

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII OȚELURILOR DESTINATE FABRICĂRII COMPONENTELOR MATERIALULUI RULANT

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR
de către

Ing. Constantin Andronache

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Teodor Hepuț
Prof.univ.dr.ing. Maria Nicolae
C.S.P.I dr.ing. Doru Romulus Pascu
Prof.univ.dr.ing. Victor Budău

Ziua susținerii tezei: 07.06.2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

În prezent tendințele de transport pe calea ferată la nivel european și mondial sunt: creșterea vitezelor de circulație, creșterea sarcinilor pe osie și implicit a tonajelor trenurilor asociată cu introducerea unor măsuri de detectare a defectelor aparatului de rulare în circulație și reducerea zgomotului produs la rularea roților pe șine. Ca urmare a acestor cerințe, se impune creșterea calității materiei prime necesară fabricării componentelor de material rulant, respectiv a oțelului

Având în vedere cele prezentate mai sus, cercetările efectuate au fost orientate spre îmbunătățirea caracteristicilor calitative a oțelului turnat sub formă de lingouri, prin intermediul dirijării procesului de solidificare, ca urmare a adaosului în oțel în timpul umplerii lingotierei a microrăcitorilor.

Cu ocazia definitivării lucrării doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care m-au îndrumat, m-au sprijinit și mi-au împărtășit cunoștințele profesionale.

Realizarea prezentei lucrări ar fi fost imposibilă fără îndrumarea atentă și de înalt nivel științific a domnului Prof.dr.ing. Teodor Heput, motiv pentru care autorul îi adresează calde mulțumiri și întreaga sa recunoștință.

Doresc să mulțumesc doamnelor Conf.dr.ing.Vîlceanu Lucia, Conf.dr.ing. Socalici Ana Virginia, și Conf.dr.ing Ardelean Erika Diana pentru susținerea și înțelegerea acordată. Sugestiile și discuțiile cu acest colectiv de îndrumare au condus la îmbunătățirea permanentă a redactării lucrării și la elaborarea de articole științifice, în vedere publicarea acestora în reviste de specialitate și în volumele sesiunilor de comunicări științifice naționale și internaționale.

De asemenea, mulțumesc pe această cale domnului Prof.univ.dr. Maksay Stefan pentru sprijinul acordat privind prelucrarea datelor obținute în fază de laborator, precum și pentru sfaturile oferite anterior, și pe parcursul elaborării prezentei lucrări.

Mulțumesc tuturor specialiștilor și colaboratorilor mei din cadrul SC SMR SA Balș din secțiile Oțelărie și Forjă, în special domnului dr.ing.Smaranda Emilian, precum și celor din cadrul Atelierele de proiectare și Laboratoare care mi-au fost alături ori de câte ori le-am cerut ajutorul.

Aduc mulțumiri și celorlalte cadre didactice din Departamentul de Inginerie și Management al Facultății de Inginerie din Hunedoara pentru asigurarea cadrului propice creat în vederea finalizării cu succes a lucrării și în final mulțumesc familiei mele că m-a susținut și încurajat pe parcursul acestui proiect.

Timișoara, mai 2013

Constantin ANDRONACHE

Andronache, Constantin

Cercetări privind îmbunătățirea calității oțelurilor destinate fabricării componentelor materialului rulant

Teze de doctorat ale UPT, Seria 11, Nr. 37, Editura Politehnica, 2013, 174 pagini, 106 figuri, 16 tabele.

Cuvinte cheie: oțel lichid, turnare, microrăcitori, forjare, caracteristici mecanice, calitate, roti monobloc.

Rezumat,

Scopul tezei de doctorat constă în îmbunătățirea calității oțelului elaborat în cuptoare electrice cu arc, și turnate sub formă de lingouri cu secțiune circulară, destinate fabricării componentelor materialului rulant, respectiv roților monobloc de cale ferată.

Pentru îmbunătățirea calității oțelului, s-a cercetat și experimentat soluția de dirijare a procesului de solidificare, prin intermediul adaosului de microrăcitori în oțelul lichid din lingotieră. În prima parte a cercetărilor s-au efectuat experimentări în fază de laborator, utilizând pentru elaborarea oțelului un cuptor cu inducție de capacitate 10 kg, iar pentru turnare, lingotiere cu secțiune circulară, de capacitate 2kg și confecționate din grafit. Din lingourile turnate, atât cu microrăcitori, cât și fără microrăcitori, s-au prelevat probe pentru determinarea caracteristicilor mecanice și compoziția chimică. În cadrul experimentărilor s-a avut în vedere utilizare microrăcitor de diferite granulații și diferite adaosuri specifice. Rezultatele obținute la determinarea caracteristicilor mecanice și compoziției chimice, precum și cele referitoare la granulația și adaosul specific de microrăcitori, au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB. În vederea obținerii unor ecuații de corelație simplă și respective multiplă între parametrii dependenți (caracteristicile mecanice) și independenți (elementele din compoziția chimică, granulația microrăcitorilor și adaosul specific al acestora). Rezultatele au fost analizate din punct de vedere matematic și tehnologic.

În partea a doua a cercetărilor s-au făcut experimentări industriale pentru verificarea rezultatelor obținute în fază de laborator. Oțelul a fost elaborat în cuptoare de capacitate 50 t și turnat sub formă de lingouri (4,5t/lingou). Pe baza rezultatelor industriale s-au stabilit parametrii turnării, pe baza cărora se confirmă valabilitatea cercetării efectuate.

CUPRINS

	Pag.
Listă de tabele	7
Listă de figuri	8
1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR	11
1.1. Scopul cercetării	11
1.2. Obiectivele cercetării	11
1.3. Strategia de cercetare	12
2. STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIILOR DE FABRICAȚIE A ROȘILOR MONOBLOC DE CALE FERATĂ	13
2.1. Considerații generale	13
2.2. Tehnologii de producere a roșilor de cale ferată	14
2.3. Concluzii	24
3. INFLUENȚA FACTORILOR TEHNOLOGICI DE FABRICAȚIE ASUPRA CALITĂȚII OȘELULUI DESTINAT FABRICĂRII COMPONENTELOR DE MATERIAL RULANT	27
3.1. Normele de fabricație a roșilor de cale ferată	27
3.2. Procesul tehnologic de elaborare a oșelului	32
3.2.1. Ajustarea cuptorului	32
3.2.2. Încăcătura și încăcărea cuptorului	32
3.2.3. Topirea încăcăturii	38
3.2.4. Oxidarea	40
3.2.4.1. Oxidarea manganului, siliciului, fosforului	40
3.2.4.2. Oxidarea carbonului	42
3.2.5. Dezoxidarea	43
3.2.6. Corecția compoziției chimice	45
3.2.7. Evacuarea șarjei	46
3.2.8. Procesarea oșelului lichid în oala de turnare	46
3.3. Procesul tehnologic de turnare și solidificare a oșelului	48
3.3.1. Turnarea oșelului	48
3.3.2. Solidificarea lingoului de oșel	50
3.4. Considerații privind dirijarea solidificării lingourilor din oșel	53
3.5. Contribuții privind modelarea solidificării lingourilor în cazul utilizării de microrăcitori	59
3.6. Procesul de deformare plastică la cald a roșilor monobloc	63
3.7. Concluzii	67
4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN FAZĂ DE LABORATOR. PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR	69
4.1. Prezentarea cadrului experimental	69
4.2. Experimentări, prelucrarea datelor și rezultate	70

4.2.1. Prezentarea experimentărilor	70
4.2.2. Rezultate la prelucrarea datelor în programul EXCEL	74
4.2.2.1. <i>Influența compoziției chimice a oțelului asupra caracteristicilor mecanice</i>	74
4.2.2.2. <i>Influența microrăcitorilor asupra caracteristicilor mecanice ...</i>	87
4.2.2.3. <i>Analiza tehnologică. Concluzii</i>	89
4.2.3. Rezultate la prelucrarea datelor în programul Matlab	90
4.2.3.1. <i>Influența adaosului de microrăcitori la turnarea oțelului asupra caracteristicilor mecanice</i>	90
4.2.3.2. <i>Analiza tehnologică. Concluzii</i>	111
5. VERIFICAREA INDUSTRIALĂ A REZULTATELOR CERCETĂRII	113
5.1. Elaborarea oțelului în condiții industriale	113
5.2. Rezultate obținute	117
5.3. Analiza tehnologică. Concluzii	127
6. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRIILOR	129
6.1. Concluzii finale	129
6.2. Contribuții originale	130
6.3. Direcții de continuare a cercetărilor	131
DISEMINAREA REZULTATELOR	132
Bibliografie	133
Anexe	139
Anexa 1	141
Anexa 2	142
Anexa 3	158
Anexa 4	159
Anexa 5	160
Anexa 6	161
Anexa 7	164
Anexa 8	165
Anexa 9	166
Anexa 10	167
Anexa 11	168
Anexa 12	169

Listă de tabele

Tabelul 3.1. Compoziția chimică pe produs la SC SMR SA Balș [2]	pag. 17
Tabelul 4.1. Compoziția chimică medie și limitele de variație	88
Tabelul 4.2. Valorile medii pentru caracteristicile mecanice și limitele de variație	88
Tabelul 5.1. Structura încărcăturii metalice	113
Tabelul 5.2. Structura încărcăturii nemetalice (a adaosurilor)	114
Tabelul 5.3. Compoziția chimică a oțelului la topire	114
Tabelul 5.4. Compoziția chimică a oțelului la afinare	114
Tabelul 5.5. Compoziția chimică a oțelului la evacuare	115
Tabelul 5.6. Temperatura oțelului și durata evacuării	115
Tabelul 5.7. Durata tratamentului secundar în instalația L.F și V.D	115
Tabelul 5.8. Compoziția chimică a șarjelor elaborate	116
Tabelul 5.9. Schema turnării cu microrăcitori la șarje industriale	117
Tabelul 5.10. Caracteristicile lingourilor experimentale	118
Tabelul 5.11. Compoziția chimică a oțelului pentru lingourile experimentale și de referință	121
Tabelul 5.12. Gradul de segregare	121
Tabelul 5.13. Rezultate experimentale	123

Listă de figuri

	pag.
Fig.2.1. Osia montată echipată	14
Fig.2.2. Părți funcționale ale unei roți de cale ferată [2]	14
Fig.2.3. Aspecte din timpul procesării roților monobloc prin procedeul ACT	15
Fig.2.4. Producerea roților monobloc la JSC „Interpipe NTRP” Ucraina [7]	17
Fig.2.5. Producerea roților monobloc la Bochumer -Verein, Germania [18]	17
Fig. 2.6. Fluxul tehnologic de producere a roților monobloc de cale ferată [7]	18
Fig. 2.7. Schema tehnologică de fabricație a roților la SC SMR SA Balș [4]	19
Fig.2.8. Cuptor electric cu arc, capacitate 50 tone	20
Fig.2.9. Instalație de vidare tip VD [19]	21
Fig.2.10. Turnarea oțelului în lingouri de formă cilindrică [19]	21
Fig.2.11. Laborator de determinare caracteristici calitative [19]	22
Fig.2.12. Crestarea lingourilor în calupuri destinați fabricației roților monobloc	22
Fig.2.13. Forjarea semifabricatelor	23
Fig.2.14.Prelucrarea roților monobloc pe strunguri CARUSEL cu comandă numerică	23
Fig.2.15. Roți monobloc de cale ferată	24
Fig.3.1. Modul de prelevare a epruvetelor pentru încercări mecanice de rezistență [22]	28
Fig.3.2. Măsurări ale durității realizate într-o secțiune radială a obadei [22]	29
Fig.3.3. Amprentă [12]	30
Fig.3.4. Poziție de prelevare micrografică [22]	30
Fig.3.5. Epruvete prelevată din obadă [22]	31
Fig.3.6. Fluxul tehnologic de elaborare a oțelului	32
Fig.3.7. Structura încărcăturii metalice pentru bena I	33
Fig.3.8. Structura încărcăturii metalice pentru bena II	34
Fig.3.9. Structura încărcăturii metalice din cuptor (bena I+II)	34
Fig. 3.10.Consumurile specifice ale componentelor metalice	35
Fig.3.11. Componenta încărcăturii	35
Fig.3.12. Structura încărcăturii secundare	37
Fig.3.13. Consumuri specifice de materiale secundare	38
Fig.3.14. Componenta încărcăturii secundare	38
Fig.3.15. Structura duratei șarjei pentru elaborarea în cuptor	39
Fig.3.16. Structura duratei topirii/dezoxidării șarjei	39
Fig.3.17. Sistemul multifazic [23]	44
Fig.3.18. Instalația de tratament secundar al oțelului tip LF [35]	47
Fig.3.19 Compoziția chimică (C, Mn, Si) a oțelului	48
Fig.3.20 Compoziția chimică (P, S, Cr, Ni, Cu) a oțelului	48
Fig.3.21. Fig. Schema acțiunii stratului de zgură [36]	49
Fig.3.22. Prezentarea schematică a unui lingou în curs de solidificare [65]	52
Fig.3.23. Modificarea structurii cristaline în funcție de intensitatea răcirii [29]	54
Fig.3.24. Schema formării zonei bifazice [41]	56
Fig.3.25. Variația cantității de fază solidă în funcție de timp, pentru diverse cantități de microrăcitori [45]	58
Fig.3.26. Variația vitezei de solidificare în funcție de timp, pentru diverse cantități de microrăcitori [45]	59

Fig.3.27. Nomogramă pentru determinarea temperaturii oțelului după introducerea microrăcitorilor	62
Fig.3.28. Schema procesului de deformare a roților monobloc [4]	64
Fig.3.29. Procesul de deformare și construcția matriței închise [4]	66
Fig.4.1. Cuptor cu inducție, capacitate 10kg	70
Fig.4.2. Imersia amestecului reducător pentru formarea zgurii sintetice	71
Fig.4.3. Măsurarea temperaturii băii metalice	71
Fig.4.4. Microrăcitori	73
Fig.4.5. Schema modului de adăugare a microrăcitorilor în lingotieră în timpul umplerii cu oțel	73
Fig.4.6. Aspectele din timpul experimentărilor în fază de laborator	73
Fig.4.7. Microstructura probei	74
Fig.4.8. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de carbon al oțelului	75
Fig.4.9. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de mangan al oțelului	76
Fig.4.10. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de siliciu al oțelului	76
Fig.4.11. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de fosfor al oțelului	77
Fig.4.12. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de sulf al oțelului	77
Fig.4.13. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de carbon al oțelului	78
Fig.4.14. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de mangan al oțelului	78
Fig.4.15. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de siliciu al oțelului	79
Fig.4.16. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de fosfor al oțelului	79
Fig.4.17. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de sulf al oțelului	80
Fig.4.18. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului	80
Fig.4.19. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de siliciu al oțelului	81
Fig.4.20. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de fosfor al oțelului	81
Fig.4.21. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de sulf al oțelului	82
Fig.4.22. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului	82
Fig.4.23. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului	83
Fig.4.24. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de fosfor al oțelului	83
Fig.4.25. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de sulf al oțelului	84
Fig.4.26. Variația alungirii în funcție de conținutul de carbon al oțelului	84
Fig.4.27. Variația alungirii în funcție de conținutul de siliciu al oțelului	85
Fig.4.28. Variația alungirii în funcție de conținutul de fosfor al oțelului	85
Fig.4.29. Variația alungirii în funcție de conținutul de sulf al oțelului	86

Fig.4.30. Variația limitei de curgere în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)	87
Fig.4.31. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)	87
Fig.4.32. Variația energiei de rupere (KU+20°C) în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)	88
Fig.4.33. Variația energiei de rupere (KV-20°C) în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)	88
Fig.4.34. Variația alungirii în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)	89
Fig.4.35. Suprafața de regresie de gradul 1 - $R_{p0,2}=f(q,d)$	91
Fig.4.36. Suprafața de regresie de gradul 2 - $R_{p0,2}=f(q,d)$	92
Fig.4.37. Suprafața de regresie de gradul 3 - $R_{p0,2}=f(q,d)$	93
Fig.4.38. Suprafața de regresie de gradul 4 - $R_{p0,2}=f(q,d)$	94
Fig.4.39. Suprafața de regresie de gradul 1 - $R_m=f(q,d)$	95
Fig.4.40. Suprafața de regresie de gradul 2 - $R_m=f(q,d)$	96
Fig.4.41. Suprafața de regresie de gradul 3 - $R_m=f(q,d)$	97
Fig.4.42. Suprafața de regresie de gradul 4 - $R_m=f(q,d)$	98
Fig.4.43. Suprafața de regresie de gradul 1 - $KU_{+20}=f(q,d)$	99
Fig.4.44. Suprafața de regresie de gradul 2 - $KU_{+20}=f(q,d)$	100
Fig.4.45. Suprafața de regresie de gradul 3 - $KU_{+20}=f(q,d)$	101
Fig.4.46. Suprafața de regresie de gradul 4 - $KU_{+20}=f(q,d)$	102
Fig.4.47. Suprafața de regresie de gradul 1 - $KV_{-20}=f(q,d)$	103
Fig.4.48. Suprafața de regresie de gradul 2 - $KV_{-20}=f(q,d)$	104
Fig.4.49. Suprafața de regresie de gradul 3 - $KV_{-20}=f(q,d)$	105
Fig.4.50. Suprafața de regresie de gradul 4 - $KV_{-20}=f(q,d)$	106
Fig. 4.51. Suprafața de regresie de gradul 1 - $A=f(q,d)$	107
Fig.4.52. Suprafața de regresie de gradul 2 - $A=f(q,d)$	108
Fig.4.53. Suprafața de regresie de gradul 3 - $A=f(q,d)$	109
Fig.4.54. Suprafața de regresie de gradul 4 - $A=f(q,d)$	110
Fig.5.1. Schema de prelevare a șaibelor (1-5)	119
Fig.5.2. Schema prelevării probelor pentru analiza neomogenităților chimice	120
Fig.5.3. Prelevarea probelor pentru determinarea purității	122
Fig.5.4. Limita de curgere în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)	124
Fig.5.5. Rezistența la tracțiune în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)	125
Fig.5.6. Alungirea în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)	125
Fig.5.7. Energia de rupere KU (+20 C⁰) în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)	126
Fig.5.8. Energia de rupere KV (-20 C⁰) în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)	126

1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR

Teza de doctorat reprezintă o contribuție în domeniul turnării și solidificării oțelului destinat fabricării roților monobloc de cale ferată. Cercetarea are un caracter tehnic iar rezultatele și concluziile cuprinse în lucrare pot răspunde la problemele specifice ale oțelului lingou, turnat în lingotiere cilindrice netede și folosirea lui ca semifabricat, compatibil fabricării de roți monobloc, în condițiile de calitate a acestora, impuse de normele de fabricație.

Prin cercetările și experimentările propuse se urmărește în principal determinarea caracteristicilor specifice ale lingoului și optimizarea acestora în vederea satisfacerii cerințelor de calitate impuse produselor (roți monobloc).

1.1. Scopul cercetării

Teza de doctorat și-a propus abordarea a 3 direcții de cercetare:

- dirijarea solidificării lingourilor de oțel prin adaosul de microrăcitori sub formă de granule la turnarea oțelului în lingotierele cilindrice;
- optimizarea caracteristicilor calitative ale semifabricatelor obținute din lingourile experimentale;
- modelarea matematică referitoare la determinarea intervalelor optime de variație a parametrilor tehnologici de turnare a oțelului cu microrăcitori (d – diametrul microrăcitorilor, q – adaosul specific de microrăcitori).

Teza de doctorat are un pregnant caracter aplicativ, rezultatele obținute fiind destinate a se aplica în practica industrială la turnarea lingourilor cilindrice destinate fabricației roților monobloc.

1.2. Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării întreprinse derivă din cele trei direcții de cercetare definite de scopul cercetării.

În activitățile de cercetare efectuate s-au urmărit realizarea următoarelor obiective :

- analiza influenței unor factorii tehnologici de elaborare – turnare – solidificare lingou, asupra caracteristicilor calitative ale acestuia, pornind de la desfășurarea procesului de elaborare, tratare în stare lichidă, turnare și solidificare, după care s-a urmărit efectul adaosului de microrăcitori asupra caracteristicilor fizico – mecanice și de exploatare ale roților realizate;
- stabilirea tehnologiei de turnare a oțelului în lingouri cu microrăcitori;
- obținerea în fază de laborator a lingourilor experimentale turnate cu microrăcitori;
- obținerea în fază industrială a lingourilor experimentale turnate cu microrăcitori și analiza comportării semifabricatului obținut în procesul de deformare plastică și caracteristicilor fizico – mecanice și de exploatare ale roților realizate din acestea.

Obiectivele cercetării:

- studiul influenței factorilor tehnologici de fabricație asupra calității oțelului destinat fabricării componentelor de material rulant (roți monobloc);
- efectuarea de cercetări în fază de laborator cu privire la dirijarea solidificării lingourilor de secțiune circulară;
- efectuarea de cercetări în fază industrială cu privire la dirijarea solidificării lingourilor de secțiune circulară de diametru 500mm.

Mod de lucru:

- documentare din literatura de specialitate;
- experimentări în fază de laborator;
- determinarea caracteristicilor calitative și prelucrarea datelor;
- analiza tehnologică a rezultatelor obținute;
- verificarea industrială a rezultatelor cercetării pe lingouri de 4,3 tone.

1.3. Strategia cercetării

Strategia de cercetare a constat în parcurgerea etapelor:

- studiu bibliografic, prelucrarea și evaluarea informațiilor obținute;
- cercetarea documentară cu privire la procesul de fabricare a roților monobloc de cale ferată;
- cercetări și experimentări în fază laborator;
- cercetări și experimentări industriale;
- contribuții originale

Prezenta teză este structurată pe 6 capitole.

În capitolul 1 se prezintă scopul și obiectivele cercetării respectiv modul de lucru.

În capitolul 2 sunt prezentate informațiile preluate din literatura de specialitate specifice referitoare la elaborarea și turnarea oțelului destinat fabricării roților monobloc de cale ferată.

În capitolul 3 s-a analizat influența factorilor tehnologici de fabricație asupra calității oțelului destinat fabricării componentelor de material rulant, un accent deosebit a fost acordat procesului de elaborare și turnare a oțelului.

În capitolul 4 am prezentat rezultatele experimentale privind turnarea oțelului cu microrăcitori în faza de laborator, precum și prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute

Pentru realizarea temei s-au elaborat și turnat oțel sub formă de lingouri cu și fără microrăcitori, pentru fiecare determinându-se compoziția chimică și caracteristicile mecanice. Prin prelucrarea datelor experimentale în programele de calcul EXCEL și MATLAB s-a urmărit obținerea unor ecuații de corelație între caracteristicile mecanice considerate parametri dependenți și parametri independenți, reprezentați prin elementele din compoziție chimică pe de o parte, iar pe de altă parte de diametrul mediu al microrăcitorilor (s-a considerat diametrul = lungimea microrăcitorului obținut din sârmă de oțel carbon) și de adaosul specific al acestora (g/kg).

Rezultatele obținute sunt analizate din punct de vedere matematic și tehnologic, pe baza acestora făcându-se aprecieri asupra cercetărilor efectuate.

În capitolul 5 se prezintă rezultatele obținute la verificarea industrială a cercetărilor efectuate în fază de laborator. Verificările au fost efectuate pe un număr de 3 șarje din care s-au turnat în total un număr de 28 lingouri experimentale și 8 de referință. Rezultatele obținute în cadrul verificărilor industriale confirmă valabilitatea cercetărilor efectuate în fază de laborator.

În capitolul 6 se prezintă concluziile finale privind cercetarea efectuată, contribuțiile originale și direcțiile viitoare de cercetare.

2. STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIILOR DE FABRICAȚIE A ROȚILOR MONOBLOC DE CALE FERATĂ

2.1. Considerații generale

Vehiculele de cale ferată se caracterizează prin faptul că se deplasează pe cele două șine prin intermediul roților, și se autoghidează, prin forțele de contact dintre roată și șină. Astfel roțile vehiculelor feroviare pe lângă cele trei funcțiuni pe care le au ca la alte mijloace de transport terestre, adică sprijinirea pe verticală a vehiculului, rularea și propulsia, respectiv frânarea, la materialul rulant de cale ferată au o funcție în plus, specifică, autoghidarea în interiorul celor două fire ale căii.

Aparatul de rulare și șinele de rulare fiind metalice, oferă posibilitatea ca vehiculele feroviare, să suporte sarcini mult mai mari decât la alte sisteme de transport terestre. Acest avantaj asociat cu autoghidarea, permite formarea trenurilor de mare tonaj conferind sistemului roată – șina, avantajul unei mari capacități de transport.

Tendențele de transport pe calea ferată la nivel european sunt: creșterea vitezelor de circulație, creșterea sarcinilor pe osie și implicit a tonajelor trenurilor asociată cu introducerea unor măsuri de detectare a defectelor aparatului de rulare în circulație și reducerea zgomotului produs la rularea roților pe șine.

Clasificarea osiilor montate ale vehiculelor feroviare este prevăzută în fișa UIC 813-0 /01.01.1989 - Specificația tehnică pentru furnitura de osii montate pentru materialul rulant motor și remorcat - toleranțe și montaj. Această clasificare este realizată în funcție de caracteristicile componentelor osiilor montate [1].

Osia montată echipată, prezentată în figura 2.1, este un ansamblu format din osia propriu-zisă pe care sunt asamblate prin presare la rece două roți, iar pe fusuri sunt montate rulmenți cu role cilindrice și cutiile de osie.

Roțile destinate transportului feroviar pot fi [2]:

- roată cu disc cu bandaj;
- roată cu spițe și cu bandaj;
- roată monobloc;
- roată elastică.

Părțile funcționale ale unei roți de cale ferată sunt prezentate în figura 2.2.

Roțile monobloc de cale ferată, se prelucrează la dimensiunile și toleranțele precizate în documentația de bază (constructivă) acceptată în prealabil de beneficiar și avizată. În condițiile din România este avizată de AFER [3].

Pentru roțile monobloc, conform NTF81-002:2004 [3]:

- documentele care prevăd caracteristicile de calitate – fișa UIC nr.812/3-1984, STF/1999, STAS 8824/1-1991, UIC 510-5/99, CS 1232/95;
- documentele care prevăd caracteristicile dimensionale și gradul de prelucrare – fișa UIC nr.811-2, UIC 515/84, STAS 1930/1991.

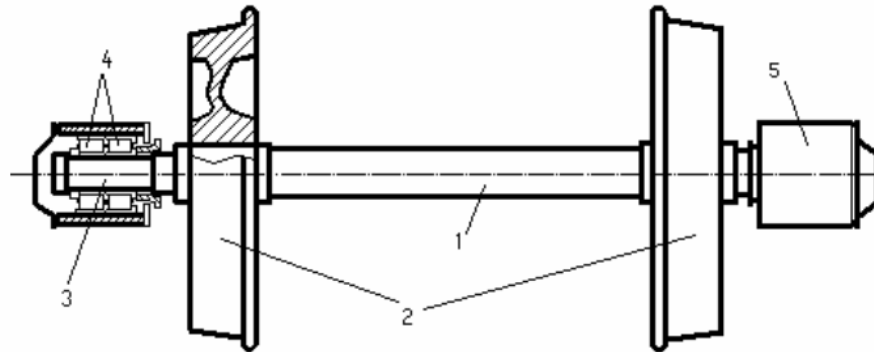


Fig.2.1. Osia montată echipată:

1 - osia propriu-zisă; 2 - roți; 3 - fusuri; 4 - rulmenți cu role cilindrice;
5 - cutiile de osie

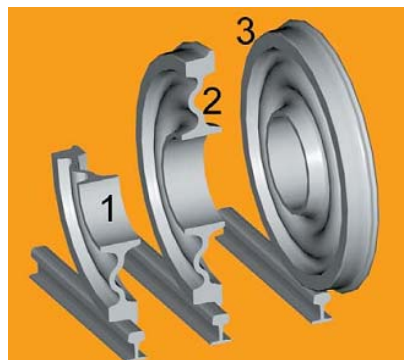


Fig.2.2. Părți funcționale ale unei roți de cale ferată [2]:

1 - butuc; 2 - membrană; 3 - obadă

Roțile monobloc de cale ferată, după procedeul de fabricație se clasifică în:

- roți monobloc turnate;
- roți monobloc matrițate;
- roți monobloc matrițat - laminate.

2.2. Tehnologiile de producere a roților monobloc de cale ferată

O perioadă foarte lungă de timp, în special în SUA, s-au utilizat roți turnate din fontă cu calea de rulare din fontă albă. La începutul anilor 1950, firmele "Griffin Wheel Co" și "Abex Co" din SUA, au trecut la producția industrială a roților turnate din oțel, și din anul 1960 ele alcătuiesc aproape jumătate din toate roțile utilizate în SUA [4-8].

Cel mai modern procedeu de turnare a roților de cale ferată din oțel se numește A.C.T. (Advanced Casting Tehnologie - figura 2.3). Prin acest procedeu se obțin roți cu bandajul gros, pretabil pentru reprofilări multiple și capabile să concureze roțile matrițat - laminate în ce privește durata în serviciu [5-8]. Prin acest

procedeu, se realizează roți cu diametre cuprinse între 810 mm ÷ 1020 mm și greutatea de la 270 kg la 520 kg, dimensiunile în stare brută sunt foarte precise, iar abaterile de la cota nominală nu depășesc 0,5 mm.



Fig.2.3. Aspecte din timpul procesării roților monobloc prin procedeul ACT

Roțile realizate prin matrițare, au o pondere foarte mică în balanța consumurilor de roți de cale ferată. Dimensiunile până la care sunt acceptate roțile matrițate, conform ultimelor proiecte de norme de fabricație, nu depășesc 360 mm în diametru, iar condițiile de exploatare sunt mai puțin severe ca de pildă: viteza maximă de circulație 80 km/h; declivități ale căii ferate max. 7%; sarcina maximă pe osie 16 tone [2].

Roțile monobloc matrițat - laminate au ponderea cea mai mare și sunt foarte diferite constructiv, deosebirile fiind legate de condițiile de exploatare a materialului rulant, de construcțiile de vagoane și locomotive, precum și de anumite tradiții care s-au format în timp la producerea osiilor montate și în funcționarea lor în transportul feroviar.

Dintre țările în care există uzine producătoare de roți monobloc amintim: Canada, SUA, Brazilia, Egipt, Ucraina, Rusia, Africa de Sud, Marea Britanie, Portugalia, Spania, Franța, Germania, Italia, Cehia, România, Japonia, China, India, Australia, etc.

În foarte multe cazuri, producătorii de roți matrițat - laminate nu-și produc singuri lingoul sau blumul pentru obținerea semifabricatului de pornire, acestea realizându-se în combinate metalurgice integrate. Acesta este și cazul unor producători cum ar fi: "Cafil" și "Valdunes" din Franța, "Ilsenburg" și "Rafil" din Germania, "Bochumin" din Cehia, "Sumimate Kindzaku Kagja" din Japonia [4-8].

Pentru fabricația roților monobloc de cale ferată, semifabricatul de pornire este constituit în calupuri debitate din: lingou, blum sau bară turnată continuu.

Oțelul destinat fabricației roților monobloc este elaborat în diferite agregate siderurgice:

- în cuptoare electrice;
- în convertizoare cu oxigen;
- în sisteme de agregate duplex (cuptor electric cu arc sau convertizoare cu oxigen și oală metalurgică tip LF);
- în sisteme de agregate triplex (cuptor electric cu arc sau convertizoare cu oxigen și oală metalurgică tip LF – instalație de vidare tip VD).

Conform ultimelor cerințe referitoare la caracteristicile oțelului, care trebuie asigurate în starea lichidă a acestuia, se folosesc tehnologii de rafinare a oțelului [2], și anume:

- injecția de materiale pulverulente pentru desulfurare;
- barbotarea cu gaze inerte;

- tratamentul sub vid.

Turnarea oțelului se face în lingouri de diferite forme și dimensiuni, în funcție de greutatea și mărimea roților, iar forjarea se face din calupuri crestați din lingou. Când turnarea se face în lingouri mari poligonale urmează o laminare în blum după care se debitează în calupuri.

Un procedeu modern de obținere a semifabricatului de pornire este realizat prin turnarea continuă, în semifabricate cilindrice de $\varnothing 320 \div \varnothing 500$ mm. Printre firmele care utilizează aceste semifabricate se pot enumera: "Valdunes", "Ilsenburg", "Bochumin" pentru care furnizorul de semifabricat este combinatul metalurgic "Trinet Zelezarny" din Cehia precum și "Sumimoto Kindzaku Kogja" pentru care furnizorul este "Kobe Steel", ambele din Japonia și Interpipe NTRP [4-12].

JSC „Interpipe NTRP” este unul din marii producători de roți monobloc din Ucraina, fiind furnizor pentru 60 de țări ale lumii (Europa, Asia, Africa, America și Australia). Fluxul tehnologic de producere a roților monobloc este prezentat în figura 2.4.

Un alt mare producător de componente de material rulant este firma Bochumer Verein [13-18], care produc roți monobloc cu diametre cuprinse între 360-1380mm și greutatea de 140-1300kg. Aspecte din timpul procesării roților monobloc sunt prezentate în figura 2.5.

Bonatrans a devenit unul dintre cei mai mari producători europeni de osii cu portofoliul mai larg de producție, atât în ceea ce privește gama de producție, precum și în ceea ce privește distribuția geografică, și anume, produsele Bonatrans sunt în funcțiune în peste 70 de țări de pe cinci continente, inclusiv în aproape toate țările europene [14].

Un alt mare producător de roți de cale ferată este firma K LW Wheelco SA Switzerland. Aceasta furnizează roți de cale ferată de înaltă calitate pentru clienții din peste 60 de țări, inclusiv Europa, America de Nord, Asia și țările CSI. Produsele sunt certificate de către operatorii feroviari naționali din SUA, Germania, Marea Britanie, Austria, Elveția, Bulgaria, Polonia, Slovenia și Ungaria. Produsele sunt garantate de sistemul de management al calității ISO 9001 și certificate de către STI, DB, RAD, etc., controlul de calitate fiind aplicat la toate etapele de fabricare a produselor din oțel. Firma produce aproximativ 240 de tipuri de roți de cale ferată pentru vagoane de marfă și de pasageri, respectiv locomotive. Caracteristicile roților sub marca K LW pentru vehicule feroviare sunt:

- Diametru exterior: 700mm - 1269mm;
- Diametru interior: 600mm - 1100mm;
- Lățime butuc: 95mm - 160mm;
- Masa: 165 kg - 1050 kg.



Fig.2.4. Producerea roților monobloc la JSC „Interpipe NTRP” Ucraina [7]



Fig.2.5. Producerea roților monobloc la Bochumer -Verein, Germania [18].

Roțile de cale ferată, sub marca K LW, sunt produse la fabrica companiei de renume *Interpipe NTRP* în Dnepropetrovsk, Ucraina și la *Interpipe M* Moscova, Russia [7]. Fluxul tehnologic de fabricație a roților de cale ferată la *Interpipe NTRP* în Dnepropetrovsk este prezentat în figura 2.6.



Fig. 2.6. Fluxul tehnologic de producere a roților monobloc de cale ferată [7]:

1 - cuptor, 2 - oala, 3 - tratament secundar, 4 - degazare în vid, 5 - turnare în lingouri, 6 - debitare lingou, 7 - control nedistructiv, 8 - încălzirea în cuptor rotativ a semifabricatelor, 9 - curățire, 10 - forjare pe presa 20MN, 11 - terminare forjare, 12 - ștanțare pe presa de 100MN, 13 - prelucrare pe laminor, 14 - calibrare pe presa 35 / 8MN, 15 - răcire lentă cu cuptorul, 16 - răcire a roții în aer liber, 17 - prelucrare, 18 - încălzire, 19 - matrițare, 20 - tratament, 21 - răcire controlată, 22 - prelucrare CNC, 23 - control nedistructiv, 24 - control de calitate, 25 - testare a proprietăților mecanice și alte probe, 26 - depozitare

O altă tehnologie caracteristică la deformarea semifabricatelor pentru roți, se utilizează la uzinele care folosesc utilajul de presare – laminare produs de firma "Rheinstahl-Wagner" [6]. Linia de presare a acestei firme, cuprinde cel puțin trei prese și un laminor pentru laminarea cu dorn central de tip orizontal sau vertical.

În România fabricarea roților monobloc de cale ferată, are o vechime de peste 40 de ani la fosta Fabrică de Osii și Boghiuri din Balș, în prezent **S.C. Subansambluri de Material Rulant S.A. Balș**.

Forjarea roților monobloc la **S.C. SMR S.A. Balș** se realizează pe două linii de forjare "Schlöemann". Prima linie a fost realizată integral în Germania, iar a doua a fost realizată în România după licență germană și proiect al ICSITPSCM București, urmare a execuției și punerii în funcțiune de către colaboratorii acestui institut de la sucursala din Craiova [4].

Schema tehnologică de fabricație a roților la **SC SMR SA Balș** este arătată în figura 2.7.

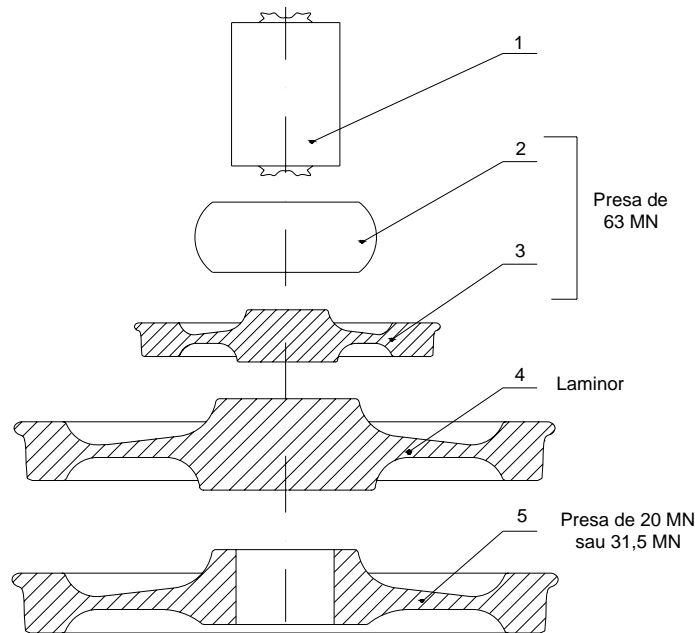


Fig. 2.7. Schema tehnologică de fabricație a roților la SC SMR SA Balș [4]:

- 1 - semifabricat; 2 - refulare; 3 - matrițare; 4 - laminare;
5 - profilare membrană, perforare, calibrare, marcarea

SC SMR SA Balș are ca obiect de activitate [19]:

- producția de subansambluri pentru material rulant: boghiuri, osii, roți monobloc, osii montate, aparate de rulare;
- elaborarea de oțel și turnarea de lingouri și piese din oțel;
- execuția de piese turnate, forjate și matrițate;
- construcții metalice;

- prelucrări mecanice prin aşchiere;
- tratamente termice.

Firma se compune din următoarele secții de producție:

- oțelăria electrică;
- turnătoria de oțel;
- secția de boghiuri cu ateliere pentru piese forjate și matrițate, prelucrări mecanice prin aşchiere, montaj boghiuri;
- secția forjă pentru osii și roți.

Capacitățile de producție sunt [19]:

- roți monobloc - 50.000 buc/an;
- osii - 18.000 buc/an;
- osii montate - 18.000 buc/an;
- boghiuri - 1.000 buc/an.

Prin produsele realizate și prin tehnologiile aplicate, bazate pe o îndelungată experiență, SC SMR SA și-a câștigat de-a lungul timpului un loc de frunte printre producătorii de material rulant de cale ferată din lume.

Oțelul este elaborat într-un triplex de agregate și instalații metalurgice cuprinzând un cuptor cu arc electric de topire de 60 tone/șarjă (figura 2.8), o oală metalurgică LF de 60 tone și o instalație de vidare VD. O parte a oțelului este dirijat spre turnătoria de piese unde este stocat în cuptoare de menținere, iar cealaltă parte se toarnă folosind metoda prin sifon în lingouri necesare fabricației roților și osiilor.



Fig.2.8. Cuptor electric cu arc, capacitate 50 tone.

Oțelul este tratat, într-o primă etapă, într-o instalație LF (oală cuptor), instalație complet automatizată (inclusiv barbotarea cu Ar).

Nivelul de performanță atins [19]:

- conținutul de sulf < 0.010 %, la peste 90 % din șarje;
- conținutul de carbon variază în limitele ± 0.02 % față de medie, la peste 90 % din șarje;
- conținutul de mangan variază în limitele ± 0.05 % față de medie, la cca. 90 % din șarje;
- conținutul de Si variază în limitele ± 0.05 % față de medie, la peste 95 % din șarje.

Durata medie a tratamentului este de 45 min. Etapa a doua de tratament se efectuează în instalația de vidare tip VD (capacitate 60 tone) – figura 2.9, complet automatizată. Pentru realizarea vidului se utilizează pompe mecanice, uscate, durata de coborâre a presiunii până la 0,5 mbar, fiind de cca. 8 minute. Conținutul final de hidrogen realizat este în mod constant sub 2 ppm.



Fig.2.9. Instalație de vidare tip VD [19]

Oțelul lichid este turnat, prin sifon, în lingotiere rotunde prezentate în figura 2.10, cu secțiuni diferite, în relație cu produsul final ce urmează a fi obținut (lingotiere \varnothing 390 mm, \varnothing 425 mm, \varnothing 450mm, \varnothing 500mm și \varnothing 520 mm).



Fig.2.10. Turnarea oțelului în lingouri de formă cilindrică [19]

Pe tot parcursul desfășurării procesului tehnologic de elaborare are loc monitorizarea temperaturii, a compoziției chimice și a gazelor utilizând un spectrometru și un analizor de gaze prezentate în figura 2.11.



Fig.2.11. Laborator de determinare caracteristici calitative [19]

Lingourile sunt crestate în calupuri (figura 2.12) și apoi ajung în secția forjă unde are loc procesul de forjare al roților monobloc, pe două linii tehnologice (de fabricație Schloemann - Germania).



Fig.2.12. Crestarea lingourilor în calupuri destinați fabricației roților monobloc [19]

Aceste linii tehnologice au în componența lor: cuptoare de încălzire a semifabricatelor, prese hidraulice de 6300 tf, laminoare pentru roți, prese hidraulice de calibrare și perforare de 3100 tf și 2000 tf. Blocurile/calupurile sunt încălzite în cuptor cu vatra rotativ la temperatura de procesare necesară (cca. 1260°C).

Transformarea calupurilor în semifabricate de roată monobloc, se execută dintr-o singură încălzire a materialului (calup) pe trei utilaje dispuse în linia

tehnologică (figura 2.13.), și anume:

- presa de 6300tf pentru refularea axială a calupului obținându-se un semifabricat sub formă de disc;
- laminor care prin componentele sale acționează asupra membranei roții și obezii;
- presa de calibrat și perforat de 2000tf respectiv 3150tf.

Prelucrarea roților monobloc se execută pe strunguri CARUSEL cu comandă numerică prezentate în figura 2.14.



Fig.2.13. Forjarea semifabricatelor



Fig.2.14. Prelucrarea roților monobloc pe strunguri CARUSEL cu comandă numerică

După forjarea roților acestea trebuie răcite controlat. Răcirea controlată se face în cuptoare tunel cu transportor suspendat al roților.

Îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor în porțiunea căii de rulare se realizează printr-un tratament termic adecvat.

Tratamentul termic al roților monobloc de cale ferată poate fi de mai multe feluri: normalizare, călire masică, călirea superficială (îmbunătățirea durității obezii).

Normalizarea roților se face prin încălzirea lor în domeniul austenitic,

deasupra curbei AC_3 cu $30 \div 50^\circ C$ și răcirea în aer.

Călirea masică mai este agreată doar de câteva rețele de cale ferată, în special în Marea Britanie și țări membre ale Comenwealth-ului, și sunt realizate după normele britanice B.S. Regimul de tratament termic în acest caz constă în încălzirea roților în domeniul austenitic, deasupra curbei AC_3 cu $30 \div 50^\circ C$, răcirea rapidă prin imersie într-un bazin cu apă prevăzut cu un sistem de agitare, revenire medie la temperaturi de $500 - 550^\circ C$ și apoi răcire în aer.

Regimul de îmbunătățire la **SC SMR – SA Balș** pentru durificarea obezii se realizează astfel: încălzirea completă a roților în domeniul austenitic, deasupra curbei AC_3 cu $30 \div 50^\circ C$, răcirea rapidă a obezii roții cu jet de apă sub presiune numai dinspre calea de rulare, revenire medie prin încălzirea la $500 - 550^\circ C$ și apoi răcire în aer.

În scopul testării calității și pentru controlul pe fluxurile de producție, firma este dotată cu laboratoare, echipamente și instrumentele necesare.

Firma execută subansambluri pentru material rulant în conformitate cu cele mai cunoscute standarde [19]: TSI, UIC, AAR, EN, ISO, BS, IRS, JIS, etc, sau în conformitate cu cerințele specifice ale fiecărui client.

Roțile monobloc (figura 2.15) sunt folosite pentru echiparea osiilor montate cu sarcini pe osie de până la 25 tf/osie care rulează cu o viteză de până la 160 km/h.



Fig.2.15. Roți monobloc de cale ferată

2.3. Concluzii

Din studiul literaturii de specialitate pot fi scoase în evidență următoarele concluzii:

- tendințele de transport pe calea ferată la nivel european sunt: creșterea vitezelor de circulație, creșterea sarcinilor pe osie și implicit a tonajelor trenurilor, asociată cu introducerea unor măsuri de detectare a defectelor aparatului de rulare în circulație, și reducerea zgomotului produs la rularea roților pe șine;
- clasificarea osiilor montate ale vehiculelor feroviare este prevăzută în fișa UIC 813-0 /01.01.1989 - Specificația tehnică pentru furnitura de osii montate pentru materialul rulant motor și remorcat;
- roțile destinate transportului feroviar pot fi: cu disc cu bandaj, cu spițe și cu bandaj, monobloc (turnate, matrițate, matrițat – laminate) și roată elastică;
- în producția de roți monobloc cea mai mare pondere o au cele matrițat - laminate fiind foarte diferite constructiv; deosebirile sunt determinate de condițiile de exploatare a materialului rulant, de construcțiile de vagoane și locomotive, precum și de anumite tradiții care s-au format în timp la producerea osiilor montate

și în funcționarea lor în transportul feroviar;

- țările în care există uzine producătoare de roți monobloc sunt: Canada, SUA, Brazilia, Egipt, Ucraina, Rusia, Africa de Sud, Marea Britanie, Portugalia, Spania, Franța, Germania, Italia, Cehia, România, Japonia, China, India, Australia, etc;

- semifabricatele de pornire pentru fabricația roților monobloc de cale ferată sunt reprezentate de calupuri debitate din: lingou, blum sau bară turnată continuu;

- oțelul destinat fabricației componentelor de material rulant se elaborează în agregate siderurgice sistem duplex sau triplex, astfel încât să se asigure un conținut scăzut de incluziuni nemetalice și gaze, în mod deosebit hidrogen, ceea ce va asigura o bună omogenitate chimică și structurală;

- în prezent în România fabricarea roților monobloc de cale ferată se realizează la S.C. Subansambluri de Material Rulant S.A. Balș (fosta Întreprindere de Osii și Boghiuri – pusă în funcțiune în 1970), capacitățile de producție fiind: roți monobloc - 50.000 buc/an; osii - 18.000 buc/an; osii montate - 18.000 buc/an; boghiuri - 1.000 buc/an;

- la SMR Balș, oțelul este elaborat într-un triplex de agregate și instalații metalurgice cuprinzând un cuptor cu arc electric de topire de 60 tone/șarjă, o oală metalurgică LF de 60 tone/șarjă și o instalație de vidare VD de capacitate 60 tone/șarjă, la care pentru realizarea vidului, se utilizează pompe mecanice uscate, durata de coborâre a presiunii până la 0,5 mbar fiind de cca. 8 minute, conținutul final de hidrogen realizat fiind în mod constant sub 2 ppm;

- oțelul lichid este turnat prin sifon, în lingotiere rotunde cu secțiuni diferite (\varnothing 390 mm, \varnothing 425 mm, \varnothing 450mm, \varnothing 500mm și \varnothing 520 mm), în funcție de produsul final ce urmează a fi obținut;

- instalațiile moderne de elaborare turnare și monitorizarea pe tot fluxul tehnologic a temperaturii, a compoziției chimice și a gazelor asigură obținerea unui oțel de calitate superioară corespunzător normelor de fabricație a roților monobloc de cale ferată;

- calupurile rezultate din lingouri sunt supuse forjării în vederea obținerii roților monobloc, pe două linii tehnologice, acestea având în componența lor următoarele echipamente: cuptoare de încălzire a semifabricatelor, prese hidraulice, laminoare pentru roți, prese hidraulice de calibrare și perforare;

- prelucrarea mecanică a roților monobloc se execută pe strunguri CARUSEL cu comandă numerică;

- îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor în porțiunea căii de rulare se realizează printr-un tratament termic adecvat.

3. INFLUENȚA FACTORILOR TEHNOLOGICI DE FABRICAȚIE ASUPRA CALITĂȚII OȚELULUI DESTINAT FABRICĂRII COMPONENTELOR DE MATERIAL RULANT

3.1. Normele de fabricație a roților de cale ferată

La fabricația roților monobloc de cale ferată se utilizează oțelurile carbon de calitate și numai în puține cazuri au fost făcute încercări de utilizare a unor oțeluri aliate de construcție. Normele de fabricație a roților de cale ferată, prezentate în anexa 1, cu valabilitate internațională cele mai utilizate sunt: UIC 812 – 3/84; AAR M 107/84; BS 5892/92; JIS E 5042; GOST 10791 [1-3], dar în paralel cu acestea, se aplică și o serie de norme naționale care țin seama de experiența și tradiția acestor țări în exploatarea materialului rulant.

Specificația tehnică [20] pentru roți monobloc tip BA 004 desen 1.888.2 rev.4/2011, fabricate din oțel marca ER 7 pentru materialul rulant la SC SMR SA Balș este prezentată în anexa 2.

Normele cu aplicare internațională precum și norme naționale, stabilesc o serie de condiții atât pentru produs cât și pentru producătorii de roți monobloc, [1], [2], [3], [20], [21], [22] și anume:

- compoziția chimică a oțelului cu referiri la conținutul principalelor elemente (C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, V, H₂);
- modul de prelucrare a probelor, poziția locului pe produs în care se face determinarea compoziției chimice;
- caracteristicile mecanice, se au în vedere valorile ce trebuie respectate, poziția de prelevare a probelor, forma și dimensiunile epruvetelor, procedurile de probă;
- uniformitatea tratamentului termic (proba de duritate);
- gradul de puritate în incluziuni;
- rezistența la șoc sau oboseală;
- tensiuni remanente, tenacitate la rupere a obezii;
- caracteristici ale suprafețelor;
- toleranțe dimensionale;
- dezechilibru static remanent;
- protecția anticorosivă;
- marcaje.

Cerințele față de producător sunt:

- certificarea sistemului de asigurarea calității;
- calificarea personalului care efectuează controlul nedistructiv;
- dotarea cu mijloace pentru producție și produs nou.

Diferitele norme de fabricație impun niveluri maxime, minime sau intervale pentru principalele elemente din compoziția chimică a oțelurilor, de asemenea sunt specificate caracteristicile fizico – mecanice corespunzătoare stărilor de livrare ale produselor [20-25].

Mărcile de oțel utilizate la fabricația roților monobloc, conform specificației

tehnice de la SC SMR SA Balș sunt oțeluri carbon hipo-eutectoide cu structură în stare de echilibru de tip perlito-feritic, identificate prin simbolul de marcă conform fișei SR EN 13262+A1:2009, respectiv ER7. Compoziția chimică pe produs (roată monobloc) este prezentată în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Compoziția chimică pe produs la SC SMR SA Balș [2]

Marca oțelului	Compoziție chimică (Valori maxime %) pe produs ¹⁾										
	C	Si	Mn	P ²⁾	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Ni+Mo
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

1) Pentru aplicații speciale, pot fi acceptate variații ale prescripțiilor în limitele de conținuturi maxime.

2) Un conținut maxim de 0,025% poate fi convenit în cererea de ofertă și prin comandă.

Eșantioanele pentru determinarea compoziției chimice se prelevează, la o adâncime de 15 mm sub suprafața de rulare în dreptul diametrului nominal. Analiza compoziției chimice se face în conformitate cu metodele și prevederile descrise în SR ISO/TR 9769:1991.

Oțelul se degazează în vid, conținutul maxim admis de gaze determinat în oțelul lichid este de: 2-2,5 ppm la hidrogen, 90 ppm la azot, respectiv 60 ppm la oxigen.

La roțile monobloc de cale ferată principalele caracteristici fizico - mecanice care se determină sunt [20-29]:

- rezistența la rupere;
- limita de curgere;
- limita de elasticitate;
- alungirea;
- rezistența sau energia de rupere la încovoiere prin șoc;
- duritatea;
- tenacitatea.

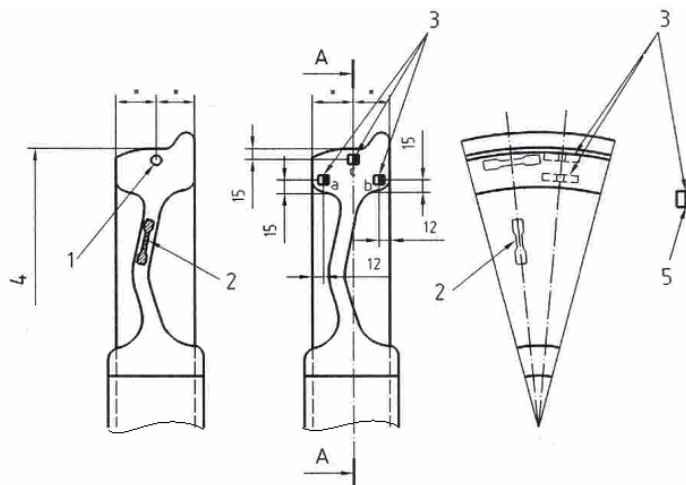


Fig. 3.1. Modul de prelevare a epruvetelor pentru încercări mecanice de rezistență [22]:

- 1,2 - epruveta de tracțiune; 3 - epruveta pentru încovoiere la șoc;
4 - diametrul nominal; 5 - creștătura

Epruvetele se prelevă în principal din obada tratată termic în întregime (normalizate sau călite), iar pentru roțile cu obadă îmbunătățită se fac determinări ale unora din caracteristici și din membrană.

Modul de prelevare a epruvetelor pentru încercări mecanice de rezistență, respectiv tracțiune și reziliența se face conform figura 3.1.

Dimensiunile și forma epruvetelor sunt de regulă definite de normele internaționale, dar sunt și excepții de la acestea, în funcție de condițiile destinatarului. La SC SMR SA Balș încercările pentru determinarea caracteristicilor mecanice, se execută conform SR EN ISO 6892-1:2010 prezentate în anexa 2.

În ce privește reziliența sau energia de rupere la încovoiere prin șoc, există o mare varietate de cerințe privitor la forma creștăturii și condițiile de efectuare a probelor, în unele cazuri aceeași normă impunând determinări pe epruvete atât cu creștătură în U cât și în V, la temperaturi diferite în intervalul + 40°C până la - 60°C. Specificația tehnică pentru roți monobloc tip BA 004 desen 1.888.2 rev.4/2011, fabricate din oțel marca ER 7 pentru materialul rulant la SC SMR SA Balș, prevede utilizarea de epruvete cu creștătură în U la +20°C și epruvete cu creștătură în V la -20°C. Epruvetele se prelevează din obada roții, conform figurii 3.1. Încercările se execută conform SR EN 148-1:2010. Proba de duritate pe obadă, se face atât pentru o verificare a calității tratamentului termic pe fața exterioară a acesteia, cât și în secțiune conform figurii 3.2.

