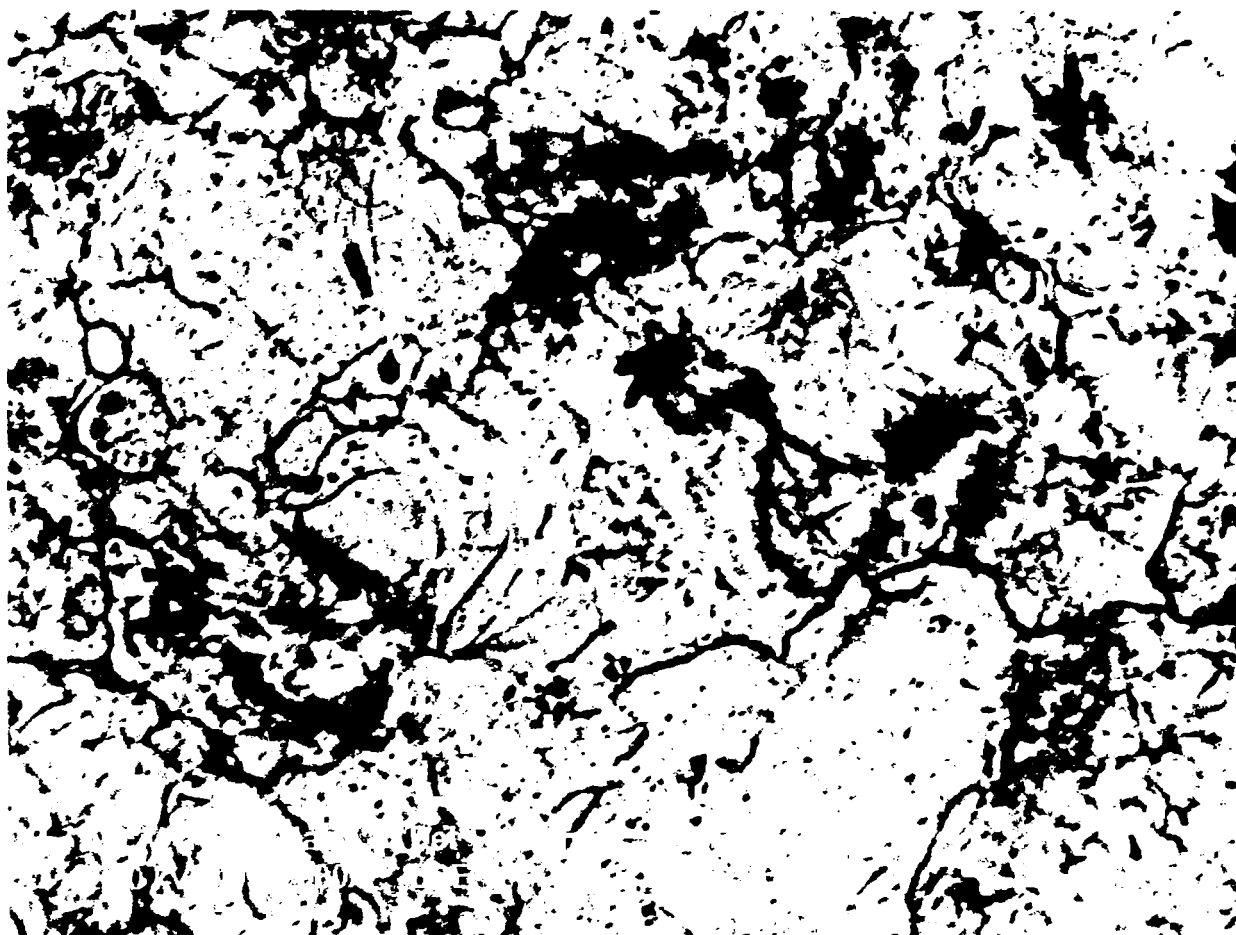
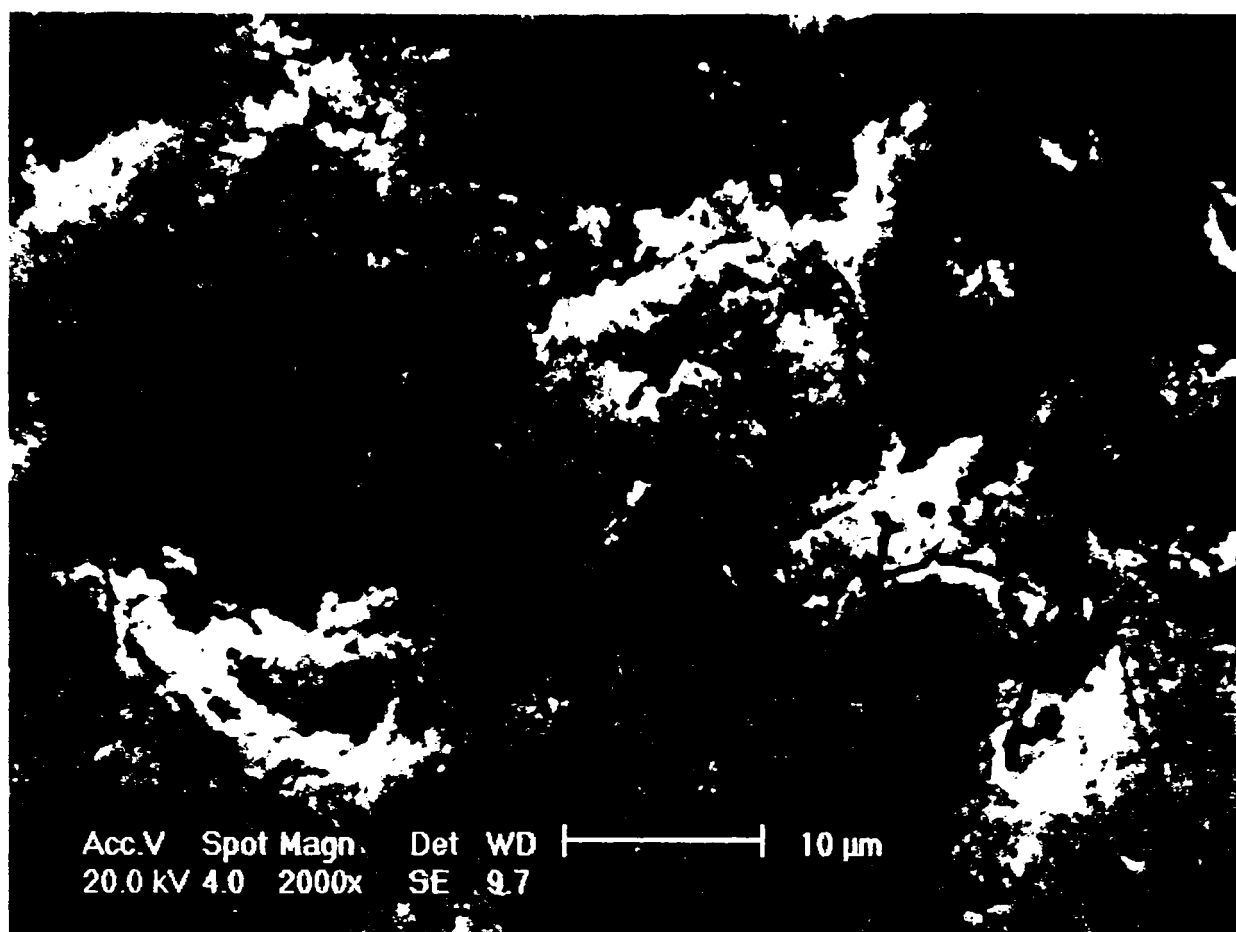


Fig. A.1.1. Imagini microscopice ale probei P1, diverse mărituri.

Contributii privind cresterea disponibilitatii pietelor de tip alezaj

Labelul A 1 L. Valori obtinute prin analiza chimica cantitativa liniara a probei P1

Dwell	50 multisecc		clock																												
Data Type	ZAF wt																														
TC	100 microsecc																														
Point	Distance	O K	NbL	CrK	MnK	FeK	NiK	CuK	Lab1	Point	Distance	O K	NbL	CrK	MnK	FeK	NiK	CuK	Lab1												
1	0	0	0	0	0	100	0	0	1542	88	77.93	0	0	0	7.4	92.6	0	0	1697												
2	0.9	0	0	0	0	100	0	0	1742	89	78.83	0	0	0	19.85	0	80.15	0	1251												
3	1.79	0	0	0	11.16	88.84	0	0	1450	90	79.72	0	0	0	100	0	0	0	949												
4	2.69	0	0	0	11.16	88.84	0	0	924	91	80.62	0	6.09	0	9.87	84.04	0	0	1389												
5	3.58	0	0	0	8.08	91.92	0	0	773	92	81.51	0	0	0	100	0	0	0	1876												
6	4.48	0	0	0	11.16	88.84	0	0	1419	93	82.41	18.78	0	0	0	81.22	0	0	1648												
7	5.37	0	0	0	0	100	0	0	1920	94	83.31	0	0	0	8.08	91.92	0	0	1309												
8	6.27	0	0	0	0	100	0	0	469	95	84.2	0	0	0	100	0	0	0	1854												
9	7.17	0	0	0	0	100	0	0	2157	96	85.1	0	0	0	100	0	0	0	1857												
10	8.06	0	8.42	4.88	0	86.7	0	0	2134	97	85.99	0	0	0	100	0	0	0	1040												
11	8.96	0	16.81	0	0	60.26	22.94	0	1765	98	86.89	17.29	0	0	8.18	74.54	0	0	2161												
12	9.85	0	0	0	8.08	91.92	0	0	1733	99	87.78	0	0	5.2	7.6	87.21	0	0	1439												
13	10.75	0	0	0	0	100	0	0	1117	100	88.68	0	0	0	11.91	67.1	20.99	0	957												
14	11.64	0	0	0	0	100	0	0	667	101	89.58	0	0	0	100	0	0	0	971												
15	12.54	0	0	0	0	100	0	0	12	102	90.47	0	0	5.06	94.94	0	0	0	1331												
16	13.44	0	0	0	0	83.65	16.35	0	46	103	91.37	0	0	0	100	0	0	0	1119												
17	14.33	0	11.29	0	0	69.89	0	18.82	859	104	92.26	0	0	0	100	0	0	0	1380												
18	15.23	0	9.73	0	0	90.27	0	0	631	105	93.16	0	0	0	8.19	74.06	0	17.75	446												
19	16.12	0	17.31	0	0	82.69	0	0	1460	106	94.05	0	0	0	100	0	0	0	937												
20	17.02	0	0	0	18.02	81.98	0	0	1651	107	94.95	0	0	0	100	0	0	0	2218												
21	17.92	14.75	0	0	0	85.25	0	0	955	108	95.85	0	0	0	100	0	0	0	1198												
22	18.81	0	0	0	0	100	0	0	1024	109	96.74	0	14.02	0	85.98	0	0	0	1669												
23	19.71	0	0	7.82	0	92.18	0	0	1341	110	97.64	0	0	0	100	0	0	0	1620												
24	20.6	0	0	0	0	100	0	0	1346	111	98.53	0	0	0	100	0	0	0	295												
25	21.5	0	0	0	0	100	0	0	2016	112	99.43	0	0	0	100	0	0	0	2207												
26	22.39	0	0	0	0	100	0	0	1573	113	100.32	0	0	0	100	0	0	0	1069												
27	23.29	0	0	0	8.9	91.1	0	0	2196	114	101.22	0	0	0	100	0	0	0	1049												
28	24.19	0	0	0	0	100	0	0	1190	115	102.12	0	9.8	0	8.05	82.16	0	0	1289												
29	25.08	0	0	0	0	86.48	13.52	0	1543	116	103.01	0	0	0	83.91	0	16.09	0	1706												
30	25.98	0	0	0	14.95	85.05	0	0	1251	117	103.91	0	0	5.55	94.45	0	0	0	996												
31	26.87	0	0	0	0	100	0	0	1879	118	104.8	0	0	0	100	0	0	0	1718												
32	27.77	0	0	0	0	100	0	0	624	119	105.7	0	11.79	0	88.21	0	0	0	905												
33	28.66	0	0	0	0	100	0	0	2208	120	106.59	0	0	0	100	0	0	0	1561												
34	29.56	0	20.54	0	0	79.46	0	0	1834	121	107.49	23.03	0	0	76.97	0	0	0	1675												
35	30.46	0	0	4.94	0	79.89	0	15.18	1916	122	108.39	0	18.78	0	81.22	0	0	0	2167												
36	31.35	0	18.78	0	0	81.22	0	0	951	123	109.28	0	0	5.55	94.45	0	0	0	1290												
37	32.25	19	8.27	0	0	72.74	0	0	678	124	110.18	0	8.38	0	13.72	77.9	0	0	1474												
38	33.14	0	8.95	0	0	91.05	0	0	843	125	111.07	0	0	0	100	0	0	0	1412												
39	34.04	0	0	0	0	100	0	0	2253	126	111.97	0	0	0	100	0	0	0	1322												
40	34.93	0	8.95	0	0	91.05	0	0	1329	127	112.86	0	0	0	100	0	0	0	1103												
41	35.83	0	0	5.55	0	94.45	0	0	1254	128	113.76	0	14.97	0	85.03	0	0	0	1332												
42	36.73	0	0	0	0	100	0	0	1144	129	114.66	0	0	0	12.78	87.22	0	0	1676												
43	37.62	0	18.78	0	0	81.22	0	0	1533	130	115.55	0	0	0	100	0	0	0	2140												
44	38.52	0	0	16.98	0	83.02	0	0	1358	131	116.45	0	10.66	0	89.34	0	0	0	1130												
45	39.41	0	10.67	6.41	0	68.16	14.76	0	1591	132	117.34	35.32	0	0	64.68	0	0	0	2068												
46	40.31	0	0	16.98	0	83.02	0	0	2049	133	118.24	0	8.29	0	91.71	0	0	0	1832												
47	41.2	0	17.52	0	14.91	67.56	0	0	727	134	119.14	0	0	0	8.19	74.06	0	17.75	1348												
48	42.1	0	10.66	0	0	89.34	0	0	865	135	120.03	0	0	0	100	0	0	0	604												
49	43	0	0	6.15	0	93.85	0	0	1344	136	120.93	0	0	0	8.9	91.1	0	0	1737												
50	43.89	0	0	0	0	100	0	0	585	137	121.82	0	0	0	100	0	0	0	757												
51	44.79	0	0	0	0	100	0	0	1241	138	122.72	0	0	0	100	0	0	0	901												
52	45.68	0	0	0	8.08	91.92	0	0	1069	139	123.61	0	0	0	100	0	0	0	1257												
53	46.58	0	0	0	6.83	69.12	24.05	0	2174	140	124.51	0	0	5.55	94.45	0	0	0	1709												
54	47.47	0	0	0	0	100	0	0	808	141	125.41	0	10.66	0	89.34	0	0	0	907												
55	48.37	0	0	0	14.95	85.05	0	0	1199	142	126.3	0	0	0	11.16	88.84	0	0	1066												
56	49.27	0	17.31	0	0	82.69	0	0	1167	143	127.2	15.88	0	0	84.12	0	0	0	2065												
57	50.16	0	0	0	0	78.49	0	21.51	1230	144	128.09	0	0	10.39	74.13	0	15.48	0	1925												
58	51.06	0	0	0	0	100	0	0	797	145	128.99	0	0	5.55	94.45	0	0	0	1843												
59	51.95	0	0	6.11	0	78.69	15.19	0	1515	146	129.88	14.02	0	4.51	6.53	74.94	0	0	1257												
60	52.85	0	8.71	0	6.87	69.76	0	14.66	1377	147	130.78	0	10.25	0	0	72.61	0	17.13	1688												
61	53.75	0	0	0	8.08	91.92	0	0	1358	148	131.68	0	0	0	100	0	0	0	1363												
62	54.64	0	0	0	0	100	0	0	1206	149	132.57	0	0	7.82	92.18	0	0	0	2053												
63	55.54	0	0	0	0	100	0	0	910	150	133.47	0	12.9	0	69.4	17.7	0	0	1149												
64	56.43	20.79	8.92	0	0	70.29	0	0	330	151	134.36	0	10.88	6.51	82.61	0	0	0	1947												
65	57.33	0	0	0	0	80.66	0	19.34	1282	152	135.26	0	0	0	5.91	94.09	0	0	1521												
66	58.22	0	0	0	0	100	0	0	1093	153	136.15	0	6.78	0	93.22	0	0	0	715												
67	59.12	0	11.79	0	0	88.21	0	0	1056	154	137.05	0	11.79	0	88.21	0	0	0	1743												
68	60.02	23.03	0	0	0	76.97	0	0	1358	155	137.95	0	9.73	0	90.27	0	0	0	1498												
69	60.91	0	0	0	12.78	87.22	0	0	1849	156	138.84	14.75	0	0	85.25	0	0	0	1366												
70	61.81	0	9.01	0	7.37	83.63	0	0	271	157	139.74	0	0	0	100	0	0	0	1404												
71	62.7	0	0	0	0	85.2	14.8	0	1368	158	140.63	0	0	0	100	0	0	0	1676												
72	63.6	0	0	0	0	79.31	20.69	0	1184	159	141.53	0	20.54	0	79.46	0	0	0	2012												
73	64.49	0	0	0	0	100	0	0	1588	160	142.42	0	0	0	13.78	86.22	0	0	568												
74	65.39	0	17.31	0	0	82.69	0	0	1796	161	143.32	0	0	0	100	0	0	0	1455												
75	66.29	0	0	0	0	100	0	0	1044	162	144.22	0	0	6.89	93.11	0	0	0	1185												
76	67.18	0	0	0	0	100	0	0	1006	163	145.11	20.8	0	0	10.11	69.1	0	0	1615												
77	68.08	0	0	0	0	100	0	0	2197	164	146.01	0	0	0	82.43	0	17.57	0	1055												
78	68.97	0	0	0	0	100	0	0	2328	165	146.9	0																			

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Point	Distance	O K	MbL	CrK	MnK	FeK	NiK	CuK	Lab1	Point	Distance	O K	MbL	CrK	MnK	FeK	NiK	CuK	Lab1
175	155.86	0	0	0	9.03	71.4	0	19.56	1089	265	216.48	0	0	48.59	18.68	0	32.71	0	3591
176	156.76	0	0	0	0	81.74	18.26	0	1081	266	237.37	0	0	19.29	5.5	6.3	68.91	0	1601
177	157.65	27.81	0	0	0	72.19	0	0	1566	267	238.27	0	0	18.07	0	7.81	74.12	0	2667
178	158.55	0	11.98	0	19.99	68.02	0	0	1372	268	239.17	0	8.76	22.16	6.36	7.36	55.35	0	2258
179	159.44	0	14.16	0	0	62.41	0	23.43	2197	269	240.06	0	0	6.47	0	0	93.53	0	2684
180	160.34	14.75	0	0	0	85.25	0	0	1003	270	240.96	21.09	0	22.59	0	10.23	46.09	0	2072
181	161.24	0	0	0	0	87.56	12.44	0	1810	271	241.85	0	11.59	6.85	0	0	81.56	0	2190
182	162.13	0	0	8.15	11.59	80.26	0	0	1812	272	242.75	0	0	24.76	0	0	75.24	0	2169
183	163.03	0	0	0	9.9	90.1	0	0	1056	273	243.65	0	0	20.59	0	9.02	70.39	0	1428
184	163.92	0	0	0	0	100	0	0	1122	274	244.54	0	0	19.74	0	0	80.26	0	3098
185	164.82	0	14.97	0	0	85.03	0	0	1554	275	245.44	0	0	24.76	0	0	75.24	0	2404
186	165.71	0	0	0	9.9	90.1	0	0	1924	276	246.33	0	0	10.86	0	0	89.14	0	2449
187	166.61	0	0	5.55	0	94.45	0	0	1763	277	247.23	0	0	15.1	8.44	0	76.47	0	1938
188	167.51	0	18.78	0	0	81.22	0	0	2231	278	248.12	0	19.19	12.38	0	7.93	60.51	0	1175
189	168.4	0	0	14.84	0	85.16	0	0	1211	279	249.02	0	0	47.37	0	13.65	38.98	0	2476
190	169.3	0	0	5.55	0	94.45	0	0	1980	280	249.92	0	23.69	15.82	0	0	60.5	0	2933
191	170.19	0	0	5.55	0	94.45	0	0	550	281	250.81	12.34	0	7.45	4.13	0	76.08	0	2731
192	171.09	15.88	0	0	0	84.12	0	0	1375	282	251.71	0	0	5.12	11.37	0	83.5	0	2157
193	171.98	0	0	0	0	100	0	0	2616	283	252.6	0	0	13.07	7.28	0	79.64	0	2382
194	172.88	15.06	6.78	0	0	78.16	0	0	1622	284	253.5	0	0	25.14	9.6	5.61	59.64	0	2039
195	173.78	0	0	0	0	100	0	0	1260	285	254.39	0	0	0	0	0	76.08	23.92	2286
196	174.67	25.36	0	0	0	50.67	0	23.97	398	286	255.29	0	20.15	12.99	0	0	66.86	0	2306
197	175.57	0	0	0	0	100	0	0	951	287	256.19	0	0	5.7	0	0	94.3	0	1655
198	176.46	0	0	0	0	100	0	0	781	288	257.08	0	0	16.4	0	0	83.6	0	2613
199	177.36	11.66	0	3.64	5.33	79.37	0	0	1445	289	257.98	0	0	15.1	8.44	0	76.47	0	2190
200	178.26	0	0	0	0	87.56	12.44	0	1407	290	258.87	0	10.63	6.39	7.12	0	75.86	0	2457
201	179.15	11.18	0	7.28	10.3	71.24	0	0	1158	291	259.77	0	23.69	15.82	0	0	60.5	0	2397
202	180.05	0	0	5.55	0	94.45	0	0	950	292	260.66	0	0	26.09	0	0	73.91	0	1459
203	180.94	0	0	7.14	10.24	82.62	0	0	1316	293	261.56	0	0	17.92	0	0	82.08	0	2296
204	181.84	0	0	0	0	100	0	0	1994	294	262.46	0	0	14.02	0	0	85.98	0	3128
205	182.73	0	0	0	0	100	0	0	1178	295	263.35	0	0	23.2	6.52	0	70.28	0	2342
206	183.63	0	0	17.43	21.1	24.43	37.04	0	2125	296	264.25	0	0	39.83	0	0	60.17	0	1791
207	184.53	0	0	12.33	0	34.34	53.33	0	1730	297	265.14	0	0	12.24	0	0	87.76	0	2162
208	185.42	0	0	6.67	8.34	37.62	29.21	18.15	423	298	266.04	0	0	45.8	7.79	19.12	27.3	0	1350
209	186.32	0	8.01	19.94	5.7	6.55	59.8	0	2204	299	266.93	0	0	17.38	0	0	82.62	0	3099
210	187.21	0	0	66.46	0	0	33.54	0	1862	300	267.83	0	0	15.53	0	4.93	79.54	0	2643
211	188.11	0	0	36.66	0	0	63.34	0	3042	301	268.73	0	0	38.71	22.25	0	39.04	0	2632
212	189	15.32	0	14.37	0	0	58.14	12.17	1847	302	269.62	14.47	6.38	12.02	0	10.42	56.7	0	2739
213	189.9	17.88	0	26.73	15.31	0	40.07	0	1488	303	270.52	0	0	19.74	0	0	80.26	0	1945
214	190.8	0	13.95	9	20.39	0	34.89	21.77	2756	304	271.41	0	6.73	16.19	4.53	0	72.55	0	2045
215	191.69	0	5.82	17.15	0	0	68.45	8.58	2185	305	272.31	0	0	16.09	0	6.87	77.04	0	2633
216	192.59	0	12.45	15.54	0	10.1	61.91	0	929	306	273.2	0	13.83	8.66	9.71	0	67.79	0	1619
217	193.48	0	0	14.5	0	6.13	79.37	0	2237	307	274.1	0	0	13.6	0	0	69.07	17.33	1641
218	194.38	0	0	11.82	40.56	0	47.62	0	1794	308	275	31.67	12.3	17.7	0	0	17	21.33	1549
219	195.27	0	0	24.76	0	0	75.24	0	1643	309	275.89	0	0	9.17	0	5.65	85.17	0	3060
220	196.17	15.12	0	26.25	5.96	0	52.67	0	2610	310	276.79	0	0	7.24	0	0	74.13	18.63	1750
221	197.07	0	0	21.97	0	0	78.03	0	2373	311	277.68	0	0	16.87	19.69	11.32	52.12	0	2045
222	197.96	0	0	6.49	14.48	0	79.03	0	2232	312	278.58	14.61	0	44.04	0	7.86	33.48	0	737
223	198.86	23.22	0	16.79	9.52	0	50.47	0	795	313	279.48	24.84	0	8.19	0	0	66.97	0	15
224	199.75	0	0	33.14	0	0	66.86	0	1360	314	280.37	0	0	19.74	0	0	80.26	0	1440
225	200.65	0	0	33.14	0	0	66.86	0	2150	315	281.27	0	0	11.74	0	0	88.26	0	2543
226	201.54	0	8.51	15.74	5.99	6.8	62.95	0	2587	316	282.16	0	0	19.74	0	0	80.26	0	2122
227	202.44	19.47	0	28.92	8.26	0	43.36	0	1931	317	283.06	15.04	0	30.9	0	0	41.17	12.88	2045
228	203.34	0	0	18.76	5.24	0	76	0	1342	318	283.95	0	0	8.75	4.93	5.43	80.89	0	2551
229	204.23	0	0	16.4	0	0	83.6	0	2484	319	284.85	0	0	27.22	7.87	9.24	55.67	0	2202
230	205.13	0	9.25	23.03	0	7.64	45.79	14.29	2576	320	285.75	0	0	12.24	0	0	87.76	0	2139
231	206.02	0	0	17.57	4.99	5.69	71.75	0	1411	321	286.64	0	11.51	13.9	0	0	40.65	33.95	1886
232	206.92	0	0	16.38	6.1	0	77.52	0	1720	322	287.54	0	0	35.79	10.19	0	54.02	0	1188
233	207.81	0	8.36	15.28	5.71	0	70.66	0	1873	323	288.43	0	0	13.77	5.2	5.85	75.17	0	2613
234	208.71	0	0	7.48	0	0	92.52	0	1133	324	289.33	13.38	0	8.21	0	10.43	67.98	0	1967
235	209.61	0	0	33.14	0	0	66.86	0	2326	325	290.22	23.22	0	16.79	9.52	0	50.47	0	2074
236	210.5	0	0	19.74	0	0	80.26	0	1851	326	291.12	0	0	21.91	8.44	9.78	59.87	0	1683
237	211.4	26.61	0	20.58	11.76	0	41.05	0	2222	327	292.02	16.12	0	14.96	0	6.55	0	62.37	221
238	212.29	12.77	0	16.14	0	5.21	65.88	0	2092	328	292.91	33.19	0	0	13.43	0	23.65	29.73	625
239	213.19	0	0	12.21	13.69	0	74.1	0	2237	329	293.81	22.73	0	0	7.83	0	0	69.45	2259
240	214.09	24.84	0	8.19	0	0	66.97	0	1946	330	294.7	0	0	0	0	0	100	1004	
241	214.98	0	16.47	21.34	0	0	62.19	0	2089	331	295.6	23.78	0	0	0	4.3	0	71.91	946
242	215.88	0	0	34.65	0	12.03	53.32	0	2377	332	296.49	12.06	0	0	0	0	6.47	81.46	1295
243	216.77	13.14	5.89	22.8	0	5.05	53.13	0	2164	333	297.39	24.99	0	0	0	0	0	75.01	67
244	217.67	49.59	0	16.88	0	0	33.53	0	476	334	298.29	0	0	0	0	0	0	100	2033
245	218.56	0	0	63.37	8.14	0	28.49	0	16	335	299.18	0	0	0	0	0	0	100	1452
246	219.46	31.19	16.49	30.56	5.04	0	16.72	0	31	336	300.08	39.17	0	8.01	0	0	52.82	2953	
247	220.36	25.93	10.81	52.96	10.31	0	0	0	0	337	300.97	0	0	0	18.53	0	0	81.47	2104
248	221.25	24.13	0	37.99	0														

