

ALIAJE METALICE UTILIZATE PENTRU FABRICAREA JANTELOR DESTINATE AUTOVEHICULELOR RUTIERE

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

ing. Nicoleta Bularda

Conducător științific:
Referenți științifici:

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

Ziua susținerii tezei: 20.02.2015

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | 16. Inginerie și Management |

Universitatea Politehnica 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, 2015

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 Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

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

PREFAȚĂ

Nu se cunosc preocupări în țară privind cercetarea și realizarea de jante din aliaje de aluminiu prin procedeul și procesul tehnologic care au fost preconizate, sau prin alte procedee. Fluxul tehnologic de realizare și verificare a produselor finite este foarte complex, iar condițiile tehnice prevăzute sunt deosebit de stricte, astfel încât sunt dificil de obținut și asigurat cerințele impuse cu tehnologii uzuale.

Cercetările pe plan mondial efectuate în acest domeniu sunt orientate către creșterea caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor de aluminiu prin optimizarea compozițiilor chimice și microalierii, stabilirea de procedee de prelucrări în fază lichidă (rafinare, degazare); stabilirea de procedee și tehnologii de turnare performante; studiul proceselor și stabilirea de procedee și tehnologii avansate de prelucrări fizico-chimice ale suprafețelor, incluzând acoperiri de protecție și decorative cu rezistență ridicată la coroziune și abraziune.

În sensul acestor cerințe, industria actuală s-a văzut pusă în situația de a obține, la prețuri cât mai competitive, aliaje de aluminiu cu caracteristici fizico-mecanice și tehnologice din ce în ce mai restrictive, cerute de exigențele utilizatorilor. Având în vedere cele prezentate mai sus, cercetările efectuate au fost orientate spre îmbunătățirea caracteristicilor calitative a jantelor auto realizate din aliaje de aluminiu.

Prezenta lucrare a fost elaborată sub conducerea domnului Prof.univ.dr.ing. **TEODOR HEPUȚ**, motiv pentru care îi adresez mulțumirile mele pentru îndrumările și exigența științifică manifestată pe toată perioada de desfășurare a stagiului doctoral, precum și pentru analiza atentă a tot ceea ce am realizat în timp. Îi mulțumesc în mod deosebit pentru încredere, încurajări, sprijin și atenția acordată în tot ceea ce am întreprins.

Doamnelor Conf.dr.ing. **Vilceanu Lucia**, Conf.dr.ing. **Socalici Ana Virginia**, și Conf.dr.ing. **Ardelean Erika Diana**, le mulțumesc pentru tot sprijinul, sfaturile, susținerea și prietenia necondiționată primită în orice moment. 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.

Mulțumesc domnului C.S.I.dr.ing. Doru – Romulus PASCU, cercetător principal în cadrul Institutului Național de Cercetare și Încercări Mecanice în Sudură pentru disponibilitatea de care a dat dovadă întotdeauna. Mulțumesc atât dânsului, cât și soției sale, dr.fiz. **Pascu Mihaela** referitor la discuțiile purtate pe marginea tezei.

De asemenea, mulțumesc pe această cale domnilor dr. ing. **Francisc Weber**, șef lucrări dr.ing. **Puțan Vasile** și dr.ing. **Crișan Eugen** pentru sprijinul acordat privind experimentările în fază de laborator și prelucrarea datelor obținute, precum și pentru sfaturile oferite anterior și pe parcursul elaborării prezentei lucrări.

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 și prietenilor care m-au susținut și încurajat pe parcursul acestui proiect.

Vă mulțumesc tuturor!

Ing. Nicoleta Bularda

MULȚUMIRI

Această lucrare a fost finanțată parțial din proiectul strategic POSDRU/159/1.5/S/137070 (2014) al Ministerului Educației Naționale, Romania, co-finanțat din Fondul Social European – Investește în oameni, în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”.

Nicoleta Bularda

ALIAJE METALICE UTILIZATE PENTRU FABRICAREA JANTELOR DESTINATE AUTOVEHICULELOR RUTIERE

Teze de doctorat ale UPT, Seria 11, Nr. 44, ISSN: 1842-785, ISBN: 978-606-554-917-3, Editura Politehnica, 2015, 210 pagini, 191 figuri, 19 tabele.

Cuvinte cheie: jante auto, aliaje de aluminiu, caracteristici calitative, caracteristici mecanice, mărime grăunți, jante forjate, flow forming, air inside technology, recondiționare jante, sudură, aliaje de aluminiu din seria 6xxx.

Rezumat,

Teza de doctorat prezintă o contribuție în domeniul elaborării aliajelor de aluminiu destinate fabricării jantelor auto, în special al aliajului de aluminiu 6082. Tema de cercetare aleasă are un caracter tehnic, iar rezultatele obținute în lucrare pot răspunde unor probleme specifice ale tehnologiilor de fabricație a jantelor din industria autovehiculelor.

Pentru realizarea temei propuse, am plecat de la ideea de reducere a greutateii autovehiculului, mai exact, reducerea greutateii jantelor auto, prin înlocuirea oțelului cu aliaje de aluminiu și cunoscându-se că performanțele jantelor sunt strâns legate de proprietățile mecanice, iar orice modificare a compoziției chimice, în scopul îmbunătățirii structurii aluminiului, trebuie să se regăsească în creșterea valorilor proprietăților mecanice.

S-au avut în vedere principalele aliaje de aluminiu folosite la fabricarea jantelor și s-au determinat caracteristicile fizico-chimice a aliajului de aluminiu 6082 industrial, la temperatura ambiantă. De asemenea, s-a elaborat aliaju de aluminiu 6082 în condiții de laborator, iar lingourile obținute au fost supuse unui tratament de omogenizare la temperatura de 480 °C (470-510 °C), cu timp de menținere de 14h și răcire în curent de aer. Pentru încercări mecanice, probele au fost prelucrate prin forjare, acestea fiind încălzite la 400 °C (360-510 °C). Ulterior, s-a realizat modelarea matematică referitoare la determinarea intervalelor optime de variație a compoziției chimice asupra caracteristicilor calitative și de rezistență, pentru aliajul de aluminiu studiat, atât în fază de laborator, cât și în condiții industriale și determinarea intervalului optim de variație a compoziției chimice, astfel încât să putem obține valori superioare pentru caracteristicile mecanice, atât din punct de vedere calitativ, cât și economic.

Prezenta teză este structurată pe 7 capitole, din care 2 reprezintă o sinteză a informațiilor din literatura de specialitate, referitoare la aliajele metalice utilizate în industria auto, cu precădere la aluminiu și aliajele de aluminiu și în special care sunt aliajele de aluminiu folosite pentru realizarea jantelor auto și care sunt tehnologiile de fabricare a jantelor pentru autovehiculele rutiere și tipurile de jante existente pe piață. Teza de doctorat se finalizează cu capitoul 7, în care se prezintă concluziile finale, contribuții originale și care sunt viitoarele direcții de cercetare.

CUPRINS

	Pag.
Listă de tabele	8
Listă de figuri	9
1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR	13
1.1. Scopul cercetării	13
1.2. Obiectivele cercetării	14
1.3. Strategia cercetării	14
Partea I – ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE PRIVIND FABRICAREA JANTELOR AUTO	
2. STUDIU DOCUMENTAR PRIVIND ALIAJELE PENTRU FABRICAREA JANTELOR AUTO	17
2.1. Considerații generale	17
2.2. Aliaje metalice utilizate în industria auto	18
2.2.1. Clasificarea materialelor și a aliajelor metalice	18
2.2.2. Fonte utilizate în industria auto	20
2.2.3. Oțelurile pentru autoturisme	21
2.2.4. Aluminiul și aliajele sale industriale.....	20
2.2.4.1. <i>Proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale aluminiului</i> ...	24
2.2.4.2. <i>Clasificarea aliajelor de aluminiu</i>	27
2.2.4.3. <i>Aluminiu și aliajele de aluminiu utilizate în industria auto</i>	32
2.2.4.4. <i>Aliaje de aluminiu utilizate pentru fabricarea jantelor</i>	37
2.3. Concluzii	45
3. TEHNOLOGII DE FABRICARE A JANTELOR PENTRU AUTOVEHICULELE RUTIERE	47
3.1. Considerații tehnologice	47
3.2. Tehnologii de fabricare a jantelor din aliaje de aluminiu	48
3.3. Turnarea jantelor	50
3.3.1. Turnarea gravitațională	53
3.3.2. Turnarea centrifugală	54
3.3.3. Turnarea sub presiune	56
3.3.3.1. <i>Turnarea sub presiune joasă</i>	57
3.3.3.2. <i>Turnarea sub presiune înaltă</i>	58
3.4. Forjarea jantelor	58
3.5. Tehnologia de deformare - Flow Forming	60
3.6. Tehnologii de prelucrare mecanică	61
3.7. Finisarea jantelor	62
3.7.1. Anodizarea	62
3.7.2. Tehnologia de acoperire cu pulbere	62
3.8. Considerații privind calitatea jantelor auto	64
3.9. Concluzii	66

PARTEA a II-a - CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII PRIVIND CALITATEA JANTELOR AUTO	
4. EXPERIMENTĂRI PRIVIND PRODUCEREA ALIAJELOR DE ALUMINIU DESTINATE JANTELOR AUTO	69
4.1. Considerații tehnologice	69
4.2. Echipamente utilizate în cadrul experimentărilor în fază de laborator	70
4.3. Procesul tehnologic de elaborare a aliajului de aluminiu	72
4.4. Analiza tehnologică	77
4.5. Prelucrarea datelor experimentale	78
4.5.1. Rezultate obținute la prelucrarea în programul Excel	78
4.5.2. Interpretarea rezultatelor obținute în programul Excel	83
4.5.3. Rezultate obținute la prelucrarea în programul Matlab	84
4.5.3.1. <i>Ecuatiile de corelație între limita de curgere sau rezistența la rupere și elementele de aliere Ti, Si, Mn și Mg</i>	84
4.5.3.2. <i>Ecuatiile de corelație între duritate și elementele de aliere Ti, Si, Mn și Mg</i>	102
4.5.4. Interpretarea rezultatelor obținute în programul Matlab	112
4.6. Concluzii	112
5. CERCETĂRI INDUSTRIALE PRIVIND ELABORAREA ALIAJULUI DE ALUMINIU DESTINAT FABRICĂRII JANTELOR AUTO	113
5.1. Considerații generale	113
5.2. Fluxul tehnologic	113
5.2.1. Elaborarea aliajului de aluminiu 6082	113
5.2.2. Turnarea aliajului de aluminiu	122
5.2.3. Tratamentul termic aplicat aliajelor de aluminiu	128
5.2.4. Analiza rezultatelor tehnologice	128
5.3. Analiza și prelucrarea datelor experimentale	129
5.3.1. Determinarea caracteristicilor calitative	129
5.3.2. Considerații privind prelucrarea datelor experimentale	130
5.3.3. Rezultatele prelucrării datelor privind mărimea grăunților	131
5.3.3.1. <i>Rezultatele prelucrării datelor în programul EXCEL</i>	131
5.3.3.2. <i>Rezultatele prelucrării datelor în programul MATLAB</i>	133
5.3.3.3. <i>Analiza rezultatelor obținute</i>	143
5.3.4. Rezultatele prelucrării datelor privind caracteristicile mecanice ...	143
5.3.4.1. <i>Rezultatele prelucrării datelor în programul EXCEL</i>	143
5.3.4.2. <i>Rezultatele prelucrării datelor în programul MATLAB</i>	150
5.3.4.3. <i>Analiza rezultatelor obținute</i>	169
6. CERCETĂRI PRIVIND RECONDIȚIONAREA PRIN SUDURĂ A JANTELOR DIN ALIAJE DE ALUMINIU	171
6.1. Introducere	171
6.2. Tipuri de procedee de sudare	171
6.3. Procedura experimentală	174
6.4. Rezultate și discuții	175
6.5. Concluzii	178

Partea a III-a - CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE	
7. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE	
CONTINUARE A CERCETĂRILOR	181
7.1. Concluzii finale	181
7.2. Contribuții originale	183
7.3. Direcții de continuare a cercetărilor	184
DISEMINAREA REZULTATELOR	185
Anexe	187
Bibliografie.....	207

Lista de tabele

	pag.
Tabelul 2.1. Categoriile de materiale și utilizări specifice în industria auto	19
Tabelul 2.2. Mărci de oțeluri utilizate în industria auto	23
Tabelul 2.3. Utilizarea aliajelor de aluminiu în industria transporturilor	33
Tabelul 2.4. Aliaje de aluminiu utilizate în industria auto	35
Tabelul 2.5. Compoziția chimică a aliajelor de aluminiu utilizate pentru fabricarea jantelor	37
Tabelul 2.6. Proprietățile aliajelor de aluminiu	38
Tabelul 2.7. Rezumatul reacțiilor în aliajul A356.0	43
Tabelul 4.1. Proprietățile aliajului de aluminiu 6082	69
Tabelul 4.2. Adaosuri de materiale pe durata elaborării turnării	72
Tabelul 4.3. Compoziția chimică a aliajului 6082, (%)	75
Tabelul 4.4. Caracteristici fizico-mecanice șarje, după forjare	76
Tabelul 5.1. Structura încărcăturii	115
Tabelul 5.2. Compoziția chimică a topiturii	120
Tabelul 5.3. Dimensiunile pentru mărirea grăunților și 2Mg/Si	125
Tabelul 5.4. Caracteristicile mecanice pentru fiecare șarjă	130
Tabelul 6.1. Compoziție chimică a aliajul de aluminiu studiat	174
Tabelul 6.2. Parametrii de sudare	175
Tabelul 6.3. Valorile durității HV5	177
Tabelul 2.1.A Stările aliajelor de aluminiu	188

Lista de figuri

	pag.
Fig.2.1. Materiale utilizate în construcția de automobile	18
Fig.2.2. Diagrama de echilibru a sistemului Al-Si	25
Fig.2.3. Aluminiu și aliajele de aluminiu	27
Fig.2.4. Simbolizarea aliajelor de aluminiu de turnătorie	30
Fig.2.5. Clasificarea pe serii industriale a aliajelor de aluminiu deformabile ...	31
Fig.2.6. Diverse piese din aliaje de aluminiului in industria auto	32
Fig.2.7. Diagrama de fază aluminiu-siliciu	39
Fig.2.8. Microstructura aliajului 6082 în stare turnată	41
Fig.2.9. Microstructura aliajului 6082 extrudat si netratat termic	41
Fig.2.10. Microstructura aliajului 6082 în stare călită	42
Fig.2.11. Microstructura în stare ECAP	42
Fig.2.12. Microstructura aliajului 6061	42
Fig.2.13. Microstructura aliajului 6061	43
Fig.2.14. Microstructura aliajului 6061-T6	43
Fig.2.15. Prezentarea spațiului interdendritic în diferite metode de turnare ...	44
Fig.2.16. Microstructura aliajului AlSi11	45
Fig.3.1. Părți componente jantă auto	48
Fig.3.2. Janta dintr-o singură piesă	49
Fig.3.3. Janta din 3 piese	49
Fig.3.4. Jante de aliaj de aluminiu produse prin diferite tehnologii	50
Fig.3.5. Turnarea centrifugă a pieselor	54
Fig.3.6. Schema de calcul pentru determinarea matematică a neuniformității grosimii peretelui	55
Fig.3.7. Schema de principiu a unei instalații TJP	58
Fig.3.8. Schema de principiu a unei instalații de TIP	58
Fig.3.9. Etapele forjării	59
Fig.3.10. Procesul de forjare	59
Fig.3.11. Tehnologia Flow Forming	61
Fig.3.12. Etape în procesul de deformare	61
Fig.3.13. Etape după turnare	66
Fig.4.1. Cuptor cu inducție	70
Fig.4.2. Balanțe	71
Fig.4.3. Cuptoare de topire	71
Fig.4.4. Lingotiere	72
Fig.4.5. Aspecte privind elaborarea și turnarea aliajului de aluminiu	73
Fig.4.6. Aspecte privind evoluția temperaturii pe perioada elaborării și turnării	74
Fig.4.7. Diagrama pentru tratamentul de omogenizare	74
Fig.4.8. Probe forjate și epruvete pentru determinarea caracteristicilor de rezistență	75
Fig.4.9. Elemente prelevate din janta forjată	77
Fig.4.10. Epruvete folosite pentru încercarea la tracțiune și încovoiere prin șoc	77
Fig.4.11. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de siliciu	79
Fig.4.12. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de mangan	79
Fig.4.13. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de magneziu	80
Fig.4.14. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de titan	80
Fig.4.15. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de fier	80
Fig.4.16. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de siliciu	81

Fig.4.17. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de mangan ...	81
Fig.4.18. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de magneziu...	81
Fig.4.19. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de titan	82
Fig.4.20. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de fier	82
Fig.4.21. Variația durtății în funcție de conținutul de siliciu	82
Fig.4.22. Variația durtății în funcție de conținutul de mangan	83
Fig.4.23. Variația durtății în funcție de conținutul de magneziu	83
Fig.4.24. Variația durtății în funcție de conținutul de titan	83
Fig.4.25. $R_{p0,2} = f(Mn, Ti)$, $Si = Si_{med}$	90
Fig.4.26. $R_{p0,2} = f(Si, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$	91
Fig.4.27. $R_{p0,2} = f(Si, Mn)$, $Ti = Ti_{med}$	92
Fig.4.28. $R_m = f(Si, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$	93
Fig.4.29. $R_{p0,2} = f(Mg, Ti)$, $Si = Si_{med}$	94
Fig.4.30. $R_{p0,2} = f(Si, Mg)$, $Ti = Ti_{med}$	95
Fig.4.31. $R_m = f(Mg, Ti)$, $Si = Si_{med}$	96
Fig.4.32. $R_m = f(Si, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$	97
Fig.4.33. $R_m = f(Si, Mg)$, $Ti = Ti_{med}$	98
Fig.4.34. $R_{p0,2} = f(Mg, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$	99
Fig.4.35. $R_{p0,2} = f(Mn, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$	100
Fig.4.36. $R_m = f(Mg, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$	101
Fig.4.37. $HB = f(Si, Mn)$, $Mg = Mg_{med}$	105
Fig.4.38. $HB = f(Mn, Ti)$, $Si = Si_{med}$	106
Fig.4.39. $HB = f(Si, Mn)$, $Ti = Ti_{med}$	107
Fig.4.40. $HB = f(Mg, Ti)$, $Si = Si_{med}$	108
Fig.4.41. $HB = f(Si, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$	109
Fig.4.42. $HB = f(Mg, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$	110
Fig.4.43. $HB = f(Mn, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$	111
Fig.5.1. Cuptor de topire	113
Fig.5.2. Deșeu jante aliaj de aluminiu 6082	114
Fig.5.3. Deșeu aliaj de aluminiu 6061	114
Fig.5.4. Fluxul tehnologic	114
Fig.5.5. Structura procentuală a încărcăturii pe fiecare șarjă	116
Fig.5.6. Limitele de variație a componentelor încărcăturii	116
Fig.5.7. Structura medie a încărcăturii	116
Fig.5.8. Consum specific elemente de aliere	117
Fig.5.9. Adaosurile de feroaliaje pentru șarjele urmărite	117
Fig.5.10. Camerele cuptorului de topire	118
Fig.5.11. Cuptor de menținere	118
Fig.5.12. Etape pregătire probe pentru determinarea compoziției chimice și a grăunților	119
Fig.5.13. Variația conținutului de Si, Mn, Mg, Fe și Cr înainte de adaos	121
Fig.5.14. Variația conținutului de Si, Mn, Mg, Fe și Cr după adaos	121
Fig.5.15. Variația conținutului de Zn, Ti și Pb înainte de adaos	121
Fig.5.16. Variația conținutului de Zn, Ti și Pb după adaos	122
Fig.5.17. Adaos AlTi5B1 / AlTi3B1	122
Fig.5.18. Filtru ceramic	123
Fig.5.19. Inel de grafit	123
Fig.5.20. Masa de turnare	123
Fig.5.21. Bara fără defecte de suprafață	123
Fig.5.22. Bare cu defecte	124
Fig.5.23. Aparatură necesară pentru determinarea dimensiunilor grăunților ...	124

Fig.5.24. Etape pregătire probă pentru determinarea dimensiunilor grăunților ...	124
Fig.5.25. Metoda OPTICAST AB	125
Fig.5.26. Microscop XJP-6A pentru determinare dimensiuni grăunți	125
Fig.5.27. Determinare grăunți pentru probă prelevată din cuptor, pentru șarja 4	126
Fig.5.28. Dimensiuni grăunți probe prelevate pentru șarja 6	126
Fig.5.29. Dimensiuni grăunți probe prelevate pentru șarja 13	126
Fig.5.30. Extragere bare de aluminiu și pregătire pentru tratament termic ...	127
Fig.5.31. Pregătire bare pentru introducere în cuptor	127
Fig.5.32. Debitare capete	127
Fig.5.33. Marcaj bară turnată	127
Fig.5.34. Diagrama tratament de recoacere	128
Fig.5.35. Ieșire bare din cuptor, după tratamentul de recoacere	128
Fig.5.36. Eșantion bară turnată	130
Fig.5.37. Eșantioane din bară pentru epruvete	130
Fig.5.38. Epruvete pentru solicitările mecanice	130
Fig.5.39. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Ti, în cuptor	131
Fig.5.40. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Ti, în masă	131
Fig.5.41. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Mg, în cuptor	132
Fig.5.42. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Mg, în masă	132
Fig.5.43. Variația raportului 2Mg/Si pentru șarjele urmărite	132
Fig.5.44. Variația mărimii grăunților măsurată în masă, în funcție de raportul 2Mg/Si ...	133
Fig.5.45. $MG_m = f(Mg, Mg_2Si), Ti = Ti_{med}, rel. (5.2)$	137
Fig.5.46. $MG_m = f(Ti, Mg_2Si), Mg = Mg_{med}, rel. (5.3)$	138
Fig.5.47. $MG_m = f(Ti, Mg), Mg_2Si = Mg_2Si_{med}, rel. (5.4)$	139
Fig.5.48. $MG_m = f(Mg, Si), Ti = Ti_{med}, rel. (5.14)$	140
Fig.5.49. $MG_m = f(Ti, Si), Mg = Mg_{med}, rel. (5.15)$	141
Fig.5.50. $MG_m = f(Ti, Mg), Si = Si_{med}, rel. (5.16)$	142
Fig.5.51. Variația rezistenței la rupere în funcție de mărimea grăunțului	144
Fig.5.52. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Ti	144
Fig.5.53. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Si	144
Fig.5.54. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Mn	145
Fig.5.55. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Mg	145
Fig.5.56. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Fe	145
Fig.5.57. Variația rezistenței la forfecare în funcție de Mg	146
Fig.5.58. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Ti	146
Fig.5.59. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Si	146
Fig.5.60. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Mn	147
Fig.5.61. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Mg	147
Fig.5.62. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Fe	147
Fig.5.63. Variația energiei de rupere în funcție de conținutul de Ti	148
Fig.5.64. Variația energiei de rupere în funcție de conținutul de Mg	148
Fig.5.65. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Ti	148
Fig.5.66. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Mg	149
Fig.5.67. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Si	149
Fig.5.68. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Mn	149
Fig.5.69. $R_m = f(Ti, Mg), Si = Si_{med}, rel. (5.19)$	155
Fig.5.70. $R_m = f(Ti, Si), Mg = Mg_{med}, rel. (5.20)$	156
Fig.5.71. $R_f = f(Ti, Mg), Si = Si_{med}, rel. (5.24)$	157
Fig.5.72. $R_f = f(Ti, Si), Mg = Mg_{med}, rel. (5.25)$	158
Fig.5.73. $T = f(Ti, Si), Mg = Mg_{med}, rel.(5.24)$	159

Fig.5.74. $T = f(Ti, Mg), Si = Si_{med}$, rel.(5.25)	160
Fig.5.75. $KU = f(Mg, Si), Ti = Ti_{med}$, rel. (5.28)	161
Fig.5.76. $KU = f(Ti, Si), Mg = Mg_{med}$,rel. (5.29)	162
Fig.5.77. $KU = f(Ti, Mg), Si = Si_{med}$, rel. (5.30)	163
Fig.5.78. $HB = f(Mg, Si), Ti = Ti_{med}$, rel. (5.33)	164
Fig.5.79. $HB = f(Ti, Si), Mg = Mg_{med}$, rel. (5.34)	165
Fig.5.80. $HB = f(Si, Mn), Mg = Mg_{med}$, rel. (5.37)	166
Fig.5.81. $HB = f(Mg, Mn), Si = Si_{med}$, rel. (5.38)	167
Fig.5.82. $HB = f(Mg, Si), Mn = Mn_{med}$, rel. (5.39)	168
Fig.6.1. Aspectul jantei rupte (partea exterioară)	174
Fig.6.2. Porțiune din jantă (partea interioară)	174
Fig.6.3. Aspectul probei sudate	175
Fig.6.4. Secțiunea transversală a spirei	176
Fig.6.5. Macrostructura spiței sudate	176
Fig.6.6. Microstructura MB [Atac F1, 100x]	176
Fig.6.7. Microstructură ZIT, [Atac F1, 100x]	176
Fig.6.8. Microstructură SUD, [Atac F1, 100x]	177
Fig.6.9. Variația estimatorului de durificare locală în funcție de zonele caracteristice	178

1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRIILOR ȘI CERCETĂRIILOR

Teza de doctorat prezintă o contribuție în domeniul elaborării aliajelor de aluminiu destinate fabricării jantelor auto, în special al aliajului de aluminiu 6082. Tema de cercetare aleasă are un caracter tehnic, iar rezultatele obținute în lucrare pot răspunde unor probleme specifice ale tehnologiilor de fabricație a jantelor din industria autovehiculelor.