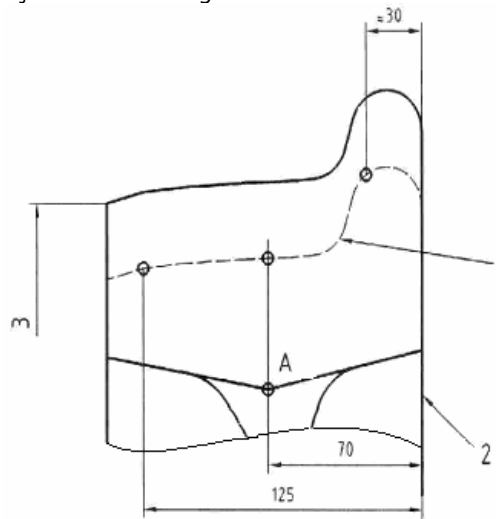


Fig. 3.2. Măsurări ale durității realizate într-o secțiune radială a obădei [22]:

- 1 - limita zonei de uzură sau ultimul diametru de reprofilare; 2 - fața interioară a roții;
3 - diametrul nominal

Dacă grosimea obădei corespunzătoare plajei de uzură este mai mare de 35 mm, atunci valorile prezentate în anexa 2 referitoare la duritate, trebuie obținute până la o adâncime de 35 mm sub suprafața de rulare. Valoarea durității în zona de racordare dintre membrană și obadă (punctul A din figura 3.2), trebuie să fie mai mare cu cel puțin 10 puncte decât valorile măsurate în zona de uzură. Încercarea se face conform SR EN ISO 6506-1/2006. Diametrul bilei este de 5 mm.

Pentru determinarea omogenității tratamentului termic, valorile durității se

măsoară în trei puncte la 120 de grade pe fața exterioară a obadei. Amprețele se fac pe același diametru într-o zonă a cărei poziție este definită în figura 3.3. Măsurătorile se efectuează conform prescripțiilor SR EN ISO 6506-1/2006. Diametrul bilei este de 10 mm.

Verificarea gradului de puritate se face prin controlul micrografic. Zonele în care se face verificarea sunt indicate de normele de fabricație și au în vedere planul cercului de rulare în zona obezii, pe suprafața unui pătrat cu latura de 30 mm al cărui centru este plasat la 15 mm de suprafață ca în figura 3.4. Suma punctajelor de incluziuni maxim admise în țările avansate a evoluat de la 6 la 1,5. Această sumă include silicații, aluminații sau nitruirile și oxizii globulari. Nu include sulfurile care de asemenea au fost restrânse de la punctaj 3 la 0,5; concomitent cu restângerea conținutului de sulf în oțeluri de la max. 0,050% la max. 0,015%.

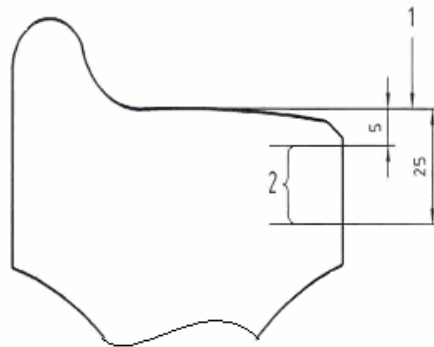


Fig.3.3. Amprentă [12]:

1 – diametrul nominal al cercului de rulare ; 2 – zona de măsurare a durezzații Brinell

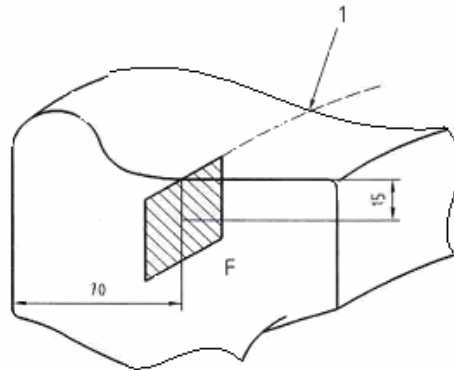


Fig. 3.4. Poziție de prelevare micrografică [22]:

1 – cercul de valoare nominal

Lipsa defectelor interioare se constată prin controlul ultrasonic, după calibrarea prealabilă a aparatului pe corpuri de control cu defecte artificiale, realizate prin găuri de diametre diferite; corpurile de control reproduc elementele constructive ale roții: obadă, membrană, butuc. Defectele etalon se constituie din găuri plate cu diametre diferite. Obadele roților nu trebuie să prezinte defecte

interne care să dea indicațiile anomaliilor egale sau superioare celor obținute față de defectele etalon, localizate la aceeași adâncime și având un diametru definit în normele feroviare, prezentate în anexa 2.

Normele europene [20-22] renunță la determinarea rezistenței la șoc ce caracterizează loturile de livrare, dar introduce în schimb pentru calificarea produsului verificarea la oboseală pe ștand pulsator, ce constă în aplicarea la o roată, a unei sarcini ciclice simetrice care să inducă în membrană tensiuni de ordinul 195 N/mm^2 pentru membrana neprelucrată sau 245 N/mm^2 pentru cea prelucrată. Roata trebuie să suporte 10^7 cicluri fără să prezinte inițierea unei fisuri.

Tenacitatea la rupere a obei este de asemenea o caracteristică nouă inclusă de norma CEN/TC 256 SC2 și se verifică exclusiv la roțile ce urmează a fi frânate cu saboți pe calea de rulare.

Pentru roțile din oțel de calitate ER7T, valoarea medie obținută pe 6 epruvete trebuie să fie mai mare sau egală decât $80 \text{ N/mm}^2\sqrt{\text{m}}$, iar pentru fiecare valoare individuală trebuie să fie mai mare sau egală cu $70 \text{ N/mm}^2\sqrt{\text{m}}$. Cele 6 epruvete se prelevează din obadă așa cum este indicat în figura 3.5.

Probele se efectuează conform ASTM E 399/1997 la o temperatură cuprinsă între $15 \div 25^\circ\text{C}$. [20]

Rugozitatea medie (R_a) a suprafețelor în stare finită și gata de asamblare corespunde cerințelor indicate în SR EN 13262 +A1:2009. Rugozitatea suprafețelor roților, în stare de livrare, se verifică prin compararea cu etaloanele de referință ale stării de suprafață [30, 31].

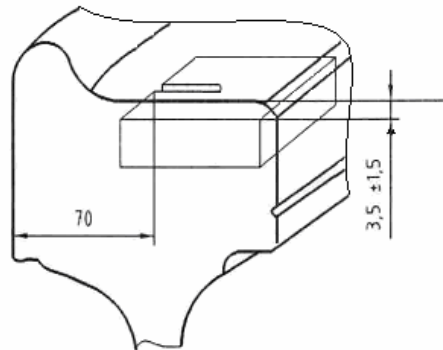


Fig.3.5. Epruvete prelevată din obadă [22]

Tensiunile superficiale ale roților sunt definite pe baza unui examen magnetoscopic. Lungimea maximă a ecourilor unor defecte acceptabile trebuie să fie de 2 mm pe suprafețele prelucrate respectiv de 6 mm pe suprafețe brut forjate sau laminate. Epruveta supusă examinării este roata după tratamentul termic complet, în stare de livrare și înainte de aplicarea protecției contra coroziunii. Aparatura folosită va pune în evidență defectele în orice punct al roții, oricare ar fi orientarea acestora.

Fiecare roată monobloc se marchează prin poansonare la rece, pe fața laterală interioară a butucului cu următoarele date: marca de fabrică a întreprinderii producătoare; numărul șarjei; marca oțelului și starea metalurgică; luna și ultimele două cifre ale anului de fabricație; poziția dezechilibrului rezidual și simbolul său; numărul roții din șarjă. Marcarea dezechilibrului static remanent se face pe partea interioară a membranei roții, prin trasarea cu vopsea a unei dungi, în sens radial de

cca. 15 mm lățime.

3.2. Procesul tehnologic de elaborare a oțelului

Procesarea roților monobloc de cale ferată pornește de la elaborarea oțelului destinat fabricației acestora. La *SC SMR SA Balș* elaborarea oțelului se face în cuptoare electrice cu arc cu căptușeală bazică, după schema prezentată în figura 3.6.

3.2.1. Ajustarea cuptorului

Această operație constă în reparația căptușelii, a orificiului și jgheabului de evacuare, curățirea și corectarea pragului ușii. Ajustarea se efectuează cu magnezită granulată sau amestec de magnezită și dolomită, în primul rând în planul zgurii care este cel mai afectat, după care se continuă cu pantele și fundul vetrei cuptorului. Se utilizează mașina de ajustat cu bandă, care dirijează amestecul granular. După terminarea reparației căptușelii se mai execută următoarele operații: controlul bolții, suflarea cu aer comprimat a bacurilor și portelectrozilor, reglarea electrozilor la vatră (distanța de la capătul electrozilor la vatră este aproximativ egal cu diametrul electrozilor) [32]. După operația de ajustare a căptușelii cuptorului are loc elaborarea oțelului prin parcurgerea următoarelor operații: încărcarea, topirea, oxidarea, dezoxidarea și alierea, evacuarea șarjei în oala de turnare, tratamentul secundar și turnarea.

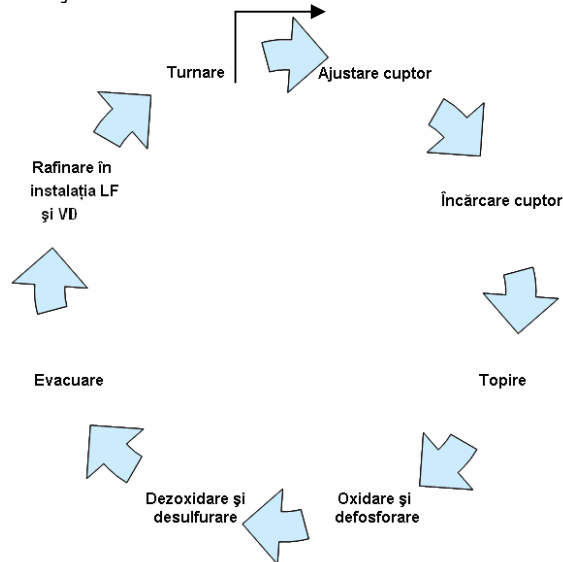


Fig.3.6. Fluxul tehnologic de elaborare a oțelului

3.2.2. Încărcătura și încărcarea cuptorului.

Pe vatra cuptorului înainte de a se introduce bena cu fier selectat, se încarcă var în cantitate de 15 kg pentru fiecare tonă de încărcătură, minereu de fier sau

oxid de fier, fier mărunț și curat respectiv 1/3 din cantitatea de carburant prescris pentru marca ce se elaborează.

Încărcătura metalică s-a pregătit în bena de încărcare prin dispunerea după următoarea schemă: fier vechi ușor 1/3 din cantitatea încărcată, urmată de fierul vechi greu pe fundul benei, peste care s-a depus 1/3 din cantitatea de carburant și încă câte 15 kg de var pentru fiecare tonă de încărcătură, fierul vechi mijlociu, iar deasupra fierului vechi ușor și restul de carburant.

Fierul vechi ușor introdus la partea superioară, asigură pătrunderea repede a arcului electric în încărcătură, ceea ce face ca acesta să lucreze acoperit, cu cedare intensă de căldură încălzirii și reducerea radiațiilor spre boltă, iar fierul vechi introdus pe fundul benei, protejează vatra cuptorului împotriva distrugerii de bucățile de fier vechi greu. Carburantul se introduce în zona arcelor electrice, acesta contribuind la stabilizarea acestora. În timpul pregătirii benei s-a mai introdus și cca. 5 kg/t bauxită pentru fluidizarea zgurii.

Structura încălzirii metalice pentru bena I este prezentată în figura 3.7. Dispunerea în această ordine asigură o compactitate mare a încălzirii în partea inferioară, o amorsare facilă a arcului la începutul topirii, și protecția împotriva radiației a căptușelii cuptorului până la formarea băii metalice și a stratului de zgură.

Transferul încălzirii din bena în cuptor a constat în următoarele operații: prinderea în cârligul mic a dispozitivului de deschidere a benei; ridicarea, deplasarea în cârligul mare a benei la cuptor; rabatarea boltii; introducerea și centrarea benei în cuptor; coborârea până la o distanță de cca. 300 mm de la vatră a benei; închiderea ușii cuptorului; deschiderea cu ajutorul cârligului mic a lacătului și fundului benei; eliberarea încălzirii în cuptor prin ridicarea și îndepărtarea benei.

În cazul celor 15 șarje analizate pe fluxul tehnologic la 14 șarje încălzirea s-a efectuat din două bene, iar la una (șarja 7) dintr-o singură benă.

Structura încălzirii metalice pentru bena II este prezentată în figura 3.8. Figura 3.9 prezintă structura încălzirii metalice din cuptor (bena I+II) pentru elaborarea oțelului. Consumurile specifice ale componentelor metalice sunt prezentate în figura 3.10 iar structura încălzirii metalice pentru total încălzitură se prezintă în figura 3.11.

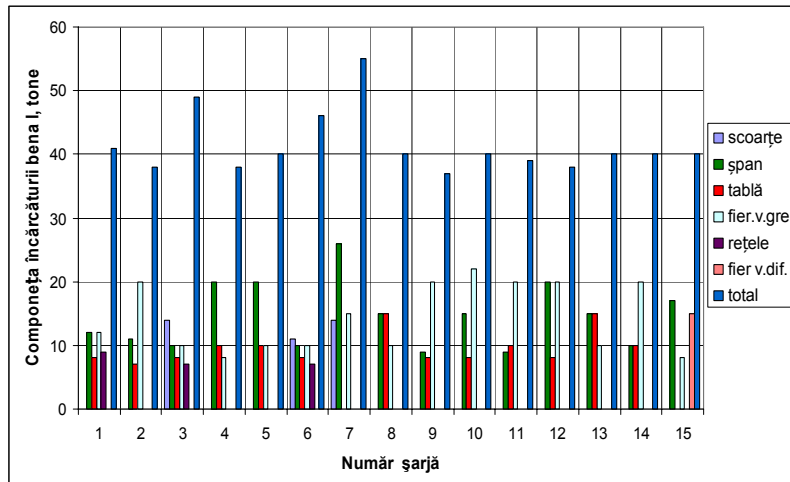


Fig.3.7. Structura încălzirii metalice pentru bena I

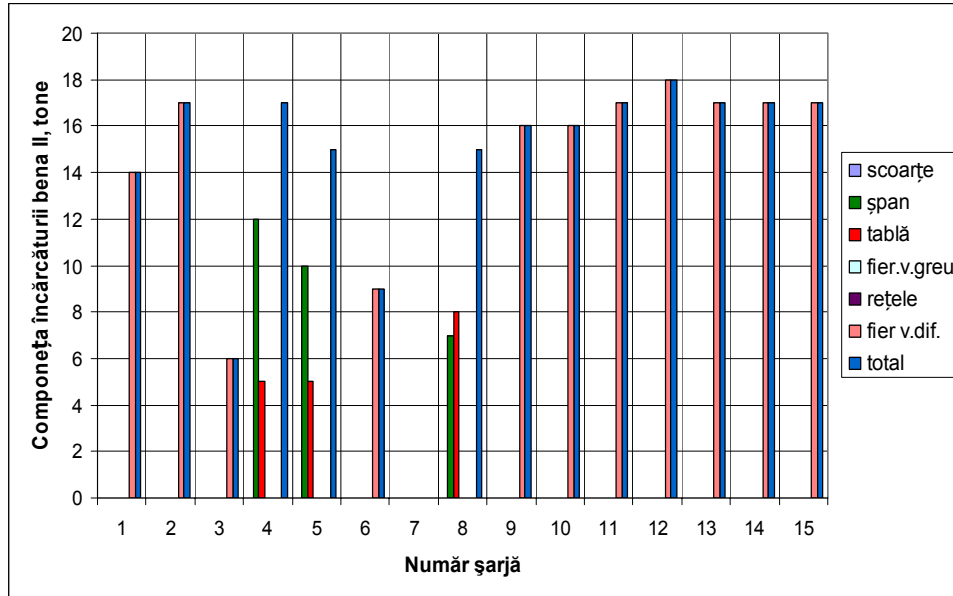


Fig.3.8. Structura încărcăturii metalice pentru bena II

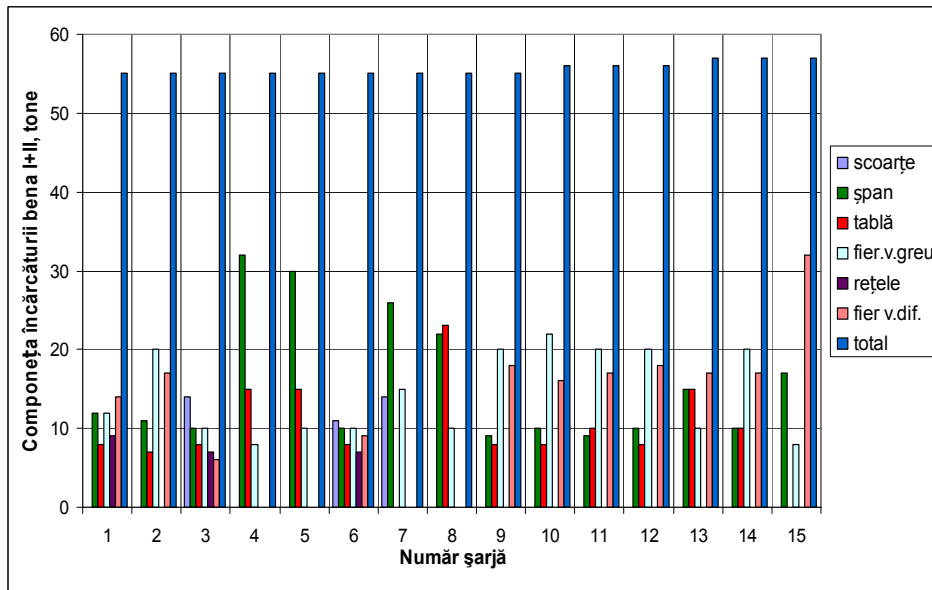


Fig.3.9. Structura încărcăturii metalice din cuptor (bena I+II)

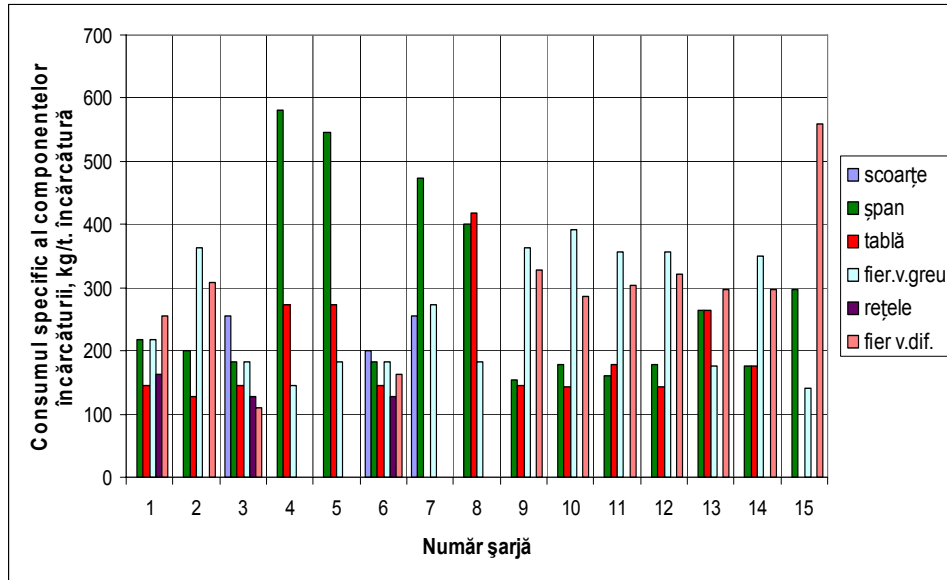


Fig. 3.10. Consumurile specifice ale componentelor metalice

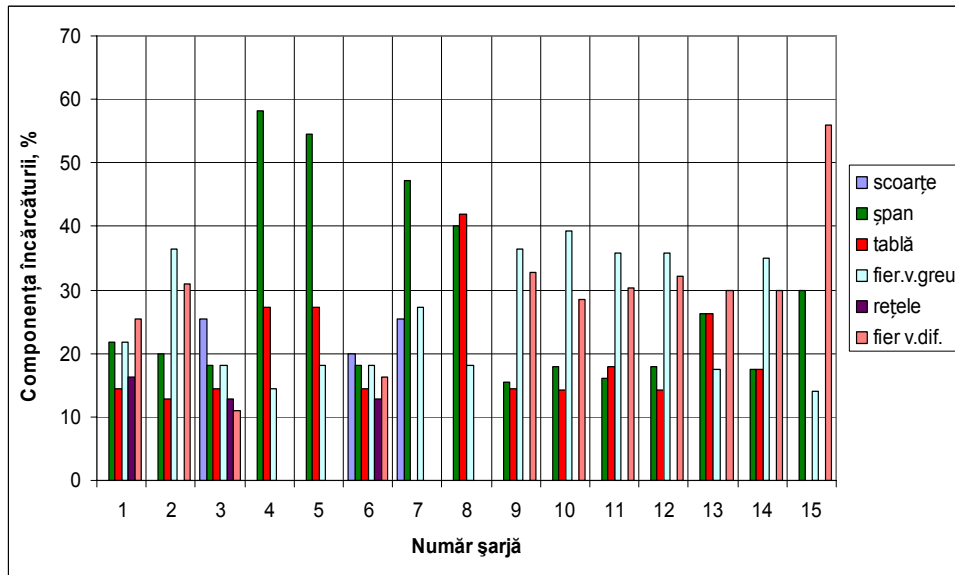


Fig.3.11. Componența încărcăturii

Din analiza datelor privind structura încărcăturii și consumurile specifice se constată următoarele:

- în majoritatea cazurilor încărcătura metalică din prima benă are o greutate de 40 t (media 41,4 t, în trei cazuri fiind depășită această valoare 46 t, 49 t și 55 t, în ultimul caz încărcarea s-a efectuat dintr-o singură benă, șarja 7);

- în cazul benei a doua greutatea încărcăturii metalice a depășit 14 t (valoarea medie 14,07 t, limitele de variație, în trei cazuri fiind sub această valoare 9 t, 6 t, 0 t, în ultimul caz încărcarea s-a efectuat dintr-o singură benă);

- încărcătura totală a cuptorului a variat în limitele 55 - 57 t, valoarea medie fiind de 55,6 t (la trei șarje a fost de 56 t și la alte trei de 57 t, la restul de 9 șarje a fost de 55 t);

- consumurile specifice a sortimentelor feroase care compun încărcătura (kg/t încărcătură) variază în limite foarte mari, și anume:

- a) scoarțe în medie 42,27 kg/t (la 2 șarje 254,45 kg/t și la una 200kg/t, iar la restul de 12 nu s-a utilizat acest sortiment);

- b) șpan în medie 279,40 kg/t (limitele de variație 154 - 400 kg/t);

- tablă în medie 171,71 kg/t (limitele de variație 0 - 418,88 kg/t, la 2 șarje nu s-a utilizat acest sortiment);

- c) fier vechi greu 257,62 kg/t (limitele de variație 140,04 - 392,86kg/t);

- d) rețele în medie 28,88 kg/t (la 2 șarje 127,27 kg/t, la una 163,63kg/t, iar la restul de 12 nu s-a utilizat acest sortiment);

- f) fier vechi diferit în medie 279,40 kg/t (limitele de variație 154 - 400 kg/t, la 4 șarje nu s-a utilizat acest sortiment);

- structura medie a încărcăturii metalice este următoarea: scoarțe 4,72%; șpan 27,94%; tablă 17,17%; fier vechi greu 25,76%; rețele de turnare 2,89% și fier diferit 27,94%;

- având în vedere caracteristici cuptorului cu arc și a tehnologiei de elaborare la SMR Balș se recomandă orientativ următoarea structură a fierului vechi: 25% fier vechi ușor; fier vechi mijlociu 40% și fier vechi greu 35%;

- comparând și analizând structura încărcăturii pentru cele 15 șarje analizate cu cea recomandată am constatat următoarele:

- a) proporția de fier vechi ușor compus din șpan și tablă ($27,94 + 17,17 = 45,11\%$) este cu cca. 15% mai mare decât cea recomandată;

- b) proporția de fier vechi mijlociu compus din rețele de turnare și fier vechi diferit ca marcă față de oțelul care se elaborează ($2,89 + 27,94 = 30,83\%$) este cu cca. 10% mai mică decât cea recomandată;

- c) proporția de fier vechi greu compus din scoarțe și fier vechi greu ($4,72 + 25,76 = 30,48\%$) este apropiată de cea recomandată;

- d) analizând amănunțit structura încărcăturii celor 15 șarje am constatat următoarele: la 3 din șarjele urmărite proporția de fier vechi ușor a fost de peste 80%; la șarja 4 de 85,45% (58,18% șpan +27,27% tablă), restul de 14,55% fier vechi greu; la șarja 5 de 81,82%% (54,55% șpan + 27,27% tablă), restul de 18,18% fier vechi greu; la șarja 8 de 81,82% (40% șpan +41,82% tablă, restul de 18,82% fier vechi greu; la șarja 7 proporția de fier vechi greu a fost de 52,73% (scoarțe 25,46% + fier vechi 27,27%), restul de 47,27% fier vechi ușor (șpan);

- variațiile mari ale structurii încărcăturii sunt determinate de posibilitățile de aprovizionare cu fier vechi în actualele condiții economice;

- faptul că șpanul și tabla utilizate în încărcătură nu au fost ruginite (deci fier vechi ușor de calitate) nu au influențat calitatea oțelului elaborat.

Referitor la materialele auxiliare și feroaliaje se constată o variație mai mică

a cantităților componentelor, comparativ cu variația componentelor încărcăturii metalice.

Structura încărcăturii materialelor auxiliare (secundare) este prezentată în figura 3.12. Consumurile specifice pentru materialele auxiliare utilizate la elaborarea oțelului în cuptorul electric cu arc la șarjele analizate sunt prezentate în figura 3.13. Figura 3.14 prezintă componența încărcăturii secundare.

Valorile încărcăturii medii a componentelor kg/șarjă (și limitele de variație) conform datelor prezentate în figura 3.14. sunt următoarele:

- var 3100 kg/șarjă (3000 – 3200 kg șarjă);
- bauxită 960 kg/șarjă (800 – 1300 kg șarjă);
- minereu (țunder) 1000 kg/șarjă (s-a menținut constant de la o șarjă la

alta);

- carburant 1574,67 kg/șarjă (1300 – 1900 kg șarjă);
- fluorură de calciu 255,33 kg/șarjă (200 – 400 kg șarjă);
- feromangan 266,33 kg/șarjă (190 – 350 kg șarjă);
- ferosiliciu 238 kg/șarjă (200 – 280 kg șarjă).

Consumurile specifice medii realizate (kg/t) încărcătură metalică (și respectiv proporțiile acestora în încărcătură, în %) sunt următoarele:

- var 55,77 kg/t (5,58%);
- bauxită 17 kg/t (1,7%);
- minereu (țunder) 18 kg/t (1,8%);
- carburant 28,23 kg/t (2,82%);
- fluorură de calciu 4,6 kg/t (0,46%);
- feromangan 2,80 kg/t (0,28%);
- ferosiliciu 4,3kg/t (0,43%).

Consumurile specifice de materiale secundare, respectiv proporțiile acestora în încărcătura cuptorului se încadrează în limitele obținute frecvent în practică.

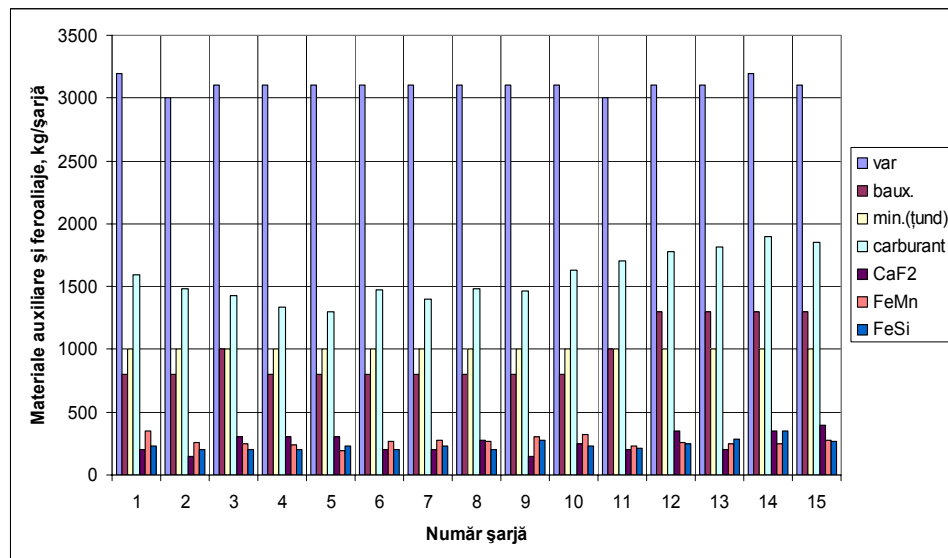


Fig.3.12. Structura încărcăturii secundare

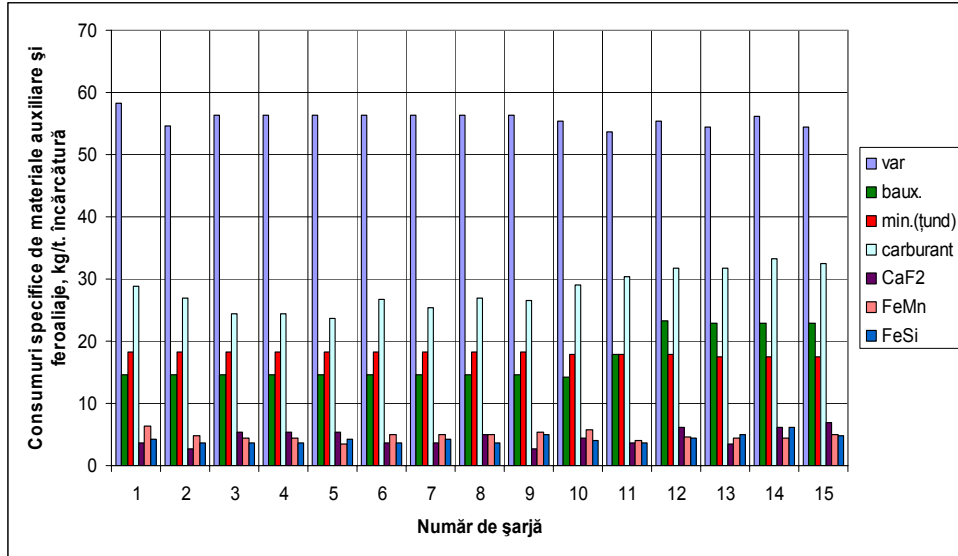


Fig.3.13. Consumuri specifice de materiale secundare

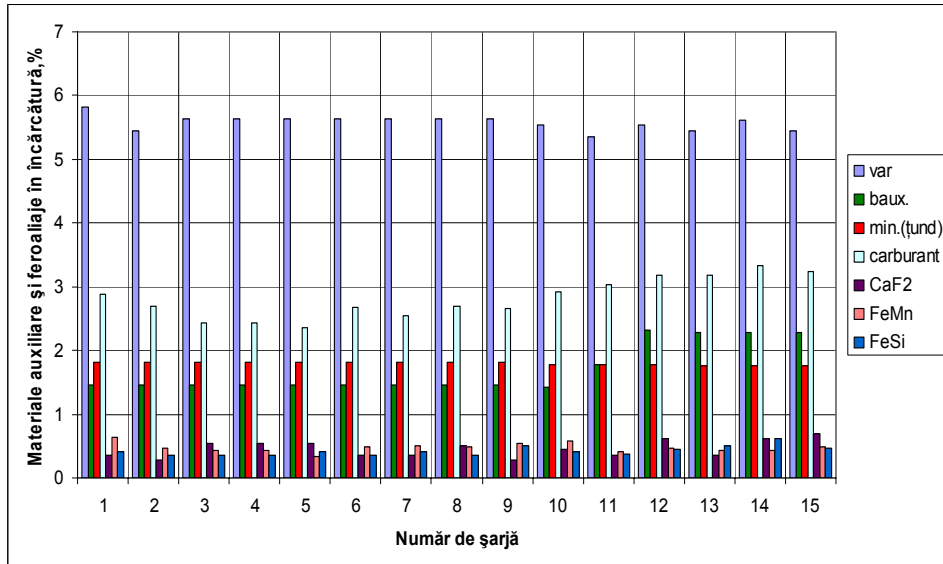


Fig.3.14. Componența încărcăturii secundare

3.2.3. Topirea încărcăturii

Perioada de topire reprezintă mai mult de jumătate din durata totală de elaborare, în această perioadă consumându-se 60 ÷ 80% din cantitatea necesară de energie pentru o șarjă.

Dacă încărcătura asigură arc electric stabil de la început, se începe topirea

cu cuptorul rotit și instalația de reglare automată în circuit cu o treaptă medie de tensiune $5 \div 8$ și se mărește apoi treptat tensiunea.

După o perioadă de $2 \div 10$ minute de la pornire s-a trecut în treptele $2 \div 3$ de tensiune până când $80 \div 90\%$ din încărcătură a fost topită, moment în care s-a revenit pe treptele $7 \div 9$ și s-a împins fierul de la pereții și părțile înclinate ale zidăriei cuptorului în baia metalică. Structura duratelor șarjelor și a etapelor de elaborare a oțelului sunt prezentate în figura 3.15-16.

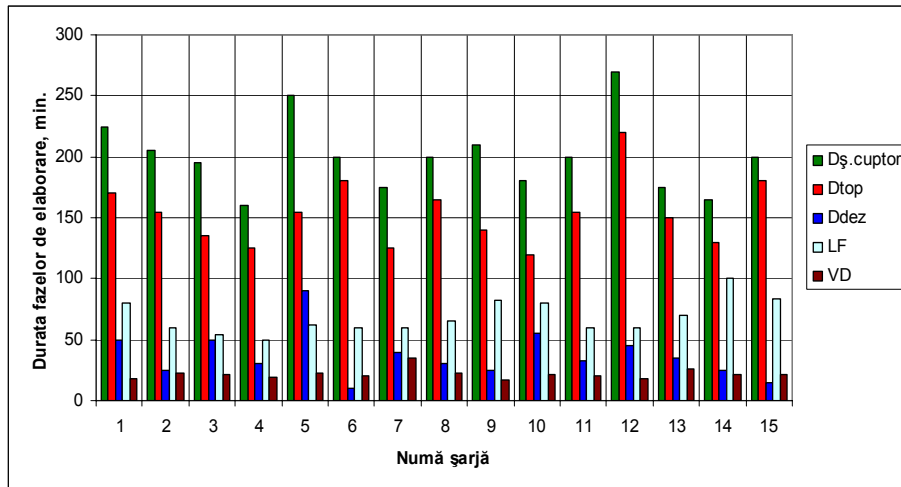


Fig.3.15. Structura duratei șarjei pentru elaborarea în cuptor

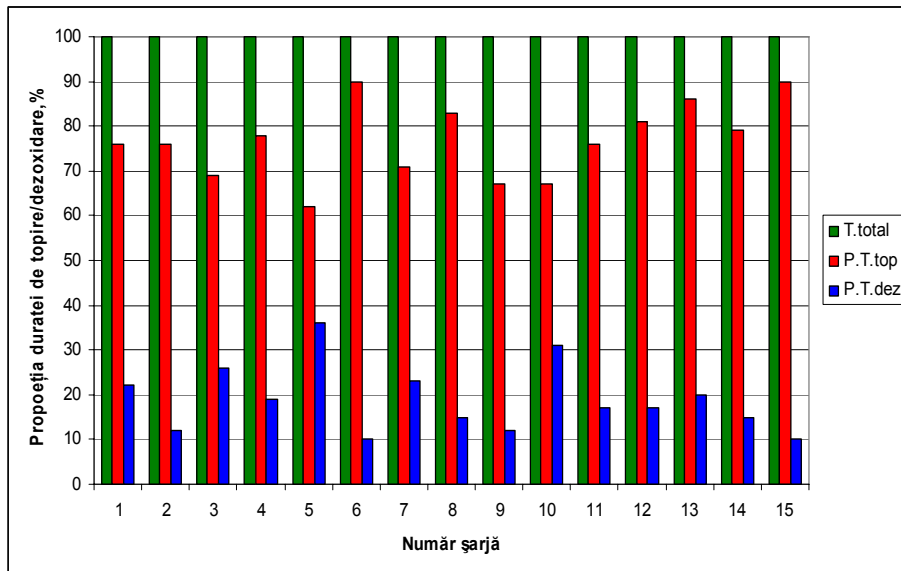
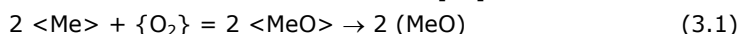


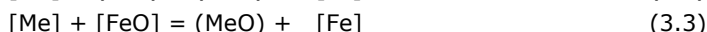
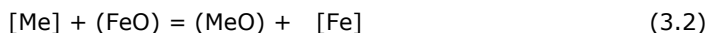
Fig.3.16. Structura duratei topirii/dezoxidării șarjei

Pe durata topirii încărcăturii metalice are loc oxidarea elementelor însoțitoare C, Si, Mn, P etc., fie direct cu oxigenul din atmosfera cuptorului, fie indirect cu oxigenul din zgura în formare, mai ales după ce încărcătura este complet acoperită de baie (oțel și zgură).

Reacția generală de oxidare directă este de forma [33]:



Reacțiile generale de oxidare indirectă sunt de forma [33]:



unde, Me este un element însoțitor care se oxidează în timpul topirii.

În timpul topirii se oxidează cca. 20% din carbon, 70 – 90% din siliciu, 55 – 70% din mangan și fosfor.

În momentul topirii complete a încărcăturii, s-au prelevat probe de oțel pentru determinarea compoziției chimice, și s-a trecut la evacuarea parțială a zgurii de topire, zgură aproape saturată cu oxizi ai fierului și fosforului, formând apoi o nouă zgură adecvată procesului de defosforare și oxidare, prin adaos de var și minereu de fier.

În timpul topirii elementele cu afinitate față de oxigen mult mai mare ca a fierului (Al, Ti, V, B, etc.), se oxidează, trec complet în zgură și nu mai pot fi recuperate. De menționat, că prelevarea probei și măsurarea temperaturii la terminarea topirii sunt obligatorii.

Din analiza datelor prezentate în figurile 3.14 și 3.15 se constată următoarele:

- la 67% din șarjele urmărite, durata procesării în cuptor a fost de maxim 200 de minute, respectiv la restul de 33% adică la 5 șarje durata acestora a fost peste durata precizată mai sus (225min la șarja 1; 205min la șarja 2; 250min la șarja 5; 210min la șarja 9 și 270min la șarja 12);
- la o singură șarjă (șarjă 12) durata topirii a depășit 180 minute (220min la șarja 12), la celelalte 14 șarje a variat în intervalul 120 - 180 min din care la 5 șarje sub 150 min și la 2 șarje 155min;
- pentru 67% din șarjele urmărite ponderea duratei topirii din durata elaborării în cuptor a fost cuprinsă între 62 - 80% (respectiv la 10 șarje) și la 33% între 82,5 - 90% (șarjele 6 și 15 de 90%, la șarja 8 de 82,5%, la șarja 12 de 82,5% și la șarja 13 de 85,71%);
- pe baza observațiilor tehnologice prezentate mai sus, rezultă că se poate reduce durata șarjei cu menținerea ponderii duratei topirii în medie de 80%, pentru aceasta fiind necesară o pregătire mai avansată a încărcăturii și utilizarea mai intensă a oxigenului în partea finală a topirii.

3.2.4.Oxidarea

3.2.4.1. Oxidarea manganului, siliciului și fosforului

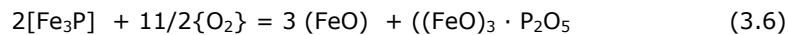
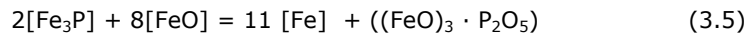
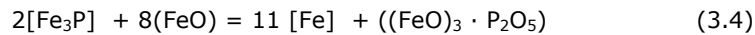
Scopul principal al oxidării (afinare, fierbere sau decarburare) este acela de a asigura oxidarea surplusului de carbon, astfel încât oxidul de carbon rezultat din reacție să asigure o bună fierbere a băii metalice, realizând astfel și o îndepărtare a gazelor (hidrogenul și azotul) și incluziunilor nemetalice din baia de oțel. În același timp are loc o amestecare puternică a băii de oțel, care determină o omogenizare termică și chimică a băii metalice în tot volumul acesteia.

Pentru oxidarea carbonului, care produce "fierberea" băii în scopul rafinării, ca și a altor elemente, se utilizează oxigen gazos suflat în baie prin țevă

consumabilă (alimentarea se face de la rețeaua de oxigen, respectiv de la rezervorul de oxigen). De asemenea, pentru oxidare se mai utilizează minereu de fier, de dorit hematită cu conținut de fier peste 60% sau arsura de fier (țunder). Decarburarea se desfășoară sub o zgură oxidantă, bazică, fluidă, suficient de multă astfel încât să debordeze în permanență peste prag. O astfel de zgură se realizează prin adaos de: țunder $20 \div 22 \text{ kg/t}$, var $10 \div 12 \text{ kg/t}$ și fluorură de calciu $2 \div 2,5 \text{ kg/t}$ [4].

La începutul perioadei de oxidare, când temperatura este mai mică, sunt condiții favorabile defosforării, care de fapt a fost inițiată către sfârșitul perioadei de topire.

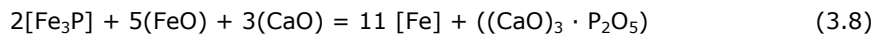
Fosforul aflat în soluție sub formă de Fe_3P este oxidat de către oxidul de fier, după reacția (3.4) la interfața zgură – baie metalică, reacția (3.5) în interiorul băii metalice și reacția (3.6) la suflarea oxigenului în baie [33]:



Fosfatul de fier este instabil la temperatură ridicată, se descompune și se produce reacția de refosforare a băii metalice, prin reducerea pentaoxidului de fosfor cu carbon [33]:



În prezența varului din încărcătură defosforarea se produce după reacția:

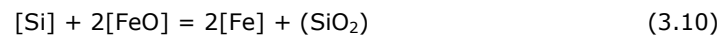
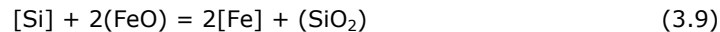


Pentru un randament bun al defosforării zgura trebuie menținută bazică, fluidă și puternic oxidantă, prin adaosuri de var, fluorură de calciu și minereu de fier. De regulă conținutul de fosfor scade pe durata oxidării până la valori de cca. 0,035%.

Pe parcursul oxidării are loc oxidarea elementelor, în ordinea afinității lor față de oxigen, și anume: Si, Mn, P, C, etc.

Oxidarea siliciului se produce în cea mai mare parte aproape complet, iar manganul până la conținuturi de 0,10 - 0,15 %, iar acesta ca urmare a regenerării în partea finală a oxidării ajunge la conținuturi de 0,20 - 0,25%Mn.

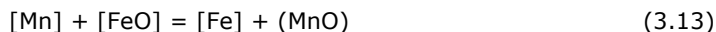
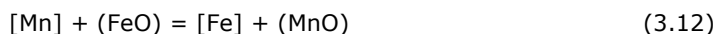
Oxidarea siliciului se produce după reacțiile: (3.9) la interfața zgură – baie metalică, (3.10.) în interiorul băii metalice și (3.11) la suflarea oxigenului în baie [33]:



Reacția se desfășoară în special la temperaturi relativ mici de la începutul oxidării. Odată cu creșterea temperaturii se creează condiții de reducere a siliciului de către carbon, dar la un cuptor cu căptușeală bazică cantitatea redusă este neglijabilă.

Manganul este solubil în fierul lichid în orice proporție, iar cu oxigenul formează ușor oxizi (MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MnO) dintre care numai MnO este stabil la temperaturile la care se face elaborarea oțelurilor.

Manganul se oxidează după reacții similare ca și siliciul, și anume: (3.12) la interfața zgură – baie metalică, (3.13) în interiorul băii metalice și (3.14) la suflarea oxigenului în baie [33]:



În timpul elaborării oxidarea siliciului devansează pe a manganului, crește conținutul de SiO_2 în zgură, acesta este legat sub formă de silicați de calciu și oxidarea siliciului, este încetinită putându-se oxida astfel și manganul, până la conținuturi menționate anterior.

Spre sfârșitul perioadei de oxidare, mai precis în subperioada de fierbere liniștită, ca urmare a creșterii temperaturii are loc procesul de regenerare a manganului după reacția:



Procesul de regenerare este favorizat și de faptul că se lucrează cu zgură bazică, oxidul de mangan având caracter bazic nu este legat în zgură sub formă stabilă.

Regenerarea manganului în partea finală a oxidării este un indiciu că procesul de oxidare a decurs în bune condiții.

3.2.4.2. Oxidarea carbonului

Perioada de oxidare se împarte în două subperioade: de fierbere intensă sau cu minereu și liniștită sau fără minereu. În timpul fierberii intense, adaosurile de minereu (numai uscat) se face astfel încât să se asigure o viteză de decarburare de 0,30 – 0,50%C/h la începutul oxidării, chiar până la 0,70%C/h dacă baia este suficient de caldă.

Uscarea minereului este obligatorie pentru evitarea pătrunderii hidrogenului în oțel. Pentru aceasta oțelăriile electrice sunt echipate cu cuptoare de calcinare tip cameră sau cuptoare rotative.

De asemenea, pentru evitarea pătrunderii hidrogenului în baia metalică, trebuie ca varul să fie proaspăt ars. Varul vechi cu mult praf este hidratat, fiind o sursă importantă de hidrogen în oțel, motiv pentru care trebuie calcinat înainte de utilizare.

Oțelăriile care nu dispun de fabrică de var proprie, se vor aproviziona cu var, a cărui transport se face în containere închise ermetic.

Carbonul se oxidează după reacții similare ca manganul și siliciul, și anume: (3.16) la interfața zgură – baie metalică, (3.17) în interiorul băii metalice și (3.18) la suflarea oxigenului în baie [33]:



Oxidarea carbonului se desfășoară cu o viteză care depinde de modul de alimentare a băii cu oxigen, practic oxidarea carbonului poate să se desfășoare până la consumarea carbonului.

Pentru o rafinare eficientă a băii, oxidarea carbonului se realizează în două stadii, și anume: oxidarea activă (fierberea intensă sau cu minereu) și oxidarea pasivă (fierbere liniștită sau fără minereu). În perioada de fierbere activă (intensă) viteza de oxidare a carbonului trebuie să fie de minim 0,30% C/h, iar în cea pasivă (liniștită) în medie de 0,10%C/h.

Utilizarea oxigenului ca agent de oxidare s-a produs în special în subperioada activă și uneori și în cea pasivă, pentru obținerea unui conținut mic de carbon.

Minerul de fier se adaugă pe baia metalică în porții succesive, la interval de 10 - 12 minute în 3 reprize, și în cantitate de 0,75 - 1,0% din greutatea șarjei.

Pentru intensificarea decarburării și oxidării celorlalte elemente, în practica curentă se utilizează ca oxidant oxigenul gazos (oxigen tehnic cu minim 99,5% oxigen).

Introducerea oxigenului în baia metalică s-a făcut printr-o țeavă consumabilă din oțel cu diametrul de 20 ÷ 32 mm, presiunea de insuflare a fost în limitele 5 ÷ 15 at., iar consumul specific a fost de 5 ÷ 10 Nm³/t.

Consumul de țeavă (din oțel moale, cunoscută în practică sub denumirea de "țeavă neagră") a variat în limitele 0,5 - 5m/100Nm³ de oxigen.

Pe baza datelor din literatura de specialitate [34] s-a stabilit relația care determină debitul de oxigen pentru ca viteza de decarburare să fie maximă:

$$O_{O_2,max.} = 0,0555d (6 + \sqrt{P}) \text{ Nm}^3/\text{min.} \quad (3.19)$$

unde: $O_{O_2,max.}$, este debitul de oxigen, în Nm³/min;

d - diametrul țevii, în mm;

P - capacitatea cuptorului, în t.

De exemplu, pentru un cuptor de 50 tone debitul de oxigen este de 22 Nm³/min. Debitul minim reprezintă 50 - 70% din debitul maxim calculat.

Viteza de oxidare a carbonului în cazul suflării oxigenului, este de 4 - 5 ori mai mare decât în cazul utilizării minerului ajungând la 1,8 - 2,5%C/h.

La suflarea oxigenului temperatura băii metalice crește în medie cu 3⁰C/min (față de 1⁰C/min la utilizarea minerului), astfel încât temperatura băii ajunge cu ușurință la 1800⁰C - 1850⁰C, ceea ce este foarte important la elaborarea oțelurilor cu conținut ridicat de crom.

Folosirea oxigenului în perioada de oxidare, conduce la formarea unei cantități mari de praf (fum roșu), uneori ajungând la 8kg/t oțel sau circa 12g/Nm³ de gaz brut din care 70% sunt particule sub 5μm.

Pentru reducerea poluării gazele sunt trecute prin electrofiltre.

Conducerea oxidării se realizează pe baza rezultatelor privind compoziția chimică a probelor prelevate din baia metalică, și a măsurării temperaturii (obligatoriu probă de oțel și măsurarea temperaturii la începutul și sfârșitul oxidării).

Oxidarea avansată a carbonului a fost corectată ulterior după analize succesive.

Oxidarea băii a început în partea finală a topirii și a continuat în timpul afinării.

Durata oxidării a fost de cel puțin 5 minute și nu a depășit 20 de minute, timp suficient pentru omogenizarea băii și eliminarea gazelor având în vedere procesarea oțelului după evacuare în oală (L.F. + V.D.)

3.2.5. Dezoxidarea

După terminarea oxidării, urmărind scăderea conținutului de oxigen, zgura de oxidare s-a evacuat în proporție de 90%, și s-a format o zgură nouă din var și fluorură în proporție de 5:1, peste care s-a adăugat pentru predezoxidare SiMn/FeMn și FeSi cca. 4 kg/t. De asemenea, se poate utiliza aluminiu sub formă de calupuri imersate în baie (0,400kg/t).

Sistemul multifazic de elaborare a oțelului în cuptorul electric cu arc este prezentat în figura 3.17.

Dezoxidarea oțelului începe cu predezoxidarea cu mangan în special, element cu afinitate mai mare față de oxigen decât fierul. Prin adăugarea

manganului ca SiMn sau amestec de FeMn și FeSi, după oprirea oxidării carbonului, oxigenul conținut de baia de oțel lichid urmează a fi consumat de către dezoxidanți.

Dezoxidarea cea mai răspândită este una mixtă, adică o dezoxidare prin precipitare și una prin difuziune, adăugând feroaliaje pe zgură nouă pe care se adaugă un amestec dezoxidant format din: var, ferosiliciu praf, cocs și fluorură de calciu în proporții de 6:2,5:0,5:1 (pentru dezoxidarea prin difuziune). Amestecul dezoxidant trebuie să fie adăugat în cantitate de 10÷ 12 kg/t.

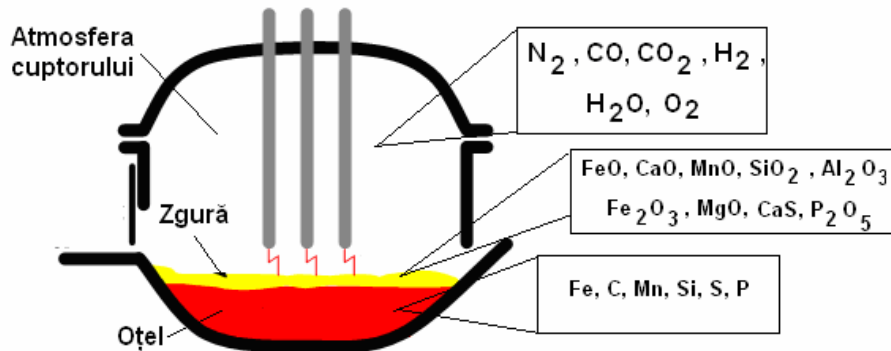


Fig.3.17. Sistemul multifazic [23]

Dezoxidarea prin precipitare are la bază reacțiile între excesul de oxigen și dezoxidanți.

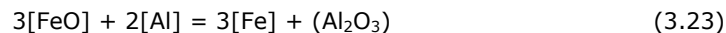
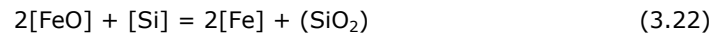
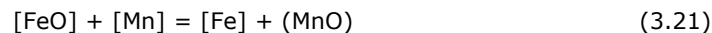
Reacțiile între dezoxidanți și oxigen sunt de forma [34]:



Cu cât este mai oxidat oțelul la sfârșitul perioadei de oxidare cu atât este mai mare necesarul de dezoxidanți și cantitatea produșilor de dezoxidare rezultată, oxizi sau combinații de oxizi.

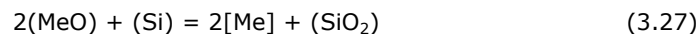
Produsul Me_mO_n este numai în anumite condiții oxid pur. De cele mai multe ori el dizolvă FeO și formează combinații $\text{FeO}\text{Me}_m\text{O}_n$ sau soluții $x \text{Me}_m\text{O}_n(1-x) \text{FeO}$ cu compoziții diferite, putând fi solide sau lichide în funcție de proporții.

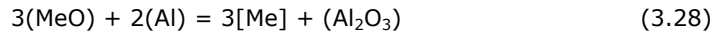
La utilizarea principalilor dezoxidanți mangan și siliciu reacțiile de dezoxidare sunt [34]:



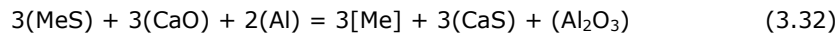
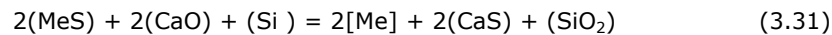
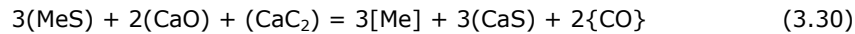
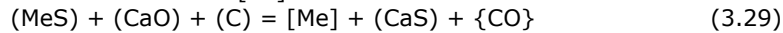
Ordinea adăugării dezoxidanților este cea inversă afinității acestora față de oxigen.

Dezoxidarea prin difuzie are la bază trecerea în zgură a oxigenului dizolvat în oțel, și se realizează prin adăugarea unor reducători pe zgură, separat sau împreună și care reacționează cu oxizii fierului sau ai dezoxidanților ca mai jos [34]:





Reacțiile de desulfurare sunt [34]:



Din analiza reacțiilor de desulfurare se constată că, în cazul zgurilor mai bogate în carbon (zguri carbidice), desulfurarea este mai intensă, deoarece conform reacțiilor (3.29) și (3.30) oxidul rezultat părăsește sistemul (nu este reținut în zgură), deci nu influențează conținutul de $(\text{CaO})_{\text{liber}}$, principalul component desulfurant al zgurii, comparativ cu zgura mai bogată în Si și Al (zgurile albe), deoarece în acest caz oxizi rezultați rămân în zgură și formează silicați și respectiv aluminati de calciu, ceea ce conduce la reducerea conținutului de $(\text{CaO})_{\text{liber}}$.

Desulfurarea băii se face prin adăugarea unor elemente cu afinitate față de sulf mai mare decât a fierului (în majoritatea cazurilor și față de oxigen), este vorba în special de mangan adăugat ca FeMn, dar și de calciu adăugat ca SiCa, AlCaSi.

Alte elemente cu afinitate mai mare dar mai costisitoare ar fi bariu, cesiu și lantanide (lantan, ceriu, praseodim și neodim, cunoscute sub denumirea de Mishmetal: Ce = 40 – 50%; La = 20 – 30%; Nd = 15 – 25; Pr = 5 – 10%) [34].

Atmosfera cuptorului trebuie să fie de asemenea reducătoare, și pentru realizarea acesteia concură degajarea de CO în atmosfera cuptorului în urma reacțiilor chimice, și menținerea închisă a ușii cuptorului, ea deschizându-se strict numai pentru prelevarea de probe, măsurarea temperaturii sau pentru adăugarea de materiale pe zgură. Desulfurantul băii în cazul de față este manganul, iar reducătorii: cocsul, varul, praful de siliciu și aluminiul din amestecul reducător.