Contribuții privind creșterea disponibilității pieselor de tip alezaj

Point	Distance	OK	NbL	CrK	MnK	FeK	NiK	CuK	Lab1	Point	Distance	OK	NbL	CrK	MnK	FeK	NiK	CuK	Lab1
355	317.1	0	0	0	0	0	0	100	2546	434	187.86	0	0	0	0	0	0	100	1812
356	317.99	0	0	0	4.7	0	0	95.1	2559	435	188.76	0	0	0	0	0	0	100	2889
357	318.89	0	0	0	0	10.77	0	89.23	2805	436	189.65	0	0	0	0	0	0	100	1226
358	319.78	0	0	0	0	0	0	100	2704	437	390.55	20.78	8.48	0	0	6.46	0	64.28	3324
359	320.68	15.75	0	0	0	0	17.64	66.61	2874	438	391.44	16.96	0	0	0	0	0	83.04	1717
360	321.58	0	12.69	0	0	0	0	87.31	2464	439	392.34	0	0	0	0	0	0	100	1951
361	322.47	0	0	0	6.6	21.65	0	71.75	3017	440	393.24	0	0	0	0	0	0	100	2327
362	323.37	0	10.01	0	0	6.88	0	83.11	3557	441	394.13	21.73	0	7.09	8.27	9.29	0	53.62	1634
363	324.26	0	0	0	0	0	0	100	2305	442	395.03	0	25.44	0	0	0	0	74.56	2303
364	325.16	0	0	0	0	0	0	100	2301	443	395.92	0	0	0	0	0	0	100	1760
365	326.05	0	0	0	0	7.37	0	92.63	2508	444	396.82	0	13.6	0	9.05	0	0	77.36	2898
366	326.95	0	12.19	0	8.28	9.02	0	70.5	2463	445	397.71	0	0	0	0	0	10.2	89.8	2805
367	327.85	0	0	0	4.25	0	0	95.75	2250	446	398.61	22.65	0	0	0	8.4	0	68.95	2979
368	328.74	0	0	0	0	0	0	100	2139	447	399.51	0	0	0	0	0	0	100	3753
369	329.64	0	0	2.99	0	0	0	97.01	1867	448	400.4	0	0	0	0	0	0	100	2552
370	330.53	15.34	0	0	0	0	0	84.66	2245	449	401.3	0	0	0	0	10.77	0	89.23	2452
371	331.43	0	0	0	0	0	0	100	2732	450	402.19	0	0	0	0	8.73	0	91.25	3060
372	332.32	0	12.69	0	0	0	0	87.31	3092	451	403.09	14.01	0	0	0	0	0	85.99	3396
373	333.22	0	0	0	0	0	0	100	2107	452	403.99	21.28	8.69	0	6.14	0	10.6	53.29	2421
374	334.12	0	0	0	0	0	0	100	2324	453	404.88	0	0	0	0	0	0	100	2231
375	335.01	0	0	0	11.04	5.95	9.75	73.26	3576	454	405.78	0	0	0	0	0	0	100	3129
376	335.91	0	0	0	0	8.75	0	91.25	2097	455	406.67	0	0	11.85	0	0	0	88.15	3453
377	336.8	0	0	0	0	8.75	0	91.25	3550	456	407.57	0	0	0	0	0	0	100	1701
378	337.7	0	0	0	4.32	0	7.78	87.91	3112	457	408.46	28.3	0	9.66	0	12.91	0	49.12	1528
379	338.59	0	0	5.77	0	7.19	0	87.04	3050	458	409.36	17.63	0	0	0	6.11	0	76.26	1183
380	339.49	0	0	0	0	0	0	100	26	459	410.26	0	0	4.77	0	0	0	95.23	1185
381	340.39	0	7.06	0	0	0	7.55	85.39	165	460	411.15	0	0	0	0	0	0	100	2041
382	341.28	42.76	0	0	0	0	0	57.24	1225	461	412.05	29.81	0	0	0	0	0	70.19	2588
383	342.18	0	0	14.15	16.04	0	0	69.81	2352	462	412.94	16.96	0	0	0	0	0	83.04	2742
384	343.07	14.18	0	0	0	0	7.75	78.07	71	463	413.84	31.12	11.92	0	0	0	0	56.96	2634
385	343.97	0	0	0	0	0	0	100	3051	464	414.73	0	0	0	0	0	0	100	2803
386	344.87	0	0	11.85	0	0	0	88.15	3665	465	415.63	0	10.89	0	0	0	0	89.11	2919
387	345.76	0	0	0	0	0	0	100	3192	466	416.53	0	0	0	0	0	0	100	2923
388	346.66	0	0	0	6.93	0	0	93.07	3335	467	417.42	0	0	0	0	0	0	100	3093
389	347.55	0	0	0	0	8.75	0	91.25	3402	468	418.32	0	0	0	0	0	0	100	3260
390	348.45	0	0	0	0	0	20.95	79.05	1797	469	419.21	0	0	9.14	0	0	0	90.86	3427
391	349.34	0	0	7.44	0	0	0	92.56	250	470	420.11	0	0	0	0	0	0	100	2870
392	350.24	0	7.64	0	0	0	0	92.36	287	471	421	0	12.69	0	0	0	0	87.31	3016
393	351.14	0	0	5.42	0	0	0	94.58	3786	472	421.9	0	0	11.85	0	0	0	88.15	3182
394	352.03	17.09	0	0	0	0	4.77	78.14	3028	473	422.8	0	0	0	0	0	0	100	1970
395	352.93	0	0	0	5.98	0	0	94.02	2854	474	423.69	0	0	0	0	0	0	100	2919
396	353.82	0	5.96	0	0	0	6.34	87.69	3125	475	424.59	0	7.64	0	0	0	0	92.36	2484
397	354.72	0	0	0	0	0	0	100	1710	476	425.48	0	0	7.44	0	0	0	92.56	2836
398	355.61	0	0	0	0	0	0	100	3139	477	426.38	0	25.44	0	0	0	0	74.56	2034
399	356.51	0	0	11.85	0	0	0	88.15	2292	478	427.27	0	0	9.54	0	0	0	90.46	2725
400	357.41	0	0	0	0	0	0	100	2300	479	428.17	0	8.49	0	0	0	0	91.51	3400
401	358.3	0	0	0	0	0	0	100	2740	480	429.07	0	0	0	0	8.73	0	91.25	2990
402	359.2	0	0	9.14	0	0	0	90.86	2642	481	429.96	0	0	0	0	0	0	100	2269
403	360.09	0	0	5.42	0	0	0	94.58	2407	482	430.86	0	6.07	0	0	3.96	0	89.97	3110
404	360.99	0	8	4.49	0	0	0	87.51	2368	483	431.75	0	0	0	0	0	0	100	2479
405	361.88	12.89	0	0	0	0	0	87.11	1937	484	432.65	0	0	0	10.1	0	0	89.9	3611
406	362.78	37.22	0	0	0	0	0	62.78	1855	485	433.54	0	0	0	0	0	0	100	3509
407	363.68	24.19	16.46	0	6.31	0	0	53.04	3134	486	434.44	0	0	0	0	7.37	0	92.63	2930
408	364.57	0	0	0	0	0	0	100	2627	487	435.34	35.96	7.82	5.24	0	0	0	50.98	2843
409	365.47	0	0	4.26	0	0	0	95.74	2366	488	436.23	22.73	0	0	7.83	0	0	69.45	2389
410	366.36	0	100	0	0	0	0	0	2298	489	437.13	0	0	9.14	0	0	0	90.86	2460
411	367.26	0	0	0	0	0	0	100	1918	490	438.02	0	0	5.42	0	0	0	94.58	2812
412	368.15	18.98	0	0	0	0	0	81.02	2298	491	438.92	14.54	0	4.07	0	0	0	81.39	2996
413	369.05	0	0	0	0	0	0	100	2010	492	439.82	0	0	0	0	0	0	100	2780
414	369.95	0	0	0	0	7.37	0	92.63	2302	493	440.71	0	0	0	0	0	0	100	3413
415	370.84	0	0	7.08	0	4.38	0	88.54	2684	494	441.61	0	17.69	0	6	0	0	76.31	2483
416	371.74	0	15.21	0	0	0	0	84.79	2223	495	442.5	0	0	0	0	0	0	100	3196
417	372.63	0	9.54	0	0	0	0	90.46	2519	496	443.4	0	0	0	0	0	0	100	2296
418	373.53	0	0	0	0	0	0	100	2728	497	444.29	15.34	0	0	0	0	0	84.66	3155
419	374.43	0	0	6.74	0	8.48	0	84.79	1454	498	445.19	0	0	6.27	0	0	0	93.73	2960
420	375.32	0	0	0	0	0	44.29	55.71	2889	499	446.09	0	0	0	0	0	0	100	3016
421	376.22	29.81	0	0	0	0	0	70.19	3228	500	446.98	0	0	0	0	0	0	100	3141
422	377.11	0	12.69	0	0	0	0	87.31	2255	501	447.88	0	7.95	0	0	5.32	0	86.74	3601
423	378.01	0	0	0	0	0	0	100	2586	502	448.77	37.22	0	0	0	0	0	62.78	3383
424	378.9	0	0	4.87	0	0	9.71	85.41	2978	503	449.67	0	0	11.85	0	0	0	88.15	2435
425	379.8	0	12.69	0	0	0	0	87.31	2912	504	450.56	0	0	0	0	0	0	100	3350
426	380.7	0	0	0	0	7.37	0	92.63	2930	505	451.46	0	0	0	0	0	20.95	79.05	2039
427	381.59	24.19	16.46	0	6.31	0	0	53.04	1975	506	452.36	16.11	0	0	0	5.48	9.18	69.24	3186
428	382.49	0	0	0	0	0	0	100	2769	507	453.25	0	10.01	0	0	6.88	0	83.11	2227
429	383.38	20.17	0	0	0	7.25	12.04	60.54	2672	508	454.15	12.45	0	3.42	0	0	6.83	77.3	1902
430	384.28	0	0	0	0	0	0	100	1814	509	455.04	33.07	0	0	0	0	0	66.93	2574
431	385.17	16.96	0	0	0	0	0	83.04	3143	510	455.94	19.87	0	0	6.6	0			

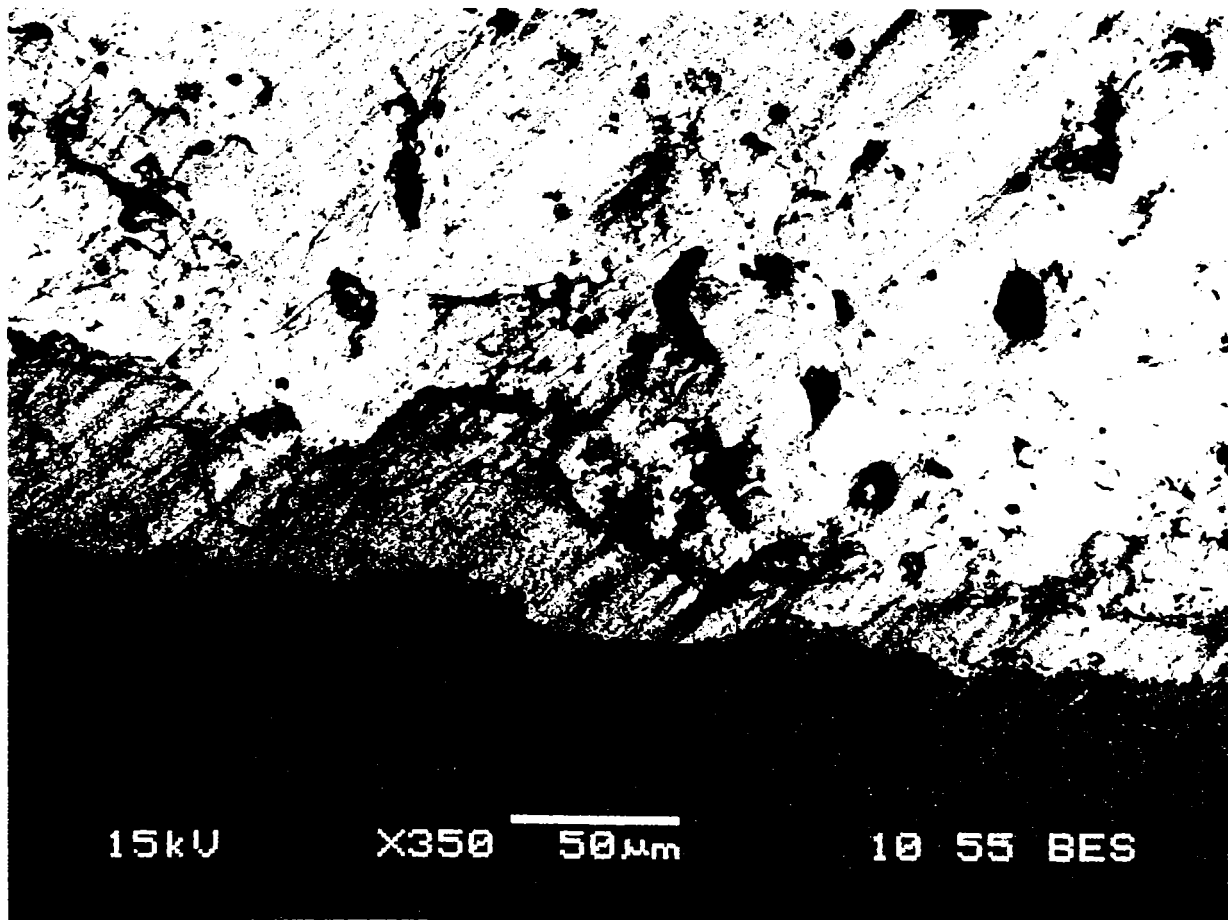
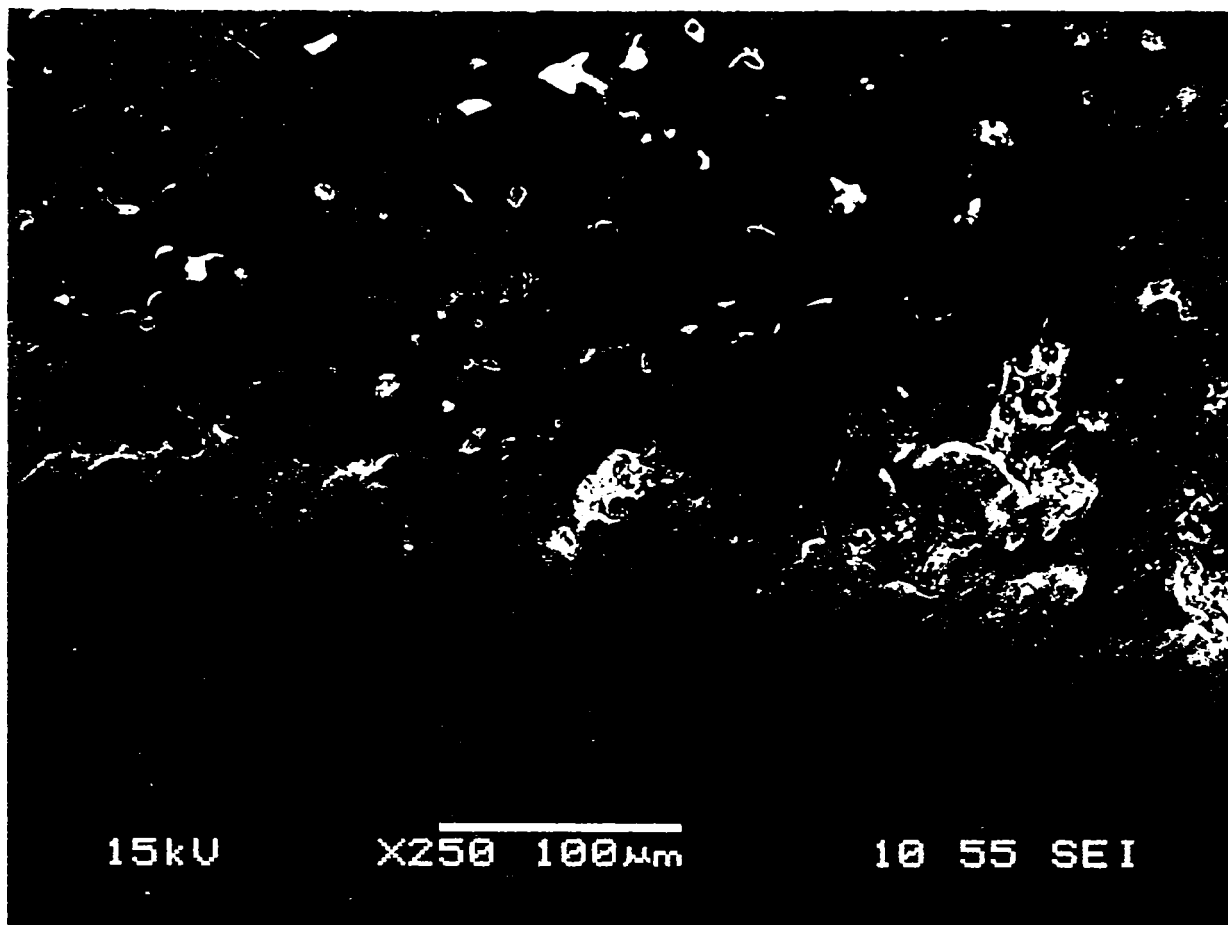


Fig. A 1.2. Imagini microscopice ale probei P2, diverse mărimi.

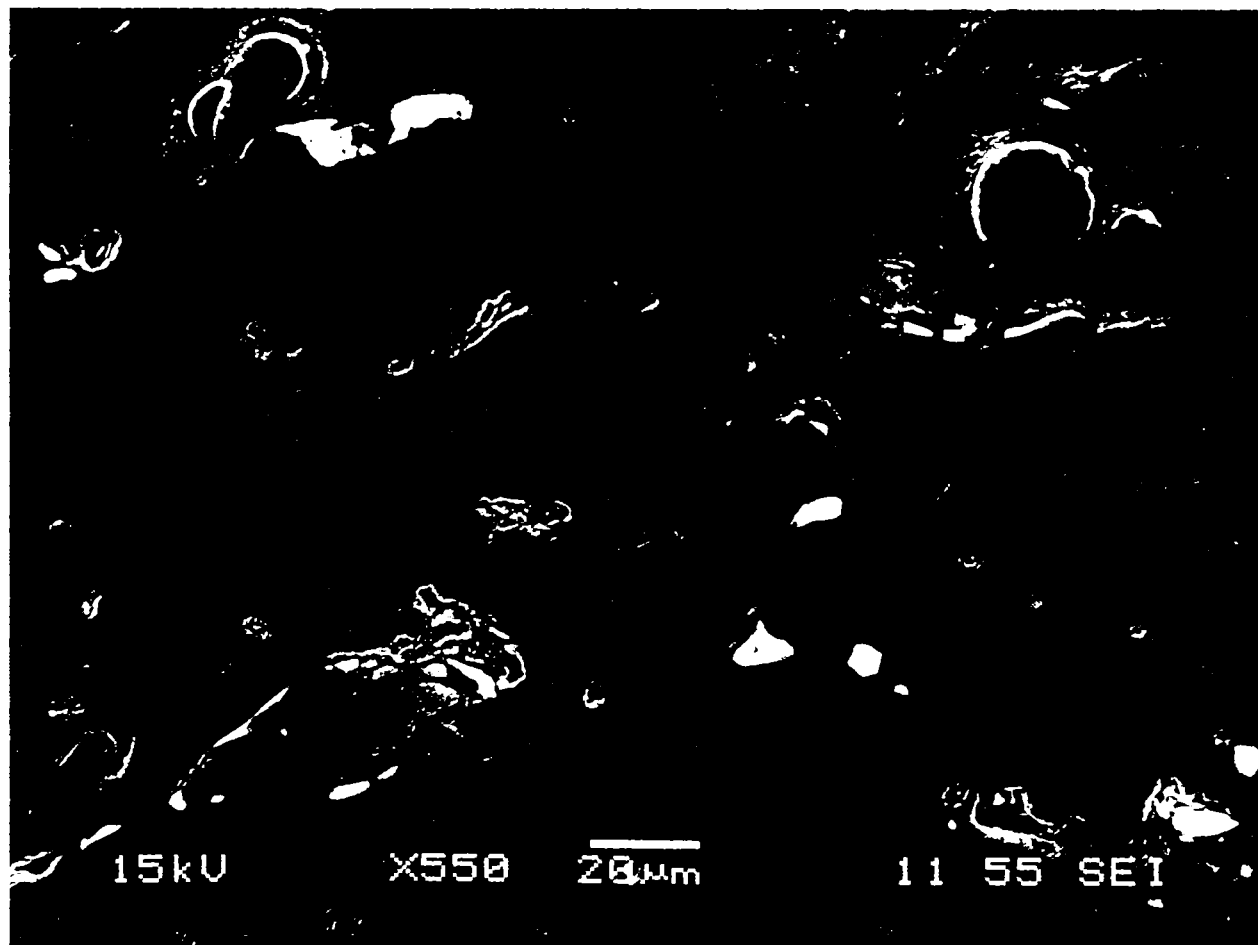
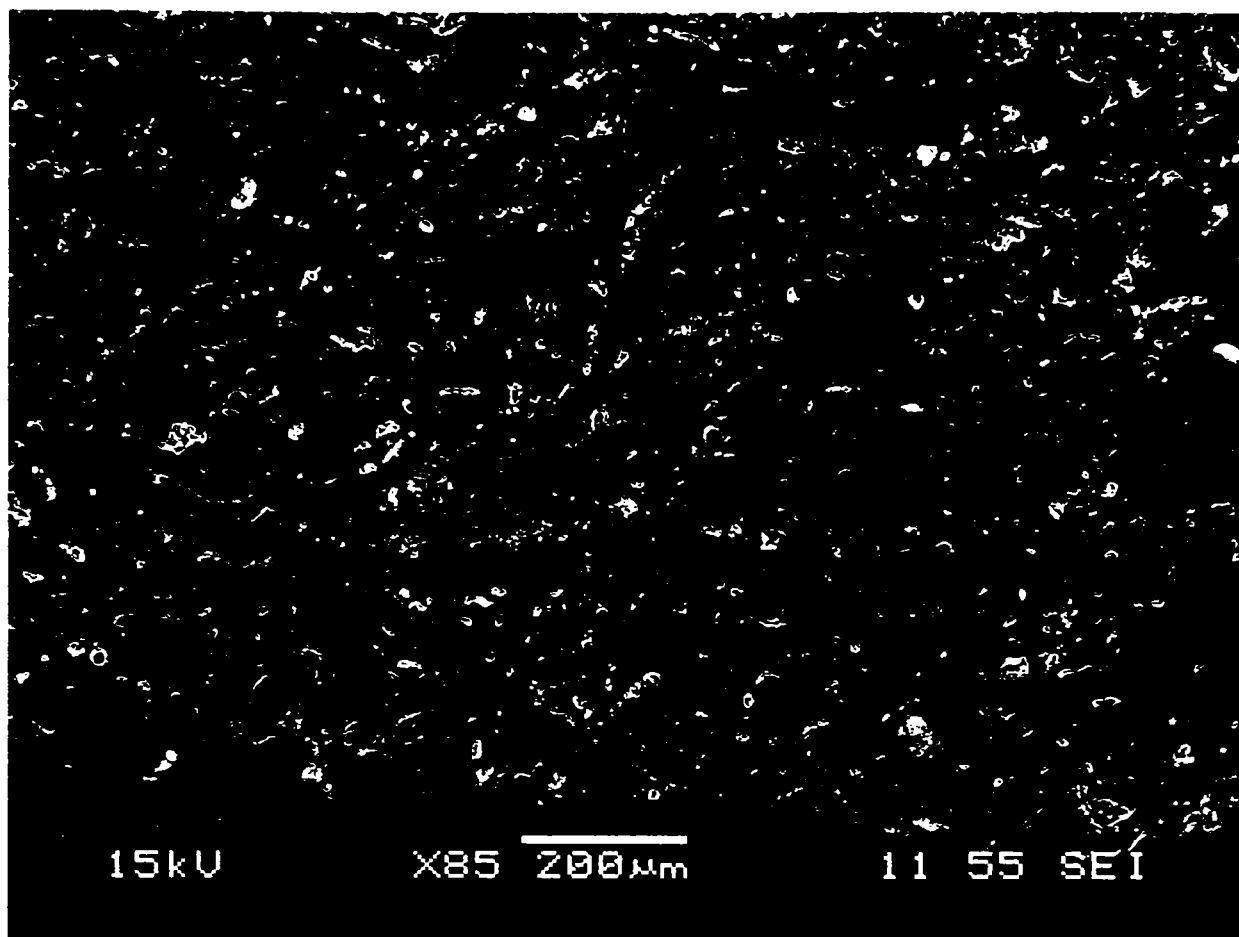


Fig. A 1.2. Imagini microscopice ale probei P2, diverse mărimi.

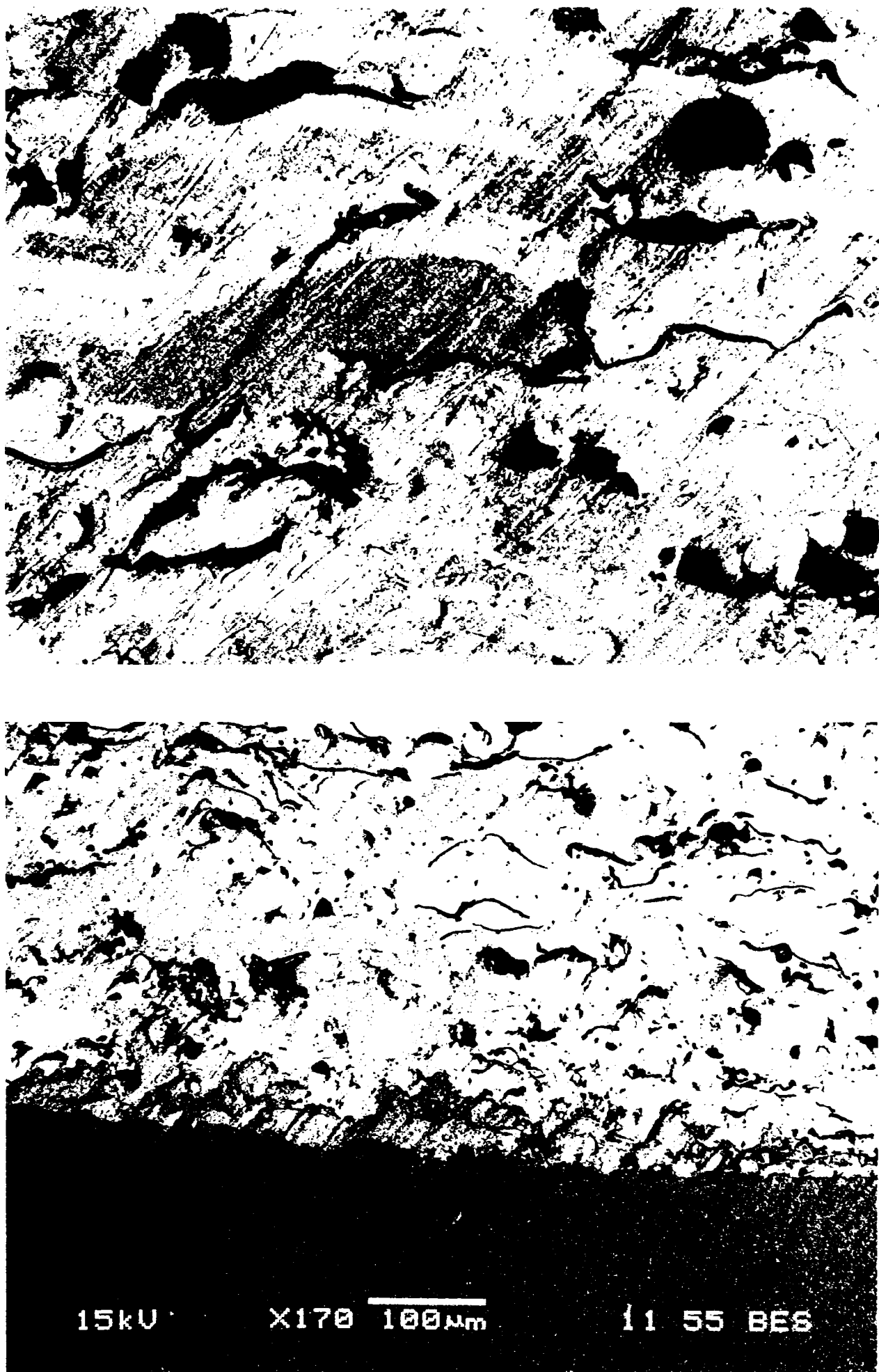


Fig. A 1.2 Imagini microscopice ale probei P2, diverse măriti.