Pentru realizarea lucrării se pleacă de la faptul că, la nivel global se urmărește reducerea emisiilor poluante, aceasta se poate realiza prin reducerea greutateii autovehiculului, prin înlocuirea unor ansamble sau subansamble realizate din materiale metalice, cum este fonta și oțelul, cu altele mai ușoare, cum este aluminiul și magneziul și aliajele acestora sau materiale compozite.

1.1. Scopul cercetării

Noile standarde de eficiență a combustibililor, care intră în vigoare în 2017, necesită pentru producătorii de autovehicule reducerea în greutate a vehiculului, ceea ce poate fi posibilă, în special, prin încorporarea de noi materiale ușoare pentru părți ale caroseriei auto, dar și a componentelor interne. În timp ce materialele ușoare, cum ar fi oțelul de înaltă rezistență și aluminiul sunt susceptibile de a avea o prezență mai mare în autovehicul, materialele ultra-ușoare, cum ar fi fibra de carbon, va câștiga, de asemenea, teren în următorii ani.

Cercetările producătorilor au drept scop de a elimina aproape 30% din greutatea autovehiculului, mai concret, până în 2022, se urmărește reducerea greutateii cu 35% pentru structura caroseriei, 25% pentru șasiu și suspensie și 5% pentru interior. Cum piesele realizate din fibră de carbon sau aliaje de magneziu au un cost ridicat, alternativa o reprezintă aluminiul, care, deși nu este la fel de puternic ca oțelul și nu se poate folosi peste tot în întregul autovehiculului, are un cost de fabricație redus și o greutate mult mai mică, ceea ce-l face un material comun pentru automobilele moderne, el fiind un material foarte practic pentru unele componente auto, cum ar fi piesele de motor, anumite secțiuni ale șasiului, jante, uși și capotă.

Pentru realizarea temei propuse, am plecat de la ideea de reducere a greutateii autovehiculului, mai exact, reducerea greutateii jantelor auto, prin înlocuirea oțelului cu aliaje de aluminiu și cunoscându-se că performanțele jantelor sunt strâns legate de proprietățile mecanice, iar orice modificare a compoziției chimice, în scopul îmbunătățirii structurii aluminiului, trebuie să se regăsească în creșterea valorilor proprietăților mecanice. Se vor efectua studii, cercetări experimentale și prin simulare, precum și prelucrări matematice în vederea determinării variației și a influenței celor mai reprezentative elemente chimice, în funcție de caracteristicile fizico-mecanice, urmărindu-se obținerea unor rezultate cât mai favorabile din punct de vedere tehnico-economic.

Strategia de lucru urmărește abordarea a trei direcții de cercetare:

- determinarea caracteristicilor fizico-chimice a aliajului de aluminiu 6082 industrial, la temperatura ambiantă;
- elaborarea aliajului de aluminiu 6082 în condiții de laborator, iar lingourile obținute vor fi supuse unui tratament de omogenizare la temperatura de 480 °C (470-510 °C), cu timp de menținere de 14h și răcire în curent de

aer. Pentru încercări mecanice, probele vor fi prelucrate prin forjare, acestea fiind încălzite la 400 °C (360-510 °C);

- modelarea matematică referitoare la determinarea intervalelor optime de variație a compoziției chimice asupra caracteristicilor de rezistență, pentru aliajul de aluminiu studiat, atât în fază de laborator, cât și în condiții industriale.

Nu se cunosc preocupări în țară privind cercetarea și realizarea de jante din aliaje de aluminiu prin procedeul și procesul tehnologic care au fost preconizate, sau prin alte procedee. Fluxul tehnologic de realizare și verificare a produselor finite este foarte complex, iar condițiile tehnice prevăzute sunt deosebit de stricte, astfel încât sunt dificil de obținut și asigurat cerințele impuse cu tehnologii uzuale.

Între producătorii europeni de piese din aliaje de aluminiu pentru automobile, având în vedere alinierea la standardele europene de materiale și produse, se menționează firme ca: Pechiney - Franța, British Aluminium Co, Aluminium Rheinfelden GmbH - Germania, etc.

Cercetările pe plan mondial efectuate în acest domeniu sunt orientate către creșterea caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor prin optimizarea compozițiilor chimice și microalierii (ex. cu Sr sau Ti), stabilirea de procedee de prelucrări în fază lichidă (rafinare, degazare); stabilirea de procedee și tehnologii de turnare performante; studiul proceselor și stabilirea de procedee și tehnologii avansate de prelucrări fizico-chimice ale suprafețelor, incluzând acoperiri de protecție și decorative cu rezistență ridicată la coroziune și abraziune [***raport ISIM].

1.2. Obiectivele cercetării

Obiectivele științifice ale tezei sunt strâns legate de direcțiile de cercetare amintite, de cercetarea compoziției, structurii și proprietăților aliajului, și de asemenea, de procesele fizico-chimice, și cuprind:

- stabilirea tehnologiei de elaborare și turnare a aliajului de aluminiu în lingouri;
- obținerea în fază de laborator a lingourilor din aliaj de aluminiu, stabilirea condițiilor și parametrilor pentru tratamentul termic aplicat și deformarea plastică prin forjare a acestora, precum și determinarea caracteristicilor fizico-chimice;
- analiza influenței compoziției chimice asupra caracteristicilor mecanice a aliajului de aluminiu determinat experimental, în fază de laborator;
- stabilirea domeniilor optime de concentrații ale elementelor de aliere și de microalierie ale aliajului în vederea obținerii de caracteristici maxime pentru aliaj și produs;
- stabilirea condițiilor de caracterizare și de testare a aliajului.

1.3. Strategia de cercetare

Strategia de cercetare a constat în parcurgerea următoarelor etape:

- cercetarea documentară cu privire la tipuri de aliaje de aluminiu folosite pentru jantele auto;
- cercetarea documentară cu privire la influența elementelor din compoziția chimică și a elementelor de aliere;
- cercetări și experimentări în fază de laborator;
- cercetări industriale privind elaborarea aliajului de aluminiu;
- contribuții originale.

Prezenta teză este structurată pe 7 capitole, astfel:

În capitolul 1 se prezintă planul de desfășurare a experimentărilor și cercetărilor și modul de lucru.

În capitolul 2 sunt prezentate informațiile preluate din literatura de specialitate specifice, referitoare la aliajele metalice utilizate în industria auto, cu precădere la aluminiu și aliajele de aluminiu și în special care sunt aliajele de aluminiu folosite pentru realizarea jantelor auto.

În capitolul 3 sunt prezentate tehnologiile de fabricare a jantelor pentru autovehiculele rutiere și care sunt tipurile de jante existente pe piață.

În capitolul 4 este prezentat procesul tehnologic de elaborare a aliajului de aluminiu, în fază de laborator. Ulterior, se analizează influența compoziției chimice asupra caracteristicilor mecanice. De asemenea, s-a stabilit tehnologia de tratament termic aplicat.

Pentru realizarea temei s-au elaborat și turnat 18 șarje de aliaj de aluminiu sub formă de lingouri, 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 parametrii dependenți și elementele din compoziția chimică, considerate parametrii independenți, iar rezultatele obținute sunt analizate din punct de vedere matematic și tehnologic, pe baza lor făcându-se aprecieri asupra cercetărilor efectuate.

În capitolul 5 este prezentat fluxul tehnologic de elaborare și turnare pentru aliaje de aluminiu, în cadrul unei uzine producătoare din țară. Pentru realizarea temei s-a luat în considerare un număr de 13 șarje, la care s-a determinat compoziția chimică și caracteristicile mecanice.

Prin prelucrarea datelor experimentale în programul Excel, s-a urmărit obținerea unor corelații între structura procentuală a încărcăturii, structura medie a încărcăturii, consumul specific de elemente de aliere și adaosurile de feroaliaje pentru șarjele urmărite.

În capitolul 6 sunt prezentate câteva date referitoare la recondiționarea jantelor din aliaje de aluminiu prin sudură, tipuri de procedee de sudare utilizate și studierea unei jante obținută prin turnare.

În capitolul 7 se prezintă concluziile finale privind cercetarea efectuată, contribuțiile originale și direcțiile viitoare de cercetare.

PARTEA I

ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE PRIVIND FABRICAREA JANTELOR AUTO

2. STUDIU DOCUMENTAR PRIVIND ALIAJELE PENTRU FABRICAREA JANTELOR AUTO

2.1. Considerații generale

Metalele tehnic pure sunt utilizate în practică datorită unor proprietăți speciale, cum sunt conductibilitatea termică și electrică, rezistența bună la coroziune, stabilitatea la temperaturi înalte, ca de pildă cuprul, aluminiul și argintul pentru conductibilitatea lor termică și electrică mare, molibdenul și wolframul pentru stabilitatea la temperaturi înalte. În practică, cele mai multe metale sunt utilizate sub formă de aliaje, adică materiale metalice rezultate din topirea împreună a unor metale cu metale sau metale cu nemetale (metaloide).

Pentru ca un aliaj să posede proprietăți metalice este necesar să predomine legătura metalică. Pentru ca prin topire să rezulte un aliaj, elementele trebuie să se dizolve complet în stare lichidă, formând o topitură omogenă care, prin solidificare, să dea naștere unui material metalic omogen din punct de vedere microscopic. La scară atomică, toate aliajele sunt eterogene, întrucât sunt alcătuite din cel puțin două feluri (specii) de atomi. Metalele (elementele) care alcătuiesc aliajul poartă numele de *componenti*, iar totalitatea aliajelor formate de către aceiași componentți, formează un *sistem de aliaje* [1].

Dintre aliajele utilizate în construcția autovehiculelor rutiere menționăm: metale și aliaje feroase (fonta, oțelul), neferoase, pulberi metalice și compozite cu componentă metalică [2].

2.2. Aliaje metalice utilizate în industria auto

2.2.1. Clasificarea materialelor și a aliajelor metalice

Cerințele manifestate față de calitatea, costul și performanțele autovehiculelor reprezintă o preocupare continuă pentru specialiști, aceștia urmărind să valorifice în practică invențiile de ultimă oră ale științei, prin elaborarea de tehnologii revoluționare în domeniul metalurgiei metalelor și aliajelor feroase și neferoase, precum și a prelucrării acestora prin procedee neconvenționale, conceperea unor sisteme de proiectare, încercare, reparare și control al producției asistate de calculator.

Prin aplicarea tehnicilor și tehnologiilor moderne la conceperea, fabricarea și testarea autovehiculelor se asigură îmbunătățirea randamentelor motoarelor și transmisiilor, precum și reducerea componentelor poluante din gazele de eșapament.

Industria constructoare de autovehicule este un important consumator de materiale, iar concurența din acest domeniu, precum și cerințele impuse autovehiculelor necesită cunoașterea proprietăților materialelor, dezvoltarea de noi

materiale, tratamente și tehnologii de prelucrare în scopul asigurării cerințelor de exploatare și fiabilității, cu costuri minime.

Gama de produse în industria auto se referă la tehnologii pentru întregul spectru de tratare a suprafețelor decorative și funcționale pentru diferite materiale, inclusiv din oțel, aluminiu sau placare pe plastic.

Pentru a avea succes într-o piață globală, produsele trebuie să îndeplinească normele cele mai stricte și reglementările cu privire la proprietățile produsului și preocupările legate de mediu. Acesta este motivul pentru care industria de automobile se numără printre cei mai exigenți clienți din lume.

Creșterea numărului de vehicule fabricate și implicit a celor scoase din uz impune asigurarea reciclării acestora prin măsuri luate încă din faza de concepție, privind demontarea și tăierea ușoară pe categorii a materialelor și limitarea sau interzicerea utilizării de materiale periculoase precum plumbul, cadmiul, mercurul sau cromul hexavalent.

O tendință ce se manifestă, în domeniul materialelor din care se execută piesele de autovehicule este aceea a înlocuirii fontei cu aluminiul și aliajele sale, masele plastice și materialele compozite, ceea ce face ca, pe viitor, greutatea pieselor produse din aliaje ușoare și materiale plastice să aibă o pondere cât mai mare din greutatea totală a autovehiculului.

Alegerea materialelor și proceselor metalurgice are la bază experiența de realizare de produse similare, promovarea de materiale obținute cu costuri cât mai mici și ușor de procurat, valorificarea maximă a proprietăților tehnologice astfel încât să compenseze eventualele caracteristici mecanice mai scăzute ale materialelor folosite, dotarea și experiența tehnologică a uzinei care va fabrica produsul.

Exigențele crescânde ale materialelor cu destinație tehnică impun utilizarea unei game extrem de diversă de materiale care să asigure fiabilitatea produselor în timpul exploatarei. Clasificarea acestor materiale se face în mod obișnuit după natura și proprietățile acestora, conform schemei prezentate în figura 2.1.

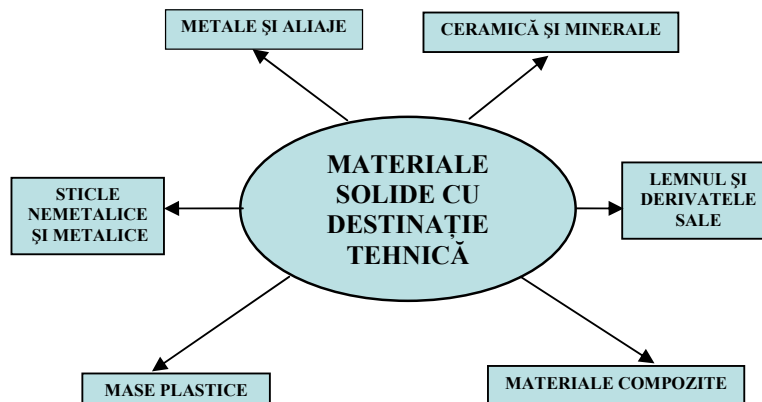


Fig.2.1. Materiale utilizate în construcția de automobile

Ponderea principală în industria constructoare de autoturisme o au materialele metalice, de aici și importanța care trebuie acordată cunoașterii proprietăților lor și a prelucrărilor mecanice, cu scopul de a obține caracteristici de exploatare cu valori cât mai ridicate.

Tabelul 2.1. Categoriile de materiale și utilizări specifice în industria auto, [3].

Nr. Crt.	Materialul	Utilizări	Pondere pe auto, % din greutate
A	Metale și aliaje		
A1	Aliaje feroase		
	Fonte albe	Bloc motor	
	Fonte pestițe	Axe cu came	
	Fonte cenușii	Carter cilindrii, cilindrii, arbore cotit, discuri tamburi de frână	4-8
	Fonte maleabile		
	Oțeluri carbon	Caroserii	30-40
A2	Oțeluri aliate	Pinioane, arbori, coroane cutii de viteze, transmisii, suspensii, sistemul de direcție, organe de asamblare	20-30
	Aliaje neferoase ușoare		
A2	Aluminiu siliciu, Aluminiu cupru	Pistoane, chiulasa, jante, etrier, cartere cutii de viteze	2-3
A3	Aliaje neferoase grele		
	Pe bază de cupru, bronzuri, alame	Lagăre, bucși, instalația electrică	1
	Pe bază de plumb, staniu, stibiu	Cuzineți	
B	Materiale ceramice		
	Pe bază de oxid de aluminiu		
	Pe bază de bioxid de siliciu, sticle și silicați	Parbriz, lunetă, geamuri laterale	2-4
C	Polimeri		
	Poliетенă de joasă și înaltă densitate	Tubulaturi de climatizare, vase de degajare	1
	Polipropilenă (modificată cu EPDM)	Bare parașoc, panouri de uși, planșe bord	
	Poliamide		
	Cauciuc		
	Spume poliuretanic		
	Spume rigide		
D	Fluide auto		
	Lichid de frână	Lichid hidraulic în sistemul de frânare	0,5 l / auto
	Lichid antigel	Lichid de răcire motor	6 l / auto
	Lubrifianti	Ungere motor, cutie de viteze, diferențial	5-8 l / auto
	Unsori	Mecanisme, caseta de direcție, rotule, etc.	1 kg / auto

2.2.2. Fonte utilizate în industria auto

Principalele tipuri de fonte utilizate pentru fabricarea de piese auto se pot clasifica astfel:

După tipul de grafit: - fonte cu grafit lamelar;
- fonte cu grafit nodular.

După utilizare: - fonte de uz general;
- fonte pentru utilizări specifice, adaptate unor familii de piese.

Principalele tipuri de fonte utilizate pentru fabricarea de piese auto sunt definite de:

- tipul de grafit;
- natura matricei metalice;
- caracteristicile mecanice obținute pe epruvete;
- caracteristicile corespunzătoare piesei finite;
- compoziția chimică.

Pentru fontele cu grafit lamelar de uz curent compoziția chimică este informativă. Conținutul în sulf și fosfor este însă impus. Pentru fontele cu grafit lamelar specifice, compoziția chimică este obligatoriu a fi cunoscută.

Carbonul echivalent se determină cu relația:

$$C_{eq} = C + (Si + P)/3 \quad (2.1)$$

Un carbon echivalent ridicat, conduce la grafit grosier și caracteristici mecanice scăzute, în timp ce un carbon echivalent scăzut conduce la risc de apariție a cementitei favorizând fragilitatea și apar dificultăți de prelucrare.

Caracteristicile mecanice pe epruvete turnate sunt specifice pentru diferitele tipuri de fonte. Astfel, se determină duritatea, rezistența la rupere, alungirea (pentru fontele cu grafit nodular), rezistența la încovoiere și încovoiere prin șoc (pentru fontele cu grafit nodular).

Pentru piese, din punct de vedere al structurii metalografice, grafitul și matricea de bază sunt impuse.

Pentru grafit se determină:

- forma, de la lamelar, forme intermediare, grafit de recoacere și nodular;
- distribuția, omogenă, în rozetă, neomogenă, interdendritică;
- dimensiunea lamelilor, în mm;
- mărimea și distribuția grafitului nodular.
- Pentru structură se determină:
 - masa de bază, ferită, perlită, sorbită;
 - procentul de faze;
 - cementita liberă, eutecticul fosforos.

Fontele cu grafit lamelar de uz general se utilizează pentru carterul cilindrilor, capace palier sau volant. Masa de bază este perlitică cu ferită până la 15%. Duritatea este în funcție de grosimea peretelui variind între 170 și 255 HB, iar rezistența la rupere între 180 – 250 N/mm².

În categoria fontelor cu grafit lamelar pentru utilizări specifice intră fonta pentru arbori cu came, călită superficial cu răcitori, fontele de frecare pentru discuri și tamburi de frână, fontele de frecare turnate centrifugal pentru cămăși cilindru, fonte cu înaltă rezistență la cald, bainitice, pentru scaune de supapă. Caracteristicile specifice pentru aceste categorii de fonte se obțin prin controlul compoziției chimice a elementelor de aliere ca Cr, Mo, Cu, W și prin tratamente termice aplicate pieselor. Caracteristicile mecanice sunt superioare fontelor de uz general[3].

Fontele maleabile, feritice, perlitice sau sorbitice se utilizează pentru: cutii de diferențial, butuci, tamburi, prezentând caracteristici mecanice ridicate, apropiate de oțeluri: rezistența la rupere de la 340 – 640 MPa și alungire de 10 – 30%.

Fontele cu grafit nodular se utilizează pentru piese cu caracteristici deosebite ca: arbori cotiți, furci pentru cutii de viteze, piese care au și tratamente superficiale. Acestea prezintă grafit nodular peste 85%, structură perlitică, cu ferită sub 25%, caracteristici mecanice ridicate (duritate 241 – 285 HB), rezistența la rupere peste 740 N/mm². Alte categorii speciale de fonte cu grafit nodular sunt feritice, cu duritate 190 – 240 HB, aliate cu Si, Mo, respectiv austenitice, aliate cu Ni 20 – 35%, utilizate pentru colectori de evacuare [4].

2.2.3. Oțelurile pentru autoturisme

Sunt oțeluri carbon de calitate superioară, care nu se calmează cu titan, iar la oțelurile resulfurate, conținutul de sulf trebuie să fie de maxim 0,02% - 0,025%.

Utilizarea de noi oțeluri, reprezentând componente forjate în industria automobilelor, necesită o înțelegere completă a cerințelor de proiectare și a proprietăților materialelor. Oțelurile carbon, oțelurile aliate, cât și oțelurile microaliate sunt utilizate pentru obținerea pieselor deformate plastic pentru un mare număr de repere destinate industriei auto, pentru motoare și subansamble navale, componente ale instalațiilor de foraj, etc.

Componentele automobilelor sunt permanent re-proiectate în vederea îmbunătățirii eficienței și a performanțelor. În atingerea acestor deziderate, se proiectează automobile mai ușoare, cu motoare, sisteme de transmisie și suspensii cu performanțe ridicate. Astfel, oțelurile microaliate forjate sunt utilizate la fabricarea arborilor cotiți, bielelor, suspensiilor și a componentelor din sistemul de direcție.

Este necesar ca oțelurile utilizate pentru piese forjate să îndeplinească anumite cerințe specifice privind forjabilitatea și prelucrabilitatea, în vederea producerii de piese de o calitate superioară și la un cost acceptabil. Proprietățile mecanice specifice trebuie să includă și o bună rezistență la oboseală în zona razelor de racordare, o duritate ridicată în zonele de amplasare a rulmenților pentru a preveni uzura abrazivă, precum și rezistență la forțe de contact ridicate. Folosirea mai intensă a oțelurilor microaliate forjate este determinată de îmbunătățirea tuturor acestor proprietăți [5].

Componentele utilizate pentru autoturisme sunt realizate de regulă din oțeluri de mare rezistență, care posedă și caracteristici de tenacitate ridicată în domeniul de utilizare -25°C ÷ 100°C. Piesele care fac parte din ansamblul motor, de exemplu, sunt solicitate atât la eforturi de uzură și oboseală, cât și la tensiuni care rezultă din expunerea îndelungată la temperaturi ridicate și medii corozive.