Dezoxidarea cu aluminiu este considerată ca o dezoxidare suplimentară, în condițiile în care conținutul de mangan în oțel a ajuns la 0,50%, iar cel al siliciului la 0,08 ÷ 0,10%. Numai în aceste condiții producții de reacție ai aluminiului sunt oxizi puri solizi (Al_2O_3), cu dimensiuni mici și distribuție mare, și care pot fi ușor îndepărtați din baie având în vedere tensiunea interfațială mare, iar cei care rămân acționează ca germeni de cristalizare în tot volumul lingoului finisând granulația. Dacă conținutul de oxigen nu este redus suficient de ceilalți dezoxidanți și se află în baie în cantități mari la adăugarea aluminiului, rezultă produse solide sinterizate de Al_2O_3 și oxizi de fier în particule mari.

Siguranța obținerii unor rezultate constant satisfăcătoare, crește dacă în momentul în care oțelul dezoxidat în agregatul de elaborare cu mangan și siliciu acoperă fundul oalei de turnare, la evacuare se adaugă 0,010 ÷ 0,015% aluminiu, adaos care se consumă în întregime în reacția cu oxigenul, rezultând Al_2O_3 , care împreună cu silicații lichizi părăsește oțelul cu viteză mare. Restul de aluminiu se adaugă după ferosiliciul pentru corecția compoziției chimice și până cu puțin înainte de a începe să curgă zgura din cuptor, sau mai bine după umplerea oalei de turnare (introdus repede prin zgură, legat de o bară de oțel – imersie în baia de oțel).

3.2.6. Corecția compoziției chimice

Se face atât în cuptor cât și în oală în timpul evacuării cu feroaliaje bine uscate sau calcate. Ordinea de introducere a acestora în baia metalică și cantitatea este în funcție de tendința lor de oxidare și compoziția chimică urmărită.

Cantitatea necesară de feroaliaje se calculează cu relația [34]:

$$G_{Fex} = \frac{(x_f - x_i) \cdot 10 \cdot G_{Sj}}{\%X_{(Fe-x)} \cdot a_x} \quad (3.33)$$

unde: X este Mn, Si, V, etc;

x_f – procent de element dorit;

x_i – procent de element de la care se face corecția;

$\%X_{Fe-x}$ – procent de element în feroaliaj;

a_x – gradul de asimilare al elementului în oțel (exprimat cu două zecimale);

G_{sj} – greutate șarje (în tone);

G_{Fex} – cantitatea de feroaliaj;

Fe-X – denumire feroaliaj (notat ca indice) (FeMn; FeSi; FeV, etc.)

Ordinea adăugării pentru corecția compoziției chimice este următoarea:

- manganul se adaugă ca mangan metalic, feromangan sau silicomangan după ce s-a format zgura reducătoare;

- siliciul se adaugă ca ferosiliciu calcinat la 1150°C cu 15 ÷ 20 de minute înaintea evacuării în cuptor în proporție de 1/3 din cantitatea necesară, restul se adaugă în oală în timpul evacuării, iar pierderile sunt de 10 ÷ 15%;

- vanadiul se adaugă sub formă de ferovanadiu, împachetat în cutii de tablă cu cca. 5 ÷ 8 minute înaintea evacuării.

3.2.7. Evacuarea șarjei

Evacuarea oțelului din cuptor se face numai atunci când temperatura corespunde cu cea prescrisă pentru marca de oțel elaborat și în concordanță cu prelucrarea sa ulterioară în stare lichidă. Supraîncălzirea necesară peste temperatura lichidus fără tratare în stare lichidă va fi de 60 ÷ 70 °C. Oala se aduce la cuptor încălzită la minim 800°C. Înclinarea cuptorului la evacuare și poziționarea oalei se face în așa fel încât jetul de oțel să curgă fără zgură, să fie centrat și să nu lovească pereții acesteia și de asemenea să se evite jeturile subțiri pentru a reduce fenomenul de oxidare secundară. În timpul evacuării se fac corecții la oală ale siliciului și adăugarea aluminiului pentru dezoxidarea suplimentară. După evacuare se staționează cu oala cca. 5 minute pentru a asigura flotarea incluziunilor în zgură.

3.2.8. Procesarea oțelului lichid în oala de turnare

Procesarea oțelului în oala de turnare la SC SMR Bals se face în două etape și anume: în instalația LF respectiv în instalația de vidare tip VD.

În instalația de tip LF (figura 3.18) care are drept scop procesarea oțelului cu zgură sintetică pentru reducerea conținutului de sulf și oxigen, barbotare cu argon în vederea omogenizării compoziției chimice și termice a oțelului precum și eliminării gazelor din oțel. De asemenea, are loc corecția compoziției chimice a oțelului urmărind încadrarea acesteia în limitele prevăzute de standard. Astfel se adaugă în oala de turnare feroaliaje și grafit pentru asigurarea conținutului de carbon.

Durata tratamentului în instalația LF fiind cuprinsă între 60-80 minute.

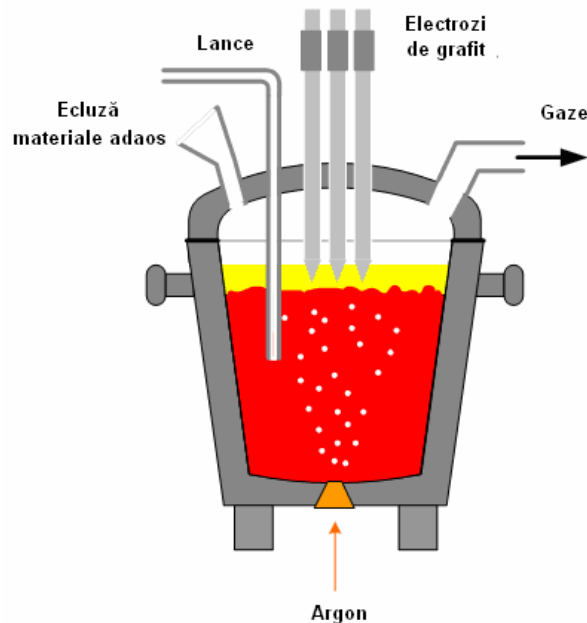


Fig.3.18. Instalația de tratament secundar al oțelului tip LF [35]

Vidarea oțelului s-a făcut pe o instalație VD care funcționează pe principiul extracției gazelor într-o incintă vidată.

Tratamentul sub vid durează cca. 15 ÷ 18 minute pentru șarja de 60 tone, iar dacă temperatura oțelului scade sub temperatura lichidus + 60°C se oprește operația de vacuumare, chiar dacă nu s-a scurs timpul prescris pentru degazare, iar dacă temperatura oțelului permite, vacuumarea poate fi prelungită cu cca. 3 ÷ 5 minute.

La terminarea vidării se comandă aerisirea instalației, apoi se comandă ridicarea și rabatarea recipientului de deasupra oalei.

Se prelevează proba finală din oțelul lichid și se transmite la laboratorul chimic pentru determinarea conținutului de gaze.

În cadrul cercetărilor s-au analizat 15 șarje, iar rezultatele obținute sunt prezentate în figurile 3.19 și 3.20.

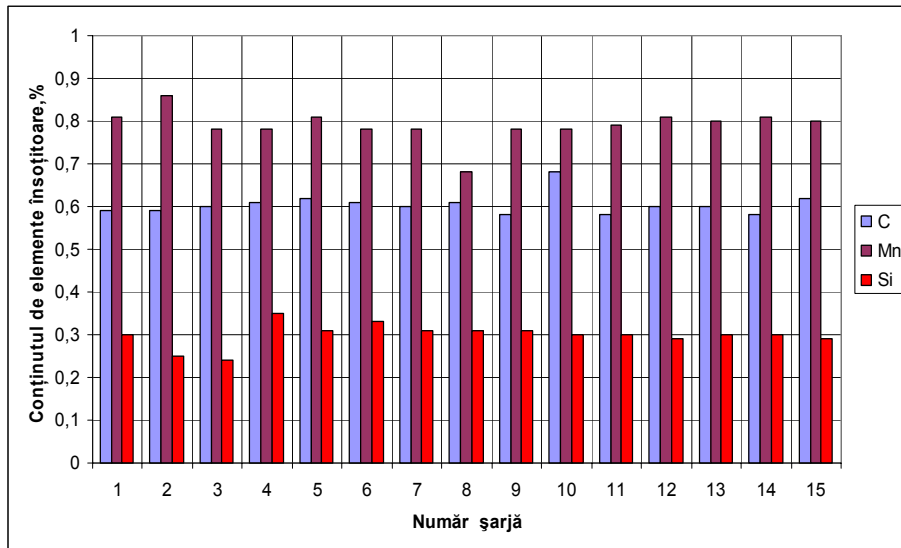


Fig. 3.19 Compoziția chimică (C, Mn, Si) a oțelului

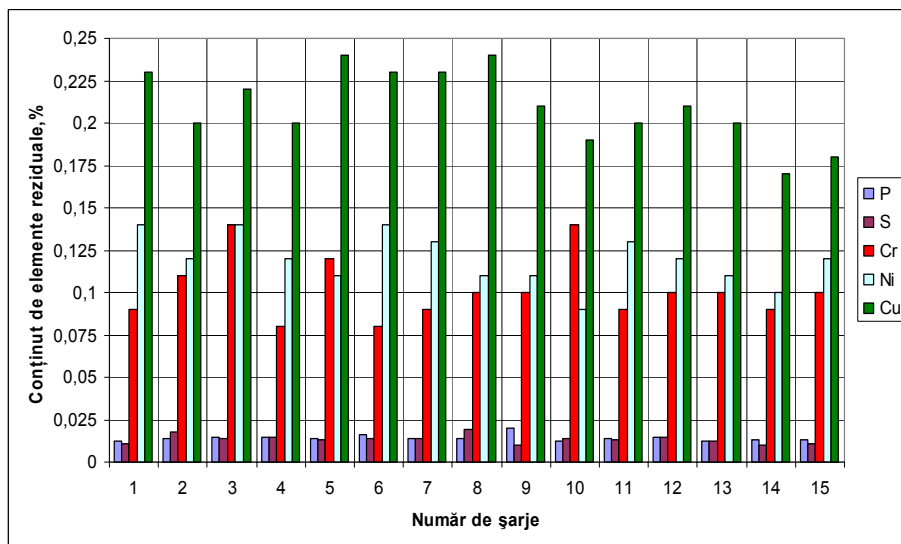


Fig. 3.20 Compoziția chimică (P, S, Cr, Ni, Cu) a oțelului

3.3. Procesul tehnologic de turnare și solidificare a oțelului

3.3.1. Turnarea oțelului

Turnarea oțelului în lingouri se realizează prin sifon (turnare indirectă) pe garnituri asamblate în funcție de formatul lingoului ($\varnothing 425/3$ tone, $\varnothing 450/3,4$ tone și

Ø500/4,3 tone) și mărimea șarjei. Seriile se pot înzidi în ansamble cu maximum 8 lingouri pe podul de turnare.

Pentru asigurarea unei suprafețe corespunzătoare a lingoului, în lingotieră se administrează prafuri unguente de tip LUB2, LUB9 sau TM2t (termicem) și după umplere prafuri izolante (antiretasură ARO4).

Prafurile unguente acoperă suprafața oglinzii de oțel în lingotieră în timpul turnării, iar praful izolator se administrează la sfârșit de turnare, după umplerea maselotelor.

Prafurile unguente sunt materiale pulverulente ușor fuzibile, care introduse în lingotieră asigură atât ungerea cât și izolarea termică, barieră între oțel și atmosferă.

La turnarea oțelurilor carbon și slab aliate pentru producerea prafurilor unguente se utilizează frecvent cenușă de termocentrală cu adaosuri de carbonat de sodiu și carbon reactiv, iar pentru oțelurile inoxidabile și aliate pe bază de zguri de furnal.

Fiecare din cele două prafuri formează un eutectic cu punct de topire scăzut ($\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ respectiv $\text{CaO} - \text{SiO}_2$), iar acțiunea lor la interfața lingou – lingotieră este reprezentată în figura 3.21.

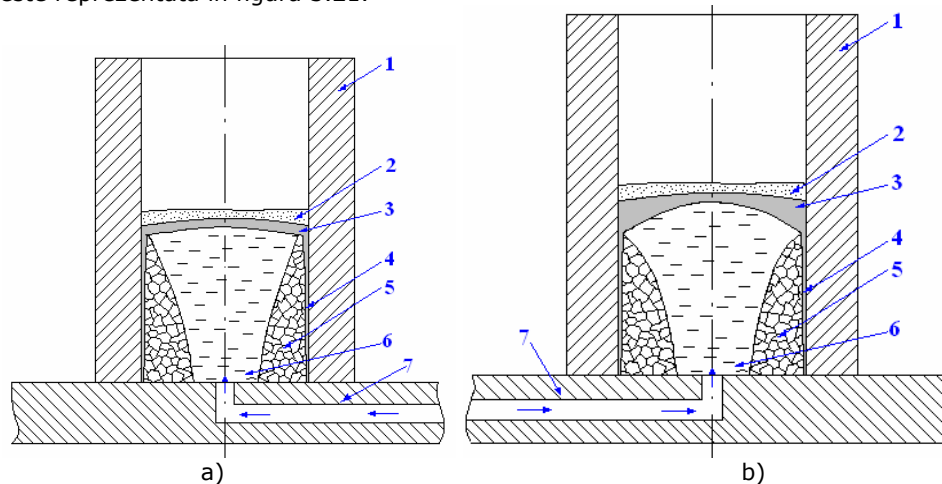


Fig.3.21. Fig. Schema acțiunii stratului de zgură [36]:

a) după Ripon I.; b) după Alexander P.

1- lingotieră, 2 - praf unguent, 3 - zgură, 4 - film de zgură, 5 - oțel solidificat,
6 - oțel lichid, 7 - pod de turnare.

Modul de acțiune a prafurilor se concretizează în următoarele direcții:

- acționează ca un izolator termic, micșorând pierderile de căldură de la suprafața superioară a lingoului;
- reduce sau previne oxidarea meniscului și oglinda de oțel;
- absoarbe oxizii, zgura și produsele de dezoxidare care se formează sau plutesc pe suprafața oțelului.

Practic prafurile se introduc pe fundul lingotierei înainte de turnare (înaintea pătrunderii oțelului în lingotieră) în cantitate de 1,5 – 2,5 kg/t oțel, sau după ce s-a format un strat de oțel lichid.

La contactul celor două produse, prafurile se zgurifică, zgura rezultată se

ridică în lingotieră odată cu oțelul și aderă la peretele lingotierei sub forma unei pelicule (a unui film), cu grosime de câțiva mm și se interpune între peretele interior al lingotierei și crusta lingoului în formare. În timpul stripării lingoului de oțel, stratul (filmul) de zgură se desprinde atât de pe suprafața lingoului, cât și de pe suprafața interioară a lingotierei. Ca urmare se evită formarea defectelor de suprafață a lingoului cu influență pozitivă asupra scoaterii de metal și de asemenea, nu mai este necesară curățirea suprafeței lingotierei.

Prafurile unguente acoperă suprafața oglinzii de oțel în lingotieră în timpul turnării, iar praful izolator se administrează la sfârșit de turnare, după umplerea maselotelor.

Aplicarea unguenților pe pereții lingotierei și folosirea mediilor de protecție împotriva oxidării secundare urmăresc limitarea acestui fenomen dăunător, micșorarea defectelor de stropi și înfășurări, precum și reducerea tensionării și crăpării crustei.

Oxidarea secundară mărește destul de mult conținutul de oxizi din oțel. Astfel s-a constatat că la unele mărci de oțel conținutul de oxigen crește de la 130ppm la ieșire din oală la 238ppm în lingou. Nivelul oxidării secundare depinde de conținutul oțelului în elemente cu afinitatea mare față de oxigen.

Parametrii de turnare realizați la șarjele urmărite au fost:

- viteza de umplere cuprinsă între 185 ÷ 215 mm/min;
- debitul de turnare cuprins între 0,147 ÷ 0,208 to/min;
- timpul de umplere al lingotierei 10÷15 min timp în care se fac mai multe "pompări" pentru compensarea contracției la solidificare și pentru a ajuta flotarea incluziunilor din lingou spre maselotă.

La golirea a aproximativ jumătate din oțelul din oală, se ia o probă pentru analiza chimică finală. Fiecare lingou are o fișă de identificare din tablă subțire pe care este poansonat numărul șarjei. După turnare lingourile se solidifică și se răcesc în lingotieră. Garniturile turnate vor staționa în poziția în care au fost turnate fără a fi deplasate, pentru a evita perturbarea procesului de solidificare. Timpii de staționare minimi pentru fiecare format de lingou au fost: pentru Ø425mm – 80 minute; Ø450mm – 90 minute și 100 minute pentru formatul Ø500mm.

Duratele de răcire în lingotiere au fost următoarele: pentru Ø425mm – 6 ore; Ø450mm – 8 ore și Ø500mm – 10 ore.

Datorită faptului că lingotierele sunt construite deschis la partea inferioară de așezare pe pod (fără fund), sub influența directă a podului, lingoul se solidifică fără zonă columnară în partea de jos.

3.3.2. Solidificarea lingoului de oțel

Mecanismul procesului de solidificare a lingoului este determinat în mare măsură de fenomenele termice, deoarece în timpul solidificării căldura înmagazinată în oțelul lichid trebuie să se transmită mediului exterior. Transmiterea căldurii din lingou spre mediul exterior, depinde în special de raportul dintre volumul lingoului și suprafața sa, raport care reglează viteza cu care se poate evacua căldura din lingou.

Imaginea obișnuită a solidificării constă, în a considera că în lingou se deplasează un front de solidificare, cu o temperatură determinată și că acest front desparte zona lichidă de cea complet solidificată a lingoului. Înaintarea frontului este legată exclusiv de fenomene termice, și se efectuează în sens invers fluxului de căldură. Această imagine reflectă într-un mod foarte aproximativ procesul real, în special în momentul în care nu mai există un important gradient de temperatură în lichid. În realitate, fenomenele termice nu reprezintă decât aspectul exterior al

procesului de solidificare a lingoului. Solidificarea este de fapt rezultatul complex al diferitelor fenomene fizice care condiționează formarea cristalelor [37].

În figura 3.22 este prezentată schema unui lingou cu secțiune circulară în curs de solidificare.

După cum se știe, în lingoul solidificat se disting următoarele zone [37]:

a) o zonă exterioară – *zona 1*, subțire, cu grăunți mici, orientați dezordonat, formată pe perețele rece al lingotierei numită zona marginală (zona cristalelor globulitice). Această zonă rezultă din solidificarea practic instantanee a oțelului în contact cu lingotiera rece. Cum în acest caz răcirea este foarte rapidă, oțelul este puternic subrăcit înainte ca aceste cristale să se poată dezvolta. Ele iau naștere fie prin germinare omogenă, fie prin germinare eterogenă, folosind germeni care nu ar fi fost activi dacă subrăcirea nu ar fi fost atât de mare. Se formează simultan un număr mare de cristale și acestea îi împiedică să se dezvolte reciproc, natura lor dendritică fiind din această cauză greu de distrus. Grăunții din stratul marginal au orientare dezordonată și se dezvoltă în mod egal pe cele trei direcții axiale;

b) o zonă cu cristale columnare crescute paralel între ele și având orientarea exclusiv perpendiculară pe perețele lingotierei numită zona columnară – *zona 2*. O dată cu înaintarea frontului de solidificare au loc următoarele fenomene: se acumulează cantități importante de elemente însoțitoare la interfața solid-lichid, scăzând temperatura de topire la interfață iar prin stratul solid se evacuează spre exterior nu numai căldura latentă de solidificare, ci și o parte din supraîncălzirea lichidului, astfel încât gradientul de temperatură scade repede;

c) o zonă de cristale, echiaxe și dezordonate în centrul lingoului, o parte din acestea se prind de dendrite și la rândul lor de ele altele formând zona echiaxială numită *zona 3*, iar cele care nu reușesc să se prindă cad la piciorul lingoului formând o zonă foarte densă numită *zona 4*.

Ca urmare a procesului de scădere a temperaturii, oțelul se îmbogățește în elemente care segregă, astfel că la un moment dat oțelul din centrul lingoului se solidifică brusc sub forma unor cristale neorientate mari, formându-se zona centrală – *zona 5*. Această zonă este cea mai impură. Ca urmare a scăderii volumului oțelului în timpul solidificării în capul lingoului se formează retasura.

Explicația genezei acestor zone se poate analiza pe baza studiului fenomenelor fizico-chimice (termice, segregatie, etc) din lingou.

Particularitățile structurale ale lingourilor se datorează interacțiunii a trei factori importanți și anume: caracteristicile cristalografice ale oțelului, distribuția temperaturii în oțelul lichid și solid respectiv a elementelor însoțitoare.

Deoarece în cazul lingourilor cu secțiune circulară, suprafața specifică de schimb de căldură este mai mică decât la celelalte lingouri (secțiune pătrată sau dreptunghiulară), este indicat a se lua *măsuri tehnologice de introducere de microrăcitori*, modificatori și de alți centri de cristalizare, care contribuie la creșterea rapidă a cristalelor echiaxiale în fața frontului de cristalizare și întrerupe creșterea dendritelor columnare chiar la viteze mari de cristalizare a oțelului. Odată cu mărirea dimensiunii secțiunii transversale a lingoului, influența supraîncălzirii oțelului și a curenților convectivi asupra limitei de solidificare se menține pentru o durată mult mai mare decât în lingourile mici. De aceea zona de transcristalizare este mult mai extinsă în lingourile cu secțiune mare.

O problemă complexă și de mare importanță în obținerea pieselor de bună calitate din oțel este creșterea omogenității fizice a lingourilor.

Calitatea lingourilor este influențată de condițiile de degajare a căldurii, de compoziția chimică a oțelului și tendința acestuia de a segrega, de viteza și temperatura de turnare, de forma și dimensiunile geometrice ale lingotierei.

Formarea zonelor structurale și a neomogenităților fizice din lingou, este mult influențată de doi parametri: mărimea intervalului de cristalizare dintre temperaturile lichidus și solidus, și gradientul de temperatură în volumele de oțel care se solidifică și care caracterizează intensitatea procesului de răcire a lingoului.

Neuniformitatea dimensiunilor formei și locurile de distribuție a cristalelor în lingou, constituie problema principală a procesului de turnare-solidificare a lingourilor de bună calitate. Pentru rezolvarea problemelor, trebuie să se stabilească în primul rând care este influența condițiilor de evacuare a căldurii din metal asupra formării structurii cristaline, ce forțe acționează asupra cristalelor în creștere și cum influențează condițiile exterioare redistribuirea acestor forțe.

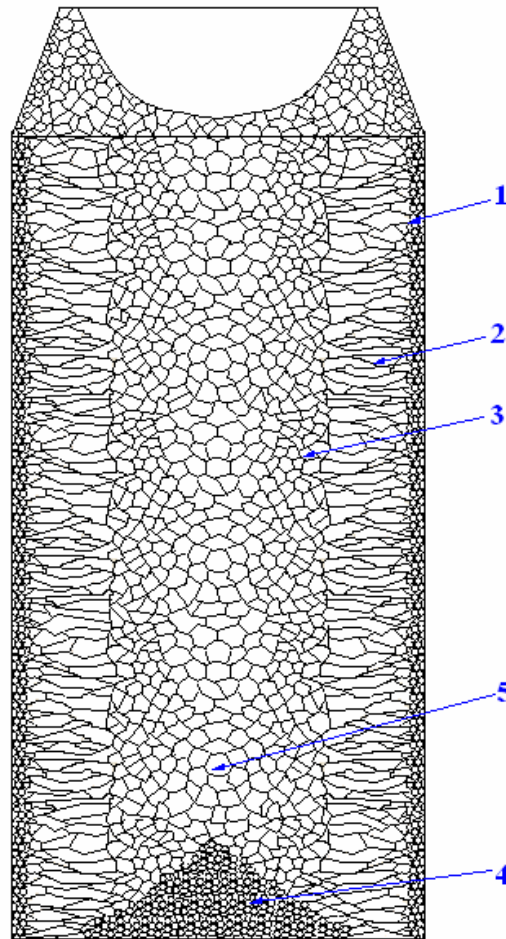


Fig.3.22. Prezentarea schematică a unui lingou în curs de solidificare [65]:

- 1 - zona exterioară; 2 - zona cristalelor columnare; 3 - zona cristalelor echiaxe dezordonate,
4 - zona densă de la piciorul lingoului; 5 - zona cristalelor neorientate mari.

3.4. Considerații privind dirijarea solidificării lingourilor din oțel

Formarea diferitelor zone de structură ale lingoului este determinată de: intensitatea de răcire a oțelului, extinderea înaintea frontului de cristalizare a unui strat de impurități, care determină apariția germeilor de cristalizare și ritmul de extindere al fluxurilor convective și gravitaționale, cu cristalele care se depun, respectiv de cristalizarea neuniformă a lingoului în zona inferioară, determinată de acesta.

Curba de răcire a oțelului lichid existent înaintea frontului de solidificare, caracterizează în totalitate condițiile de cristalizare a lingoului. Când se raportează la porțiunea dintre suprafața și axa lingoului, se pot determina exact locurile de amplasare ale zonelor cristaline. Gradientul de răcire indică distribuția temperaturii în raport cu temperatura de solidificare a stratului segregat, a cărui formare nu poate fi practic prevenită.

Dacă curba de răcire a oțelului intersectează curba de solidificare a stratului de impurități, cantitatea de oțel care se află înaintea frontului de solidificare are o temperatură mult mai joasă decât propria temperatură lichidă și astfel se creează condiții ca în oțel să apară subrăcirea maximă. În volumul subrăcit se formează germeni independenți de cristalizare, iar structura cristalină devine echi axială din columnară. Zona de subrăcire poate fi evitată dacă gradientul de temperatură din oțel crește pe baza schimbării condițiilor termofizice de solidificare. Dacă acesta este mai mare sau egal decât gradientul de temperatură al curbei maxime zona de subrăcire dispăre. Acest fapt se poate realiza în situația în care este îndeplinită următoarea relație [38]:

$$\frac{\Delta T}{v_{cr}} \geq m \frac{C_o}{D} \left(\frac{1 - K_o}{K_o} \right) \quad (3.34)$$

unde: ΔT este gradientul de temperatură în faza lichidă a lingoului;

v_{cr} – viteza de cristalizare a lingoului;

C_o – concentrația inițială a impurităților în oțel;

K_o – coeficientul de repartiție al impurităților în oțel;

D – coeficientul de difuzie al impurităților în lichid;

m – tangenta unghiului de înclinare a curbei lichidus.

Frontul de cristalizare este plan și lingoul se solidifică sub formă de cristale alungite, caracteristice zonei de transcristalizare dacă este îndeplinită următoarea relație [38]:

$$\frac{\Delta T}{v_{cr}} = m \frac{C_o}{D} \left(\frac{1 - K_o}{K_o} \right) \quad (3.35)$$

Dacă în timpul răcirii lingoului, gradientul de temperatură în oțel este mai scăzut decât cel al temperaturii de echilibru, în stratul de impurități apare structura echi axială. Formarea structurii dendritice echi axiale are loc după îndeplinirea inegalității [38]:

$$\frac{\Delta T}{\frac{1}{v_{cr}^2}} \leq \frac{A \cdot C_o}{K_o} \quad (3.36)$$

unde A este un coeficient determinat experimental.

Caracterul variației curbei de răcire a oțelului aflat înaintea frontului de cristalizare, și schimbarea vitezei de cristalizare se determină prin măsurarea distribuției câmpurilor de temperatură în lingou prezentată în figura 3.23.

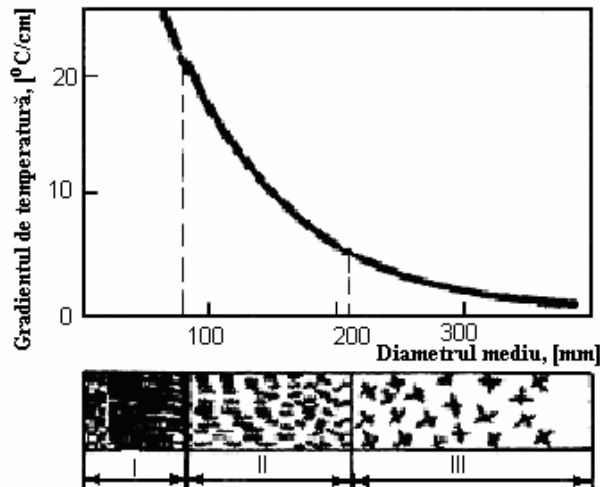


Fig.3.23. Modificarea structurii cristaline în funcție de intensitatea răcirii [29]:

I – zona de transcristalizare; II – zona intermediară de dendrite globulare;
III – zona dendritelor echiaxiale.

Importanța gradientilor de temperatură se schimbă în funcție de dimensiunile lingoului, grosimea pereților lingotierei și temperatura oțelului turnat. În toate cazurile, cea mai nefavorabilă zonă în care se constată segregarea zonală și se creează premisele formării golurilor de contracție în formă de V pe axa lingoului este zona intermediară. În această zonă se formează straturi de segregare determinate de subrăcirea maximă de profunzime și se dezvoltă puternic procesele de depunere a cristalelor. În aceeași perioadă, în soluția de bază a lingoului se menține o supraîncălzire considerabilă a oțelului, iar înaintea limitei de solidificare se păstrează un gradient încă ridicat de temperatură care determină deplasarea convectivă a metalului, ce distribuie metalul pe nivelele inferioare ale lingoului. Un gradient mai redus, la 20 minute de la începutul solidificării, se explică prin evacuarea intensă a căldurii prin crusta încă subțire a lingoului.

Densitatea structurii și reducerea defectelor de turnare din lingoul de oțel, sunt puternic influențate de solidificarea dirijată. Pentru a realiza aceasta este necesar să se asigure cedarea căldurii din lingou, astfel încât metalul să se solidifice consecutiv începând de la zona inferioară spre capul lingoului, și astfel să fie create toate condițiile pentru alimentarea permanentă cu metal lichid a tuturor zonelor de solidificare.

De obicei evacuarea rapidă a căldurii, se asigură prin crearea gradientului brusc în părțile care se solidifică, precum și în faza lichidă a lingoului. În acest caz, în afară de căldura de supraîncălzire, va trebui cedată în mare parte și căldura fizică de răcire a stratului de oțel care s-a solidificat.

Parametrul de bază cu care se poate dirija structura cristalină, este influențarea gradientului de temperatură din faza lichidă, învecinată cu frontul de solidificare a lingoului. Influența acestuia asupra schimbării structurii cristaline a fost

tratată de V.A. Tiller [40]. Micșorarea succesivă a gradientului de temperatură în faza lichidă la una și aceeași compoziție a aliajului, conduce la trecerea treptată a frontului plan de solidificare la cel celular. La micșorarea în continuare a acestui gradient, frontul celular tinde spre creșterea dendritică a cristalelor.

Posibilitatea trecerii de la frontul de solidificare plan la cel cu structură celulară se determină cu relația [38]:

$$\frac{\Delta T}{v_{cr}} \leq m \frac{C_o}{D} \left(\frac{1 - K_o}{K_o} \right) \quad (3.37)$$

iar spre creșterea dendritică cu relația (3.36).

Dacă în oțelul lichid există germeni eterogeni care pot provoca formarea germeilor la subrăcirea ΔT , atunci în volumele de oțel lichid se vor forma cristale echiaxe [48].

Pentru a obține un lingou cu structură columnară, este necesar un gradient de temperatură în fază lichidă, care să determine germinarea cristalelor înaintea frontului de solidificare. Diametrul cristalelor columnare în aliajul lichid se poate determina cu relația determinată de V.A. Tiller [40]. Diametrul cristalului format se mărește pe măsura scăderii gradientului de temperatură și a creșterii tensiunii interfazice.

Schemele de obținere a structurilor omogene echiaxiale se pot grupa astfel:

- crearea în întregul volum al lingoului a unui gradient minim de temperatură ΔT în faza lichidă, care să se încadreze în limitele intervalului de cristalizare al oțelului. În acest caz germinarea cristalelor se va produce aproape în același timp în întregul volum al lingoului, iar micșorarea gradientului de temperatură în topitură se poate realiza prin micșorarea temperaturii de turnare a oțelului (măsură aplicată frecvent în practică), adaos de materiale solubile, respectiv de microrăcitori, care creează o puternică subrăcire a topiturii;

- formarea centrelor de cristalizare într-o zonă nu prea largă a stării bifazice, înaintea frontului de solidificare și deplasarea succesivă a acestei zone de la periferie spre axa lingoului (figura 3.24). În acest caz lățimea zonei va fi limitată iar faza lichidă va putea, sub influența presiunii ferostatice, să pătrundă ușor în porii de contracție formați ca urmare a procesului de cristalizare. Asemenea condiții se pot crea la gradientele mai mari de temperatură decât cele din cazul anterior;

- adăugarea în oțelul care pătrunde în lingotieră a catalizatorilor care provoacă formarea eterogenă a germeilor de cristalizare, ce conduce la micșorarea dimensiunilor grăunților în lingoul de oțel turnat. La adăugarea în oțel a materialelor solubile și a catalizatorilor, germinarea cristalelor influențează procesul de cristalizare ca urmare a faptului că aceștia determină subrăcirea concentrată a topiturii, iar impuritățile superficial active micșorează tensiunea superficială la interfața cristal-topitură, reduce raza critică a germenului, energia consumată pentru formarea sa și tendința de subrăcire.

La dirijarea proceselor de germinare a cristalelor în lingourile de oțel turnate, rezultă grăunți mici și uniformi care determină obținerea unor durate scurte a procesului de solidificare și omogenizare, respectiv valori ridicate ale caracteristicilor mecanice ale semifabricatelor obținute din aceste lingouri. În mod practic, procesele de germinare și creștere a grăunților, se pot regla prin introducerea microrăcitorilor la turnarea oțelului lichid în lingotiere.

Problema de bază care trebuie rezolvată la turnarea oțelului, constă în asigurarea obținerii de lingouri omogene din punct de vedere chimic, structural și a proprietăților mecanice. Pentru atenuarea deficiențelor la solidificarea clasică, este necesară adaptarea unei metode eficiente de evacuare a căldurii din oțelul în curs

de solidificare.

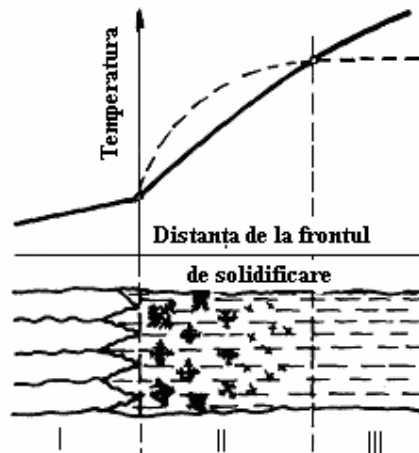


Fig.3.24. Schema formării zonei bifazice [41]:

I – zona cristalelor columnare; II – zona bifazică; III – topitură lichidă.

Pentru dirijarea solidificării se pot utiliza trei metode de acțiune:

- acțiunea unui câmp magnetic alternativ sau continuu pentru oprirea curenților de convecție din oțelul lichid din mijlocul lingoului sau schimbarea direcției mișcării acestora;

- folosirea microrăcitorilor sub formă de pulbere metalică sau granule metalice, care micșorează gradientul de temperatură și dereglează circulația aliajului nesolidificat;

- mărirea vitezei de solidificare a oțelului prin diferite procedee.

În calitate de microrăcitori se utilizează, pulberi metalice pe bază de fier sau diferite alte aliaje, respectiv pulberi metalice obținute la fabricarea alicelor din oțel. Cantitatea de microrăcitori variază între 0,1-3% din masa oțelului turnat iar granulația variază de la 50microni la 4mm. Cantitatea și granulația microrăcitorilor se stabilește [42] în funcție de parametrii tehnologici ai procesului (temperatura de turnare a oțelului, modul de introducere a microrăcitorilor, greutatea lingoului respectiv timpul de turnare).

Microrăcitorii introduși în oțelul lichid în timpul turnării acestuia provoacă la răcirea și solidificarea oțelului mai multe efecte, și anume: de răcire prin acumularea căldurii de supraîncălzire a oțelului și parțial a căldurii de cristalizare rezultând schimbarea caracterului solidificării, de cristalizare prin formarea unui număr suplimentar de germeni de cristalizare, de aliere când se urmărește creșterea conținutului unui element, respectiv de obținere a compozitelor.

Microrăcitorii folosiți pentru dirijarea solidificării oțelului pot determina patru tipuri de solidificare a acestuia [43]:

- *solidificare tip I* – microrăcitorii se topesc înainte de începerea solidificării oțelului, de asemenea dispar și microgrupările atomilor elementelor din microrăcitori (prin difuzie), aceștia acumulând parțial sau total căldura de supraîncălzire, corespunzătoare gradientului de supraîncălzire $\Delta T = (0,01 - 0,11) \cdot T_{top}$;

- *solidificare tip II* – microrăcitorii se topesc, însă microgrupările atomilor se mențin până la începutul cristalizării oțelului caz în care ei joacă rolul și de germeni

exogeni;

- *solidificare tip III* – microrăcitorii se topesc până la sfârșitul solidificării oțelului, aceștia acumulează și căldura latentă de cristalizare, determină cristalizarea și solidificarea în volum a oțelului respectiv schimbă direcția fluxului de căldură, în sensul că fluxul exterior nu coincide ca direcție cu fluxul interior la nivelul fiecărui microvolum;

- *solidificare tip IV* - microrăcitorii nu se topesc deloc sau numai parțial până la sfârșitul solidificării oțelului, și deci apar suprafețele de separație între aceștia și masa de oțel, obținându-se piese compozite, iar microrăcitorii apar ca și componente de sine stătătoare în peretele piesei din oțel.

Efectul maxim se obține în cazul *tipului III* de solidificare, când microrăcitorii se topesc în întregime, timp în care acumulează căldura de supraîncălzire a oțelului. La solidificarea de *tip I*, în topitura metalică se realizează o uniformizare rapidă a temperaturii, iar la solidificarea de *tip II și III*, în intervalul de temperatură lichidus-solidus, se mențin microvolume, care se deosebesc din punct de vedere al temperaturii și compoziției aliajului de bază; pe curbele de temperatură apar vârfuri cauzate de degajarea neuniformă a căldurii latente de topire. Apar microvolume cu densități și vâscozități diferite, care influențează substanțial curenții de convecție (la solidificarea de *tip I* aceștia dispar repede, la solidificarea de *tip II și III* se mențin).

În prezența microrăcitorilor netopiți, solidificarea oțelului suferă schimbări radicale (anexa 3): capătă un caracter volumic succesiv, frontul de solidificare, fiind fragmentat și multiplicat la nivelul numărului granulelor inoculate, astfel suprafața de răcire crește foarte mult, de asemenea segregăția zonală directă și indirectă este brusc frânată, datorită micșorării posibilității de transfer de masă prin spațiile dintre microfronturile de solidificare respectiv formarea retasurii în general și a celei concentrate în special este de asemenea frânată, datorită micșorării valorii contracției oțelului în stare lichidă și contracției la solidificare.

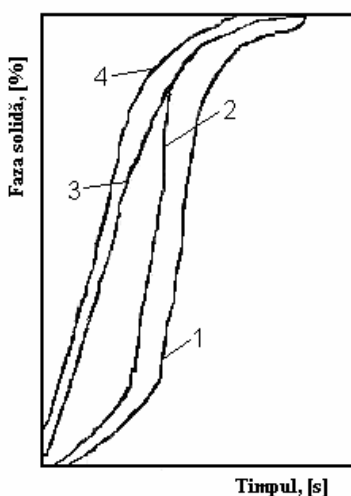
Din analiza comparativă, a datelor existente în literatura de specialitate [43-59], cu privire la lingourile turnate clasic și cu microrăcitori, se observă că în lingoul turnat cu microrăcitori, zona bifazică este mai largă iar durata de existență a oțelului în zona bifazică este de asemenea mai mare, deci segregarea și contracția volumică au posibilitate mai mică de desfășurare, și deci neomogenitatea fizică și chimică în zona axei termice va fi mai redusă. Curbele izolidus respectiv izosolidus sunt deplasate spre stânga, deci durata de solidificare a lingoului va fi mai mică, respectiv zona bifazică va fi mai mare. Viteza de deplasare a frontului de solidificare crește de 1,5-2 ori.

Elemente care segregă, carbonul, sulful, fosforul respectiv oxigenul, segregă mai repede în prima parte a stadiului de solidificare și conduc la segregăție zonală pozitivă (în partea superioară) și mai puțin la segregăție zonală directă spre axa termică. Segregăția pozitivă se formează în zonele de sub maselotă, iar comparativ cu turnarea clasică, la turnarea cu microrăcitori este mai mică cu circa 90% la sulf și cu 50% la fosfor. La turnarea oțelului cu microrăcitori, se dezvoltă și segregăția negativă care la carbon poate atinge 22%. De asemenea, segregăția neaxială se micșorează de 2-3 ori. Folosirea microrăcitorilor, determină schimbarea radicală a mecanismului de solidificare: elimină caracterul de periodicitate (prin inițierea unei solidificări volumice în loc de succesivă) și deci posibilitatea formării segregățiilor de tip V.

În ce privește segregăția carbonului și sulfului, domeniile de segregare a acestora sunt localizate la sfârșitul zonei de cristale columnare și în zona axei termice în cazul unui lingou turnat clasic, iar în cazul lingourilor turnate cu microrăcitori tendința de segregăție a carbonului și sulfului scade. Explicația

teoretică a micșorării segregăției carbonului și sulfurului poate fi următoarea: în cazul introducerii microrăcitorilor la diferite intervale de timp, se întrerup curenții de convecție, iar transferul de masă datorită forțelor capilare este mult diminuat deoarece lungimea dendritelor este mai mică, iar numărul lor este mai mare și deci canalele capilare au dimensiuni mai mici. Din punct de vedere al procesului de cristalizare, microrăcitorii determină prin topire formarea grupărilor de atomi capabili să joace rol de germeni, numărul acestora crește. Introducerea acestora determină schimbarea curbei cinetice de separare a fazei solide (de cristalizare).

În figura 3.25 respectiv figura 3.26 se arată modul de schimbare a cineticii procesului de cristalizare, în condițiile introducerii unor cantități diferite de microrăcitori (0%; 2,5%; 4,5% și 6%) la temperatură de turnare constantă.



Prin introducerea microrăcitorilor crește viteza de cristalizare, zona I se micșorează, ceea ce demonstrează că numărul de germeni este mare. Deci la începutul solidificării există deja un număr mare de germeni omogeni. Solidificarea este de tip III, iar mărimea vitezei de cristalizare la început reflectă cantitatea de fază solidă care se menține în topitură. Solidificarea de tip III determină frânarea

creșterii columnare a cristalitelor și formarea cristalitelor echiaxiale, cu dimensiuni mai mici și distanța dintre ramurile dendritice cu un volum de mărime mai mic.

Pentru aceste scopuri pot fi folosite, în calitate de macrorăcitori, particule cu dimensiuni mari, de exemplu bile de rulmenți cu diametrul cuprins între 5 - 60mm, în funcție de masa lingoului, alice, bucăți de sârmă, etc.

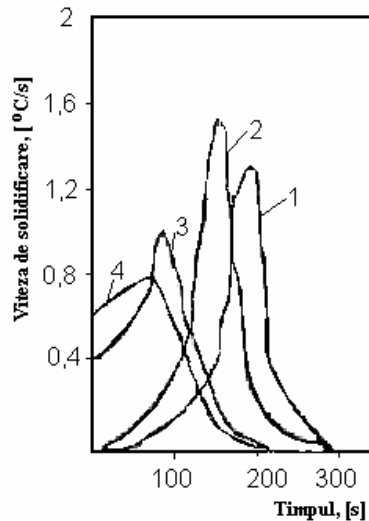


Fig.3.26. Variația vitezei de solidificare în funcție de timp, pentru diverse cantități de microrăcitori [45]:
curba 1 - 0%; curba 2 - 2,5%; curba 3 - 4,5%; curba 4 - 6%.

3.5. Contribuții privind modelarea solidificării lingourilor în cazul utilizării de microrăcitori

În situația în care microrăcitorii sunt repartizați uniform, se creează premiza apariției germeilor de solidificare și în interiorul lingoului, simultan cu solidificarea declanșată de la suprafața de separație a oțelului cu mediul înconjurător (lingotieră, mediul gazos de deasupra).

Metoda de turnare cu microrăcitori se recomandă în special pentru turnarea lingourilor mari din oțel, care au tendința cea mai mare de formare a unor defecte de turnare, cum sunt: segregările, microretasurile, retasurile, porozitățile axiale și crăpăturile la cald [46].

Procesul de cristalizare a oțelurilor cu germeni exogeni introduși prin intermediul microrăcitorilor, diferă substanțial de cel al oțelurilor turnate obișnuit. În urma analizei condițiilor în care se formează germeii de cristalizare exogeni, pot exista trei situații, și anume:

- microrăcitorii preiau parțial supraîncălzirea oțelului, în acest caz se consideră că aceștia nu determină apariția centrilor de cristalizare;
- microrăcitorii elimină complet supraîncălzirea oțelului și se atinge temperatura de început de cristalizare, caz în care aceștia determină apariția multor centri de cristalizare;
- microrăcitorii determină scăderea temperaturii oțelului sub temperatura

lichidus, aceștia se topesc parțial devenind centri de cristalizare.

Ca urmare, microrăcitorii introduși în aliajul lichid în timpul turnării, preiau căldura de supraîncălzire și o parte din căldura de solidificare, iar o parte din aceștia rămân în aliajul lichid ca germeni de cristalizare. Pentru obținerea efectului dorit, trebuie ca microrăcitorii să fie uniform distribuiți în masa de oțel lichid, astfel ca zonele de acțiune și de subrăcirii create de fiecare microrăcitor să se suprapună parțial sau să fie tangente.

Desfășurarea proceselor fizico-chimice între microrăcitori și oțelul lichid, prezintă o importanță deosebit de mare și au un caracter complex, motiv pentru care cu greu se stabilesc unele relații matematice.

Microrăcitorii utilizați în vederea dirijării procesului de solidificare, trebuie să îndeplinească următoarele condiții [47]:

- să aibă o puritate ridicată în ceea ce privește conținutul de incluziuni oxidice;

- umiditatea microrăcitorilor trebuie să fie de maxim 0,25%;

- să nu aibă suprafața oxidată;

- să aibă o anumită compoziție granulometrică.

În vederea corelării optime a factorilor tehnologici se impune, stabilirea parametrilor de bază ai metodei de turnare cu microrăcitori, și anume: determinarea cantității optime de microrăcitori respectiv a duratei de topire a acestora și a temperaturii oțelului.

Pentru ușurarea calcului se folosesc ipoteze simplificatoare, și anume: se consideră că microrăcitorii se distribuie uniform în masa de oțel lichid și au formă sferică, respectiv în timpul introducerii acestora în lingotieră încetează schimbul de căldură între oțel și aceasta.

Durata de topire a microrăcitorilor depinde de următorii factori: temperatura de turnare a oțelului (T_t), temperatura lichidus a oțelului (T_l), dimensiunea medie a microrăcitorilor (r) respectiv consumul specific de microrăcitori (m , în kg/t).

Timpul de topire a microrăcitorilor (t) este compus din timpul de preîncălzire a microrăcitorilor până la temperatura lichidus a oțelului (t_1) respectiv timpul de topire a microrăcitorilor la această temperatură (t_2)

$$t = t_1 + t_2, [s]. \quad (3.38)$$

Ecuția de bilanț termic pentru calculul duratei de preîncălzire a microrăcitorilor:

$$\alpha \cdot (T_o - T_{mr}) \cdot A_{mr} \cdot dt_1 = V_{mr} \cdot \rho_{mr} \cdot c_{mr} \cdot dT_{mr} \quad (3.39)$$

în care: α este coeficientul de schimb de căldură, în $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

T_o – temperatura oțelului în timpul încălzirii microrăcitorilor, în $^\circ C$;

T_{mr} – temperatura microrăcitorilor în timpul încălzirii, în $^\circ C$;

A_{mr} – suprafața microrăcitorilor, în m^2 ;

V_{mr} – volumul microrăcitorilor, în m^3 ;

ρ_{mr} – densitatea microrăcitorilor, în kg/m^3 ;

c_{mr} – căldura specifică a microrăcitorilor, în $J/kg \cdot ^\circ C$.

Coeficientul de schimb de căldură se calculează cu relația [47]:

$$\alpha = 0,135 \cdot \lambda \cdot \sqrt[3]{\frac{\beta \cdot g \cdot \Delta T}{\nu \cdot a}} \quad (3.40)$$

în care: λ este conductivitatea oțelului lichid, în $W/m \cdot ^\circ C$;

β – coeficientul de dilatare volumetrică, $1/^\circ C$;

g – accelerația gravitațională, în m/s^2 ;

$\Delta T = T_o - T_{mr}$ – căderea de temperatură, în $^\circ C$;

ν - coeficientul de vâscozitate cinematică, în m^2/s ;

a - coeficientul de difuzivitate termică, în m^2/h .

Pentru calculul temperaturii oțelului (T_o) se utilizează ecuația de bilanț termic între oțelul lichid și microrăcitori:

$$M \cdot c \cdot (T_t - T_o) = M_{mr} \cdot c_{mr} \cdot T_{mr} \quad (3.41)$$

unde: M este masa de oțel lichid, în kg;

c - căldura specifică a oțelului, în $J/kg \cdot ^\circ C$;

T_o - temperatura oțelului în timpul încălzirii microrăcitorilor, în $^\circ C$;

T_{mr} - temperatura microrăcitorilor în timpul încălzirii, în $^\circ C$;

T_t - temperatura de turnare a oțelului, în $^\circ C$.

c_{mr} - căldura specifică a microrăcitorilor, în $J/kg \cdot ^\circ C$;

M_{mr} - masa microrăcitorilor, în kg;

$$\text{iar, } M_{mr} = M \frac{m}{1000} \quad (3.42)$$

în care m reprezintă consumul specific de microrăcitori, în kg/t .

Înlocuind relația (3.42) în relația (3.41) rezultă temperatura oțelului în timpul preîncălzirii microrăcitorilor [47]:

$$T_o = T_t - \frac{m \cdot c_{mr} \cdot T_{mr}}{1000 \cdot c} \quad (3.43)$$

Temperatura oțelului în timpul preîncălzirii microrăcitorilor până la temperatura lichidus se determină cu relația:

$$T_o = T_t - \frac{m \cdot c_{mr} \cdot T_l}{1000 \cdot c} \quad (3.44)$$

Introducând relația (3.40) și (3.43) în ecuația de bilanț (3.42) și rezolvând această ecuație rezultă durata de preîncălzire a microrăcitorilor până la temperatura lichidus, și anume[47]:

$$t_1 = \frac{1000 \cdot r_o \cdot \rho_{mr} \cdot c_{mr} \cdot c}{\alpha(m \cdot c_{mr} + 1000 \cdot c)} \left[\sqrt{\frac{1000 \cdot T_t \cdot c_{mr}}{1000 \cdot T_t \cdot c - T_l(m \cdot c_{mr} + 1000 \cdot c)}} - 1 \right] \quad (3.45)$$

Pentru determinarea duratei de topire (t_2) a microrăcitorilor trebuie să se determine temperatura oțelului (T_o') în timpul topirii acestora. Aceasta se se determină din ecuația de bilanț termic:

$$M \cdot c(T_o - T_o') = L_{mr} \cdot M_{mr} \quad (3.46)$$

unde: M este masa de oțel lichid, în kg;

c - căldura specifică a oțelului, în $J/kg \cdot ^\circ C$;

T_o - temperatura oțelului în timpul încălzirii microrăcitorilor, în $^\circ C$;

T_o' - temperatura oțelului în timpul topirii microrăcitorilor, în $^\circ C$;

M_{mr} - masa microrăcitori, în kg.

L_{mr} - căldura latentă de topire a microrăcitorilor, în J/kg .

Ținând seama de relația (3.42) se obține [47]:

$$T_o' = T_o - \frac{L_{mr} \cdot m}{1000 \cdot c} \quad (3.47)$$

Durata de topire (t_2) se determină din ecuația de bilanț termic:

$$\alpha(T_o' - T_l) A_{mr} \cdot dt_2 = L \cdot \rho(-dV_{mr}) \quad (3.48)$$

Utilizând relația (3.44) și integrând obținem:

$$t_2 = \frac{r \cdot L \cdot \rho}{\alpha \left[T_t - T_l \left(\frac{m \cdot c_{mr}}{1000 \cdot c} \right) \right]} \quad (3.49)$$

După terminarea completă a topirii microrăcitorilor se produce o scădere a temperaturii aliajului la T . Pentru determinarea acestei temperaturi se scrie ecuația de bilanț termic [47]:

$$c \cdot M(T_t - T) = \frac{M}{1000} m [c_{mr} \cdot T_l + c(T - T_l) + L] \quad (3.50)$$

După efectuarea calculelor se obține următoarea relație pentru temperatura oțelului [47]:

$$T = \frac{1000 \cdot T_t + \left(1 - \frac{c_{mr}}{c}\right) \cdot m \cdot T_l - m \frac{L}{c}}{m + 1000} \quad (3.51)$$

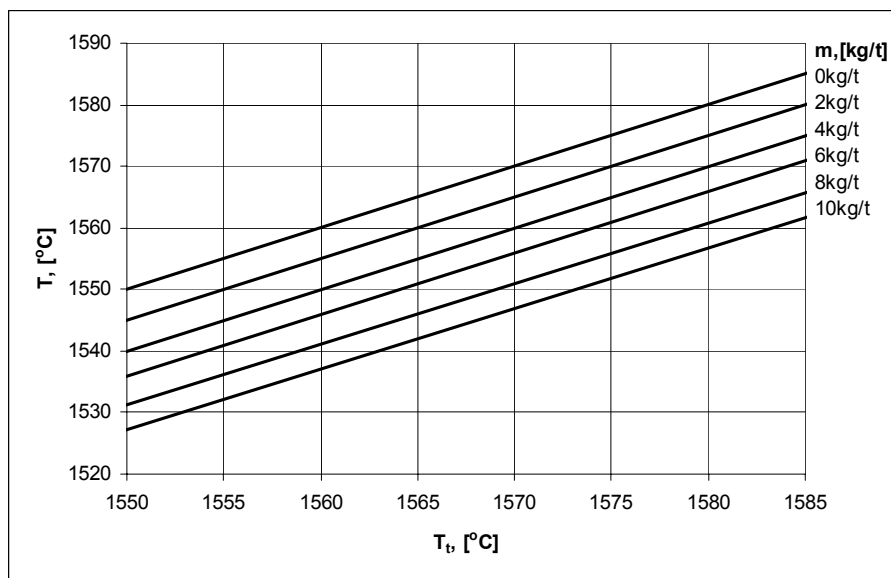


Fig.3.27. Nomogramă pentru determinarea temperaturii oțelului după introducerea microrăcitorilor.

Ținând seama de scăderea în timp a temperaturii oțelului din oala de turnare, de ritmul turnării și de acest procent optim se poate calcula consumul specific optim de microrăcitori necesar pentru diferite tipuri de lingouri.

Dacă se utilizează următoarele valori pentru proprietățile termofizice ale oțelurilor carbon: $c = 690 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$, $c_{mr} = 836 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$, $L = 267776 \text{ J/kg}$ și $T_l = 1500^{\circ}\text{C}$ și se înlocuiesc în relația (3.57), se obține relația pentru temperatura oțelului după

terminarea topirii microrăcitorilor[47]:

$$T = \frac{1000 \cdot T_t - 705 \cdot m}{m + 1000} \quad (3.52)$$

unde: T_t este temperatura de turnare a oțelului, în °C;

m – consumul specific de microrăcitori, în kg/t.

Cu ajutorul relației (3.52) s-a trasat nomograma din fig.3.27 care redă temperatura oțelului carbon după introducerea microrăcitorilor [49].

De exemplu, dacă temperatura de turnare a oțelului este de 1575°C și introducând 2kg/t microrăcitori, temperatura oțelului va scădea la 1570°C respectiv dacă introducem 8kg/t temperatura oțelului va scădea la 1555°C. De asemenea, din calcule rezultă că la introducerea cantității de 1kg/t microrăcitori temperatura oțelului scade cu circa 3°C.

Folosind relația (3.52) pentru determinarea temperaturii oțelului după introducerea microrăcitorilor rezultă consumul specific de microrăcitori.