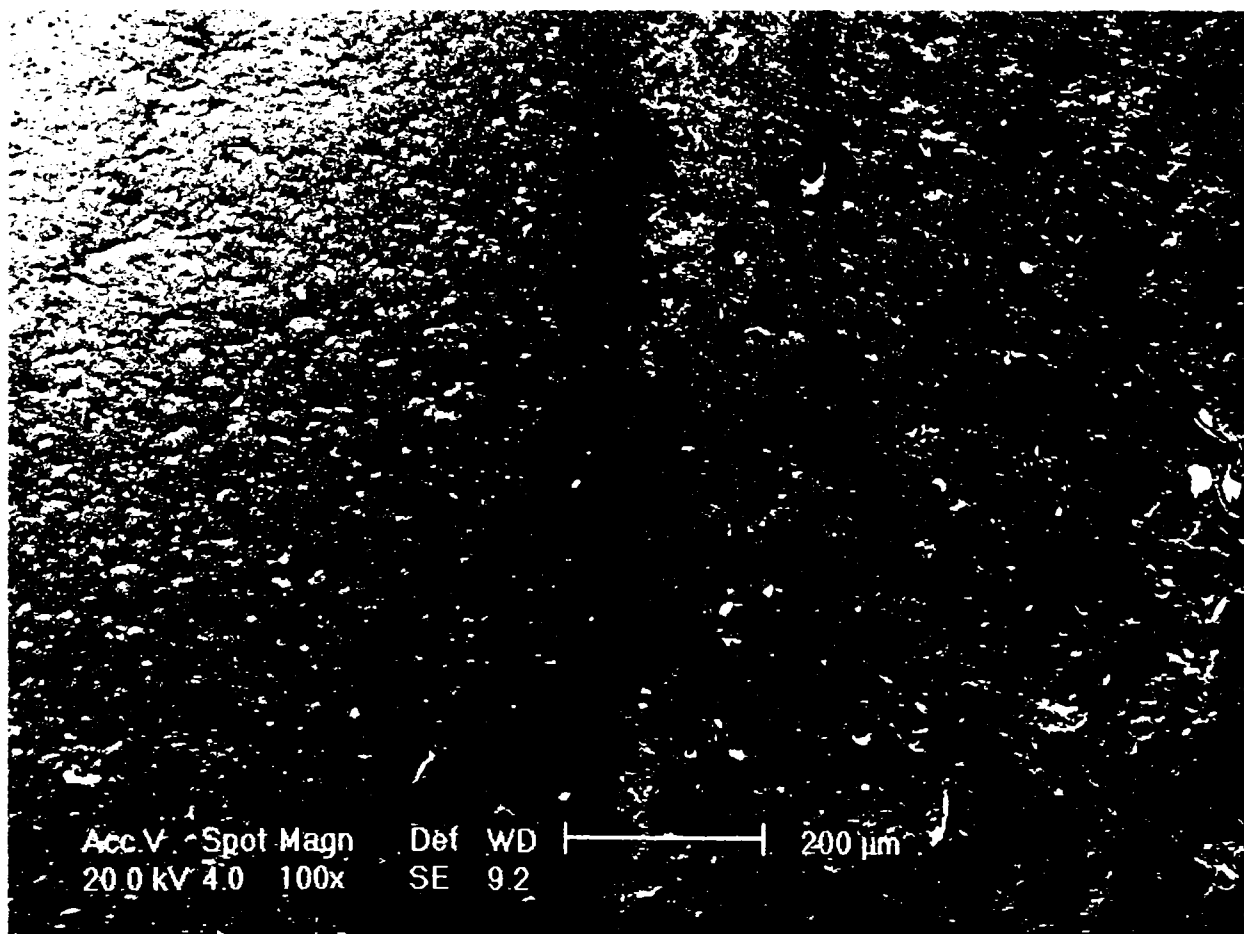
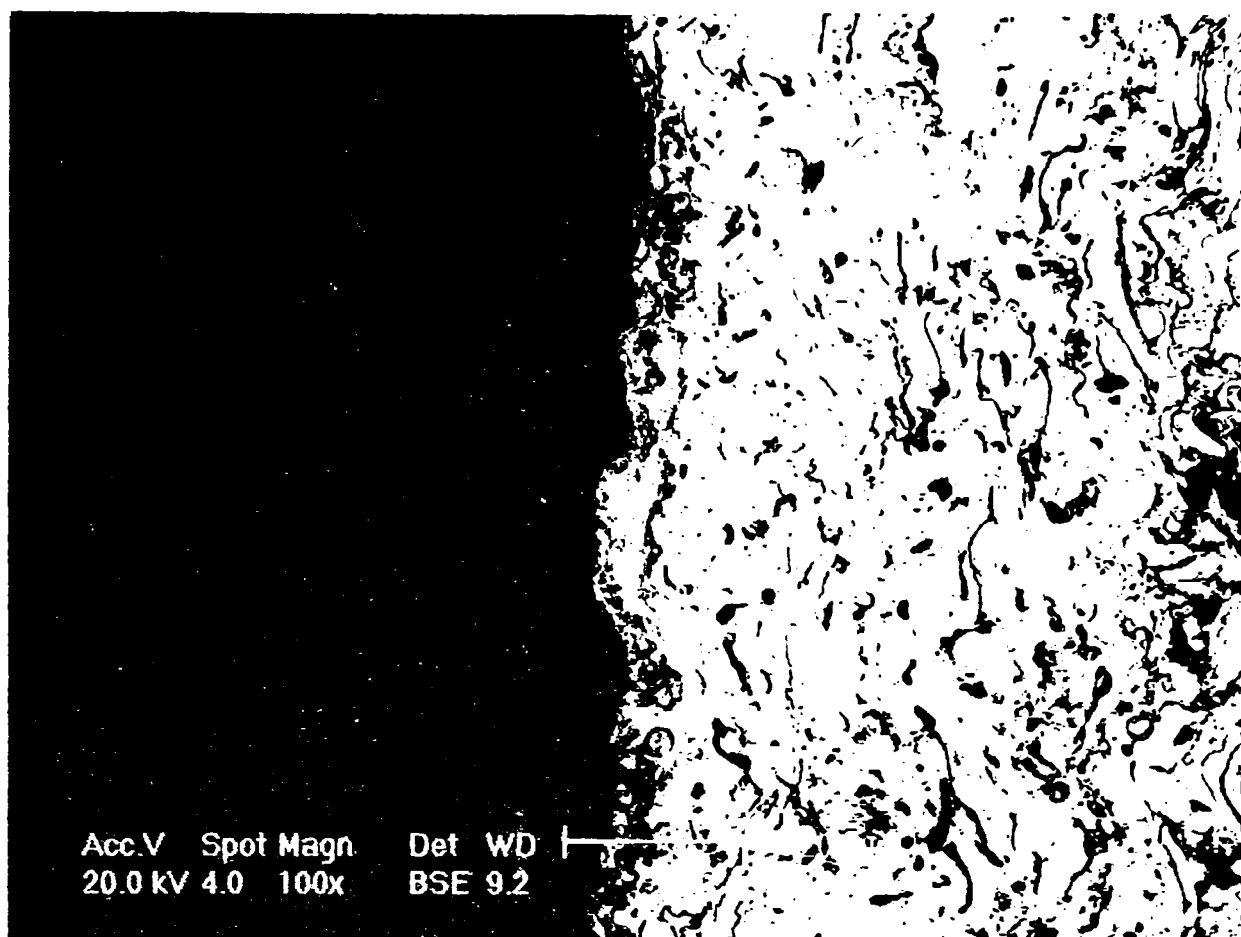


Fig. A 1.3. Imagini microscopice ale probei P3, diverse mărituri.

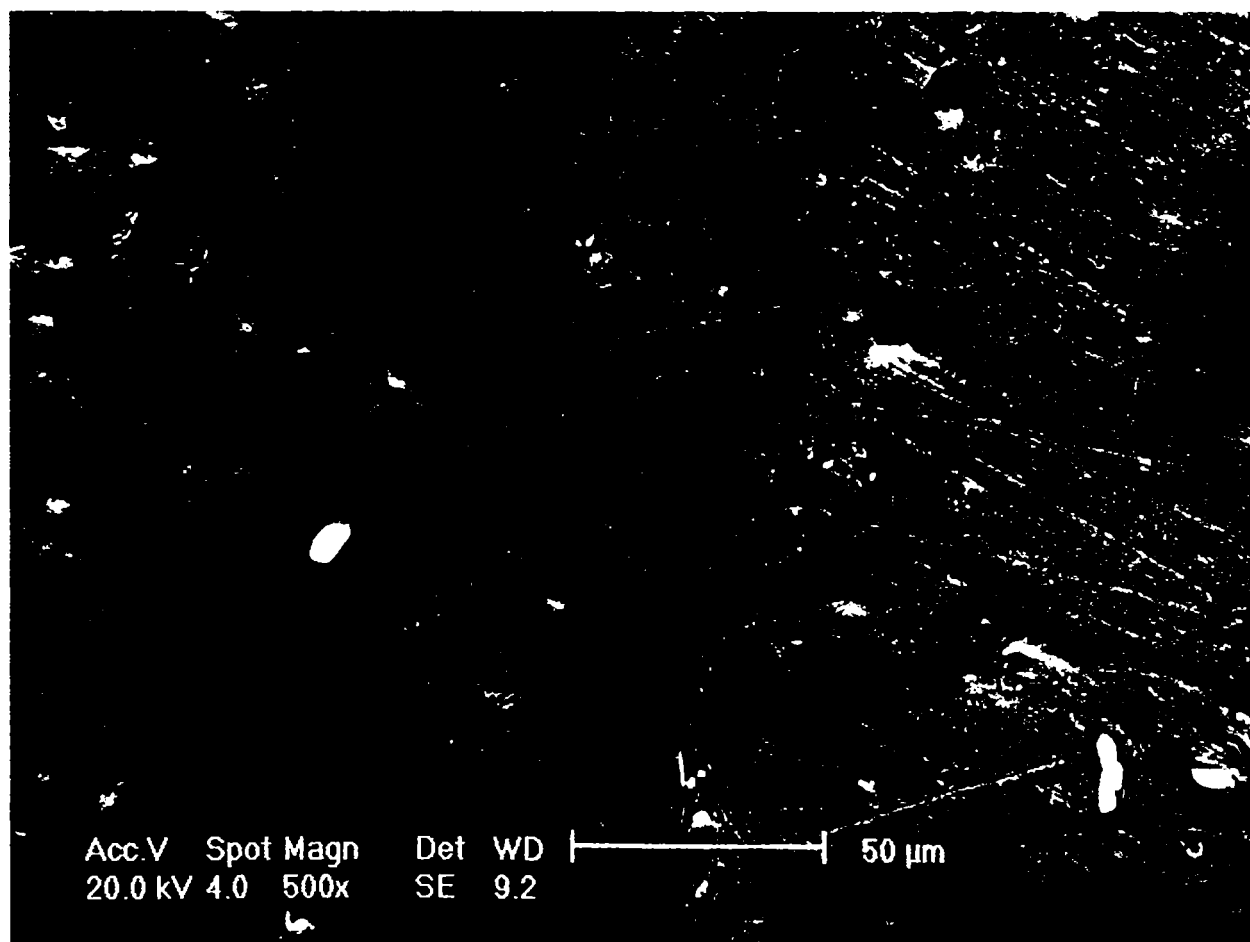
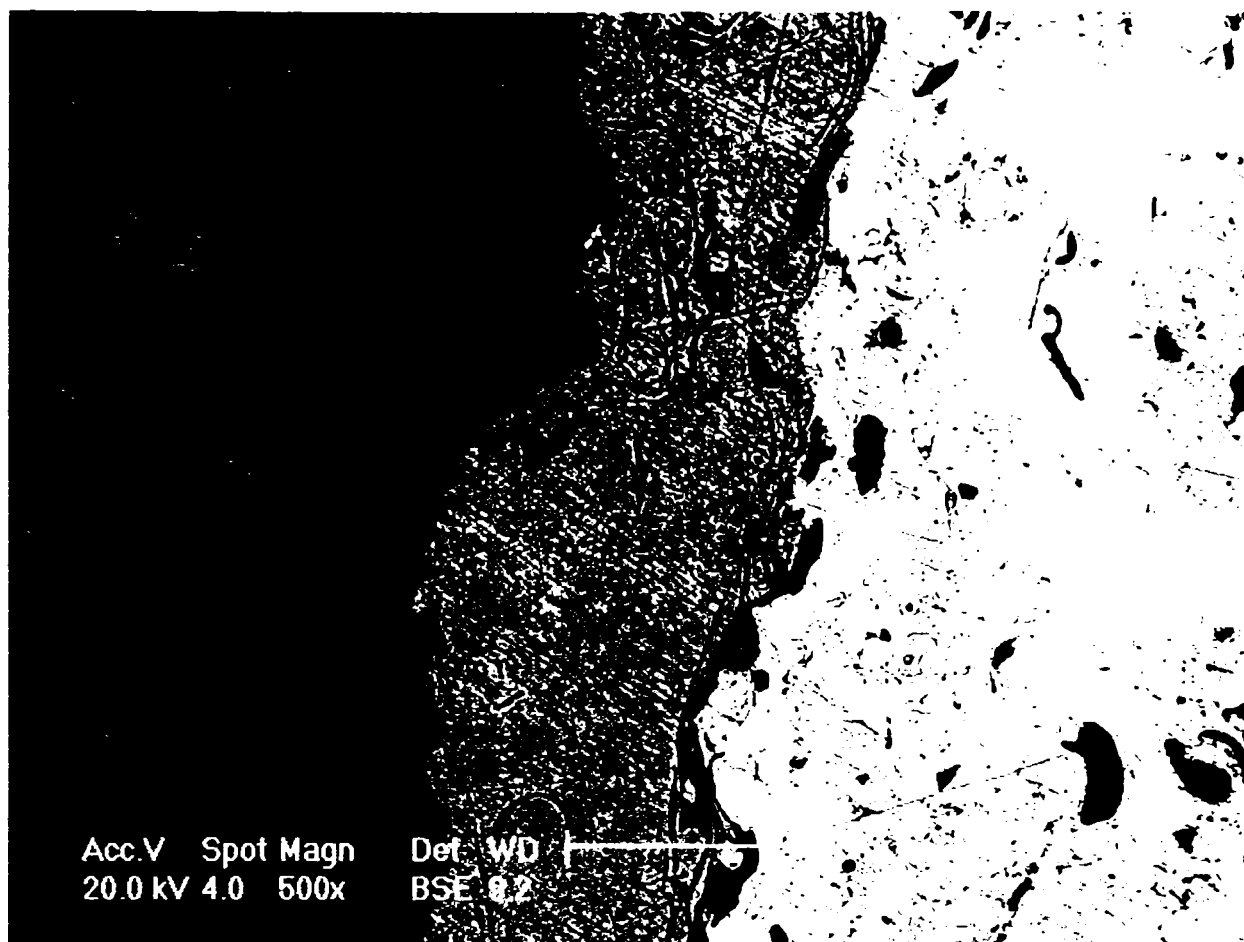


Fig. A 1.3. Imagini microscopice ale probei P3, diverse mărituri.

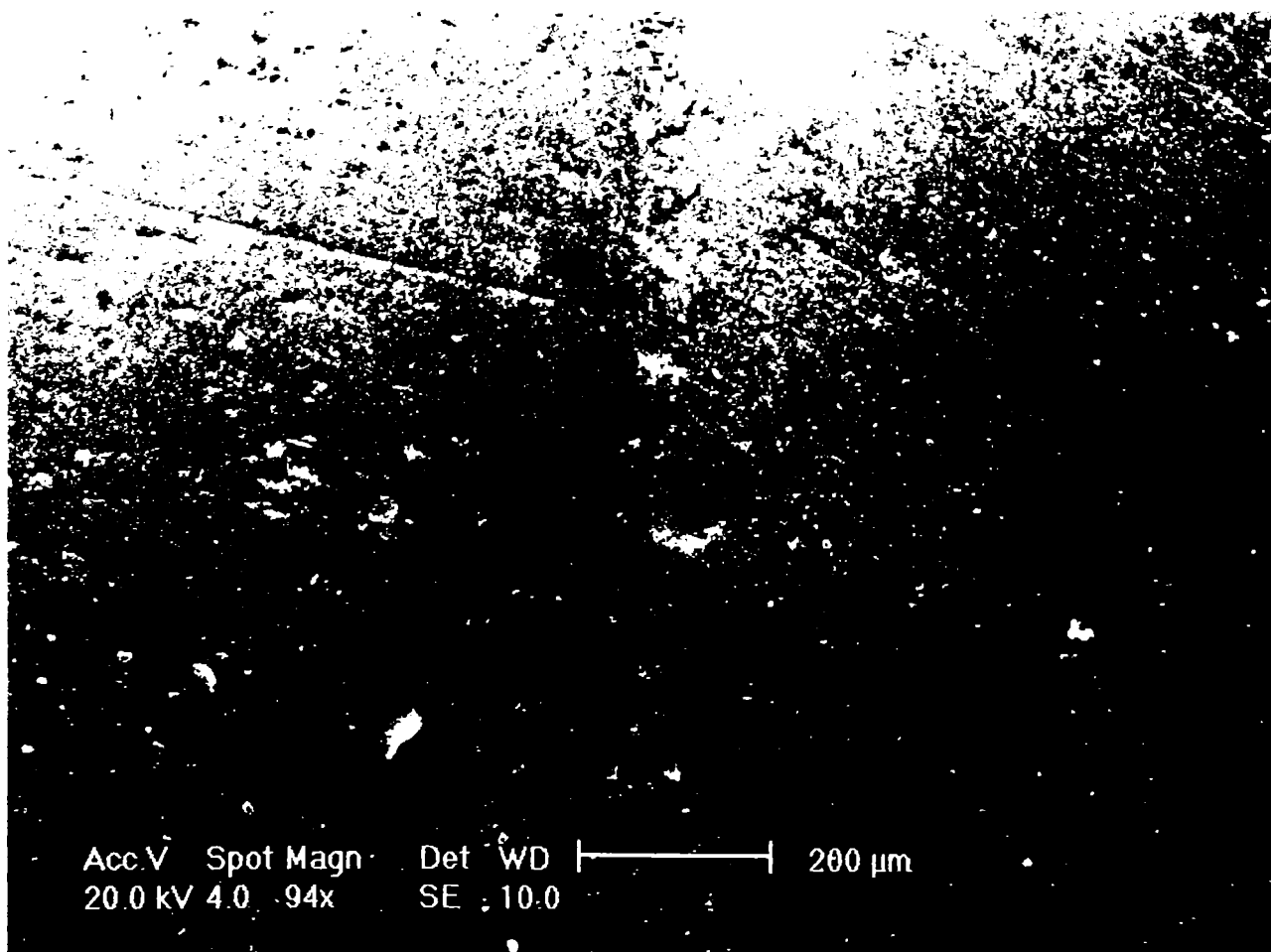
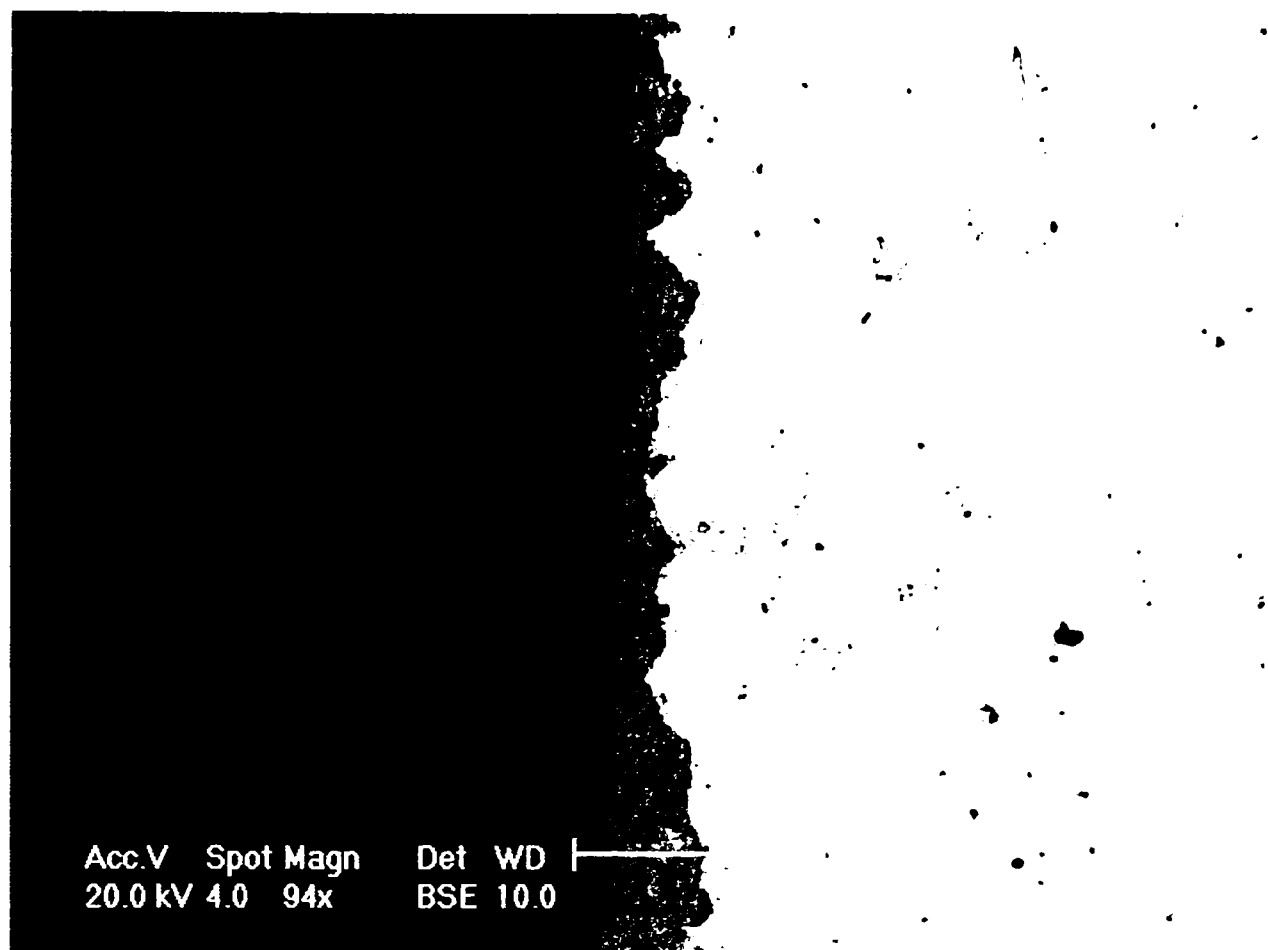


Fig. A 1.4. Imagini microscopice ale probei P4, diverse mărituri.

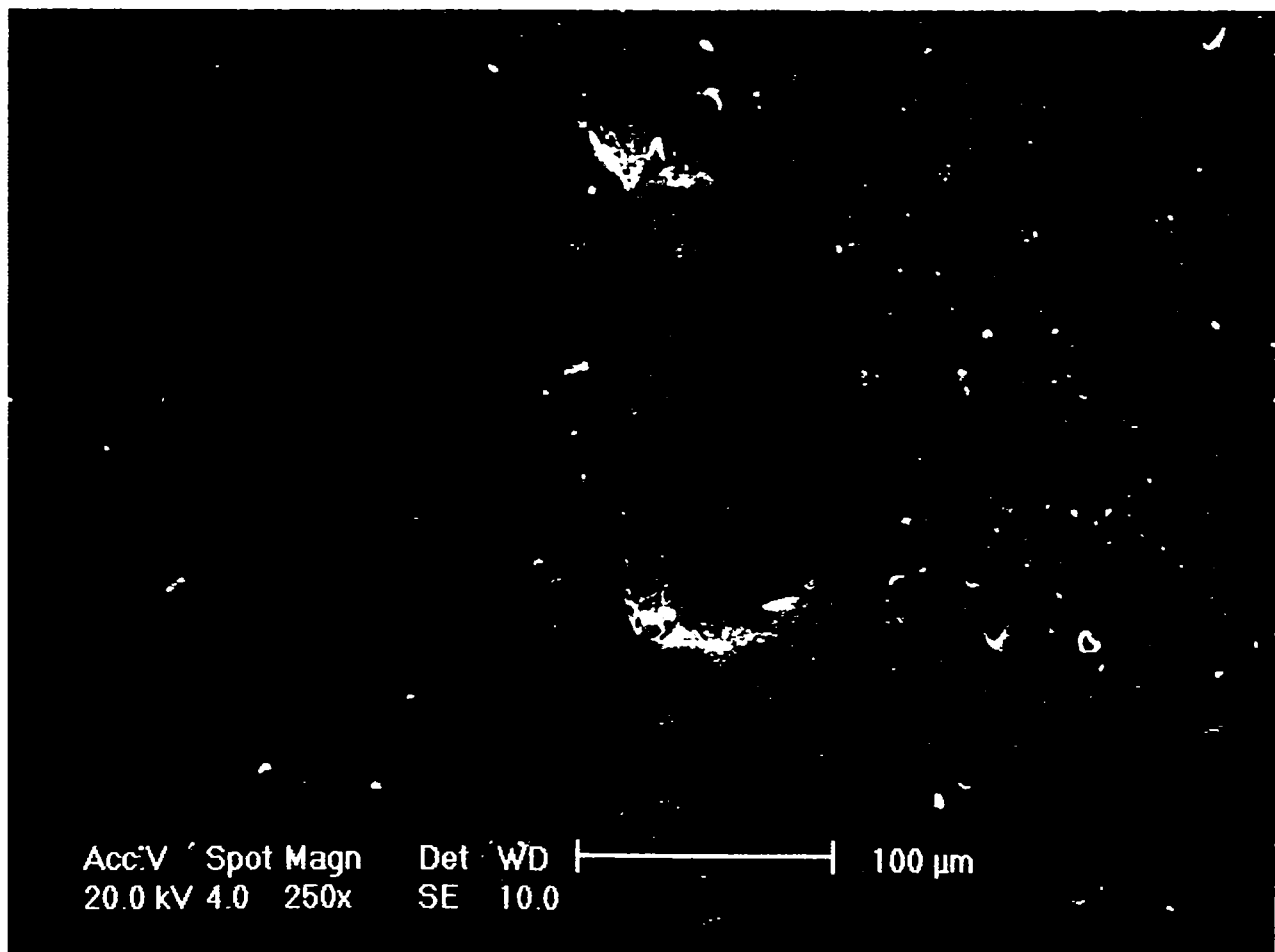
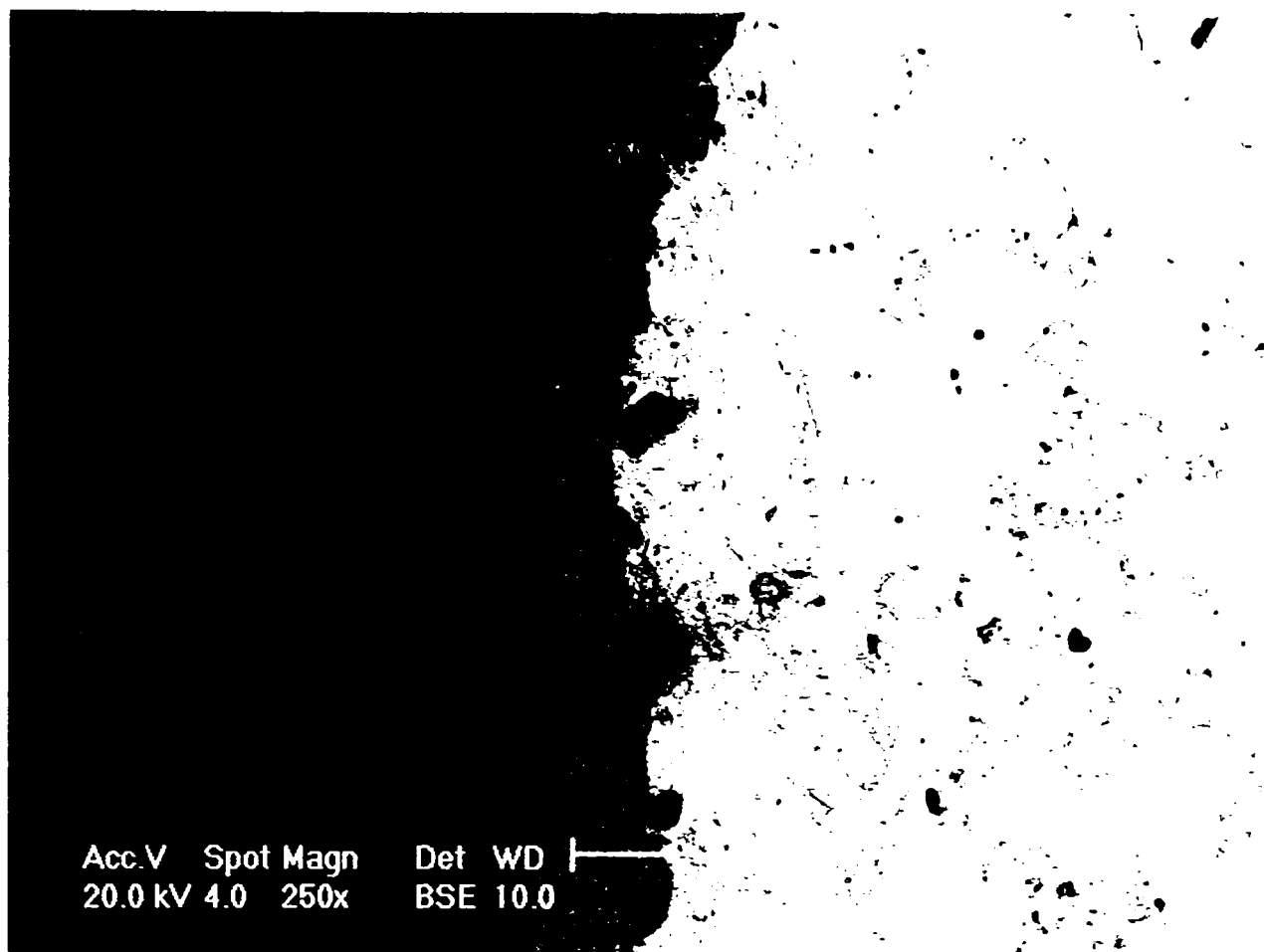


Fig. A 1.4. Imagini microscopice ale probei P4, diverse mărimi.