În general, datorită condițiilor funcționale specifice domeniului, marea majoritate a pieselor care intră în componența automobilelor trebuie să aibă, pe lângă o înaltă rezistență la uzură și o înaltă rezistență la sarcini dinamice, adică, o tenacitate ridicată. Această cerință derivă din caracterul variabil al solicitărilor la care sunt supuse principalele componente (roți dințate, arbori cu came, arbori cotiți, came, role, tiranți, bolțuri, biele, bare de legătură etc.). De asemenea, materialele utilizate trebuie să aibă o rezistență mecanică înaltă pentru a permite proiectanților să realizeze piese cu masă cât mai redusă. Din acest punct de vedere, deși s-a urmărit înlocuirea oțelurilor cu materiale mai performante (aliaje ușoare, materiale compozite), se apreciază că oțelurile de înaltă rezistență (High-Strength - Low Alloy Steels (HSLA)) reprezintă principala alegere privind fabricarea componentelor pentru automobile [6].

În ultimele două decenii, microalierea oțelurilor carbon cu mici cantități (de regulă, sub 0,1%) de elemente cu afinitate foarte ridicată față de carbon și azot, cum sunt Nb, Ti și V, au condus la o îmbunătățire semnificativă a proprietăților mecanice ale acestora [7]. Microalierea cu astfel de elemente permite obținerea unei rezistențe mecanice și a unei bune tenacități la costuri reduse în comparație cu oțelurile aliate obișnuite. Microalierea cu Nb, Ti sau V a oțelurilor pentru aplicații în industria auto permite obținerea unor precipitate de carburi, carbonitruri sau nitruri foarte stabile ale acestor elemente în matricea de bază feritică, fin dispersate pe limitele de grăunte sau în corpul grăuntelui. Rolul acestor particule disperse este de a opri procesul de creștere a grăuntelui de austenită și de a frâna deplasarea dislocațiilor. Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice este rezultatul mai multor factori, dintre care, cei mai importanți sunt următorii:

- finisarea granulației și formarea unei substructuri fine de subgrăunți de ferită;
- creșterea rezistenței feritei prin formarea de precipitate foarte fine de carburi, nitruri și/sau carbonitruri ale elementelor de microaliere în timpul transformării austenitei la răcire și al răcirii ulterioare a feritei.

În tabelul 2.2. se prezintă diferite mărci de oțeluri cu aplicabilitate în industria auto, precum și tratamente termice/ termochimice aplicate acestor oțeluri.

2.2.4. Alumiul și aliajele sale industriale

Alumiul este cel mai răspândit metal în scoarța terestră (ponderea fiind de 7,5%), nu se găsește în formă pură, ci doar în combinație cu alte elemente, de regulă sub formă de oxid. Cel mai răspândit minereu de alumiul este bauxita, iar extragerea acestuia se face cu consum mare de energie. Datorită avantajelor tehnice legate de greutatea specifică mică, conductibilitatea termică, conductibilitate electrică și rezistența la coroziune ridicate, etc., alumiul ocupă în prezent primul loc în producția mondială a metalelor neferoase.

Alumiul aparține grupei a III-a a sistemului periodic fiind, datorită răspândirii sale în natură și al proprietăților sale deosebite, al doilea element, după fier, ca utilizare în tehnică. Industrial, se obține prin descompunerea electrolică a aluminei dizolvată în criolit topit (Na_3AlF_6), fiind un proces puternic energofag ceea ce mai diminuează din avansul luat în fața altor materiale neferoase (de exemplu titan). Este un metal rezistent la coroziune, cu plasticitate ridicată și densitate mică ($2,7 \text{ g/cm}^3$). Are temperatura de topire scăzută ($660,6 \text{ }^\circ\text{C}$), ceea ce ușurează procesul de aliere, prezentând relativ puține impurități nocive și din acest motiv se poate să se obțină metalul ultrapur ($<0,001 \text{ } \%$ impurități) ce se folosește în tehnica semiconductorilor.

Alierea are ca scop principal, îmbunătățirea proprietăților de rezistență (limita de curgere, rezistența la rupere, rezistența la încovoiere prin șoc, la forfecare, la oboseală, duritatea, etc) care ajung la valori similare oțelurilor; alierea micșorează însă plasticitatea și conductibilitatea electrică, motiv pentru care alegerea unui aliaj, presupune un compromis între proprietățile care se exclud.

Tabelul 2.2. Mărci de oțeluri utilizate în industria auto

Nr. crt.	Marca oțelului	STAS	Principalele domenii de utilizare	Tratament termic/termochimic
1	13MoCr11	SR EN 10.084-2008	Pivoți suspensii, rotule de direcție	Carburare/călire ulei
2	17MoCr11	STAS 11500/2-89	Coroane dințate pentru cutii de viteză, tripode transmisii, pinioane, port-fuzete, fuzete roți, cremaliere și pinioanele cremalierelor	Carburare/călire ulei
3	19MoCr11	STAS 11500/2-89	Pinioane de atac pentru cutii de viteză, diverse axe	Carburare/călire ulei
4	28MoCr11	STAS 11500/2-89	Arbore leaia pentru transmisii	Carbonitrurare, călire ulei
	31MoCr11	STAS 11500/2-89	Trenuri pentru cutii de viteză, pinioane, arbori	Carbonitrurare, călire ulei
6	32Cr10	STAS 11500/2-89	Prezoane pentru roți, axe, capete cremalieră, pinioane pentru cutii de viteză	Carbonitrurare, călire ulei
7	33MoCr11	STAS 11500/2-89	Arbore cotit, pinioane, bieie, butuci pentru roți, piese diverse forjate	Carbonitrurare, călire ulei
8	34MoCrNi40	STAS 11500/2-89	Supape admisie	Îmbunătățire
9	37Cr5	STAS 11500/2-89	Biele motor, capace bieie, fuzete	Îmbunătățire
10	37Cr10	STAS 11500/2-89	Butuci pentru roți, axe și pinioane balador pentru cutii de viteză, pivoți suspensii, rotule direcție	Îmbunătățire
11	OLC38	STAS 11500/2-89	Coroane demaror pentru motor	Îmbunătățire
12	OLC38B	STAS 11500/2-89	Axe braț pentru punți	Îmbunătățire
13	OLC43	STAS 11500/2-89	Tacheți motor, Corp rotulă suspensie, leaia transmisie	Îmbunătățire
14	60CrMnSi17A	STAS 11500/2-89	Arcuri suspensie, bare anti-ruliu	Călire ulei, revenire aer

2.2.4.1. Proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale aluminiului

Aluminiul este un metal ușor, moale, durabil, ductil și maleabil, cu aspect variind de la argintiu la gri mat, în funcție de rugozitatea suprafeței. Cristalizează cu celula cristalină elementară de cub cu fețe centrate, este nemagnetic și nu se aprinde cu ușurință, are densitatea de $2,7\text{g/cm}^3$, deci aproximativ o treime din densitatea ($7,86/2,7 = 2,91$) și rigiditatea oțelului. Densitatea aluminiului variază în funcție de puritate și temperatură. Pentru a calcula densitatea aluminiului lichid se

poate folosi formula:

$$\rho_{Al} = 2,382 - 0,000273 (t - 660) \quad (2.2)$$

în care t este temperatura, în °C.

Căldura masică crește cu temperatura conform formulei:

$$C_m = 0,2220 + 0,0000772 t \quad (2.3)$$

Conductibilitatea termică scade cu puritatea și crește cu temperatura, iar dilatarea liniară crește cu temperatura pentru același grad de puritate. Rezistivitatea electrică scade pe măsura creșterii purității și crește cu gradul de ecruisare. Coeficientul de temperatura al rezistivității electrice este 0,0042. Puterea de reflexie a aluminiului în ultraviolet este între 20 - 85 %, în lumina albă 75 - 90 %, iar în infraroșu 90 - 98 %. Puterea de emisie scade pe măsura creșterii gradului de polarizare și crește cu temperatura.

Aluminiul este ușor de prelucrat atât prin turnare, cât și prin deformare plastică (laminare, forjare, extrudare, tragere, trefilare, matrițare, etc). Aluminiul este, teoretic, 100% reciclabil, fără nici o pierdere a calităților sale naturale.

Aluminiul și aliajele sale au o bună comportare la sudare, care este determinată de tehnologia de elaborare și turnare, de modul de prelucrare, de tratamentul termic care trebuie aplicat pieselor sudate și de concepția /proiectarea pieselor (structurilor) sudate din aceste aliaje.

Întocmirea specificațiilor procedurilor de sudare respectiv calificarea procedurilor de sudare, trebuie făcute de inginerul sudor, după cunoașterea „istoriei metalurgice” a piesei și după studierea proprietăților fizice și mecanice, a compoziției chimice, respectiv a structurii metalografice a aliajului în cauză.

Sudarea aliajelor de aluminiu este dificilă, datorita prezenței oxidului de aluminiu (Al_2O_3), care are punctul de topire ridicat (2050 °C), mult mai mare decât cel al aliajelor de aluminiu. La sudarea aluminiului și a aliajelor sale se folosește cel mai des, procedeul WIG (wolfram inert gaz)/TIG (tungsten inert gaz), în special la piesele cu grosimi mici, [8].

Prin procedeul WIG se realizează topirea celor două componente ce urmează a fi sudate. Eventual, în unele cazuri, este necesară folosirea unui material de adaos pentru a realiza o îmbinare cu geometrie și caracteristici mecanice mai bune. Avantajul procedeului WIG constă în faptul că poate fi folosit la majoritatea materialelor sudabile (oțelurile carbon și aliate, aluminiul, cuprul, nichelul și aliajele acestora), precum și în unele cazuri mai speciale, pentru sudarea materialelor cu afinitate mare la gaze ca titanul, tantalul și zirconiu [9].

Procedeul WIG este potrivit sudării aluminiului și aliajelor sale, dar anumite caracteristici ale materialului trebuie luate în considerare, dacă se dorește obținerea unei suduri calitativ superioare. Datorită faptului că multe aliaje de aluminiu nu sunt destul de rezistente în starea semi-solidă, imediat după sudură, vor apărea degradări, de tipul fisurilor. Pentru a preveni acest lucru este necesară alegerea cu grijă a materialului de adaos, care trebuie să fie din punct de vedere compozițional, mai aliat decât metalul de bază [10].

Jantele din aliaj de aluminiu prezintă avantajul că sunt ușoare și estetice. Dezavantajul este că, în urma unui impact necontrolat, pot apărea fisuri sau ruperi, care pot fi remediate prin diferite procedee de sudare, urmărindu-se, păstrarea caracteristicilor tehnice inițiale [11].

Proprietățile aluminiului care influențează defavorabil sudabilitatea sunt:

- conductibilitatea termică ridicată (273W/m K); deși temperatura de topire a aluminiului este redusă ($660,6\text{ }^\circ\text{C}$), preîncălzirea întregii piese se face la temperaturii ridicate;
- coeficientul mare de dilatare termica liniară ($23,41 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$); determină producerea de tensiunii permanente și deformații mari;
- la încălzire, nu se schimbă culoarea, astfel că, la sudare nu se poate aprecia vizual gradul de încălzire, iar dificultatea crește și datorită faptului că aluminiul se topește în mod brusc;
- fragilitate la temperaturi înalte; deformarea și fisurarea pereților este preîntâmpinată prin fixarea piesei pe suporturi cât mai exact;
- în stare lichidă, absoarbe oxigenul și reduce rezistența îmbinării sudate;
- oxidul de aluminiu având punctul de topire ridicat (2050°C) formează o crustă solidă care împiedică sudarea; îndepărtarea oxidului se poate realiza pe cale chimică prin utilizarea unor fluxuri, care formează cu oxidul, o zgură ușor fuzibilă și care protejează metalul topit.

Proprietățile fizice și caracteristicile mecanice ale diferitelor sorturi de aluminiu sunt influențate de prezența impurităților. Cea mai frecventă impuritate din aluminiu sunt fierul, element care se poate găsi până la 0,5-0,6%. Eutecticul din sistemul Al-Si se formează la 11,7% Si și este alcătuit din soluție solidă α și siliciu (fig.2.2), [12].

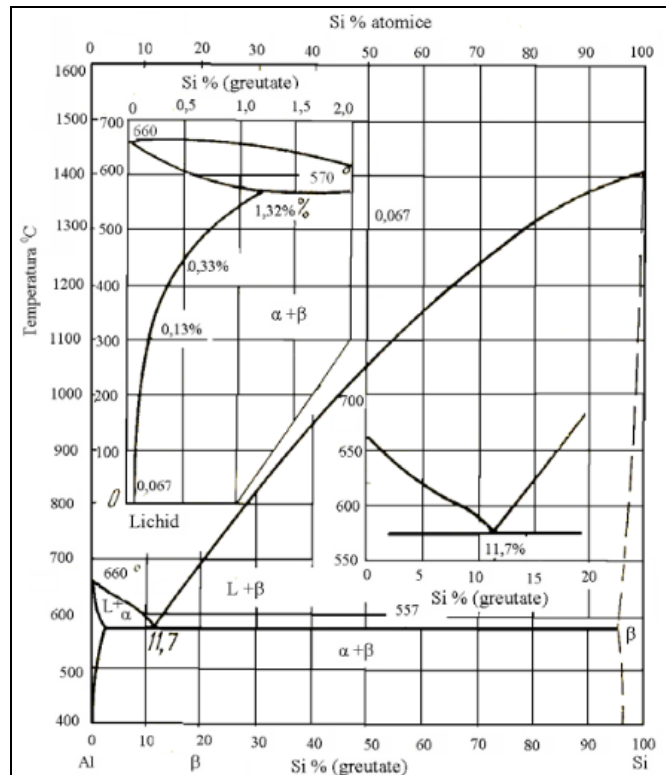


Fig.2.2. Diagrama de echilibru a sistemului Al-Si

Fierul este practic insolubil în aluminiu, formând cu acesta eutecticul Al-Al₃Fe care conține doar 7% Al₃Fe (1,7%Fe), care este dur și scade plasticitatea. Ca urmare, aluminiul impurificat cu fier prezintă un aspect microscopic format din cristale poliedrice de aluminiu și precipitate aciculare de Al₃Fe.

Dacă în același timp sunt prezente simultan fierul și siliciul, se formează două faze noi: faza α (Fe₃SiAl₃) și faza β (FeSiAl₅), care nu există în aliaje binare. Acești compuși, situați în mod obișnuit la limitele cristalelor de aluminiu micșorează mult plasticitatea acestuia.

Cuprul îmbunătățește proprietățile de rezistență mecanică, însă scade proprietățile de turnare întrucât are o tendință de segregare puternică.

Magneziul și manganul au influență pozitivă asupra rezistenței mecanice și rezistenței la coroziune și influență negativă asupra proprietăților de turnare prin segregare, tendința de finisare și fluiditatea.

Zincul înrăutățește proprietățile de turnare și rezistența la coroziune, însă crește rezistența mecanică și prelucrabilitatea.

Nichelul are efecte pozitive asupra proprietăților mecanice, de refractaritate și de coroziune.

Titanul, zirconiu, borul și beriliul sunt elemente care finisează structura și conduc la îmbunătățirea proprietăților mecanice.

În industria de automobile, aliajele de aluminiu se folosesc sub formă de piese turnate, forjate sau matrijate, semiproduse obținute prin deformare, table, profile, bare etc. și au la bază următoarele sisteme:

- Al-Si hipoeutectice, eutectice și hipereutectice cu adaosuri de bor, beriliu, titan, mangan, cadmiu, zirconiu;
- Al-Si-Mg, Al-Si-Cu cu adaosuri de mangan, beriliu, cadmiu, molibden, titan, crom, zirconiu;
- Al-Cu-Mg cu adaosuri de litiu, cadmiu, nichel, titan;
- Al-Mg și Al-Mg-Zn cu adaosuri de mangan, crom, beriliu;
- Al-Si-Mg cu mici adaosuri de cupru, mangan, crom, cu limitarea conținutului de fier și siliciu.

Se recomandă ca la proiectare, alegerea materialelor metalice pe bază de aluminiu pentru diferite scopuri, să se aibă în vedere următoarele:

- solicitările la care este supus materialul metalic în timpul exploatarei și mediul în care lucrează;
- proprietățile care se pot realiza în funcție de puritatea materialelor care compun încărcătura, performanțele agregatelor și utilajelor de elaborare, turnare și prelucrare;
- posibilitățile de îmbunătățire a proprietăților prin tratament termic și modul de prelucrare;
- factorii de economicitate și productivitate [4].

Impuritățile din aluminiu au acțiune directă asupra proprietăților fizice și se pot grupa în mai multe categorii:

- insolubile, care formează eutectice ușor fuzibile;
- insolubile în aluminiu, care formează compuși greu fuzibili;
- parțial solubile în aluminiu;
- care reacționează chimic formând compuși definiți, ușor fuzibili;
- provenite din gaze.

Impuritățile care formează compuși greu fuzibili duc la fragilizare și ca atare trebuie evitate în aliajele turnate (arsen, stibiu, seleniu).

Dintre gaze, cel mai dăunător este hidrogenul. Solubilitatea hidrogenului este determinată de temperatură, presiune, puritate, dar și de conținutul de

hidrogen din atmosfera de contact în timpul elaborării.

Aliajele de aluminiu de turnătorie, din punct de vedere compozițional, au o cantitate mai mare de elemente de aliere care formează de obicei eutectice binare sau mai complexe, ce conțin faze secundare ale elementelor de aliere formate cu aluminiul sau între ele, de tipul compușilor, a căror plasticitate scăzută este deja acceptată. Cele mai răspândite aliaje de turnătorie sunt aliajele din grupa Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Si-Me (Me=alte elemente de aliere), Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Mg, etc.

Rezistența aluminiului crește prin alierea cu diferite elemente, realizându-se deci aliaje cu bază de aluminiu. Aluminiul pur are un conținut de maximum 1% fier + siliciu.

Aliajele de aluminiu-siliciu pentru turnătorie, în special aliajele hipoeutectice sunt utilizate pe scară largă în industria aerospațială și industria auto datorită proprietăților mecanice ridicate și caracteristicilor excelente de turnătorie. Noile cerințe privind eficiența energetică au pus accentul pe un material optim. Producătorii auto au impus obiective în ceea ce privește consumul de combustibil al autovehiculului, astfel că, într-o perioadă scurtă de timp, emisiile de CO₂ au scăzut (cu 29,41%) de la 170 g / km în 2003 la 120 g / km în anul 2012 [13].

2.2.4.2. Clasificarea aliajelor de aluminiu

În figura 2.3. se prezintă o clasificare a aluminiului și a aliajelor acestuia.

Sistemul de simbolizare pentru aluminiu și aliajele sale cuprinde:

- Simbolizarea bazată pe compoziția chimică:
 - aliaje deformabile – EN-AW ...(ex: En-AW-AlCu4Mg1);
 - aliaje turnate – EN-AC ...(ex: EN-AC-ALSi11).
- Simbolizarea bazată pe tratamentul termic (EN515):
 - F – fabricat;
 - O – recoacere (de ex: O1, O2, O3);
 - H – călire (de ex: H1, H2, ...H9);
 - W – îmbunătățire;
 - T – tratat termic (de ex: T1, T2...T10, T31, T3510).

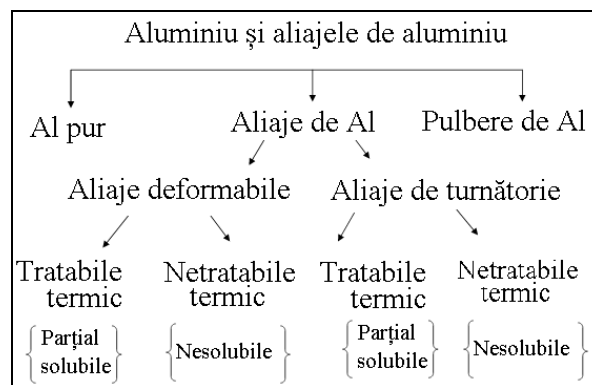


Fig.2.3. Aluminiu și aliajele de aluminiu

Cele mai reprezentative stări ale aliajelor de aluminiu tratabile termic sunt prezentate în anexa 2.1.

Cel mai des se utilizează starea T4 – îmbunătățire și îmbătrânire naturală și starea T6 – îmbunătățire și îmbătrânire artificială.

Sistemul de simbolizare include:

- Sistemul anglo-saxon - US - 3 cifre, plus o zecimală
- Sistemul European - EN - 5 cifre
- Denumirea chimică (de ex: vechiul DIN)
- Alte sisteme (Europa de Est, Asia, etc).

Aliajele de aluminiu deformabile sunt clasificate și simbolizate sub forma unui sistem digital standard format din patru numere:

- 1xxx - aluminiu minim 99,9%;
- 2xxx - aliaje aluminiu-cupru (de ex. EN-AW-2014);
- 3xxx - aliaje aluminiu-mangan;
- 4xxx - aliaje aluminiu-siliciu;
- 5xxx - aliaje aluminiu-magneziu;
- 6xxx - aliaje aluminiu-magneziu-siliciu;
- 7xxx - aliaje aluminiu-zinc;
- 8xxx - aliaje aluminiu aliate cu alte elemente, aliaje Al-Li-Cu-Mg.

În **seria 1xxx** cel de al doilea număr indică conținutul de impurități și dacă această cifră este 0 înseamnă că aluminiu respectiv conține numai impurități naturale. Numerele 3 și 4 indică conținutul de aluminiu peste limita minimă de 99%. De exemplu, un aliaj notat 1060 indică un aluminiu numai cu impurități naturale și cu un conținut de 99,60% aluminiu [14].

Aliajele din seria 1xxx se caracterizează printr-o bună rezistență la coroziune, conductivitate electrică și termică ridicate, proprietăți mecanice scăzute și o foarte bună prelucrabilitate prin deformare (maleabilitate).

În seriile **2xxx - 8xxx**, cel de-al doilea număr indică modificările compoziției chimice a aliajului de bază. Dacă al doilea număr este 0, aliajul respectiv reprezintă aliajul de bază al grupei. Dacă el este reprezentat de numere de la 1-9, aliajele respective reprezintă aliaje cu compoziția chimică modificată față de compoziția chimică a aliajului de bază. Numerele 3 și 4 nu au o specificație cantitativă, ele identifică diferențele aliaje din grupa respectivă [15, 16, 17].

Seria 2xxx - Pe lângă cupru, care este elementul principal de aliere, aceste aliaje conțin în principal magneziu și mangan. Pentru obținerea caracteristicilor mecanice ridicate (similare sau chiar mai mari decât cele ale oțelurilor cu conținut scăzut de carbon), aceste aliaje trebuie supuse călirii (tratament termic de punere în soluție urmată de îmbătrânire naturală - la temperatura ambiantă sau îmbătrânire artificială - la temperatură ridicată, în cuptor).

Aliajele seriei 2xxx au rezistență mecanică ridicată și o bună prelucrabilitate prin așchiere, în general nu sunt sudabile și nu au o bună rezistență la coroziune.

Se utilizează rar în industrie ca aliaje binare, a căror durificare ar fi asigurată numai de faza Al_2Cu (faza θ), motiv pentru care se majorează efectul de durificare prin prezența altor compuși asigurați de mai multe elemente de aliere. Sunt utilizate o multitudine de aliaje cunoscute sub denumirea de duraluminiu și simbolizate 2014, 2016, 2024, 2058 etc. Cel mai adesea, ca element suplimentar de aliere, este întâlnit Mg care modifică procesul de precipitare prin contribuția unor compuși cunoscuți sub denumirea de faza S, Al_2CuMg [18].