Consumul specific de microrăcitori este optim, atunci când se asigură cele mai favorabile condiții de eliminare sau diminuare a defectelor care iau naștere în timpul solidificării. Corelarea factorilor tehnologici, temperatura de turnare a oțelului, grosimea lingotierei, dimensiunea (granulația) microrăcitorilor și cantitatea de microrăcitori dă garanția obținerii de lingouri și respectiv semifabricate și piese compacte și fără defecte.

Consumul specific de microrăcitori necesar pentru scăderea temperaturii oțelului turnat [49]:

$$m = \frac{1000 \cdot (T_t - T)}{T + 705} \quad (3.53)$$

Utilizând relațiile și nomograma obținută se poate determina cantitatea optimă de microrăcitori, în funcție de temperatura de turnare și temperatura lichidus.

3.6. Procesul de deformare plastică la cald a roților monobloc

Roțile monobloc la SC SMR SA Balș se deformează prin matrițare închisă, laminare și profilare după tehnologia furnizorului liniei. Tehnologia a fost elaborată de firma Klöckner, iar linia a fost executată de firma Schlöeman [19].

În principal fazele tehnologiei sunt următoarele: debitare lingouri în semifabricate de pornire de formă cilindrică; încălzirea în cuptoare cu vatră rotativă; refularea semifabricatelor pe o presă de 63 MN; matrițarea închisă fără bavură pe aceeași presă; laminarea simultană a membranei și obadei; profilarea membranei, calibrarea roții și perforarea butucului pe o presă de 20 MN sau 31 MN.

Crestarea semifabricatelor se execută pe strunguri cu mai multe cuțite simultan, așezate la distanțe corespunzătoare lungimilor respectând greutatea necesară fiecărui tip de roată [60].

Ruperea finală a semifabricatelor crestate se execută la o presă hidraulică specială.

Încălzirea semifabricatelor se face în cuptoare cu vatră rotativă unde sunt introduse, respectiv extrase cu ajutorul manipuloarelor.

Capacitatea cuptorului este de 17 t/h. Temperatura maximă în cuptor este de 1360°C și se realizează prin arderea gazului metan în reactoare Blue-Light. În funcție de mărimea și amplasarea arzătoarelor în incintă se realizează trei zone de încălzire în trepte. Temperatura în fiecare zonă este programată și monitorizată permanent pentru a asigura regimul de încălzire prescris funcție de calitatea

materialului.

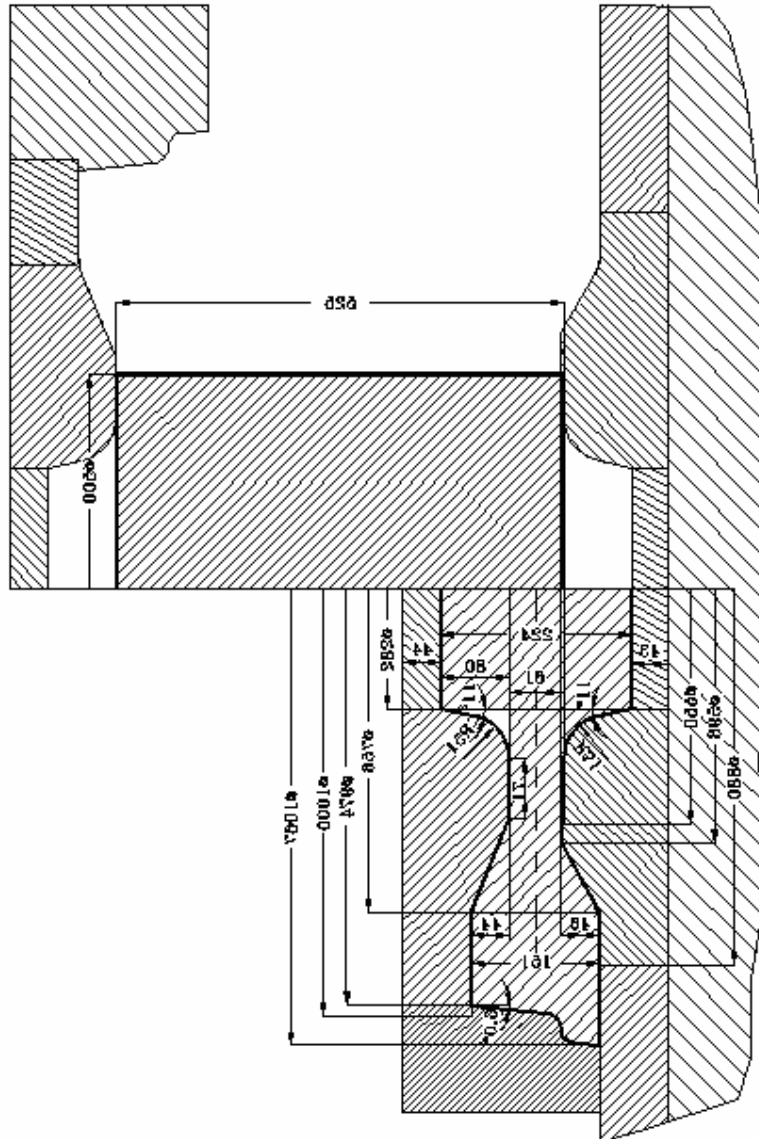


Fig.3.28. Schema procesului de deformare a roților monobloc [4]

Destunderizarea semifabricatelor încălzite se realizează numai pe capetele frontale ale acestora, prin trecerea printre doi tamburi cu lanțuri care prin rotire sparg și îndepărtează țunderul. Îndepărtarea țunderului de pe suprafața laterală se face în timpul presării cu ajutorul jeturilor de aer orientate tangențial care antrenează țunderul desprins de pe calup [61-63].

Refularea și matrițarea calupurilor se execută pe presa de 63 MN cu acționare hidraulică. Presa lucrează în două trepte de presiune. Pentru presarea de refulare se folosește treapta de presiune de 20 MPa, iar pentru matrițare se folosește și treapta de 40 MPa realizată în multiplicator. Viteza de presare se reglează odată cu debitul fluidului hidraulic care este apa sau emulsia. Împreună cu presa lucrează două manipuloare, unul pentru introducerea și depunerea semifabricatului, același care face și trecerea prin dispozitivul mecanic de desțunderizare și unul pentru preluarea roții matrițate și trecerea acesteia pe calea cu role care transportă roata spre laminor.

În figura 3.28 se prezintă schema procesului de deformare, precum și date asupra construcției matriței, respectiv razele de racordare, înclinațiile de extragere, cote ale secțiunii de profilare. În jumătatea din stânga imaginii, se prezintă situația înainte de deformare, iar în jumătatea din dreapta modificările semifabricatului după deformare. Înclinările și razele de racord constructive ale matriței, corespund forme și gradului de deformare proiectat. Deformarea semifabricatului încălzit se face după eliminarea stratului oxidat de pe secțiunea de $\varnothing 500$ mm a celor două capete [64].

Laminarea se execută la laminorul specializat pentru roți de cale ferată, în poziție verticală fără dorn central.

Laminorul din dotarea liniei are posibilități largi de reglare, pe el putându-se obține roți laminate cu diametrul de rulare de la $\varnothing 650$ la $\varnothing 1250$ mm.

Procesul de laminare simultană a membranei și obadei roții se desfășoară într-un grup de opt role: trei role de ghidare din care una este pe manipulatorul de introdus - extras care lucrează împreună cu laminorul; două role conice; două role de fasonare; o rolă de presiune (posteroară ca poziție față de rolele de fasonare).

Sistemul de role de ghidare permite laminarea roții fără dorn central ceea ce ușurează și scurtează procesul tehnologic.

Rola de ghidare aflată pe manipulatorul de introdus - extras, formează împreună cu celelalte două role de ghidare, un suport rezistent în trei puncte, capabil să mențină roata în procesul de laminare în poziție corectă cu centrul butucului, în același plan cu planul de laminare format între axele rotelor de fasonare și rola de presiune, reglându-și continuu deschiderea în funcție de creșterea în diametru a roții.

Profilarea membranei, perforarea găurii din butuc, calibrarea roții și eventual marcarea la cald, se execută pe presa de 20 MN, respectiv 31 MN. Presiunea de lucru este de maxim 20 MPa pe oricare din cele două prese [4].

Profilarea membranei se face cu o matriță deplasabilă, amplasată pe un manipulator lateral, după ce roata a fost depusă pe matrița inferioară a presei.

În figura 3.29 se arată construcția matriței închise și procesul de deformare. După profilarea membranei se face perforarea butucului cu un poanson mobil ce se plasează pe suprafața superioară a butucului, și care este presat de un portpoanson în timp ce traversa superioară mobilă a presei face o singură mișcare de coborâre, ocazie cu care face și calibrarea, eventual și marcarea la cald a roții.

Perforarea zonei centrale contribuie și la eliminarea structurii centrale cu impurificare mai intensă. După finalizarea operațiilor, roata este ridicată de pe matrița inferioară, în poziție de preluare a manipulatorului de extras, de pe presă de către un aruncător [65].

După forjarea roților, acestea trebuie răcite controlat. Răcirea controlată se face în cuptore tunel cu transportor suspendat al roților.

Procesul de matrițare al roții monobloc se realizează prin refulare în matriță închisă. Refularea poate fi uniformă, când distribuția tensiunilor și deformațiilor este uniform în întregul volum al piesei [66-69]. Aceasta este posibilă, numai în lipsa

totală a frecărilor exterioare și cu o omogenitate fizico-mecanică maximă a materialului prelucrat.

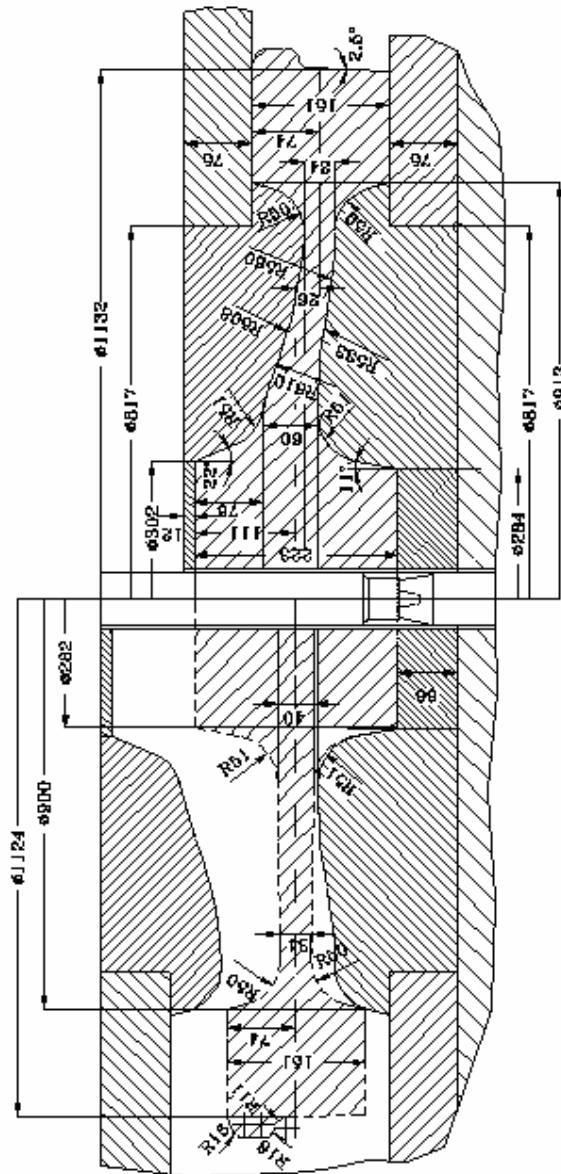


Fig.3.29 Procesul de deformare și construcția matriței închise [4].

3.7.Concluzii

Din studiul prezentat referitor la factorii de influență asupra calității lingourilor de oțel rezultă următoarele concluzii:

1. Calitatea lingourilor din oțel este influențată de o serie de factori, dintre care menționăm: compoziția chimică a oțelului și tendința acestuia de a segrega, viteza și temperatura de turnare, forma și dimensiunile geometrice ale lingotierei respectiv condițiile de degajare a căldurii.

2. Îmbunătățirea calității oțelului prin tratarea acestuia în vid, se realizează frecvent în cadrul metalurgiei în oală, cu eficiență remarcabilă asupra proceselor care au loc ca urmare a tratării acestuia. Prin rafinarea oțelului în vid se obțin efecte metalurgice importante, dintre care se pot menționa: degazarea, omogenizarea termică și chimică, flotația incluziunilor nemetalice, accelerarea reacțiilor de rafinare (desulfurare, dezoxidare) a topiturii metalice. Realizarea acestor efecte dependentă de metoda utilizată precum și de felul în care sunt corelați parametri tehnologici ai procesului cu principalul scop urmărit.

3. Solidificarea unui volum de oțel este asociată cu contracții importante, independente de gradul de puritate, lucru care conduce la deteriorarea sensibilă a structurii oțelului și la apariția de neomogenități chimice și structurale în lingourile din oțel, fapt care a condus la ideea îmbunătățirii calității prin dirijarea structurii de solidificare a acestora.

4. Formarea cristalelor la solidificare este rezultatul a două procese elementare, și anume: formarea în topitură a unor germeni sau nuclee de cristalizare și creșterea germenilor formați. Structura omogenă echiaxială a lingourilor turnate de oțel se obține prin:

- crearea în volumul de oțel lichid a unui gradient minim de temperatură care să se încadreze în limitele domeniului de solidificare, germinarea cristalelor producându-se în același timp în întreg volumul de lichid. Micșorarea gradientului de temperatură în lichid se realizează prin scăderea temperaturii de turnare a oțelului sau prin adaos de microrăcitori care să permită o subrăcire puternică;

- formarea de centre de cristalizare într-o zonă cu două faze, înaintea frontului de solidificare, și deplasarea succesivă a acestei zone la periferie spre axa lingoului;

- introducerea în oțelul ce pătrunde în lingotieră a catalizatorilor care să provoace formarea eterogenă a germenilor de cristalizare ce conduce la micșorarea dimensiunilor grăunților în lingoul turnat.

5. Deoarece procesul de solidificare este influențat nu numai de factori interni ci și de o serie de factori externi, precum și faptul că determinările nu se pot face direct, explică de ce nu există încă relații cantitative precise între structura lingourilor și factorii fizico-chimici de la elaborare-turnare-solidificare, relațiile stabilite fiind cu caracter calitativ, iar cele cantitative dau valori aproximative deoarece nu pot cuprinde toți factorii care acționează.

6. Reducerea timpului de solidificare conduce la creșterea gradului de omogenitate structurală și de reducere a celui de segregare.

7. Pentru obținerea unor lingouri omogene din punctele de vedere chimic, structural și al proprietăților mecanice este necesară asigurarea evacuării raționale a căldurii oțelului aflat în curs de solidificare.

8. Calitatea lingourilor din oțel destinate roților monobloc de cale ferată, poate fi îmbunătățită printr-o dirijare a solidificării, care determină: o aplatizare a formei retasurii la lingourile turnate cu microrăcitori și reducerea pe această cale a

volumului acesteia având ca efect o creștere a scoaterii de metal, o creștere a omogenității structurale și a proprietăților calitative respectiv o finisare a structurii de turnare.

9. Studiul solidificării lingourilor din oțel prezentat în acest capitol este necesar pentru stabilirea posibilităților de îmbunătățire a calității pieselor obținute din acestea. În acest context, în cadrul cercetărilor experimentale efectuate pentru elaborarea prezentei teze de doctorat se va utiliza dirijarea structurii de solidificare, metodă care prezintă avantajul că poate fi implementată relativ ușor în practica industrială.

4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ÎN FAZĂ DE LABORATOR PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR

4.1. Prezentarea cadrului experimental

Experimentările în fază de laborator efectuate în contextul prezentei lucrări, și-au propus studierea dirijării solidificării lingourilor din oțel, cu secțiuni circulară destinate fabricării roților monobloc de cale ferată, prin adaosuri de germeni de cristalizare în zona centrală a acestora, cu scopul de a influența structura internă. Stimularea germinării eterogene, pe suprafețe generate de particule introduse în zona centrală a lingoului aflat în stare lichidă, conduce la formarea unui front secundar de solidificare și de absorbție a căldurii în această zonă.

Prin introducerea de microrăcitori în oțelul lichid din lingotieră se asigură formarea în zona centrală a lingoului a unui număr sporit de centri de cristalizare, având drept suport afirmația lui Efimov [37], care a precizat că unul din procedeele de finisare a structurii din zona axială a lingoului, este amestecarea ei intensă sub acțiunea unor factori externi sau prin introducerea de germeni artificiali de cristalizare.

Cercetările și experimentările din cadrul tezei au scos în evidență efectele subrăcirii zonei centrale a lingoului de oțel în timpul turnării utilizând microrăcitori, în următoarele ipoteze:

- prin introducerea microrăcitorilor iau naștere suprafețe noi de germinare care produc o îmbunătățire a structurii macro și microscopică a lingoului turnat;
- între grăunțele cristaline a lingoului turnat și caracteristicile mecanice există o legătură sensibilă;
- semifabricatele obținute în cadrul experimentelor prezintă o creștere și o omogenitate semnificativă a proprietăților mecanice față de semifabricatele obținute prin metoda clasică, drept răspuns a modificării structurii.

Experimentările efectuate în fază de laborator, au avut scopul de a îmbunătăți calitatea oțelului destinat fabricării roților monobloc de cale ferată, și au fost canalizate pe ideea îmbunătățirii pe de o parte a structurii cristaline a lingourilor de oțel destinate deformării plastice la cald, urmată ulterior de prelucrări mecanice, iar pe de altă parte a caracteristicilor fizico-mecanice. În sensul celor prezente mai sus, s-a efectuat adaos de microrăcitori în oțelul lichid din zona centrală a lingoului, care au asigurat formarea unui nou front de cristalizare și solidificare, acesta absorbind o parte din căldura latentă de solidificare și căldura de supraîncălzire a oțelului. Ca urmare a acestor fenomene, se obțin în final lingouri de oțel cu proprietăți și caracteristici mecanice superioare celor turnate în mod obișnuit, fără adaos de microrăcitori.

Cercetările experimentale în fază de laborator s-au efectuat în laboratorul de Topituri Metalice a Facultății de Inginerie din Hunedoara – Universitatea "Politehnica" din Timișoara.

Elaborarea oțelului s-a efectuat într-un cuptor electric cu inducție (figura 4.1), cu următoarele caracteristici:

- capacitate 10 kg (fontă/oțel);
- diametru creuzet 97 mm;
- înălțime creuzet 220 mm;
- frecvența curentului 100 KHz;
- puterea transformatorului 150 KVA;
- tensiunea primar 500 V;
- tensiunea în secundar 167 V;
- tensiunea variabilă 100/83/50 V;
- puterea la înaltă frecvență 50 kW.
- durata topirii 50 -60 min.
- căptușeală bazică – magnezită.



Fig.4.1. Cuptor cu inducție, capacitate 10kg

Turnarea oțelului s-a făcut în lingotiere cu secțiune rotundă, confecționate din grafit, greutatea unui lingou turnat fiind de 2 kg cu secțiune circulară

4.2. Experimentări, prelucrarea datelor și rezultate

4.2.1. Prezentarea experimentărilor

Încărcătura cuptorului a constat din deșeu de oțel carbon, fontă și materiale pentru formarea zgurii, astfel: 10 kg deșeu oțel, 0,5kg fontă pentru carburare și 0,140 kg amestec pentru zgura (75% var, 25% zgură aluminioasă de la fabricarea aluminiului). Deșeurile de oțel carbon au constat din probe de oțel prelevate din baia metalică la terminarea tratamentului secundar (dintr-o oțelărie electrică cu flux tehnologic: cuptor EBT – L.F. – T.C.). S-a ales aceste tip de probe pentru a lucra cât mai apropiat de situația din practică. Pentru ca topirea să decurgă corespunzător, deșeurile au fost astfel alese încât încărcătura din cuptor să fie cât mai compactă.

Compoziția chimică a încărcăturii metalice și a adausurilor efectuate pe

parcursul elaborării se prezintă în Anexa 4.

După terminarea topirii s-a continuat încălzirea băii metalice timp de 5 min, În acest timp fiind făcut și adaosul de dezoxidanți (10g FeMn + 10g FeSi + 5g Al).

În continuare se imersează în baie 200g amestec reducător (125g var + 50g TOPEX + 25 g bauxită, în proporție de 2% din greutatea șarjei), introdus într-un "cartuș" metalic (din tablă subțire de oțel), prins la o bară de lemn, cu ajutorul căreia se imersează până la fundul creuzetului (figura 4.2). Se menține imersat până la topirea amestecului, și în continuare se amestecă baia metalică cu această bară de lemn, pe toată durata acestei operații (cel puțin 4 min.). În același timp cuptorul fiind alimentat cu energie, baia metalică este agitată electromagnetic (într-o anumită măsură echivalentă cu barbotarea cu argon) ceea ce este favorabil procesului de rafinare (practic o tratare cu zguri sintetice în LF). După terminarea acestei operații s-a măsurat temperatura oțelului (figura 4.3) și s-a turnat sub formă de lingouri, cu masa de 2 kg/lingou, păstrându-se similitudinea cu lingoul cu masa de 4,5 tone. Durata topirii a fost cuprinsă între 55 - 65 min.



Fig. 4.2. Imersia amestecului reducător pentru formarea zgurii sintetice

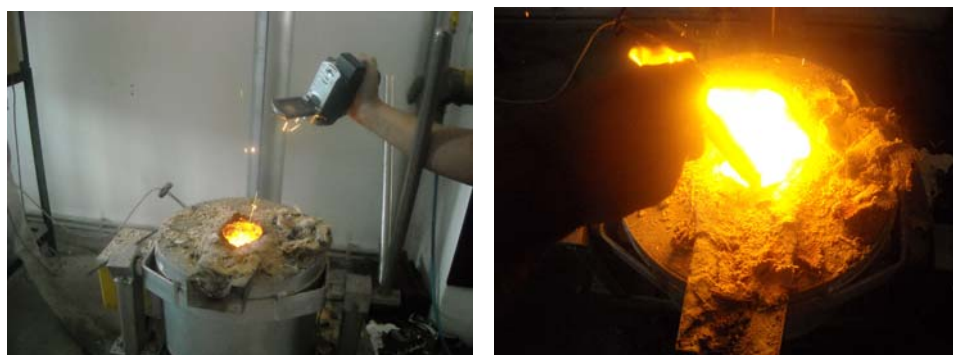


Fig.4.3. Măsurarea temperaturii băii metalice

Din fiecare șarjă s-a turnat un lingou de referință (fără adaos de microrăcitori) și 4 cu adaos de microrăcitori, conform schemei de turnare (Anexa 5). În total s-au elaborat 9 șarje din care s-au turnat 44 lingouri (35 experimentale și 9 de referință), astfel încât să fie acoperită toată gama privind adaosurile specifice și granulația microrăcitorilor. Din fiecare lingou după forjare, au fost prelevate trei probe (corespunzător cap, mijloc și piciorul lingoului), pentru determinarea caracteristicilor mecanice și compoziției chimice.

Experimentările s-au efectuat pentru lingouri din oțel marca OLC 55 (oțelul din care sunt confecționate roțile este nealiat, conform UIC 812.3/84 care corespunde compoziției chimice a acestui oțel).

Caracteristicile calitative a oțelului turnat (cu microrăcitori) sunt prezentate în Anexa 6.

Ca microrăcitori (figura 4.4) s-au folosit granule obținute prin tăiere din sârmă laminată (OL 37), cu diametrul de 0,6 – 1,0 mm, tăiată la lungimea de 0,5 - 1,0 mm în cantitate de 1,0; 1,5; 2,5; 3; 3,5 și 4g/kg. Modul de adaos a microrăcitorilor în lingotiera experimentală este prezentat în figura 4.5.

Efectul microrăcitorilor s-a studiat în funcție de diametrul granulelor și de cantitatea specifică de microrăcitori utilizați. Introducerea microrăcitorilor s-a realizat la procente de umplere a lingotierei de 30%, 60% și 90%. Stabilirea acestor nivele s-a făcut având în vedere cercetările efectuate pe plan local [42-44] și lucrările publicate în literatura de specialitate [45-48].

După terminarea turnării oțelului în lingotiere, partea superioară a acestora a fost acoperită cu praf antiretasură. Aspectele din timpul experimentărilor în fază de laborator sunt prezentate în figura 4.6.

Particulele metalice, care joacă rol de microrăcitori, trebuie să îndeplinească o serie de condiții: conținut mic de impurități nocive, formă sferică sau apropiată, densitate mare în vrac și cost relativ mic cu cel al oțelului [49].

După răcire și dezbateră lingourilor experimentale, acestea au fost examinate ultrasonic, apoi au fost încălzite și deformate plastic prin forjare, pentru modificarea structurii grosiere de turnare prin sfărâmarea dendritelor și de sudare a microporozităților, având ca rezultat îmbunătățirea caracteristicilor mecanice, în special cele de plasticitate. Tratamentele termice ulterioare vor amplifica sau omogeniza aceste caracteristici, astfel încât în final să se obțină produse cu caracteristici impuse de normele de fabricație.

După datele din literatura de specialitate [50] prin forjare valorile pentru caracteristicile mecanice au crescut față de cele obținute la turnare cu până la 53% pentru R_m , 47% pentru alungire și 45% pentru reziliență. Forjarea s-a făcut de la lingoul experimental cu secțiune circulară cu diametrul de 50 mm până la o secțiune cu diametrul de 25mm.

Din semifabricatele obținute după forjare s-au prelevat probe atât pentru studiul metalografic al structurii cât și pentru determinarea valorilor caracteristicilor mecanice (conform SR EN ISO 6892-1:2010): rezistența la tracțiune R_m [N/mm^2], limita de curgere $R_{p0,2}$ [N/mm^2], alungirea procentuală după rupere A_5 [%] respectiv încercări de reziliență conform SR EN 148-1 :2010 [70-73].

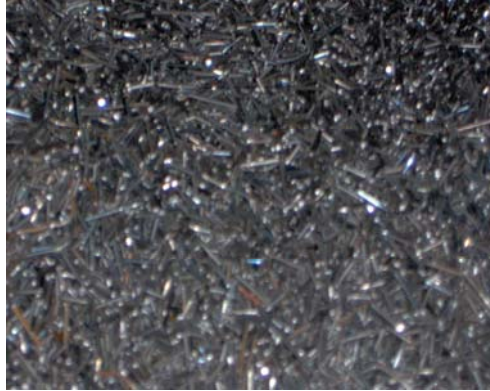


Fig.4.4. Microrăcitori

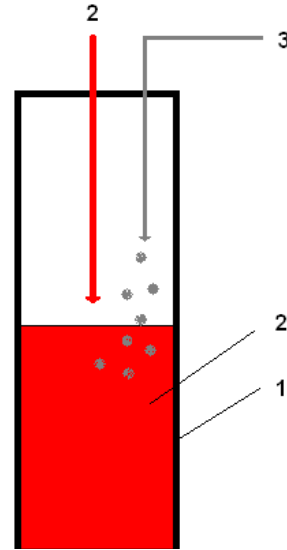


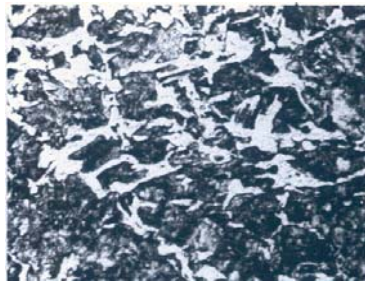
Fig.4.5. Schema modului de adăugare a microrăcitorilor în lingotieră în timpul umplerii cu oțel:
1 - lingotieră; 2 - oțel lichid;
3 - microrăcitori

Au fost comparate datele obținute de la lingourile turnate cu microrăcitori cu datele obținute de la lingourile turnate clasic.

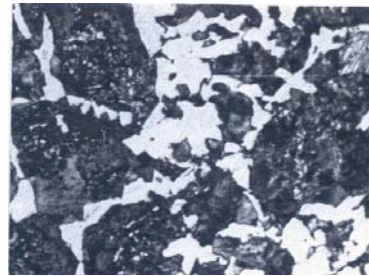


Fig.4.6. Aspectele din timpul experimentărilor în fază de laborator

În urma experimentărilor s-a urmărit modul în care se produce solidificarea oțelului turnat cu microrăcitori. Au fost efectuate studii ale microstructurii lingourilor turnate pentru a scoate în evidență forma și mărimea grăuntelui primar obținut în urma solidificării. În figura 4.7 se prezintă microstructura probei pentru lingoul turnat cu microrăcitori și a celui turnat clasic.



a. x1000



b. x1000

Fig.4.7. Microstructura probei:
a – cu microrăcitori; b – fără microrăcitori

În urma studiului la microscop al probelor metalografice s-a putut observa că în lingourile cu adaos de microrăcitori se obține o finisare a structurii grăuntelui, ca urmare a creșterii numărului de centri de cristalizare, fapt care duce la o îmbunătățire a omogenității chimice. Studiul lingoului turnat clasic a confirmat structura grosolană uneori cu porozități, specifică pieselor turnate.

Referitor la compoziția chimică conținutul în fiecare din elementele chimice nu este cuprins între limite foarte restrânse, dar această variație poate fi restrânsă în vederea obținerii de caracteristici mecanice dorite.

Aceste caracteristici se găsesc în schimb în limite destul de înguste, ceea ce a determinat efectuarea unor corelații între compoziția chimică și proprietățile mecanice ale produselor finite (roțile monobloc de cale ferată) [74-78].

Pentru rețeaua de Căi Ferate a Uniunii Europene, cele mai folosite roți de cale ferată pentru vagoane, sunt în prezent cele din calitatea R7T cu obada călită și revenită [79].

Pentru obținerea unor relații de corelație între caracteristicile calitative (caracteristici fizico mecanice impuse de standarde și compoziția chimică pe de o parte, și pe de altă parte și cu adaosul de microrăcitori - diametrul mediu și adaosul specific) datele obținute în urma experimentărilor au fost prelucrate cu ajutorul programelor de calcul EXCEL și MATLAB.

4.2.2. Rezultate la prelucrarea datelor în programul EXCEL

4.2.2.1. Influența compoziției chimice a oțelului asupra caracteristicilor mecanice

S-au prelucrat și prezentat în lucrare corelațiile în varianta turnării oțelului cu și fără microrăcitori, atât sub formă grafică cât și analitică. Corelațiile fiind prezentate în aceeași diagramă (notate Exp – datele experimentale; Ref – datele de referință) se poate ușor observa și analiza diferența între caracteristicile obținute pentru oțelul turnat cu microrăcitori respectiv fără microrăcitori.

Au fost prezentate numai corelațiile exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2, care sunt mai semnificative din punct de vedere al coeficienților de corelație comparativ cu cele de gradul 1 și mai simple din punct de vedere a formei analitice, decât cele polinomiale de gradul 3 și 4, precum și decât cele exprimate prin funcții exponențiale și logaritmice [80,81].

De asemenea, pentru fiecare corelație se prezintă atât sub formă grafică cât și analitică limitele de variație (superioară și inferioară) pentru domeniul de variație a parametrilor dependenți.

Corelațiile grafice și analitice obținute pentru limita de curgere în funcție de compoziția chimică sunt prezentate în figurile 4.8 - 4.12.

Corelațiile grafice și analitice obținute pentru rezistența la tracțiune în funcție de compoziția chimică sunt prezentate în figurile 4.13 - 4.17.

Corelațiile grafice și analitice obținute pentru energia de rupere KU (la +20°C) respectiv KV (la -20°C) în funcție de compoziția chimică sunt prezentate în figurile 4.18 - 4.25.

Corelațiile grafice și analitice obținute pentru alungire în funcție de compoziția chimică sunt prezentate în figurile 4.26 - 4.29.

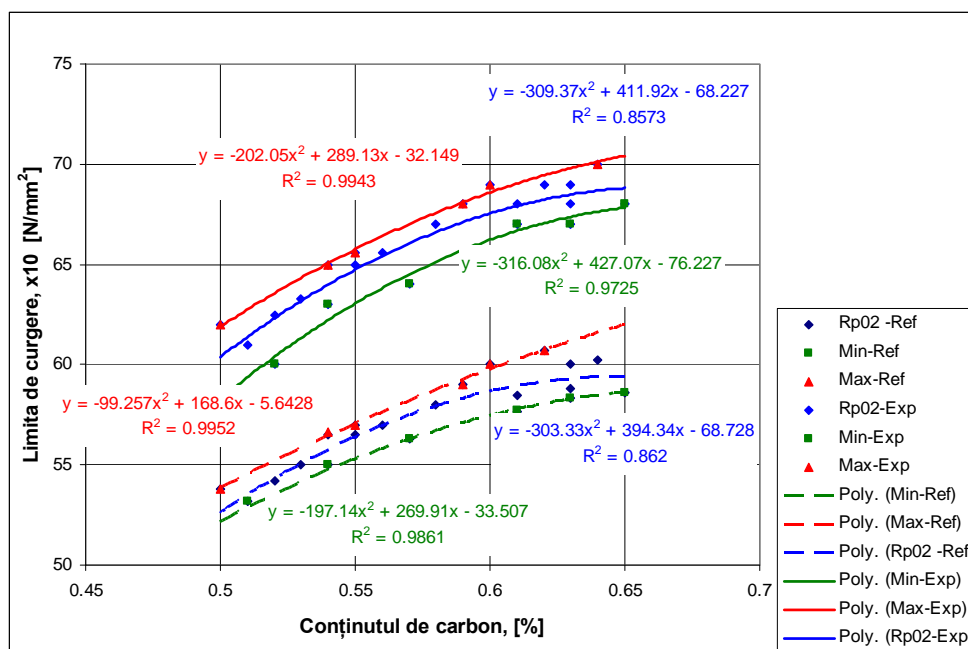


Fig.4.8. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de carbon al oțelului

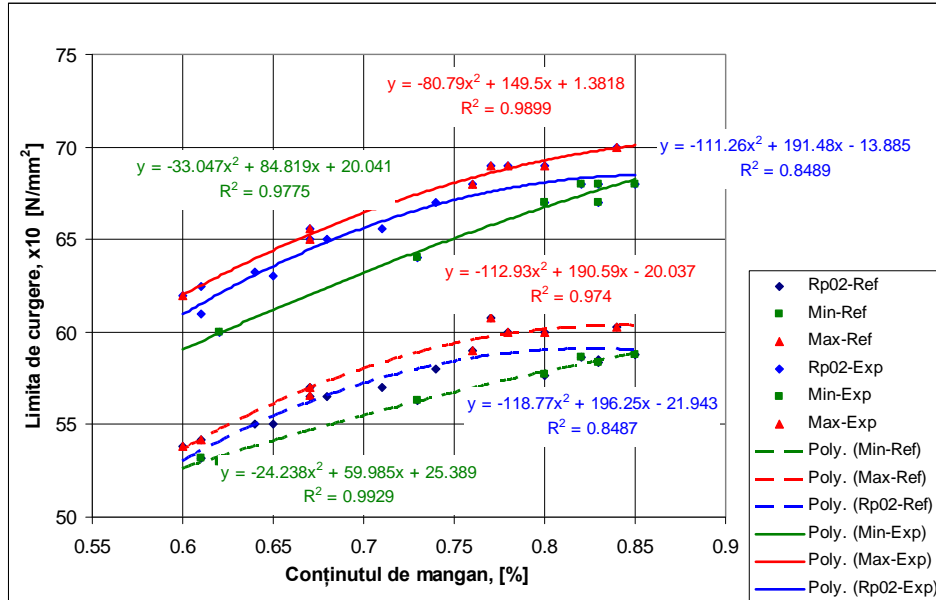


Fig.4.9. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de mangan al oțelului

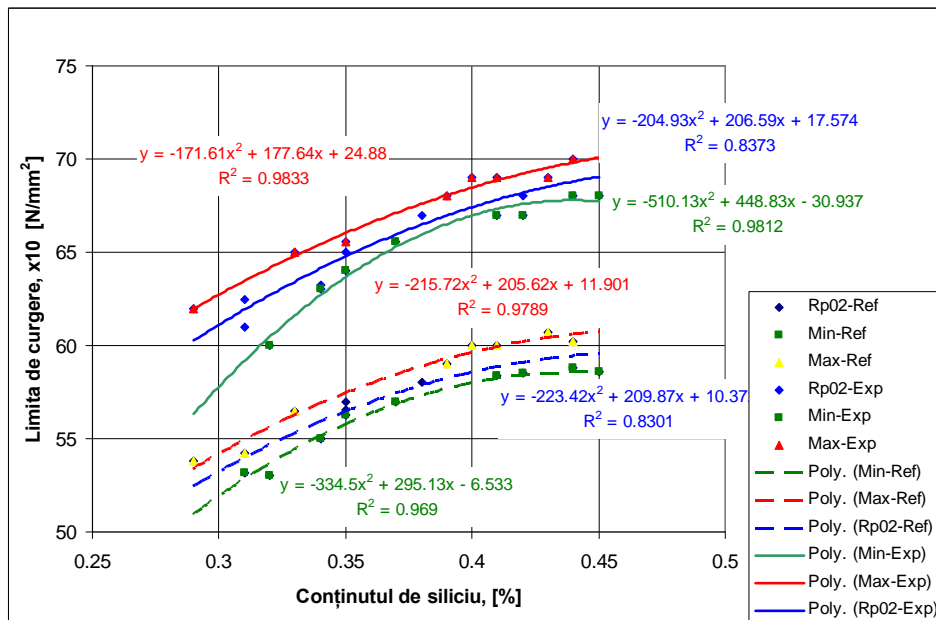


Fig.4.10. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de siliciu al oțelului

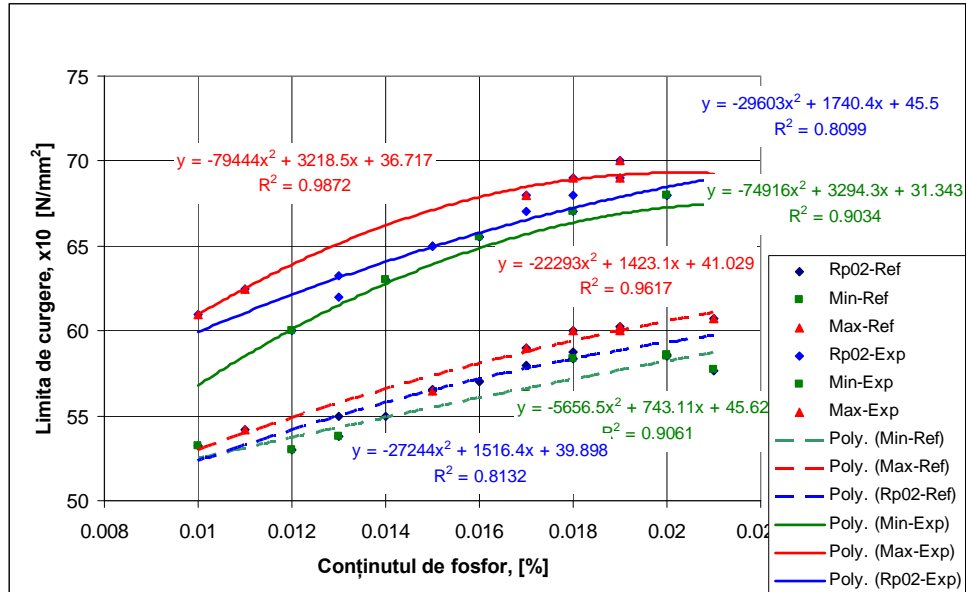


Fig.4.11. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de fosfor al oțelului

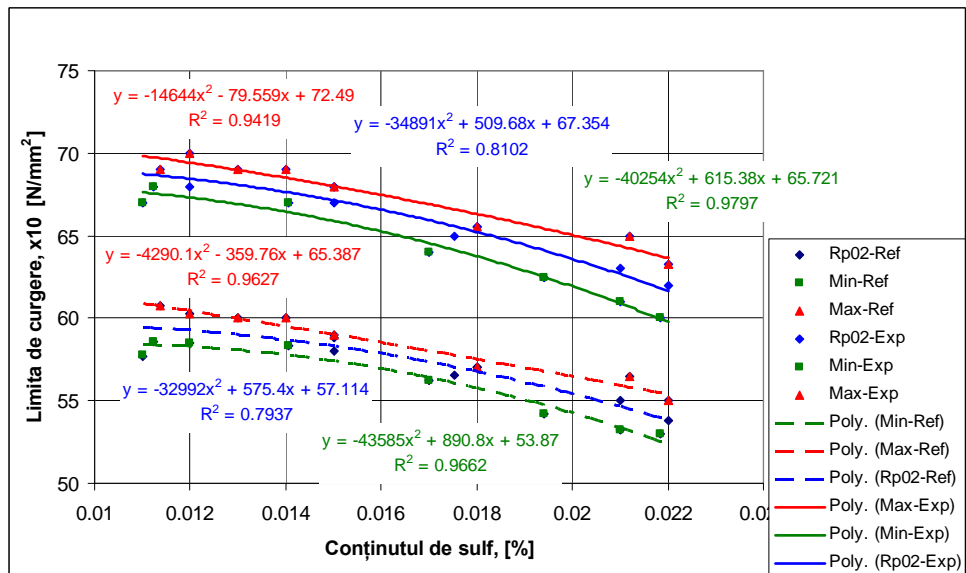


Fig.4.12. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de sulf al oțelului

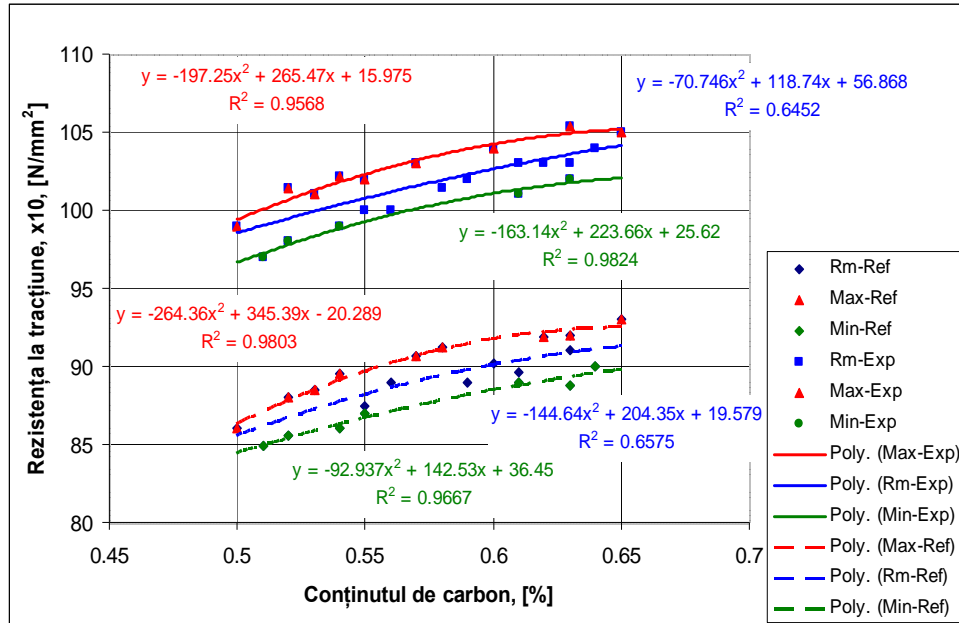


Fig.4.13. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de carbon al oțelului

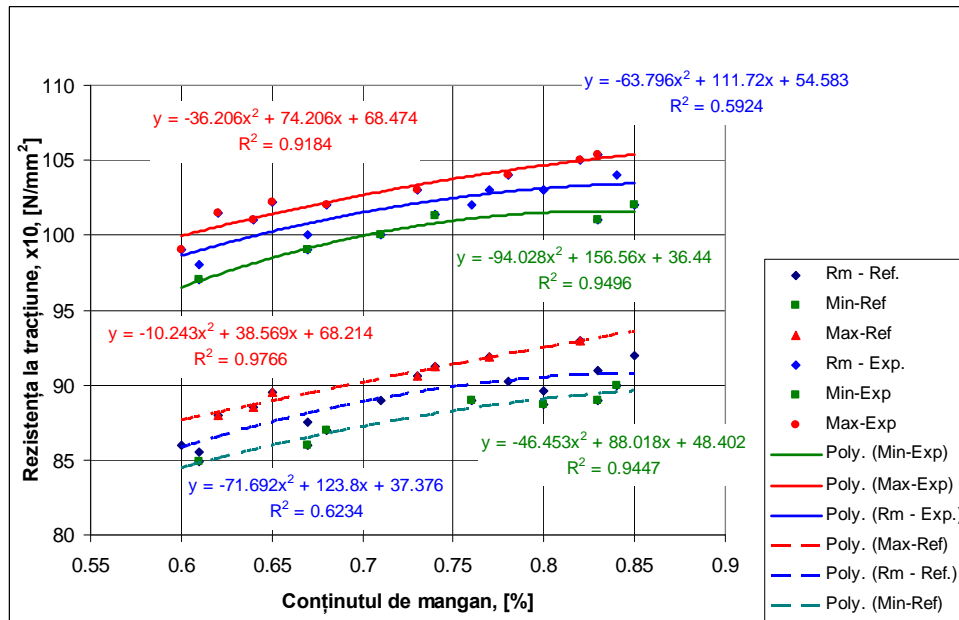


Fig.4.14. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de mangan al oțelului

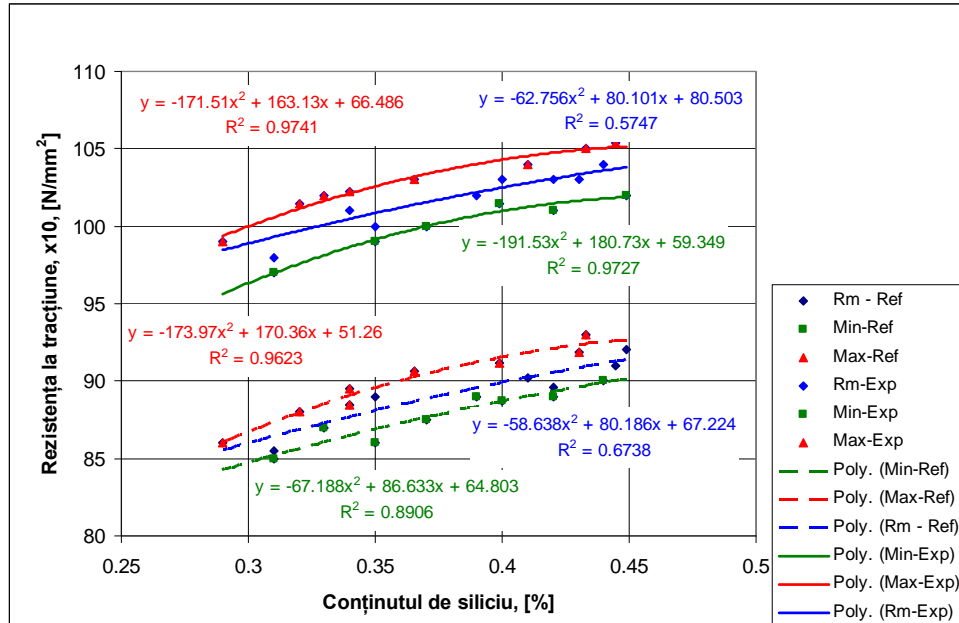


Fig.4.15. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de siliciu al oțelului

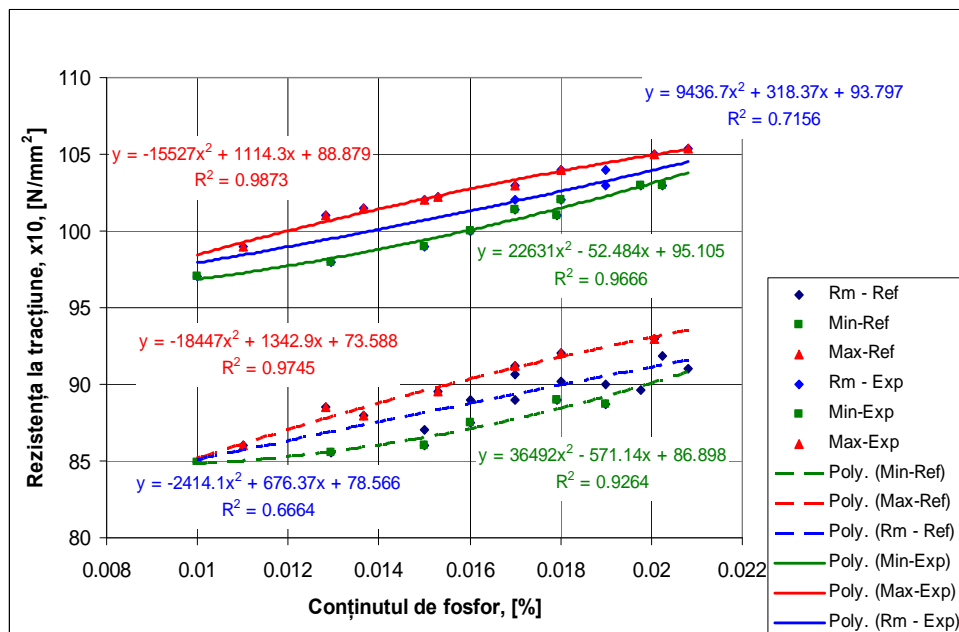


Fig.4.16. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de fosfor al oțelului

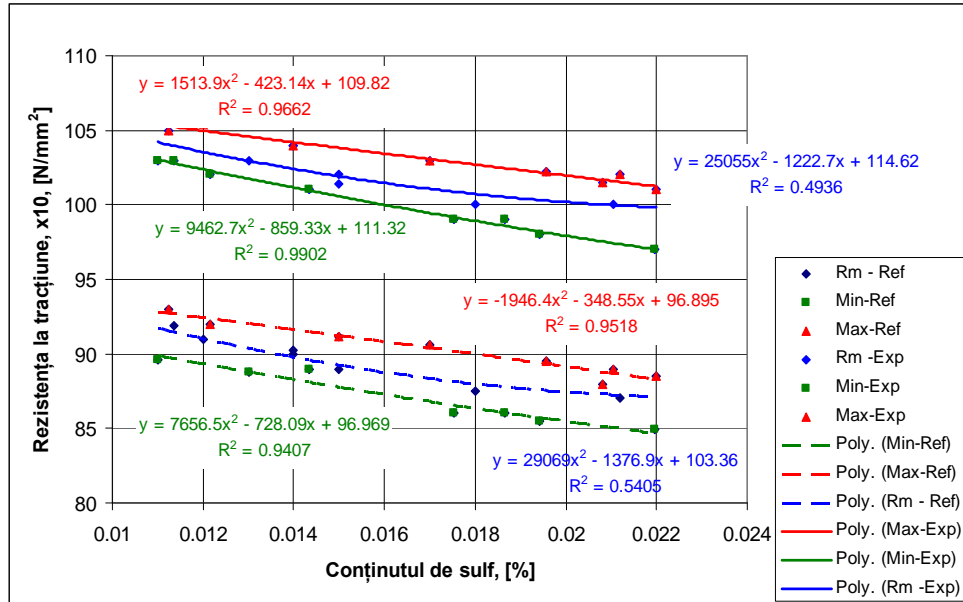


Fig.4.17. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de conținutul de sulf al oțelului

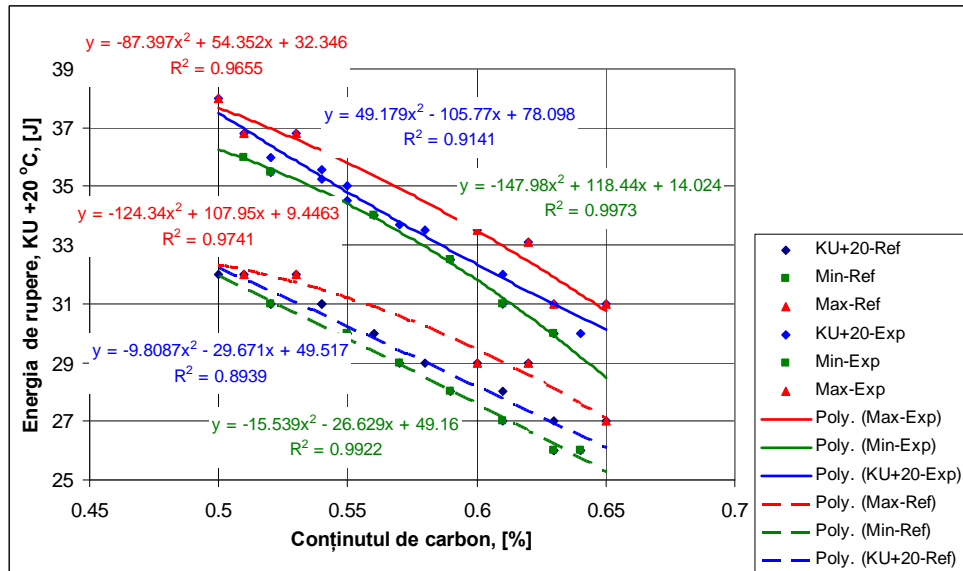


Fig.4.18. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului

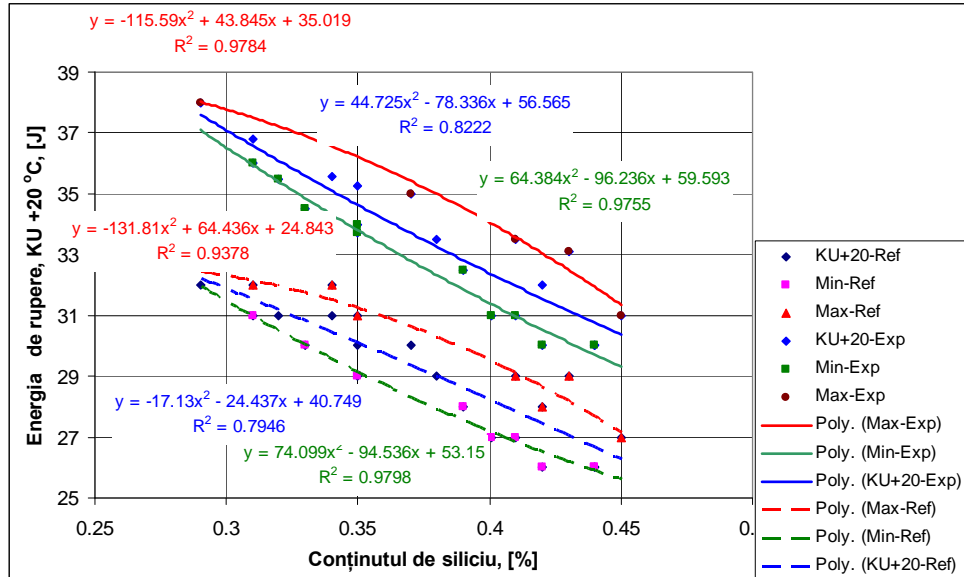


Fig.4.19. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de siliciu al oțelului

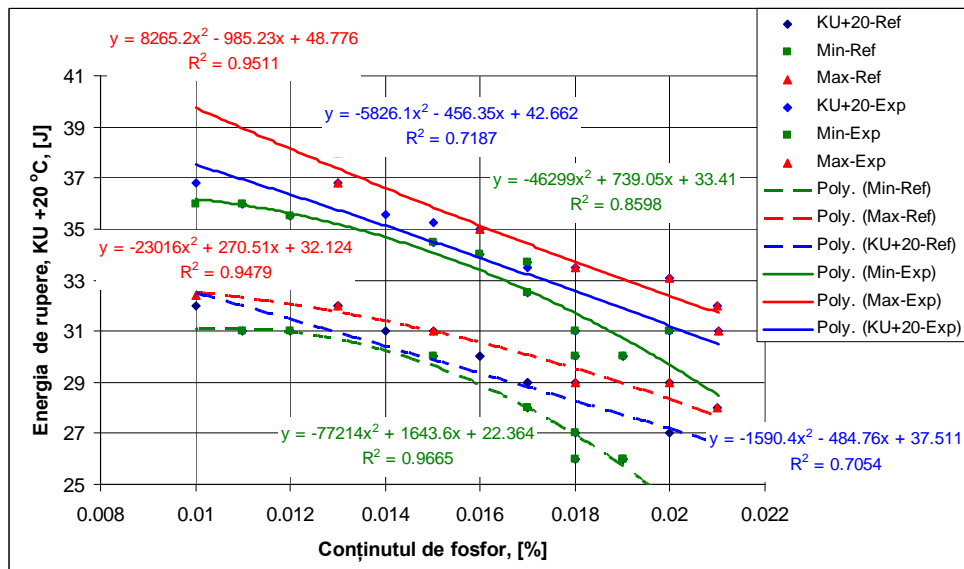


Fig.4.20. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de fosfor al oțelului