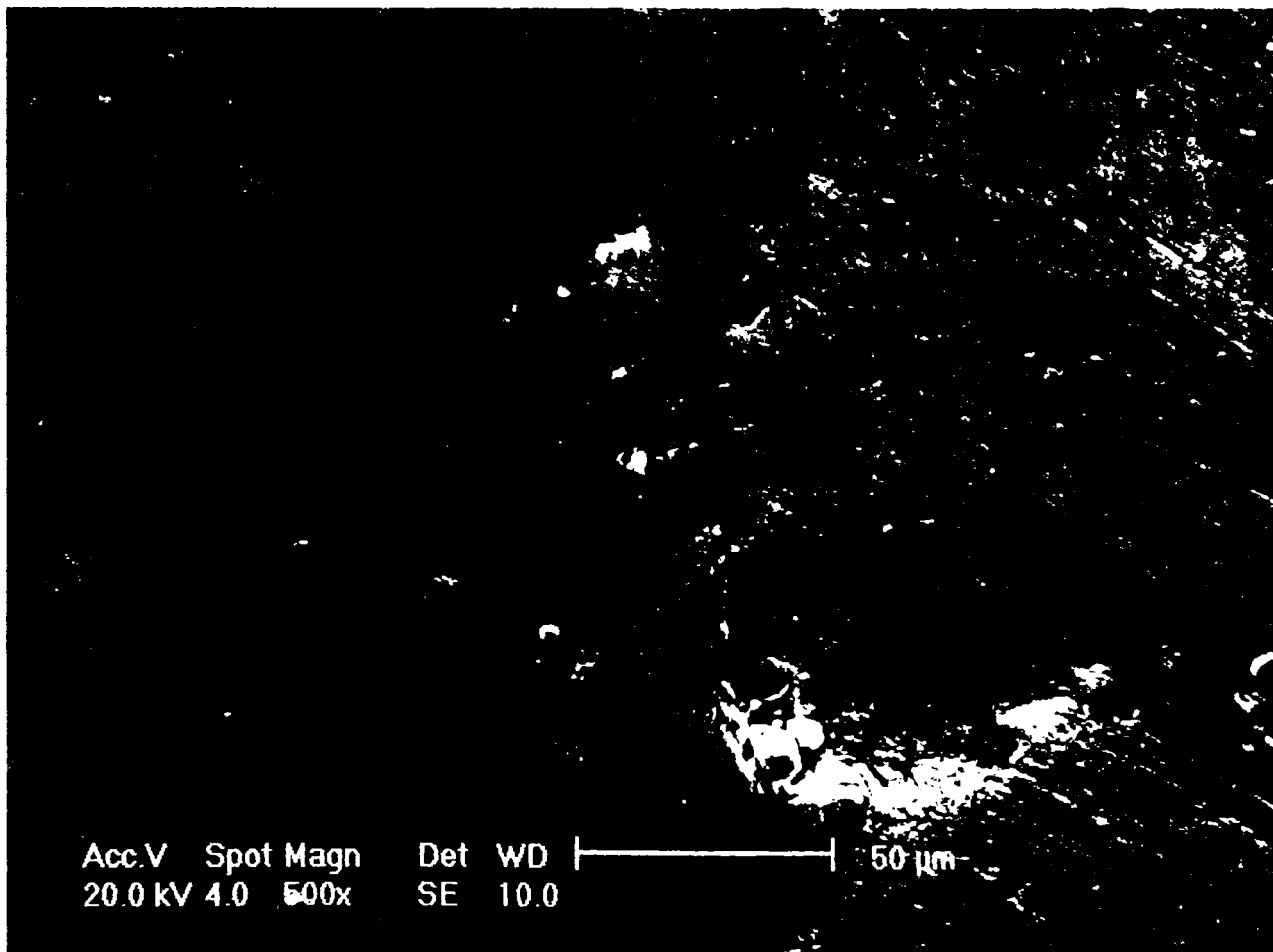
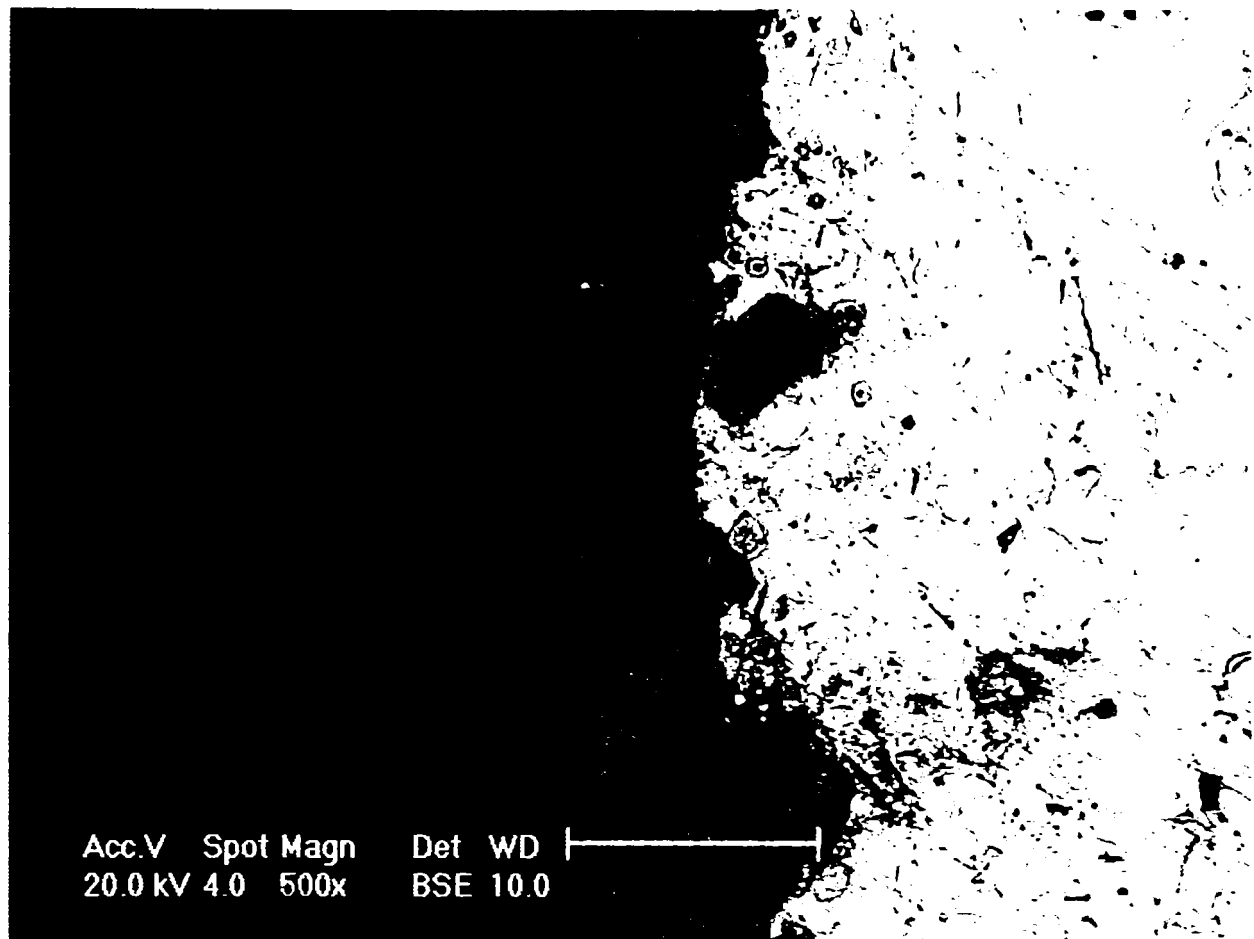


Fig. A 1.4. Imagini microscopice ale probei P4, diverse mărituri.

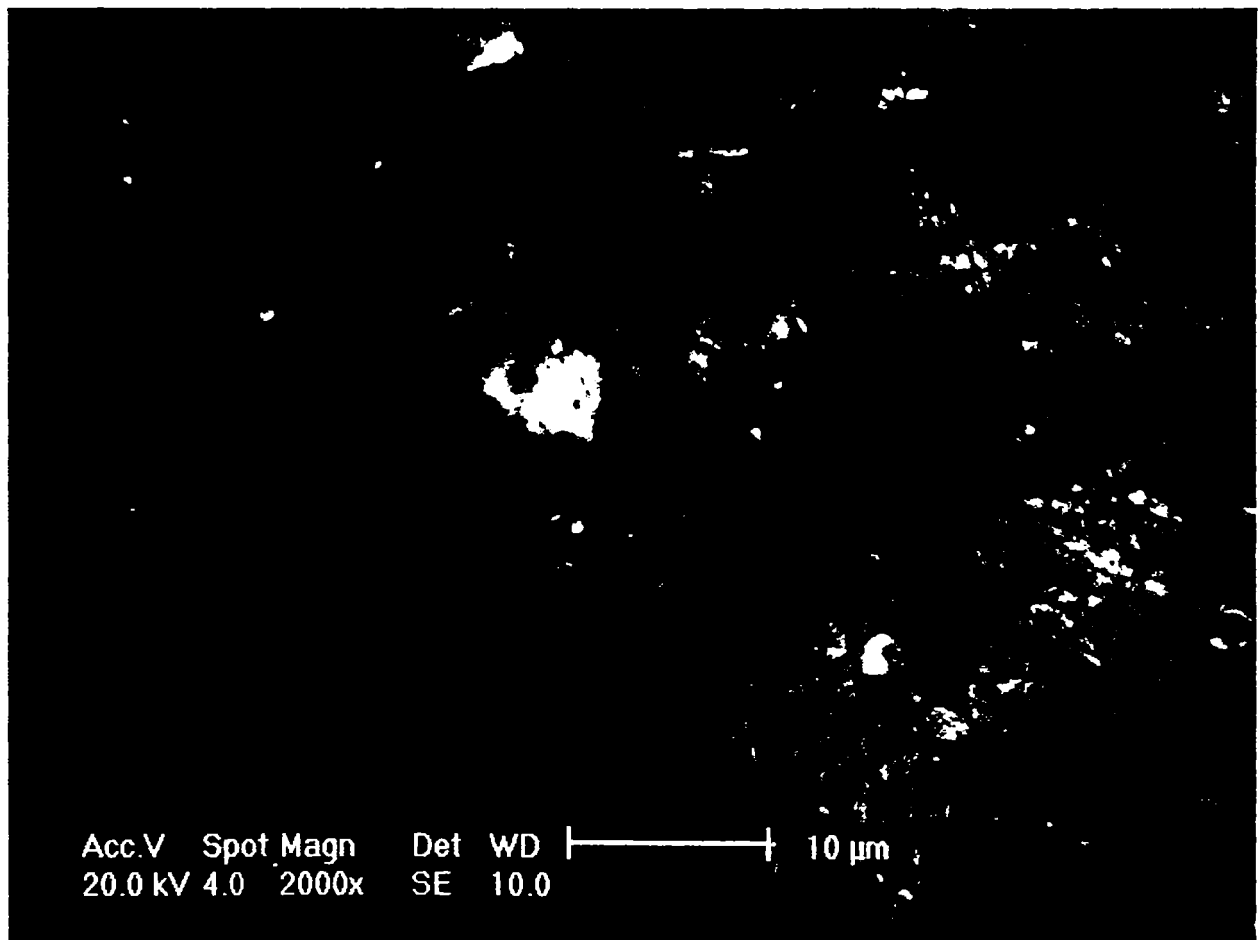
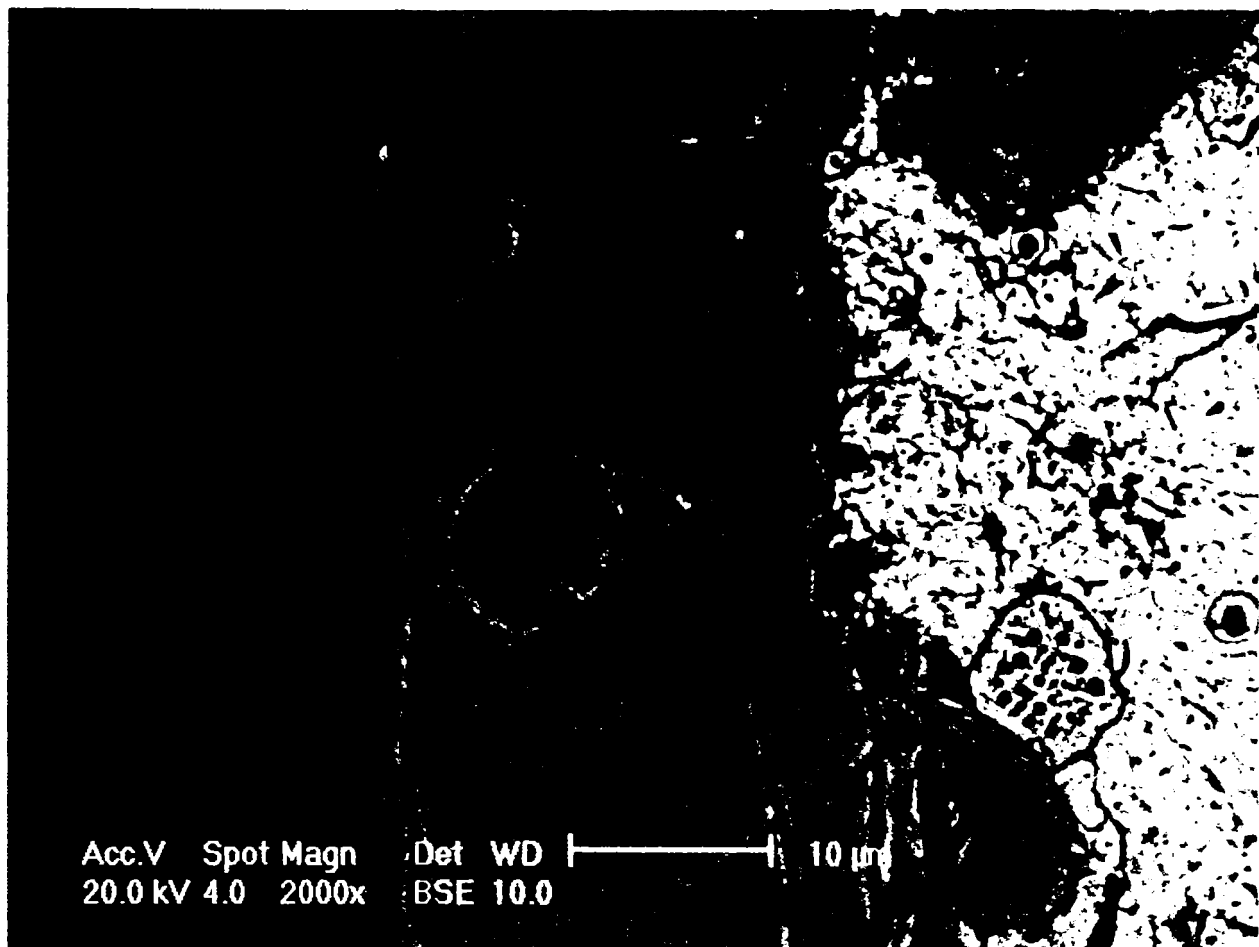


Fig. A 1.4. Imagini microscopice ale probei P4, diverse mărituri.

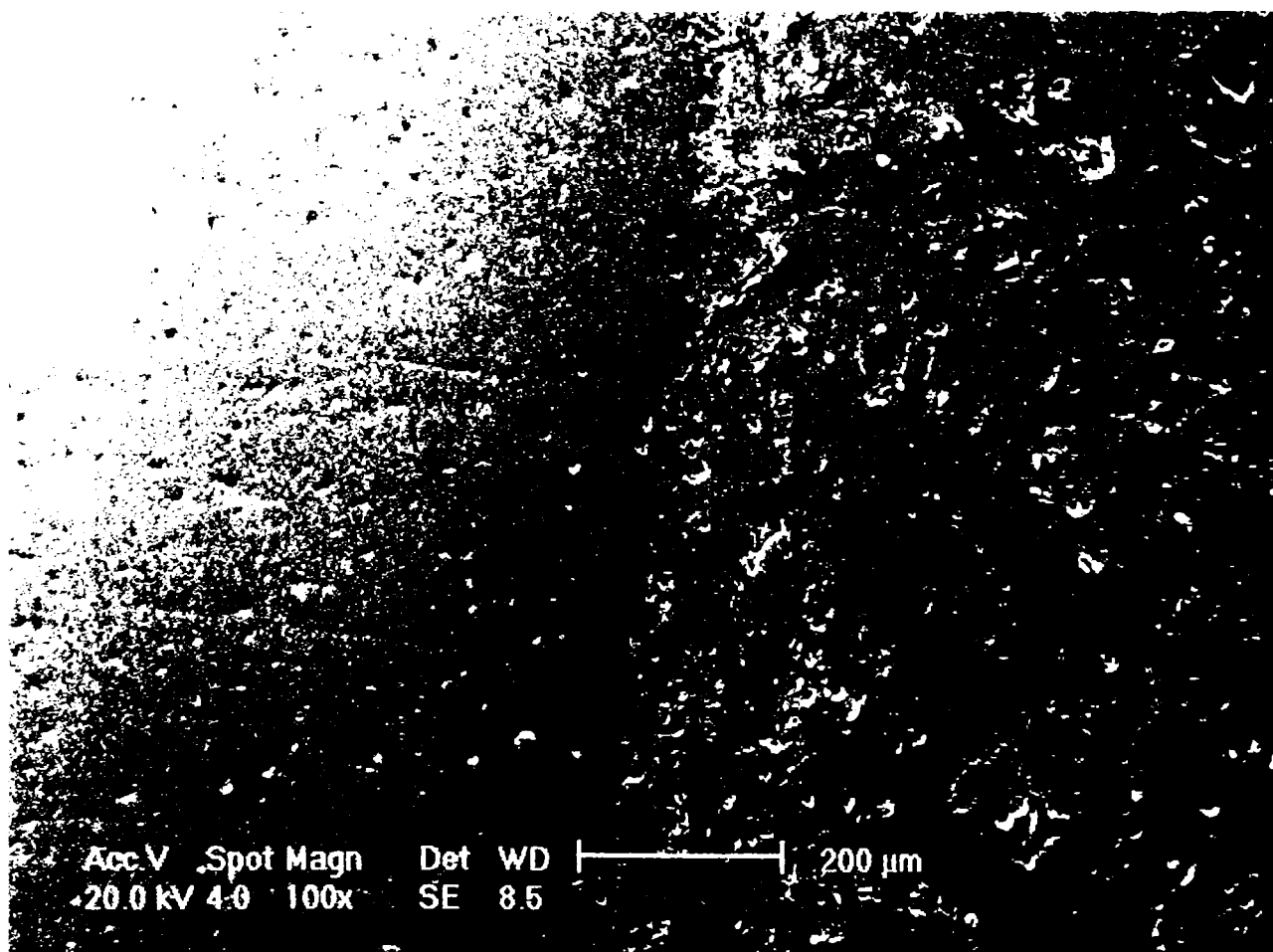
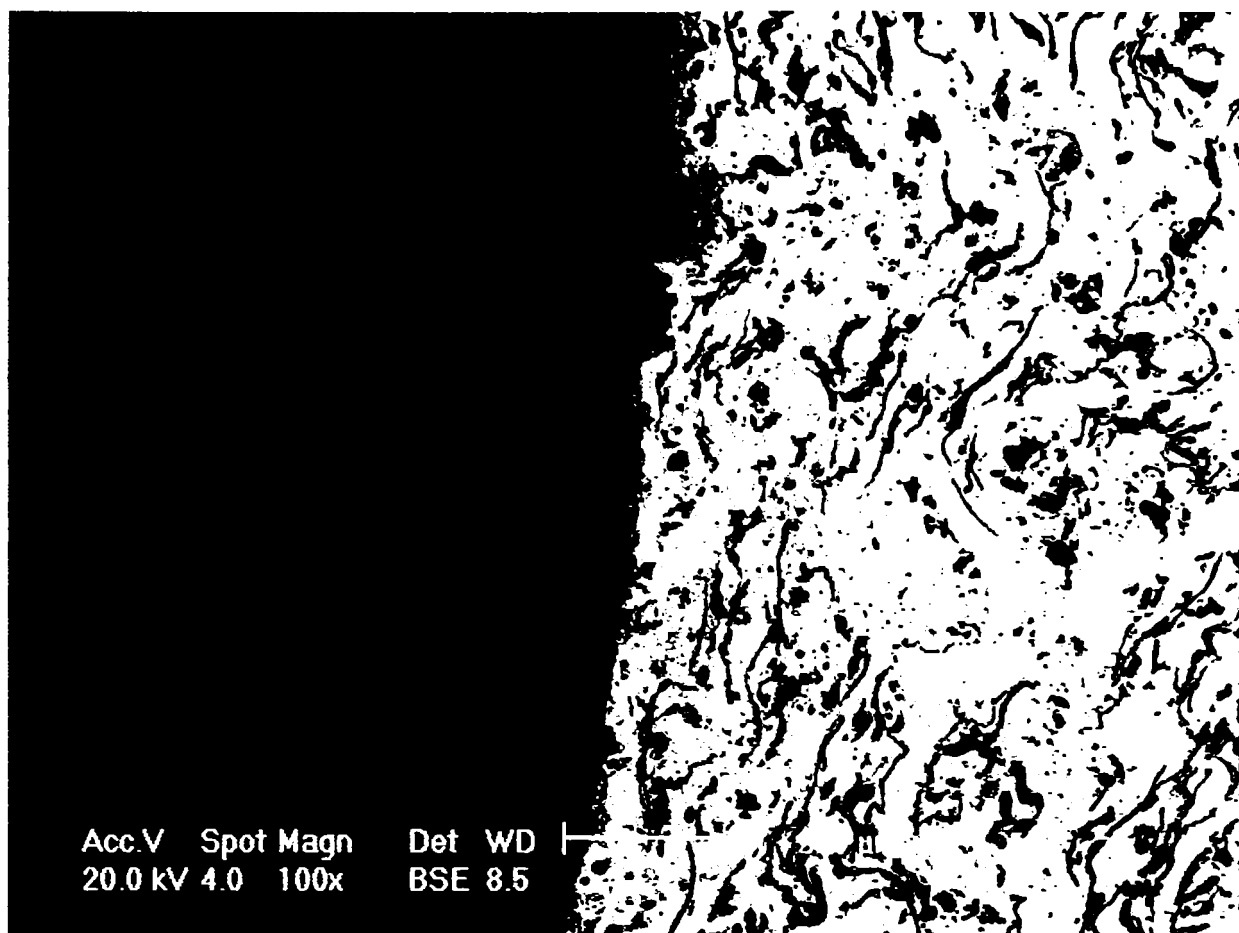


Fig. A 1.5. Imagini microscopice ale probei P5, diverse mărituri.

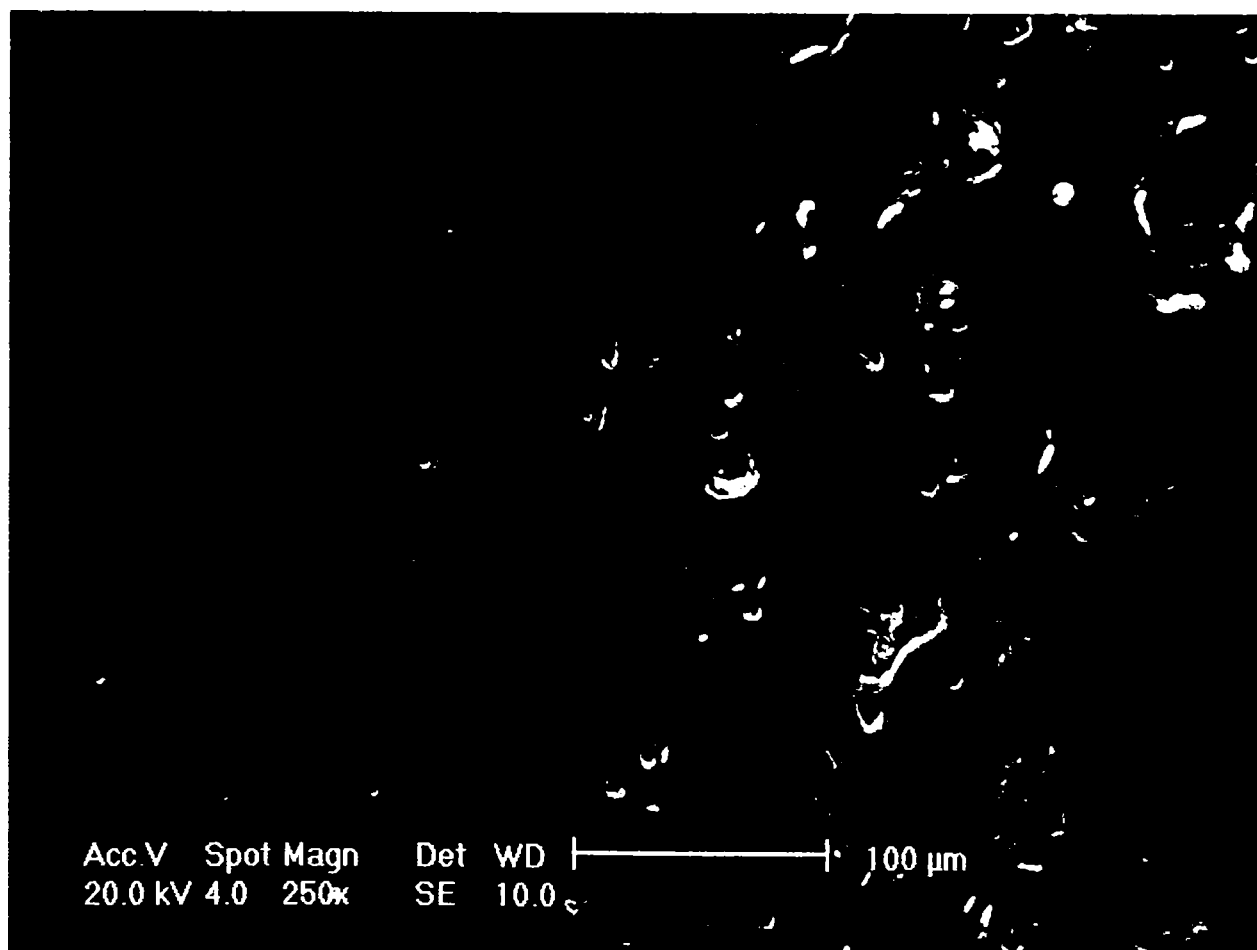
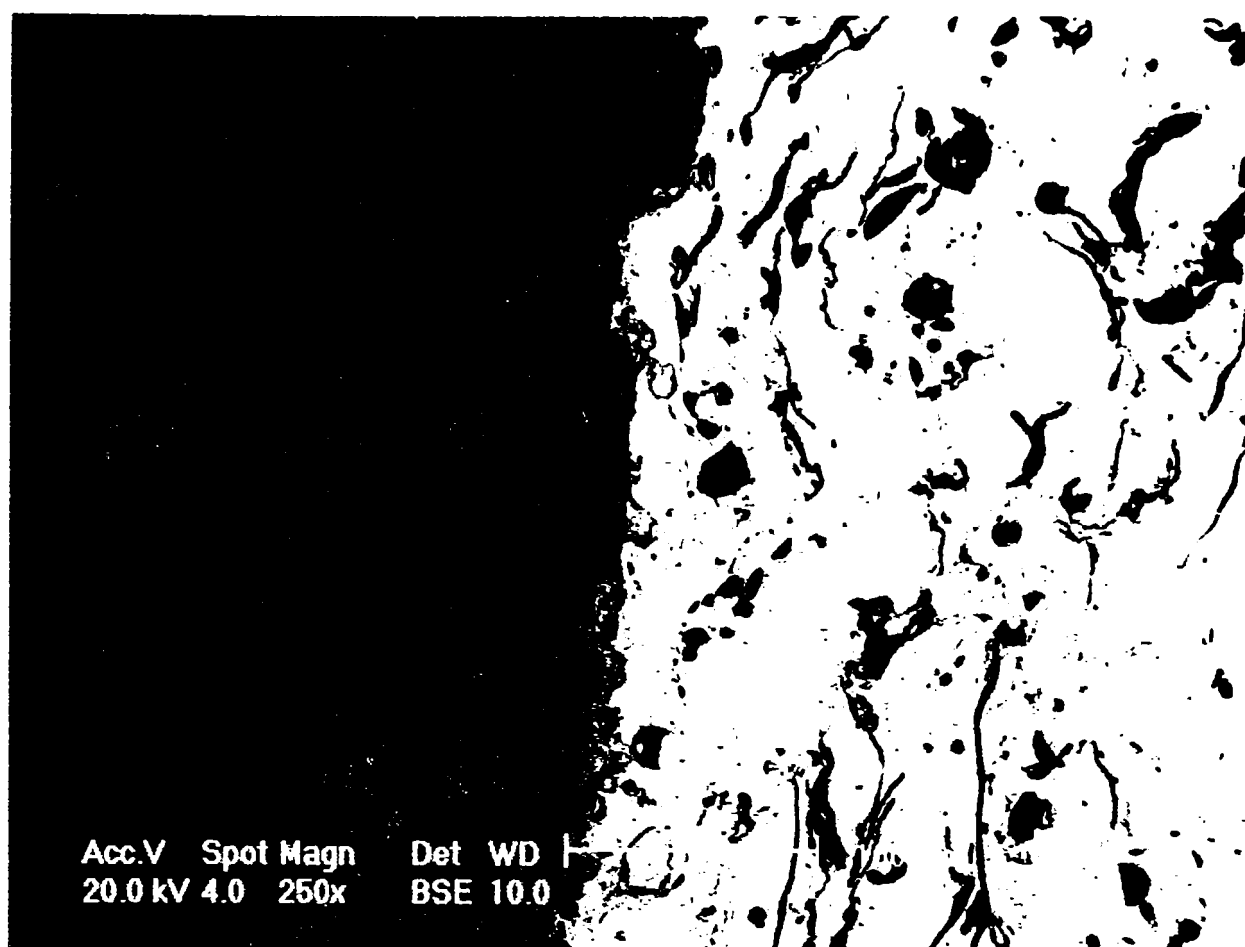


Fig. A 1.5. Imagini microscopice ale probei P5, diverse mărimi.