Procesele de precipitare se complică cu atât mai mult cu cât participă la el un număr mai mare de faze secundare. În funcție de caracteristica urmărită se introduc după cum urmează: Si - pentru stabilitate la cald, Ni - pentru rezistență la fluaj, Zr, Cr - pentru diminuarea sensibilității de creștere a grăunților. Condițiile de tratament termic (călire - îmbătrânire) sunt cele care influențează comportarea aliajelor în exploatare [4].

Seria 3xxx - Pe lângă mangan, aceste aliaje mai pot fi aliate cu magneziu

sau cupru. Se caracterizează prin proprietăți mecanice mai bune decât aluminiul nealiat (Seria 1xxx), comportare corespunzătoare la acțiunea diferiților agenți nocivi (rezistență la coroziune), o bună sudabilitate și prelucrabilitate prin deformare (maleabilitate).

Seria 4xxx – Aceste aliaje sunt folosite în materiale metalice pentru construcții, piese pentru autovehicule, materiale pentru forjare, sudare și bună rezistență la coroziune.

Seria 5xxx - Pentru îmbunătățirea rezistenței, se pot alia cu mangan și crom, ele caracterizându-se printr-o bună rezistență mecanică, bună prelucrabilitate, foarte bune proprietăți de sudare și rezistență la coroziune, mai ales în mediul marin. Magneziul are solubilitate bună în Al solid, ajungând până la 15 % în soluția solidă, dar începând de la 5 % Mg aceasta este instabilă și generează dificultăți la deformarea plastică. Aliajele nu se durifică prin precipitare, ca urmare a aplicării tratamentelor specifice de călire și îmbătrânire, dar prezintă o durificare superioară prin ecrusare obținută la deformarea plastică la rece.

Seria 6xxx – Aliajele acestei serii au largă utilizare ca produse deformate utilizate în arhitectură, industria auto sau aeronautică. Au caracteristici mecanice medii $R_m = 250$ MPa. Faza durificatoare este Mg_2Si , dimensiunile fazei fiind determinate de prezența fierului și siliciului.

Seria 7xxx - Pe lângă zinc, aceste aliaje conțin magneziu și cupru. Aliajul 7075 este cel mai rezistent aliaj de aluminiu, utilizat în industria aeronautică și constructoare de mașini. Pentru obținerea caracteristicilor mecanice ridicate, aceste aliaje trebuie supuse călirii (tratamentului termic de punere în soluție urmat de îmbătrânire artificială). Aliajele seriei 7xxx au rezistență mecanică și la oboseală ridicate, o bună prelucrabilitate prin așchiere, sudabilitate și rezistență la coroziune, în special la propagarea fisurilor.

Efectul durificator maxim este dat de prezenta Zn care formează compusul Al_2MgZn_3 , solubil în Al, dar și ai altor compuși $ZnAl$, Mg_5Al_8 . Tratamentele termice se efectuează mai ușor, unele dintre aliajele acestei serii fiind autocălibile. Așa se explică îmbunătățirea unor caracteristici mecanice prin îmbătrânirea naturală a construcțiilor sudate. Aliajele autocălibile, nu-și vor mări duritatea dacă conținutul în Zn este mic.

Aliajele din **seria 8xxx**, aliate cu litiu, se folosesc pentru diverse comutatoare termice și piese pentru aerul condiționat. Aliajul de aluminiu 8011 este mai frecvent utilizat, cele mai multe aplicații fiind pentru foliile de aluminiu, a căror grosime variază de la 0,06-0,2 mm și benzi de aluminiu, împachetate sub forma unor rulouri. Aceste aliaje au rezistență mare la coroziune. Litiul micșorează mult densitatea aluminiului și mărește modulul de elasticitate [17].

Din punct de vedere al sudabilității aliajelor de aluminiu, trebuie să se cunoască foarte bine tipul de aliaj utilizat, deoarece nu toate sunt sudabile; în particular majoritatea aliajelor care conțin Cu (2xx.x) și ZnCu (7xx.x) sunt nesudabile.

Aliajele de aluminiu de turnătorie sunt simbolizate sub forma unui sistem digital de trei numere plus o zecimală, după sistemul US de simbolizare (figura 2.4.a.) sau sub forma unui sistem digital de cinci numere, după sistemul EN de simbolizare (figura 2.4.b.), în funcție de elementele de aliere, care, la randul lor pot fi sau nu tratate termic. Nu există un singur sistem universal acceptat pentru simbolizarea aliajelor de aluminiu.

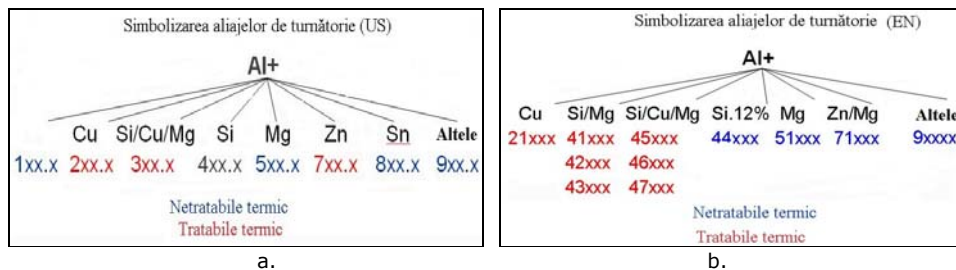


Fig.2.4. Simbolizarea aliajelor de aluminiu de turnătorie

Aliajelor deformabile se utilizează datorită următoarelor avantaje:

- rezistența la coroziune excepțională (1xxx, 3xxx, 5xxx, 6xxx în special) ca urmare a: - formării unui strat de oxid la suprafață ;
- depunerii de straturi subțiri (ex. anodizare);
- conductivitate termică bună;
- conductivitate electrică excepțională (Al pur și unele aliaje);
- raport rezistență / masă ridicat;
- reziliență excepțională și capacitate mare de absorbție a energiei: ex. aliajele 2124, 7050 și 7475 se pot utiliza în aeronautică pentru aplicații critice;
- rezistență mare la temperaturi joase (criogenice): ex. aliajele din seriile 3xxx, 5xxx și 6xxx;
- rezistență mare la oboseală, comparabilă pentru multe aliaje cu cea a oțelului;
- modul de elasticitate ridicat (1/3 din modulul de elasticitate al oțelului);
- deformabilitate bună prin diferite tehnologii;
- ușurința îmbinării prin sudare, brazare, lipire, nituire, fixare cu șuruburi.

Aliajele de turnătorie sunt agreate pentru următoarele calități:

- proprietăți excelente de turnare:
 - fluiditate (aliaje cu conținut mare de Si);
 - capacitate de umplere a formelor, ca de exemplu aliajele cu conținut mare de Si (3xx.x);
- rezistență mecanică mare:
 - poate fi îmbunătățită prin tratament termic sau răcire rapidă;
 - se pot obține raporturi între rezistență mecanică / masă, ca de exemplu aliajele 2xxx au rezistență mecanică mare, dar au fluiditate redusă;
- calitatea suprafeței foarte bună - la alegerea unor compoziții corespunzătoare, de exemplu aliajele 5xx.x și 7xx.x sunt susceptibile la șlefuire, dar au fluiditate redusă.

Asociația Europeană a Aluminiului (EAA) a adoptat pentru aliajele de aluminiu de turnătorie o simbolizare similară cu cea a aliajelor forjate. În sistemul AA, cele două cifre relevă procentul minim de aluminiu, de exemplu, 150.x corespunde la un minim de 99.50% aluminiu. Cifrele de după virgulă iau o valoare de 0 sau 1, care indica turnare și respectiv lingouri. Principalele elemente de aliere în sistemul AA sunt după cum urmează:

- Seria A1xx.x sunt din aluminiu minim 99%;
- A2xx.x serie de cupru;
- A3xx.x serie de siliciu, cupru și / sau magneziu;
- A4xx.x serie de siliciu;
- A5xx.x serie de magneziu;

A6xx.x serie neutilizată;
 A7xx.x serie de zinc;
 A8xx.x serie de litiu;
 A9xx.x serie neutilizată [19].

În grupa aliajelor de aluminiu deformabile, sunt incluse atât aliajele nedurificabile structural, având drept elemente de aliere Mn și Mg, cât și cele durificabile structural care conțin ca elemente principale de aliere Cu, Mg+Si, Zn, Li. Elementele de aliere permit obținerea a numeroase varietăți de aliaje, care prezintă o gamă de proprietăți foarte importante și diversificate. Schematic, în figura 2.5 se redau principalele grupe de aliaje de aluminiu deformabile utilizate industrial.

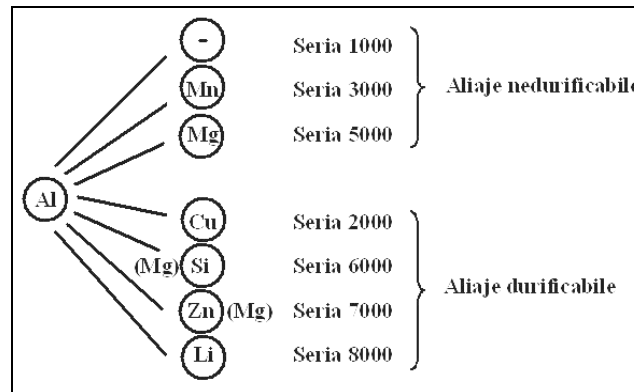


Fig.2.5. Clasificarea pe serii industriale a aliajelor de aluminiu deformabile

Din punct de vedere structural, cu excepția **seriei 1000**, reprezentând Al tehnic folosit pe scară largă la placarea celorlalte aliaje (acoperire pentru creșterea rezistenței la coroziune), fie ca aliaj microaliat (se constituie în elemente de microaliere chiar impuritățile mai puțin uzuale) datorită proprietăților lui electrice deosebite, toate celelalte aliaje au în constituția lor soluție solidă pe bază de aluminiu și eventual ca faze secundare, compuși ai elementelor de aliere. Funcție de starea aliajelor aceștia din urmă se pot dispune în rețea sau precipitați; ei diferă ca proporție și influență asupra aliajelor. Proprietățile și utilizările aliajelor vor fi dependente de gradul de finisare al cristalelor de soluție solidă și de gradul de dispersie, natura și morfologia fazelor secundare.

Aluminiul formează soluții solide cu majoritatea elementelor cu care se aliază. Probabilitatea de a fi tratat termic este dată de creșterea solubilității în soluția solidă a elementelor de aliere, cu temperatura. La aliajele cu durificare structurală „calibile” durificarea se obține în trei etape după cum urmează :

- punerea în soluție a elementelor durificatoare (faze secundare);
- răcirea rapidă pentru a aduce soluția solidă metastabilă la temperatura ambiantă (călirea);
- precipitarea fazelor secundare durificatoare prin descompunerea parțială a soluției solide (îmbătrânire naturală) sau descompunerea la temperaturi ridicate (îmbătrânire artificială) în general sub 220°C.

2.2.4.3. Aluminiu și aliajele de aluminiu utilizate în industria auto

Aluminiul a fost aplicat pe mașini din punct de vedere decorativ încă din 1914. Pentru a avea un vehicul de transport modern, fie că este un autoturism, un

tren, vas maritim sau o navă spațială este nevoie de aluminiu. Acesta este motivul pentru care industria de transport este principalul beneficiar. Cererea pentru producătorii de vehicule de transport occidentali este de 26% pentru aluminiu primar și 38% pentru aluminiu secundar. Acest lucru nu este surprinzător văzând că piesele realizate din acest metal ușor, stabil și rezistent la coroziune, pot dura zeci de ani. Câteva aplicații ale aliajelor de aluminiu în industria transporturilor sunt prezentate în tabelul 2.3.

Astăzi, mai mult de 100 de elemente ale mașinii sunt realizate din aluminiu și acest număr este în continuă creștere. Aluminiul este necesar pentru fabricarea caroseriei, a spoilerelor, părți ale caroseriei, bare de suspensie, jante și multe alte componente ale mașinii (figura 2.6).

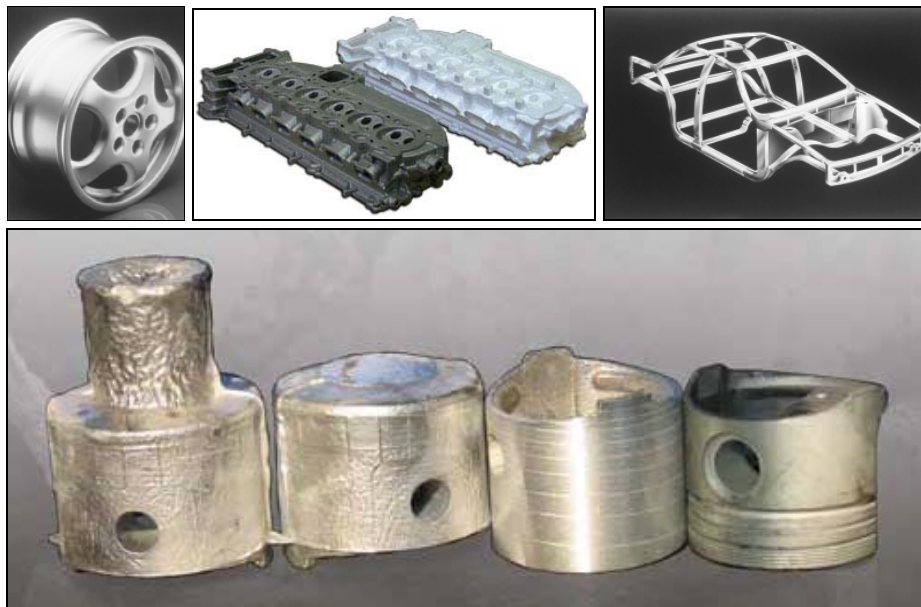






Fig.2.6. Diverse piese din aliaje de aluminiu in industria auto

Prin utilizarea aluminiului este posibilă reducerea greutateii mașinii și este cunoscut faptul că prin reducerea greutateii cu 100 kg se economisesc 0,6 l de combustibil la 100 km, iar cu cât consumul de carburant este mai mic cu atât este mai mic procentul de oxid de carbon emis în atmosferă [21].

Tabelul 2.3. Utilizarea aliajelor de aluminiu în industria transporturilor, [20]

	<p>Aluminiul este utilizat în principal în industria aviatică și din acest motiv metalul este denumit "metal înaripat". Fără el, industria aviatică nu ar fi ce este astăzi. Primul avion din lume, construit de frații Wright în 1903, avea un motor de 4 cilindrii, cu 12 CP, închis într-o carcasă de aluminiu de 13,5 kg pentru a face avionul mai ușor. Aluminiul a înlocuit foarte rapid lemnul și alte materiale tradiționale utilizate în industria aviatică, iar primul avion realizat în totalitate din aluminiu a apărut în 1920. Aluminiul reprezintă aproximativ 80% din greutatea avionului descărcat. De exemplu, faimosul Boeing 747 conține 75 tone de aluminiu. Aliajul de aluminiu este rezistent la suprasarcini și la presiunea din timpul zborului, la altitudine mare. În plus, panourile de aluminiu acumulează căldură. Aluminiul este rezistent la coroziune și din această cauză multe companii de aviație nu vopsesc avioanele, reducând greutatea aeronavelor cu câteva sute de kilograme.</p>
	<p>Aluminiul este folosit la vagoanele trenurilor de cale ferată de mare viteză și metrourilor, este ușor și rezistent la vibrații grele și consumă puțină energie, ceea ce-l face un metal de viitor pentru producătorii feroviari. În afară de vagoane de călători, vagoanele de marfă au fost realizate din aluminiu pentru o lungă perioadă de timp, primul fiind fabricat în 1931. În anii 1960, aluminiul a fost folosit în procesul de fabricație al vagoanelor marfare cu o capacitate de aproximativ 100 tone. A fost nevoie de aproximativ 7 t de aluminiu pentru a face fiecare vagon, cu 10 tone mai puțin decât varianta din oțel.</p>
	<p>Constructorii de nave apreciază foarte mult durabilitatea acestor aliaje, unele nave fiind fabricate în întregime din aluminiu. Prima nava, un iaht de peste 12 m lungime, a fost construită în 1892 în Franța. Acest experiment a fost un succes, iar constructorii francezi au construit un vapor de 315 m lungime și nu numai nava, ci și mobilierul interior era de asemenea realizat din aluminiu. Chiar și după 30 de ani de utilizare activă, navele construite din aliaje de aluminiu nu dau semne de oboseală a metalului și sunt ușor de întreținut. De asemenea se utilizează des în construcția feriboturilor de mare viteză, unde greutatea este crucială. Până la 400 tone de aluminiu pot fi utilizate pentru un feribot modern.</p>
	<p>Aluminiul este de neînlocuit și în construcția de nave spațiale, unde până la 90% din nava spațială este realizată din aliaje pe bază de aluminiu.</p>

Capacitatea aluminiului de a absorbi energia cinetică este luată în considerare la proiectarea autoturismelor. În cazul unui accident, impactul este minimalizat datorită elementelor structurale din aluminiu, ceea ce face ca utilizarea acestui metal să îmbunătățească considerabil siguranța mașinii.

O mașină modernă, cu componente realizate din aluminiu poate fi cu 24% mai ușoară decât una cu componente din oțel, ceea ce reduce și consumul de combustibil cu 2 litri la 100km. Producătorii de autoturisme au început să utilizeze aluminiul acum 100 de ani. Pe atunci, aluminiul era un metal nou și prea puțin utilizat, însă, datorită faptului că este ușor și rezistent la coroziune, are un potențial mare în aplicațiile din industria auto.

Prima mașină sport cu caroseria din aluminiu a fost prezentată publicului la un spectacol auto de la Berlin, în 1899. Primul motor cu părți din aluminiu a fost realizat doi ani mai târziu, în 1901, când Carl Benz, cunoscut producător mondial, a prezentat o mașină nouă la cunoscuta cursă auto de la Nice.

La începutul secolului XX, „metalul ușor” utilizat la realizarea mașinilor era dificil de prelucrat și nu existau încă suficiente informații despre el, iar prețul ridicat a împiedicat utilizarea aluminiului în producția de masă a autovehiculelor.

Doar după război, aluminiul a devenit mai accesibil și mai ieftin, astfel încât compania britanică Land Rover a început să exploateze în profunzime proprietățile acestui metal. În 1961 compania a prezentat și apoi a lansat în producția de masă modelul Buick 215 cu motorul V8 în 8 cilindrii. Blocul cilindrilor era realizat din aliaj de aluminiu, având o greutate de 144 kg, ceea ce a reprezentat un progres real în industria auto.

În anii '70, odată cu criza combustibilului, producătorii autovehiculelor au început să caute modalități de reducere a consumului de combustibil, iar cea mai bună metodă era de a reduce greutatea autovehiculului. Calculele au demonstrat că reducerea greutății autoturismelor medii cu 100 kg, va rezulta o economie de combustibil de 700 l pe perioada de viață a autoturismului și, de asemenea, o reducere a emisiilor eliberate în atmosferă.

Astfel, producătorii auto au început să înlocuiască numeroase piese ale mașinii cu unele realizate din aliaje de aluminiu, reducând greutatea totală a vehiculului. Astăzi, o medie de 110 – 145 kg de aluminiu este utilizat pentru producerea unui autoturism, cantitate care continuă să crească în fiecare an.

Aliajele de aluminiu sunt proiectate pentru a satisface cerințele specifice de produse. Inginerii de automobile au elaborat, datorită flexibilității aluminiului mai mult de 100 de tipuri de componente și lista continuă să crească. Aliaje de aluminiu sunt grupate în serii numerotate în conformitate cu principalele elemente de aliere. Prima cifră a numărului de la fiecare aliaj de aluminiu indică seria de bază. Celelalte cifre identifică variațiile specifice ale compoziției de bază.

În funcție de nivelurile specificate de elemente de aliere și de limitele de impurități, fiecare aliaj se toarnă împreună cu diferite cantități de deșeuri, de la aproape 0 deșeuri până la 100%.

În tabelul 2.4. se prezintă o listă de aliaje ale aluminiului și aplicațiile lor tipice pe automobile.

Tabelul 2.4. Aliaje de aluminiu utilizate în industria auto, [22]

Seria aliajului	Elemente de aliere a aliajului de aluminiu	Simbolizare aliaj	Aplicații
1000	Conține un procent de 90% sau mai mult de aluminiu pur, aceasta compoziție este caracterizată de excelentă rezistență la coroziune, conductivitate electrică și termică ridicată, proprietăți mecanice scăzute și prelucrabilitate excelentă.	1100 1200	Diverse aplicații, plăci indicatoare. Tuburi și nervuri pentru condensatoare extrudate.
2000	Cuprul este principalul element de aliere. Atunci când sunt tratate termic, proprietățile mecanice ale aliajelor sunt similare, și uneori depășesc, cele ale oțelurilor ușoare. Îmbătrânirea artificială poate fi utilizată pentru a crește rezistența mecanică. Aceste aliaje sunt de multe ori placate sau dublate cu un aliaj 6000 de înaltă puritate sau 7000, ceea ce crește foarte mult rezistența la coroziune.	2008, 2010 2011 2017, 2024 2036 2117	Panouri exterioare și interioare ale caroseriei. Șuruburi. Elemente mecanice de fixare. Panouri exterioare și interioare ale caroseriei, praguri de încărcare, carcasa scaunelor. Elemente mecanice de fixare.
3000	Manganul este principalul element de aliere. Aceste aliaje nu sunt tratabile termic și au o combinație superioară de rezistență la coroziune și deformabilitate.	3002 3003 3004 3005 3102	Diverse aplicații, plăci indicatoare, radiatoare auto Radiatoare, sisteme de încălzire și aripi pentru evaporare, tuburi pentru admisie sau evacuare, răcitoare de ulei, aer sau aer condiționat Componente și panouri interioare, diverse cutii Radiatoare, aripi pentru evaporare și răcire Tuburi condensatoare
4000	Siliciul este elementul de aliere, el se folosește în aliajele de lucru, pentru a reduce intervalul de topire, fără a provoca fragilitate. Aliajele Al-Si se folosesc pentru confecționarea sârmei de sudură și placarea aliajelor pentru lipit. O aplicație mare o are aliajul 4032, care are o rezistență bună la uzură și astfel, este potrivit pentru producția de pistoane forjate pentru motor.	4004, 4045, 4104, 4343 4032 4043	Placare pentru lipirea foilor Pistoane forjate Sârmă de sudare pentru caroserii auto

Seria aliajului	Elemente de aliere a aliajului de aluminiu	Simbolizare aliaj	Aplicații
5000	Elementul de aliere este magneziul, unul din cele mai utilizate și eficiente elemente folosite pentru alierea aluminiului. Împreună cu manganul oferă o înaltă rezistență, sunt ușor sudabile și au o excelentă rezistență la coroziune, chiar și în aplicații marine.	5005 5052 5182, 5754 5454	Diverse aplicații, plăci indicatoare. Panouri interioare caroserie, componente, bare de protecție. Scuturi de căldură, țevi, piese structurale și sudabile, foi pentru piese destinate întăririlor interne de la uși. Diferite componente, jante, console motor, structuri sudate (de exemplu: organele de autobasculare, cisterna camioanelor, remorca).
6000	Aliajele din acest grup utilizează magneziu și siliciu, în proporții diferite, pentru a forma siliciura de magneziu, făcându-le tratabile termic; aliajele posedă bună forjabilitate și rezistență mare la coroziune.	6009, 6010, 6022 6053 6061 6063 6082 6111 6262 6463	Panouri exterioare și interioare ale caroseriei, bare față de protecție, armăturile barelor de protecție, piese structurale și sudabile, carcasa scaunelor. Elemente mecanice de fixare. Componente de caroserie, piese de suspensie, arbori, coliere, armături bară de protecție, cilindrii de frână, jante, sistemul de alimentare cu combustibil. Componente ale caroseriei. Carcase de frână, jante de aluminiu. Panourile caroseriei. Carcase de frână, pistoane de frână, piese filetate. Rafturi de bagaje, deflectoare de aer.
7000	Zincul este principalul element de aliere, în combinație cu cantități mai mici de magneziu, în unele cazuri, și de cupru, va duce la un aliaj tratabil termic de o rezistență foarte mare.	7003, 7004 7021 7072 7116 7129	Circuite scaune, întăriri bară de protecție. Bare de protecție. Condensatori și aripiore radiator. Bare tetieră. Bare față spoiler, piese scaun, bare de protecție armături.