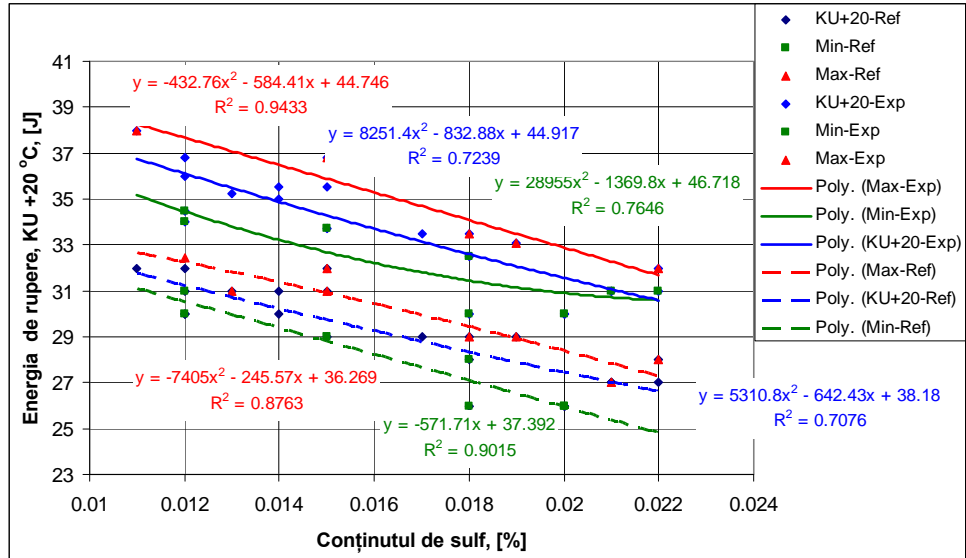


Fig.4.21. Variația energiei de rupere (KU la +20°C) în funcție de conținutul de sulf al oțelului

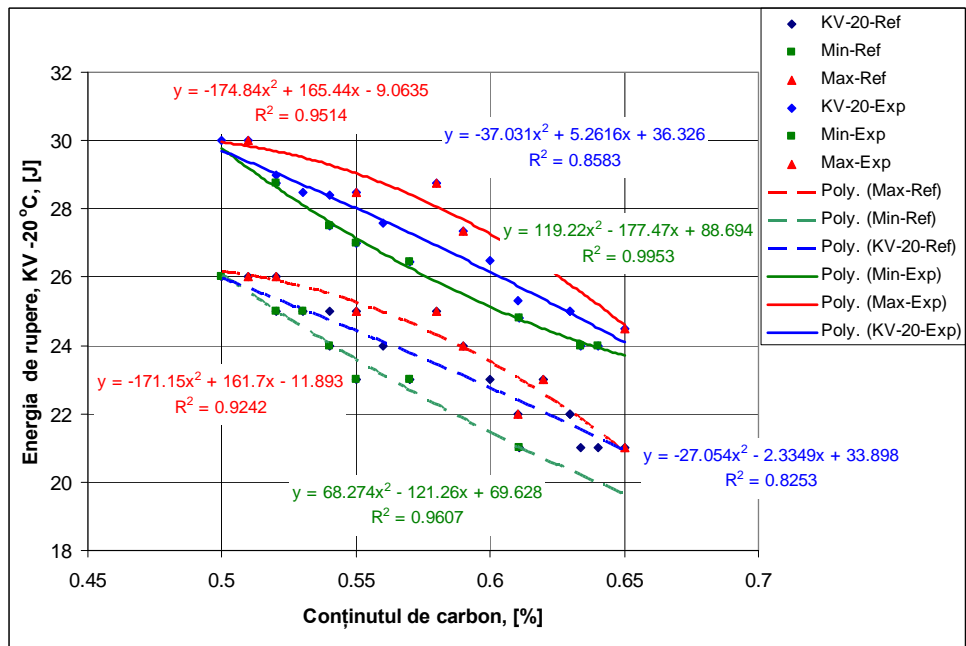


Fig.4.22. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului

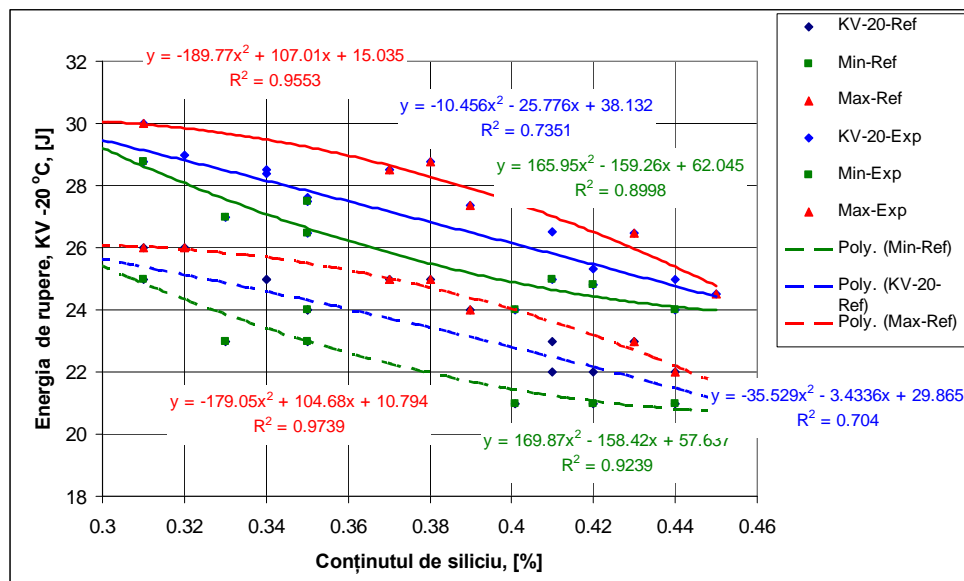


Fig.4.23. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de carbon al oțelului

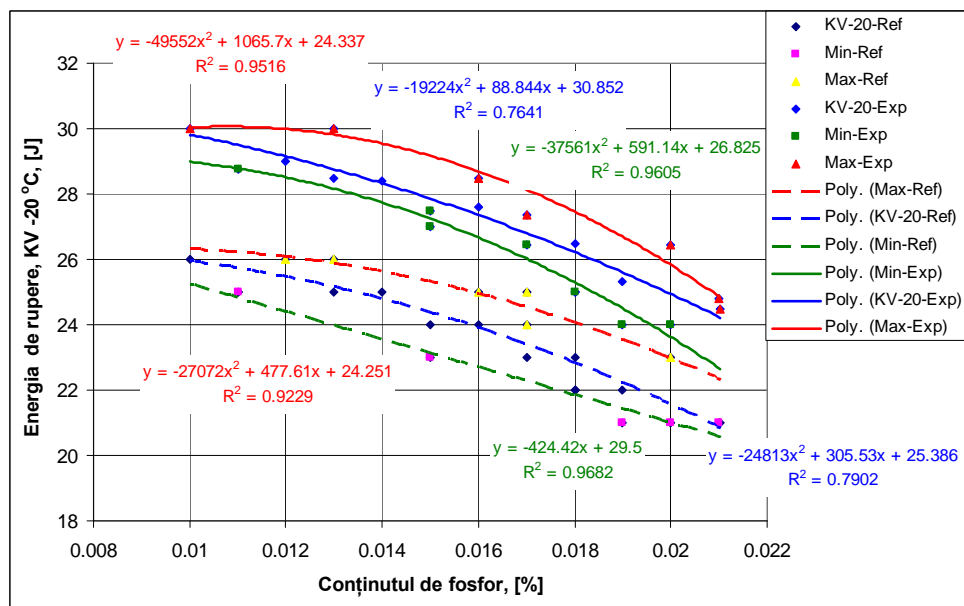


Fig.4.24. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de fosfor al oțelului

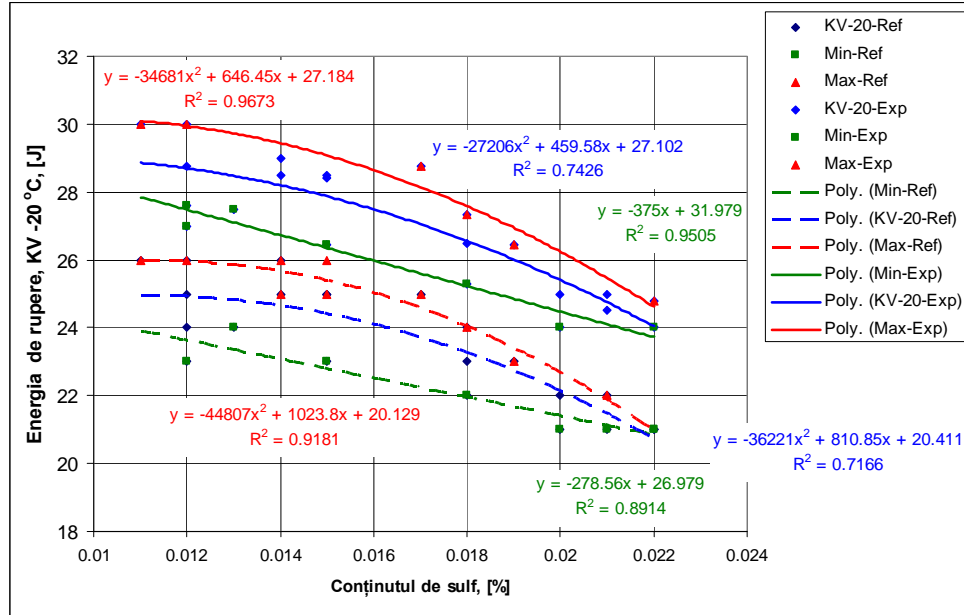


Fig.4.25. Variația energiei de rupere (KV la -20°C) în funcție de conținutul de sulf al oțelului

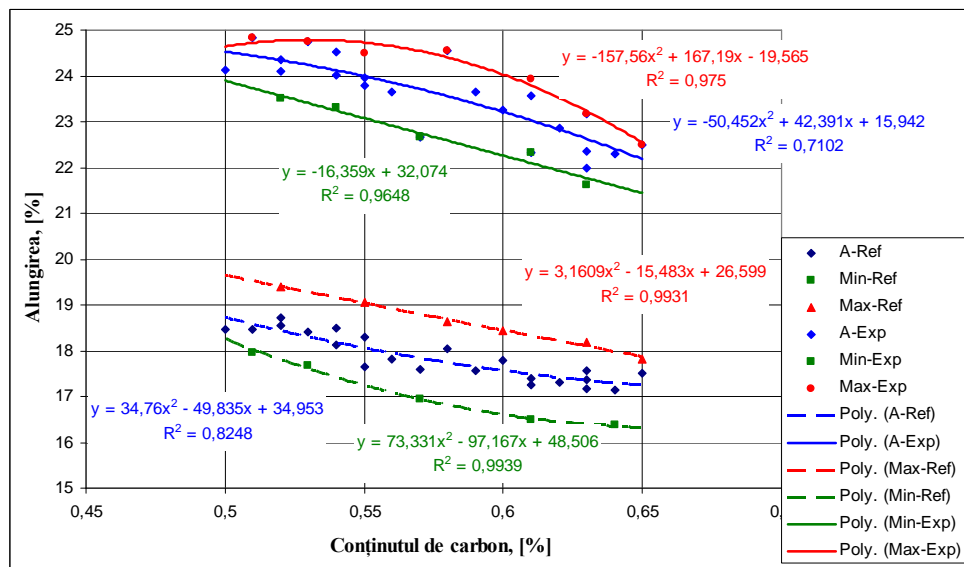


Fig.4.26. Variația alungirii în funcție de conținutul de carbon al oțelului

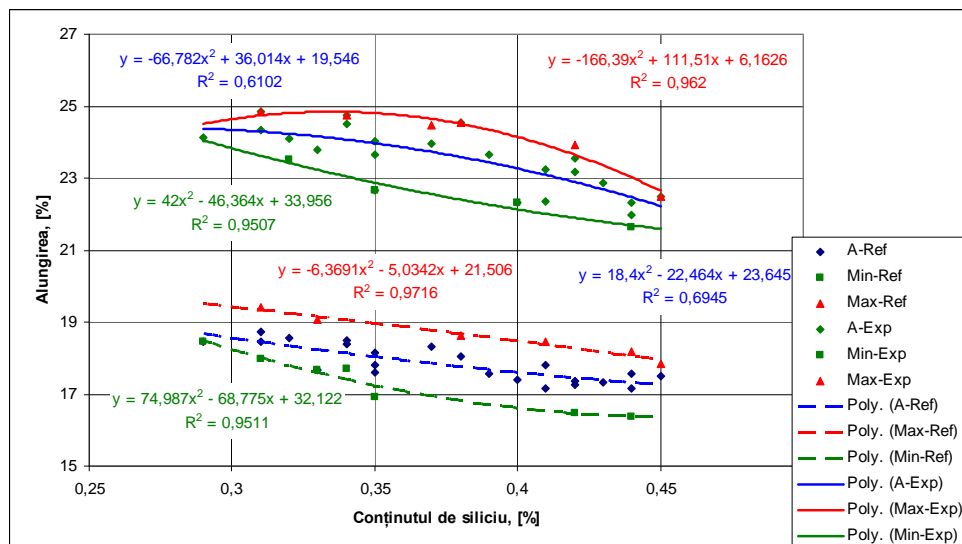


Fig.4.27. Variația alungirii în funcție de conținutul de siliciu al oțelului

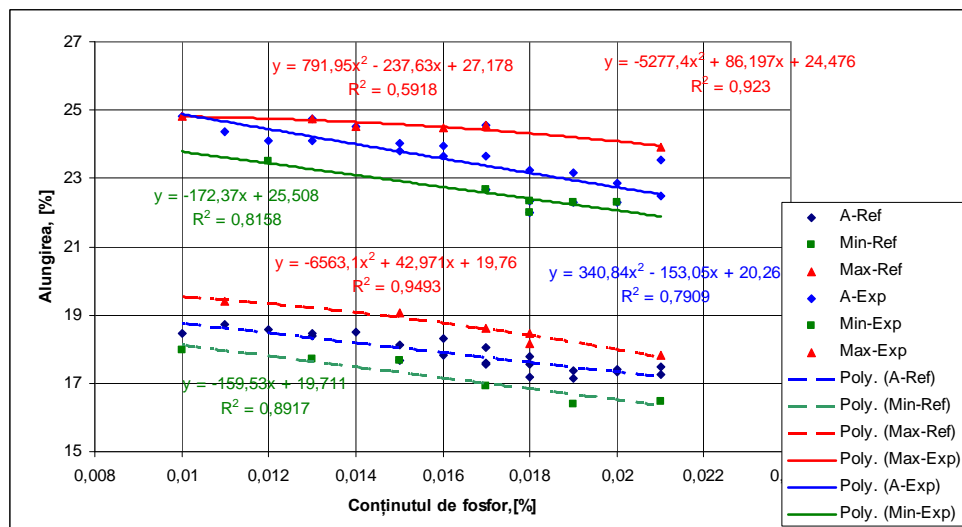


Fig.4.28. Variația alungirii în funcție de conținutul de fosfor al oțelului

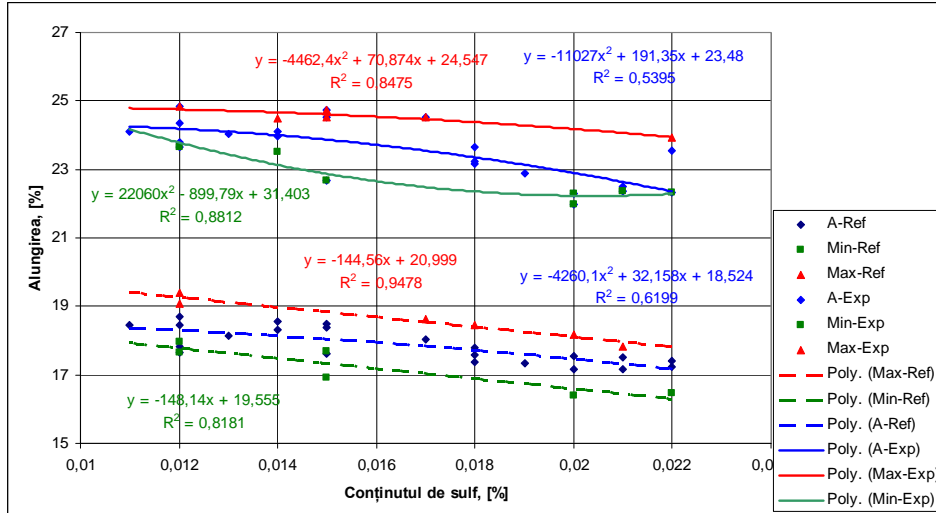


Fig.4.29. Variația alungirii în funcție de conținutul de sulf al oțelului

Valorile medii pentru elementele din compoziția chimică și limitele de variație a acestora se prezintă în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Compoziția chimică medie și limitele de variație

Compoziție chimică	C	Mn	Si	%S	%P
Valoare medie, %	0,576	0,727	0,375	0,0164	0,0164
Limite de variație, %	0,50 - 0,65	0,60 - 0,85	0,29 - 0,45	0,011 - 0,022	0,010 - 0,021

Valorile medii pentru caracteristicile mecanice, limitele de variație a acestora și creșterea valorilor pentru caracteristicile mecanice sunt prezentate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Valorile medii pentru caracteristicile mecanice și limitele de variație

Nr.crt	Caracteristica calitativă	Valoare medie	Limite de variație	Creșterea caracteristicii, %
1	R _{p02} - referință	51,153	53 - 60,73	14,21
2	R _{p02} - experimental	65,766	60 - 70	
3	R _m - referință	89,008	84,93-93	24,17
4	R _m - experimental	101,658	97-105,4	
5	KU+20- referință	29,136	28- 32	13,23
6	KV-20 - experimental	33,577	30 -38	
7	KU+20- referință	23,51	21 - 26	14,77
8	KV-20 - experimental	28,97	24 -30	
9	A - referință	17,80	17,15 - 18,71	32,36
10	A - experimental	23,56	21,98 - 24,83	

4.2.2.2. Influența microrăcitorilor asupra caracteristicilor mecanice

În ce privește influența adaosului specific de microrăcitori și a diametrului acestora asupra caracteristicilor mecanice, corelațiile exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2 obținute în programul de calcul EXCEL sunt prezentate în figurile 4.30 - 4.34 [82, 83].

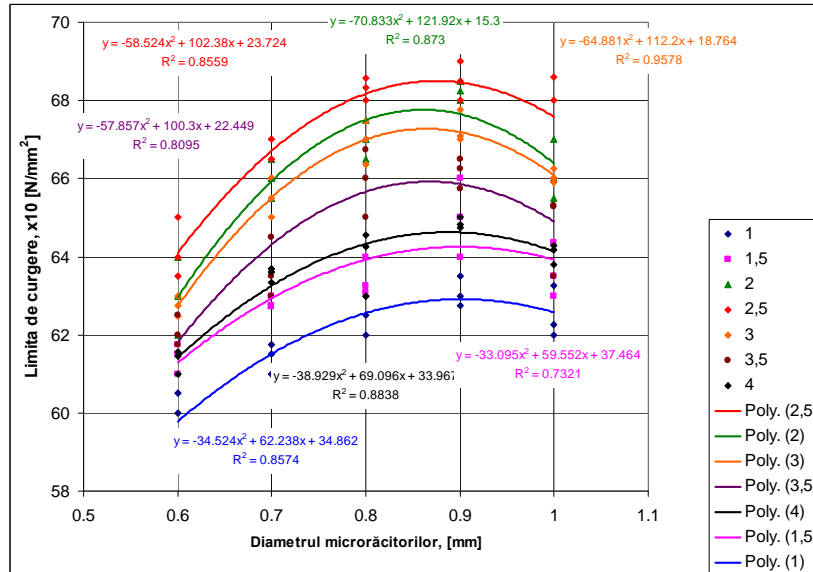


Fig.4.30. Variația limitei de curgere în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)

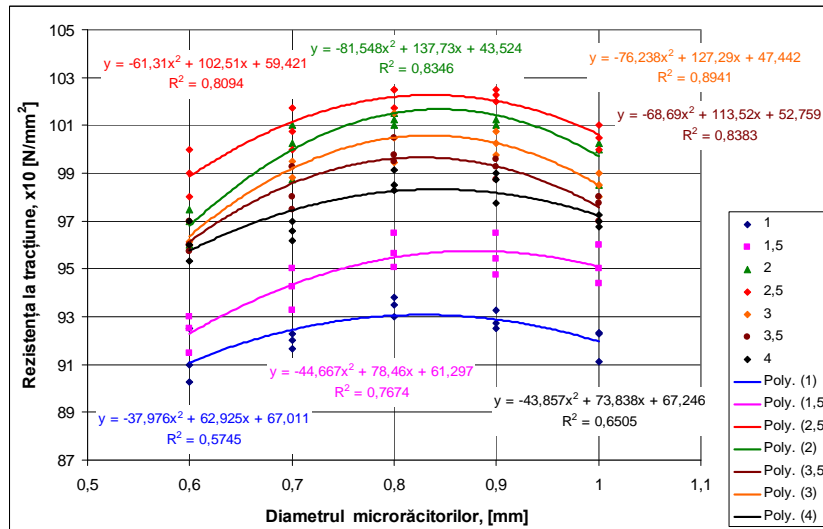


Fig.4.31. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)

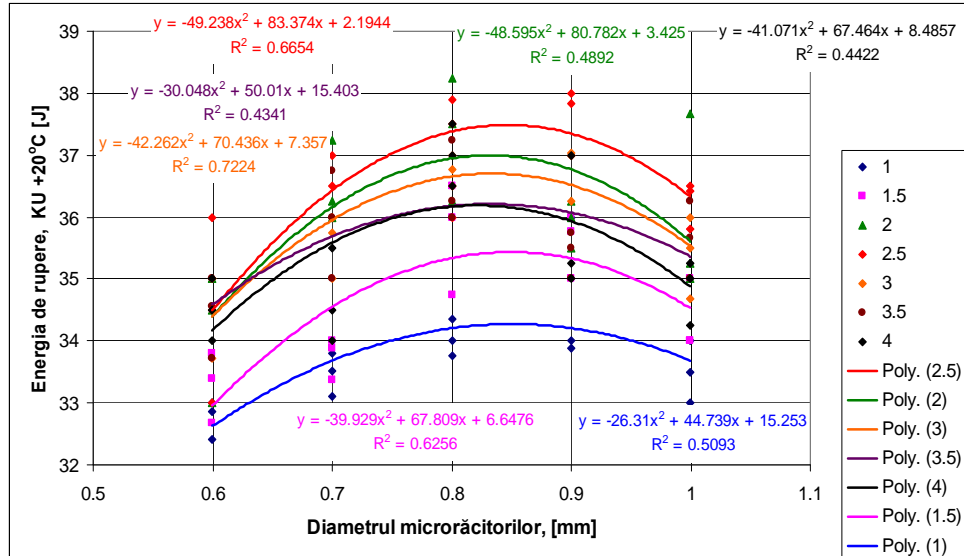


Fig.4.32. Variația energiei de rupere (KU+20°C) în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)

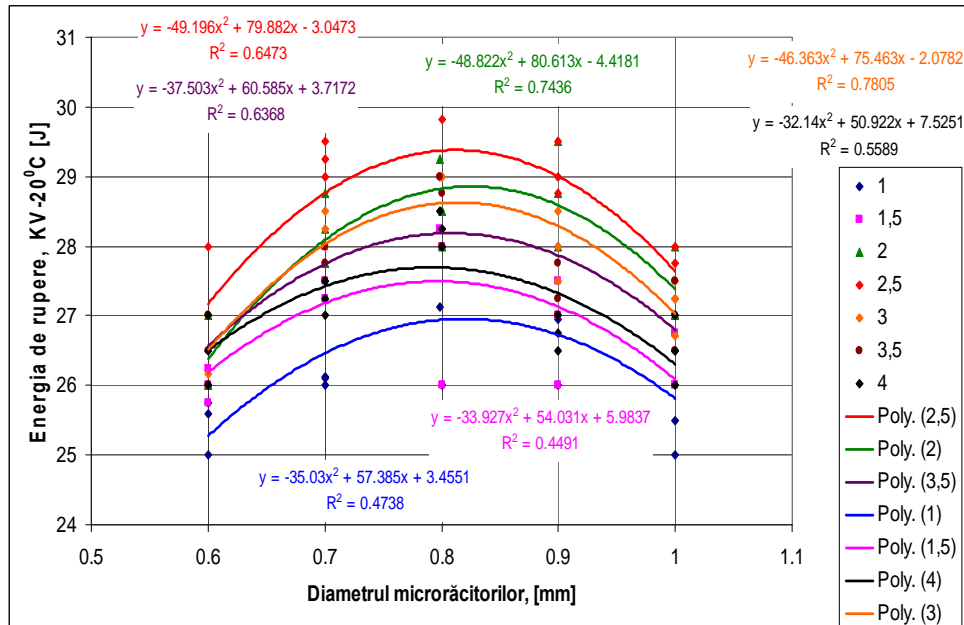


Fig.4.33. Variația energiei de rupere (KV-20°C) în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)

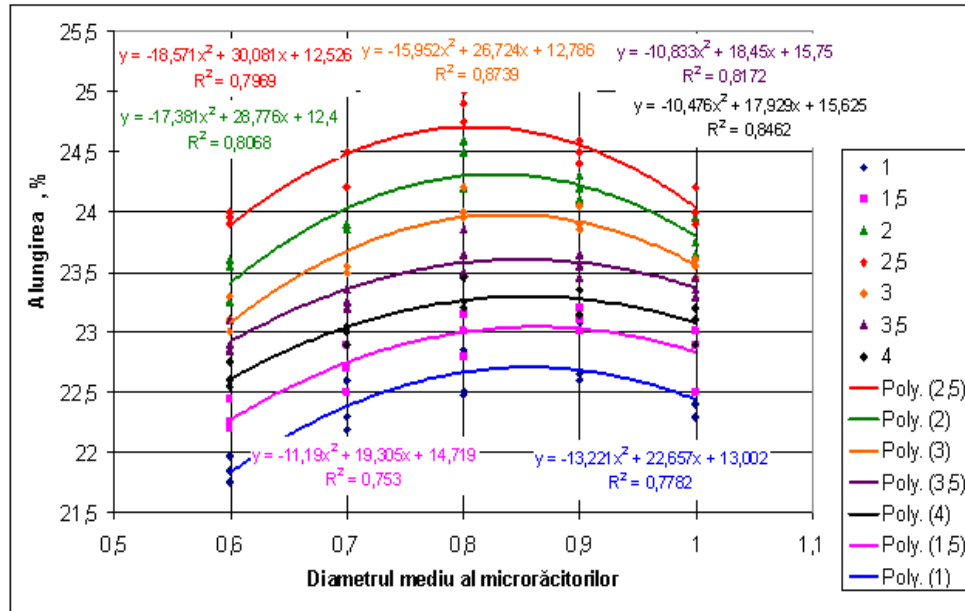


Fig.4.34. Variația alungirii în funcție de diametrul microrăcitorilor pentru diferite adaosuri ale acestora (1-4g/kg)

4.2.2.3. Analiza tehnologică. Concluzii.

Din analiza corelațiilor obținute prin prelucrarea datelor experimentale în programul de calcul EXCEL, și exprimate sub formă analitică și grafică în figurile 4.8 – 4.29 rezultă următoarele concluzii:

- toate cele 44 de corelații, din care 22 pentru oțelul de referință (turnat fără microrăcitori) și 22 pentru oțelul experimental (turnat cu microrăcitori) sunt semnificative din punct de vedere a coeficientului de corelație (în proporție de 81,82% (36 de corelații) peste 0,80 și restul de 18,18% (8 corelații) peste 0,7;

- domeniile de variație a parametrilor dependenți sunt foarte bine delimitate atât la partea superioară cât și la cea inferioară, fapt confirmat de valorile mari pentru coeficienții de corelație a acestor ecuații (în proporție de 79,55% - 70 de corelații - peste 0,95 și restul de 20,5% - 18 corelații - peste 0,85).

- valorile ridicate pentru coeficienți de corelație se reflectă și în faptul că foarte puține valorile pentru parametrii dependenți sunt amplasate în afara limitelor de delimitare a domeniilor, dar și acestea fiind foarte aproape de limitele acestora (atât superioară cât și inferioară).

- influența elementelor din compoziția chimică asupra caracteristicilor mecanice corespunde informațiilor din literatura de specialitate, prin corelații fiind reprezentată și influența cantitativă a acestora;

- din fiecare reprezentare reiese foarte bine în evidență atât influența elementelor din compoziția chimică cât și a adaosului de microrăcitori asupra caracteristicilor mecanice;

- valorile medii pentru elementele din compoziția chimică se încadrează în limitele prevăzute pentru oțelul R7T; din punct de vedere a conținuturilor de sulf și

fosfor acestea sunt mult sub limita maximă prevăzută de standard, ceea ce se reflectă și în valorile pentru caracteristicile calitative;

- referitor la caracteristicile mecanice se constată că, pentru fiecare adaosul de microrăcitori a determinat o creștere a acestora, cea mai semnificativă creștere fiind pentru alungire (32,36%), urmată de rezistența la rupere (24,17%), existând o bună concordanță cu informațiile din literatura de specialitate [37];

- corelațiile prezentate în figurile 4.30 - 4.34, exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2, redau influența dintre adaosul specific de microrăcitori și diametrul acestora, considerați parametri independenți și caracteristicile mecanice considerate ca parametri dependenți;

- toate corelațiile sunt prezentate atât sub formă grafică cât și sub formă analitică (se prezintă expresia funcției polinomiale de gradul 2 și valoarea coeficientului de corelație)

- în toate cazurile corelațiile privind influența diametrului adaosului de microrăcitori, pentru diferite adaosuri specifice asupra caracteristicilor mecanice prezintă punct de maxim, valorile pentru coordonatele acestora fiind situate în intervalul experimentat;

- în toate cazurile se constată o creștere a caracteristicilor mecanice în funcție de diametrul microrăcitorilor până la atingerea unei valori maxime (pentru $d = 8 - 9$ mm, indiferent de adaosul specific de microrăcitori (g/kg), după care se constată o scădere ușoară a acestora;

- din punct de vedere a diametrului microrăcitorilor se recomandă ca acesta să fie cuprins în limitele 0,7 - 0,9 mm;

- referitor la adaosul specific de microrăcitori se constată că; cele mai bune valori pentru caracteristicile mecanice se obțin la adaosul de 2,5g/kg urmat de 2g/kg și 3g/kg, iar cele mai scăzute valori pentru adaos de 1g/kg, indiferent de diametrul microrăcitorilor.

4.2.3. Rezultate la prelucrarea datelor în programul MATLAB

4.2.3.1. Influența adaosului de microrăcitori la turnarea oțelului asupra caracteristicilor mecanice

În programul MATLAB au fost prelucrate aceleași date ca și în programul EXCEL, date referitoare la influența diametrului microrăcitorilor pentru diferite adaosuri specifice a acestora, deoarece s-a dorit să se stabilească atât ecuații de corelație dublă, cât și posibilitatea unei comparații tehnologice cu corelațiile simple obținute în programul EXCEL, pentru aceiași parametri independenți, adaosul specific de microrăcitori și diametrul acestora asupra caracteristicilor mecanice, considerați parametri independenți [84-86].

Corelațiile duble sunt exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1, 2, 3 și 4, atât sub formă grafică cât și analitică. Sunt prezentate suprafețele de corelație, curbele de nivel proiectate pe plan și în spațiu – figurile 4.35-4.54. De asemenea, se prezintă pentru fiecare corelație abaterea (S) de la suprafața de regresie și coordonatele punctelor de maxim. Corelațiile limitei de curgere în funcție de diametrul microrăcitorilor (d) pentru diferite adaosuri specifice (q) ale acestora sunt prezentate în continuare.

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 1 este:

$$R_{p0,2} = 10,0 \cdot d + 0,39 \cdot q + 55,56 \quad (4.1)$$

Coeficient de corelație $R = 0,8767$; abatere $S = 1,7958$;

Coordonate punct de maxim: $d = 1,0$ mm; $q = 4,0$ g/kg; $R_{p0,2} = 67,06$ daN/mm²;

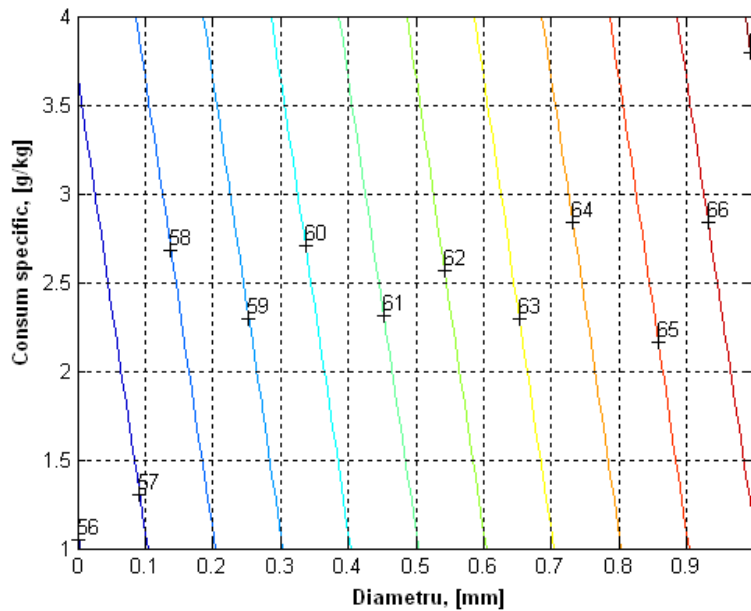
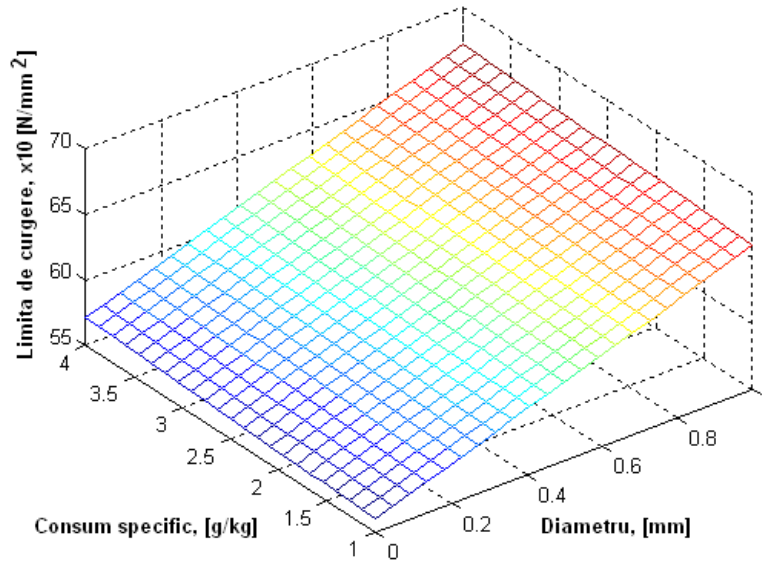


Fig.4.35. Suprafața de regresie de gradul 1 - $R_{p0,2} = f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 2 este:

$$R_{p0,2} = -4,49 \cdot d^2 + 0,67 \cdot d \cdot q - 1,57 \cdot q^2 + 12,56 \cdot d + 7,82 \cdot q + 48,05 \quad (4.2)$$

Coeficientul de corelație $R = 0,9584$, abatere $S = 1,0659$

Coordonate punct de maxim: $d = 0,84\text{mm}$; $q = 2,58\text{g/kg}$; $R_{p0,2} = 68,86\text{daN/mm}^2$.

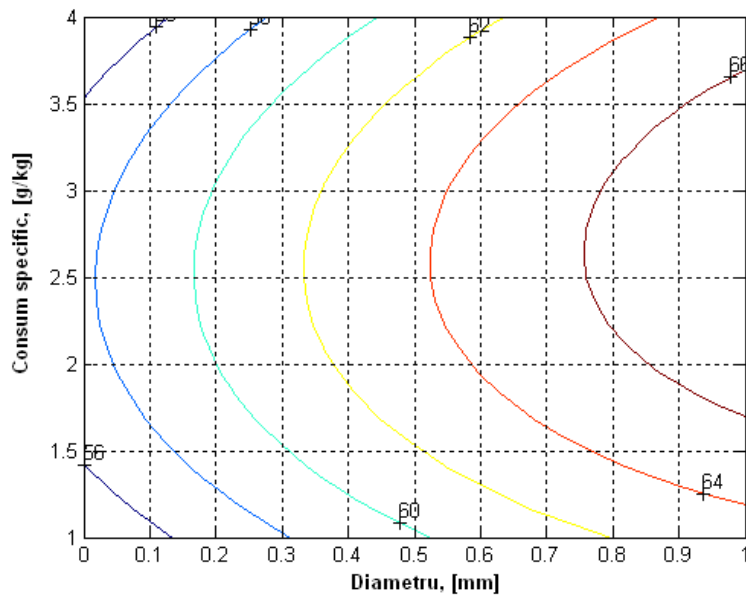
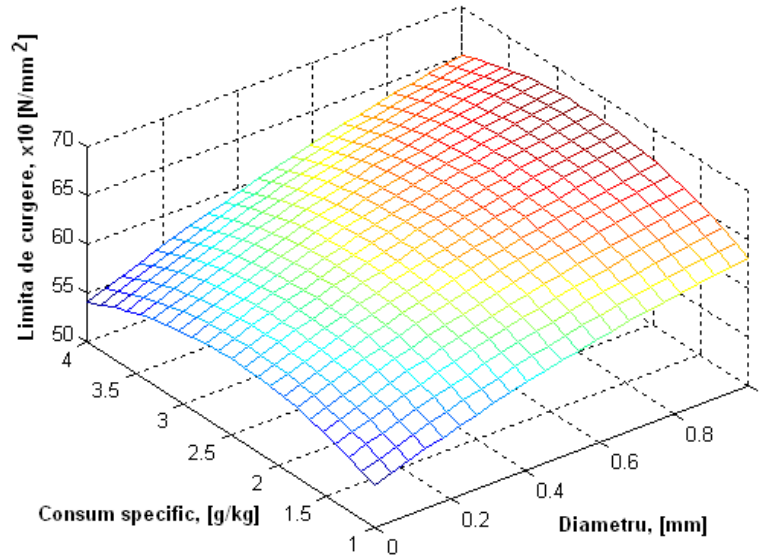


Fig.4.36. Suprafața de regresie de gradul 2 - $R_{p0,2}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 3 este:

$$R_{p0,2} = -61,10 \cdot d^3 - 1,11 \cdot d^2 q - 1,23 \cdot d q^2 + 0,28 q^3 + 98,46 d^2 + 7,90 d q - 2,87 q^2 - 36,57 d + 8,43 q + 49,51 \quad (4.3)$$

Coefficient de corelație $R = 0,9841$; abatere $S = 0,6624$;

Coordonate punct de maxim: $d = 0,85\text{mm}$; $q = 2,58\text{g/kg}$; $R_{p0,2} = 68,95\text{daN/mm}^2$.

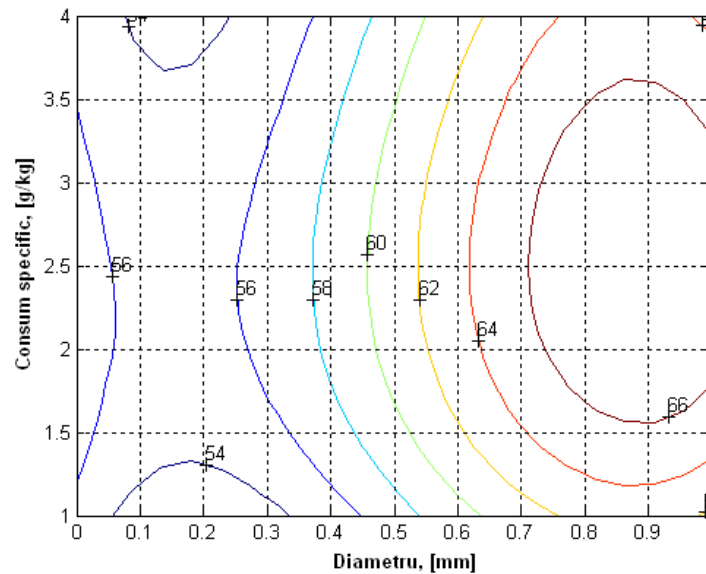
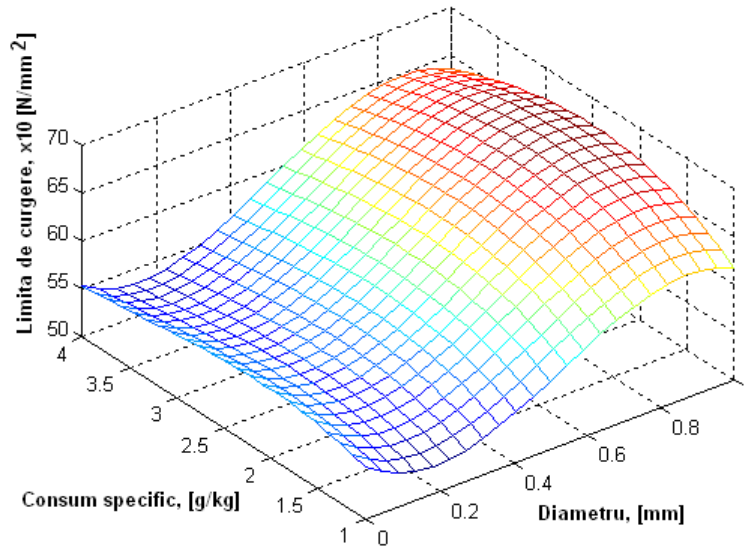


Fig.4.37. Suprafața de regresie de gradul 3 - $R_{p0,2}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 4 este:

$$R_{p0,2} = -46,39 \cdot d^4 - 4,24 \cdot d^3 \cdot q + 0,63 \cdot d^2 \cdot q^2 - 0,79 \cdot d \cdot q^3 + 0,92 \cdot q^4 + 62,06 \cdot d^3 + 2,67 \cdot d^2 \cdot q + 4,13 \cdot d \cdot q^2 - 8,45 \cdot q^3 - 5,09 \cdot d^2 - 5,41 \cdot d \cdot q + 25,73 \cdot q^2 - 0,53 \cdot d - 29,63 \cdot q + 66,73 \quad (4.4)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9935$; abatere $S = 0,4257$.

Coordonate punct de maxim: $d = 0,86\text{mm}$; $q = 2,60\text{g/kg}$; $R_{p0,2} = 69,16\text{daN/mm}^2$.

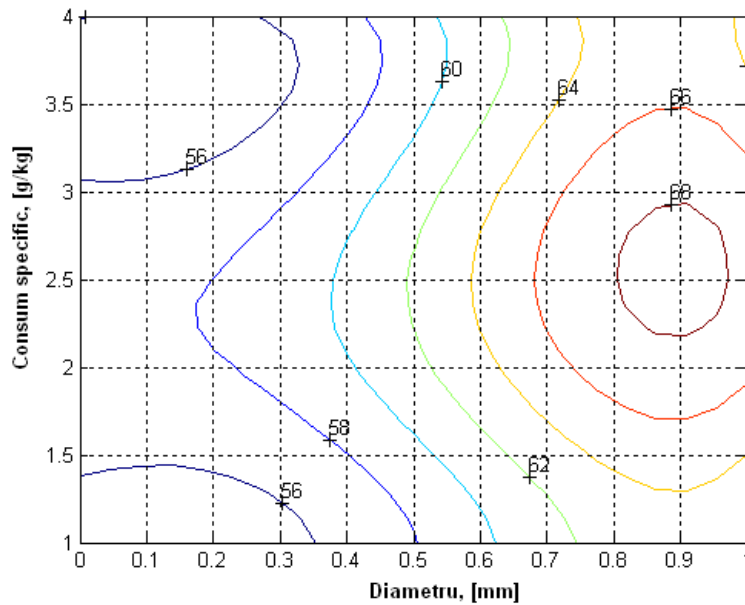
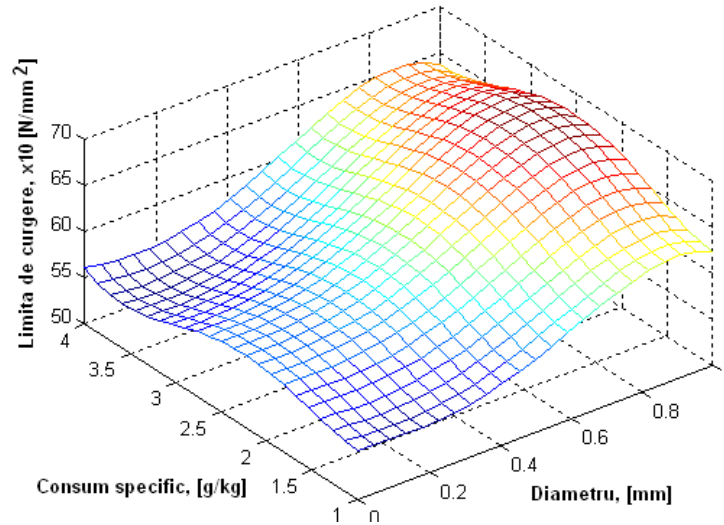


Fig.4.38. Suprafața de regresie de gradul 4 - $R_{p0,2}=f(q,d)$

Corelațiile rezistenței la tracțiune în funcție de diametrul microrăcitorilor (d) pentru diferite adaosuri specifice (q) ale acestora sunt prezentate în continuare.

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 1 este:

$$R_m = 11,02 \cdot d + 1,23 \cdot q + 85,43 \quad (4.5)$$

Coeficient de corelație $R = 0,8208$; abatere $S = 2,6369$

Coordonate punct de maxim: $d = 1,0$ mm; $q = 4,0$ g/kg; $R_m = 101,45$ daN/mm².

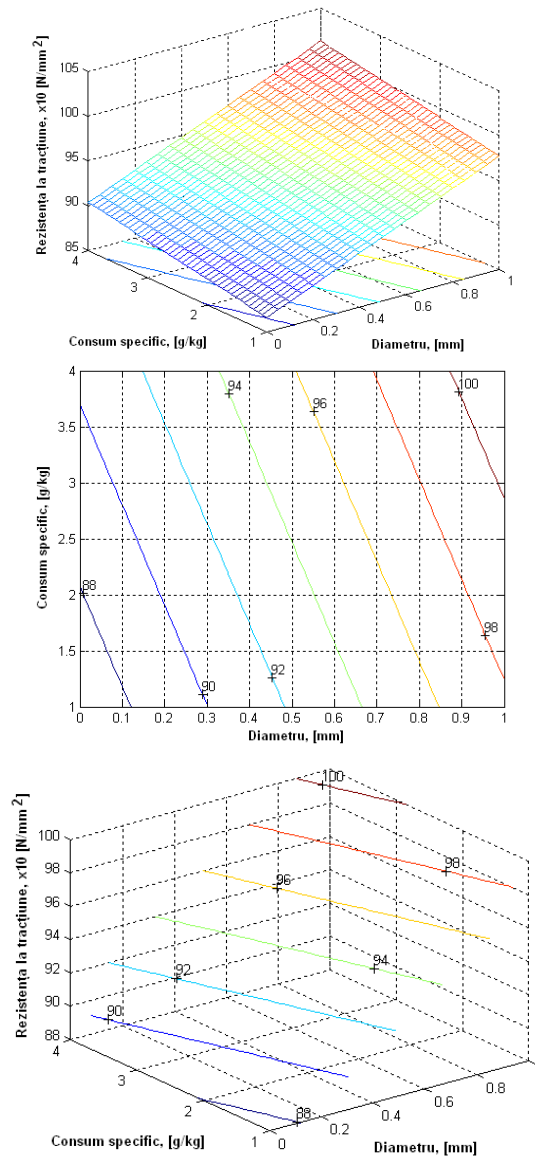


Fig.4.39. Suprafața de regresie de gradul 1 - $R_m=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 2 este:

$$R_m = -12,11d^2 + 1,65d \cdot q - 2,19q^2 + 18,37d + 11,09q + 75,70 \quad (4.6)$$

Coefficient de corelație $R = 0,9572$; abatere $S = 1,3369$

Coordonate punct de maxim: $d = 0,88\text{mm}$; $q = 2,80\text{g/kg}$; $R_m = 102,54\text{daN/mm}^2$.

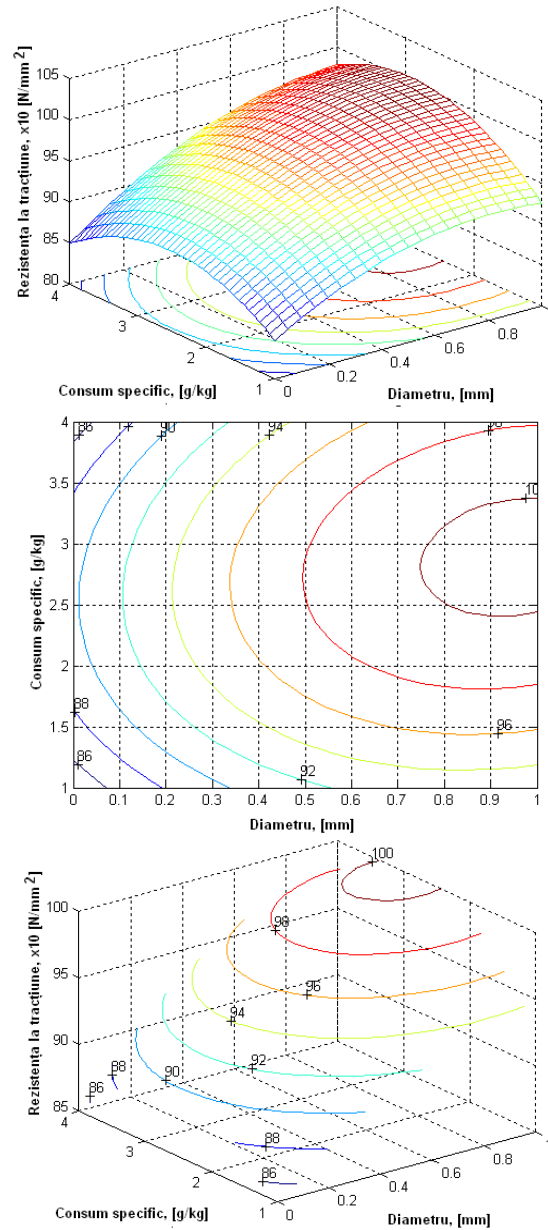


Fig.4.40 Suprafața de regresie de gradul 2 - $R_m=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 3 este:

$$R_m = -62,77 \cdot d^3 - 1,81 \cdot d^2 \cdot q - 2,03 \cdot d \cdot q^2 + 0,49 \cdot q^3 + 95,31 \cdot d^2 + 13,56 \cdot d \cdot q - 4,58 \cdot q^2 - 37,73 \cdot d + 12,64 \cdot q + 77,69 \quad (4.7)$$

Coefficient de corelație $R = 0,9822$; abatere $S = 0,8676$;

Coordonate punct de maxim: $d = 0,86 \text{ mm}$; $q = 2,75 \text{ g/kg}$; $R_m = 102,67 \text{ daN/mm}^2$.

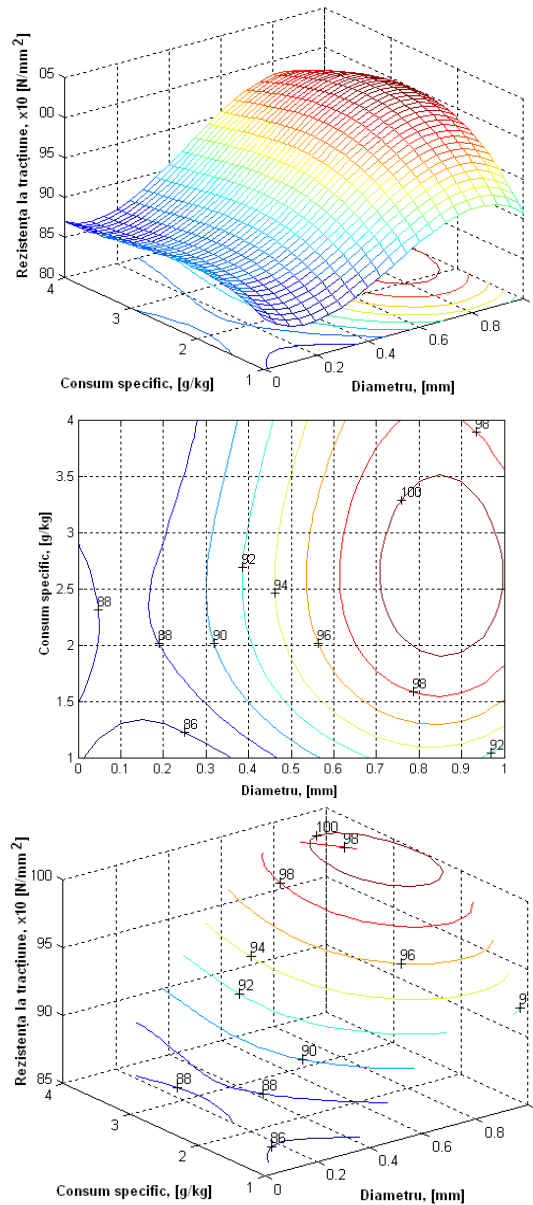


Fig.4.41. Suprafața de regresie de gradul 3 - $R_m=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 4 este:

$$R_m = -30,59d^4 - 3,92d^3q + 1,55d^2q^2 + 0,59dq^3 + 1,14q^4 + 21,27d^3 - 3,14d^2q - 7,97dq^2 - 11,347q^3 + 28,36d^2 + 28,48dq + 38,72q^2 - 0,38d - 52,59q + 111,14 \quad (4.8)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9909$; abatere $S = 0,6199$;

Coordonate punct de maxim: $d = 0,86\text{mm}$; $q = 2,52\text{g/kg}$; $R_m = 102,75\text{daN/mm}^2$.

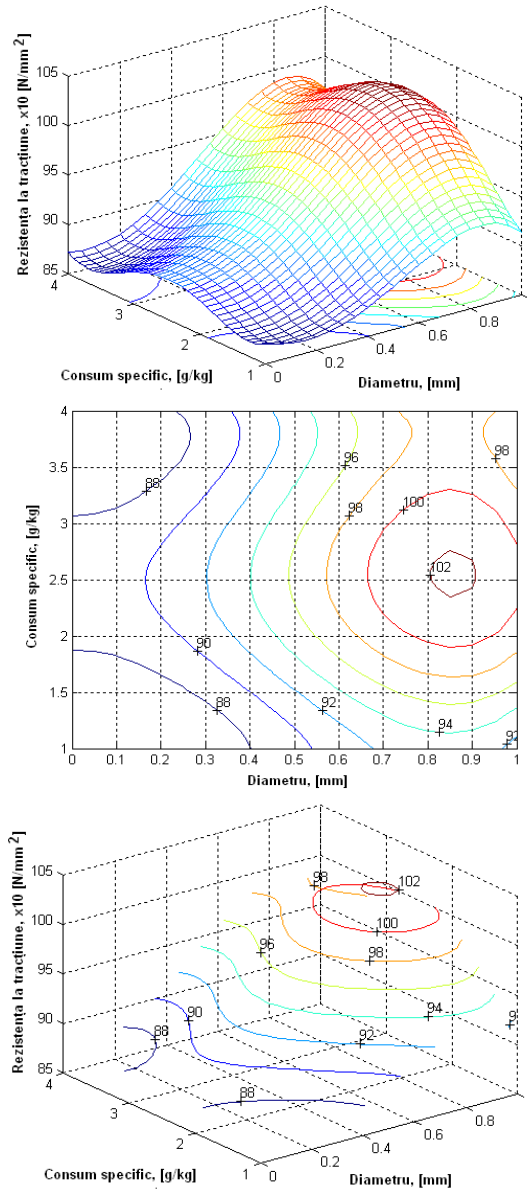


Fig.4.42 Suprafața de regresie de gradul 4 - $R_m=f(q,d)$

Corelațiile energiei de rupere KU (la +20°C) în funcție de diametrul microrăcitorilor (d) pentru diferite adaosuri specifice (q) ale acestora sunt prezentate în continuare.