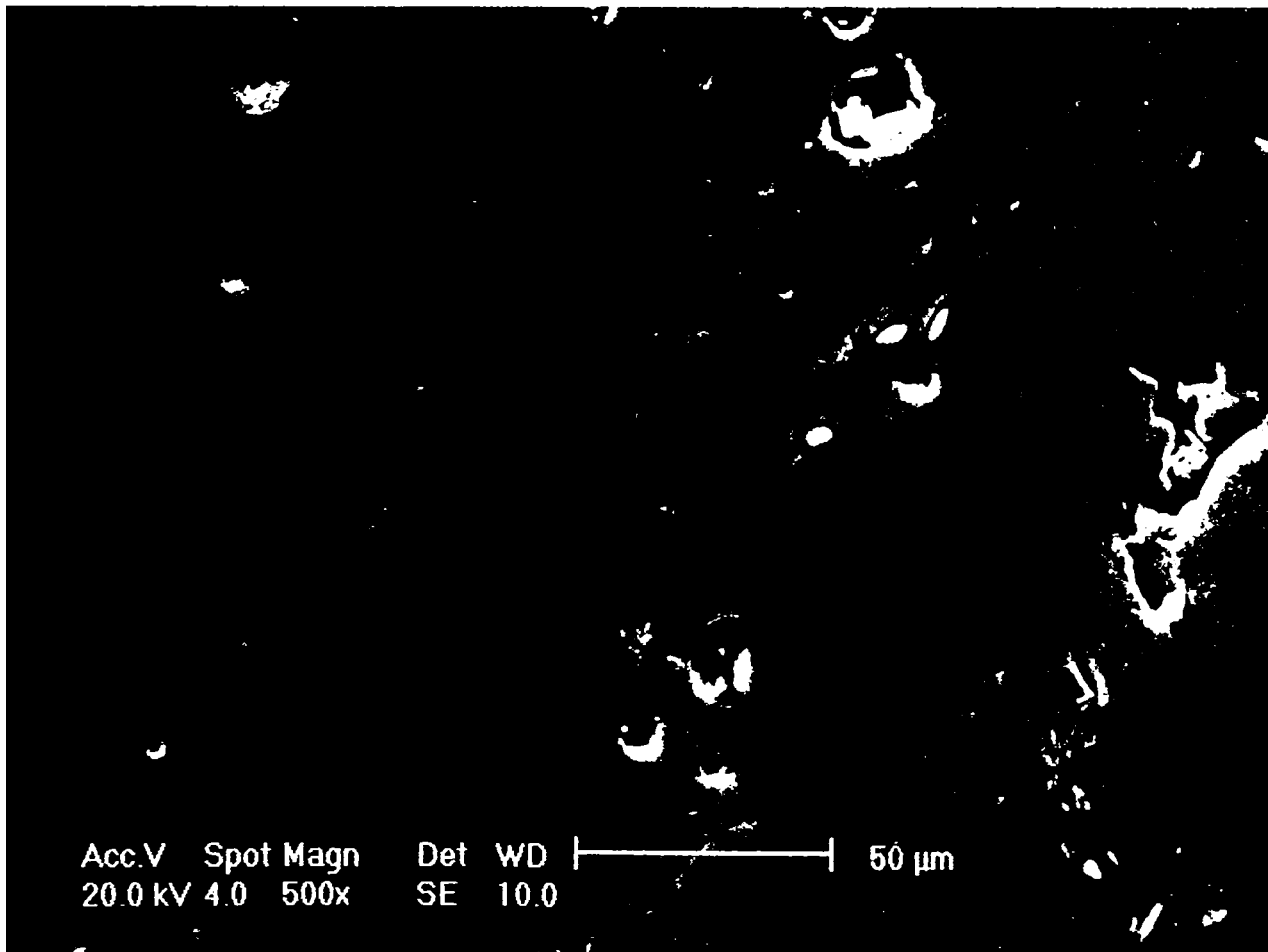
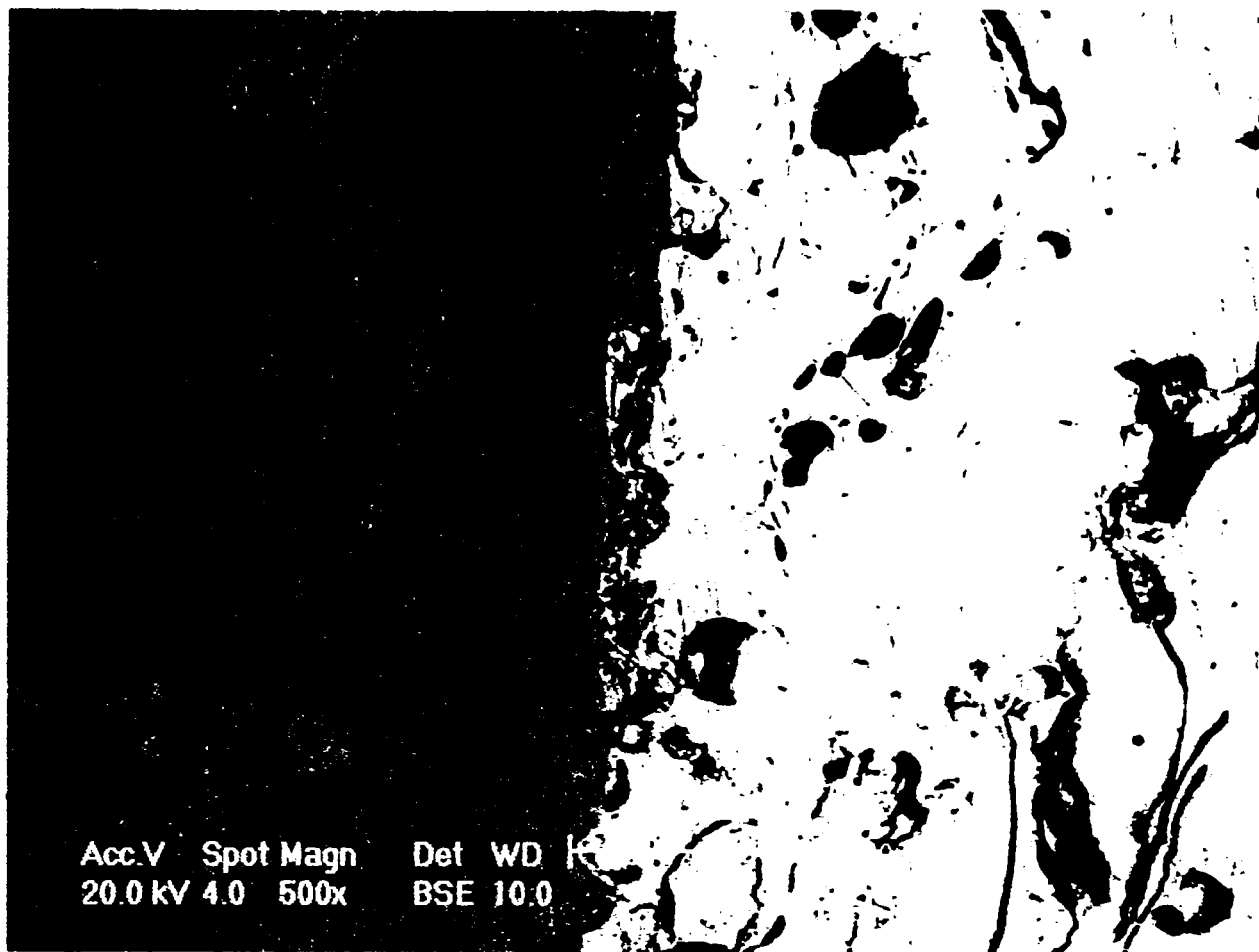


Fig. A 1.5. Imagini microscopice ale probei P5, diverse mărimi.

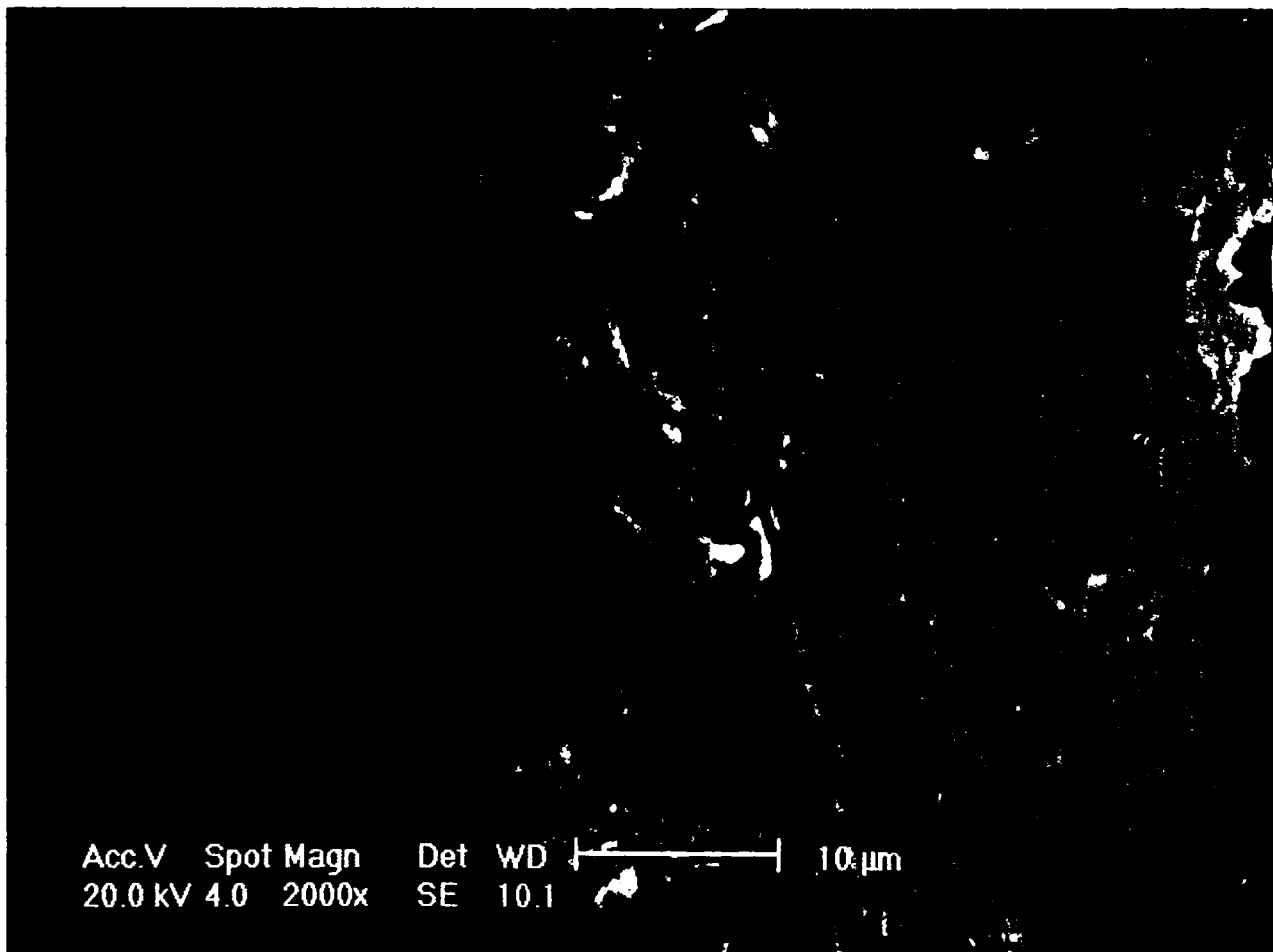


Fig. A 1.5. Imagini microscopice ale probei P5, diverse mărimi.

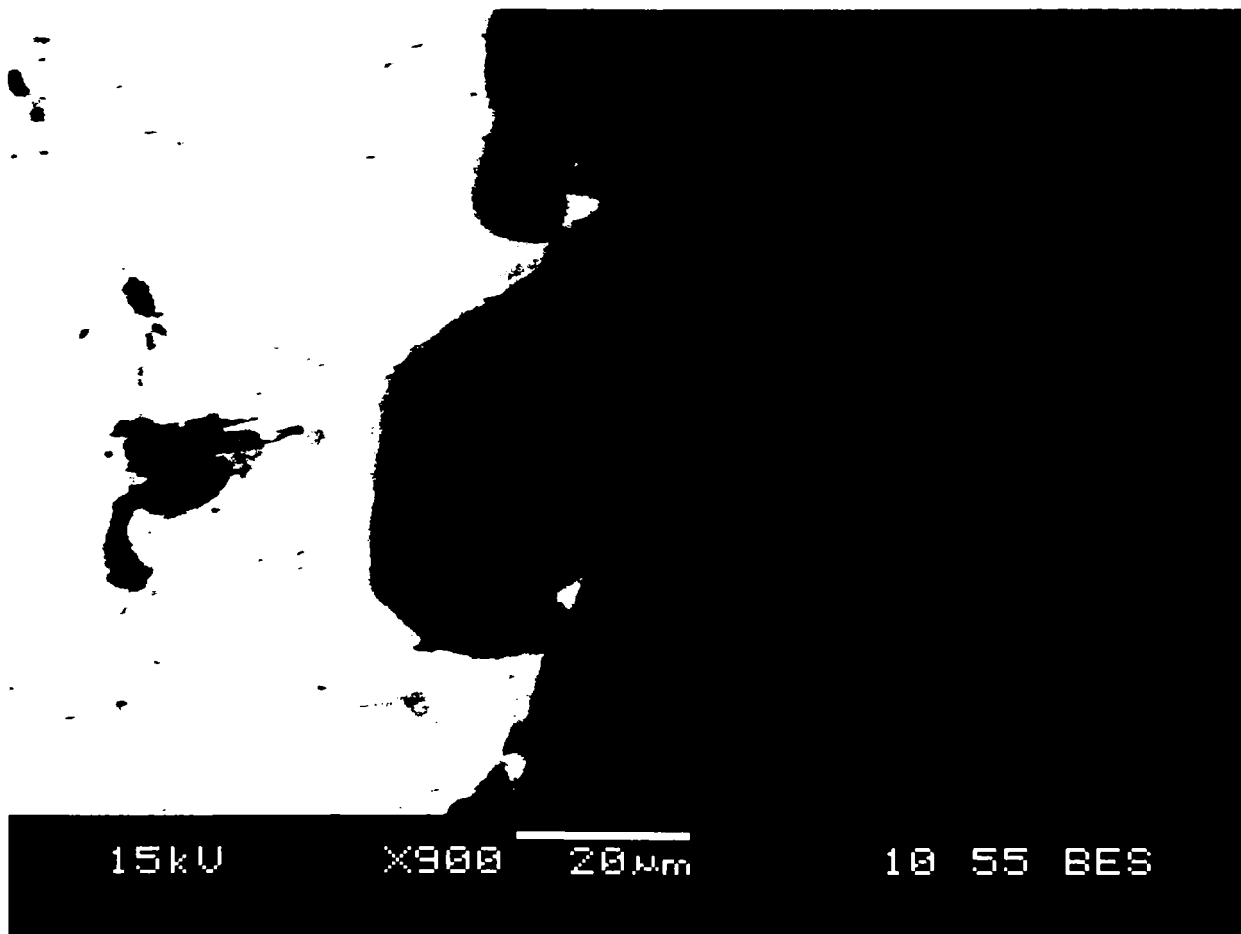
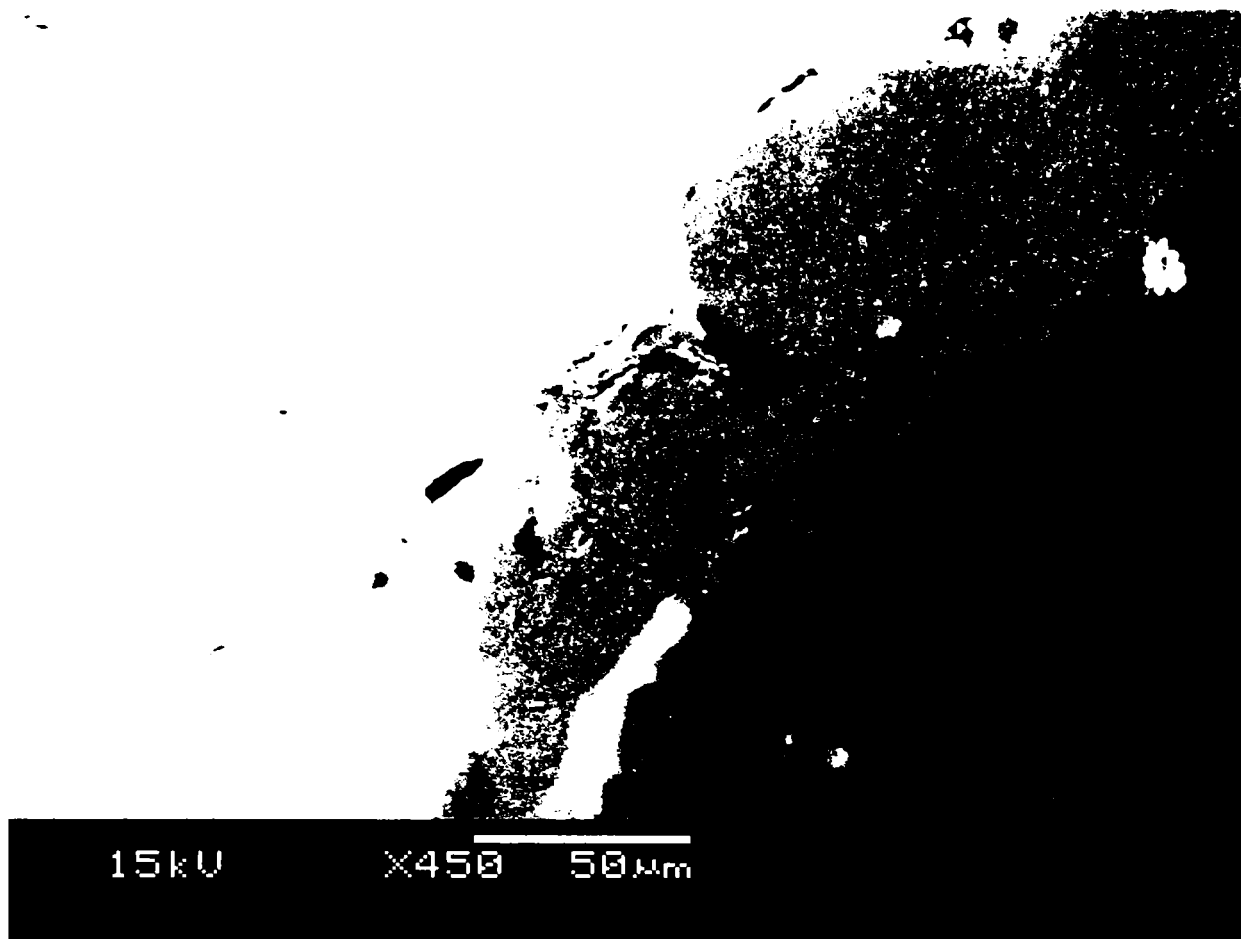


Fig. A16. Imagini microscopice ale probei P6, netratată termic - diverse mărituri

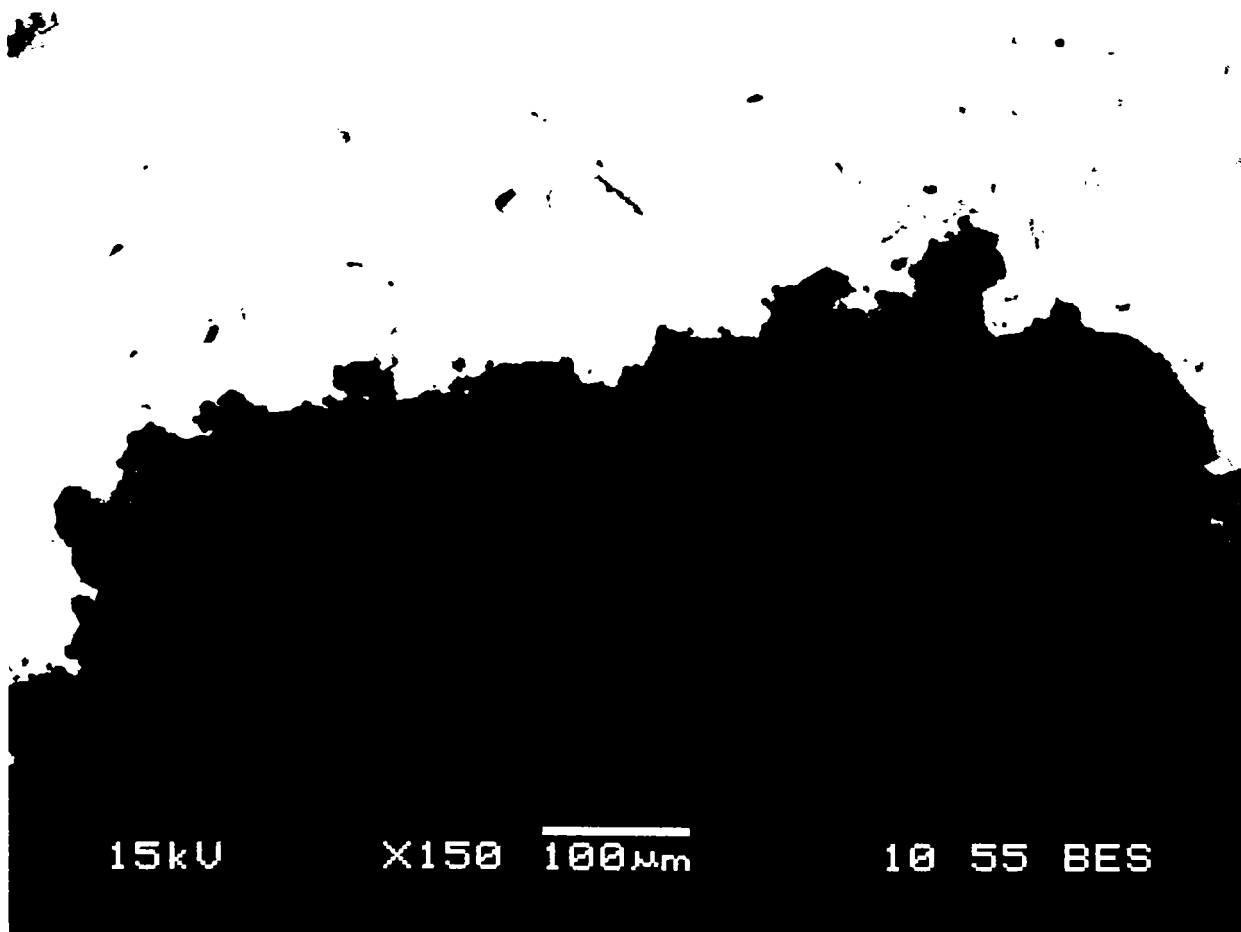
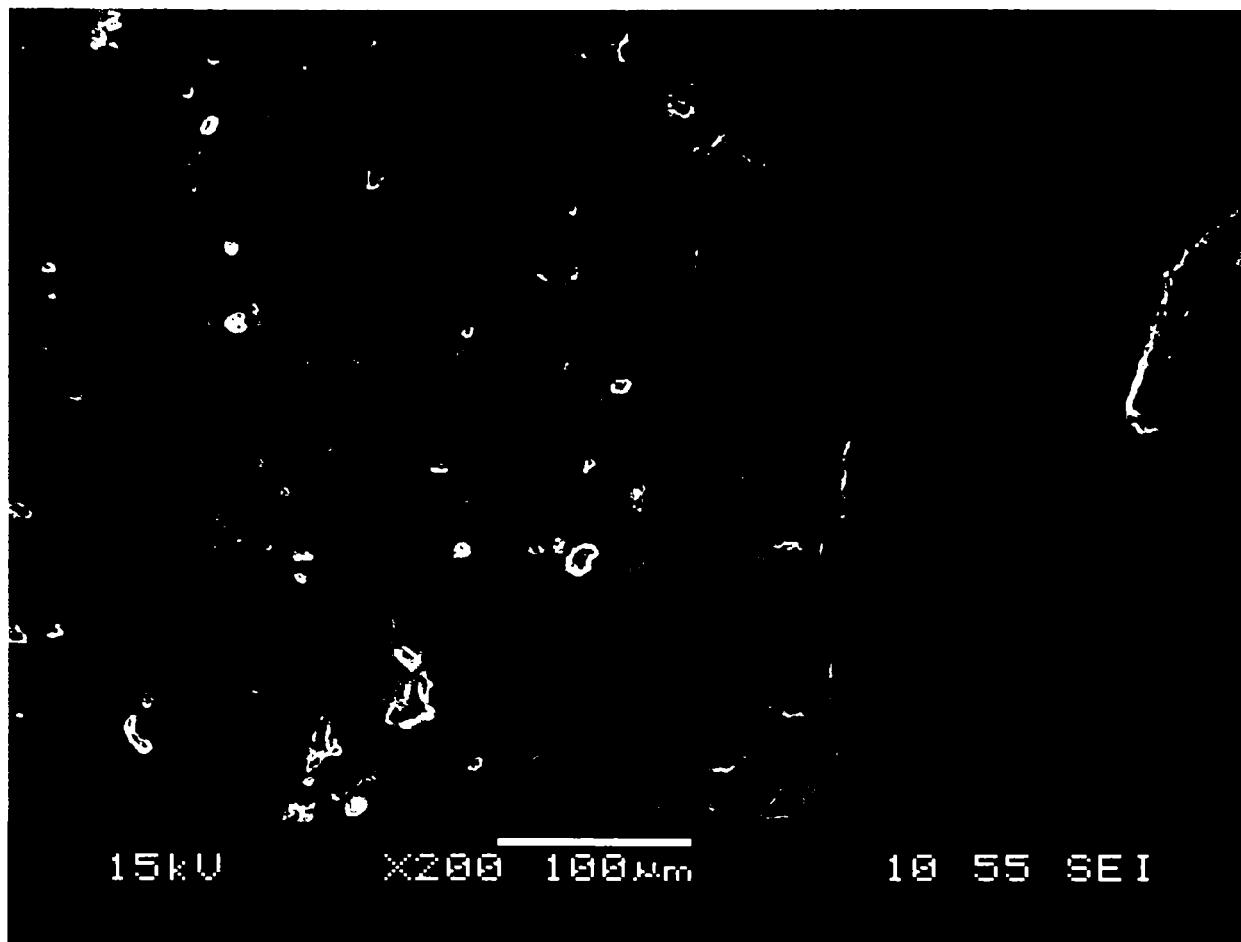


Fig. A16 Imagini microscopice ale probei P6, netratată termic, diverse mărimi



Fig. A 1.6. Imagini microscopice ale probei P6, netratată termic, diverse mărimi.