Seria aliajului	Elemente de aliere a aliajului de aluminiu	Simbolizare aliaj	Aplicații
Aliaje de turnătorie	Piesele turnate din aliaj de aluminiu pot fi produse prin practic toate procesele de turnare într-o gamă foarte mare de compoziții care posedă o mare varietate de proprietăți utile în inginerie. Alegerea unui aliaj de turnare specific, depinde de procesul de turnare ales, design-ul de produs, proprietățile necesare produsului și alți factori relevanți.	319.0	Colectoare, capete de cilindru, blocuri motor, componente interne ale motorului.
		332.0	Pistoane
		356.0	Capul cilindrului, colectoare, carcase
		A356.0	transmisii auto, blocuri motor răcite cu apă
		A380.0	Jante de aluminiu. Blocuri motor, carcase, piese de schimb ale transmisiei, dispozitive de măsurare a combustibilului.
		383.0	Console, carcase - punte spate, piese interne ale motorului.
		B390.0	Aplicații supuse la uzură mare, cum ar fi angrenajele dințate și părțile interne ale transmisiei.

2.2.4.4. Aliaje de aluminiu utilizate pentru fabricarea jantelor

Aliajele de aluminiu cele mai utilizate pentru fabricarea jantelor sunt cele deformabile din grupa 6 și anume 6082 (ISO: AlSi1MgMn) și 6061 (ISO: AlMg1SiCu), și cele de turnătorie AlSi11 (EN AC-44000) și A356.0 (ISO: Al-7Si-0.3Mg) a căror compoziție chimică și proprietăți mecanice, termice și fizice, conform SR EN 573-1: 2005 sunt prezentate în tabelele 2.5 și 2.6.[23].

Tabelul 2.5. Compoziția chimică a aliajelor de aluminiu utilizate pentru fabricarea jantelor

	%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
6082	min.	0,70	-	-	0,40	0,60	-	-	-	-	Rest
	max.	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,01	0,20	0,10	Rest
6061	min.	0,40	-	0,15	-	0,80	0,04	-	-	-	Rest
	max.	0,80	0,70	0,40	0,15	1,20	0,35	-	0,25	0,15	Rest
A356.0	min.	6,50	-	-	-	0,25			-	-	Rest
	max.	7,50	0,20	0,20	0,10	0,45			0,10	0,20	Rest
AlSi11	min.	10	-	-	-	-	-	-	-	-	Rest
	max.	11,8	0,19	0,05	0,1	0,45	-	-	0,7	0,15	Rest

Aluminiu cu siliciu ca și element de aliere principal este cel mai des aliaj de turnătorie întâlnit datorită impactului asupra fluidității. Aliajele din aluminiu-siliciu reprezintă o bună combinație de proprietăți mecanice și turnabilitate, ele fiind utilizate pe scară largă în industria auto și aerospațială. Siliciul crește fluiditatea în

aliajele de aluminiu și reduce intervalul de solidificare. Adăugarea unei cantități mai mari de 13% Si, face ca aliajul să devină extrem de dificil de prelucrat, dar volumul retasurilor este redus. Proprietățile mecanice depind mai mult de modul în care cantitatea de siliciu este distribuită în aliaj. Aliajele în care particulele de siliciu sunt mici, rotunde și uniform distribuite sunt, de obicei aliaje cu ductilitate mare. Siliciu este ieftin și unul dintre puținele elemente care pot fi adăugate fără a crește greutatea aliajului (densitatea siliciului 2,33g/cm³). Porozitatea scade ușor odată cu creșterea conținutului de siliciu.

Tabelul 2.6. Proprietățile aliajelor de aluminiu

Proprietăți	ISO: Al Si1MgMn (EN AW- 6082)	ISO: Al Mg1SiCu (EN AW- 6061)	ISO: Al 7Si 0.3Mg (EN AW - A356.0)	ISO: AlSi11 (EN AC- 44000)
Mecanice				
Rezistența la rupere R _m (MPa) 0/T4/T6	130/260/340	125/235/310	310	150/190/240
Rezistența la alungire R _{p0,2} (N/mm ²) 0/T4/T6	60/170/310	55/140/270	235	80/120/190
Rezistența la forfecare τ (N/mm ²) - 0/T4/T6	85/170/210	85/150/190	180	60-90
Alungirea A ₅₀ % - 0/T4/T6	26/19/11	26/21/12	8-12	8-18
Duritatea Brinell, HB - 0/T4/T6	35/70/95	30/65/95	75	45/70/90
Duritatea Vickers, HV - 0/T4/T6	35/75/100		96	
Termice				
Conductivitatea electrică (% IACS) 0/T4/T6	55,5/42/44	46,5/40/43	33-43	31-41
Conductivitatea termică (W/m-K) 0/T4/T6	216/167/172	180/155/166	150-170	140-170
Fizice				
Densitatea (kg/m ³)	2700	2700	2685	2680
Temperatura de solidificare (°C)	570	582	557	560
Temperatura de lichefiere (°C)	650	652	613	
Modulul de elasticitate longitudinal E (GPa)	70	68,9	72,4	74
Modulul de rigiditate GA (GPa)	26,4	26,3		
Coeficientul lui Poisson	0,33	0,33	0,33	0,33
Rezistivitate (nΩ- m) 0/T4/T6	31/41/39	37/43/40		

Aliaje de aluminiu-siliciu sunt împărțite în trei grupe:

1. Hipoeutectice, conținând 5-10% siliciu,
2. Eutectice, care conțin 10-13% siliciu,
3. Hipereutectice, care conțin 13-25% siliciu [13].

În figura 2.7. se poate observa diagrama de fază Al-Si. Prezenta altor elemente în sistemul Al-Si poate deplasa punctul de eutectic spre concentrații mai mici de siliciu (pana la 10%) sau spre concentrații mai mari (pana la 13%).

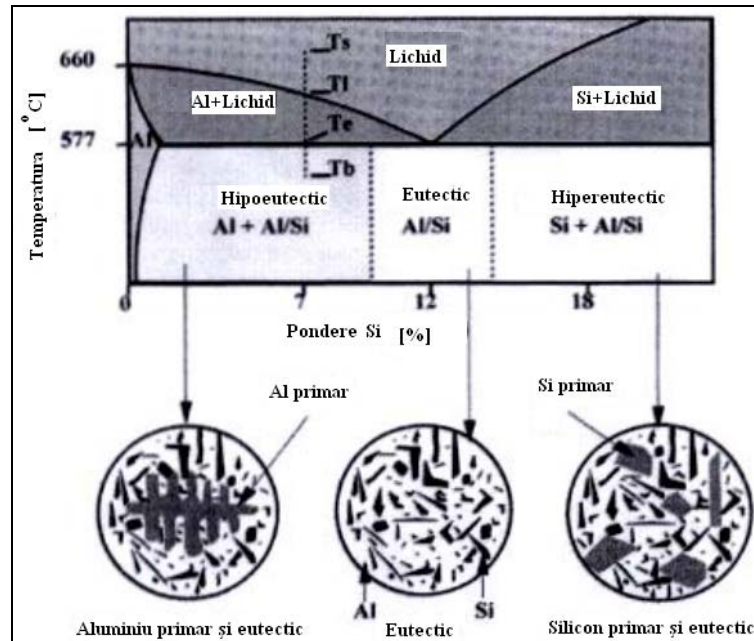


Fig.2.7. Diagrama de fază aluminiu-siliciu

Aliajele **seriei 6xxx** conțin siliciu și magneziu aproximativ în cantitățile necesare formării compusului Mg_2Si , totuși făcându-le tratabile termic, deși nu sunt la fel de rezistente ca aliajele din seria 2xxx și 7xxx, acestea au o bună sudabilitate, prelucrabilitate și o rezistență destul de bună la coroziune. Aliajele care aparțin acestui grup de materiale se pot trata termic, prin T4 (tratament termic de punere în soluție, și îmbătrânire naturală, dar nu tratament de precipitare) și pot fi durificabile prin T6 (stare obținută prin punere în soluție și îmbătrânire artificială) [24].

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor mecanice, aceste aliaje se utilizează în general în stare tratată (călită). După tratament termic aliajele se caracterizează printr-o rezistență mecanică ridicată, rezistență bună la coroziune, sudabilitate, caracteristici bune de prelucrare mecanică și se pretează la finisarea suprafeței prin anodizare[17].

Aliajele din **grupa 6xxx** au o aplicare pe scară largă, în special în construcții, industria aeronautică și industria automobilelor datorită proprietăților superioare față de aliajele din alte grupe. Creșterea cererilor pentru astfel de materiale a dus la intensificarea activității de cercetare și dezvoltare în domeniul aliajelor de aluminiu cu rezistență mare și plasticitate ridicată.

În aliajele din seria 6xxx o gamă largă de particule intermetalice sunt formate în timpul solidificării în regiunile interdendritice, omogenizării și prelucrării termomecanice, iar pe lângă adaosurile intenționate, metalele de tranziție, cum ar fi Fe, Mn și Cr sunt întotdeauna prezente. Chiar dacă suma impurităților nu este mare, acestea duc la formarea unei componente de fază nouă. Tipul fazelor intermetalice și volumul acestora sunt influențate de compoziția aliajului și starea de turnare a acestuia [25].

Aliajul **AlSi1MgMn (EN AW 6082)** are un larg domeniu de utilizare, realizându-se o mare diversitate de profile industriale (bare rotunde, rectangulare, trase sau extrudate etc), profile ce corespund celor mai exigente cerințe calitative și standardelor de calitate europene, pentru a asigura permanent performanțe optime în utilizare [26].

Se comportă bine la prelucrări prin așchiere (cu toate că rezultă șpan continuu spiral), se poate anodiza, atât natur cât și color, iar din punct de vedere al sudabilității se recomandă procedeul MIG (Metal Inert Gas) /WIG (Wolfram Inert Gas). Avantajele acestui aliaj se evidențiază mai ales atunci când produsele finite rezultă prin proces tehnologic de așchiere, fiind condiționat și de calitatea finală a suprafeței [27].

Aliajul 6082 are o răspândire largă în domeniul construcțiilor de mașini, precum și în domeniul construcțiilor sudate. Se folosește la producerea pieselor componente oscilante, rotative, la plăcile de bază ale acestor subansamble, precum și pentru confecționarea carcaselor la pompele hidraulice sau pieselor componente ale sistemelor hidraulice. Rezistența la coroziune atât în mediul marin cât și în atmosferă este bună. Aliajul 6082 se folosește pentru structuri de mare sarcină, cadre de camioane sau troleibuze, cazane sau biciclete, flanșe, stâlpi, turnuri, bărci cu motor, carge și triborduri în construcția de bărci, schele metalice, cadre pentru corturi, etc.

Aliajul de aluminiu 6082 are rezistență medie, fiind cunoscut ca un aliaj structural. Aliajul 6082 a început să înlocuiască aliajul 6061 în multe aplicații datorită rezistenței mai mari. Creșterea conținutului de titan permite controlul structurii grăunților, rezultând un aliaj mai rezistent. Aliaj de aluminiu 6082 are caracteristici fizice similare, dar nu echivalente față de aliajul 6061 și proprietățile mecanice ușor mai ridicate în starea T6. Acest aliaj oferă, de asemenea, caracteristici bune de finisare și răspunde bine la anodizare [28, 29].

Din analiza microstructurii aliajului 6082 în stare turnată se pot observa cinci tipuri de compuși intermetalici situați la nivelul grăunților. Din figura 2.8 rezultă că morfologia lor este diferită. Difrakția de raze X-XRD a difractogramei se folosește pentru a confirma examenul microscopic. Combinația observațiilor microscopice optice (soluția lui Keller este capabilă să coloreze fazele) și rezultatele XRD ne permit să identificăm aceste faze intermetalice ca: β -Al₅FeSi (faza întunecată), α -Al₁₅(FeMn)₃Si (faza gri), Al₉Mn₃Si, α -Al₁₂Fe₃Si, β -Mg₂Si (faza neagră) [30].

Aliajul de aluminiu 6082 are o structură la nivel atomic de cristal cubic, ceea ce face ca materialul să aibă proprietăți de rezistență ridicată, deoarece este mult mai dificil pentru celulele de cristal să alunece unele pe lângă altele decât pentru alte structuri de cristal. Aliajul de aluminiu 6082, are în comun cu celelalte aliaje de aluminiu, faptul că formează ușor un strat de oxid de aluminiu (Al₂O₃) în contact cu aerul, care acționează pentru a preveni coroziunea în continuare, datorită faptului că volumul ocupat de oxidul de aluminiu este mai mare decât cel al metalului oxidat ($V_{Al_2O_3} / V_{Al} = 1,24$), oxidul are o structură compactă și împiedică difuzia oxigenului spre suprafața interfazăică aluminiu-oxid [31].

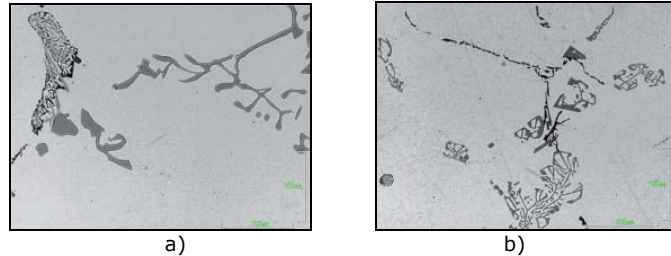
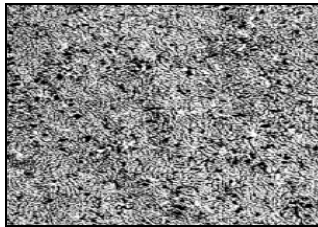


Fig.2.8. Microstructura aliajului 6082 în stare turnată

Structura stării inițiale a aliajului arată prezența de particule neregulate intermetalice de fază α -Al(FeMn)Si – faza gri, particule nedizolvate de fază β - intermetalică (Mg_2Si)- faza neagră și o cantitate considerabilă de particule fine, probabil, dispersive ale fazei AlMnSi de dimensiuni $<1\mu m$. Rolul lor este de a preveni o creștere a grăunților de soluție solidă de Al de bază pentru aliaj. Soluția de recoacere a aliajului la $550^\circ C$ conduce la o ușoară globularizare și creștere a particulelor intermetalice de Al(FeMn)Si și, mai ales, la o deplină dizolvarea a particulelor de fază β (Mg_2Si). Microstructura materialului în stare inițială (extrudat și netratat termic) este poliedrică cu grăunți orientați în direcția deformării în timpul procesului de extrudare (figura 2.9). Granulația aliajului în starea sa inițială este de 6 microni (μm) [32].



50 μm

Fig.2.9. Microstructura aliajului 6082 extrudat și netratat termic

În aliajul recoapt a avut loc un proces de recristalizare cu o creștere neglijabilă a mărimii grăunților până la $7,3\mu m$ confirmată de structura echivalentă în stare călită prezentată în figura 2.10. Orice creștere considerabilă în mărimea grăunților este împiedicată de particule fine dispersate de AlMnSi, care inhibă procesul de recristalizare. Dintre procesele de deformare plastică severă care pot concura la realizarea de nanostructuri, extrudarea în canal unghiular (eng. Equal Channel Angular Pressing – ECAP) întrunește condițiile de viteză de deformare relativ constantă, uniformitate a deformațiilor în toată masa materialului, precum și un grad de deformare controlat prin numărul de treceri al semifabricatului prin matriță. Nivelul de nanostructurare atins prin procesul ECAP, până în prezent (de 50 nm), evocă o schimbare semnificativă în microstructura sa așa cum se arată în figura 2.11 [32, 33].

Prima încercare de a crea structuri ultrafine aparține lui Segal [31], care a introdus extrudarea unghiulară în canale egale în omogenizarea structurii și îmbunătățirea proprietăților materialelor ulterior deformate. Procesul de extrudare unghiulară are specific faptul că, este un proces repetabil, care permite introducerea în material a unor deformații plastice severe prin forfecare pură, fără a schimba forma și dimensiunile secțiunii transversale a piesei supuse procesării [34, 35, 36].

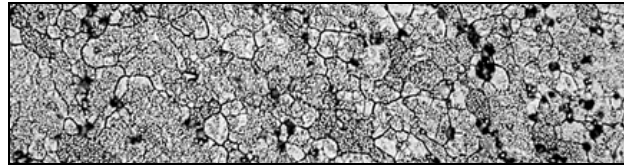


Fig.2.10. Microstructura aliajului 6082 în stare călită

10 μm

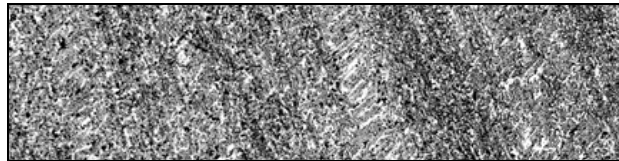


Fig.2.11. Microstructura în stare ECAP

100 μm

Aliajul 6061 (ISO: AlMg_1SiCu) are caracteristici excelente de asamblare, combină rezistența mecanică relativ ridicată și prelucrabilitatea bună cu rezistență mare la coroziune disponibile pe scară largă. Starea T8 (obținută prin punere în soluție, prelucrare la rece și îmbătrânire artificială) oferă caracteristici mai bune de așchiere decât starea T6. Aliajul 6061 se utilizează în aplicații care necesită excelentă capacitate de turnare, etanșitate sub presiune și bună rezistență la coroziune. Aplicațiile tipice sunt corpuri de aeronave turnate, piese mecanice, piese pentru șasiul camioanelor, componente pentru rachete și părți structurale care necesită rezistență ridicată, accesorii electrice și conectori, pistoane de frână și pistoane hidraulice [37, 38].

În figura 2.12 se poate observa microstructura aliajului de aluminiu 6061, care conține particule de Mg_2Si (negru) și Fe_3SiAl_2 (gri). Examinarea microscopică a compozitului indică prezența particulelor de durificare în formă de conglomerate [39].

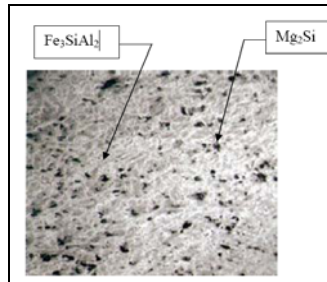
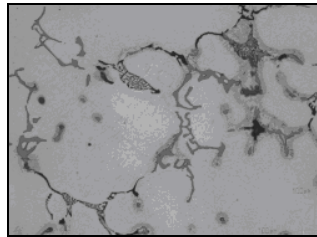


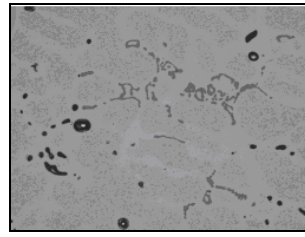
Fig.2.12. Microstructura aliajului 6061

Microstructura aliajului 6061 în stare turnată și după omogenizare la temperatura de 575°C , timp de 72h este data în figura 2.13, iar în figura 2.14 se poate observa structura aliajului 6061 în stare T6, tratat termic la 540°C pentru 1h și îmbătrânit la 160°C pentru 12h [40].

Structura microscopică a aliajului ne arată, de asemenea, prezența într-un număr mare a particulelor de Mg_2Si [41].



a)



b)

Fig. 2.13. Microstructura aliajului 6061
a) stare turnata, b) după omogenizare la temperatura de 575 °C

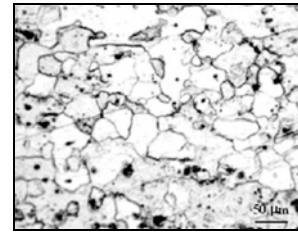


Fig. 2.14. Microstructura aliajului 6061-T6

Aliajul A356.0 (AlSi7Mg0,3 – anticorodal-70) are alungire mai mare, rezistență și ductilitate considerabil mai mari decât aliajul 356. La aliajul A356.0 s-au îmbunătățit proprietățile mecanice datorită conținutului mai mic de fier în comparație cu aliajul 356 [42, 43].

Aplicațiile tipice sunt corpuri de aeronave turnate, piese mecanice, piese pentru șasiul camioanelor, avioane și componente pentru rachete și părți structurale care necesită rezistență mecanică ridicată, excelentă capacitate de turnare, bună sudabilitate, etanșitate sub presiune și bună rezistență la coroziune.

Totuși, în aplicații unde ductilitatea nu este cea mai importantă, ca de exemplu, capul cilindrilor, introducerea Cu în variante diferite, au avantajul de a crește rezistența la temperaturi înalte, devenind astfel aliaje din ce în ce mai utilizate [13].

Tabelul 2.7. Rezumatul reacțiilor în aliajul A356.0

Rezumatul reacțiilor	Temperatura	f _s (%)
1. Începutul solidificării și formării fazei α-Al	610°C (1130 F)	0
*Punct de coerență dendritică	610°C (1119 F)	19
2. Începutul reacțiilor eutectice importante	568°C (1053 F)	51
Liq→Al+Si sau Liq→Al+Si+Al ₅ FeSi	566°C (1051 F)	63
*Punct de rigiditate		
3. Precipitarea Mg ₂ Si	557°C (1035 F)	96
Liq→Al+Si+ Mg ₂ Si		
4. Precipitarea eutecticului complex	550°C (1022 F)	99
Liq→Al+Si+Mg ₂ Si+Al ₈ Mg ₃ FeSi ₆		
5. Sfârșitul solidificării	543°C (1009 F)	100

Microstructura aliajelor de turnare Al-Si-Cu-Mg este în esență alcătuită din trei componente, proporțiile acestora sunt reglementate de compoziția aliajului și condițiile de solidificare. Cele două componente principale sunt în primul rând faza

de soluție solidă α -Al și Al-Si eutectic. A treia componentă a microstructurii poate fi în linii mari numită "componente intermetalici" și acestea decurg din excesul de Mg, Cu, Fe și Mn, care nu pot fi incluse în faza de soluție solidă α -Al. Cele intermetalice au diverse forme morfologice în diferite momente, înainte, în timpul sau după perioada de formare eutectică Al-Si și pot afecta în mod semnificativ proprietățile mecanice ale aliajelor.

Fazele de solidificare pentru aliajul de aluminiu A356.0 sunt prezentate în tabelul 2.7.

La 610°C începe solidificarea și formarea fazei α -Al. Reacțiile eutectice încep de la 568°C unde fazele de aluminiu, siliciu și Al_5FeSi se dezvoltă. Procesul de solidificare continuă și fazele Mg_2Si și $Al_8Mg_3FeSi_6$ precipită. Prin adăugarea de cupru în topitură, o mulțime de faze vor precipita și se vor regăsi și fazele Al_2Cu și Al_7Cu_2Fe [13].

În figura 2.15. se poate observa structura microscopică a aliajului de aluminiu A356.0, cu spațiul interdendritic, pentru diferite metode de turnare, iar dendritele se pot observa ca regiuni gri deschis în imagini, iar regiunile gri închis corespund eutecticului Al-Si [13].