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 1 este:

$$KU_{+20} = 7,95 \cdot d + 0,46 \cdot q + 27,74 \quad (4.9)$$

Coefficient de corelație $R = 0,9031$; abatere $S = 1,2476$; Coordonate punct de maxim: $d = 1,0$ mm; $q = 4,0$ g/kg; $KU_{+20} = 37,16$ J.

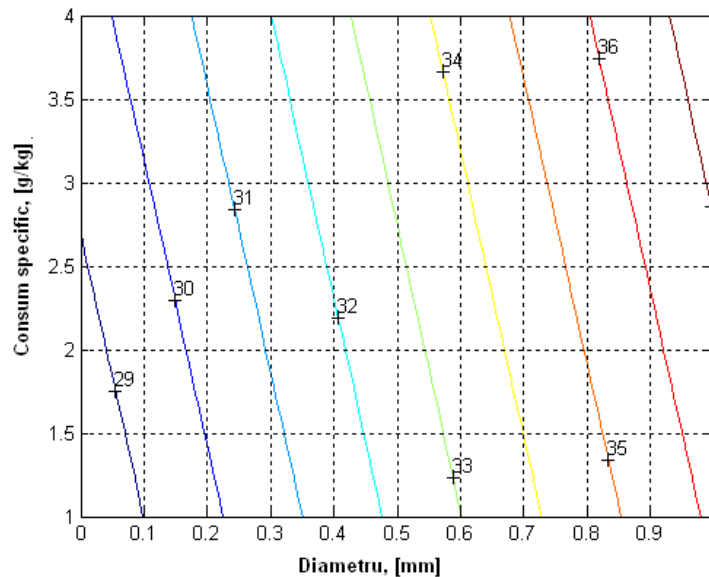
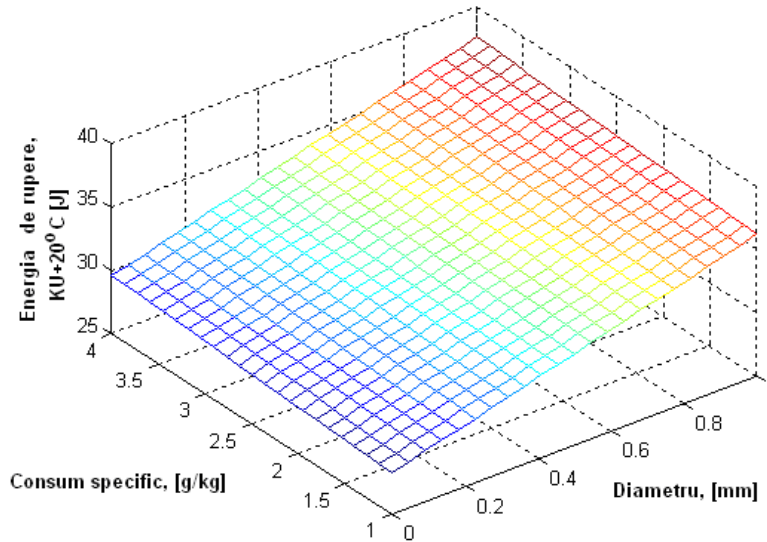


Fig.4.43. Suprafața de regresie de gradul 1 – $KU_{+20}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 2 este:

$$KU_{+20} = -8,63 \cdot d^2 + 0,26 \cdot d \cdot q - 0,63 \cdot q^2 + 15,46 \cdot d + 3,47 \cdot q + 24,14 \quad (4.10)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9638$; abatere $S = 0,7743$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,88\text{mm}$; $q = 2,68\text{g/kg}$; $KU_{+20^\circ\text{C}} = 37,03 \text{ J}$.

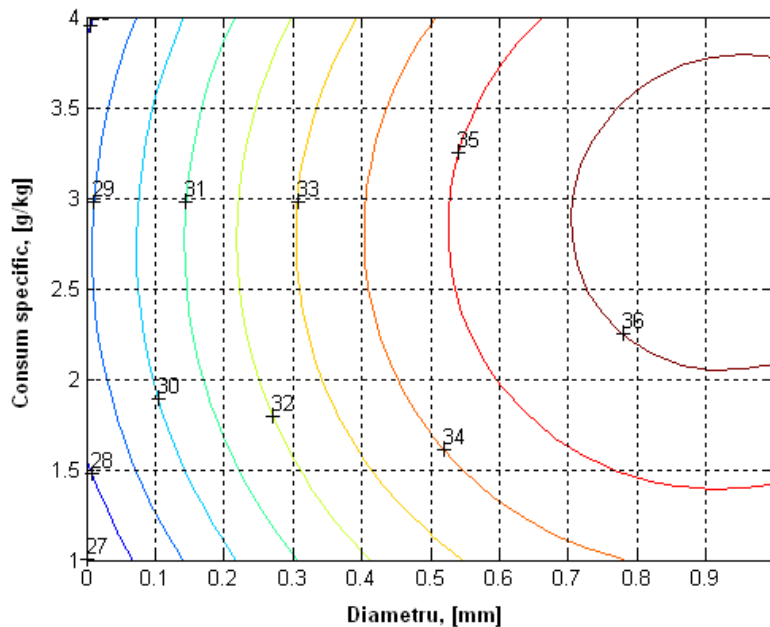
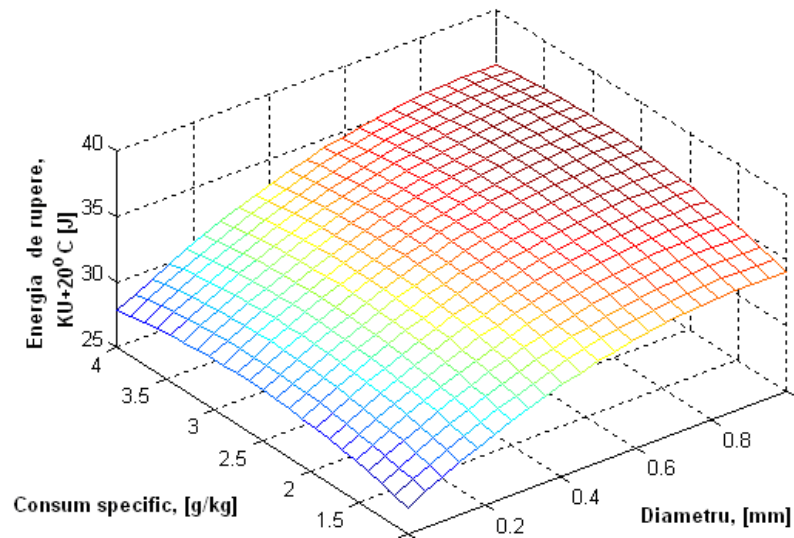


Fig.4.44. Suprafața de regresie de gradul 2 - $KU_{+20} = f(q, d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 3 este:

$$KU_{+20} = -31,10 \cdot d^3 - 1,30 \cdot d^2 \cdot q - 1,13 \cdot d \cdot q^2 + 0,17 \cdot q^3 + 45,60 \cdot d^2 + 7,18 \cdot d \cdot q - 1,16 \cdot q^2 - 13,95 \cdot d + 2,49 \cdot q + 26,51 \quad (4.11)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9802$; abatere $S = 0,5760$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,87\text{mm}$; $q = 2,65\text{g/kg}$; $KU_{+20} = 37,06\text{ J}$.

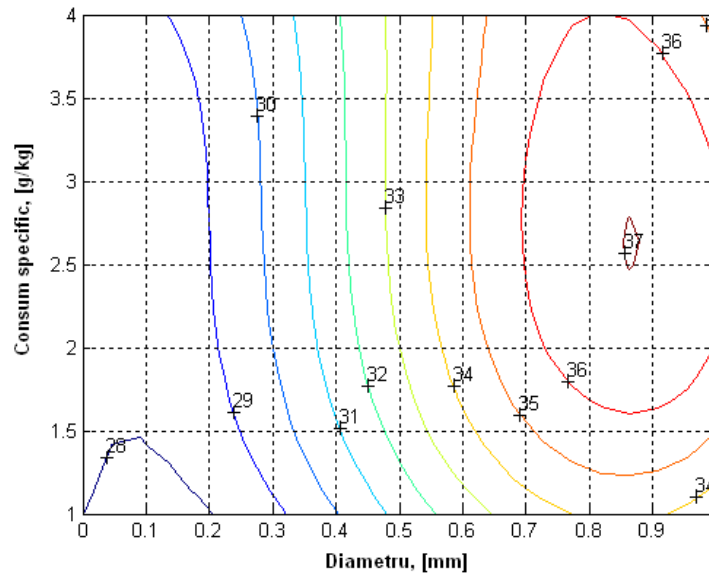
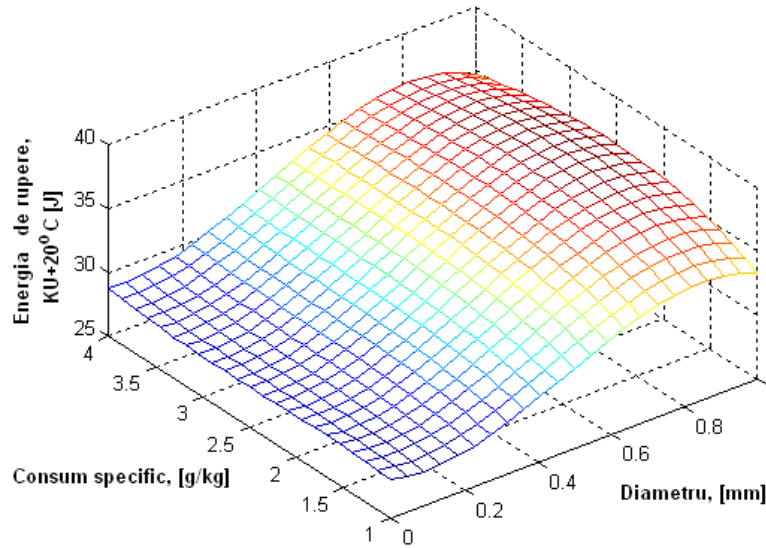


Fig.4.45 Suprafața de regresie de gradul 3 - $KU_{+20}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 4 este:

$$KU_{+20} = 23,74 \cdot d^4 + 9,84 \cdot d^3 \cdot q + 0,78 \cdot d^2 \cdot q^2 - 0,29 \cdot d \cdot q^3 + 0,40 \cdot q^4 - 113,34 \cdot d^3 - 21,38 \cdot d^2 \cdot q + 0,30 \cdot d \cdot q^2 - 3,66 \cdot q^3 + 135,91 \cdot d^2 + 12,41 \cdot d \cdot q + 11,58 \cdot q^2 - 42,63 \cdot d - 14,89 \cdot q + 34,67$$
 (4.12)
 Coeficient de corelație $R = 0,9840$; abatere $S = 0,5176$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,87\text{mm}$; $q = 2,60\text{g/kg}$; $KU_{+20^\circ\text{C}} = 37,23 \text{ J}$.

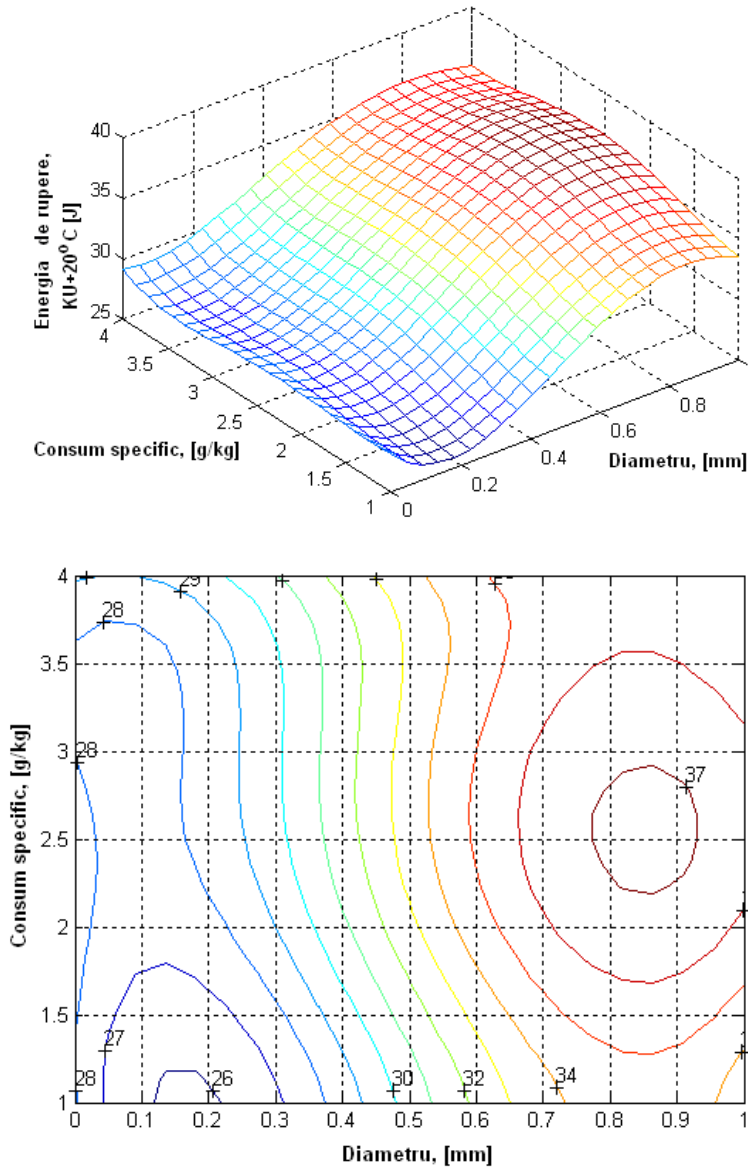


Fig.4.46 Suprafața de regresie de gradul 4 - $KU_{+20} = f(q, d)$

Corelațiile energiei de rupere KV (la -20°C) în funcție de diametrul microrăcitorilor (d) pentru diferite adaosuri specifice (q) ale acestora sunt prezentate în continuare.

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 1 este:

$$KV_{-20} = 5,33 \cdot d + 0,18 \cdot q + 22,54 \quad (4.13)$$

Coeficient de corelație $R = 0,8767$; Abatere $S = 1,7958$; Coordonate punct de maxim: $d = 1,0 \text{ mm}$; $q = 4,0 \text{ g/kg}$; $KV_{-20} = 27,5 \text{ J}$.

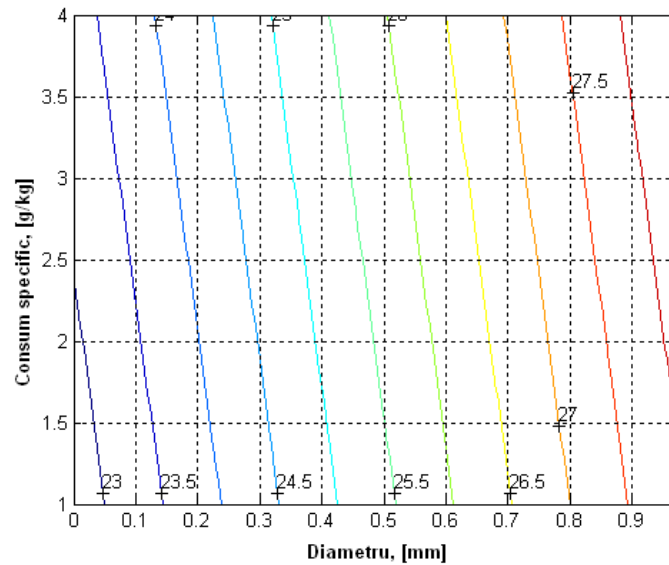
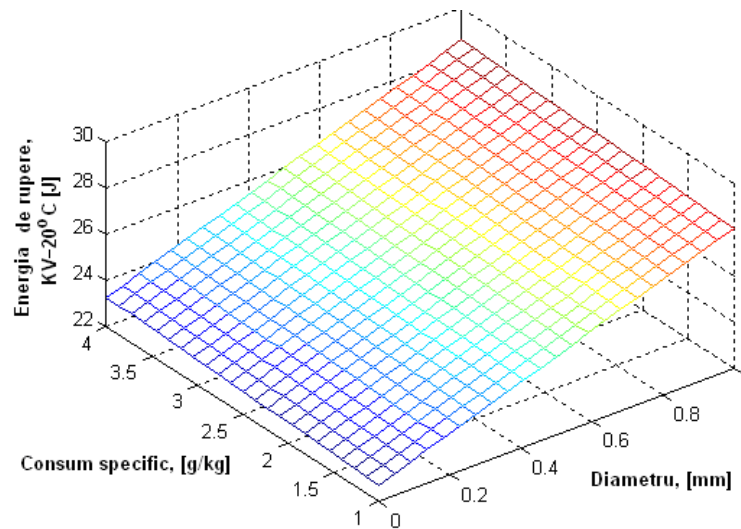


Fig.4.47. Suprafața de regresie de gradul 1 – $KV_{-20}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 2 este:

$$KV_{-20} = - 8,61 \cdot d^2 + 0,21 \cdot d \cdot q - 0,56 \cdot q^2 + 12,96 \cdot d + 2,87 \cdot q + 19,23 \quad (4.14)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9584$; Abatere $S = 1,0659$; Coordonate punct de maxim: $d = 1,0 \text{ mm}$; $q = 4,0 \text{ g/kg}$; $KV_{-20} = 28,15 \text{ J}$.

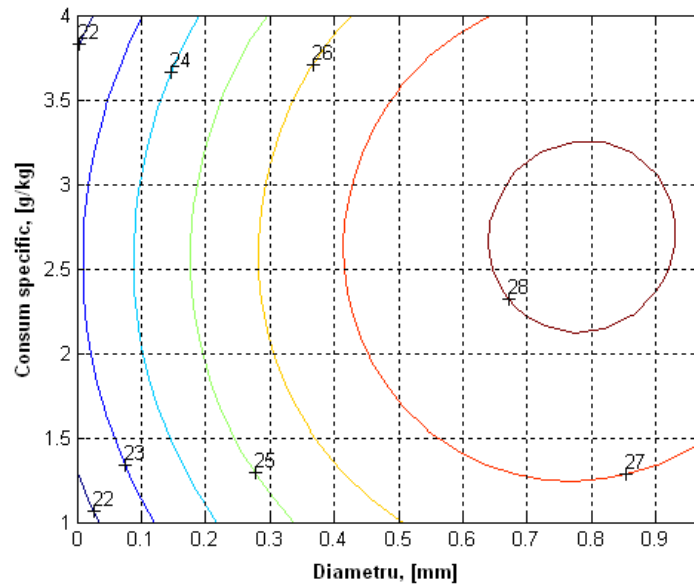
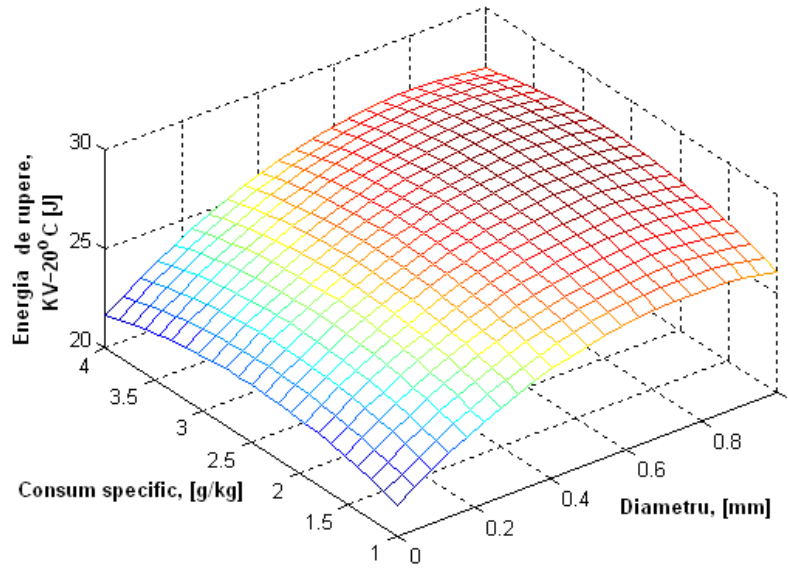


Fig.4.48. Suprafața de regresie de gradul 2 - $KV_{-20}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 3 este:

$$KV_{-20} = -37,59 \cdot d^3 - 1,49 \cdot d^2 \cdot q - 0,94 \cdot d \cdot q^2 - 0,06 \cdot q^3 + 56,74 \cdot d^2 + 6,35 \cdot d \cdot q + 0,51 \cdot q^2 - 20,16 \cdot d - 1,43 \cdot q + 23,58 \quad (4.15)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9841$; Abatere $S = 0,6624$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,83\text{mm}$; $q = 2,75\text{g/kg}$; $KV_{-20} = 29,76 \text{ J}$.

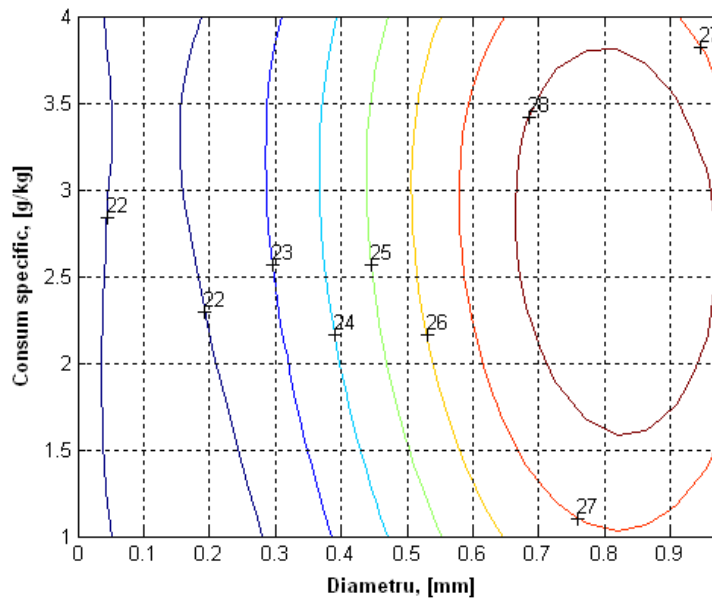
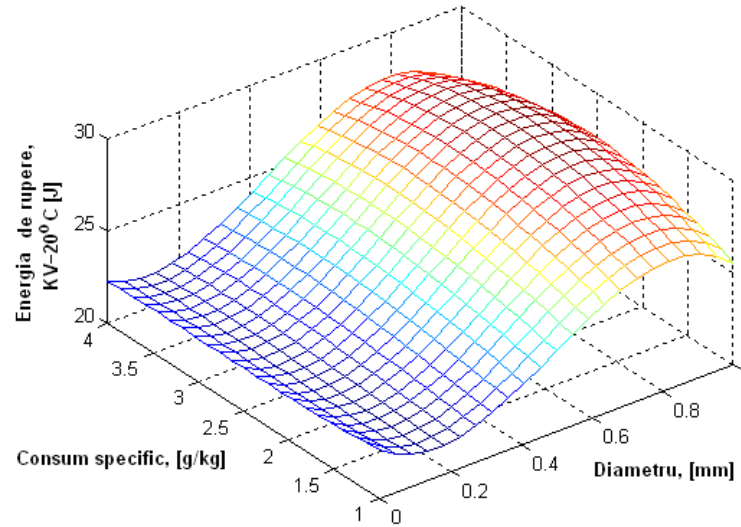


Fig.4.49. Suprafața de regresie de gradul 3 - $KV_{-20}=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 4 este:

$$KV_{-20} = 137,80 \cdot d^4 + 4,05 \cdot d^3 \cdot q + 0,79 \cdot d^2 \cdot q^2 + 0,11 \cdot d \cdot q^3 + 0,11 \cdot q^4 - 382,10 \cdot d^3 - 12,09 \cdot d^2 \cdot q - 2,59 \cdot d \cdot q^2 - 1,32 \cdot q^3 + 343,35 \cdot d^2 + 14,79 \cdot d \cdot q + 5,33 \cdot q^2 - 101,23 \cdot d - 9,08 \cdot q + 27,77 \quad (4.16)$$

Coeficient de corelație $R = 0,9935$; Abatere $S = 0,4257$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,85\text{mm}$; $q = 2,73\text{g/kg}$; $KV_{-20} = 29,98 \text{ J}$.

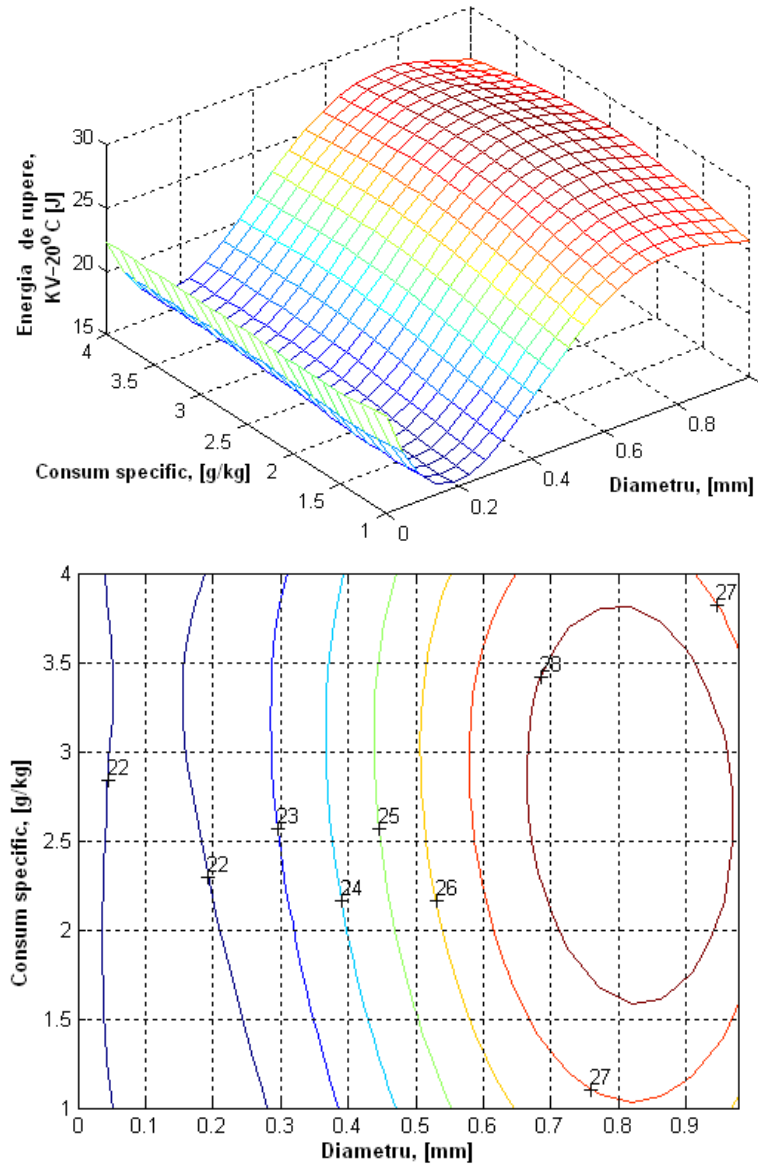


Fig.4.50. Suprafața de regresie de gradul 4 - $KV_{-20}=f(q,d)$

Corelațiile alungirii în funcție de diametrul microrăcitorilor (d) pentru diferite adaosuri specifice (q) ale acestora sunt prezentate în continuare.

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 1 este:

$$A = 1,1047 \cdot d + 0,20092 \cdot q + 21,9729 \quad (4.17)$$

Coeficient de corelație $R = 0,3625$; Abatere $S = 0,6543$. Coordonate punct de maxim: $d = 1$ mm; $q = 4,0$ g/kg; $A = 23,88\%$;

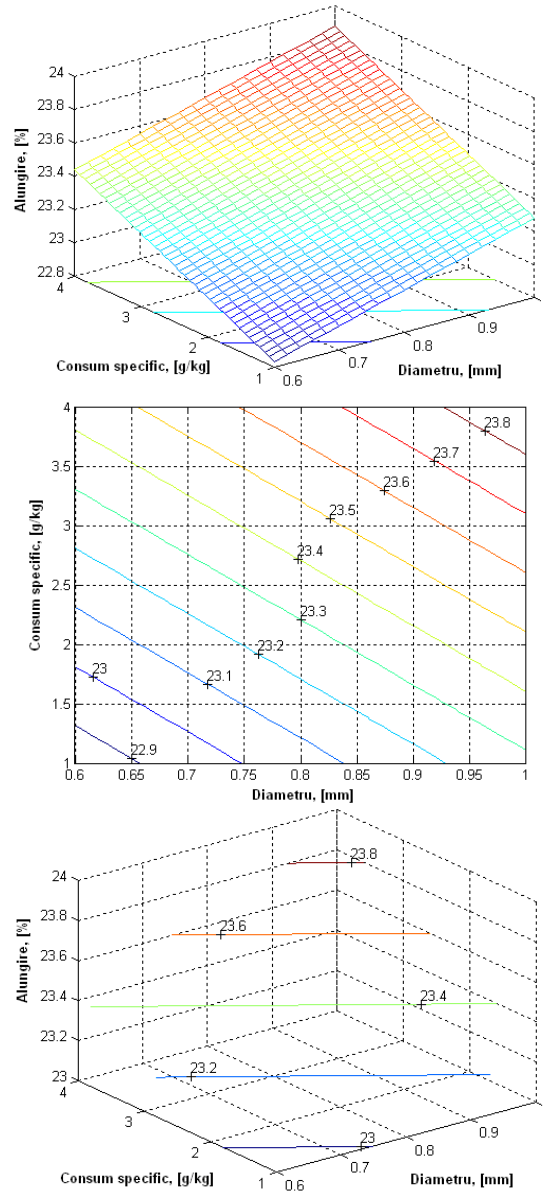


Fig. 4.51. Suprafața de regresie de gradul 1 - $A=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 2 este:

$$A = -13,933 \cdot d^2 - 0,093024 \cdot d \cdot q - 0,61013 \cdot q^2 + 23,6301 \cdot d + 3,326 \cdot q + 9,9452 \quad (4.18)$$

Coeficient de corelație $R = 0,8992$; Abatere $S = 0,3072$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,84\text{mm}$; $q = 2,65\text{g/kg}$; $A = 24,28\%$.

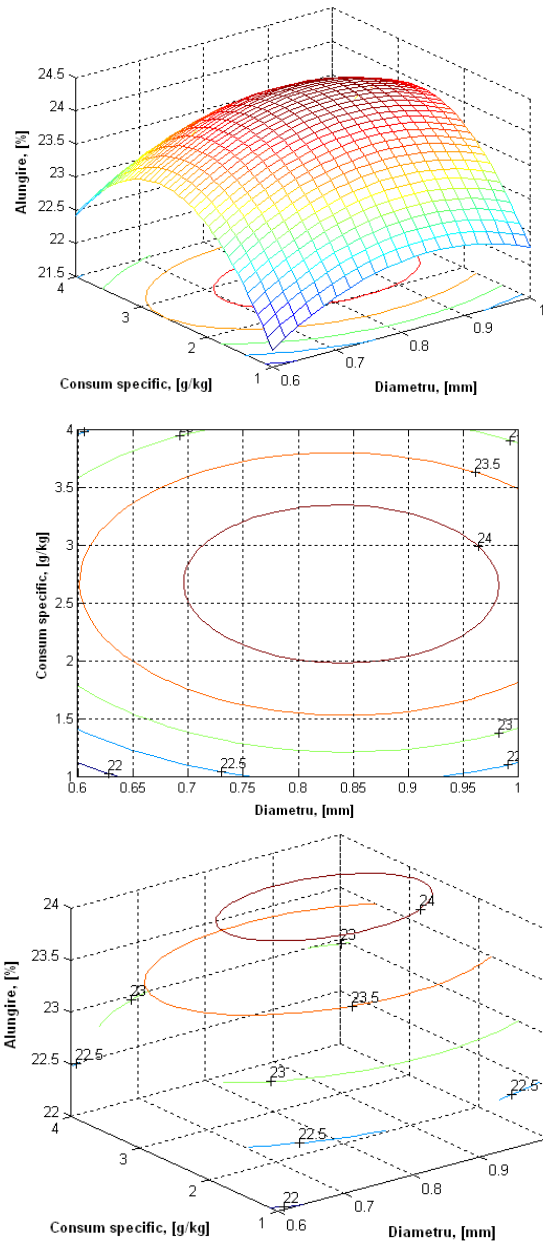


Fig.4.52. Suprafața de regresie de gradul 2 - $A=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 3 este:

$$A = -23,3651 \cdot d^3 + 0,76173 \cdot d^2 \cdot q + 0,25944 \cdot d \cdot q^2 + 0,085156 \cdot q^3 + 40,2389 \cdot d^2 + -2,609 \cdot d \cdot q - 1,4563 \cdot q^2 - 16,0275 \cdot d + 6,2837 \cdot q + 18,0443 \quad (4.19)$$

Coefficient de corelație $R = 0,9062$; Abatere $S = 0,265$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,86\text{mm}$; $q = 2,51\text{g/kg}$; $A = 24,29\%$.

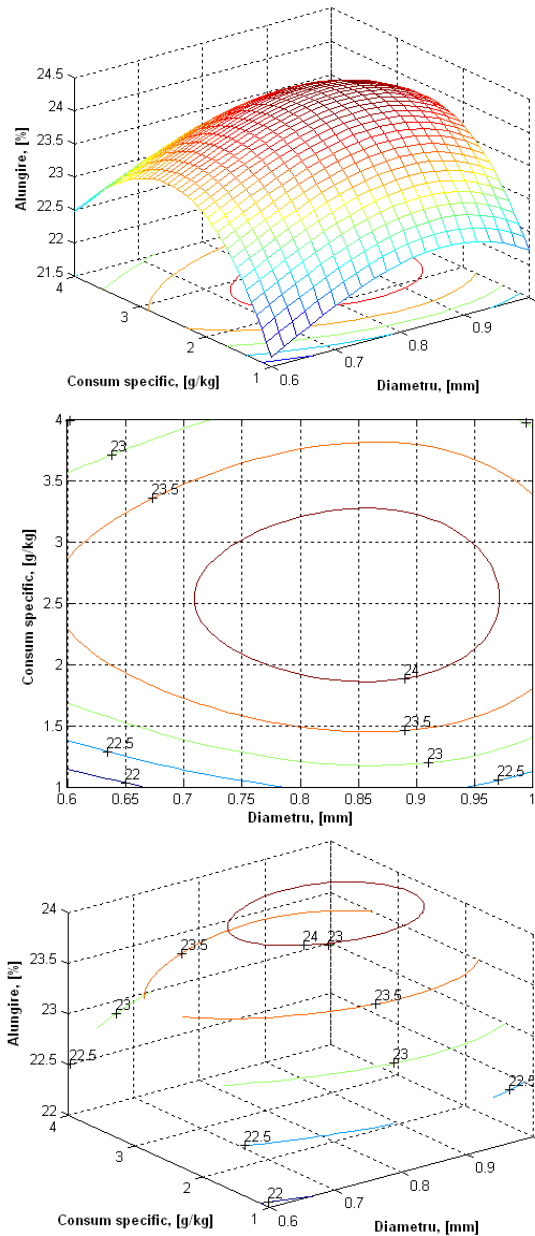


Fig.4.53. Suprafața de regresie de gradul 3 - $A=f(q,d)$

Ecuția de corelație a suprafeței de regresie de gradul 4 este:

$$A=322,85 \cdot d^4+3,73 \cdot d^3 \cdot q+2,67 \cdot d^2 \cdot q^2-0,06 \cdot d \cdot q^3+0,42 \cdot q^4-1065,85 \cdot d^3 \cdot q-21,60 \cdot d^2 \cdot q-3,57 \cdot d \cdot q^2-4,10 \cdot q^3+1302,20 \cdot d^2+24,84 \cdot d \cdot q+14,73 \cdot q^2-693,81 \cdot d-24,44 \cdot q+164,40 \quad (4.20)$$

Coefficient de corelație $R = 0,9592$; Abatere $S = 0,1984$; Coordonate punct de maxim: $d = 0,82\text{mm}$; $q = 2,5\text{g/kg}$; $A = 24,66\%$.

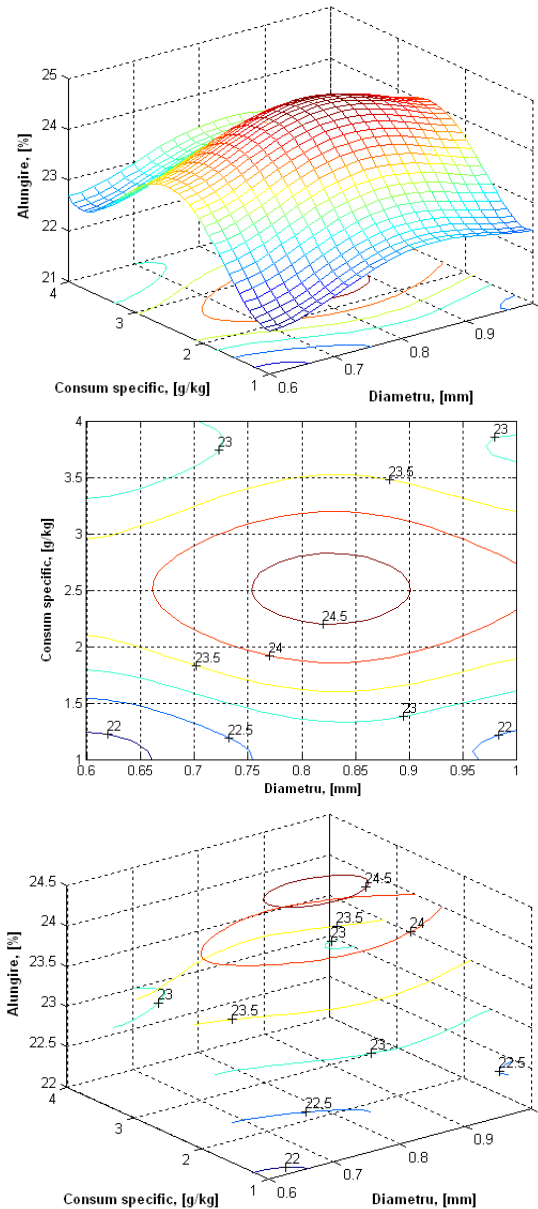


Fig.4.54. Suprafața de regresie de gradul 4 – $A=f(q,d)$

4.2.3.2. Analiza tehnologică. Concluzii.

Din analiza corelațiilor obținute prin prelucrarea datelor experimentale în programul de calcul EXCEL și MATLAB, și exprimate sub formă analitică și grafică în fig.4.30 – 4.54 rezultă următoarele concluzii:

- în programul de calcul MATLAB s-au obținut ecuații de corelație dublă exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1, 2, 3 și 4, parametrii dependenți fiind caracteristicile mecanice și parametrii independenți diametrul microrăcitorilor și adaosul specific;

- din analiza valorilor pentru coeficienții de corelație se observă o creștere a acestora, de la corelațiile de gradul 1 la cele de gradul 4, și anume, pentru: gradul 1, $R = 0,82 - 0,91$; gradul 2, $R = 0,95 - 0,97$; gradul 3, $R = 0,98 - 0,99$ și pentru gradul 4, $R > 0,99$.

- valorile pentru abaterile de la suprafața de regresie scad de la corelațiile de gradul 1 la cele de gradul 4, și anume: de la gradul 1 la gradul 2 cu 40 – 50%, de la gradul 2 la gradul 3 cu 2-34%, de gradul 3 la gradul 4 de la 50 - 75%;

- având în vedere cele prezentate mai sus rezultă că din punct de vedere a coeficienților de corelație și a abaterilor de la suprafețele de regresie, toate corelațiile indiferent de gradul acestora sunt reprezentative;

- pe baza variației valorilor pentru coeficienții de corelație și abaterile de la suprafața de corelație și având în vedere nivelul de complexitate a funcțiilor prin care sunt exprimate corelațiile, se poate considera că funcțiile de gradul 2 redau foarte bine dependențele urmărite;

- în domeniile rezultate din limitele de variație alese pentru parametrii independenți, domeniile nehașurate, valorile parametrilor dependenți obținute sunt superioare valorilor maxime a acestor parametri pentru oțelul turnat fără microrăcitori (cu excepția unor mici domenii dublu hașurate pentru adaos specific de 1,0 -1,5g/kg și diametru de 0,6 - 0,7mm);

- reprezentările grafice permit relativ simplu determinarea pentru o anumită valoare a parametrului dependent a valorilor pentru diametrul microrăcitorilor și a adaosului specific de microrăcitori.

5. VERIFICAREA INDUSTRIALĂ A REZULTATELOR CERCETĂRII

5.1. Elaborarea oțelului în condiții industriale

Din cercetările și experimentările efectuate la nivel de laborator, precum și a prelucrărilor matematice a datelor obținute (o parte direct prin intermediul aparatelor de măsură și control, iar o altă parte prin determinări de laborator) în programele EXCEL și MATLAB, au rezultat o serie de corelații simple și multiple (duble), privind procesul de îmbunătățire a calității oțelului prin adaos de microrăcitori la turnarea acestuia, sub formă de lingouri destinate prelucrării la cald prin forjare.

Pe baza valorilor coeficienților de corelație, a abaterilor de la ecuațiile de corelație, a reprezentărilor grafice și a analizelor matematice și tehnologice, s-a considerat că rezultatele corespund realității din practica curentă a elaborării și turnării oțelului. Ca urmare rezultatele obținute au fost verificate la nivel industrial la **SC SMR SA Balș**. Oțelul s-a elaborat în cuptoare electrice cu arc cu cătușeală bazică, de capacitate 50 tone (încărcate până la 60t), instalații de tratament secundar LF și instalație de vidare VD, și s-a turnat în lingotiere cu secțiune circulară.

Verificarea industrială a rezultatelor cercetărilor efectuate, s-a făcut pe un lot de 3 șarje marca ER7, conform specificației tehnice pentru roțile monobloc pentru material rulant remorcat tip BA004, șarje urmărite de la compunerea încărcăturii până la terminarea turnării.

Structura încărcăturii metalice se prezintă în tabelul 5.1. De menționat, că încărcătura a fost încărcată în cuptor în două reprize, termenul din practică din două bene. Încărcătura din a doua benă a fost introdusă, după ce încărcătura din prima benă a fost avansat topită. În prima benă pe lângă încărcătura metalică, s-au introdus și materialele auxiliare pentru formarea zgurii.

Tabelul 5.1. Structura încărcăturii metalice

Nr. șarjă	Șpan [t]	Fier vechi greu [t]	Tablă [t]	Rețele [t]	Total Bena I, [t]	Fier vechi diferit, Bena-II, [t]	Total [t]
1	12	22	6	-	40	18	58
2	10	17	7	6	40	18,5	58,5
3	12	19	7	6	42	16,5	58,5

Materialele utilizate pentru formarea zgurii în agregatul de elaborare și în oala de turnare, precum și de dezoxidare și corecție a compoziției chimice a oțelului se prezintă în tabelul 5.2

Tabelul 5.2. Structura încărcăturii nemetalice (a adaosurilor)

Nr. șarjă	Adaosuri, [kg]						
	Var	Bauxită	Minereu (Țunder)	Carburant (Grafite)	Fluorură de calciu CaF ₂	FeMn	FeSi
1	3200	800	1000	1570	200	350	220
2	3100	800	1000	1520	300	300	200
3	3000	800	1000	1490	150	280	250

De menționat că varul bulgări înainte de introducerea în cuptor, a fost supus procesului de calcinare în vederea eliminării umidității absorbite din aer (a evita o sursă de hidrogen pentru oțel, precum și producerea unor reacții violente, de foarte multe ori cu consecințe grave pentru personalul care deserveste cuptorul), mai ales că oțelăria nu dispune de fabrică de var proprie.

La terminarea topirii s-au prelevat probe de oțel în vederea determinării compoziției chimice a acestora și s-a măsurat temperatura băii metalice.

Compoziția chimică a oțelului la topire este prezentată în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3. Compoziția chimică a oțelului la topire

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V
1	0,52	0,18	0,02	0,029	0,023	0,06	0,09	0,15	0,04	0,015	0,01
2	0,57	0,19	0,01	0,028	0,028	0,11	0,08	0,2	0,05	0,015	0,01
3	0,56	0,18	0,02	0,039	0,026	0,07	0,09	0,16	0,05	0,013	0,01

Pe durata afinării s-a efectuat adaos de țunder pe baia metalică și s-a suflat oxigen în baie (65Nm³/șarja 1; 76Nm³/șarja 2 și 69Nm³/șarja 3). La terminarea afinării s-a prelevat probă de oțel și s-a măsurat temperatura băii.

După fierbere s-a evacuat cca. 90% din zgura oxidantă și s-a format o nouă zgură cu caracter reducător (zgură albă) utilizând materialele (cantitativ și calitativ) prezentate în tabelul 5.2.

După terminarea dezoxidării s-a prelevat probă de oțel și s-a măsurat temperatura băii.

Compoziția chimică a oțelului la terminarea afinării și dezoxidării (înaintea evacuării) sunt prezentate în tabelele 5.4 și 5.5.

Temperatura oțelului la topire și evacuare, precum și durata evacuării se prezintă în tabelul 5.6.

Tabelul 5.4. Compoziția chimică a oțelului la afinare

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V
1	0,32	0,28	0,02	0,027	0,022	0,06	0,09	0,15	0,04	0,015	0,01
2	0,31	0,28	0,01	0,026	0,023	0,11	0,08	0,2	0,05	0,015	0,01
3	0,36	0,27	0,01	0,029	0,006	0,07	0,09	0,16	0,05	0,013	0,01

Tabelul 5.5. Compoziția chimică a oțelului la evacuare

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	V
1	0,62	0,18	0,02	0,029	0,023	0,06	0,09	0,15	0,04	0,015	0,01
2	0,56	0,09	0,01	0,068	0,008	0,11	0,08	0,2	0,05	0,015	0,01
3	0,56	0,08	0,01	0,069	0,006	0,07	0,09	0,16	0,05	0,013	0,01

Tabelul 5.6. Temperatura oțelului și durata evacuării

Nr. șarjă	Temperatura oțelului [°C]			Durata [min]		
	Topire	Afinare	Evacuare	Topire	Afinare	Evacuare
1	1543	1586	1605	148	31	5
2	1548	1582	1610	155	25	4
3	1542	1576	1600	134	27	5

În timpul evacuării în oala de turnare au fost adăugate materiale pentru dezoxidare și corecția compoziției chimice a oțelului, precum și pentru formarea zgurii în oala de turnare (conform tabelului 5.2). Începutul adaosului de materiale s-a efectuat când oala de turnare a fost umplută în proporție de 20 - 25%, ordinea acestora fiind FeSi, grafit, FeMn, var și fluorină.

După terminarea tratamentului în instalația L.F., oțelul a fost procesat în instalația V.D pentru eliminarea hidrogenului, respectiv pentru a asigura în oțel un conținut de sub 2ppm hidrogen.

În tabelul 5.7 se prezintă durata tratamentelor secundare și temperatura oțelului la terminarea fiecărui tratament secundar.

Tabelul 5.7. Durata tratamentului secundar în instalația L.F și V.D

Nr. șarjă	Temperatura băii, [°C]		Durata tratamentului, [min]	
	Instalația L.F.	Instalația V.D.	Instalația L.F.	Instalația V.D.
1	1610	1586	55	18
2	1604	1578	61	21
3	1602	1575	58	20

La terminarea tratamentului în instalația V.D. s-a prelevat probă de oțel pentru determinarea compoziției chimice, după care s-a preluat oala cu podul rulant de turnare cu ajutorul căruia a fost dusă la standul de turnare.

Compoziția chimică finală a oțelului elaborat în cazul celor trei șarje, se prezintă în tabelul 5.8.

Pentru turnare au fost pregătite la fiecare șarjă 4 poduri de turnare cu un număr total de lingotiere de 15 (4+4+4+3)/pod.

Podul nr. 4 este întotdeauna considerat ca pod cu lingotiere de rezervă, mai precis pentru cazul în care cantitatea de oțel lichid depășește necesarul umplerii lingotierelor pe primele trei poduri.

Turnarea oțelului s-a făcut în sifon, ceea ce a asigurat obținerea unei suprafețe bune a lingoului, și o degajare de căldură corespunzătoare din lingoul în formare, lucru destul de important pentru lingourile cu secțiune circulară.

Tabelul 5.8. Compoziția chimică a șarjelor elaborate

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
1	0,50	0,33	0,78	0,020	0,015	0,09	0,21	0,03	0,10	0,02
2	0,52	0,31	0,75	0,017	0,015	0,09	0,20	0,03	0,10	0,02
3	0,52	0,30	0,77	0,017	0,014	0,10	0,21	0,04	0,11	0,01

Dintre toate tipurile de lingotiere, cele circulare au cea mai mică suprafață specifică (suprafața laterală a acestora) experimentată în [$\text{m}^2/\text{tona oțel}$], deci cea mai mică suprafață specifică de schimb de căldură cu exteriorul. Grosimea zonei I de solidificare (crusta lingoului), este în cea mai mare parte influențată de cedarea căldurii spre exterior, o cedare intensă asigură formarea unei zone cu o grosime suficientă, astfel încât nu se formează fisuri pe suprafața lingoului.

Din cele trei șarje de oțel, s-au turnat în total un număr de 36 de lingouri, 12/șarjă, (8 de referință și 28 cu adaos de microrăcitori), de greutate 4,3 t/lingou și diametru 500 mm (lingouri cilindrice).

În tabelul 5.9 se prezintă schema turnării oțelului la șarjele experimentale, lingourilor experimentale (E-L) și de referință (R-L), pentru fiecare șarjă, respectiv pod de turnare fiind bine precizate diametrul microrăcitorilor (în [mm]) și adaosul specific (în [kg/t]).

Pe fiecare pod s-a turnat 3 lingouri experimentale și un lingou de referință, cu excepția podului 3, de la șarja 3, la care toate cele 4 lingouri au fost experimentale.

Turnarea după schema prezentată a asigurat turnarea cu microrăcitori având diametrul de 0,7; 0,8; 0,9 și 1mm și adaos specific pentru fiecare categorie de: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 și 4kg/t.

De exemplu, conform schemei de turnare:

- E-L₁₁, reprezintă un lingou experimental (al 11-lea lingou turnat), de la șarja 1, de pe podul 3, turnat cu adaos de microrăcitori de 2kg/t și 0,9mm diametrul microrăcitorilor;

- R-L₁₆, reprezintă un lingou referință (al 16-lea lingou turnat), de la șarja 2, de pe podul 1, turnat fără microrăcitori.

Deoarece în cadrul experimentărilor în fază de laborator, cele mai bune rezultate s-au obținut pentru un adaos specific de 2,0 kg/t, 2,5 kg/t, și 3,0 kg/t, microrăcitori cu diametrul de 0,7 mm; 0,8 mm și 0,9 mm, acestea s-au folosit la turnarea șarjei 1.

În continuare s-a procedat ca la prima șarjă, cu observația că față de dimensiunile microrăcitorilor și a consumurilor specifice folosite la laborator nu s-a turnat cu microrăcitori de 0,6 mm, deoarece s-a considerat că astfel se poate aprecia valabilitatea cercetărilor în fază de laborator.

Tabelul 5.9. Schema turnării cu microrăcitori la șarje industriale

Adaos specific microrăcitori [kg/t]	Șarja nr.1			Șarja nr.2		
	Podul I	Podul II	Podul III	Podul I	Podul II	Podul III
	Diametrul microrăcitorilor, [mm]			Diametrul microrăcitorilor, [mm]		
	0,7	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8
2,5	E-L ₁	E-L ₅	E-L ₉	E-L ₁₃	-	-
3,0	E-L ₂	E-L ₆	E-L ₁₀	E-L ₁₄	-	-
2,0	E-L ₃	E-L ₇	E-L ₁₁	E-L ₁₅	-	-
0	R-L ₄	R-L ₈	R-L ₁₂	R-L ₁₆	-	-
Total lingouri	4 lingouri	4 lingouri	4 lingouri	-	-	-
1,0	-	-	-	-	-	E-L ₂₁
1,5	-	-	-	-	E-L ₁₇	-
3,5	-	-	-	-	E-L ₁₈	E-L ₂₂
4	-	-	-	-	E-L ₁₉	E-L ₂₃
0	-	-	-	-	R-L ₂₀	R-L ₂₄
Total lingouri	-	-	-	4 lingouri	4 lingouri	4 lingouri
Adaos specific microrăcitori [kg/t]	Șarja nr. 3					
	Podul I		Podul II	Podul III		
	Diametrul microrăcitorilor, [mm]					
	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	
1,0	E-L ₂₅	-	E-L ₂₇	-	E-L ₃₃	
1,5	-	E-L ₂₆	-	E-L ₂₉	E-L ₃₄	
3,5	-	-	-	E-L ₃₀	E-L ₃₅	
4	-	-	-	E-L ₃₁	E-L ₃₆	
0	-	R-L ₂₈	-	R-L ₃₂	-	
Total lingouri	4 lingouri		4 lingouri	4 lingouri		

E – lingouri experimentale turnate cu microrăcitori;
R – lingouri de referință (turnate fără microrăcitori).

5.2. Rezultate obținute

Conform prevederilor fișei UIC 812-3 roțile de cale ferată trebuie să aibă un aspect sănătos și să nu prezinte goluri, sufluri, incluziuni, așchii, bavuri, lipsă de material, replieri sau alte defecte care ar putea prejudicia folosirea lor. Structura trebuie să prezinte un grăunte fin. Caracteristicile geometrice trebuie să corespundă desenelor și toleranțelor indicate.

Lingourile cilindrice, deși au dezavantaje, au o întrebuințare din ce în ce mai mare în fabricația de roți. Cu toate că acest format este susceptibil să se fisureze atât longitudinal, cât și transversal la turnare și solidificare, efecte pot fi evitate tehnologic. Având un modul de solidificare mai mare de cât cel ondulat la același diametru echivalent, are în plus un potențial de segregare mai mare pentru elementele carbon, fosfor, sulf și o solidificare atipică mai mult radială decât radial – axială, caracteristică pentru lingourile ondulate invers conice.

Prin utilizarea raportului H/D până la $4,5 \div 5,5$, structura lingoului nu se înrăutățește, înregistrându-se totodată și o îmbunătățire a coeficientului de utilizare, corelarea favorabilă a volumului masei cu raportul H/D.

Pentru experimentările industriale, s-au utilizat lingourile cilindrice $\varnothing 500 \times 2420$ mm cu caracteristicile prezentate în tabelul 5.10.

Tabelul 5.10. Caracteristicile lingourilor experimentale

Diametru lingou D, [mm]	Înălțime lingou H, [mm]	H/D	Scoatere η , [%]	Greutate G, [t]
$\varnothing 500$	2420	4,84	85,8	4,3

Obținerea unui lingou omogen, impune rezolvarea unor probleme legate de diversitatea proprietăților fizico – chimice ale oțelului în timpul solidificării și după solidificare, cuantificat în final atât pentru omogenitatea structurală cât și pentru omogenitatea chimică.

Calitatea lingorilor este influențată de condițiile de degajare a căldurii, de compoziția chimică a oțelului și tendința acestuia de a segrega, de viteza și temperatura de turnare, de forma și dimensiunile lingotierelor și maselotierelor

Delimitarea zonelor caracteristice lingourilor experimentale, s-a făcut prin prelevarea din acestea a câte cinci șaibe de 15 mm grosime, dispuse între calupurile crestate în vederea forjării după schema din figura 5.1.

Pe șaibele prelevate după prelucrarea mecanică prealabilă, s-au executat amprente Baumann, după care au fost atacate pentru analiza microscopică.

La nivelul șaibe 1, situată de asemenea la $100 \div 120$ mm, se observă o structură omogenă cu cristale echiace mici, fără neomogenități fizice și cu o distribuție uniformă și discretă a sulfului.