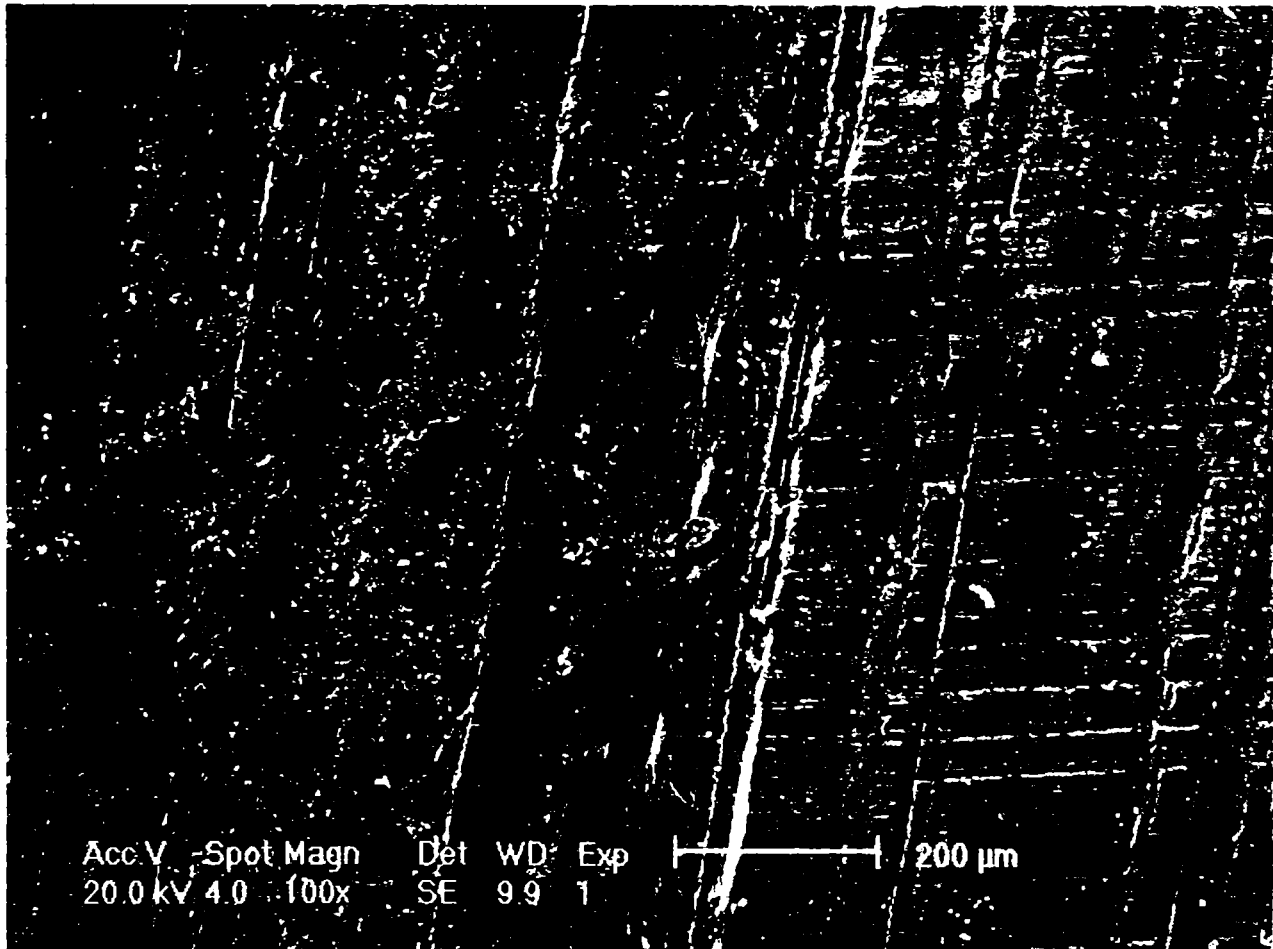
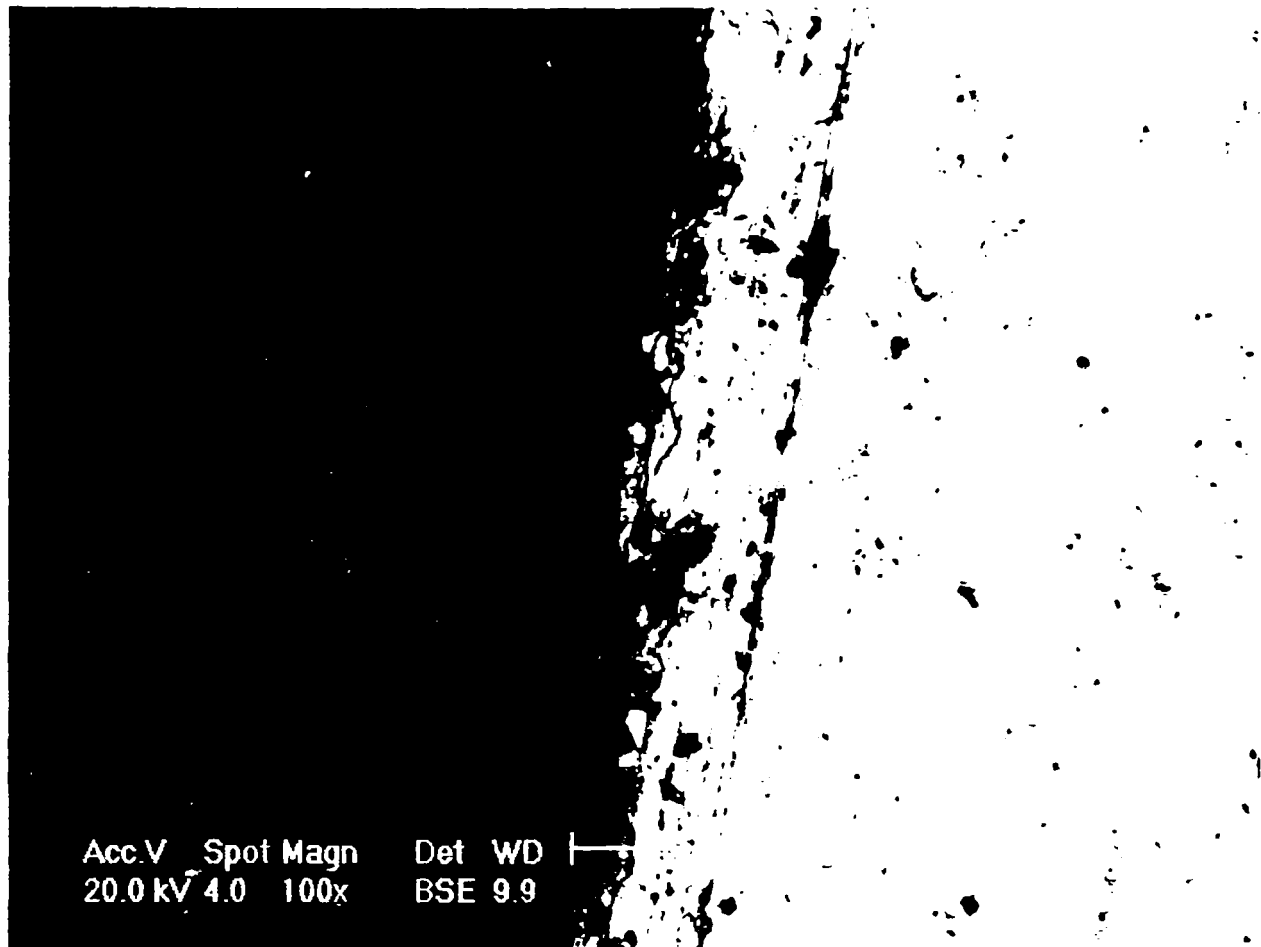


Fig. 1.6. Imagini microscopice ale probei P6, tratată termic, diverse mărimi.

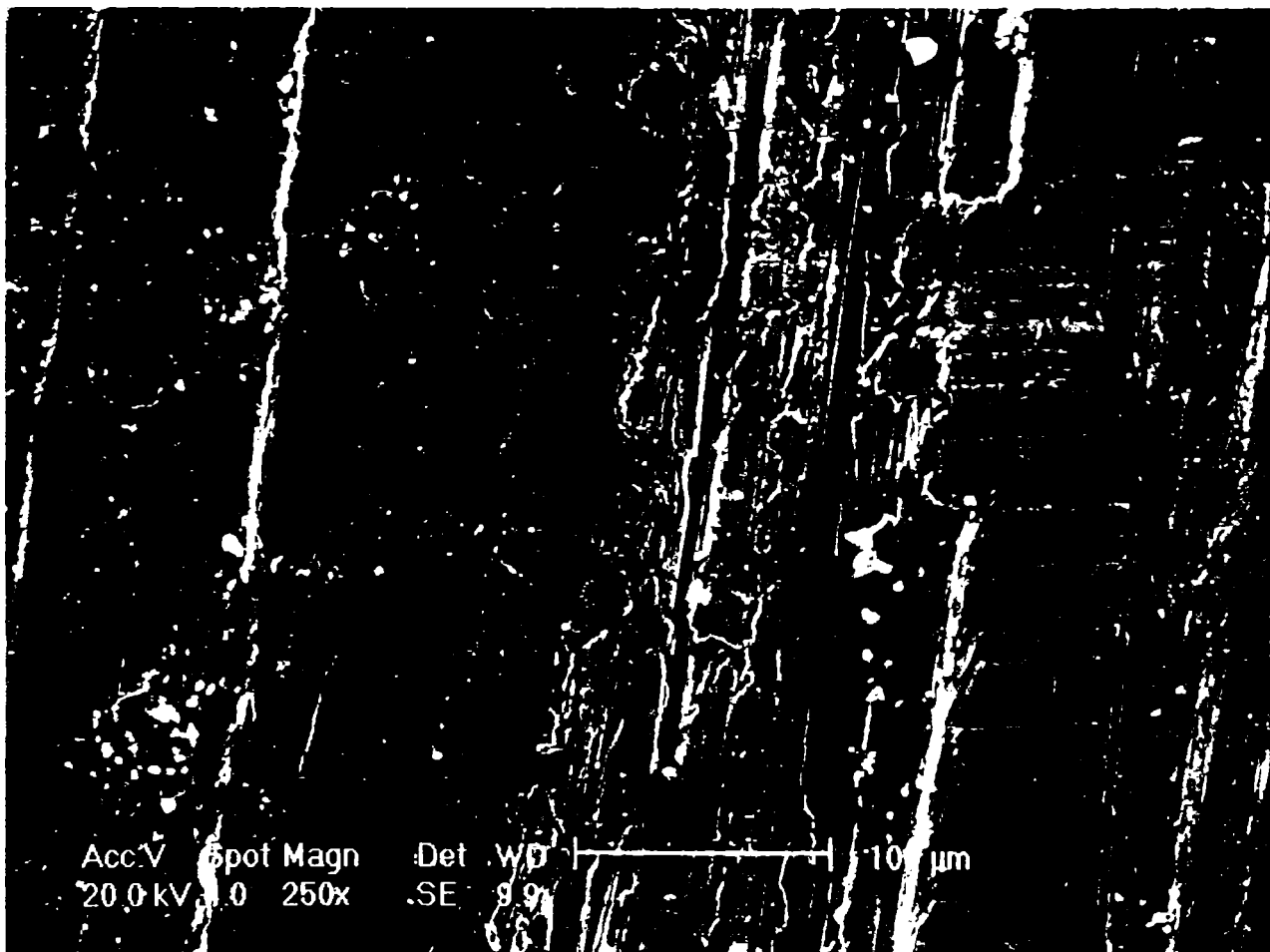
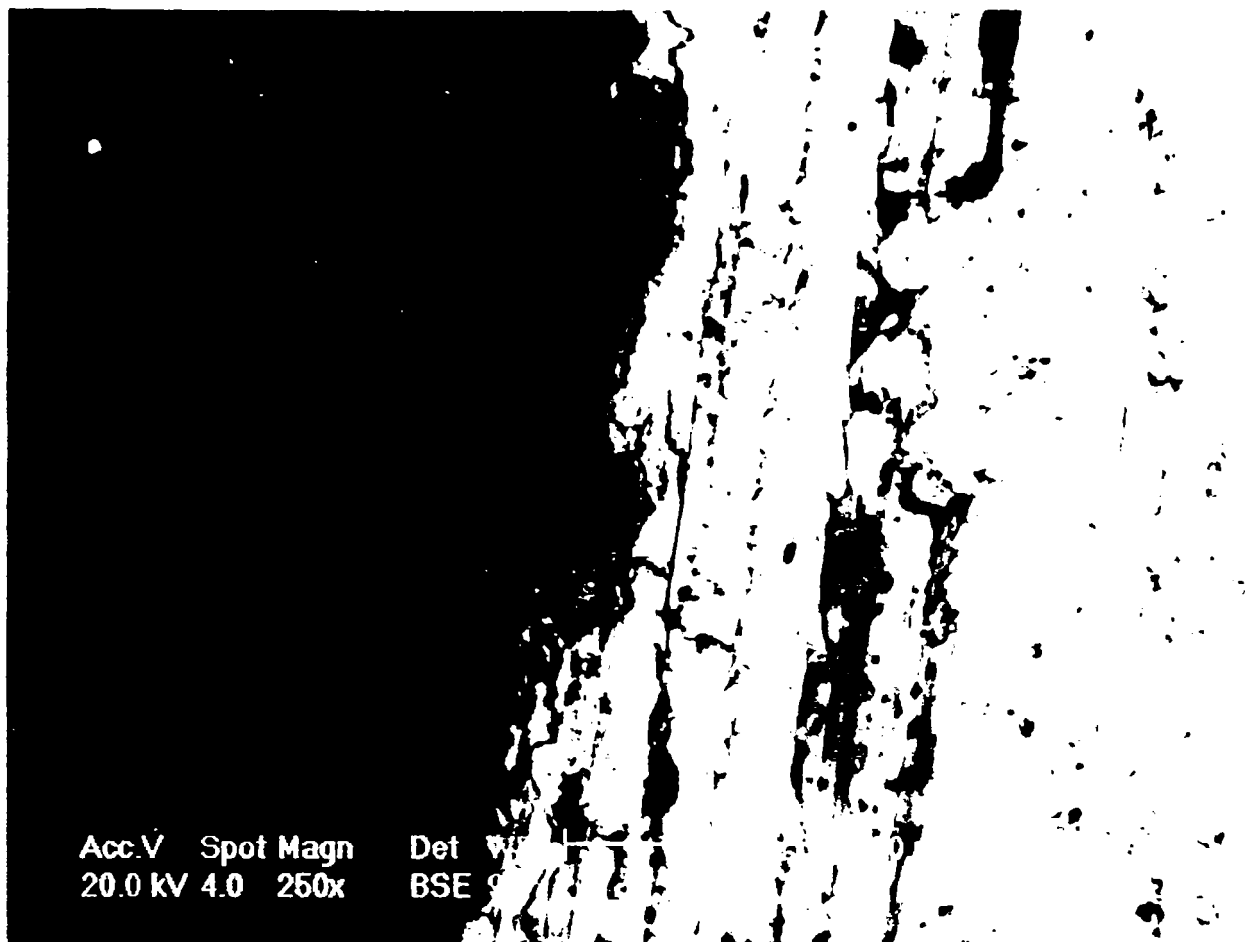


Fig. A1.6. Imagini microscopice ale probei P6, tratată termic - diverse mărimi

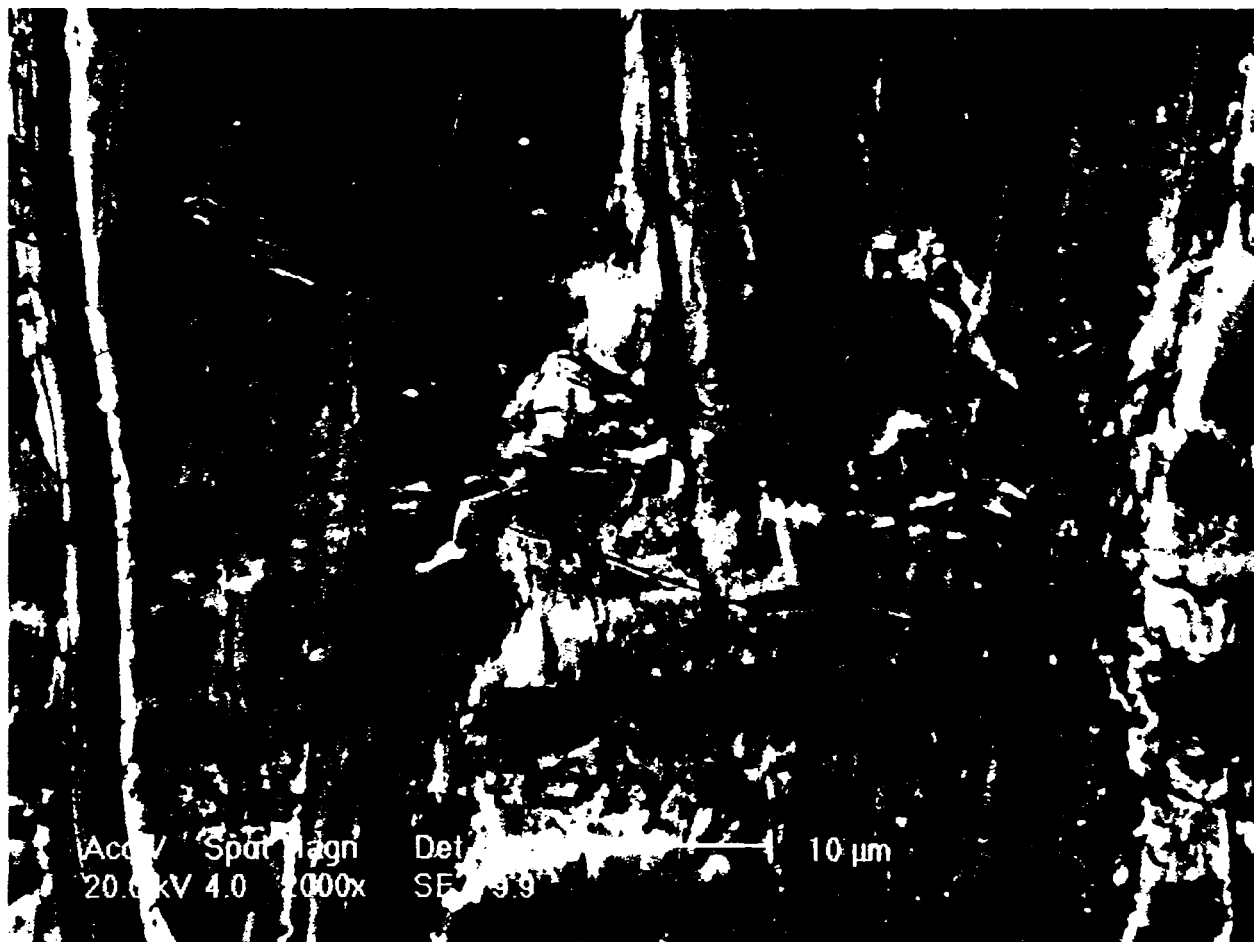
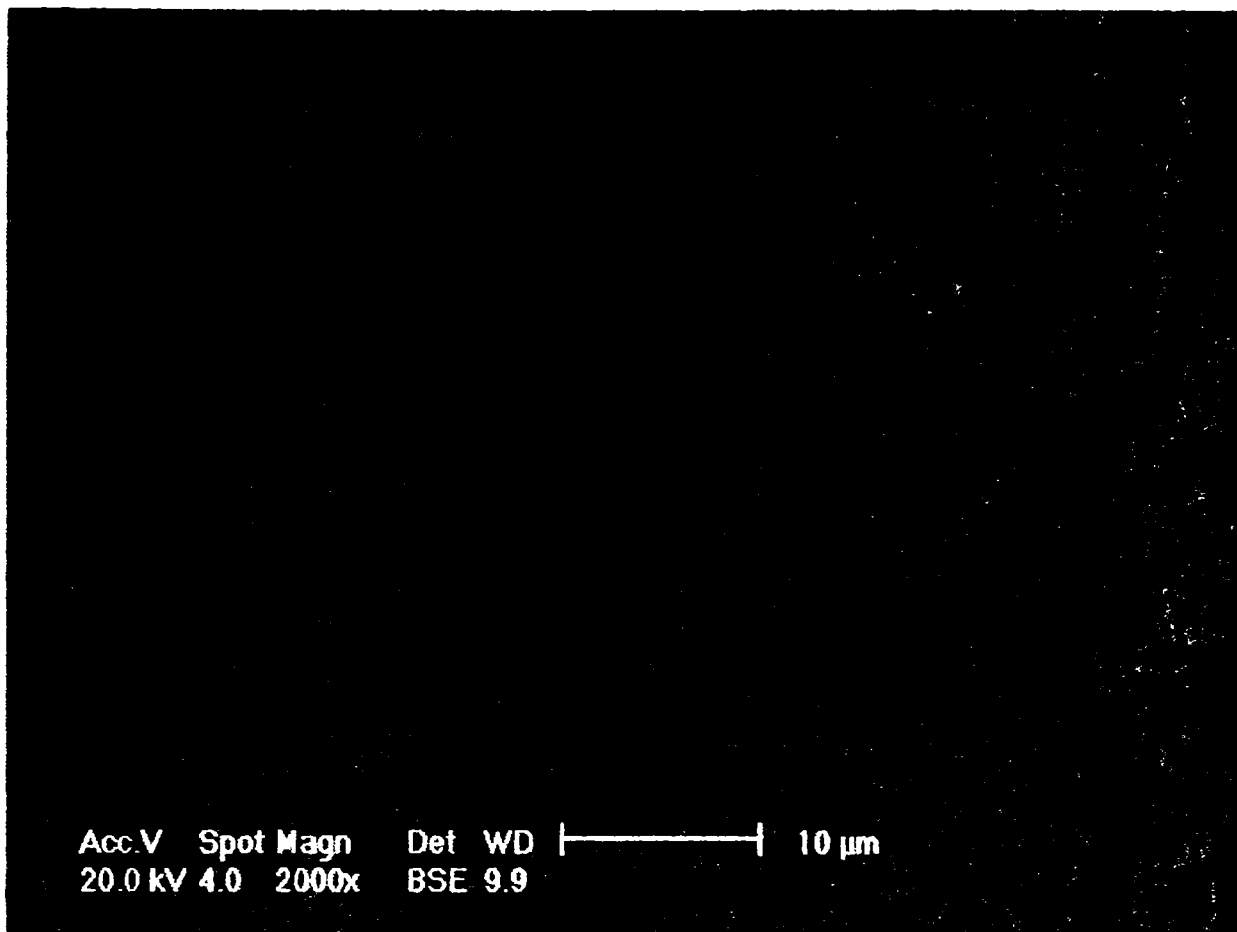


Fig. A 1.6. Imagini microscopice ale probei P6, tratată termic, diverse mărimi.

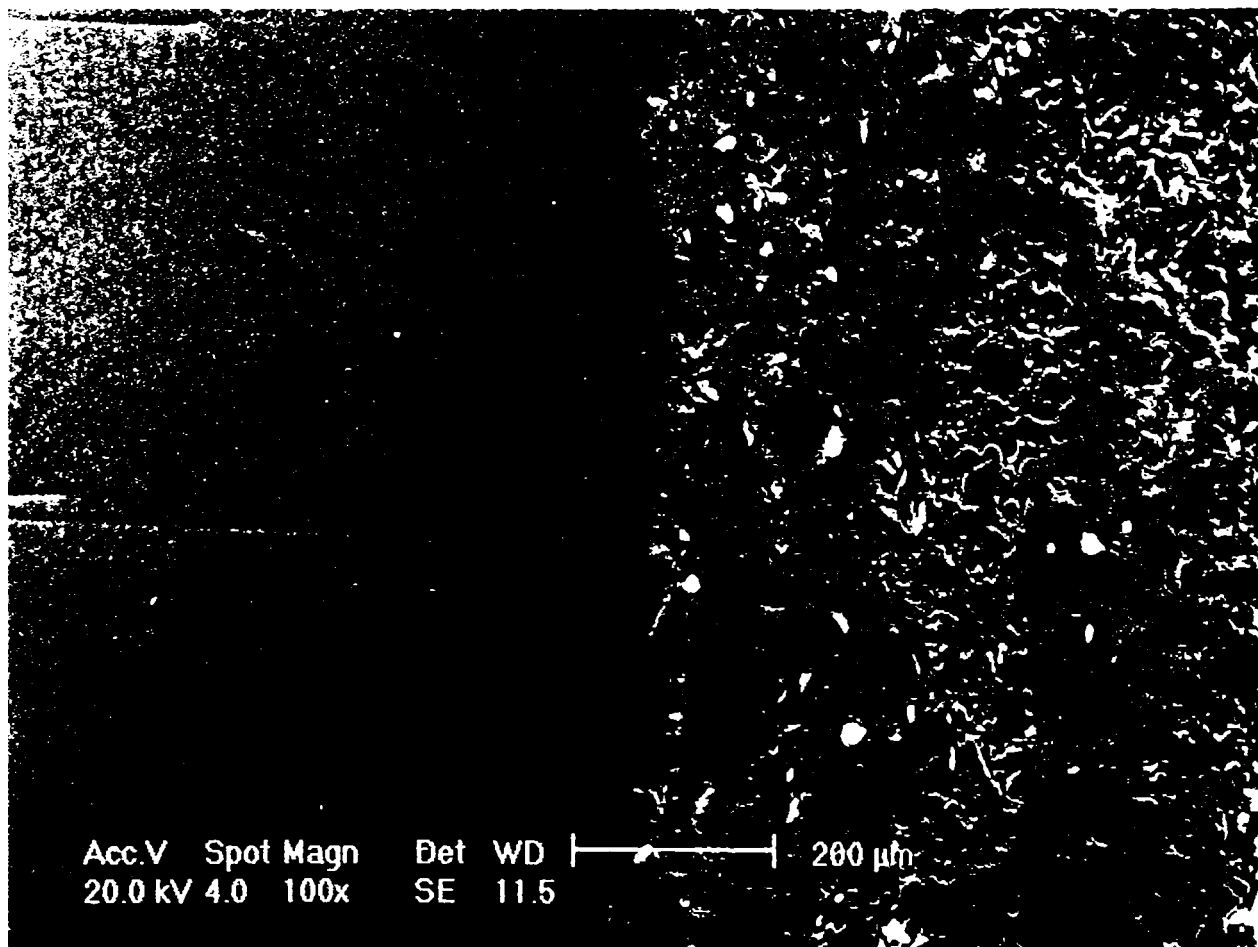
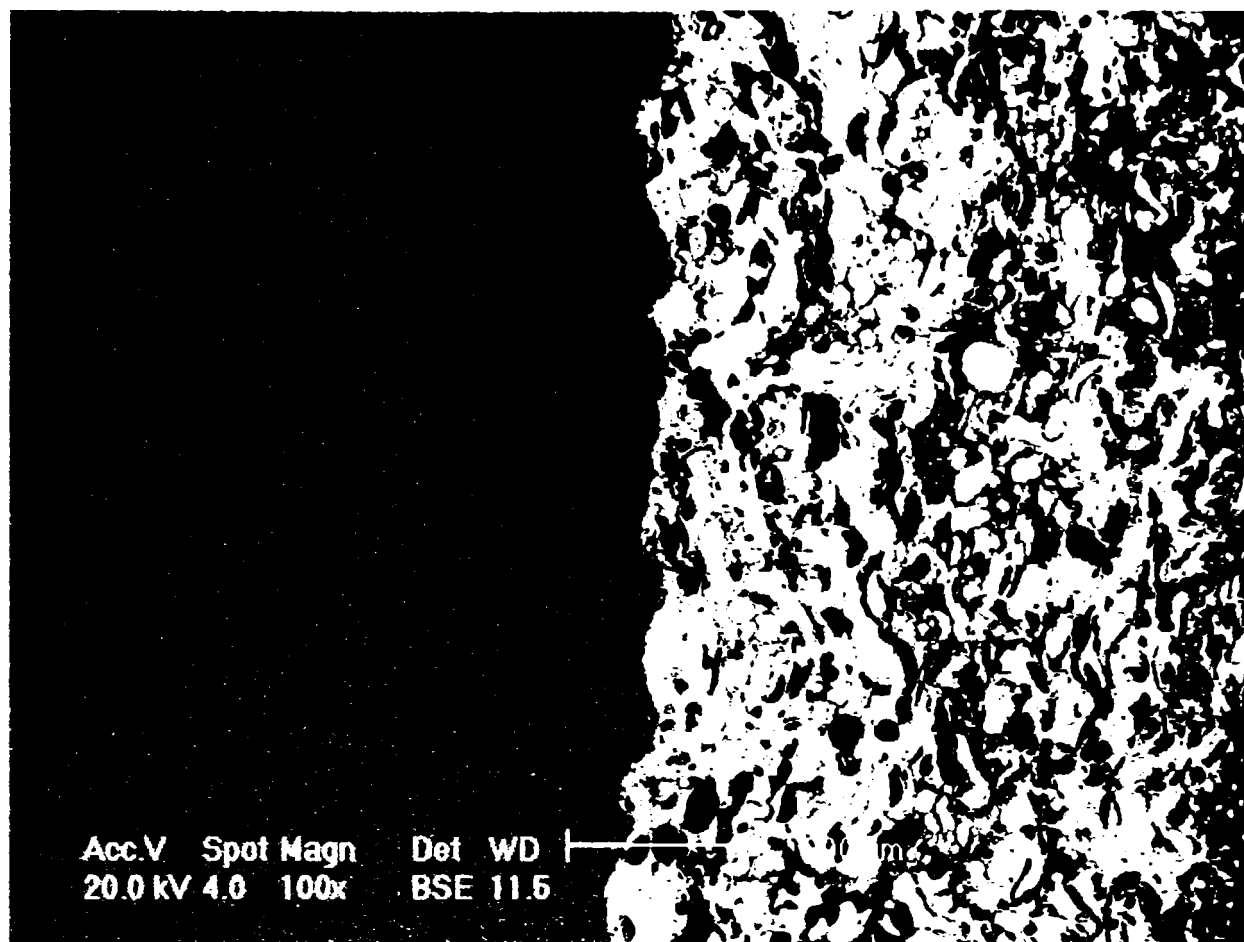


Fig. A 1.7. Imagini microscopice ale probei P7, diverse mărituri.