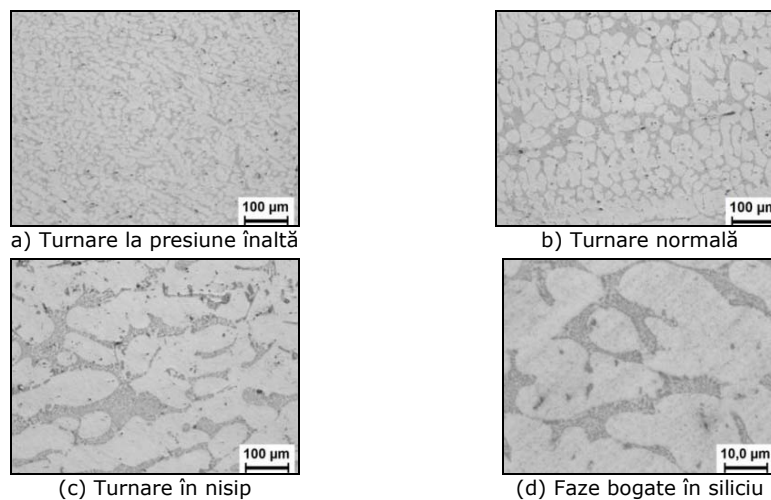


Fig.2.15. Prezentarea spațiului interdendritic în diferite metode de turnare

Aliajul de aluminiu **AlSi11** se folosește pentru turnarea pieselor complicate, cu pereți subțiri și presiuni scăzute, care necesită o rezistență foarte bună la coroziune, rezistență la rupere medie și mare ductilitate. Se utilizează pe scară largă în aplicații generale de inginerie și în automotive. Structura microscopică prezintă cristale primare de siliciu de culoare cenușie și masa de bază din eutectic grosolan de $[\alpha(Al)+Si]$, după cum se observă în figura 2.16. [12].

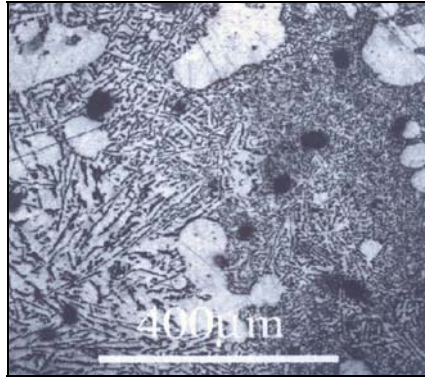


Fig.2.16. Microstructura aliajului AlSi11

Pentru aliajele din grupa Al-Si, aliate și cu Mg, pentru un conținut mai mare de Mg, rezistența la tracțiune poate fi îmbunătățită prin îmbătrânire artificială, în timp ce, pentru cele cu un conținut scăzut de Mg, ductilitatea, prin recoacere.

2.3. Concluzii

Din studiul documentar privind aliajele pentru fabricarea jantelor auto rezultă următoarele concluzii:

- alierea are ca scop principal, îmbunătățirea proprietăților de rezistență (limita de curgere, rezistența la rupere, rezistența la încovoiere prin șoc, la forfecare, la oboseală, duritatea, etc.) care ajung la valori similare oțelurilor; alierea micșorează însă plasticitatea și conductibilitatea electrică, motiv pentru care alegerea unui aliaj, presupune un compromis între proprietățile care se exclud.
- în construcția de automobile se utilizează următoarele materiale: metale și aliaje metalice, materiale compozite, materiale ceramice și minerale; lemnul și derivatele sale; mase plastice și cauciuc; sticle nemetalice și metalice;
- materialele și aliajele metalice au o pondere de peste 75%;
- consumul de combustibil este influențat de greutatea autovehiculului;
- tendința de a se reduce greutatea autovehiculului prin înlocuirea aliajelor feroase (fontă și oțel) cu greutate specifică mare, cu aliaje neferoase cu caracteristici calitative apropiate, dar cu greutate specifică mult mai mică;
- dintre aliajele metalice neferoase cel mai des se utilizează aliaje de aluminiu și de magneziu;
- aliajele de aluminiu se utilizează atât în stare turnată cât și deformate plastic;
- pentru fabricarea jantelor auto pe plan mondial se extind tehnologiile de fabricare din aliaje de aluminiu prin turnare (de exemplu aliajul AlSi11) și prin deformare plastică (aliajele 6062 și 6082).

3. TEHNOLOGII DE FABRICARE A JANTELOR PENTRU AUTOVEHICULELE RUTIERE

3.1. Considerații tehnologice

O tendință ce se manifestă, în domeniul materialelor din care se execută piesele de autovehicule este aceea a înlocuirii fontei cu aluminiul și aliajele sale, masele plastice și materialele compozite, ceea ce face ca, pe viitor, greutatea pieselor de aliaje ușoare și materiale plastice să aibă o pondere tot mai mare din greutatea totală a autovehiculului.

Utilizarea aluminiului a început chiar din primii ani ai secolului XX. Începând din 1905, dar mai pregnant din 1920, unele piese de motor încep să fie realizate din aliaje de aluminiu cum ar fi carburatoarele, carterele, chiulasele și pistoanele motoarelor.

Prin utilizarea aluminiului este posibilă reducerea greutății mașinii și este cunoscut faptul că prin reducerea greutății cu 100 kg se economisesc 0,6 l de combustibil la 100 km, iar cu cât consumul de carburant este mai mic cu atât este mai mic procentul de oxid de carbon emis în atmosferă [42].

Abilitatea aluminiului de a absorbi energia cinetică este luată în considerare la proiectarea autoturismelor. În cazul unui accident, impactul este minimalizat datorită elementelor structurale din aluminiu, ceea ce face ca utilizarea acestui metal să îmbunătățească considerabil siguranța mașinii.

Primele jante din aliaj ușor au fost utilizate la mașinile de curse ale producătorilor Daimler-Benz și Auto-Union din anii 1930. În anii 1960, Porsche a început producția în serie de jante din aliaj, care a constat dintr-un cadru al jantei și butuc. Primul volum mare de producție de jante din aliaj în Europa a început în 1979, pentru mașinile Daimler-Benz destinate pentru Statele Unite ale Americii [42].

Prin dezvoltarea continuă a procesului de producție pentru jante și butuci de roți, costurile de producție s-au redus semnificativ, astfel că o jantă din aliaj de aluminiu a fost produsă în număr mare pentru BMW Seria 5 în 1995.

Utilizarea jantelor de aluminiu pentru autoturisme a început cu clasa superioară sau modelele emblematice, în scopul de a le da o notă personală distinctă. În anii 1970 s-a început ca automobilele produse în masă să fie dotate cu jante din aliaj direct din fabrică [42].

Jantele reprezintă acum aproximativ 15% din conținutul mediu de aluminiu de la autoturisme și camioane ușoare și dacă la început s-au căutat soluții din punct de vedere a design-ului acestora, treptat cerințele de reducere a greutății au condus la dezvoltarea unor soluții mai tehnice de fabricare, turnare și forjare.

O utilizare mai intensă a aluminiului pentru realizarea jantelor s-a realizat începând cu anul 2000, când exista un procent de 30 până la 35% de utilizare a aluminiului pentru vehiculele europene, iar pentru vehiculele din Statele Unite ale Americii și Japonia un procent mai mare de 50%. Acest lucru reprezintă mai mult de 14% din conținutul mediu de aluminiu a unui vehicul și se aștepta să crească rapid ajungând până la 70% [42, 44].

Aliajele metalice asigură rezistență superioară și reduceri semnificative de greutate, peste metalele feroase, cum ar fi oțelul și, ca atare, ele reprezintă materialul ideal pentru a crea o jantă cu performanțe ridicate. Actualmente este greu să ne imaginăm o mașină de curse de clasă mondială sau un vehicul rutier de înaltă performanță care nu utilizează jante de [45].

Jantele trebuie să îndeplinească anumite cerințe critice de siguranță și ele

trebuie să respecte standarde ridicate de design, condiții tehnice și de prelucrare.

Rigiditate structurală (dependentă de design) este valoarea de bază care se ia în considerare atunci când se proiectează o jantă de aluminiu pentru a obține cel puțin același comportament al vehiculului dacă ar fi echipat cu jante din oțel. Totuși, rigiditatea materialelor dată de modulul lui Young este foarte mică în funcție de aliaj și amestec.

Limita de curgere este luată în considerare, pentru a evita deformarea sub eforturi maxime axiale (același și frânari) și radiale (pivotare).

Se fac simulări și teste asupra rezistenței la impact și se verifică rezistența la coliziuni accidentale, cum ar fi impactul cu trotuarele.

Comportamentul la oboseală este cel mai important parametru pentru dimensionarea jantelor. Analiza cu element finit este sistematic utilizată în timpul proiectării. Condițiile de lucru sunt luate în considerare, inclusiv solicitările multi-axiale. Testele de torsiune și de rulare a jantei sunt utilizate pentru a verifica aceste calcule.

La proiectarea unei piese, constructorul de mașini trebuie să rezolve corect următoarele probleme:

- alegerea justă a tehnologiei de fabricare (turnare, forjare, sudare);
- dimensionarea corectă a piesei din punct de vedere a realizării ei prin turnare, a prelucrării pe mașini unelte și a funcționării în exploatare.

3.2. Tehnologii de fabricare a jantelor din aliaje de aluminiu

Janta este compusă din butuc, spițe și cadru (figura 3.1). Aceste componente pot fi o singură bucată, două sau trei. Butucul este partea centrală a roții prin intermediul căreia se atașează janta de suspensia autovehiculului. Spițele sunt dispuse radial de la butuc și atașate la cadru. Cadrul reprezintă partea exterioară a jantei pe care se montează anvelopa [45].

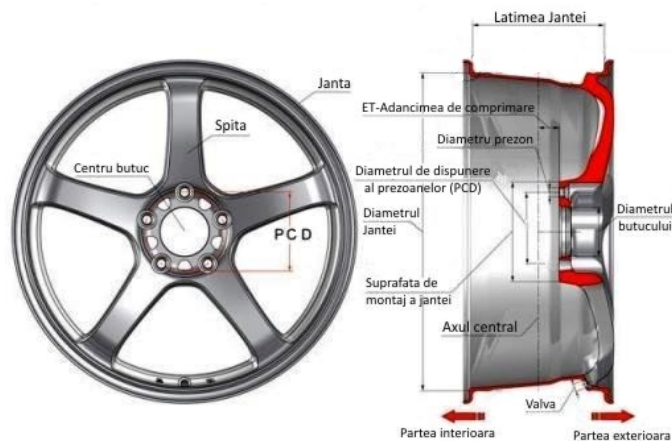


Fig.3.1. Părți componente jantă auto

Janta dintr-o singură piesă (figura 3.2.) este cel mai frecvent tip de jantă de aluminiu, ea este turnată într-o matrită, care include toate caracteristicile necesare pentru funcționarea acesteia [45].

Jantele din mai multe piese (figura 3.3.) sunt formate din două sau trei componente asamblate împreună pentru a produce janta finită, care sunt sudate sau prinse cu șuruburi împreună, pentru a oferi siguranță și a rezista la forțele existente în timpul funcționării, ele putând fi realizate prin diferite procedee de turnare. Partea centrală se poate obține fie prin turnare prin diferite metode, fie prin forjare. Bordura la jantele din mai multe componente este în mod normal obținută prin turnare centrifugală. În general, secțiunile bordurii centrifugate oferă posibilitatea de a realiza jante personalizate pentru aplicații speciale. Bordurile jantelor sunt prinse cu buloane de centru și în mod normal, o etanșare este aplicată în sau pe zona de asamblare pentru a etanșa roata. Acest tip de jante a fost inițial dezvoltat pentru curse la începutul anilor 1970 și se folosește și în ziua de azi. Jantele din 3 piese sunt cele mai populare pentru diametre de 17" și mai mari. Avantajul jantelor din mai multe piese este că poate fi înlocuită orice componentă separată a jantelor în cazul în care aceasta se deteriorează [45, 46, 47].

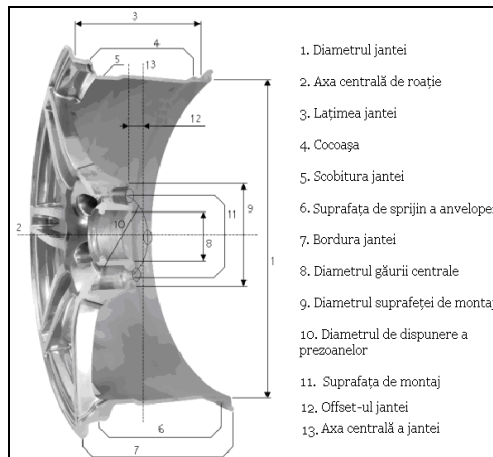


Fig.3.2. Janta dintr-o singură piesă

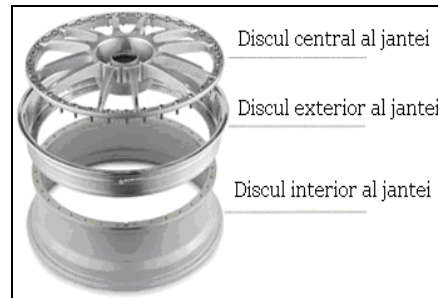


Fig.3.3. Janta din 3 piese

Pentru jantele din 2 părți componente există mai multe opțiuni pe piață. Designul acestora nu oferă o arie largă de aplicare, ca în cazul celor din 3 componente, însă acestea sunt mai des întâlnite pe piață datorită costurilor de producție care sunt mai mici decât în cazul celor din 3 piese. Unele jante din 2 piese au partea centrală asamblată prin buloane de bordura turnată sau centrifugată a jantei, iar unii producători presează partea centrală de cadrul jantei și sudează elementele împreună [48].

Pentru elaborarea aliajelor de aluminiu se utilizează materiale metalice: aluminiu primar sub formă de blocuri, deșeuri proprii sortate după compoziția chimică, piese uzate, pe cât posibil sortate după compoziția chimică (fără pământ, nisip sau uleiuri), fondanți (cloruri și fluoruri ale metalelor alcaline) precum și diverși modificatori pentru obținerea unor piese compacte și cu structură fină.

Utilajele folosite sunt cuptoare cu creuzet, cuptoare rotative cu flacără și cuptoare electrice. Pentru a se evita oxidarea și absorbția de gaze se utilizează un strat de fondant sau se efectuează o rafinare cu gaze.

Există patru tipuri de procese de fabricație utilizate pentru realizarea jantelor din aluminiu.

1. Forjarea este o tehnică excelentă pentru a realiza jante de aluminiu și constă în comprimarea unui bloc de aluminiu pentru obținerea design-ului dorit al jantei. Janta obținută prin acest proces este rezistentă și durabilă [44, 49].
 2. Un alt procedeu de obținere a jantelor este prin forjarea tablelor laminate, iar foile de aluminiu sunt rulate prin intermediul unor roți de presă grele care imprimă sau presează aluminiul pentru a obține design-ul dorit la jantă. Acest proces folosește o cantitate mai mică de aluminiu decât la forjarea normală.
 3. Al treilea proces de fabricație îl reprezintă turnarea aluminiului topit în forme numite matrite.
 4. A 4-a tehnologie apărută în anul 2006, o reprezintă AIR INSIDE TECHNOLOGY, care conferă jantei o greutate mult mai mică și ansamblului jantă-anvelopă o cantitate de aer mult mai mare, care protejează mult mai bine suspensia și articulațiile mașinilor cu jante de diametru mare 19" – 23". Rezistența jantelor realizate prin această tehnologie crește până la valori cuprinse între 40-60%, funcție de diamterul jantei și conferă mașinii o manevrabilitate de excepție.
- În figura 3.4 sunt prezentate jante auto produse prin diferite tehnologii.

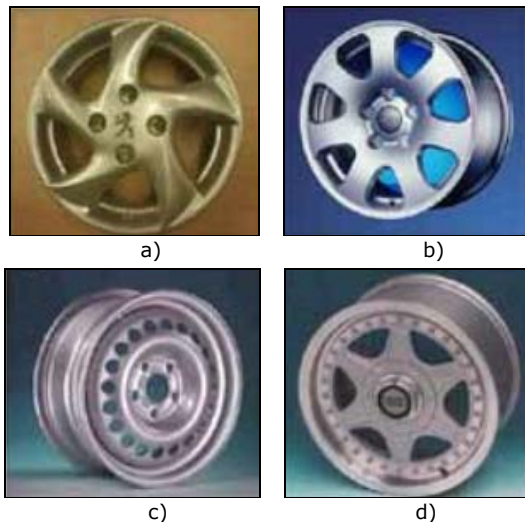


Fig.3.4. Jante de aliaj de aluminiu produse prin diferite tehnologii
 a) jantă turnată, b) jantă forjată, c) jantă din 2 piese, d) jantă din 3 piese

3.3. Turnarea jantelor

Turnarea jantelor pentru autoturisme trebuie să aibă în vedere în primul rând calitatea acestora, pentru a oferi siguranță în exploatare. Aceasta presupune obținerea unui material fără defecte interioare și asigurarea unor proprietăți mecanice și chimice care să corespundă condițiilor de exploatare ale piesei.

La analiza fabricației piesei turnate trebuie, în primul rând, să se analizeze avantajele tehnico-economice ale jantei turnate, comparativ cu cele obținute prin forjare sau matrițare.

Piese fabricate prin turnare sunt practic nelimitate ca formă, dimensiuni și

masă. Obținerea lor prin alte procedee tehnologice fie nu este posibilă, fie ar avea ca rezultat creșterea exagerată a prețului. Alegerea tehnologiei este în majoritatea cazurilor stabilită odată cu alegerea materialului.

Piese sudate pot să înlocuiască o bună parte din piesele turnate. Piese grele realizate prin sudare prezintă avantajul că operația de sudare se poate efectua chiar la locul de montaj, deci se rezolvă problema transportului. La producția de serie, piesele sudate devin mai scumpe decât piesele turnate deoarece manopera la sudare este mai mare decât pentru turnare.

Calitatea produsului depinde de procesul tehnologic. Obiectivul principal al producătorului este de a oferi clientului cele mai bune jante din punct de vedere al tehnologiei de fabricație, fiabilității, siguranței operaționale și costului [47, 50].

Jantele din aliaj de aluminiu turnate reprezintă mai mult de 80% în Europa, 85% în Statele Unite ale Americii pentru autoturisme și camioane ușoare și 93% în Japonia. Există mai multe tipuri de jante auto disponibile pe piață, astfel încât trebuie să se cunoască utilitatea jantelor care vor fi achiziționate. Unele dintre aspectele pe care utilizatorii ar trebui să le ia în considerare sunt materialele din care sunt realizate, dimensiunile jantelor, costul, precum și specificațiile vehiculului lor. În continuare se prezintă câteva avantaje și dezavantaje pentru diferite tipuri de jante.

Jantele din aliaj de aluminiu:

- mare versatilitate a design-ului;
- mai durabile decât cele din magneziu, acestea din urmă fiind mai puțin rezistente și procesul de fabricație este mai dificil;
- reprezintă un plus din punct de vedere estetic;
- sunt mai ușoare decât jantele de oțel; precizia dimensională;
- capacitatea de reciclare; bună rezistență la coroziune;
- au o mare capacitate de conducție termică;
- asigură o răcire mai rapidă și mai eficientă a roții și implicit a componentelor sistemului de frânare;
- necesită o îngrijire specială (mai ales în timpul iernii) pentru a evita acțiunea nocivă a materialelor antiderapante, a prafului sau a noroiului.

Jantele din oțel:

- sunt semnificativ mai puternice, mai rezistente decât cele din aliaj, este nevoie de o forță mult mai mare pentru a putea fi îndoite și aproape imposibil să se spargă;
- satisfac cerințele șoferilor care vor un set de roți de iarnă la un preț cât mai bun;
- pot fi găsite în două variante de finisaje (negru sau metalizat);
- modificarea aspectului se face ușor și relativ ieftin prin înlocuirea capacelor protectoare;
- sunt mai ieftine decât jantele din aliaj datorită costului mai mic pentru materiale și manoperă.

Jantele din magneziu:

- au fost primele jante turnate sub presiune, fiind utilizate pentru curse;
- reprezintă un plus din punct de vedere estetic, acesta fiind unul dintre motivele principale pentru care sunt cumpărate;
- sunt mai ușoare atât față de jantele din oțel, cât și față de cele din aliaj de aluminiu;
- sunt mai puțin predispuse să se îndoie sau să se onduleze, față de cele din aliaj de aluminiu, însă, dezavantajul este că, odată îndoite, ele nu pot fi îndreptate din nou;

- necesită întreținere constantă pentru a-și păstra luciul;
- de asemenea, rezistența la coroziune a acestor jante este ridicată;
- sunt inflamabile, magneziul fiind capabil să ardă în apă sau dioxid de carbon.

Jantele cromate:

- prezintă un plus din punct de vedere estetic;
- sunt alegerea perfectă pentru utilizatorii care conduc în cea mai mare parte a anului în zone cu umiditate ridicată, pe ploaie sau zăpadă, ele fiind anticorozive și nu ruginesc.

Jantele acoperite cu teflon:

- stratul de teflon are un rol suplimentar de protecție a acestora, în special pentru vehiculele off-road și pentru utilizatorii care conduc prin condiții de drum dificile.

Jantele din fibră de carbon:

- sunt foarte rar utilizate pe vehicule 4x4, ele fiind extreme de ușoare, greutatea lor reprezentând circa 50% față de o jantă din oțel cu aceleași caracteristici și mai mare cu circa 40% decât a uneia din aliaj de aluminiu;
- sunt predispuse la rupere, motiv pentru care nu se vor produce în cantități mari;
- sunt extreme de costisitoare, datorită costurilor inițiale cu materiile prime și lotul de muncă manual implicat;
- costul lor este de aproximativ 10 ori mai mare față de jantele forjate, dar cercetările efectuate în acest domeniu vor duce la reducerea prețurilor de fabricație.

Jantele din titan:

- reprezintă soluția de mijloc, ele fiind mai ușoare ca oțelul, dar mai grele față de aliajul de aluminiu, greutatea titanului fiind mai mare cu 67% față de aluminiu și mai mica cu 74% decât a oțelului;
- sunt rezistente la coroziune, fiind utile pe drumuri cu salinitate ridicată.

Cele mai recente tehnologii de turnare în domeniul fabricării jantelor din aliaj sunt:

- turnare sub joasă presiune,
- turnarea centrifugală – utilizată tot mai rar.

Ulterior, tehnologia de deformare (flow forming), tehnologia strunjirii și tehnologia acoperirii ne permit să rezolvăm următoarele sarcini:

- garanția unei turnări de calitate,
- combinarea rezistenței și durabilității cu o greutate minimă,
- asigurarea unei rezistențe ridicate la coroziune și durabilității acoperirilor de protecție împotriva influențelor mediului înconjurător [47].

Aliajele utilizate trebuie să îndeplinească o serie de cerințe uneori contradictorii:

- bune proprietăți de turnare (turnabilitate, sensibilitate la ruperea la cald și contractibilitate);
- capacitatea de a rezista la impactul fizic (alungirea și rezistența la impact);
- rezistență la coroziune (atmosfera normală și soluție salină);
- rezistență la oboseală [42, 44].

Aceste cerințe au condus la utilizarea pe scară largă a aliajelor de aluminiu hipoeutectice Al-Si cu 7-12% conținut de siliciu, conținuturi diferite de magneziu (cu compromisuri asupra rezistenței sau alungirii), conținut scăzut de fier și alte impurități.

În Statele Unite și în Japonia, aliajul folosit mai des este AlSi7Mg0.3(A356.0) tratat termic T6. În Europa, proporția jantelor tratate termic este în creștere,

utilizându-se cu precădere același aliaj $AlSi7Mg0.3$ sau aliajul $AlSi11Mg$ – silafont-20, care are un conținut mai scăzut de magneziu și este mai puțin favorabil în ceea ce privește limita de oboseală, dar are o capacitate de turnare mai bună și caracteristici de contracție diferite [40]. Se utilizează, de asemenea și aliajele de aluminiu de turnătorie $AlSi11$ și $AlSi12$, datorită faptului că se toarnă mai ușor, nu se aplică tratament termic, ceea ce determină costuri mai mici pentru fabricare.