Șaiba din poziția 2 situată la $603 \div 618$ mm, relevă la analiza probei macro toate zonele caracteristice lingourilor cu o zonă a cristalelor echiace mici lată de 10 mm, zona cristalelor columnare cu o lățime de $75 \div 80$ mm, zona cristalelor echiace medii corespunzător zonei intermediare ca o coroană cuprinsă între $\varnothing 325 \div \varnothing 65$ mm, în interiorul cercului de $\varnothing 65$ se pot observa cristale echiace mari. Neomogenitățile fizice de genul porozităților submilimetrice sunt plasate axial. Pe amprenta Baumann prezentată în anexa 7 se observă segregajii ale sulfului în centrul lingoului, dimensiunea liniară cea mai mare fiind de $3 \div 4$ mm.

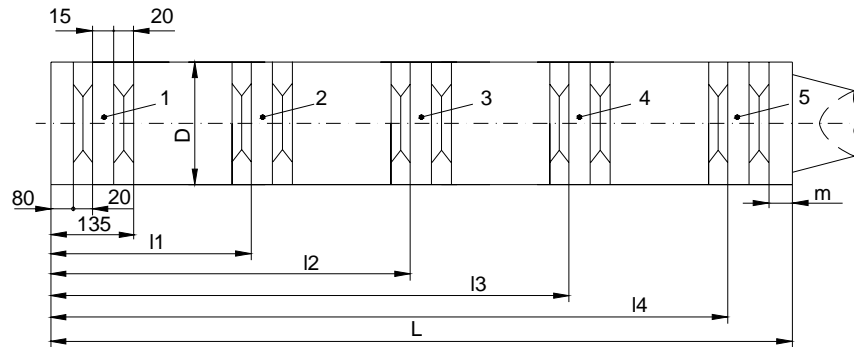


Fig.5.1. Schema de prelevare a șaibelor (1-5):

$D=500\text{mm}$; $L=2420\text{mm}$; $l_1=603\text{mm}$; $l_2=1106\text{mm}$; $l_3=1609\text{mm}$; $l_4=2112\text{mm}$.

La șaiba 3 corespunzător nivelului de $1106 \div 1121\text{mm}$ sunt observate următoarele: o zonă a cristalelor echiaxe mici cu o lățime de cca. 10 mm , zona columnară are lățime de $60 \div 65\text{ mm}$, iar zona cristalelor echiaxe se împarte într-o coroană de $\text{Ø}335 \div \text{Ø}70$ în care granulația este grosolană și porozitățile au dimensiunea cea mai mare $3,5 \div 4\text{ mm}$. Pe amprenta Baumann prezentată în anexa 8 se observă concentrări ale sulfului în zonele cristalelor echiaxe mari dispuse în special în interiorul unui cerc de $\text{Ø}86\text{ mm}$.

La șaiba 4 situată la $1609 \div 1624\text{ mm}$ se observă existența în continuare a tuturor zonelor astfel: zona cristalelor echiaxe mici pe o adâncime de la suprafață de cca. 10 mm , zona cristalelor echiaxe medii delimitată de $\text{Ø}370 \div \text{Ø}120\text{ mm}$. Nu prezintă neomogenități fizice, iar amprenta Baumann prezentată în anexa 9 relevă concentrații ale sulfului dispersate într-un cerc de $100 \div 110\text{ mm}$.

Șaiba 5 prezintă dispariția zonei columnare, iar celelalte zone se prezintă după cum urmează: zona cristalelor echiaxe mici de 10 mm de la marginea lingoului, apoi zona cristalelor echiaxe medii, care se întind spre interior până la $\text{Ø}350$, în interiorul căreia cristalele echiaxe mari prezintă o zonă în centru cu granulație grosolană într-un cerc de $\text{Ø}120 \div \text{Ø}125\text{ mm}$.

Corolarul secțiunii circulare, modulul de solidificare este mai mare comparativ cu orice altă secțiune cu aceeași suprafață, deci lingoul se va solidifica și răci mai greu. Regimul de schimb de căldură în cazul lingoului cilindric, este diferit față de lingourile conice și se datorește în principal formatului acestuia, care nu este unul favorabil unei solidificări succesive preponderent vertical. Procesele de schimb de căldură și de segregare a elementelor însoțitoare, precum și întinderea zonelor structurale să desfășoare diferit de lingourile conice [4].

Topografia structurală caracteristică acestor lingouri, se explică printr-o dinamică a raportului dintre mărimea intervalului de solidificare și gradientul de temperatură în volumele de metal ce se solidifică astfel: zona de cristalizare echiaxe fine, se formează practic instantaneu în timpul turnării oțelului, prin schimbul brusc de căldură ce se stabilește între lichidul în urcare în lingotieră și aceasta din urmă; zona cristalelor columnare, se formează tot datorită unui raport subunitar între intervalul de solidificare și gradientul de temperatură, instalat mai ales la începutul turnării și continuat în timpul umplerii lingoului, solidificarea este unidirecțională dinspre lingotieră spre interior; zona cristalelor echiaxe, rezultă ca urmare a schimbării regimului de schimb de căldură, determinat de încălzirea la echilibru a suprafeței lingotierei cu strat solidificat și a îngreunării acestui schimb, prin

creșterea grosimii stratului solidificat. [87-90]

Pe parcursul solidificării acestei zone, raportul între intervalul de solidificare și gradientul de temperatură devine supraunitar, iar în momentul desprinderii, datorită contracției crustei solidificate, de lingotieră schimbul de căldură nu se mai face prin conducție ci prin convecție și radiație, schimb mult îngreunat, zona bifazică se mărește și cu cât numărul centrilor de cristalizare este mai mic cristalele vor fi mai grosolane. În felul acesta la lingourile cilindrice analizate se produc: dispariția peste o anumită înălțime a zonei columnare; extinderea și joncțiunea directă a zonei echiaxe intermediare cu zone cu cristale echiaxe fine; apariția unei zone cu cristale grosolane sub maselotă. [87-90]

Majoritatea defectelor în lingouri apar ca urmare a desfășurării proceselor de segregare. Solubilitatea diferită a elementelor chimice în fazele lichidă și solidă, conduce la îmbogățirea frontului de cristalizare cu un strat de elemente segregate.

Pentru analiza neomogenităților chimice și a coeficienților de segregare, s-au prelevat dintr-un lingou experimental (turnat cu microrăcitori) și unul de referință, probe pe care să se facă analiza spectrală și în câte trei poziții care să caracterizeze centrul lingoului, jumătatea razei, respectiv crusta exterioară a acestuia.

La debitarea calupurilor din lingouri, s-au debitat șaibe cuprinzând întreaga secțiune situată la 2000 mm de la bază, din care au fost prelevete câte trei probe localizate la exterior (*e*), jumătatea razei ($r/2$) și centrul lingoului (*c*), pe care s-au efectuat probe de puritate, granulație și compoziție chimică, pentru analiza comparativă între lingouri turnate cu microrăcitori și fără în aceeași serie, deci în aceleași condiții.

Analiza neomogenităților chimice, s-a făcut pe câte un lingou experimental (turnat cu microrăcitori) și unul dereferință (martor) după schema din figura 5.2.

Compoziția chimică a oțelului în oala de turnare, respectiv compoziția chimică a epruvetelor prelevate conform schemei pentru fiecare lingou, este redată în tabelul 5.11.

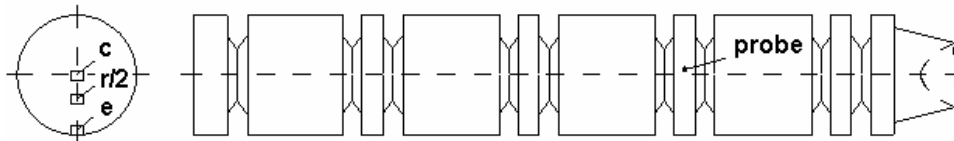


Fig.5.2. Schema prelevării probelor pentru analiza neomogenităților chimice

La determinarea neomogenității generale a lingoului, se au în vedere valorile înregistrate pe probele prelevate la înălțimi diferite, și pe cât posibil mai multe în diferitele secțiuni corespunzătoare înălțimilor. În acest caz, vom face o analiză comparativă a secțiunilor radiale ale celor două lingouri, cu și fără microrăcitori.

Tabelul 5.11. Compoziția chimică a oțelului pentru lingourile experimentale și de referință

Tip lingou	Prob a	Compoziția chimică, [%]										H ₂ [ppm]
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	
-	Oala de turnare	0,50	0,65	0,32	0,012	0,012	0,15	0,15	0,27	0,03	0,01	1,4
Lingou cu microrăcitori	e	0,51	0,66	0,33	0,012	0,011	0,15	0,15	0,28	0,03	0,01	-
	r/2	0,51	0,66	0,31	0,013	0,013	0,16	0,16	0,28	0,03	0,01	
	c	0,47	0,69	0,31	0,014	0,013	0,15	0,16	0,27	0,03	0,01	
Lingou fără microrăcitori	e	0,50	0,65	0,33	0,013	0,012	0,15	0,15	0,27	0,03	0,01	-
	r/2	0,51	0,63	0,34	0,015	0,014	0,16	0,16	0,28	0,03	0,01	
	c	0,49	0,67	0,34	0,016	0,016	0,16	0,16	0,30	0,03	0,01	

Gradul total de segregare se calculează cu relația:

$$S_{tot} = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_L} \cdot 100(\%) \quad (5.1)$$

unde: X_{max} , X_{min} – valorile maxime respectiv minime ale conținutului unui element;
 X_L – conținutul aceluiași element în oțelul lichid.

Valorile calculate pentru gradul de segregare al elementelor C, Mn, Si, S și P sunt redată în tabelul 5.12.

Tabelul 5.12. Gradul de segregare

Tip lingou	Grad de segregare, [%]				
	G _C	G _{Mn}	G _{Si}	G _P	G _S
Lingou cu microrăcitori	8	4,61	6,25	16,6	16,6
Lingou fără microrăcitori	4	6,15	3,12	25	33,3

Din analiza rezultatelor obținute se constată o diminuare severă a segregării sulfului și fosforului, dar în același timp o mărire a segregării carbonului și siliciului.

Având în vedere că analiza chimică relevă o micșorare a %C în centrul lingoului cu microrăcitori, rezultă concluzia asimilării microrăcitorilor cu modificarea semnificativă a compoziției. Deși compoziția chimică se încadrează în ecartul normei de fabricație, am considerat necesară și efectuarea unor probe fizico-mecanice.

Puritatea oțelului se cuantifică prin cantitatea de incluziuni nemetalice, datorită calității tehnologiei de elaborare. Dacă o parte din incluziunile nemetalice, în procesele de prelucrare ulterioare se deformează, fără să influențeze puternic proprietățile mecanice; incluziunile nemetalice fragile, nedeformabile de tipul oxizilor, sulfurilor, silicaților, etc, produc fragilizare la cald cu tendințe de a genera

mai ales fisuri.

Ținând seama de temperatură, unele incluziuni se formează în stare lichidă a oțelului, unde servesc ca centrul de cristalizare, iar altele se formează sub linia lichidus, care segregă apoi împreună cu tot restul de impurități existente în această stare de solidificare a oțelului.

Pentru gena formării incluziunilor nemetalice trebuie cunoscute: succesiunea procesului de cristalizare; schimbul de căldură și modul de sedimentare al impurităților prin segregare; forma și dimensiunile lingoului; modul de protecție al băii și modul de dezoxidare.

La un lingou experimental și unul de referință, după turnare, au fost prelevate probe prin așchiere la 2000mm de la bază și trei zone ale secțiunii, respectiv în margine, la jumătatea razei și în centru lingoului, conform figurii 5.3.

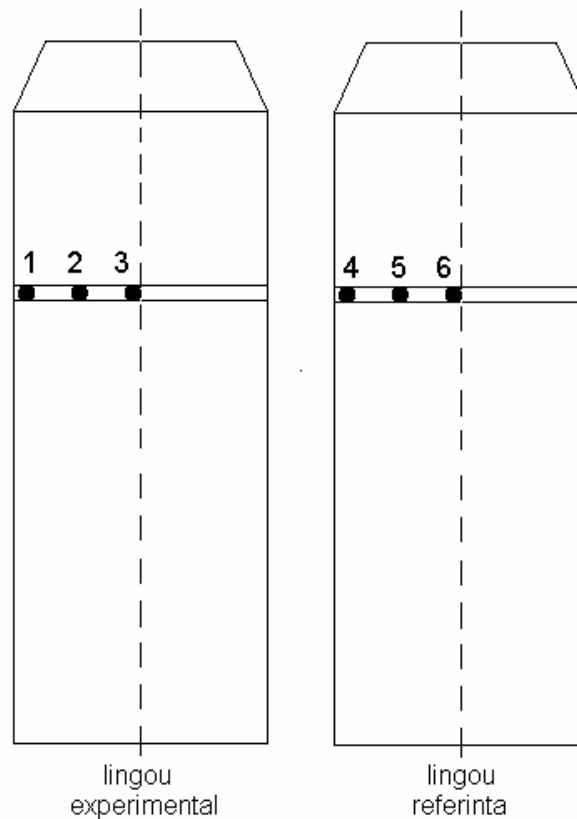


Fig.5.3. Prelevarea probelor pentru determinarea purității

Ca impurități s-au identificat: silicați nedeformați și silicați deformați; oxizi punctiformi și globulari, sulfuri și oxizi de aluminiu.

Probele preluate pentru cercetări, au fost pregătite prin șlefuire și analizate microscopic, în stare fără atac și în stare atacată cu nital, la mărire 100:1.

Microstructurile acestor eșantioane, în stare atacate și neatacate, la mărire 100:1, cu oțelul în stare turnată, cu probe preluate din punctele de analiză indicate în figura 5.3 pentru lingoul experimental, se prezintă în anexa 10, iar pentru lingoul

de referință în anexa 11. Rezultatele acestor studii, arată o impurificare mai mare pentru lingoul de referință față de cel experimental (turnat cu microrăcitori). Principalele impurități sunt oxizii și silicații nedeformați. Silicații au tendință frecventă de aglomerare.

Tabelul 5.13. Rezultate experimentale

Nr.șarjă /nr.lingou	Nr. lingou	Caracteristici mecanice				
		R _{p02} [daN/mm ²]	R _m [daN/mm ²]	A [%]	KU ₊₂₀ [J]	KV ₋₂₀ [J]
Șarja 1 /Pod I	E-L ₁	68	102,5	25	37	29
	E-L ₂	67,5	102,5	24	36	28
	E-L ₃	67	101,0	24	36,5	28
	R-L₄	62	91,0	18	32	24,5
Șarja 1 /Pod II	E-L ₅	69	103,2	26	37	30
	E-L ₆	68	102	26	36	29
	E-L ₇	68	101,5	25	37	29
	R-L₈	61	92,0	19	32	24,5
Șarja 1 /Pod III	E-L ₉	70	104,0	25	38	31
	E-L ₁₀	69	103,5	24	36,5	29
	E-L ₁₁	68	102,5	24	37	30
	R-L₁₂	61	92,5	17	32,5	25
Șarja 2 /Pod I	E-L ₁₃	68	102	24	37	30
	E-L ₁₄	67	101	24	36	28
	E-L ₁₅	67	101	23	36	29
	R-L₁₆	61	92	18	32	24,5
Șarja 2 /Pod II	E-L ₁₇	63	94	22	33,5	27
	E-L ₁₈	63	96	23	35,5	27
	E-L ₁₉	64	98	23	35	27
	R-L₂₀	62	91	18	32	24,5
Șarja 2 /Pod III	E-L ₂₁	63	95	23	34	27
	E-L ₂₂	63	101,5	23	37	27
	E-L ₂₃	63	100	24	36	28
	R-L₂₄	61	94,0	18	32	24,5
Șarja 3 /Pod I	E-L ₂₅	63	94	23	32	26
	E-L ₂₆	63	97	23	34	27
	E-L ₂₇	64	98	24	34	27
	R-L₂₈	62	93	19	32	25
Șarja 3 /Pod II	E-L ₂₉	64	97,5	23	35	27,5
	E-L ₃₀	65	99,5	23	36	28
	E-L ₃₁	65	99	24	36	28
	R-L₃₂	64	98	123	32,5	24,5
Șarja 3 /Pod III	E-L ₃₃	64	96,5	23	33	26
	E-L ₃₄	64	98	23	34,5	27
	E-L ₃₅	64	98	23	36	28
	R-L₃₆	61	92	17	32	27

Pe direcție transversală a lingourilor se manifestă o impurificare mai mare în centrul lingoului față de margime, ca urmare a proceselor fizice de cristalizare - solidificare și mișcare a lichidului la turnarea spre starea solidă la ambele lingouri. Prezența mai intensă a silicaților se apreciază a avea geneză în reacțiile cu căptușeala refractară, adică a jgheabului și oalei de turnare.

Utilizarea microrăcitorilor a determinat diminuări substanțiale ale impurităților considerate, respectiv oxizi punctiformi și globulari; silicați fragili și deformabili; sulfuri.

De asemenea, din fiecare lingou s-au prelevat probe pentru determinarea caracteristicilor mecanice. Locul de prelevare a probelor este prezentat în figura 3.1 - capitolul 3 referitoare la prelevarea epruvetelor de încercat. Probele prelevate au fost forjate pentru modificarea structurii de turnare, după care au fost prelucrate în vederea obținerii epruvetelor în vederea determinării caracteristicilor mecanice.

În tabelul 5.13 sunt prezentate rezultatele experimentale privind valorile caracteristicilor mecanice. Aspecte din timpul verificării industriale a datelor sunt prezentate în anexa 12. Pe baza datelor prezentate în tabelul 5.13, rezultatele obținute la verificarea industrială au fost prelucrate și prezentate grafic în figurile 5.4-5.8.

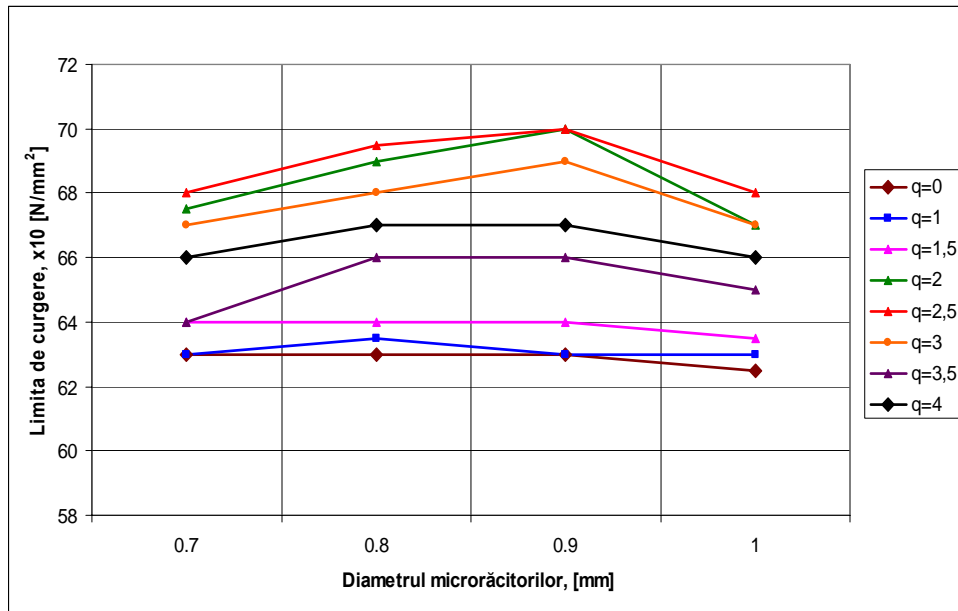


Fig.5.4. Limite de curgere în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)

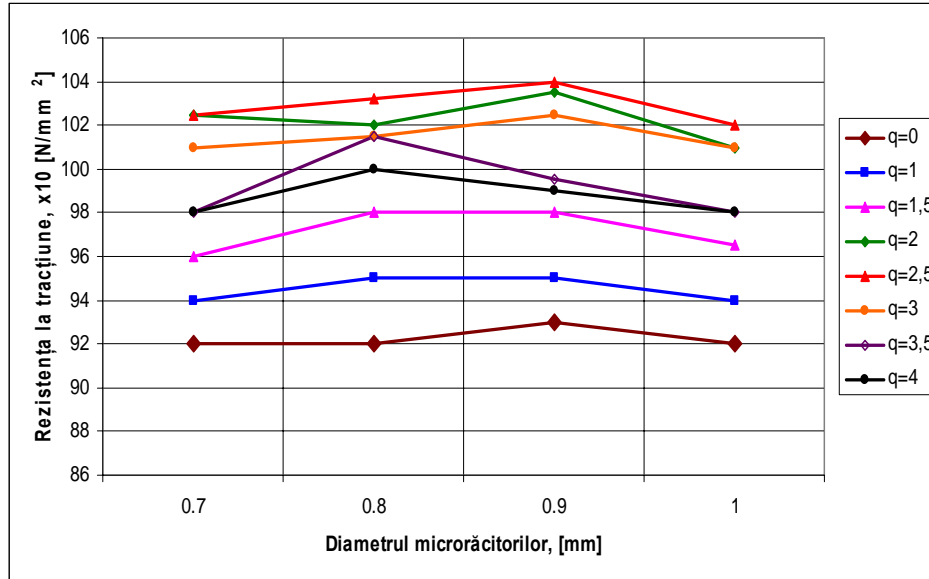


Fig.5.5. Rezistența la tracțiune în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)

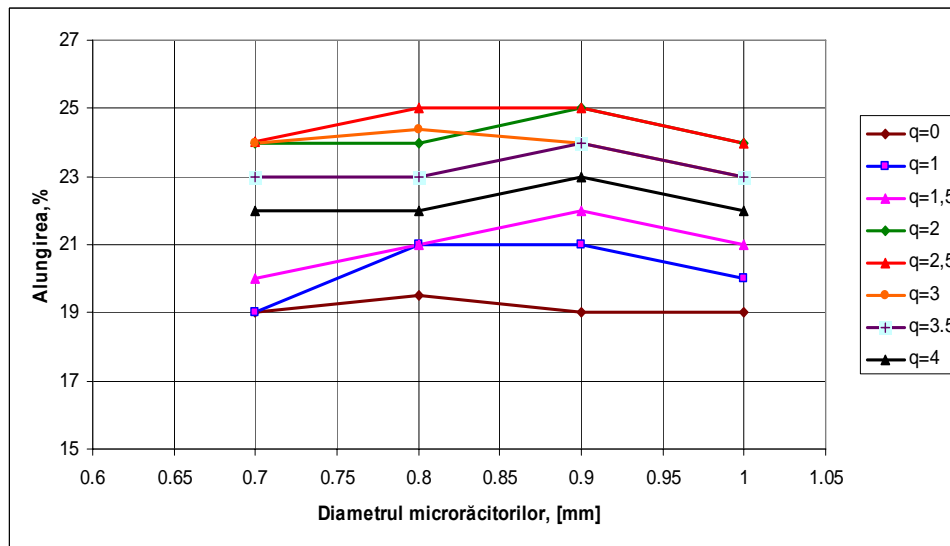


Fig.5.6. Alungirea în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)

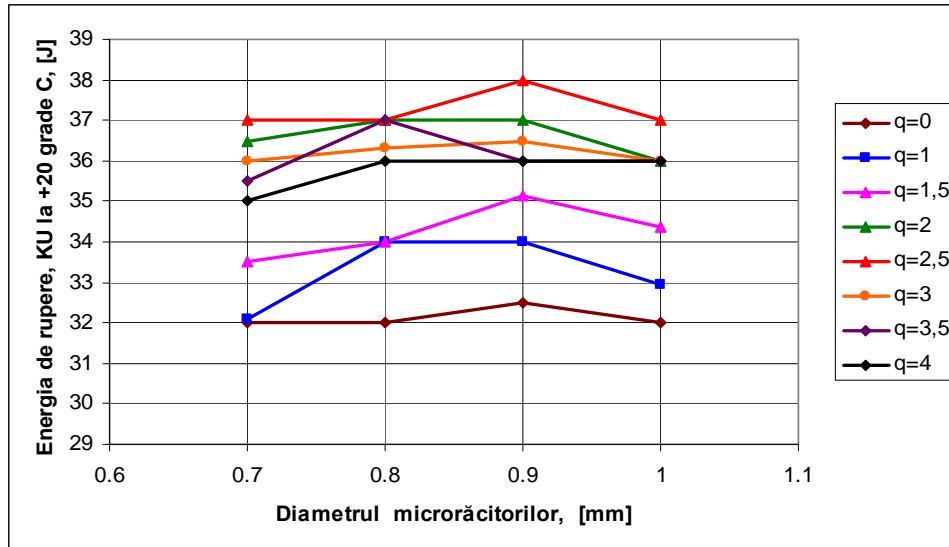


Fig.5.7. Energia de rupere KU (+20 C°) în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)

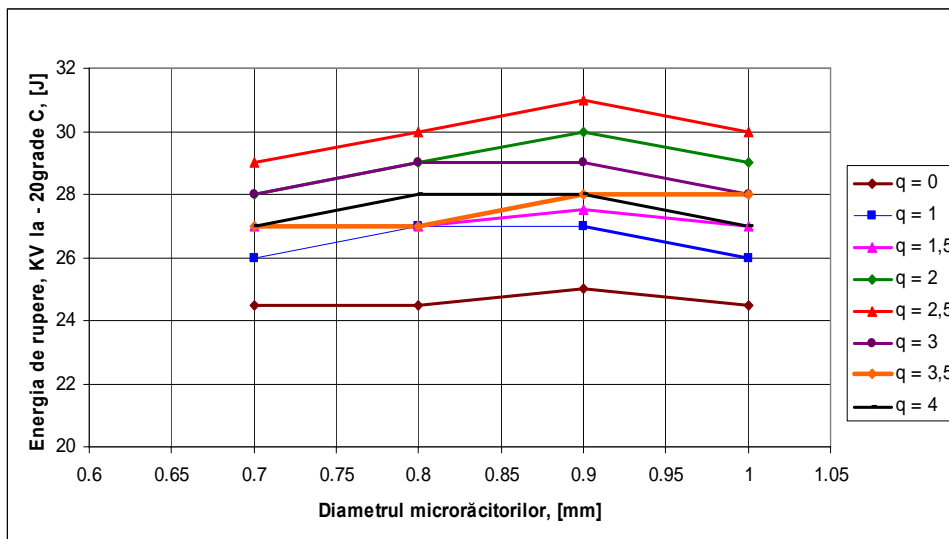


Fig.5.8. Energia de rupere KV (-20 C°) în funcție de diametrul microrăcitorilor (fază industrială)

5.3. Analiza tehnologică. Concluzii

Din analiza datelor și diagramelor obținute se constată următoarele:

- o creștere a valorilor caracteristicilor mecanice, pentru oțelul turnat cu microrăcitori comparativ cu cel turnat fără microrăcitori;
- valorile pentru caracteristicile mecanice, determinate din ecuațiile de corelație obținute pe date din fază de laborator, sunt bine corelate cu cele obținute la oțelul elaborat în condiții industriale, pentru toate caracteristicile mecanice;
- obținerea unor valori cu puțin mai mari (2 – 5%) comparativ cu cele rezultate din ecuațiile de corelație, rezultate în fază de laborator, se motivează prin faptul că în condiții industriale oțelul a fost tratat în instalația de vidare V.D. Ca urmare a acestui tratament are loc o reducere avansată a conținuturilor de gaze, în mod deosebit a hidrogenului, efectul fiind regăsit și în valorile pentru caracteristicile mecanice;
- referitor la conținutul de hidrogen acesta în toate cazurile se situează sub 2ppm, condiție obligatorie pentru oțelul analizat.
- turnarea oțelului sub formă de lingori cu secțiune circulară (cilindrice), cu adaos de microrăcitori cu granulație 0,8 - 0,9 mm (obținuți din sârmă cu diametru 0,8 – 0,9 mm, debitată la lungimi de 0,8 -0,9mm) și adaos de 2,0 – 3,0kg/t asigură o îmbunătățirea semnificativă a caracteristicilor mecanice;
- rezultatele obținute în cadrul verificărilor industriale confirmă valabilitatea cercetărilor efectuate în fază de laborator;
- prezintă interes implementarea în practică a rezultatelor obținute, continuarea cercetărilor privind dirijarea solidificării lingourilor, precum și urmărirea în exploatare a componentelor de material rulant fabricate din lingouri turnate cu microrăcitori.

6. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

6.1. Concluzii finale

Din efectuarea studiului literaturii de specialitate și a rezultatelor experimentale privind îmbunătățirea calității oțelurilor destinate fabricației au rezultat următoarele concluzii:

1. Calitatea lingourilor din oțel este influențată de o serie de factori, dintre care se menționează: compoziția chimică a oțelului și tendința acestuia de a segrega, viteza și temperatura de turnare, forma și dimensiunile geometrice ale lingotierei respectiv condițiile de degajare a căldurii.

2. Îmbunătățirea calității oțelului prin tratarea acestuia în vid, se realizează frecvent în cadrul metalurgiei în oală, cu eficiență remarcabilă asupra proceselor care au loc ca urmare a tratării acestuia. Prin rafinarea oțelului în vid se obțin efecte metalurgice importante, dintre care se pot menționa: degazarea, omogenizarea termică și chimică, flotația incluziunilor nemetalice, accelerarea reacțiilor de rafinare (desulfurare, dezoxidare) a topiturii metalice. Realizarea acestor efecte este dependentă de metoda utilizată precum și de felul în care sunt corelați parametri tehnologici ai procesului cu principalul scop urmărit.

3. Solidificarea unui volum de oțel este asociată cu contracții importante, independente de gradul de puritate, lucru care conduce la deteriorarea sensibilă a structurii oțelului și la apariția de neomogenități chimice și structurale în lingourile din oțel, fapt care a condus la ideea îmbunătățirii calității prin dirijarea structurii de solidificare a acestora.

4. Formarea cristalelor la solidificare este rezultatul a două procese elementare, și anume: formarea în topitură a unor germeni sau nuclee de cristalizare și creșterea germenilor formați. Structura omogenă echiaxială a lingourilor turnate de oțel se obține prin:

- crearea în volumul de oțel lichid a unui gradient minim de temperatură, care să se încadreze în limitele domeniului de solidificare, germinarea cristalelor producându-se în același timp în tot volumul de lichid; micșorarea gradientului de temperatură în lichid, se realizează prin scăderea temperaturii de turnare a oțelului, sau prin adăos de microrăcitori, care să permită o subrăcire puternică;
- formarea de centre de cristalizare într-o zonă cu două faze, înaintea frontului de solidificare, și deplasarea succesivă a acestei zone de la periferie spre axa lingoului;
- introducerea în oțelul ce pătrunde în lingotieră a catalizatorilor, care să provoace formarea eterogenă a germenilor de cristalizare, ceea ce conduce la micșorarea dimensiunilor grăunților în lingoul turnat.

5. Deoarece procesul de solidificare este influențat nu numai de factori interni ci și de o serie de factori externi, precum și faptul că determinările nu se pot face direct, explică de ce nu există încă relații cantitative precise între structura

lingourilor și factorii fizico-chimici de la elaborare-turnare-solidificare, relațiile stabilite fiind cu caracter calitativ, iar cele cantitative dau valori aproximative deoarece nu pot cuprinde toți factorii de influență.

6. Reducerea timpului de solidificare, conduce la creșterea gradului de omogenitate structurală și de reducere a celui de segregare.

7. Pentru obținerea unor lingouri omogene din punctele de vedere chimic, structural și al proprietăților mecanice, este necesară asigurarea evacuării intense a căldurii oțelului aflat în curs de solidificare.

8. Calitatea lingourilor din oțel destinate fabricării roților monobloc de cale ferată, poate fi îmbunătățită printr-o dirijare a solidificării, care determină: o aplatizare a formei retasurii la lingourile turnate cu microrăcitori și reducerea pe această cale a volumului acesteia având ca efect o creștere a scoaterii de metal, o creștere a omogenității structurale și a proprietăților calitative respectiv o finisare a structurii de turnare.

9. Studiul solidificării lingourilor din oțel, este necesar pentru stabilirea posibilităților de îmbunătățire a calității pieselor obținute din acestea. În acest context, în cadrul cercetărilor experimentale efectuate pentru elaborarea tezei de doctorat s-a efectuat dirijarea structurii de solidificare, metodă care prezintă avantajul că poate fi implementată relativ ușor în practica industrială, indiferent de calitatea oțelului care se toarnă și de greutatea lingoului

10. La oțelul turnat cu microrăcitori, se obține o creștere a valorilor pentru caracteristicile mecanice, comparativ cu cel turnat fără microrăcitori;

11. Valorile pentru caracteristicile mecanice determinate din ecuațiile de corelație, obținute pe date din fază de laborator, sunt bine corelate cu cele obținute la oțelul procesat în condiții industriale, pentru toate caracteristicile mecanice;

12. Obținerea unor valori cu puțin mai mari (2 – 5%), comparativ cu cele rezultate din ecuațiile de corelație obținute în fază de laborator, se motivează prin faptul că în condiții industriale oțelul a fost tratat în instalația de vidare VD. Ca urmare a acestui tratament, are loc o reducere avansată a conținuturilor de gaze, în mod deosebit a hidrogenului, efectul fiind regăsit și în valorile pentru caracteristicile mecanice;

13. Referitor la conținutul de hidrogen acesta în toate cazurile se situează sub 2ppm, condiție obligatorie pentru oțelul analizat.

14. Turnarea oțelului sub formă de lingori cu secțiune circulară (cilindrice), cu adaos de microrăcitori cu granulație 0,8 - 0,9 mm (obținuți din sârmă cu diametru 0,8 – 0,9 mm, debitată la lungimi de 0,8 -0,9mm) și adaos specific de 2,0 – 3,0kg/t, asigură o îmbunătățirea semnificativă a caracteristicilor mecanice.

6.2. Contribuții originale

La efectuarea studiului din literatura de specialitate privitor la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor efectuate în fază de laborator, a verificărilor industriale și a analizei tehnologice a rezultatelor obținute, consider că mi-am adus următoarele contribuții originale:

1) Realizarea pe baza studiului literaturii de specialitate cu referire la producerea componentelor destinate materialului rulant, a unor sinteze privind:

- tehnologiile de fabricație a roților destinate circulației feroviare;
- caracteristicile calitative a oțelurilor destinate producerii componentelor pentru material rulant, cu respectare condițiilor impuse de Standard, UIC și Caietele de Sarcini;
- procedee și tehnologii de dirijare a procesului de solidificare a oțelului,

turnat sub formă de lingouri cu secțiune circulară, destinate fabricării componentelor pentru material rulant.

2) Analiza fluxului tehnologic de elaborare a oțelului în cuptoare electrice cu arc și tratament secundar în instalațiile L.F. și D.V;

3) Stabilirea pe baza analizei fluxului de fabricație a structurii încărcăturii metalice și a limitelor de variație pentru parametri tehnologici;

4) Stabilirea tehnologiei de elaborare și turnare a oțelului în fază de laborator, în cuptorul electric cu inducție de 10kg;

5) Stabilirea metodologiei de adaos a microrăcitorilor în funcție de diametrul acestora și adaosul specific (g/kg).;

6) Determinarea caracteristicilor mecanice și structurii atât pentru lingourilor experimentale (turnate cu microrăcitori, cât și pentru cele de referință (turnate fără microrăcitori);

7) Stabilirea prin prelucrarea datelor în programul de calcul EXCEL, a unor corelații între caracteristicile mecanice, considerate parametrii dependenți, și elementele din compoziția chimică considerate ca parametrii independenți, atât pentru oțelul turnat cu microrăcitori, cât și fără microrăcitori;

8) Determinarea în programul de calcul EXCEL a corelațiilor între caracteristicile mecanice în funcție de diametrul microrăcitorilor, pentru diferite adaosuri specifice de microrăcitori;

9) Stabilirea corelațiilor duble între caracteristicile mecanice și parametrii independenți reprezentați de : diametrul microrăcitorilor și adaosul specific (g/kg);

10) Analiza tehnologică a rezultatelor obținute și stabilirea pe baza acestora a parametrilor turnării cu microrăcitorii;

11) Verificarea industrială a rezultatelor obținute în fază de laborator și analiza comparativă a acestora;

12) Stabilirea pe baza rezultatelor obținute în fază industrială a parametrilor turnării cu microrăcitori.

6.3. Direcții de continuarea a cercetărilor

Având în vedere rezultatele cercetărilor efectuate referitoare la "Cercetări privind îmbunătățirea calității oțelului destinat fabricării componentelor materialului rulant", consider că acestea prezintă interes deosebit pentru industria siderurgică, și pot continua pe viitor în următoarele direcții:

1. Extinderea cercetărilor privind producerea roților de cale ferată din semifabricate turnate continuu (blum și bare);
2. Îmbunătățirea structurii încărcăturii metalice atât din punct de vedere a ponderii sortimentelor de fier vechi greu, mijlociu și ușor cât și gradului de pregătire a acestora;
3. Intensificarea regimului termic pe perioada de topire.
4. Utilizarea la turnarea continuă a microrăcitorilor (adaos în distribuitor, respectiv în cristalizor).

DISEMINAREA REZULTATELOR

1. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Hepuț Teodor, *The influence of micro-coolers on the physical-mechanical characteristics of the steel used in making railway monoblock wheels*, Technical Gazette, vol.20, nr.3, June 2013, acceptată pentru publicare, **Revistă indexată ISI.**
2. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Hepuț Teodor, Popa Erika, *Research on the influence of steel ingot solidification process control on the tenacity characteristics*, Metalurgia International, 17(9), pp.243-238, 2012, **Revistă indexată ISI.**
3. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Vilceanu Lucia, Heput Teodor, *Researches On The Influence Of Chemical Composition Regarding The Physical - Mechanical Characteristics Of Steel For The Manufacture Of Monobloc Wheels*, Solid State Phenomena, 188, pp.352-357, 2012, **Revistă indexată BDI (SCOPUS).**
4. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Vilceanu Lucia, Heput Teodor, *The influence of chemical composition on the mechanical properties of steels used for manufacturing monoblock railway wheels*, The 5th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '12), Engineering Mechanics, Urban & Naval Transportation and Tourism, Cambridge, UK, 25-27 februarie, 126-129, 2012, ISBN 978-1-61804-071-8, **Proceedings BDI (SCOPUS).**
5. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Maksay Stefan, Hepuț Teodor, *Reserch regarding the quality of the steel used for making rolling stok components*, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - Journal of Engineering, VIII(3), 415-421, 2010, **Revista indexata BDI (CNCSIS B+).**
6. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Hepuț Teodor, *Consideration regarding the quality of the steel used for making rolling stock components*, 11 th International Symposium Interdisciplinary Regional Research, Szeged, Ungaria, 13-15 octombrie, ISBN 978-963-508-600-9.
7. Socalici Ana, **Andronache Constantin**, Hepuț Teodor, *Research regarding the quality of steel used for making rolling stock components*, International Symposium on Advanced Engineering and Applied Management - 40th Anniversary in Higher Education, Section 1, Hunedoara, 4-5 noiembrie, pp.1-6, 2010, ISBN 978-973-0-09340-7.
8. **Raport de cercetare nr.1** - Cercetări privind îmbunătățirea calității lingourilor de oțel cu secțiuni circulară destinate fabricației componentelor materialului rulant.
9. **Raport de cercetare nr.2** - Experimentări in faza de laborator privind îmbunătățirea structurii de turnare la lingourile destinate fabricației roților monobloc.

BIBLIOGRAFIE

1. ***Fișa UIC 813-0 /01.01.1989 - Specificația tehnică pentru furnitura de osii montate pentru materialul rulant motor și remorcat. Toleranțe și montaj.
2. *** Normele de fabricație a roților de cale ferată cu valabilitate internațională: UIC 812 – 3/84; STAS 8824/1 – 1991; BS 5892/92; AAR M 107/84; IRS R34 – 81; IRS R19 – 67; IRS R19 – 93; GOST 10791/89.
3. ***Norma tehnică feroviată NTF 81-002:2004 – Vehicule de cale ferată. Osii montate. Condiții tehnice generale de calitate
4. Smaranda, E., Cercetări privind influența factorilor tehnologici la elaborarea și deformarea plastică a roților monobloc, Teză de doctorat,
5. S. I. Poschmann, E. Tschapowetz & H. Rinnhofer, Heat Treatment Process and Facility for Railway Wheels, LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH, Mulheim an der Ruhr, Germany, www.presstrade.com
6. <http://www.girardusa.com/wagner/home>
7. Peculiarities of the railway wheels manufacturing technology of JSC INTERPIPE NTRP and its improvement directions, 10th of September 2008, Alushta, ©KLW
8. Bellis, M., The History of Railroad Innovation, London, 1999.
9. Staroseletsck, M., and all., Optimization of the Steel Chemical Composition and Heat Treatment of the Monoblock Wheels, for the Development of Their Toughness Characteristics, Proceedings of the 13-th Wheelset Congress, Rome, 2002.
10. ORE Question B169 - Thermal Limits of Wheels and Shoes, Report No.2, ERRI, Utrecht, 1989.
11. ORE Question B169 - Thermal Limits of Wheels and Shoes, Report No.3, ERRI, Utrecht, 1991.
12. ORE Question B169 - Thermal Limits of Wheels and Shoes, Report No.4, ERRI, Utrecht, 1994.
13. ERRI B169/RP7 – Standardisations des essieux – Limites thermique des roues et des sabots de freins- Contrôle non destructif pour la détection de fissures dans la jante, Utrecht, Juin 1995.
14. Anderson, T.L. – Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications, CRC Press, New York, 1995.
15. Rode, M. – Monitoring Solid Wheels In Service, Proceedings of The 9-th Congress Of Solid Wheels, Paris, 1995.
16. Del Fabrio V., Catot B. – Ultrasonic Measurement of Stresses in New Wheels, Proceedings of The 9-th Congress Of Solid Wheels, Paris, 1995.
17. Jergens, J. – Railway Wheel Flats, Martensite Formation, Residual Stresses and Crack Propagation, Chalmers University of Theoretical, School of Mechanical and Vehicular Engineering, Department of Theoretical and Applied Mechanics, Postgraduate Programme in Solid Mechanics, 1998.
18. <http://www.bochumer-verein.de>
19. <http://www.smr.ro>

20. *** Specificația tehnică pentru roți monobloc tip BA 004 desen 1.888.2 rev.4/2011, fabricate din oțel marca ER 7 pentru materialul rulant la SC SMR SA Balș.
21. *** Specificația tehnică pentru Osie – axă tip B desen 1.888.1 rev.3/2011, pentru materialul rulant la SC SMR SA Balș.
22. *** Specificația tehnică pentru Osie montată cu roți monobloc tip BA 004 + B TSI și sarcina pe osie 22,5 t - desen 1.888.0/M rev.5/2011, pentru materialul rulant la SC SMR SA Balș.
23. ERRI B169/RP8, Standardisation des essieux - Determination de latenciate des roues monobloc en R7T. Definition d'une methode d'essai et d'un criterie d'acceptation, Utrecht, 1995.
24. Scheider, E. Herzer, R. – Ultrasonic Evaluation of Stresses in The Rims of Railroad Wheels, IzPF, Saarbrucken, Germany
25. Lonsdale, C. Demily, F, Del Fabro, V. – Wheel Rim Residual Stresses Measurements, Proceedings of The 9-th Congress Of Solid Wheels, Paris, 1995.
26. ORE B 169- Thermal Limits of Wheels and Shoes – Research in to the Fracture Threshold – Office for Research and Experiments of the International Union of Railways, Rep. No.3, Utrecht, Germany, 1991.
27. Scheuder, E. Herzer et all- Ultrasonic Characterization of Stress States in Rims of Railroad Wheels, Nondestructive Characterization on Materials VI, Plenum Press, New York, 1994.
28. Institut Zersrungsfreee Prufverfahren – Instrucțiuni de utilizare a aparatului de examinare cu ultrasunete UER-T pentru determinarea tensiunilor remanente în obada roților de cale ferată.
29. Demily, F. et all - Wheel Rim Residual Stresses Measurement Using Ultrasonic Testing, The 13-th International Wheelset Congress Proceedings, Rome, 2002.
30. Safta, V. I., Safta, V.I. – Defectoscopie nedistructivă industrială, Ed. Sudura, Timișoara, 2001
31. Cherrouf, Z. – The Steel Grain Magnification Influence on the Ultrasound Wave Attenuation, Proceedings of The 15-th World Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
32. Ahlstrom, J. – Thermal and Mechanical Behaviour of Railway Wheel Steel, School of Mechanical and Vehicular Engineering, Departament of Engineering Metals Postgraduate Programme in Engineering Metals, 2001.
33. Dragomir, I. – Teoria proceselor siderurgice, Ed. Didactică și Pedagogică București, 1985.
34. Tripsa, I., Pumnea, C. – Dezoxidarea oțelului, Ed. Tehnică, București, 1981.
35. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ladle_refining
36. Faur, S., Hepuț, T. – Tehnologia oțelurilor, Vol III, Atelierul de Multiplicare al Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1987.
37. Efimov, V.A. – Turnarea și cristalizarea oțelurilor, Ed. Tehnică, București, 1976.
38. Socalici, A. - Grant AT, Director proiect - Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii lingourilor de oțel, COD CNCSIS 191, Nr. 335500 din 01.07.2003.
39. Bratu, C., Sofroni, L. – Cercetări privind dirijarea procesului de cristalizare a oțelurilor prin utilizarea microrăcitorilor, Metalurgia, Nr.6, 1981, pag.281.

40. Amiiarov, B.I. - "Vliianie temperaturi austenitizatsii i reglementiruemoi deformatsii kovcoi na strukturu i svoistva produktov perlitnovo prevrascheniia", Referativnyi jurnal, nr.12 Moskva, 1990.
41. Bratu, C. - Stabilirea parametrilor tehnologici la turnarea oțelurilor cu microrăcitori, *Metalurgia*, Nr.12, 1979, pag.603.
42. Bratu, C., Sofroni, L., Stavarache, S. - Cercetări privind mărirea compactității pieselor mari, turnate din oțel, prin dirijarea procesului de solidificare, *Metalurgia*, Nr. 3, 1985, pag.133.
43. Bratu, C., Sofroni, L., Cucea, V. - Cercetări privind îmbunătățirea calității fontelor prin tratare, în stare lichidă, cu microrăcitori, *Metalurgia*, Nr.7, 1982, pag.365.
44. Bratu, C., Sofroni, L. - Cercetări privind dirijarea procesului de cristalizare a oțelurilor prin utilizarea microrăcitorilor, *Metalurgia*, Nr.6, 1981, pag.281.
45. Bratu, C. - Cercetări privind dirijarea procesului de solidificare a lingourilor prin introducerea microrăcitorilor, *Metalurgia*, Nr.3, 1982, pag.115.
46. Ștefănescu, D.M. - Computer Simulation of Microstructural Evolution, *Proceedings of a Symposium The Metallurgical Society in Toronto, Canada, october 13-17, 1985*, pag.171.
47. Bratu, C., Sofroni, L. - Model matematic care caracterizează influența microrăcitorilor asupra proprietăților mecanice a oțelurilor carbon, *Metalurgia*, Nr.2, 1982, pag.58.
48. Socalici, A. - Research and experiments regarding the structure improvement of steel ingots, VIIth International Symposium Interdisciplinary Regional Research, 25-26 septembrie, Hunedoara, 2003.
49. Socalici, A. - Structura lingourilor de oțel, Ed. Mirton, Timișoara, 2004.
50. Banuță, M. - Cercetări privind dezvoltarea unor tehnologii de investigație moderne, asupra calității oțelurilor pentru material rulant, Teză de doctorat, Conducător științific Prof.dr.ing. Sever Șontea, Universitatea din Craiova, Facultatea de Mecanică, 2005
51. L. V. Pascu, A. Puțan, V. Puțan, A. Lăscuțoni "Analysis on the similarity between steel ladles and hot water models regarding natural convection phenomena" *Proceedings AIP, Kos, Grecia, 2011*.
52. Ilca, I., Heput, T., Prejban, I., Petre, D - "Dirijarea solidificării lingourilor", Conferința Tehnologii și utilaje de elaborare, turnare, sudare, Brașov, 1986.
53. Ioan, R. - Cercetări teoretice și experimentale în domeniul solidificării oțelului, Ed. Destin Deva, 2000.
54. Ilca, I., Heput, T., Prejban, I., Petre, D - "Modern technologies for the improvement of the structure and the calitative characteristics of the steel", Conferința de construcții metalice, Timișoara, 1985.
55. Ștefănescu, Fl., Sofroni, L., Bratu, C. - Dirijarea solidificării aliajelor la obținerea pieselor turnate de performanță, *Metalurgia*, Nr.2, 1988, pag.93.
56. Vertan, H.P., Bartiș, D., Iacobescu, A. - Aspecte ale transferului de căldură la solidificarea dirijată folosind MEF, *Metalurgia*, Nr. 11-12, 1998, pag.61.
57. Bratu, C., Bogdan, O., Balescu, C. - Estimarea prin metode numerice a defectelor interne ce apar la turnarea pieselor și lingourilor, *Metalurgia*, Nr.7, 1995, pag.5.
58. Bratu, C., Sofroni, L., Ștefănescu, Fl.- Influența factorilor tehnologici asupra tendinței de formare a crăpăturilor la cald la piesele turnate din oțel, *Metalurgia*, Nr.4, 1988, pag.209.
59. Bratu, C. - Stabilirea parametrilor tehnologici la turnarea oțelurilor cu microrăcitori, *Metalurgia*, Nr.12, 1979, pag.603.

60. Taran, Y.N – Peculiarities of Plastic Deformation and Micro-Destruction in Wheel Steel, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
61. Cassidy, P.D. – A New Wheel Material for The New Century, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
62. Makino, T. – Spalling Properties of Railroad Wheel Steels (Investigation on Skid Flat and Rolling Contact Fatigue Properties), Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001
63. Poschmann, I. – Fatigue Behaviour of UIC – Standardised Wheel and Tire Steels, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001
64. Klökner – Schlöemann – Tehnologia de forjare a roților de cale ferată - Traducere din limba Germană.
65. Smaranda E. – Studiu și proiect tehnologic pentru turnarea lingourilor cilindrice și înlocuirea lingourilor ondulate destinate forjării de roți pentru material rulant – Balș, 2001.
66. A.A.R. M – 107/208 - Standard. Wheels, carbon steel
67. I.R.S. R19 - '93 – Standard specification of wheels for carriage and wagon.
68. Bibik G.A ș.a – Fabricația roților de cale ferată, Revista Metalurgia, Moscova, 1982.
69. Smaranda E, Sontea S. – Turnarea în forme vidate a unor piese pentru material rulant - Zilele academice timișene, Ediția a V-a, mai 1997, Timișoara.
70. ASTM E 7 – Terminology Relating to Metallography.
71. ASTM E 112-95 – Standard test metode for determininig average grain size.
72. G.O.S.T. 10791 - '89 – Roți monobloc. Condiții tehnice.
73. CEN/TC 256 SC2 – Specificație de fabricație a roților monobloc din oțel nealiat – Proiect în anchetă publică - Utrecht, noiembrie, 2003.
74. Smaranda E., Sontea S. – Un nou material pentru un nou secol. 8-th Internațional Conference – Universitatea "Constantin Brâncuși", Târgu Jiu, mai 2002.
75. Jefris K. – A shot of wheel – The 9-th Congress of solid wheels, Paris, 1995.
76. Smaranda E., Sontea S. – Optimizarea compoziției chimice a oțelurilor și tehnologii de tratament termic al roților de cale ferată pentru a le conferi caracteristici de tenacitate. 8-th Internațional Conference – Universitatea "Constantin Brâncuși", Târgu Jiu, mai 2002.
77. Smaranda E., Sontea S. – Particularitățile realizării oțelurilor pentru roți monobloc cu cerințe speciale în exploatare. Revista Metalurgia nr.12/2003.
78. Smaranda E., Sontea S. – Considerații asupra posibilității eliminării deformării plastice și microdistucțiilor oțelului roților de locomotivă, Revista Metalurgia nr.11/2003.
79. Registrul Feroviar Român RA – Instrucțiuni pentru controlul ultrasonic al osiilor, roților monobloc și bandajelor noi, București, 2013.
80. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Hepuț Teodor, Popa Erika, *Research on the influence of steel ingot solidification process control on the tenacity characteristics*, Metalurgia International, 17(9), pp.243-238, 2012, **Revistă indexată ISI.**
81. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Hepuț Teodor, *The influence of micro-coolers on the physical-mechanical characteristics of the steel used in*

- making railway monoblock wheels*, Technical Gazette, vol.20, nr.3, June 2013, acceptată pentru publicare
82. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Vilceanu Lucia, Heput Teodor, *Researches On The Influence Of Chemical Composition Regarding The Physical - Mechanical Characteristics Of Steel For The Manufacture Of Monobloc Wheels*, Solid State Phenomena, 188, pp.352-357, 2012, **Revistă indexată BDI (SCOPUS)**.
 83. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Vilceanu Lucia, Heput Teodor, *The influence of chemical composition on the mechanical properties of steels used for manufacturing monoblock railway wheels*, The 5th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESG '12), Engineering Mechanics, Urban & Naval Transportation and Tourism, Cambridge, UK, 25-27 februarie, 126-129, 2012, ISBN 978-1-61804-071-8, **Proceedings BDI (SCOPUS)**.
 84. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Maksay Stefan, Heput Teodor, *Reserch regarding the quality of the steel used for making rolling stok components*, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - Journal of Engineering, VIII(3), 415-421, 2010, **Revista indexata BDI (CNCSIS B+)**.
 85. **Andronache Constantin**, Socalici Ana, Heput Teodor, *Consideration regarding the quality of the steel used for making rolling stock components*, 11 th International Symposium Interdisciplinary Regional Research, Szeged, Ungaria, 13-15 octombrie, ISBN 978-963-508-600-9.
 86. Socalici Ana, **Andronache Constantin**, Heput Teodor, *Research regarding the quality of steel used for making rolling stock components*, International Symposium on Advanced Engineering and Applied Management - 40th Anniversary in Higher Education, Section 1, Hunedoara, 4-5 noiembrie, pp.1-6, 2010, ISBN 978-973-0-09340-7.
 87. ASTM E 647-95 – Standard test methode for measurement of fatigue crack growth rates.
 88. Revie des Chemines de Fer – November, 2004.
 89. Geissler, H.J. – Wheel Safety, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001; Gianmmarise, A.W. – Wheel Quality, A North American Locomotive Builder's Perspective, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.
 90. Arruta, L.- The Evolution Of Non-Destructive Tests on Railway Wheels, Proceedings of The 15-th Word Conference On Non-Destructive Testing, Rome, 2001.

ANEXE

ANEXA 1

Normele de fabricație a roților de cale ferată cu valabilitate internațională: UIC 812 - 3/84; STAS 8824/1 - 1991; BS 5892/92; AAR M 107/84; IRS R34 - 81; IRS R19 - 67; IRS R19 - 93; GOST 10791/89.