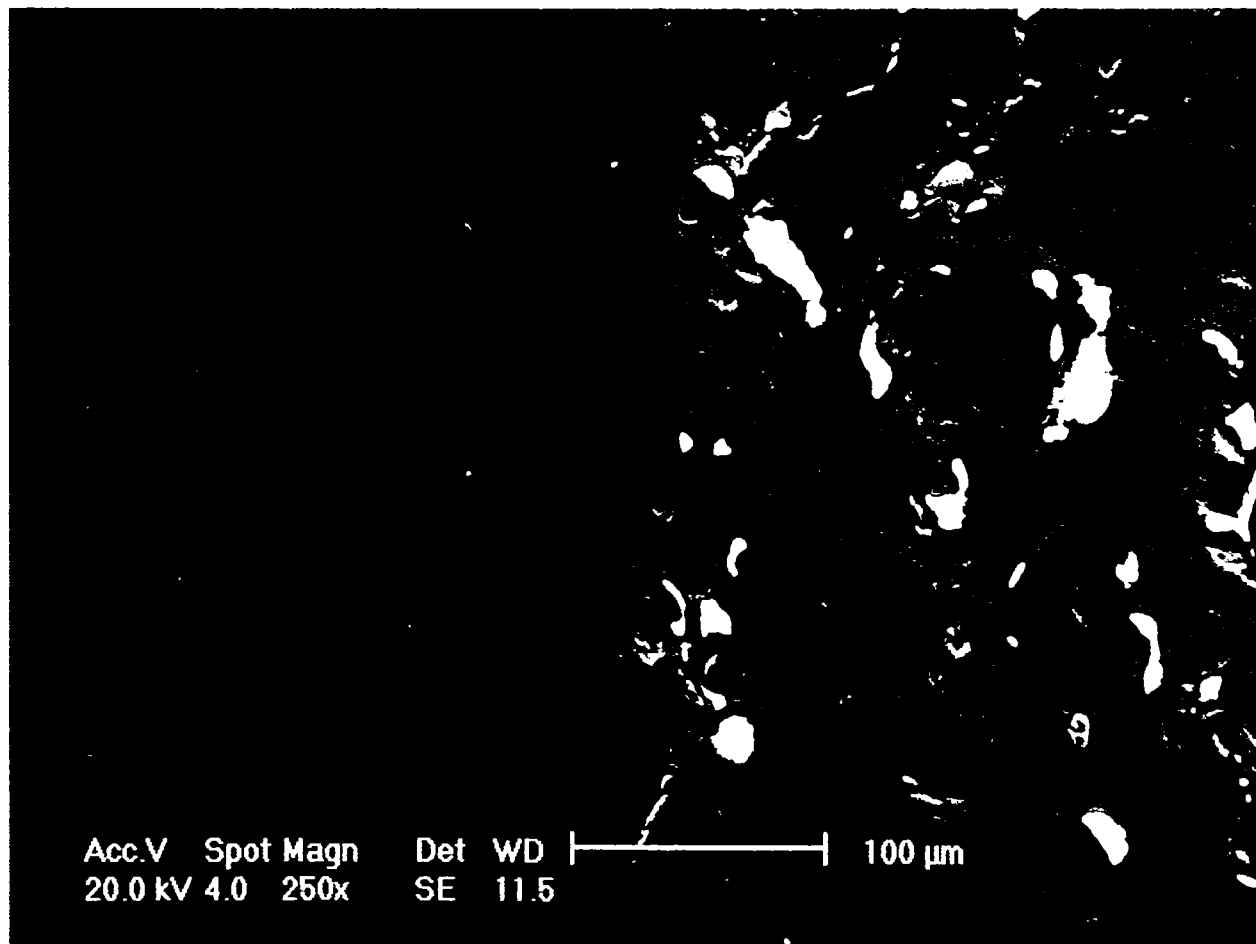
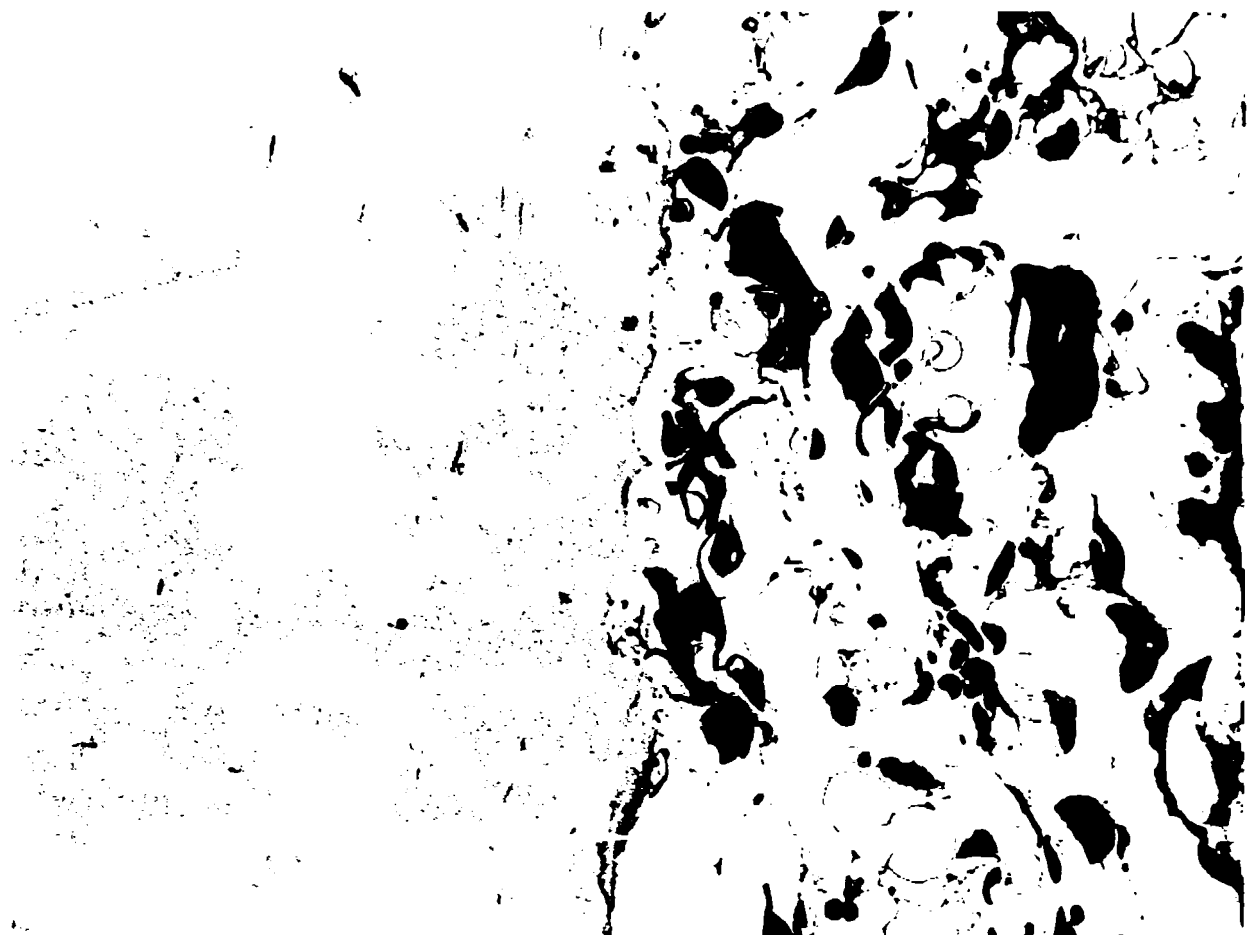


Fig. A 1.7 Imagini microscopice ale probei P⁷ diverse mărituri.

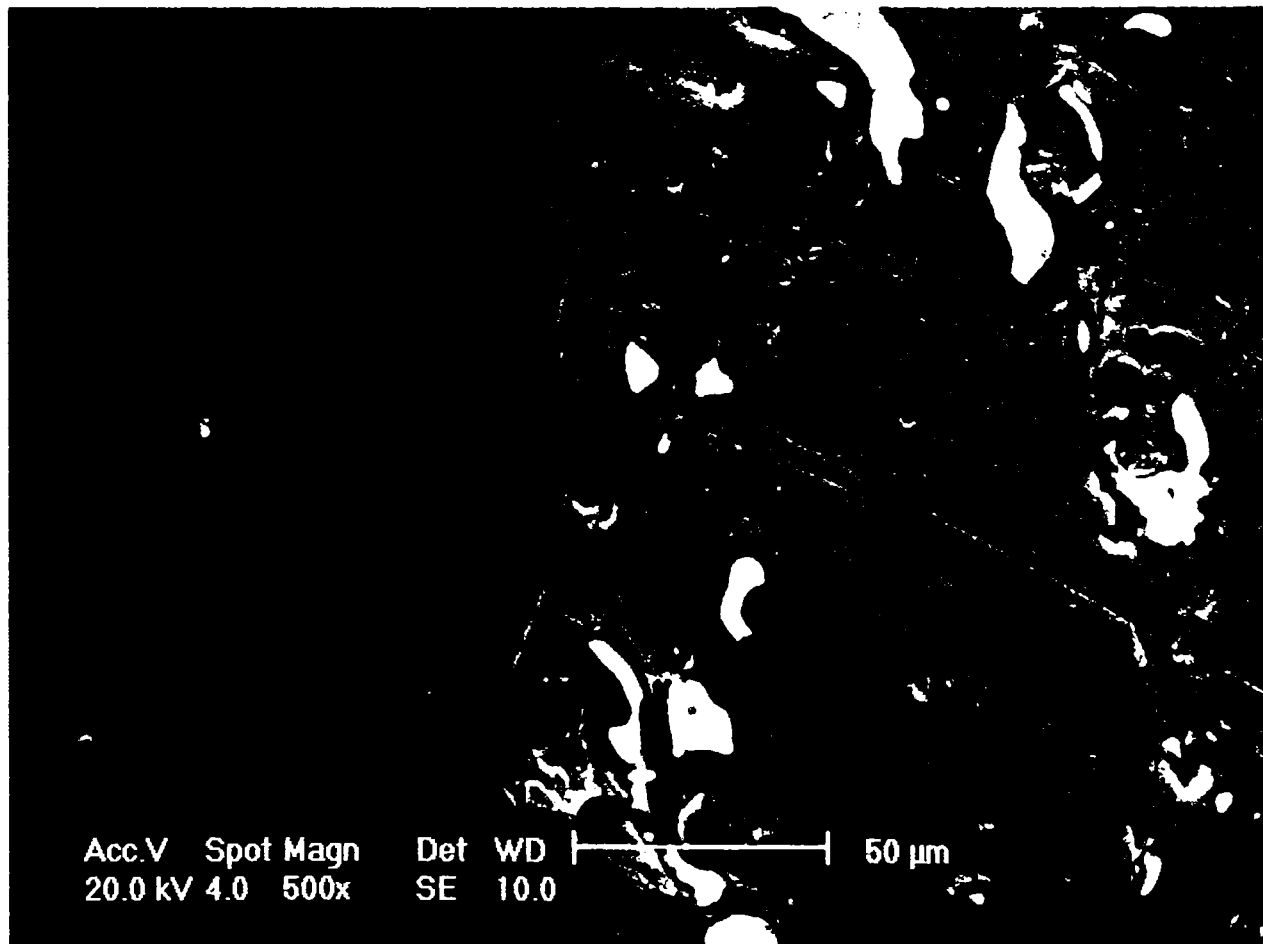


Fig. A1.7 Imagini microscopice ale probei P⁷ diverse mărituri.



Fig. A 1.7. Imagini microscopice ale probei P7, diverse mărimi.

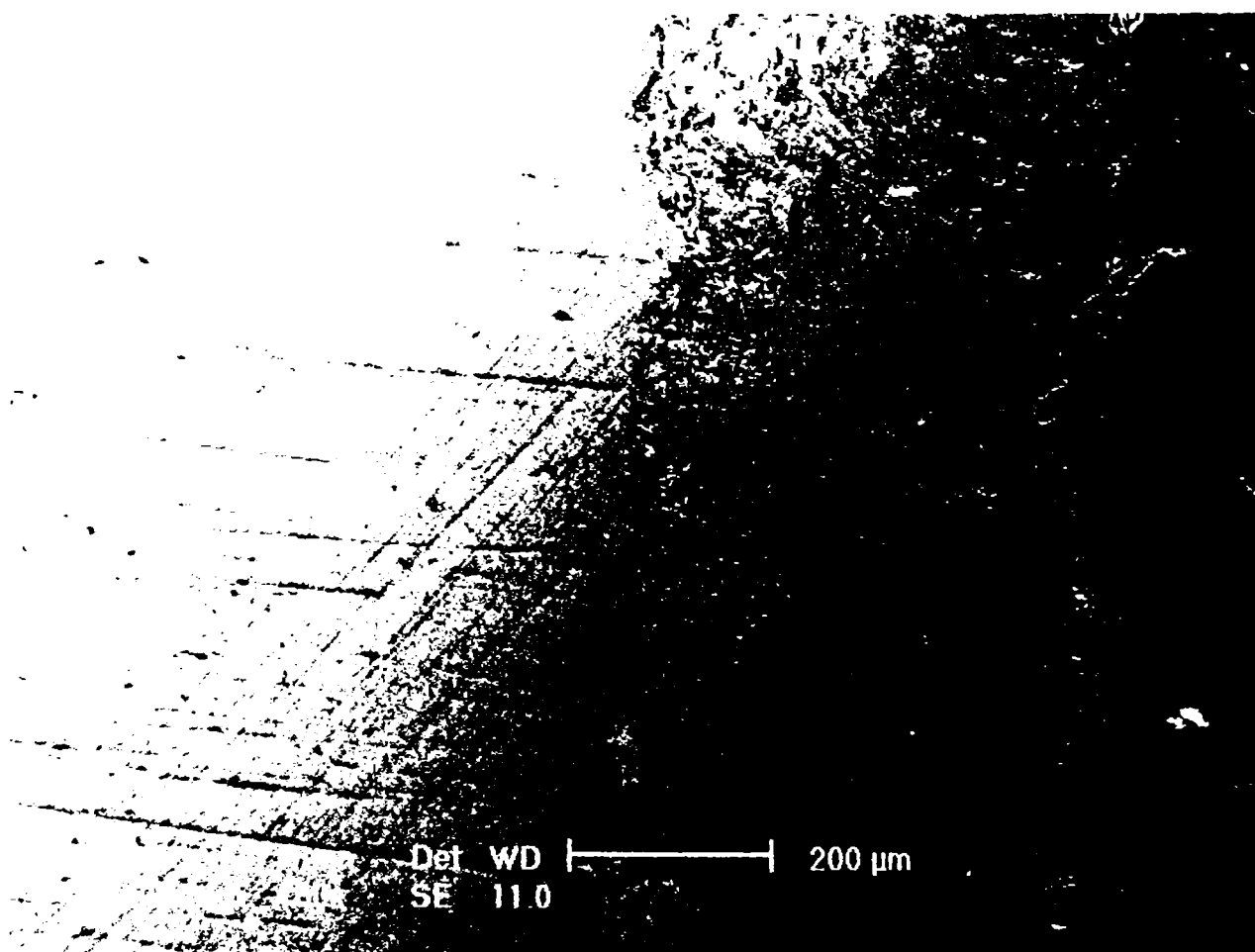
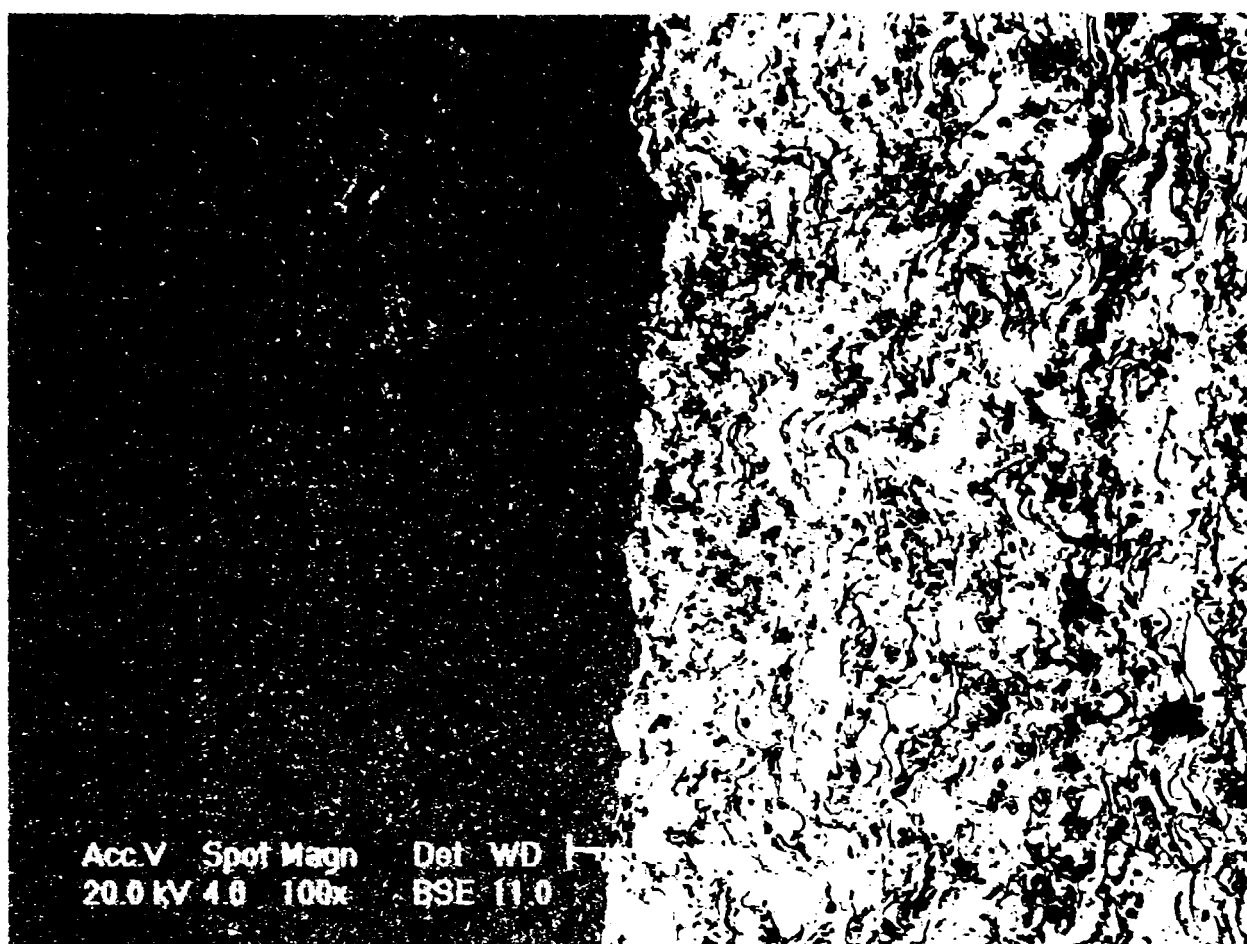


Fig. A 1.8. Imagini microscopice ale probei P8, diverse mărimi.

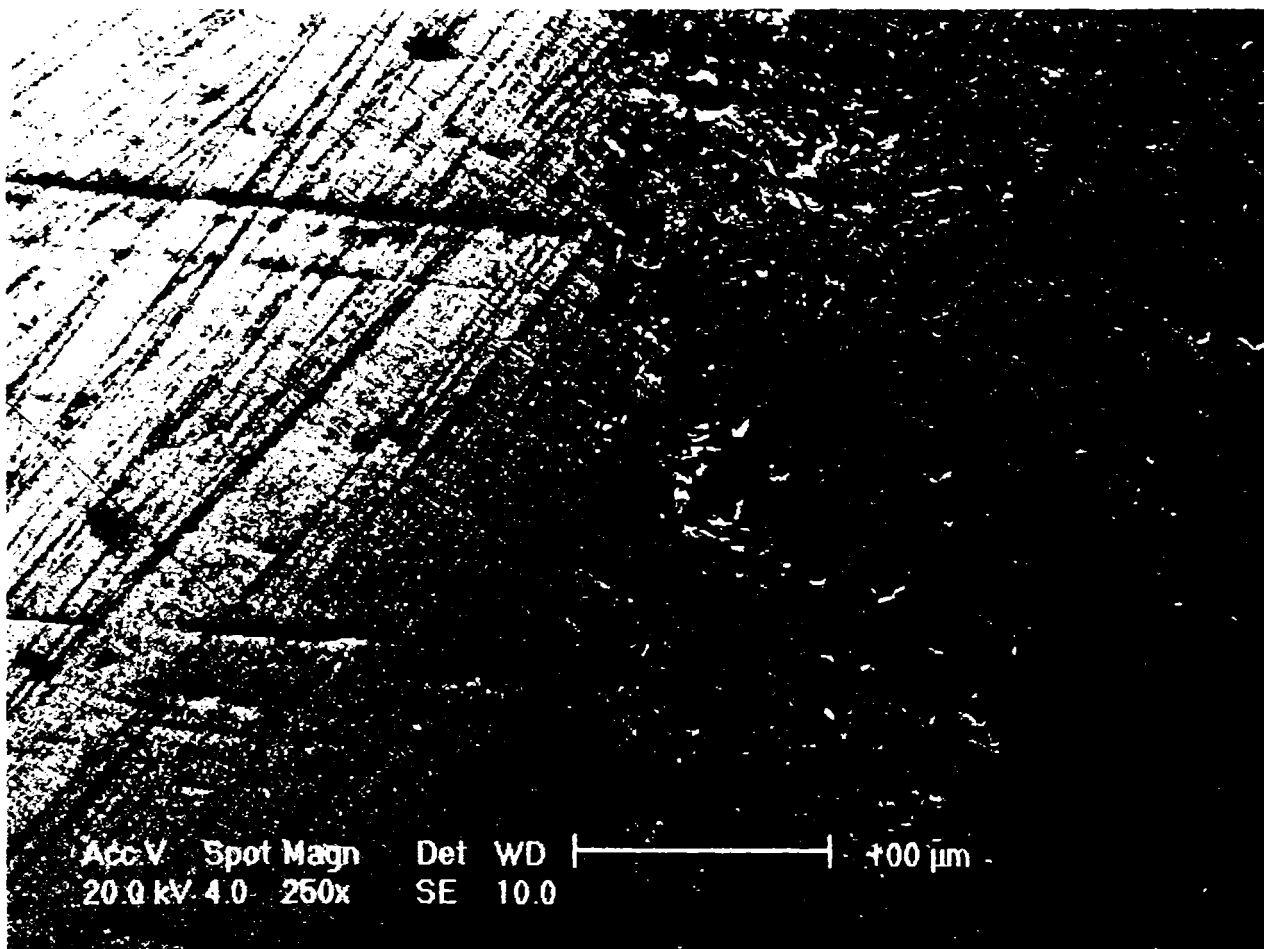
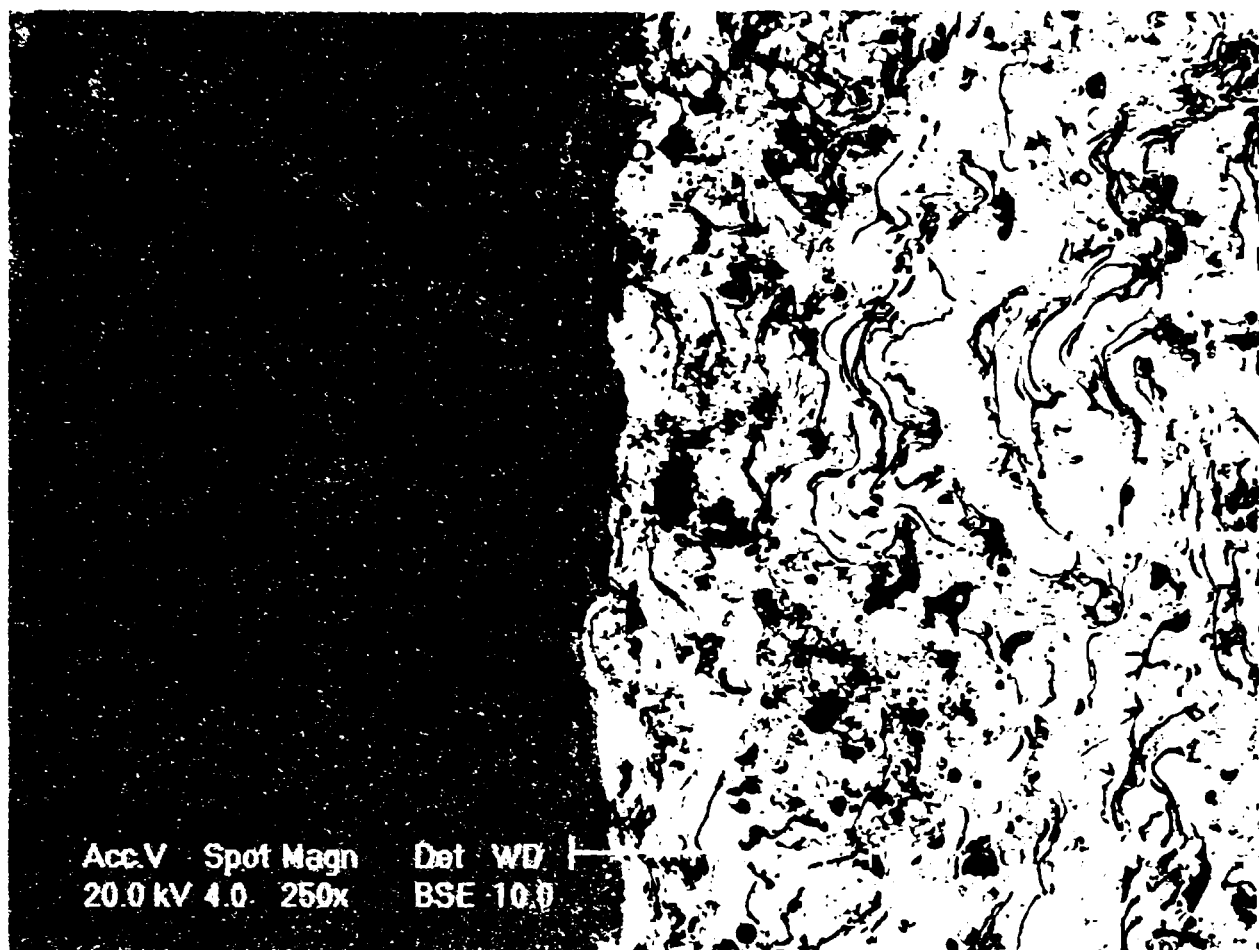


Fig. A 1.8. Imagini microscopice ale probei P8, diverse mărituri.