Testele au arătat că utilizarea aliajului $AlSi7Mg0.3$, cu diferite concentrații ale Mg oferă cel mai bun compromis între rezistența la oboseală și alungire. De asemenea, dacă se crește conținutul de Si, acesta are un efect negativ asupra ductilității, însă aliajele cu 9-11% Si sunt încă acceptabile, dar este necesar un proces de turnare îmbunătățit, astfel încât jantele să corespundă cerințelor din punct de vedere calitativ și economic. O creștere a conținutului de magneziu nu îmbunătățește rezistența la oboseală, dar reduce semnificativ alungirea.

Calitatea pieselor turnate sub presiune este superioară celor turnate în forme temporare sau în forme metalice prin turnare liberă (gravitațională). Formele folosite la turnarea sub presiune sunt metalice și ca atare asigură o mare viteză de răcire, obținându-se piese cu structură fină și proprietăți mecanice superioare. În plus, presiunea ridicată din timpul turnării asigură o mai mare compactare a aliajului și reduce posibilitatea de apariție a suflurilor în piesele turnate.

În cazul turnării la presiune atmosferică, se formează un număr mic de germeni de cristalizare, în schimb viteza liniară de creștere a acestor germeni este mare, ceea ce duce la obținerea unor cristale mari. Mărirea presiunii la turnare, peste cea atmosferică, determină mărirea numărului de germeni de cristalizare și micșorează viteza liniară de creștere a acestora ceea ce duce la obținerea unei structuri granulare fine.

Reducerea de greutate a masei nesuspendate a vehiculelor este o prioritate. Se acceptă diferite compromisuri dacă cerințele de design impun diferite tehnologii de producție. Greutatea este un parametru esențial pentru a evita vibrațiile semnificative la nivelul roții și suspensiei autovehiculului. Ca urmare, jantele sunt realizate prin turnare sau forjare.

Jantele turnate și cele forjate sunt vopsite sau lăcuite pentru a rezista la coroziune. Spițele roților sunt șlefuite și lăcuite sau vopsite. Astfel, pe suprafața neacoperită a discului de oțel sau aliaj de aluminiu, precum și pe suprafața butucului nu au fost observate zone corozive semnificative [44].

3.3.1. Turnarea gravitațională

Turnarea gravitațională este procesul de bază de turnare a aliajelor de aluminiului într-o formă temporară sau metalică folosind gravitația. Turnarea gravitațională oferă un cost de producție foarte rezonabil și este o metoda bună pentru turnarea modelelor la care se urmărește aspectul estetic sau atunci când reducerea greutateii nu este o preocupare principală. Deoarece procesul de turnare se bazează pe gravitație pentru a umple forma, materialul din piesa obținută nu este la fel de compact ca la alte procese de turnare. Adesea jantele turnate gravitațional vor avea o greutate mai mare pentru a avea rezistența necesară [45].

Jantele turnate gravitațional au o rată de porozitate și de absorbție a impurităților mai mare, densitatea materialului este mai mică, ceea ce duce la obținerea unei jante mai grele care să fie capabilă să funcționeze la parametrii necesari, iar variațiile de proces sunt foarte mari ceea ce conduce la un procent mai mare al defectelor.

3.3.2. Turnarea centrifugală

Turnare centrifugală este o metodă de obținere a pieselor prin turnarea metalului într-o formă care se rotește și se bazează pe acțiunea forței centrifuge asupra metalului lichid, care este proiectat pe pereții forme unde se solidifică [51].

Axa de rotație poate să corespundă cu axa piesei și atunci se obțin piese de revoluție sau să nu corespundă cu axa piesei și se obțin așa numitele piese fasonate. Axa de rotație poate fi verticală, orizontală sau înclinată.

În toate cazurile aliajul se găsește sub acțiunea a două forțe:

$$\text{- forța de gravitație: } G = m \cdot g \text{ [N]} \quad (3.1)$$

$$\text{- forța centrifugă: } F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r \text{ [N]} \quad (3.2)$$

Turnarea centrifugală diferă de cele mai multe procese de turnare, care folosesc gravitația sau presiunea pentru a umple forma, iar procesul de turnare se face de obicei pe mașini de turnare centrifugală orizontală și mai rar, pe cele verticale. Procesul include următoarele etape:

1. Pregătirea matriței - pereții unei matrițe cilindrice sunt mai întâi acoperiți cu un strat ceramic refractar, care presupune următorii pași: aplicare, rotire, uscare și coacere. Odată pregătită și asigurată, matrița este rotită în jurul axei sale la viteze mari (300-3000 rot/min), de obicei în jur de 1000 rot/min.

2. Turnarea - metal topit este turnat direct în matrița care se rotește. Forța centrifugă împinge materialul spre pereții matriței până când aceasta se umple.

3. Răcirea - cu metalul topit în interiorul matriței, aceasta continuă să se rotească până când metalul se răcește. Răcirea începe de la pereții matriței către interiorul acesteia.

4. Îndepărtarea piesei turnate - după ce piesa turnată s-a răcit și solidificat, rotirea matriței este oprită și piesa turnată poate fi îndepărtată.

5. Finisajul - forța centrifugă împinge metalul cu densitatea mai mare către pereții exteriori, iar impuritățile mai puțin dense sau golurile de aer se regăsesc pe suprafața interioară a piesei, ceea ce necesită procese secundare de prelucrare, șlefuire sau curățare cu nisip, pentru a curăța și netezi diametrul interior al piesei [45, 51].

În figura 3.5 sunt prezentate principalele metode de turnare centrifugă.

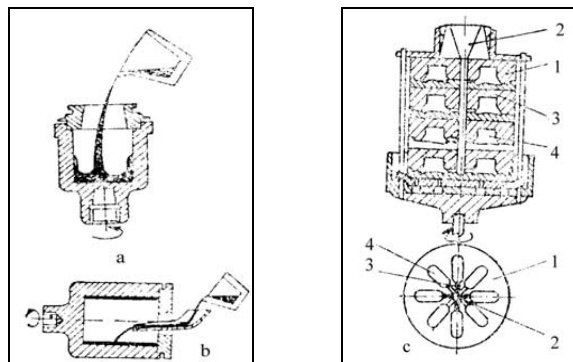


Fig.3.5. Turnarea centrifugă a pieselor:
a-turnare centrifugă cu ax vertical; b-turnare centrifugă cu ax orizontal;
c-turnarea pieselor fasonate

Suprafața liberă a aliajului centrifugat este în cazul turnării cu ax vertical un paraboloid, iar în cazul turnării cu ax orizontal un cilindru.

Corpul cilindric gol ce se obține are o grosime neuniformă de perete pe verticală,

$$\Delta S = \frac{g}{\omega^2}, \quad (3.3)$$

conform figurii 3.6.

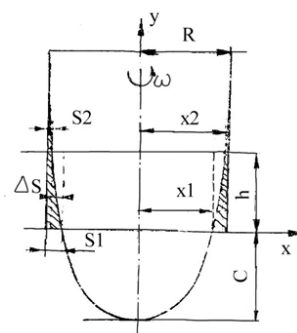


Fig.3.6. Schema de calcul pentru determinarea matematică a neuniformității grosimii peretelui.

Neuniformitatea de grosime a pereților ΔS va fi cu atât mai mică cu cât ω este mai mare, h este mai mic, R este mai mare și grosimea medie de perete S_m trebuie să fie mai mică. Ca urmare, prin acest procedeu se toarnă piese de înălțime mică, subțiri și cu diametru mare.

La turnarea cu ax orizontal suprafața interioară este un cilindru excentric față de axa de rotație.

Presiunile în interiorul aliajului lichid centrifugat sunt diferite, în funcție de procedeu, precum și în funcție de suprafața de turnare, atât în cazul turnării obișnuite, când axa formei corespunde cu axa piesei, cât și în cazul pieselor fasonate.

Presiunea în aliajele supuse centrifugării:

- crește pe măsura îndepărtării de suprafața liberă după o lege parabolică;
- crește în funcție de viteza de rotație;
- în timp, presiunea reală pe secțiunea peretelui piesei descrește deoarece scade raza exterioară a stratului lichid.

Solidificarea (răcirea) pieselor turnate centrifugal are loc bidirecțional:

- cedarea de căldură la interfața cu forma, prin convecție, conducție și după apariția interstițiului, prin radiație;
- cedarea de căldură la suprafața interioară prin radiație.

Procesul de radiație are o mare intensitate la temperaturi ridicate ale aliajului (peste 600°C). Intensitatea transmisiei căldurii este mai mare în cazul turnării cu axă de rotație verticală, iar la turnarea cu axa de rotație orizontală, fenomenul are o intensitate mare numai la părțile frontale.

S-a constatat că intensitatea transmisiei căldurii este invers proporțională cu lungimea piesei. Intensitatea circulației aerului este maximă la turnarea cu axă înclinată și cu forma de turnare deschisă la ambele capete.

Asupra solidificării, parametrii tehnologici au următoarea influență:

- la creșterea vitezei, crește forța centrifugă, deci crește presiunea din interiorul aliajului lichid, ceea ce duce la creșterea vitezei de răcire prin mărirea intimității contactului piesă-formă.

- creșterea vitezei influențează echilibrul aliajului din formă. Peste o anumită viteză critică, suprafața liberă se stabilizează, devine concentrică cu cea a formei și se poate considera lichidul în repaus relativ. Din acest punct de vedere creșterea vitezei unghiulare are efect de micșorare a vitezei de răcire.

La solidificarea statică apar cristale columnare, iar la solidificarea dinamică, cristale echiace. Deci la viteze unghiulare mari se poate considera că avem o solidificare statică. Pentru a avea cristale echiace în zona cristalelor columnare se utilizează viteze mici, chiar sub nivelul turății critice sau viteze de rotație variabile.

Segregația apare mai accentuat la turnarea centrifugală decât la cea obișnuită, mai pronunțat pe direcția radială. Componentii aliajului suferă o segregație după densități, în funcție și de scăderea temperaturii și de avansarea frontului de cristalizare. Fenomenul este inexistent la aliajele eutectice și la piesele cu pereți subțiri.

Turnarea centrifugală este folosită pentru a produce piese simetrice, cum ar fi cilindrii sau discuri, care sunt, de obicei goale la interior. Datorită forțelor centrifuge mari, aceste piese au o granulație foarte fină pe suprafața exterioară și posedă proprietăți mecanice cu aproximativ 30% mai mari decât piesele formate cu metodele de turnare statice. Aceste piese pot fi turnate din: metale feroase (oțel slab aliat, oțel inoxidabil) sau din aliaje neferoase (aluminiiu, bronz, cupru, magneziu și nichel). Turnarea centrifugală se pretează pentru producerea de piese din industrii diferite, inclusiv industria aerospațială și marină. Piese tipice obținute prin turnarea centrifugală sunt rulmenți, bușe, bobine, cămăși de cilindru, duze, țevi sau tuburi, vase sub presiune, scripeți, inele și jante.

3.3.3. Turnarea sub presiune

Turnarea sub presiune este printre cele mai utilizate metode de turnare pentru producerea pieselor de volum mare sau în masă din industria prelucrării metalelor și acestea se pot regăsi în mii de produse consumabile, produse comerciale și industriale [52].

Turnarea sub presiune este un proces eficient, economic, care oferă o gamă largă de forme și componente față de alte tehnologii de fabricație. Producătorii pot obține o serie de avantaje și beneficii prin utilizarea pieselor turnate, atât din punct de vedere al utilității, cât și a aspectului vizual. Prin această metodă se pot obține piese cu forme complexe, cu toleranțe mai apropiate de piesa finală decât prin alte metode de producție în masă. Prelucrarea poate să fie minimă sau să lipsească și pot fi turnate mii de piese identice, fără a fi necesare scule suplimentare [45, 52].

Turnarea sub presiune oferă precizie dimensională, menținând în același timp toleranțe strânse, stabilitate și durabilitate. Piesele turnate cu pereți subțiri sunt mai puternice și mai ușoare decât cele obținute prin alte metode de turnare. Acestea au rezistență mai mare, deoarece nu sunt realizate din piese separate, sudate sau fixate împreună.

Piesele turnate sub presiune pot fi produse cu suprafețe netede sau texturate și sunt ușor de placat sau de finisat, cu o pregătire minimă a suprafețelor. Ele sunt ușor de asamblat și pot fi realizate cu elemente de fixare turnate direct pe corpul piesei [52].

3.3.3.1. Turnarea sub presiune joasă

Turnarea sub presiune joasă (TJP) utilizează suprapresiunea pentru ca aluminiul topit să ajungă în matriță mai repede și pentru a avea un produs finit, care să aibă proprietățile mecanice îmbunătățite față de o jantă turnată gravitațional, chiar dacă costul de producție este mai mare [45].

Turnarea sub joasă presiune se realizează cu turbulențe reduse sau inexistente ceea ce duce la o umplere a matriței cu erodare puțină sau deloc. Metalul topit în cuptor se regăsește într-un recipient închis în atmosferă protejată și ca urmare, absoarbe mai puțin hidrogen precum și orice alte impurități, iar formarea de oxid este redusă substanțial. Spre deosebire de turnarea gravitațională, suprafața de metal nu este întreruptă în mod constant, obținându-se un metal de calitate superioară [42, 50].

La acest proces de fabricație, costurile de producție sunt mai mari, dar oferă și o fiabilitate mai mare. Chiar dacă ar exista o creștere de presiune în instalația de turnare, matrița este umplută încet cu aliaj topit, prevenind astfel formarea unor pelicule de oxizi și a incluziunilor de gaze. Aplicarea răcirii locale asupra matriței asigură o solidificare ideală, care previne defectele datorate contracției.

Avantajele procesului de turnare sub joasă presiune includ:

- randament mai mare;
- reducerea costurilor de prelucrare;
- un control excelent al parametrilor de proces;
- calitate metalurgică superioară;
- o utilizare optimă a aliajului;
- excelente proprietăți mecanice și tehnologice ale pieselor turnate;
- minimă porozitate;
- materiale mai dense, care duc la obținerea de jante mai ușoare;
- variații mici de proces.

Principalul avantaj al turnării sub joasă presiune este puritatea produsului obținut și un proces de fabricație aproape în totalitate controlat, astfel se pot elimina majoritatea cauzelor care conduc la produse cu defecte, în general obținându-se produse de calitate mai bună, jante mai rezistente și mai ușoare, cu proprietăți mecanice mai ridicate, mai greu de deformat, fără probleme de echilibrare și sunt semnificativ mai puțin predispuși la apariția fisurilor [52, 53].

La turnarea sub joasă presiune, presiunea necesară se obține cu aer comprimat și are valori între $(0,5-1)10^5$ Pa, iar în timpul solidificării se poate mări presiunea până la $2,5 \times 10^5$ Pa. Viteza maximă de curgere a aliajului este 1,5 m/s.

Spre deosebire de turnarea la presiune înaltă (TIP), instalațiile TJP sunt mai simple, iar etanșarea formei este mult mai ușor de realizat, iar calitatea pieselor este la parametrii apropiați de ai pieselor turnate la presiune înaltă, dar la o investiție și un cost de fabricație mult mai reduse.

Topirea se realizează într-un creuzet metalic sau de grafit, cu flacără, cu rezistență sau cu inducție.

Schema de principiu este prezentată în figura 3.7.

Metoda TJP se utilizează pentru turnarea pieselor de tipul batiurilor, plăcilor, cutiilor, din aliaje neferoase. La proiectarea pieselor trebuie să se țină seama că alimentarea se face prin partea inferioară, deci zonele groase se vor amplasa jos, pentru ca retasura să fie alimentată de aliajul lichid care în timpul solidificării este încă sub presiune.

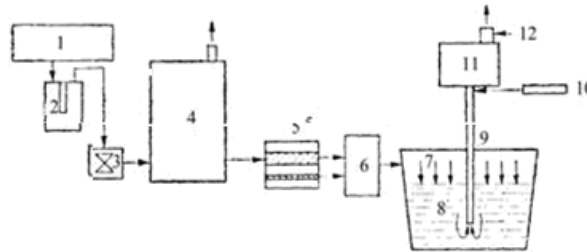


Fig.3.7. Schema de principiu a unei instalații TJP:

- 1-sursă de aer comprimat; 2-separator de apă; 3- reductor de presiune; 4-rezervor de aer;
 5-rezistență hidraulică variabilă; 6-distribuitor; 7-spațiu etanș; 8- aliaj lichid;
 9-conductă; 10-dispozitiv de întrerupere mecanică a alimentării cu aliaj lichid;
 11-formă de turnare; 12-filtru.

3.3.3.2. Turnarea sub presiune înaltă

Procesul de turnare sub presiune înaltă (TIP), prezentat schematic în figura 3.8 constă de asemenea în injectarea de metal topit sub presiune într-o formă de oțel numită matrită. Indiferent de caracteristicile mașinilor pentru turnarea sub presiune, singura diferență este metoda utilizată pentru a injecta metalul topit.

Mașinile de turnat sub presiune înaltă pot fi cu turnare în cameră caldă sau în camera rece. Un ciclu complet de turnare poate varia de la mai puțin de o secundă pentru componentele mici, care cântăresc mai puțin de 35g, la două-trei minute pentru o turnare de câteva kilograme, ceea ce face turnare sub presiune să fie tehnica cea mai rapidă pentru producerea cu precizie a pieselor metalice neferoase [52].

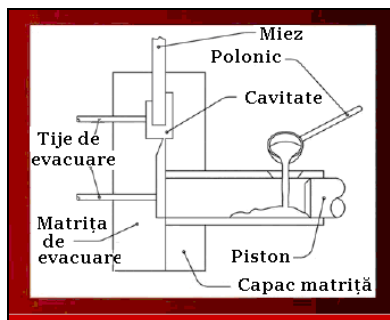


Fig.3.8. Schema de principiu a unei instalații de TIP

3.4. Forjarea jantelor

Forjarea este o tehnică de producere a jantelor din aliaje metalice, prin care materialul este încălzit într-un domeniu bine stabilit (360-510 °C) [12], temperatura maximă de încălzire fiind situată sub temperatura solidus. Pentru forjare, se folosesc blocuri de aluminiu de formă cilindrică, cu diametru și înălțime variind în funcție de destinația jantei, dimensiunile acestora și respectiv greutatea. În prezent, aliajul de aluminiu produs în cuptoare cu flacără, după procesul de rafinare (inclusiv filtrare) se toarnă semi-continuu sub formă de bare cu diametru de 305 mm – 400 mm și lungime de 7000 mm. Numărul barelor turnate dintr-o șarjă este funcție de

dimensiunile acestora, respectiv greutatea lor. De exemplu, pentru o janta cu greutatea de 19 kg, dimensiunile necesare blocului sunt diametru 305 mm și înălțime 100 mm. Blocul de metal încălzit în domeniu bine stabilit este supus la presiuni ridicate, în urma cărora rezultă janta de forma dorită. Procedura presupune trei stadii diferite, folosindu-se matrițe cu grade diferite de detaliere. Matrițele sunt fixate și preseate împreună în dispozitivul de forjare, presiunea la care se lucrează fiind cuprinsă între 50 – 80 MPa. Comprimarea materialului în timpul forjării are ca rezultat creșterea densității și a capacității de încărcare. În faza de producție, materialele sunt încălzite înainte de fiecare stadiu la o temperatură prestabilită [49].

Forjarea este o combinație de rezistență, greutate redusă și ductilitate. Rezistența mecanică și fizică caracteristică jantelor forjate este distribuită pe întregul jantei la nivel de grăunte cristalin. Rezultatul constă într-o rezistență la efort sau la impact mult mai mare decât la janta echivalentă obținută prin turnare.

În figurile 3.9 și 3.10 se prezintă etapele de forjare, plecând de la materia primă până la janta finală [49].



Fig.3.9. Etapele forjării

Până la faza de prelucrare, toate etapele se realizează prin forjare. Odată forjate, jantele sunt tratate termic pentru a maximiza puterea mecanică globală. Pentru a obține configurația finală se folosesc strunguri cu control numeric computerizat (CNC). Finisarea finală are loc printr-o prelucrare atentă, care implică echipamente extraordinar de fine, toate detaliile fiind finisate și ajustate cu precizie la dimensiunile cerute, conform specificațiilor și designului echipei de proiectare. Apoi, janta este șlefuită manual la interior și exterior și aplicarea unui strat acrilic protector.



Fig.3.10. Procesul de forjare:

lingou aliaj aluminiu – etapele forjării – jantă forjată – jantă complet prelucrată

Principalul avantaj al jantelor forjate față de cele turnate este greutatea. Pentru a înțelege beneficiile unei jante mai ușoare, este necesar să se înțeleagă diferențele dintre "greutatea suspendată" și "greutatea nesuspendată" a autovehiculului. Greutatea suspendată este susținută de suspensie și aceasta include cutia de viteze, motor și șasiu, iar greutatea nesuspendată se referă la sistemul de suspensie și componentele conectate la acesta. Imperfecțiunile de la nivelul căii de rulare aplică forțe asupra greutateii nesuspendate, care apoi reacționează cu mișcarea proprie a autovehiculului. Cu cât greutatea nesuspendată a autovehiculului este mai mică, cu atât este mai puțin influențată de calea de rulare și de alte forțe externe [54].

Reducerea greutateii nesuspendate conduce la creșterea performanțelor vehiculului și cel mai ușor mod de a face acest lucru este prin reducerea greutateii roților vehiculului, ceea ce face să avem o manevrabilitate mai ridicată asupra vehiculului, o frânare mai rapidă și o accelerație mai bună, o eficiență mai mare a consumului de combustibil și o cantitate mai mică de emisii de noxe. Toate aceste beneficii pot fi obținute prin înlocuirea jantelor turnate cu cele forjate [54].

Avantajele jantelor forjate:

- janta forjată este mai ușoară decât echivalentul celei turnate, ceea ce ajută la îmbunătățirea performanței automobilului prin reducerea masei nesuspendate și creșterea performanței suspensiei, astfel încât în final rezultă o ținută de drum mai bună, manevrabilitate sporită și siguranță în viraje;
- greutatea redusă a jantei forjate înseamnă un cuplu unghiular mai redus, ceea ce în termeni practici asta înseamnă o dinamică a condusului îmbunătățită printr-un consum redus de putere în timpul accelerării și o mai mare eficiență a frânării [47];
- caracteristicile mecanice și fizice la o jantă forjată sunt egal distribuite în toate punctele, în timp ce la o jantă turnată prin procedeul standard, acestea variază de la centru la periferie;
- finisarea jantelor forjate este superioară față de cele turnate prin procedee clasice, datorită structurii materialului foarte compact, rezultat în urma presării la peste 50 MPa.

3.5. Tehnologia de deformare - Flow Forming

Una dintre tendințele actuale este creșterea cererii de jante cu diametru mare, lucru care poate fi dificil datorită greutateii lor, ceea ce duce la creșterea greutateii asupra suspensiei mașinii, compromițând confortul și siguranța la volan, însă, această problemă a fost rezolvată prin introducerea tehnologiei flow forming (fasonare / „tehnologia întinderii”), prezentată în figura 3.11.

Prin utilizarea echipamentelor speciale, janta turnată este încălzită sub presiune (la o temperatură de la 300 până la 350°C) și sub acțiunea rotelor care presează asupra ei, aceasta se deformează până ajunge la forma și lățimea finală. Ca urmare a acestui proces tehnologic, în primul rând, grosimea jantei este redusă, reducând astfel și greutatea roții, iar în al doilea rând, structura aliajului este schimbată, proprietățile sale sunt îmbunătățite, metalul devine mai fibros și suprafața jantei devine mai fermă [50].