MATERIALE PENTRU ROTI

Nr. crt.	Norma	Calitate material	Compoziția chimică max. [%]										T, T	Proprietăți fizico-mecanice Rm(N/mm ²)	A[%] min.	Dusitate HB		
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V						
1	UIC 812-3/84	R1	p	0,48	0,30	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	U	600 - 720	16	15	
		R2	p	0,34	0,60	0,80	0,028	0,035	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	N	700 - 840	14	10	
		R3	p	0,70	0,30	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	N	800 - 940	10	10	
		R6	p	0,48	0,40	0,75	0,030	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	U, N	800 - 940	10	10	
		R7	p	0,52	0,40	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	780 - 900 (740)*	15 (16)*	15	
		R8	p	0,54	0,40	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	820 - 940 (760)*	14 (16)*	15	
		R9	p	0,60	0,40	0,80	0,030	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	860 - 880 (820)*	13 (16)*	15	
		R1	p	0,48	0,30	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	N	600 - 720	18	15	
		R2	p	0,38	0,50	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	N	700 - 840	14	10	
2	STAS 8824/1-1991	R7	p	0,32	0,40	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T	820 - 940	14	15	
		R1	f	0,30	0,30	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	U, N	600 - 720	12	15	
		R2	f	0,30	0,30	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	U, N	700 - 840	14	10	
		R3	f	0,70	0,30	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	U, N	800 - 940	10	10	
		R6	f	0,48	0,40	0,75	0,030	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	770 - 890 (740)*	15 (16)*	10	
		R7	f	0,52	0,40	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	780 - 940 (760)*	15 (16)*	10	
		R8	f	0,54	0,40	0,80	0,035	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	820 - 940 (760)*	14 (16)*	10	
		R9	f	0,60	0,40	0,80	0,030	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	860 - 880 (820)*	13 (16)*	10	
		R9	f	0,60	0,40	0,80	0,030	0,038	0,30	0,30	0,08	0,30	0,05	T, E	900 - 1050 (880)*	12 (14)*	10	
4	AAR M107/84	clasa L	f	0,47	0,15	0,80	0,03	0,05						T			197-277	
		clasa A	f	0,57	0,15	0,80	0,03	0,05							T			255-321
		clasa B	f	0,57	0,15	0,80	0,03	0,05							T			277-341
		clasa C	f	0,57	0,15	0,80	0,03	0,05							T			321-363
5	IRS R34-81		f	0,57	0,15	0,80	0,03	0,05						T	980	8	300-341	
			p	0,57	0,15	0,80	0,03	0,05						N(T)	784 - 882	11 : 9		
6	IRS R19-67		f	0,50	0,13	0,80	0,03	0,03	0,25	0,28	0,08	0,28	0,03	R, Q	820 - 940 (760)*	14 (16)*	15	241-277
			p	0,55	0,15	0,80	0,03	0,05						T	882 - 1078	1,2	248	
8	GOST 10791/89	1	f	0,55	0,15	0,80	0,03	0,05						T	882 - 1078	1,2	248	
		2	f	0,55	0,15	0,80	0,03	0,05						T	911 - 1107	8	255	

U - nefratate
 N - normalizate sau normalizate și revenite
 T - cu abada caldă
 R - calirea și revenirea abazii
 C - calirea și revenirea intragil rail
 Q - calirea prin înmuiere și revenite
 * Valori pentru membrana în cazul roților cu abada înaltă

ANEXA 2

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14/SMR Pag.2/16 Rev.0
---------------------------	--	---

SPECIFICATIE TEHNICĂ

pentru

**Roți monobloc tip BA 004
desen 1.888.2 rev. 4****AUGUST 2011**

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.2/16 Rev.0
---------------------------	--	--

1. **OBIECT SI DOMENIU DE APLICARE**

Prezenta specificație tehnică stabilește condițiile tehnice de execuție și recepție pentru roțile monobloc fabricate din oțel carbon marca ER7, forjate / laminate la SC SMR SA Bals.

Specificația tehnică corespunde prevederilor fișei **SR EN 13262 +A2:2011** și **TSI:2006**. Roțile monobloc care fac obiectul prezentei norme sunt destinate vehiculelor de cale ferată remorcate utilizate la vagoane de marfă.

Extinderea domeniului se poate face cu acordul elaboratorului.

2. REFERINTE

1. **SR EN ISO 6892-1:2010** - Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea I. Metode de încercare la temperatura ambiantă.
2. **SR EN 148-1:2011**. Materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin soc pe epruvete Chapy Partea 1. Metodă de încercare.
3. **SR EN ISO 6506-1:2006**. Materiale metalice. Încercarea la duritate Brinell. Partea 1. Metodă de încercare.
4. **ISO 377-2:1989** Prelevarea și pregătirea eșantioanelor și epruvetelor din oțeluri decojite. Partea 2-a . Eșantioane pentru determinarea compoziției chimice.
5. **SR EN ISO 1101:2006** Specificații geometrice pentru produse geometrice. Tolerare de forma, orientare, de poziție și de bătaie.
6. **SR ISO 4967:1998** Oțeluri. Determinarea conținutului de incluziuni nemetalice. Metoda micrografică cu ajutorul imaginilor tip.
7. **SR ISO 5948:1994** Material rulant de cale ferată. Probe de recepție cu ultrasunete
8. **SR ISO 6933:1986** Material rulant de cale ferată. Proba magnetoscopica de recepție.
9. **SR ISO /TR 9769:1991** Oțeluri și fonte ; privire de ansamblu asupra metodelor de analiza disponibile.
10. **SR EN 14284 :2003** Fonte și oțeluri . Prelevarea și pregătirea probelor pentru determinarea compoziției chimice.
11. **ASTM E 399.90** Metoda încercării determinării tenacității la deformare plană a materialelor metalice.

3. MĂRCI DE OTELURI, CARACTERISTICI

Mărcile de oțel utilizate la fabricația roților monobloc, conform prezentei specificații tehnice sunt oțeluri carbon hipo-eutectoide cu structură în stare de echilibru de tip perlito-feritic, identificate prin simbolul de marcă conform fișei **SR EN 13262+A1 :2009**, respectiv **ER7**.

3.1. Compoziția chimică

Compoziția chimică pe produs (roată monobloc) este conform tabelului 1.

Tabelul nr.1

Marca otelului	COMPOZIȚIA CHIMICĂ (VALORI MAXIME %) PE PRODUS ¹⁾										
	C	Si	Mn	P ²⁾	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Ni+Mo
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.3/16 Rev.0
---------------------------	--	--

- 1) Pentru aplicații speciale, pot fi acceptate variații ale prescripțiilor în limitele de conținuturi maxime.
- 2) Un conținut maxim de 0,025% poate fi convenit în cererea de ofertă și prin comandă.

Eșantioanele pentru determinarea compoziției chimice se prelevează la o adâncime de 15 mm sub suprafața de rulare în dreptul diametrului nominal.

Analiza compoziției chimice se face în conformitate cu metodele și prevederile descrise în **SR ISO/TR 9769:1991**.

3.1.1. Conținut de gaze

Oțelul se degazează în vid, conținutul maxim admis de gaze este dat în tabelul 2.

Tabelul nr.2

MARCA OTELULUI	CONTINUTUL MAXIM DE GAZE (PPM)			
	Determinat pe	H ₂	N ₂ *	O ₂ *
ER7	Oțel lichid (sarja)	2 - pentru roți categoria 1 2,5 - pentru roți categoria 2	90	60

Observații :

* 1. Conținutul de N₂ și O₂ se pot determina la cererea clientului, nefiind o cerere expresă a normei.

2. Conținutul de gaze pe produs poate fi determinat numai ca sumă pentru N₂ și O₂ astfel : $\Sigma (N_2 + O_2) \leq 120 \text{ ppm}$

Proba de H₂ este determinată direct în stare lichidă cu aparatură HEREUS ELECTRONITE. Pentru O₂ și N₂, determinarea se face pe probe prelevate din oțel lichid cu pipete de cuarț vidate răcite instantaneu.

3.2. Caracteristici mecanice

3.2.1. Caracteristici obținute din proba de tracțiune

Caracteristicile mecanice pe care trebuie să le îndeplinească roțile monobloc în stare de livrare (tratate termic final) sunt date în tabelul 3 .

Epruvetele trebuie prelevate din obadă și membrana roții, conform figura 1.

Încercările se fac conform **SR EN ISO 6892-1:2010** , diametrul epruvetei este cel puțin 10 mm în partea calibrată și baza de măsurare a alungirii este de 5 ori diametrul.

Tabelul nr.3

Marca de otel	Obada			Membrana	
	Rezistența la curgere. R _e H (N/mm ²) ¹⁾	Rezistența la tracțiune R _m (N/mm ²)	Alungirea A (%)	Diminuarea rezistenței la tracțiune R _m (N/mm ²) ²⁾	Alungirea A (%)
ER7	≥520	820-940	≥14	≥110	≥16

1). Dacă nu există limită aparentă de elasticitate, limita convențională R_{p02} trebuie determinată.

2). Diminuarea rezistenței la tratare a membranei în raport cu obada pentru aceeași roată.

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.4/16 Rev.0
---------------------------	--	--

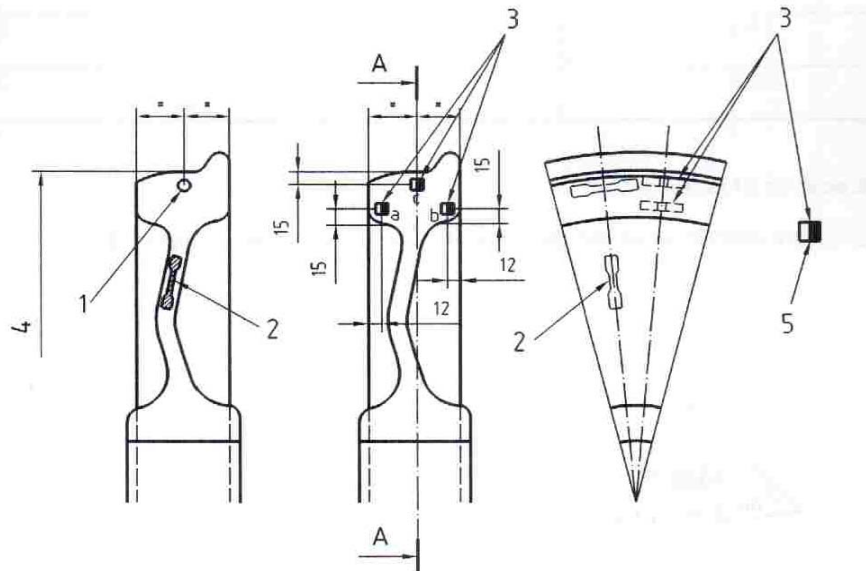


Fig.1

Legenda:

1. Epruveta de tracțiune
2. Epruveta de tracțiune
3. Epruveta pentru încovoiere la șoc
4. Diametrul nominal
5. Crestătura

3.2.2. Caracteristici de duritate în obadă

Valoarea durității Brinell conform valorilor date în tabelul 4.

Dacă grosimea obadei corespunzătoare plajei de uzură este mai mare de 35 mm, atunci valorile din tabelul 4 ale durității trebuie obținute până la o adâncime de 35 mm sub suprafața de rulare.

Valoarea durității în zona de racordare dintre membrană și obadă (punctul A din figura 2), trebuie să fie mai mare cu cel puțin 10 puncte decât valorile măsurate în zona de uzură.

Tabelul nr.4

Marca oțel	Valori minime de duritate Brinell	
	Categoria 1	Categoria 2
ER7	≥245	≥235

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.5/16 Rev.0
---------------------------	--	--

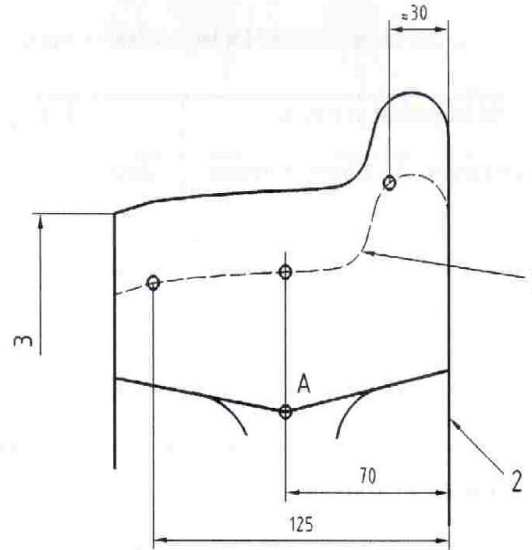


Figura 2- Măsurări ale durtății realizate într-o secțiune radială a obadei

Legenda

1. Limita zonei de uzură sau ultimul diametru de reprofilare (după recomandările clientului)
2. Fața interioară a roții
3. Diametrul nominal

Încercarea se face conform **ISO 6506-1**. Diametrul bilei este de 5 mm.

3.2.3 Caracteristici de reziliență

Valorile sunt date în tabelul 5. Valorile reprezintă, temperatura de încercare, pe de o parte media rezultatelor obținute la încercarea pe trei epruvete, conform figurii 1.

La +20 °C sînt utilizate epruvete cu creștătura în U, iar la -20 °C sînt utilizate epruvete cu creștătura în V.

Valorile de obținut pentru caracteristicile de reziliență sînt date în tabelul 5.

Tabelul nr.5

Marcă oțel	KU (in J) la +20 °C		KV(in J) la -20 °C	
	Val.medie	Val.minimă	Val.medie	Val.minimă
ER7	≥17	≥12	≥10	≥7

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.7/16 Rev.0
---------------------------	--	--

Epruvetele se prelevează din obada roții, conform figura 1.
Încercările se fac conform **EN 148-1 :2010**

3.2.4 Caracteristici de tenacitate a obadei

Această caracteristică este verificată decât la roțile frânate cu saboți (frâna de serviciu sau frâna de staționare) din categoria 1 sau categoria 2.

Pentru roțile din oțel de calitatea ER7T, valoarea medie obținută pe 6 epruvete trebuie să fie mai mare sau egală decât $80 \text{ N/mm}^2\sqrt{\text{m}}$, iar pentru fiecare valoare individuală trebuie să fie mai mare sau egală cu $70 \text{ N/mm}^2\sqrt{\text{m}}$.

Cele 6 epruvete se prelevează din obadă așa cum este indicat in figura 3

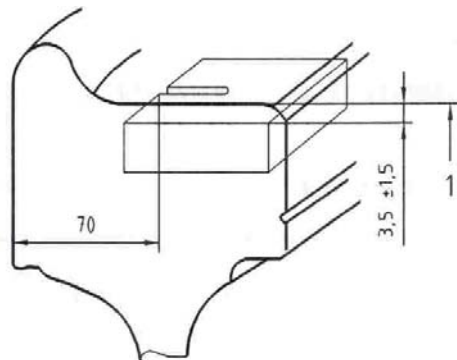


Figura 3 –Epruvete prelevate din obadă

Legenda

1. Diametrul nominal

Încercarea se face conform **ASTM E 399.90:1997**

Se vor aplica următoarele condiții speciale :

- Epruvete compacte de tracțiune cu grosime 30 mm (**CT 30**), cu crestatura Chevron avind un unghi de 90° (**figura 4 din ASTM E 399.90 :1997**)
- temperatura de testare va fi cuprinsa intre $+15^\circ\text{C}$ si $+25^\circ\text{C}$.
- măsurarea deschiderii crestăturii la extremitatea epruvetei (**figura 3 din ASTM E 399.90 :1997**)
- viteza de punere la sarcina $\Delta K/s$ pentru testul de tracțiune trebuie sa se afle in intervalul de $0,55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m/s}}$ si $1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m/s}}$ (**paragraf 8.3 din ASTM E 399.90 :1997**)

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.8/16 Rev.0
---------------------------	--	--

Valoarea tenacității considerată trebuie să fie valoarea K_Q , calculată pornind de la forța F_Q , determinată pe curba încercării de tracțiune.

3.3 Omogenitatea tratamentului termic

Valorile durtății se măsoară în trei puncte la 120 de grade pe fața exterioară a obadei. Amprentele se fac pe același diametru într-o zonă a cărei poziție este definită în figura 4.

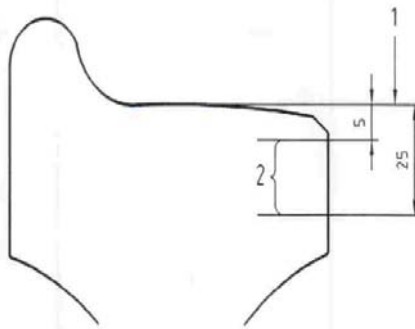


Figura 4–Amprentă

Legenda

- 1 Diametrul nominal al cerului de rulare
- 2 Zona de măsurare a durtății Brinell

Măsurătorile se efectuează conform prescripțiilor **SR EN ISO 6506-1/2006**
Diametrul bilei este de 10 mm.

3.4 Purity of the material

3.4.1 Purity of the microstructure

Valorile impuse sunt indicate în tabelul 6.

Tabelul 6

Tip de incluziuni	Categoria 1		Categoria 2	
	Serii grosiere	Serii fine	Serii grosiere	Serii fine
	(maximum)	(maximum)	(maximum)	(maximum)
A (sulfuri)	1,5	1,5	1,5	2
B (aluminati)	1	1,5	1,5	2
C (silicati)	1	1,5	1,5	2
D (oxizi globulari)	1	1,5	1,5	2
B+C+D	2	3	3	4

Categoria se stabilește prin cererea de ofertă sau prin comandă

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.9/16 Rev.0
---------------------------	--	--

Câmpul de examinat corespunde zonei hașurate din figura 5.
Centrul sau F este la 15 mm sub suprafața de rulare.

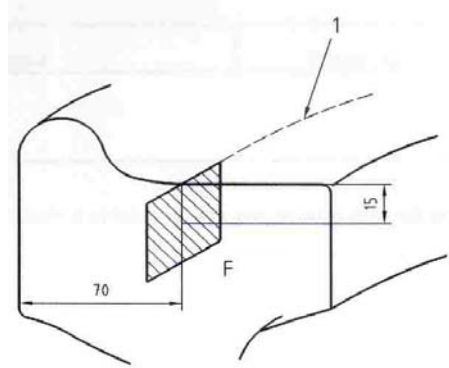


Figura 5–Poziție de prelevare micrografică

Legenda

1 Cercul de valoare nominal

Determinarea nivelului de puritate se efectuează conform **ISO 4967 -1998, metoda A.**

3.4.2 Integritatea internă

Sănătatea internă a roților se determină pornind de la un examen cu ultrasunete.

Defecțele etalon se constituie din găuri plate cu diametre diferite.

Obadele roților nu trebuie să prezinte defecte interne care să dea indicațiile anomaliilor egale sau superioare celor obținute față de defectele etalon, localizate la aceeași adâncime și având un diametru definit în tabelul 7.

Tabelul 7

Diametrul defectului etalon (mm)	Categoria 1	Categoria 2	
	1	2	3

3.5 Tensiuni reziduale

Existența unor tensiuni de compresiune se verifică prin măsurarea reducerii distanței între 2 puncte.

Pe partea opusă buzei, la mijlocul grosimii acesteia, se vor marca 2 puncte la o distanță de 100 mm. La jumătatea distanței dintre cele 2 puncte se va face o tăietură radială începând de la partea de sus a buzei și până la alezajul roții.

Se măsoară distanța dintre cele 2 puncte marcate, care trebuie să fie ≥ 1 mm.

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.10/16 Rev.0
---------------------------	--	---

3.6 Caracteristici ale suprafeței

3.6.1 Starea suprafeței

Rugozitatea medie (Ra) a suprafețelor în stare finită și gata de asamblare corespunde cerințelor indicate în **SR EN 13262 +A1:2009**

Rugozitatea suprafețelor (Ra) roților, în stare de livrare, se va controla prin compararea cu etaloanele de referință ale stării de suprafață.

3.6.2 Tensiuni superficiale

Tensiunile superficiale ale roților sînt definite pe baza unui examen magnetoscopic.

Lungimea maximă a ecourilor unor defecte acceptabile trebuie să fie :

- 2 mm pe suprafețele prelucrate.
- 6 mm pe suprafețe brut forjate sau laminate.

Epruveta supusă examinării este roata după tratamentul termic complet, în stare de livrare și înainte de aplicarea protecției contra coroziunii.

Examenul magnetoscopic se face cu pudra fluorescentă în condițiile generale prevăzute de **ISO 6933**, cu excepția cazurilor:

- valoarea inducției magnetice în suprafața care trebuie să fie egală sau mai mare de 4 mT (sau 3200 A/m).
- strălucirea energetică a luminii ultraviolete care trebuie să fie egală sau mai mare de 15 W/m².

Metoda de magnetizare este cea indicată de **figura C a ISO 6933-1986**.

Aparatura folosită va pune în evidență defectele în orice punct al roții, oricare ar fi orientarea acestora.

3.7 Toleranțe geometrice

Geometria și dimensiunile roților sînt date de desenele anexate la comandă. Toleranțele dimensionale și geometrice respectă cerințele **SR EN 13262 +A2:2011** conform valorilor din tabelul 10. Simbolurile utilizate sînt definite în figura 7.

SC SMR SA BALS	SPECIFICAȚIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.11/13 Rev.0
-------------------	--	---

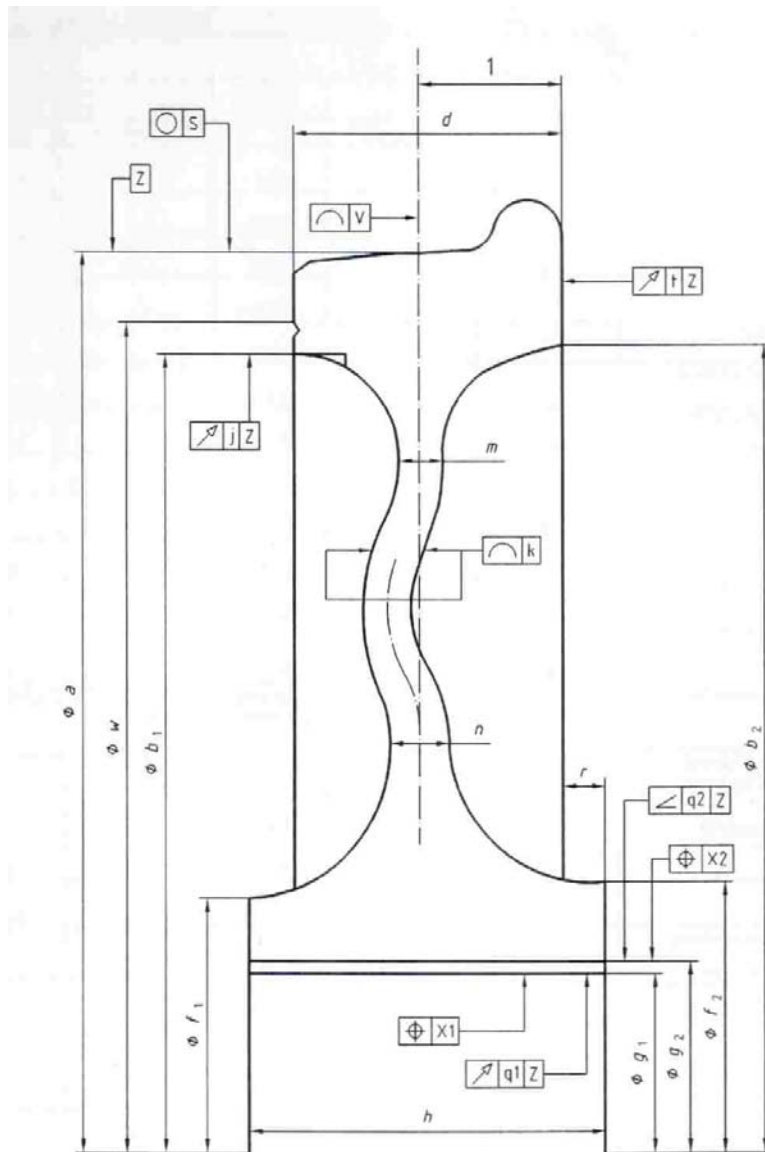


Figura 7. Simboluri

Legenda

1 Dimensiuni precizate de desen

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.12/16 Rev.0
---------------------------	--	---

Tabelul 10

Tolerante						
Denumire	Simbolizare (a se vedea figura 7)		Valori Cat.1		Valori Cat.2	
	Dimensiuni	Geometrice ¹⁾			Neprelucrate	Prelucrate
Obada	Diametrul exterior	a		0/+4 ²⁾		0/+4 ²⁾
	Diametrul interior (partea exterioară)	b ₁		0/-2		0/-4
	Diametrul exterior (partea interioară)	b ₂		0/-2	0/-6	0/-4
	Lățime	d		±1		±1
	Profil de rulare ⁵⁾		v	≤ 0,5		≤ 0,5
	Circularitatea cercului de rulare		s	≤ 0,1		≤ 0,2
	Bătaia axială la rulare		t	≤ 0,2		≤ 0,3
	Bătaia radială a obadei		j	≤ 0,2		≤ 0,2
	Diametrul exterior a rizului pentru limita de uzură	w		0/+2		0/+2
Butuc	Diametrul exterior (partea exterioară)	f ₁		0/+2	0/+10	0/+5
	Diametrul exterior (partea interioară)	f ₂		0/+2	0/+10	0/+5
	Diametrul interior al alezajului : - in stare finită ³⁾	g ₁		0/-2		0/-2
		g ₂		Corelat cu desenul sau standardul pentru a garanta o calare bună pe osia montată		
	Cilindricitatea diametrului Interior al butucului - in stare finită ³⁾		X ₁	≤ 0,1		≤ 0,2
			X ₂	≤ 0,02 ⁴⁾		≤ 0,02 ⁴⁾

	Lungime	h		0/+2 2)		0/+2 ²⁾
	Debordarea butucului in raport cu obada	r		0/+2 2)		0/+2 ²⁾
	Bătaia alezajului - in stare finită ³⁾		q ₁₃	≤ 0,2		≤ 0,2
	- in stare finită pregătit pentru asamblare ³⁾		q ₂	≤ 0,1		≤ 0,1
Mem-brană	Pozitia axei membranei față de legătura sa cu obada si butucul		k	≤ 4	≤ 8	≤ 8
	Grosimea legăturii cu obada	m		+2/0	+8/0	+5/0
	Grosimea legăturii cu butucul	n		+2/0	+10/0	+5/0

1) A se vedea ISO 1101

2) Pentru materialul rulant motor, pot fi necesare alte valori in funcție de procedeul de asamblare a roților pe osia axă.

3) A se vedea in F.2 pentru termeni referitori la alezajul butucului.

4) In cazul unei conicități ușoare ce nu depășește toleranțele admise (cel mai mare diametru) trebuie sa fie situat pe partea interioară a roții.

5) Vârful buzei la extremitatea șanfrenului.

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.13/16 Rev.0
---------------------------	--	---

3.8 Dezechilibrul static

Roțile monobloc în stare finisată se echilibrează static. Valoarea dezechilibrului va fi inferioară sau cel mult egală cu limitele date în tabelul 8.

Tabelul 8

Pentru material care circulă la o viteză V km/h	Dezechilibrul rezidual maxim [g.m]	Simbol
$V \leq 120$	≤ 125	E3
$120 < V \leq 200$	≤ 75	E2
$200 < V \leq 250$	≤ 50	E1

Valoarea dezechilibrului static se stabilește prin comandă între beneficiar și executant.

3.9 Protejarea împotriva coroziunii

Protejarea contra coroziunii a roților monobloc în stare semifinisate sau finisate se face prin ungere cu vaselină tehnică STAS 917-84.

Se asigură o protecție contra coroziunii pentru roțile monobloc gata de livrare:

- pe toate părțile roții prelucrate integral, cu excepția suprafeței obadei pe care nu trebuie aplicată nici o protecție.
- pe membrană și butuc neprelucrate pentru celelalte roți.

Măsurarea grosimii se face cu metoda **6 Ba din SR ISO 2808**, sau se stabilește de comun acord între client și furnizor.

Verificarea grosimii de protecție se face cu Elcometru 345.

Cifra de aderență a peliculei este 1 conform **SR ISO 2409 :1995**

3.10. Marcarea

Fiecare roată monobloc se marchează prin poansonare la rece, pe fața laterală interioară a butucului cu următoarele date:

1. marca de fabrică a întreprinderii producătoare;
2. numărul șarjei;
3. marca oțelului și starea metalurgică;
4. luna și ultimele două cifre ale anului de fabricație;
5. poziția dezechilibrului rezidual și simbolul său;
6. numărul roții din șarjă;

Marcarea dezechilibrului static remanent se face pe parte interioară a membranei roții, prin trasarea cu vopsea a unei dungii, în sens radial de cca. 15 mm lățime. În dreptul dungii pe fața interioară laterală a butucului se poansonează simbolul momentului static al dezechilibrului. Este interzisă utilizarea poansoanelor cu muchii ascuțite pentru a nu introduce concentratori de tensiune.

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.14/16 Rev.0
---------------------------	--	---

3.11. Controlul loturilor

Natura si numărul controalelor se fac conform tabelului 9.

Un lot este constituit din roțile provenite din aceeași șarjă și tratate termic in aceleași condiții.

Tabelul 9

Caracteristici de verificat	Număr rotilor din lot supuse controalelor			Referinte
	Calificare (a se vedea E.3.5)	Livrare (a se vedea F.4)		
	≤100	≤250	>250	
Mărimea lotului				
- Compoziția chimică	1	1	1	3.1
- Conținut de hidrogen	1) ¹⁾	1) ¹⁾	1) ¹⁾	2) ²⁾
- Caracteristici la tracțiune				
- obadă	1	1	2	3.2.1
- membrană	1	1	2	3.2.1
- Duritatea in secțiunea obezii	1	1	2	3.2.2
- Duritatea obezii (omogenitatea lotului)	100%	100%	100%	3.3
- Reziliență	1	1	2	3.2.3
- Tenacitate ³⁾	1	1	1	3.2.4
- Omogenitatea tratamentului termic	10% ⁴⁾	-	-	3.3
- Aspect micrografic	1	1	2	3.4.1
- Integritate internă	100%	100%	100%	3.4.2
- obadă	100%	-	-	3.4.2
- butuc	20% ⁵⁾	-	-	3.4.2
- membrană	1	1	2	⁹⁾
- Orientarea tensiunilor reziduale	100%	100%	100%	3.6.1
- Starea suprafeței	100%	100% ⁶⁾	100% ⁶⁾	3.6.2
- Integritatea suprafeței	100% ⁷⁾	100% ⁷⁾	100% ⁷⁾	3.7
- Geometrie și dimensiuni	100%	100%	100%	3.8
- Dezechilibru static :	⁸⁾	-	-	E.2.3
- Încercări complementare				

¹⁾ O analiză pe șarjă. Prelevarea trebuie să facă posibilă asigurarea că conținutul măsurat este reprezentativ pentru conținutul maxim de hidrogen al șarjei.

²⁾ Conținutul de hidrogen trebuie să fie mai mic de 2ppm pentru roți din categoria 1 si 2,5 ppm pentru roți din categoria 2.

³⁾ Roți frânate numai cu saboți.

⁴⁾ Numai roți din categoria 1.

⁵⁾ Dacă pentru un lot, o roată este respinsă această caracteristică se verifică 100% pentru acest lot.

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.15/16 Rev.0
---------------------------	--	---

- ⁶⁾ Prin acord între client și furnizor magnetoscopia poate fi înlocuită printr-un examen vizual
- ⁷⁾ Diametrul cercului de rulare, diametrul alezajului și profilul obezii.
- ⁸⁾ Se definesc în funcție de rezultatele încercărilor de laborator (E.4.4)
- ⁹⁾ E.3.5 pentru calificare și F.4.3 pentru livrare

3.12 Depozitare , manipulare, ambalare,livrare

Depozitarea roților monobloc se face pe suporturi de lemn în locuri special amenajate în hale acoperite. Se va verifica periodic sistemul de protecție anticorozivă.

Se va evita deteriorarea roților monobloc în timpul manipulărilor, folosindu-se dispozitive placate cu tabla de Cu.

Ambalarea roților monobloc se va face conform celor stabilite între furnizor și beneficiar.

Înainte de livrare, roților monobloc li se va aplica protecția anticorozivă finală.

3.13 Documente

Fiecare lot de livrare va fi însoțit de documente de certificare a calității și anume:

- declarația de conformitate
- certificatul de inspecție
- certificat de garanție

În declarația de conformitate se precizează faptul că fabricantul a respectat condițiile tehnice de fabricație specificate în prezenta specificație tehnică – **ST14/SMR-**, elaborată în conformitate cu norma **SR EN 13262+A2:2011 și TSI** și în alte documente specificate în comandă.

Certificatul (raportul) de inspecție în care se specifică faptul că producătorul a efectuat încercările conform condițiilor tehnice specificate în prezenta specificație tehnică și în comandă.

CertIFICATELE de inspecție vor fi semnate de serviciul CTC al producătorului și de reprezentantul beneficiarului final.

SC SMR SA BALS	SPECIFICATIE TEHNICĂ PENTRU ROTI MONOBLOC TIP BA004, FABRICATE DIN OȚEL MARCA ER7 PENTRU MATERIAL RULANT REMORCAT	ST 14 /SMR Pag.15/16 Rev.0
---------------------------	--	---

4.14 Garanție

Termenele de garanție trebuie să fie convenite în comandă între furnizor și utilizator.

Dacă nu se precizează în comandă, roțile monobloc sînt garantate de către furnizor timp de 5 ani împotriva oricărui defect imputabil fabricării și nedezvăluit în timpul controlului în uzină.

Această perioadă se calculează plecînd de la sfîrșitul lunii marcată pe osia-axă.

Termenele de garanție trebuie să fie convenite în comandă între furnizor și utilizator.

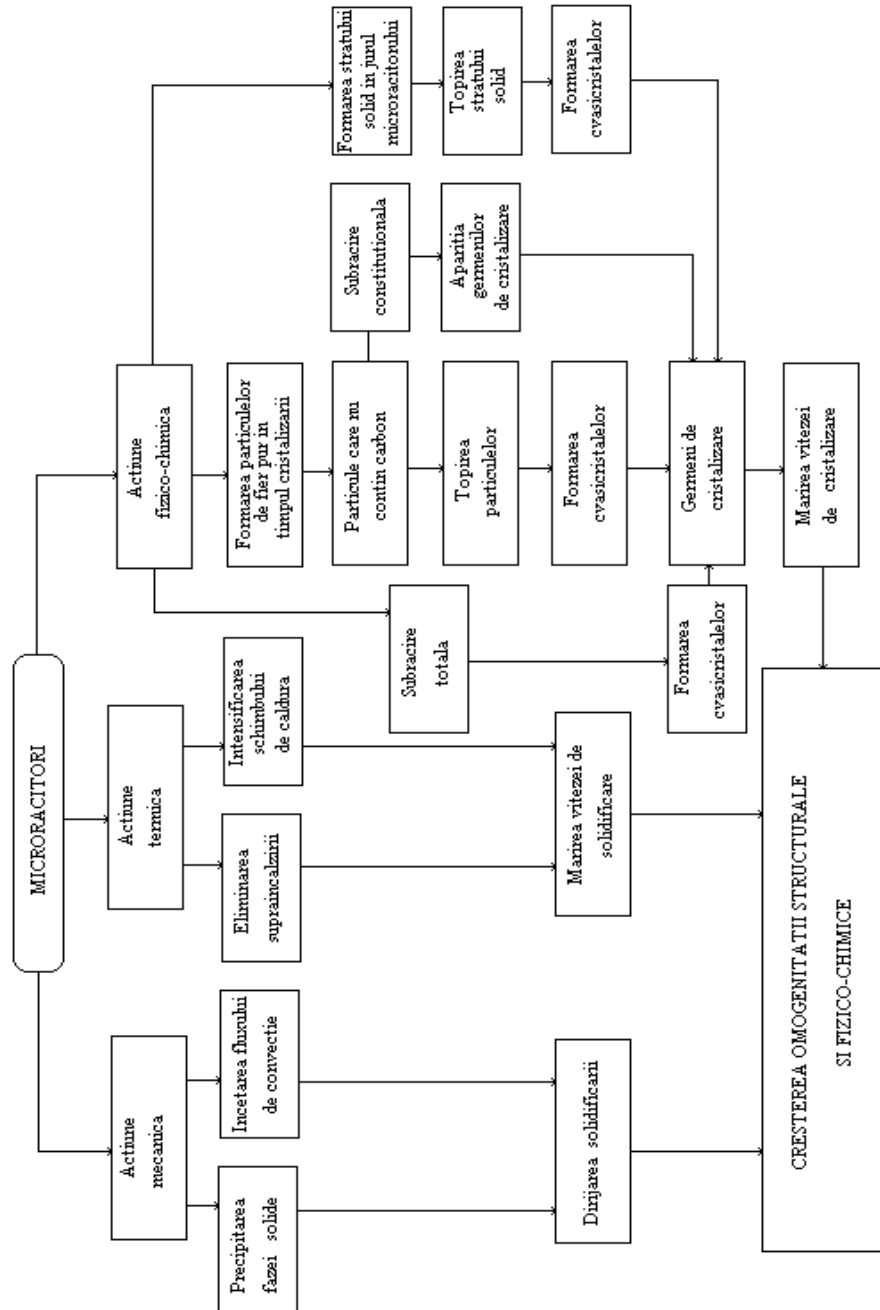
Dacă nu se precizează în comandă, roțile monobloc sînt garantate de către furnizor timp de 5 ani împotriva oricărui defect imputabil fabricării și nedezvăluit în timpul controlului în uzină.

Roata monobloc, care pe timpul garanției, se dovedește purtătoare de defecte care le fac improprie în serviciu sau de natură să diminueze durata de serviciu, se vor refuza. Înainte de a fi definitiv refuzate, roțile monobloc cu defecte se vor supune la un examen contradictoriu între rețeaua client și furnizor dacă acesta o cere. Dacă în urma examenului contradictoriu se confirmă că defectele sînt imputabile furnizorului, roțile monobloc sînt definitiv refuzate; în cazul în care nu se ajunge la un acord, se face apel la experți aprobați de cele două părți pentru a regla litigiul.

Cînd două roți monobloc din aceeași șarjă se fisurează în serviciu în perioada de garanție, se vor retrage toate roțile monobloc provenite din acea șarjă. Roțile monobloc refuzate se țin la dispoziția furnizorului în vederea înlocuirii sau rambursării valorii lor în stare nouă în momentul retragerii.

ANEXA 3

Interacțiunea complexă a microrăcitorilor cu oțelul lichid



ANEXA 4**Tabelul 4.1.A. Compoziția chimică a încărcăturii metalice**

Deșeurii oțel carbon	Compoziția chimică, %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
	0,50 -0,60	0,50 - 0,80	0,17- 37	0,04	0,04	max.0,30	max..0,30	max.0,25

Tabelul 4.2.A. Compoziția chimică a varului (calcinat)

Compoziția chimică, %					
CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Alți oxizi
96,12	0,98	0,61	0,28	0,78	1,17

Tabelul 4.3.A Compoziția chimică TOPEXCA25

Compoziția chimică, %								
Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	C	S
72,51	10,02	12,54	1,01	2,02	0,77	0,20	0,10	0,05

Tabelul 4.4.A. Compoziția chimică a bauxitei

Compoziția chimică, %					
Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	TiO ₂
74,52	11,56	2,55	2,08	6,25	3,04

Tabelul 4.5.A. Feromangan - Compoziția chimică STAS 7436 – 80

Marca	Compoziția chimică. %				
	Mn _{min}	C _{max}	Si _{max}	P _{max}	S _{max}
FeMn5	75	2	2	0,35	0,030

Tabelul 4.6.A. Ferosiliciu - Compoziția chimică STAS 7436 – 80

Marca	Compoziția chimică. %						
	Si	Mn _{max}	Cr _{max}	P _{max}	S _{max}	C _{max}	Al _{max}
FeSi 75	70 -79	0,70	0,40	0,05	0,04	0,10	2,5
FeSi 75	60 - 69	0,90	0,50	0,05	0,04	0,15	2,5

ANEXA 5

Schema elaborării, turnării și adăosului de microrăcitori

Nr. crt	Adaos g/kg	Număr șarjă								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1
1	0	R	R	R	R	R	R	R	R	R
2	1,0	E	E	E	E	E	E	E	E	E
3	1,5	E	E	E	E	E	E	E	E	E
4	2,0	E	E	E	E	E	E	E	E	E
5	2,5	E	E	E	E	E	E	E	E	E
6	3,0	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7	3,5	E	E	E	E	E	E	E	E	E
8	4,0	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Nr.lingouri/șarjă		5	5	5	5	5	5	5	5	4
¹⁾ Nr.ling. E/v.gr.		7	7	7	7	7	7	7	7	7
Total ling.exper.		35								
²⁾ Nr. ling. R/șarjă		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nr.total ling.R		9								
Nr.total ling.E+R		44								
R- lingou de referință; E –lingou experimental; ¹⁾ Număr de lingouri experimentale/varianta granulometrică a microrăcitorilor; ²⁾ Număr de lingouri de referință/șarjă										

ANEXA 6

Tab.6.1.A Analiza chimică și caracteristicile calitative ale oțelului turnat în laborator.

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]					Caracteristici calitative ale oțelului				
	C	Mn	Si	P	S	Rm [daN/mm ²]	Rp _{0,2} [daN/mm ²]	KU ₊₂₀ [J]	KV ₋₂₀ [J]	HB [HB]
1.	0,5	0,60	0,29	0,013	0,019	86	53,2	32	26	268
2.	0,51	0,61	0,31	0,010	0,022	85	53,8	31	26	265
3.	0,52	0,61	0,31	0,011	0,019	86	53,2	32	25	266
4.	0,52	0,62	0,32	0,012	0,021	88	54,2	31	25	269
5.	0,53	0,64	0,35	0,013	0,022	88,5	53	32	26	269
6.	0,54	0,65	0,34	0,012	0,020	89	55	31	25	270
7.	0,54	0,67	0,35	0,014	0,020	86	55	31	24	269
8.	0,55	0,67	0,37	0,016	0,019	87,5	56,50	30	24	269
9.	0,55	0,68	0,33	0,015	0,021	87	57	31	23	268
10.	0,56	0,71	0,35	0,017	0,021	89	56,6	30	25	268
11.	0,57	0,73	0,35	0,013	0,017	91	57	30	24	271
12.	0,58	0,74	0,38	0,017	0,015	91,25	56,25	28	24	271
13.	0,59	0,70	0,39	0,018	0,015	89	58	29	26	272
14.	0,60	0,71	0,61	0,012	0,014	90,25	59	29	23	271
15.	0,62	0,77	0,43	0,019	0,013	90,25	60	26	23	270
16.	0,63	0,80	0,40	0,016	0,013	89	60,75	29	23	272
17.	0,63	0,83	0,41	0,020	0,012	90	60	30	24	270
18.	0,63	0,85	0,44	0,020	0,013	91	58,25	27	22	273
19.	0,64	0,84	0,42	0,021	0,014	89	58,75	29	22	274
20.	0,65	0,82	0,45	0,021	0,011	91	60,25	28	21	274
21.	0,61	0,83	0,42	0,018	0,014	92	58,50	27	23	273
22.	0,61	0,80	0,42	0,019	0,011	90	57,75	30	21	274
23.	0,59	0,65	0,41	0,021	0,012	93	58	29	22	273
24.	0,60	0,68	0,39	0,021	0,011	89	59	27	21	270
25.	0,57	0,70	0,31	0,018	0,013	89	57	28	23	271
26.	0,58	0,69	0,35	0,019	0,014	90	56	28	21	270

Tab.6.2.A. Datele experimentale cu privire la caracteristicile calitative ale oțelului (R_m)

Nr. șarjă	Diametrul mediu al microrăcitorilor d [mm]	Rezistența la tracțiune pentru diferite adaosuri de microrăcitori R_m [daN/mm ²]						
		Adaosul specific de microrăcitori - q, [g/kg]						
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
1	0,6	90,29	92,5	97,5	98	96	96	96
2	0,6	92,5	91,5	96	99	97	95,75	95,35
3	0,6	91	93	97	100	96,12	97	97
4	0,7	91,66	93,25	98,75	100,75	99,25	99,25	96,6
5	0,7	92,29	94,25	100,25	101,75	99,5	98	96,2
6	0,7	92	95	101	100	98,82	97,5	97
7	0,8	93,8	95,06	101,25	102,5	99,47	100,5	98,5
8	0,8	93,5	96,5	101	101,75	101,5	99,75	99,12
9	0,8	93	95,65	101,5	102,5	100,5	99,5	98,29
10	0,9	93,25	94,76	101,25	102,5	100,25	99,25	97,75
11	0,9	92,75	95,4	101	102,25	99,75	99,6	98,75
12	0,9	92,5	96,5	103	102	100,75	98,75	99
13	1	92,35	94,41	100	101	99	97	97
14	1	92,29	96	100,25	100	98	97,75	97,25
15	1	91,12	95	98,5	100,5	98,5	98	96,75

Tab.6.3.A. Datele experimentale cu privire la caracteristicile calitative ale oțelului ($R_{p0,2}$)

Nr. șarjă	Diametrul mediu al microrăcitorilor d [mm]	Limita de curgere pentru diferite adaosuri de microrăcitori $R_{p0,2}$ [daN/mm ²]						
		Adaosul specific de microrăcitori - q, [g/kg]						
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
1	0,6	59	61	62	63,5	63	62	61
2	0,6	60	61,5	63	64	62,48	61,75	61,44
3	0,6	60,5	61,75	64	65	62,75	62,5	61,56
4	0,7	61,5	62,71	65,5	66	65	63	63,35
5	0,7	61	63	66,5	66,5	65,5	63,5	63,6
6	0,7	61,75	62,75	66	67	66	64,5	63,68
7	0,8	63	63,25	67	68	67	65	63
8	0,8	62	64	66,5	68,32	67,47	66	64,56
9	0,8	62,5	63,1	67,5	68,58	66,35	66,75	64,25
10	0,9	62,75	64	68	69	67,75	66,25	65
11	0,9	63	66	68,5	68,5	67,1	66,5	64,75
12	0,9	63,5	65	68,25	68	67	65,75	64,83
13	1	63,25	63	65,5	68,61	66	65,32	64,17
14	1	62,25	64,37	66	68	65,89	65,28	64,28
15	1	62	63,51	67	66	66,25	63,5	63,79

Tab.6.4.A. Datele experimentale cu privire la caracteristicile calitative ale oțelului (KU₊₂₀)

Nr. șarjă	Diametrul mediu al microrăcitorilor d [mm]	Energia specifică de rupere pentru diferite adaosuri de microrăcitori KU ₊₂₀ , [J]						
		Adaosul specific de microrăcitori - q, [g/kg]						
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
1	0,6	33	33,4	33	33	35	35	34
2	0,6	32,41	33,8	34,5	34,5	33,72	33,72	34,5
3	0,6	32,85	32,67	35	36	35	34,55	35
4	0,7	33,8	33,88	36	37	36	36,75	34
5	0,7	33,52	34	36,25	36	35	36	34,5
6	0,7	33,11	33,37	37,25	36,5	35,75	35	35,5
7	0,8	34,36	34,75	38,25	37,89	36,76	37,25	36,5
8	0,8	34	36	36,25	37,5	37	36	37,5
9	0,8	33,77	36,5	37,5	36	36,5	36,25	37
10	0,9	33,88	35,76	36	38	36,25	35	37
11	0,9	34	36	35,5	37	37,03	35,5	35
12	0,9	36	35	36,25	37,84	37	35,75	35,25
13	1	33	35	35	35,8	36	35	35,25
14	1	34	34	37,67	36,42	34,68	35,67	34,25
15	1	33,5	34	35,25	36,5	35,5	36,25	35

Tab.6.5. Datele experimentale cu privire la caracteristicile calitative ale oțelului (KV₋₂₀)

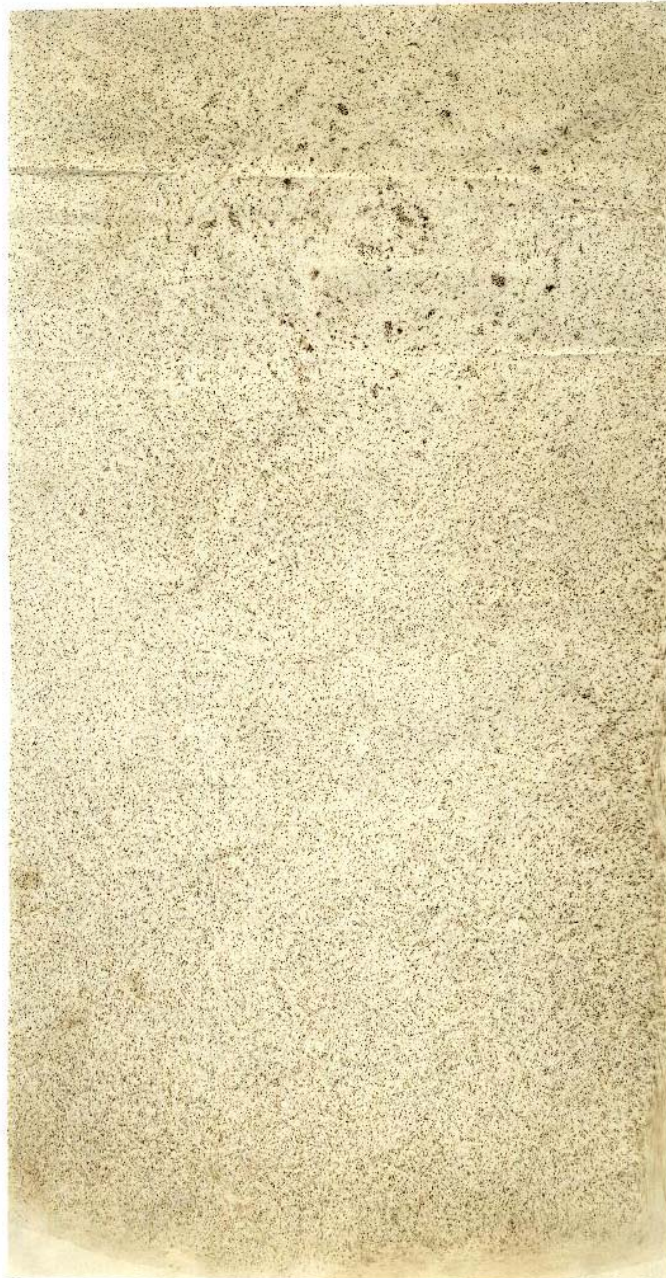
Nr. șarjă	Diametrul mediu al microrăcitorilor d [mm]	Energia specifică de rupere pentru diferite adaosuri de microrăcitori KV ₋₂₀ , [J]						
		Adaosul specific de microrăcitori - q, [g/kg]						
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
1	0,6	25,6	25,75	26	27	27	26,5	26
2	0,6	25	26,25	27	26	26	26	26,5
3	0,6	25,75	26	26	28	26,17	27	27
4	0,7	26	27,25	28,75	29,5	28,5	28	27
5	0,7	26,1	27,5	28,25	29	28	27,5	27,25
6	0,7	26,13	28	27,75	29,25	28,25	27,75	27,5
7	0,8	28	28	28,5	29,83	29	28	28
8	0,8	27,12	28,25	29,25	29	29	29	28,5
9	0,8	26	26	28	28	28	28,75	28,25
10	0,9	28	27	29,5	29	28,5	27,75	26,75
11	0,9	26	27,5	28,75	29,5	28	27,25	27
12	0,9	26,94	26	28	28,75	27,5	27	26,5
13	1	25	26	28	28	27,25	26,5	27
14	1	26,5	26,75	27	27,75	27,5	27	26
15	1	25,5	26	27	27,25	26,72	27,5	26,5

Amprenta Bauman – șaiba 2

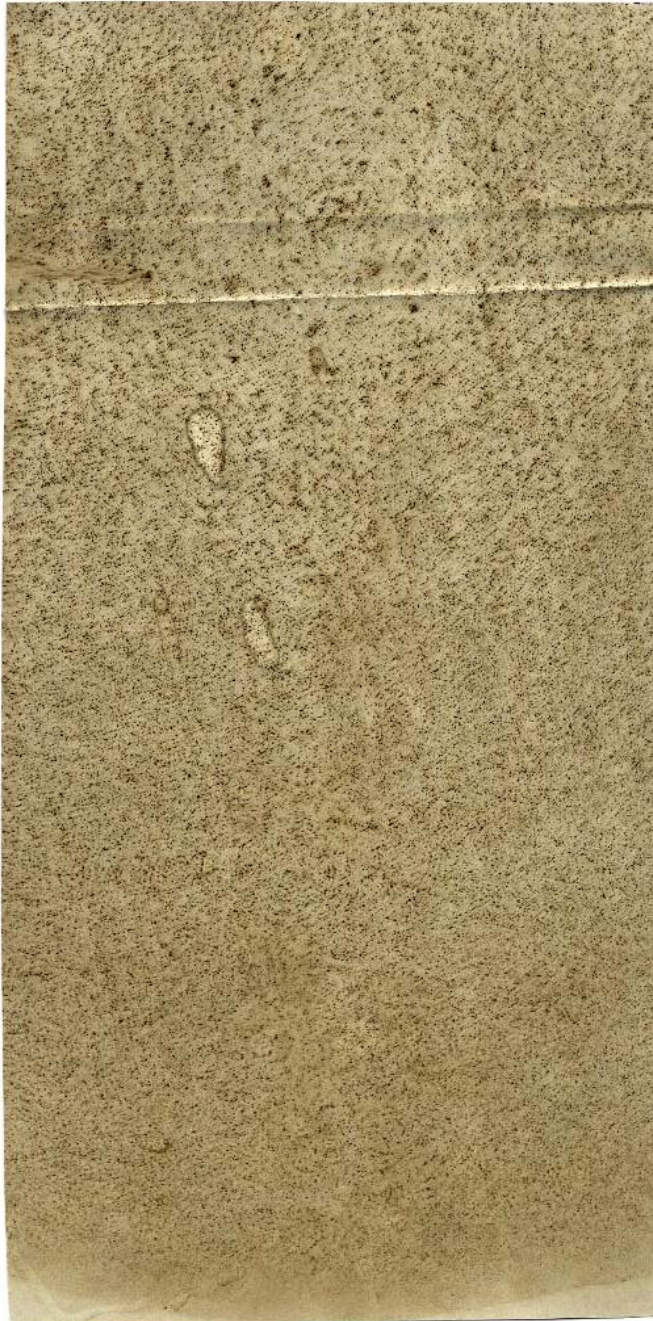


ANEXA 8

Amprenta Bauman – șaiba 3

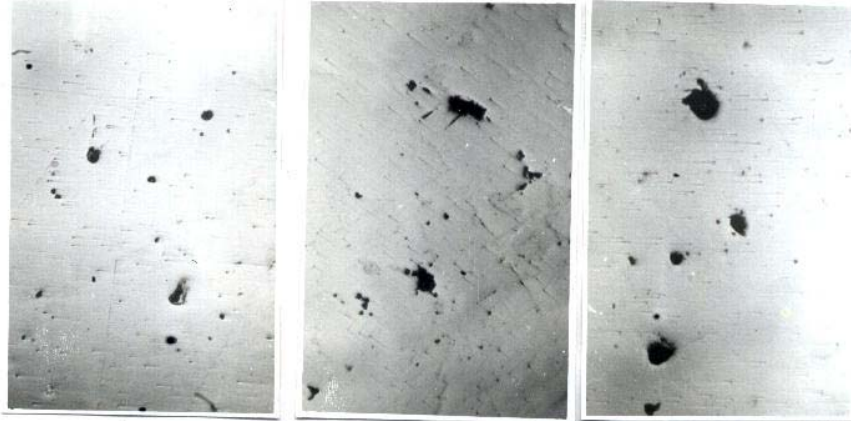


Amprenta Bauman – șaiba 4



ANEXA 10

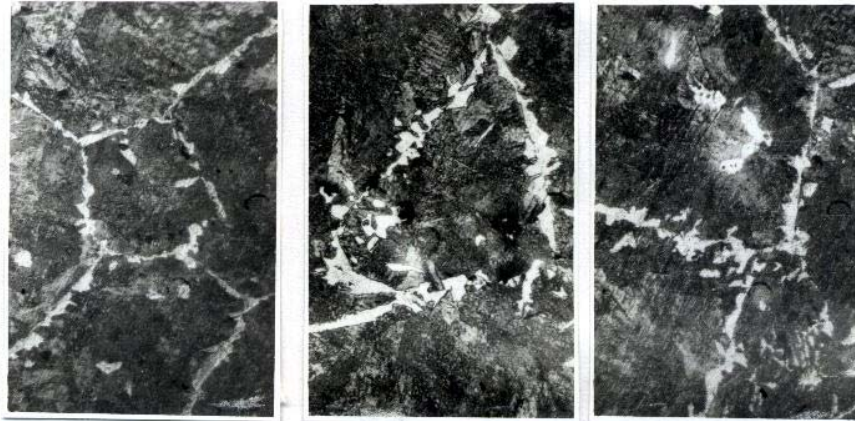
**Microstructura eșantioanelor lingoului experimental,
în stare atacată și neatacată, la mărire 100:1**



1

2

3



1

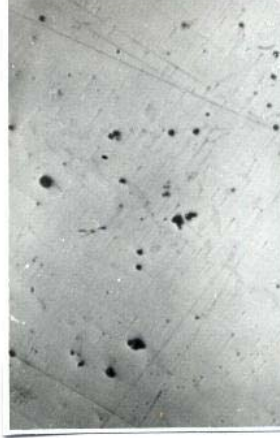
2

3

ANEXA 11

**Microstructura eșantioanelor lingoului de referință,
în stare atacată și neatacată, la mărire 100:1**

6



5



4



6



5



4

ANEXA 12

ASPECTE DIN TIMPUL EXPERIMENTĂRILOR INDUSTRIALE