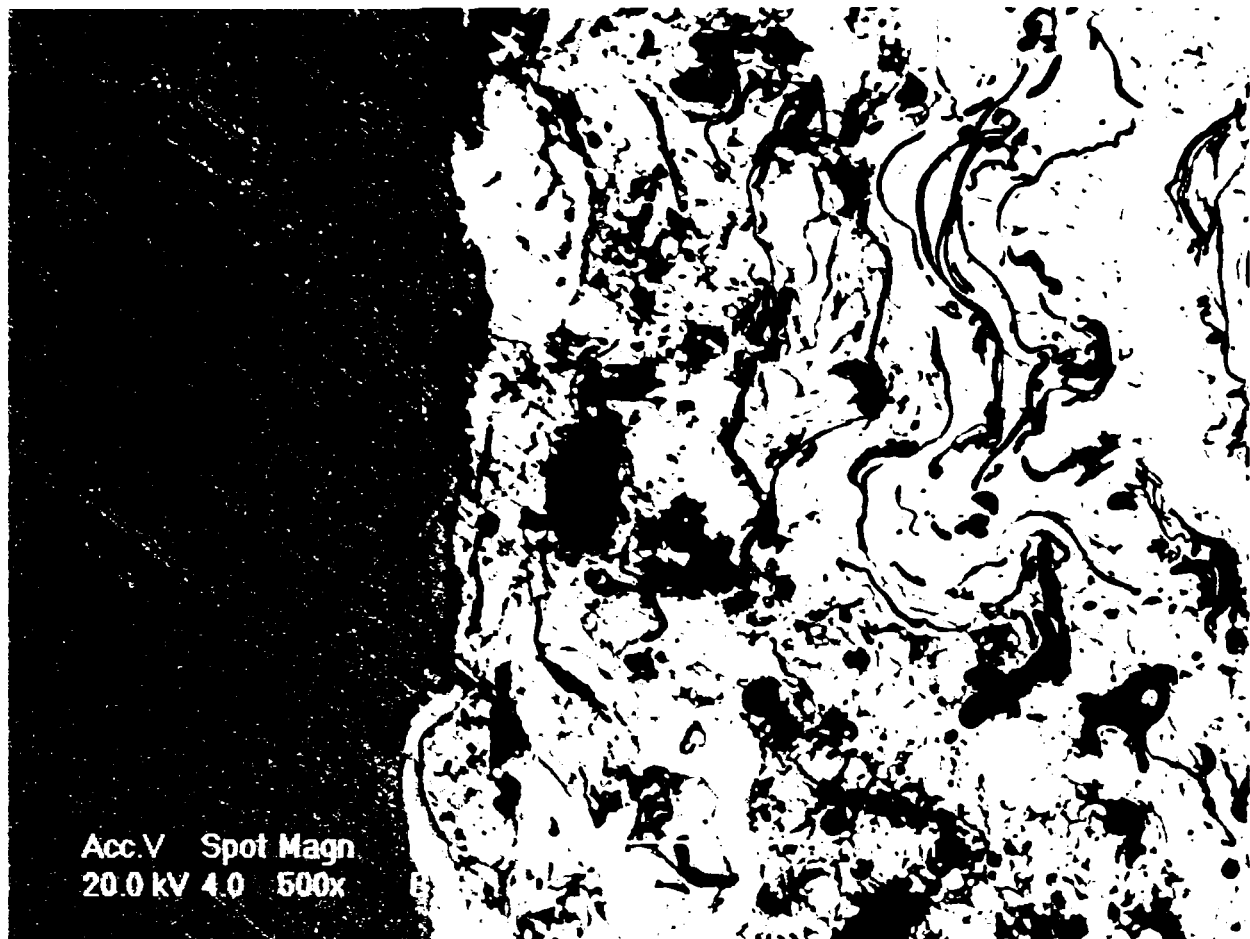
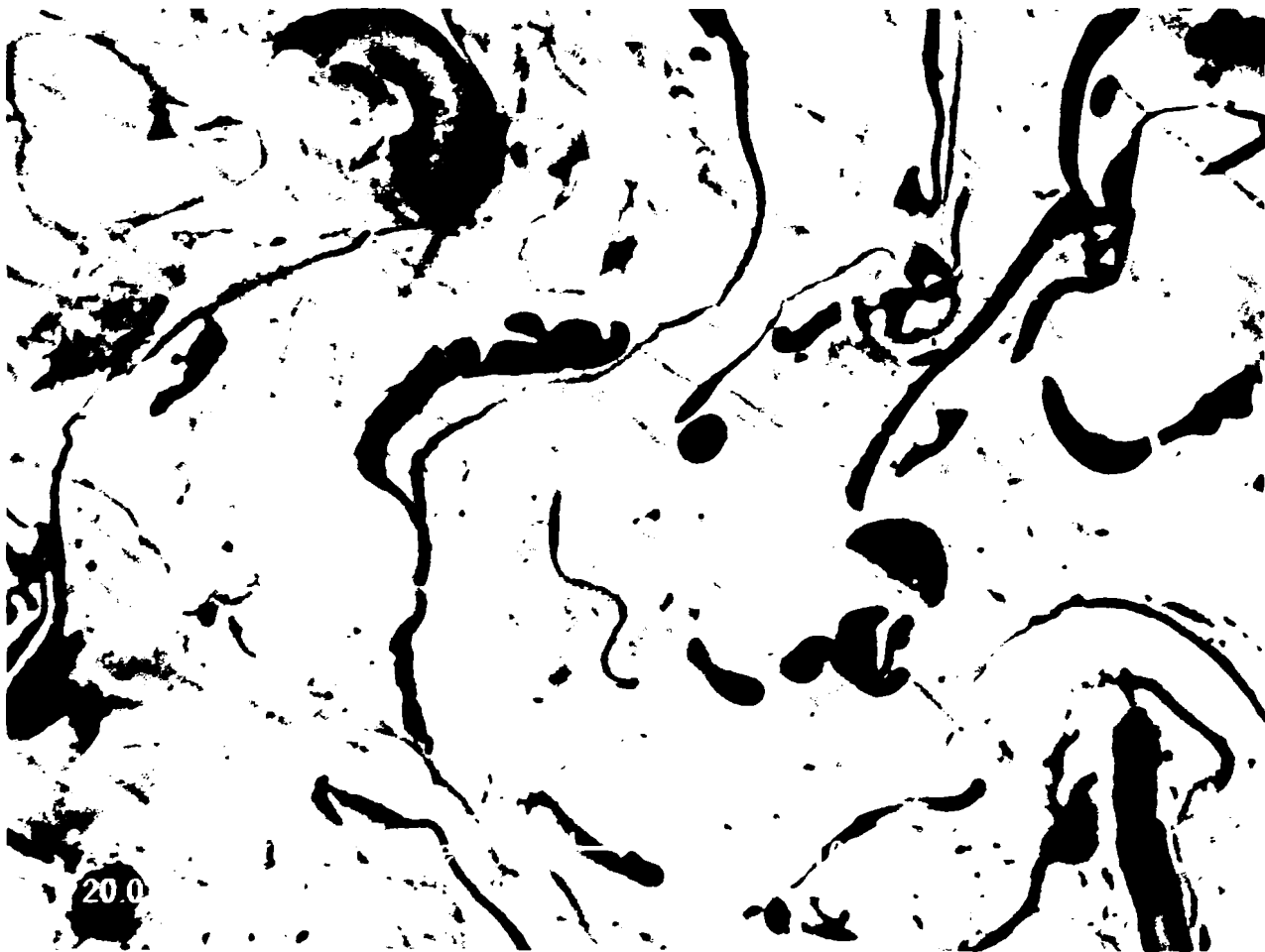
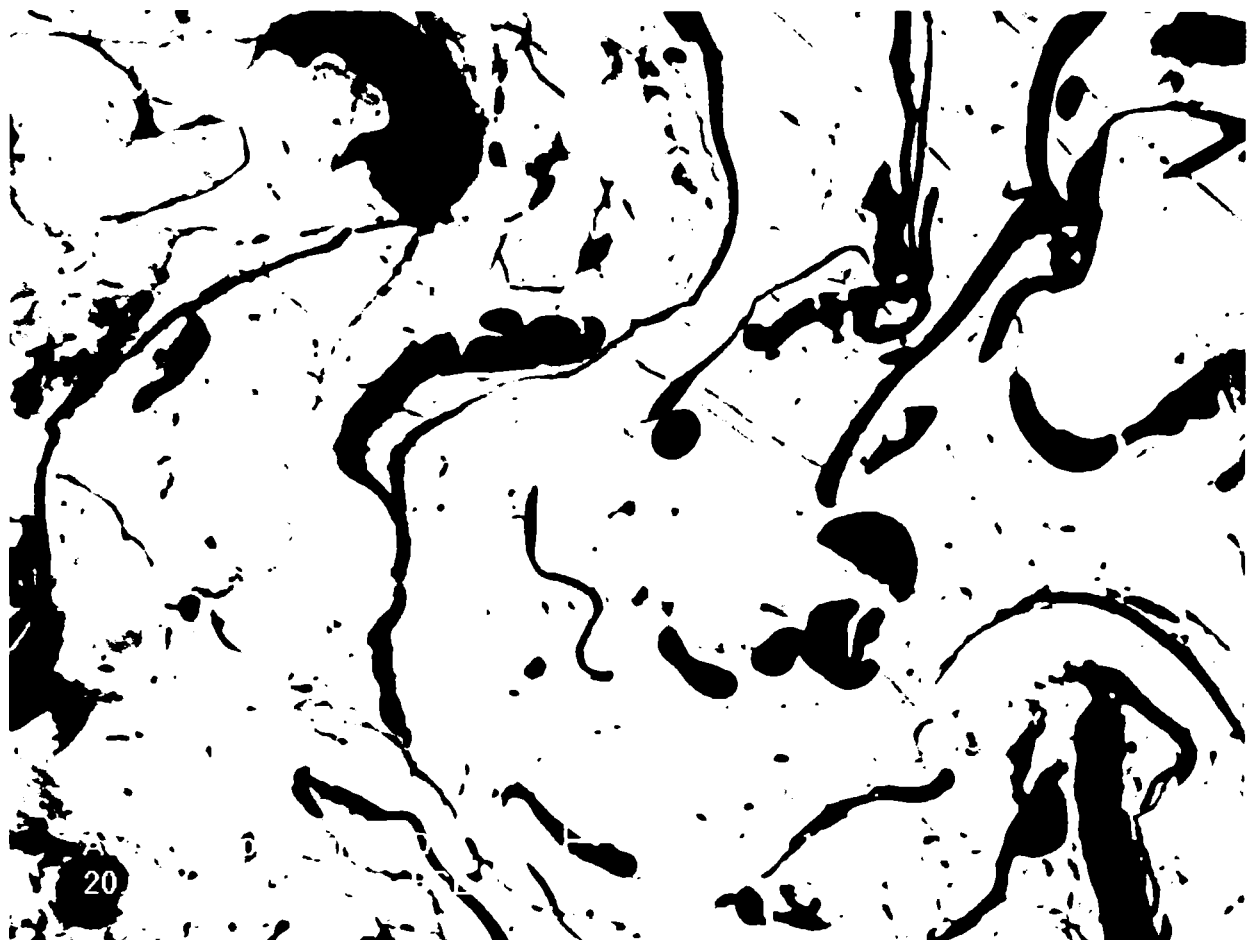


Fig. A 1.8. Imagini microscopice ale probei P8, diverse mărituri.



Anexa 2. Aspectul suprafețelor după ruperea produsă la încercarea de aderență prin metoda lipirii



Fig. 121 Proba 1

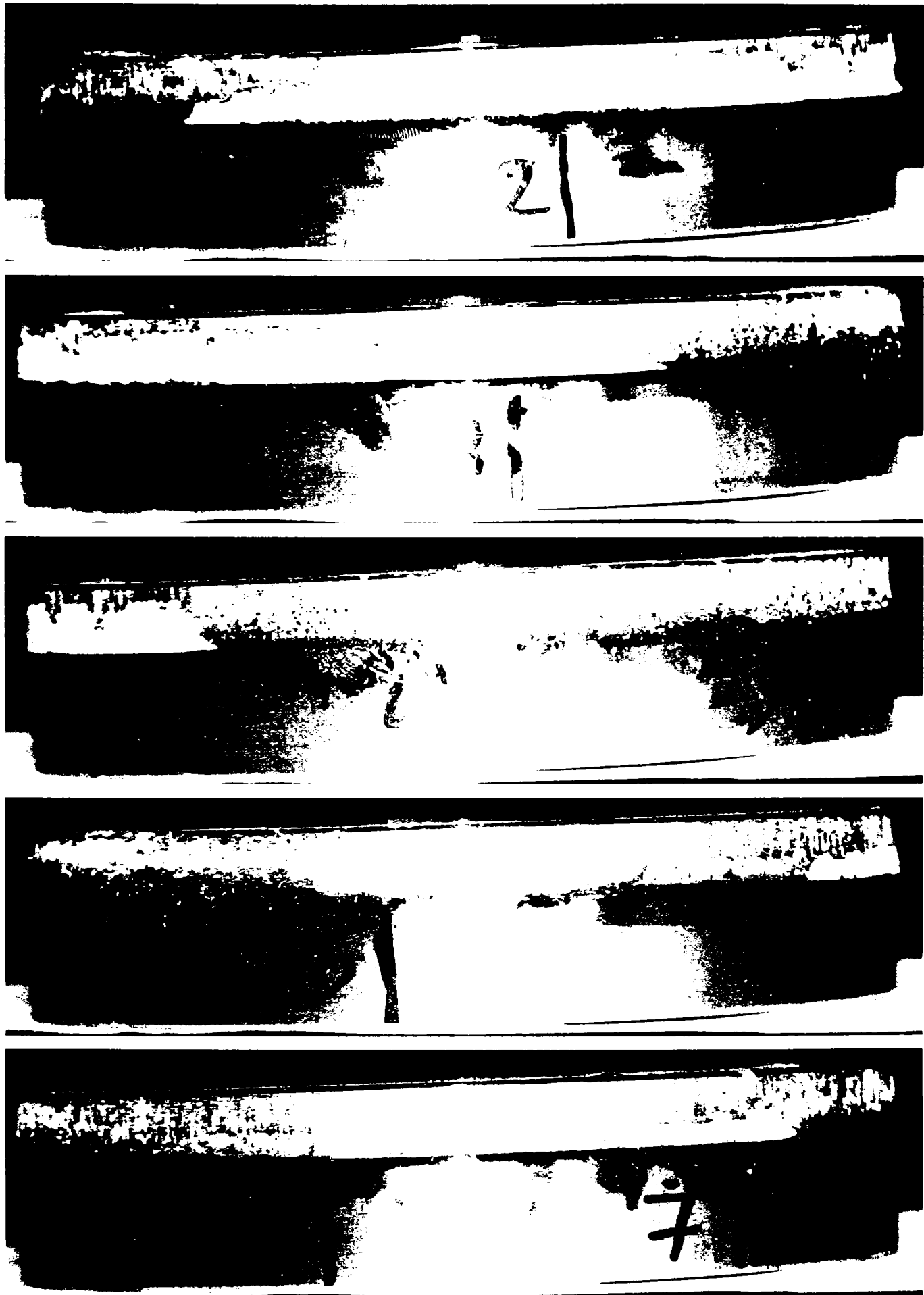


Fig. 12.2 Proba 2.

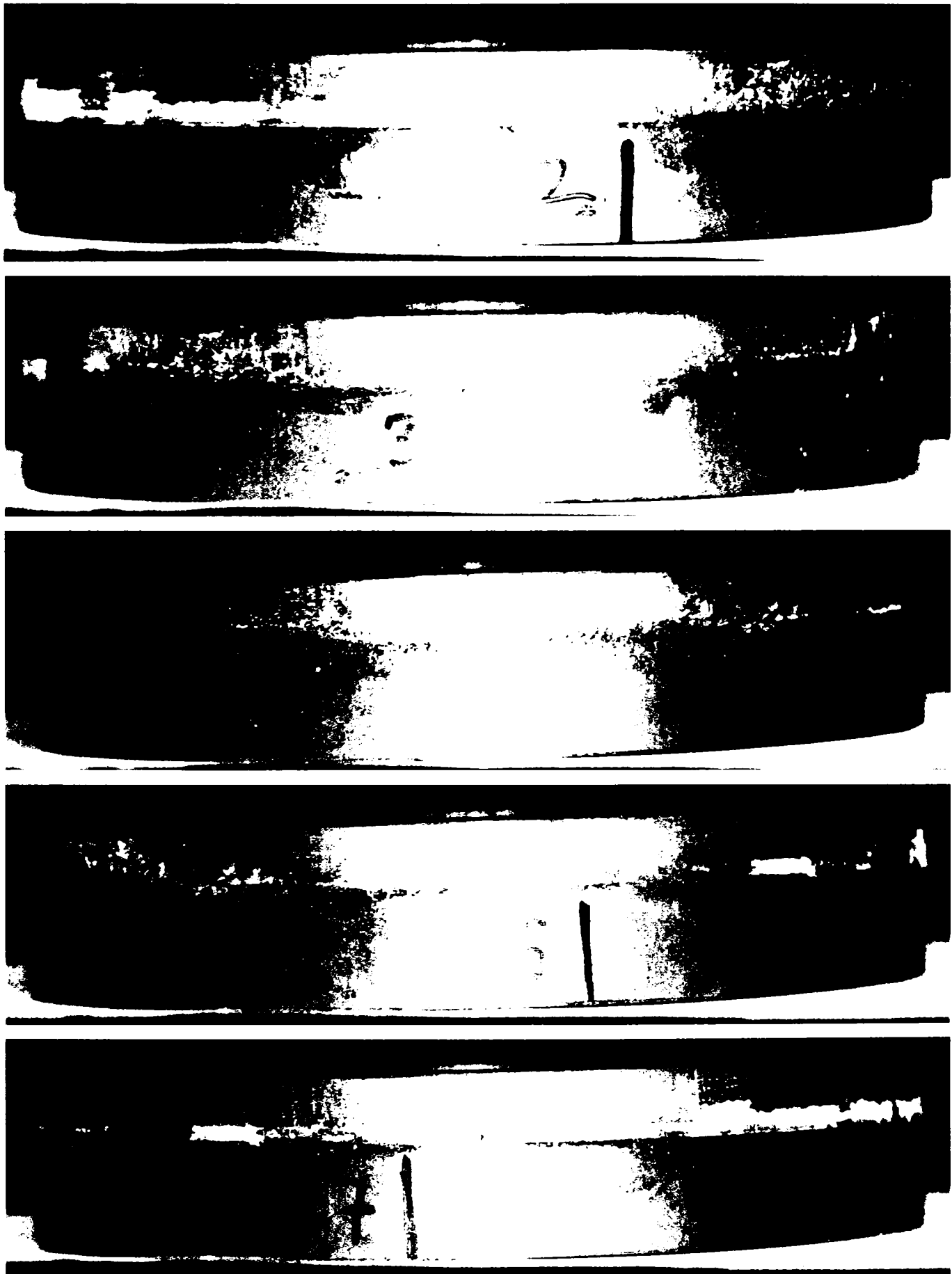


Fig. 1.2.3. Proba 3

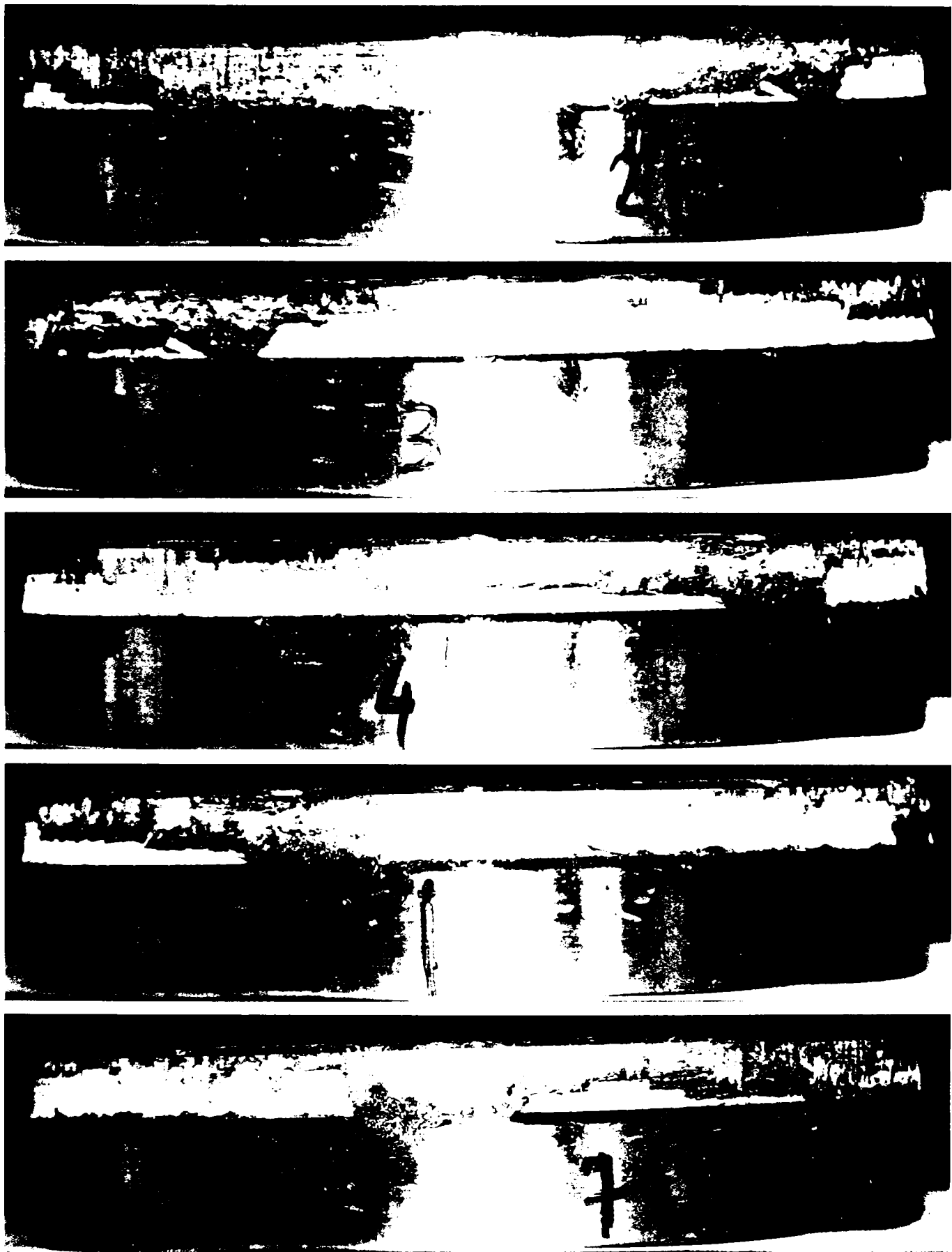


Fig. A2.4 Proba 4

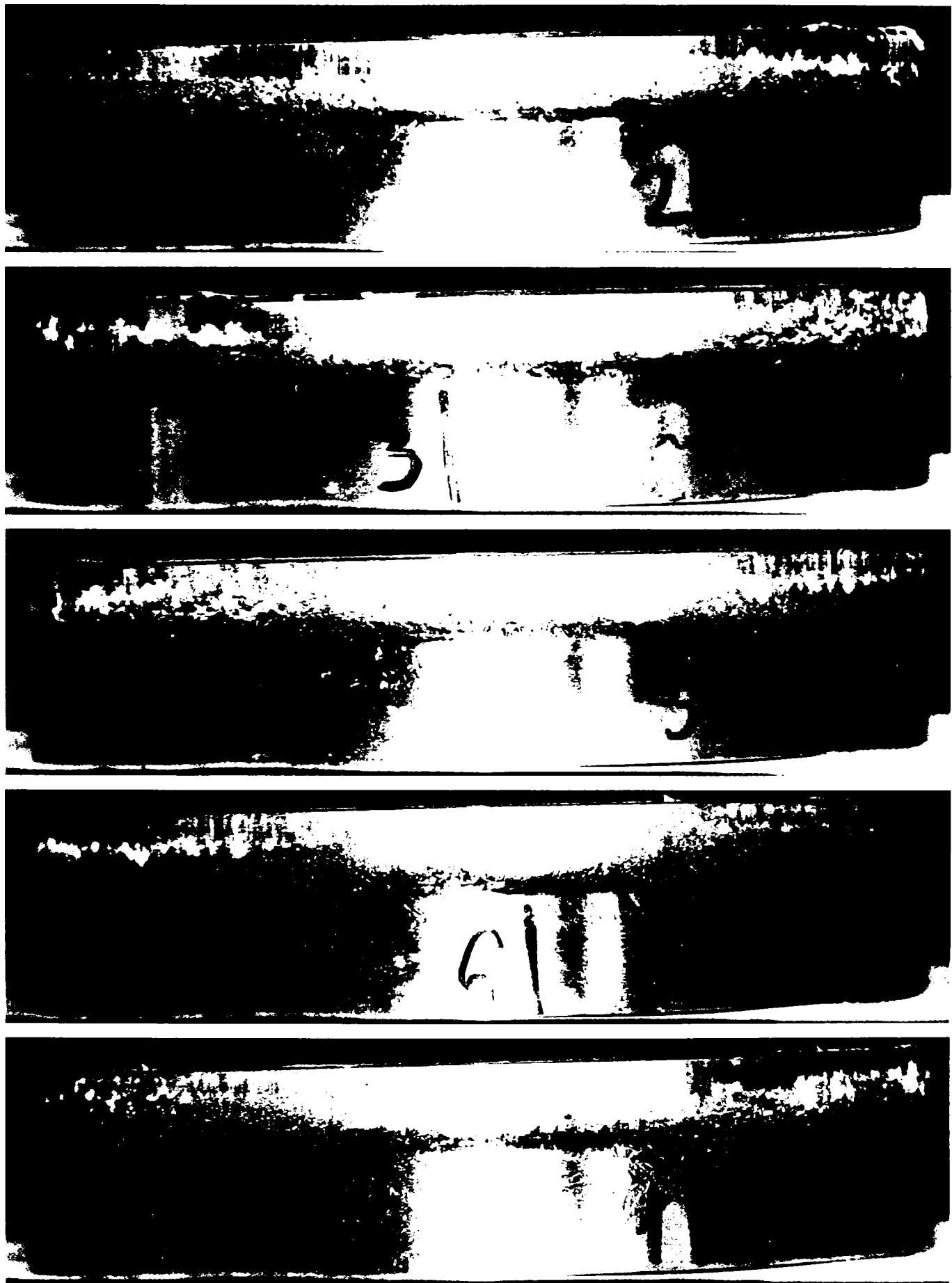


Fig. 12.5. Proba 5



Fig. A2.6. Proba 6



Fig. 127 Proba



Fig. 128. Proba 8