Această tehnică de producție face posibilă reducerea volumului în baza jantei cu până la 50%. O diminuare importantă a greutateii jantei influențează pozitiv consumul de combustibil și implicit mediul înconjurător, toate acestea în condițiile menținerii marii varietăți de design și respectării standardului ridicat de siguranță [46, 49].

Profilul bordurii unei jante fabricate prin utilizarea tehnologiei de deformare este mai subțire, iar janta este mai ușoară cu până la 15% față de o jantă turnată normal. Presiunea utilizată în acest proces, de fapt, schimbă proprietățile mecanice ale bordurii jantei pentru a avea valori ale rezistenței, rigidității și impactului comparabile cu jantele forjate, obținându-se un nivel foarte ridicat de performanță, la un cost care este cu mult mai mic decât la o jantă forjată. Ca urmare, o astfel de jantă este mult mai receptivă la accelerare și frânare și reduce impactul negativ asupra suspensiei mașinii, prelungind astfel durata sa de viață [50, 55].

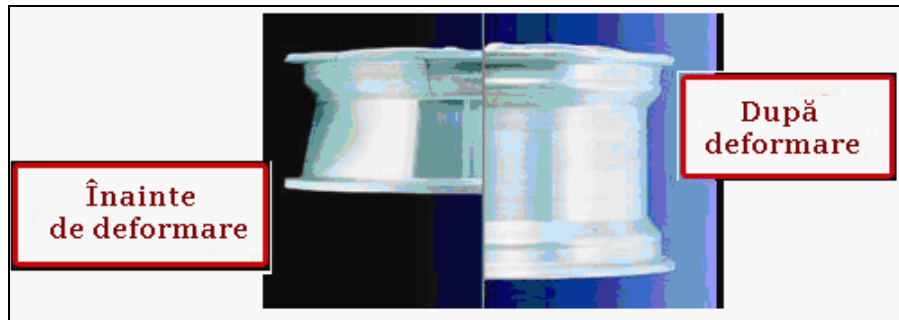


Fig.3.11. Tehnologia Flow Forming

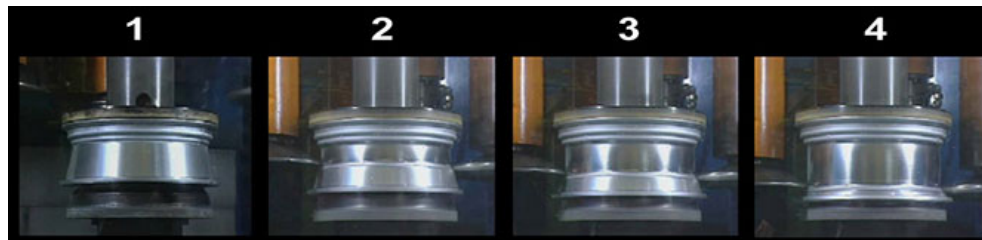


Fig.3.12. Etape în procesul de deformare

"Flow Forming" este o procedură care folosește 3 role hidraulice și viteze și forțe foarte mari, care duc la greutatea foarte mici și rezistențe mari. Prin acest proces, rolele hidraulice forțează materialul turnat să urmeze profilul dat de sculele din oțel masiv. În timpul procesului este creat întregul diametru al jantei (figura 3.12).

3.6. Tehnologii de prelucrare mecanică

Zonele de pe partea interioară a centrului jantei sunt prelucrate prin strunjire și frezare, în scopul de a elimina toate materialele în exces și de a reduce greutatea roții. În timpul acestui proces o atenție specială este acordată tratamentului zonelor din interiorul spițelor și în jurul găurilor de montare. Punerea în aplicare a acestei tehnologii permite utilizarea a mai puțin material pentru a obține forme mai complexe și optimizarea greutății jantei, în timp ce se asigură stabilitatea roților și o durabilitate ridicată [50, 56].

Janta semi-finisată este supusă unui proces de recoacere la temperatura de 400-600°C, urmat de tratamentul de îmbătrânire, care completează ciclul de tratamente în vederea îmbunătățirii calității. Pentru aliajele de aluminiu se aplică

tratamentul tip T6, în timp ce aliajele de magneziu sunt supuse unui tratament tip T4 [47].

Fața neprelucrată a jantei forjate este setată într-un echipament CNC (control numeric computerizat), unde un strung vertical prelucrează canalul și spațiul interior al acesteia, în care intră butucul pe care se montează janta și sistemul de frânare. Designul exterior al jantei este apoi obținut prin prelucrare pe un strung multi-axial [47, 57].

Strungurile cu comandă numerică sunt prevăzute cu un echipament CNC, la care prelucrarea se execută după un program realizat manual sau automat. Operația de strunjire se desfășoară, ca rabotarea și mortezarea, cu scule cu o singură muchie așchietoare principală, procesul de așchiere desfășurându-se continuu.

Strungurile automate (monoaxe sau multiaxe) după ce sunt reglate, prelucrarea pieselor se face complet fără intervenția muncitorului.

3.7. Finisarea jantelor

Pentru finisarea suprafețelor jantelor se realizează un tratament electrochimic special care nu cauzează nici o creștere în greutatea acestora, dar le protejează la coroziune, scoate mai bine în evidență forma lor și prelucrarea mecanică.

Finisarea presupune aplicarea succesivă la căldură a patru straturi diferite de pulberi epoxy și vopsea lichidă metalizată. La final, un strat transparent de lac este aplicat pe jantă pentru a-i conferi o strălucire mai mare și a o proteja de agenții abrazivi și chimici [47].

Anodizarea și vopsirea în câmp electrostatic constituie factori determinanți pentru produsele din aliaje de aluminiului, prin care se îmbunătățește comportamentul anticoroziv al aluminiului și proprietățile decorative.

3.7.1. Anodizarea

Prin anodizare, pe suprafața aliajului de aluminiului se formează un strat de oxid (Al_2O_3), cu o grosime de câțiva microni, foarte dens, care nu permite pătrunderea oxigenului spre interior, în acest mod, împiedicând extinderea oxidării. Deoarece procedura se realizează în condiții complet controlate, acest strat de oxid este foarte coeziv și dur. Stratul anodizat este transparent și structura sa permite încorporarea materialelor colorante.

Proprietățile specifice anodizării sunt:

- stratul de anodizare este format de metalul însuși, este complet integrat în acesta și nu există astfel probleme de aderență;
- performanțele anticorozive ale anodizării sunt foarte bune, dacă se respectă toate regulile procedurilor de producție, aplicare și utilizare;
- produsele anodizante din aluminiu au un aspect metalic;
- există o limită a paletelor de culori.

3.7.2. Tehnologia de acoperire cu pulbere

Materia primă utilizată în producție o reprezintă aliajul de aluminiu, care are o densitate mică și o mare capacitate de a rezista la coroziune. Producătorul acordă o atenție deosebită tehnologiilor de tratare a suprafețelor frontale, prin realizarea unui strat imaculat care asigură rezistența la zgârieturi, o protecție maximă împotriva coroziunii, influențelor mediului ambiant, murdăriei și soluțiilor saline. Tratamentul de suprafață a jantelor prin tehnologia de acoperire cu pulbere oferă stabilitate și durabilitate ridicată. Această tehnologie este metoda principală de

vopsire a jantelor care asigură o acoperire uniformă, durabilă, de înaltă calitate și rezistență la abraziune, cu proprietăți mecanice, chimice și de protecție ridicate [32].

Procesul tehnologic de acoperire cu pulbere cuprinde mai multe etape:

- pregătirea suprafeței roților;
- crearea unui înveliș protector în cuptorul de polimerizare la temperatura de peste 160 °C;
- vopsirea în câmp electrostatic.

Testele de coroziune confirmă fiabilitatea acestei tehnologii: janta este imersată în baia de sare pentru o perioadă de 1,5 ori mai mare decât timpul minim de imersare din standardele de testare (de exemplu, pentru 600 de ore) și nici un defect de suprafață nu este detectat după această perioadă [39].

De asemenea, se utilizează și alte metode de acoperire, cum ar fi vopsirea și acoperirea cu materiale lichide, ambele care asigură fiabilitatea și durabilitatea de acoperire atât pe perioada de vară cât și de iarnă.

Vopsirea în câmp electrostatic reprezintă acoperirea aluminiului cu rășini speciale epoxidice, epoxi-poliesterice sau poliesterice, având ca scop pe de o parte protecția anticorozivă, iar pe de altă parte, realizarea culorii și aspectului dorit [58].

Etapele principale pentru vopsirea aluminiului în câmp electrostatic sunt:

1. **Pregătirea suprafeței** - elementele de aluminiu care urmează să fie vopsite sunt imersate în soluția chimică necesară pentru curățarea suprafeței de particule străine, grăsimi sau alte substanțe, precum și activarea suprafeței;
2. **Crearea substratului (cromatarea)** - în cazul vopsirii aluminiului, este necesară buna corelare a două materiale diferite, a materiei colorante (pudra) și a metalului (aluminiu). Natura și proprietățile chimice ale celor două materiale nu permit aderența directă și eficientă. Din acest motiv este necesară crearea unui substrat potrivit care să permită atașarea cât mai bună a celor două materiale;
3. **Vopsirea** presupune aplicarea pudrei de vopsire pe elementele de aluminiu. Substanța colorantă, sub formă de pudră, se încarcă cu sarcina electrostatică (70-100kV) și este propulsată cu aer comprimat cu pistoalele de vopsire asupra elementelor de aluminiu, care sunt împământate, acoperind suprafața acestora;
4. **Polimerizarea** - după aplicarea colorantului, elementele de aluminiu sunt transportate în cuptoare speciale unde, la o temperatură de 180-220°C și într-un interval de timp care se stabilește de producător, se realizează polimerizarea rășinii și astfel, crearea stratului protector și stabil.

Calitatea finală a vopsirii în câmp electrostatic a aluminiului depinde de foarte mulți factori și evaluarea ei necesită o serie de verificări și teste.

Factorii care influențează calitatea finală sunt:

1. **Instalațiile** - aplicarea vopselei în câmp electrostatic necesită instalații speciale, dotări și respectarea riguroasă și controlul tuturor condițiilor impuse de procedura de producție;
2. **Materiile prime și materialele** - un factor foarte important pentru realizarea unei vopsiri de bună calitate, și anume, tipul și calitatea pudrei utilizate (cu certificare QUALICOAT);
3. **Aspectul** - nu trebuie să existe pe suprafețele importante, zgârieturi care să ajungă până la metal;

4. **Culoarea** - varietatea de nenumărate culori pe care o oferă vopsirea în câmp electrostatic este unul din factorii care a influențat utilizarea ei până în prezent;
5. **Grosimea stratului de vopsea** - vopseaua trebuie să aibă grosimea potrivită (cel puțin 60 μm), astfel încât, în combinație cu celelalte specificații calitative să asigure protecția metalului și aspectul plăcut al produsului final;
6. **Rezistența mecanică** – face referire la proprietățile de aderență, duritate (rezistență la zgârieturi) și flexibilitate (rezistență la presare, îndoire, impact) a straturilor de vopsea în câmp electrostatic aplicate pe suprafața aliajului de aluminiului;
7. **Rezistența anticorozivă** - pentru evaluarea rezistenței la coroziune a produselor vopsite sunt utilizate teste speciale precum: testul cu pulverizare cu sare (durata 1000 ore) sau testul MACHU (test rapid, 48 ore).

3.8. Considerații privind calitatea jantelor auto

În prezent, datorită cerințelor pieței din punct de vedere calitativ și ecologic, jante din aliaj de aluminiu au o utilizare tot mai mare. S-au încercat jante pe piste de curse, off-road și cross country, în cadrul unora dintre cele mai dure condiții de drum, iar jantele din aliaje neferoase sunt acum considerate standardul pentru multe mașini din lume. Odată cu creșterea cererii pentru aceste jante, au apărut și noi evoluții în procesul de proiectare și în tehnologia de fabricație, pentru a putea produce jante îmbunătățite, într-o mare varietate de modele [59].

În cazul jantelor, aliajele de aluminiu turnate oferă un aspect estetic îmbunătățit și un design mai flexibil față de produsul tradițional din oțel sudat. În cadrul industriei jantelor, tendințele de design sunt de a pune un accent mai mare pe prelucrarea acestora, utilizarea unor vopsele cu un luciu mai mare, dimensiunile spițelor mai mici și diametre mai mari.

Jantele auto au o geometrie complicată și trebuie să corespundă diferitelor criterii de proiectare, cum ar fi stilul, greutatea, procesul de fabricare și performanțele pe care trebuie să le îndeplinească. În scopul de a asigura un confort la condus și o manipulare ușoară, roata trebuie să aibă o greutate cât mai mică. În prezent, reducerea greutății roților este o preocupare majoră în industria jantelor, astfel, pentru producătorii de jante aceasta înseamnă o reducere a costurilor materialelor. În scopul de a reduce costul de producție, greutatea jantei trebuie să fie redusă la minimum, dar să-și păstreze în continuare performanțele mecanice necesare să poată funcționa în condiții normale sau severe.

Cheia unei jante din aliaj este calitatea aliajului și a tehnologiei de fabricație, în cazul fabricării jantelor prin turnare, calitatea acestora depinde și de tehnologia de turnare: turnarea în nisip, turnarea gravitațională, turnarea centrifugală și cea de joasă presiune. Primele două tehnologii sunt operațiuni mai puțin controlabile, ceea ce poate duce la apariția de sufluri și retasuri.

Treptat, producția jantelor din aliaj prin turnare este înlocuită cu producția prin deformare plastică, ceea ce duce la o greutate mai redusă, caracteristici fizico-mecanice și performanțe îmbunătățite.

Dintre piesele auto, janta este oarecum unică, deoarece trebuie să îndeplinească sau să depășească o serie de cerințe:

- performanțele la impact și la oboseală, deoarece jantele sunt componente critice pentru siguranță și ineficacitatea lor poate duce la rănierea sau decesul pasagerilor;
- etanșeitatea la aer, deoarece janta este necesar să servească ca o componentă a unui vas de presiune, în contact cu anvelopa;
- suprafață finisată de înaltă calitate, ea fiind una dintre caracteristicile cosmetice importante ale autovehiculului;
- toleranțele geometrice, care sunt din ce în ce mai stricte.

În mod tradițional, proiectarea și dezvoltarea jantelor este mare consumatoare de timp, fiind necesare o serie de teste și repetări ale fazelor de proiectare înainte de a intra în producție, iar reducerea acestor timpi pentru dezvoltare și testare reprezintă o problemă importantă. În scopul de a atinge obiectivele de mai sus, ingineria asistată de calculator (CAE) este un instrument util pentru proiectarea și analiza cu element finit a posibilelor defecte de material sau care pot să apară în timpul funcționării jantei.

Jantele sunt supuse unor serii de teste și procese pentru a se asigura standarde de calitate înalte. Totul începe prin organizarea perfectă a procesului de fabricație al jantelor, astfel, acestea sunt supuse continuu testelor pentru a se asigura dimensiunile și specificațiile cerute în desenul de execuție și se urmărește ca materialele să fie omogene (figura 3.13.c). Controlul calității se face și la ieșirea din fabrică pentru ca jantele să aibă densitatea corectă și nici un defect vizibil. Înainte de livrare, toate jantele din aliaj sunt supuse unor teste de oboseală care implică 200.000 cicluri de încărcare, test realizat de către Institutul TÜV (institut tehnic de certificare). Jantele sunt supuse și la teste de impact, care simulează o coliziune cu bordura drumului. Aceste teste împreună cu eforturile continue de concepere și design de noi modele, formează baza calității. Comportamentul la oboseală este cel mai important parametru pentru dimensionarea jantelor, iar analiza cu element finit este sistematic utilizată în timpul proiectării [60]. Condițiile de lucru sunt luate în considerare, inclusiv solicitările multi-axiale, iar testele de torsiune și de rulare a jantei sunt utilizate pentru a verifica aceste calcule [48, 59].

Înainte de a fi livrate către beneficiari, jantele trec printr-o serie de etape tehnologice:

- proiectarea jantelor;
- realizarea matrițelor pentru turnarea sub joasă presiune;
- testarea matrițelor pentru conformitate cu cerințele de proiectare;
- turnarea de probă;
- testarea mostrelor, care presupune:
 - testarea materialului;
 - teste pentru rezistența la coroziune;
 - teste la încovoiere în timpul rotației;
 - teste de torsiune;
 - teste de impact [47].

Testarea se realizează în conformitate cu reglementările normelor europene CEE / ONU 124.

Prelucrarea după turnare presupune mai multe etape (figura 3.13):

- a) 100% inspecția cu raze X;
- b) tratament termic înainte de prelucrare și testarea etanșeității sub presiune înainte de realizarea supapelor și a găurilor;
- c) vopsirea sau lăcuirea, această operațiune incluzând și o pre-tratare (degresare, fosfatare și / sau cromare);
- d) controale dimensionale;

- e) teste de încovoiere și de oboseală a jantei;
- f) teste de impact [44].



Fig.3.13. Etape după turnare

- (a) inspecția cu raze X, (b) linia de vopsire, (c) instalația de măsurare a dimensiunilor 3D,
- (d) testarea rezistenței la oboseală la încovoiere, (e) instalația de testare la impact

Jantele sunt în primul rând un element de siguranță al mașinii. Producătorii de jante testează materialele pe care urmează să le folosească (verifică compoziția chimică, omogenitatea, densitatea, structura și puritatea aliajului), iar produsul finit este verificat optic pentru depistarea defectelor de suprafață și este scanat cu raze X pentru depistarea unor eventuale defecte interne.

În cadrul cercetării, s-a considerat că este utilă determinarea caracteristicilor fizico-mecanice și corelarea acestora cu compoziția chimică și evident, cu parametrii calitativi ai jantei, utilizând programele de calcul EXCEL și MATLAB, care să conducă la domenii optime de compoziție chimică.

3.9. Concluzii

În urma studiului efectuat privind tehnologiile de fabricare a jantelor pentru autovehiculele rutiere se pot concluziona următoarele:

- în proiectarea și fabricarea autovehiculelor rutiere reducerea de greutate a masei nesuspendate este o prioritate;
- un echilibru perfect al greutateii este un parametru esențial pentru a evita

- vibrațiile semnificative la nivelul roții și suspensiei autovehiculului;
- din punct de vedere tehnologic jantele auto se produc în prezent prin: turnare, forjare, flow forming și air inside technology;
 - pentru fabricarea jantelor prin turnare se pot utiliza următoarele metode tehnologice: turnarea gravitațională, sub presiune și centrifugală;
 - jantele turnate gravitațional au o rată de porozitate și de absorbție a impurităților mai mare, densitatea materialului este mai mică, ceea ce duce la obținerea unei jante mai grele care să fie capabilă să funcționeze la parametri necesari, iar variațiile de proces sunt foarte mari ceea ce conduce la un procent mai mare al defectelor;
 - spre deosebire de turnarea la presiune înaltă (TIP), instalațiile TJP sunt mai simple, iar etanșarea formei este mult mai ușor de realizat, iar calitatea pieselor este la parametri apropiați de ai pieselor turnate la presiune înaltă, dar la o investiție și un cost de fabricație mult mai reduse;
 - forjarea este o combinație de rezistență, greutate redusă și ductilitate;
 - janta forjată este mai ușoară decât echivalentul celei turnate, ceea ce ajută la îmbunătățirea performanței automobilului prin reducerea masei nesuspendate și creșterea performanței suspensiei, astfel încât în final rezultă o ținută de drum mai bună, manevrabilitate sporită și siguranță în viraje;
 - greutatea redusă a jantei forjate înseamnă un cuplu unghiular mai redus, ceea ce în termeni practici asta înseamnă o dinamică a condusului îmbunătățită printr-un consum redus de putere în timpul accelerării și o mai mare eficiență a frânării;
 - caracteristicile mecanice și fizice la o jantă forjată sunt egal distribuite în toate punctele, în timp ce la o jantă turnată prin procedeul standard, acestea variază de la centru la periferie.

PARTEA a II-a

CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII PRIVIND CALITATEA JANTELOR AUTO

4. EXPERIMENTĂRI PRIVIND PRODUCEREA ALIAJELOR DE ALUMINIU DESTINATE JANTELOR AUTO

4.1. Considerații tehnologice

În cadrul programului de cercetare a fost stabilită tehnologia de elaborare și turnare a aliajului de aluminiu 6082, care să determine îmbunătățirea caracteristicilor calitative. În tabelul 4.1 sunt prezentate proprietățile aliajului de aluminiu 6082, conform SR EN 1706:2010 [61]. Aliajul de aluminiu 6082 este destinat fabricării jantelor auto prin deformare plastică la cald/forjare.

Tabelul 4.1. Proprietățile aliajului de aluminiu 6082

	ISO:AlSi₁MgMn (EN AW- 6082)
Proprietăți mecanice	
Rezistența la rupere R _m (N/mm ²) 0/T4/T6	130/260/340
Rezistența la alungire R _{p0,2} (N/mm ²) 0/T4/T6	60/170/310
Rezistența la forfecare τ (N/mm ²) - 0/T4/T6	85/170/210
Alungirea A ₅₀ % - 0/T4/T6	26/19/11
Duritatea Brinell, HB - 0/T4/T6	35/70/95
Duritatea Vickers, HV - 0/T4/T6	35/75/100
Proprietăți termice	
Conductivitatea electrică (%IACS) 0/T4/T6	55,5/42/44
Conductivitatea termică (W/m-K) 0/T4/T6	216/167/172
Proprietăți fizice	
Densitatea (kg/m ³)	2700
Temperatura de solidificare (°C)	570
Temperatura de lichefiere (°C)	650
Modulul de elasticitate longitudinal E (GPa)	70
Modulul de rigiditate GA (GPa)	26,4
Coeficientul lui Poisson	0,33
Rezistivitate (nΩ-m) 0/T4/T6	31/41/39

Aliajul industrial se elaborează în cuptoare cu flacără, utilizând ca materie primă deșeurile de aluminiu, în mare parte de compoziție chimică cunoscută (deșeurii proprii), deșeurii colectate din diferite surse și în funcție de compoziția chimică a topiturii, după ultimul adaos de aluminiu primar, se adaugă feroaliaje pentru corectarea compoziției chimice. De asemenea, pe parcursul elaborării se

adaugă materiale de adaos pentru formarea zgurii. Aliajul obținut se toarnă semi-continuu sub formă de bare, cu secțiune circulară, de diametru: 305 - 410 mm și lungime 7000 mm. Din barele respective se debitează calupuri de diferite înălțimi, în funcție de greutatea jantei.

În fază de laborator, aliajul s-a elaborat în Laboratorul de Topituri Metalice din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara - Universitatea Politehnica Timișoara.

4.2. Echipamente utilizate în cadrul experimentărilor în fază de laborator

În continuare se prezintă echipamentele utilizate în cadrul experimentărilor, precum și principalele caracteristici a acestora:

a) Cuptor cu inducție:



Fig.4.1. Cuptor cu inducție

- volum creuzet 1,4 dm³;
- capacitate 3,4 kg (aluminiu);
- diametru creuzet 100 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 40 min;
- căptușeală bazică – magnezită.

Ca urmare a agitației intense a băii metalice topite sub acțiunea forțelor electrodinamice, se produce o omogenizare chimică și termică a băii metalice, se elimină supraîncălzirile locale și se reduc în consecință pierderile de aliaj (0,5 % – 0,8 %). De asemenea la cuptorul cu inducție poluarea sonoră (sub 70 – 80 dB) și a mediului ambiant este redusă față de alte cuptoare pentru turnarea aliajului de aluminiu.

Ca în orice echilibru, pe lângă avantaje, cuptorul cu inducție prezintă și o serie de dezavantaje cum ar fi:

- temperatura zgurii este scăzută, ca urmare aceasta este puțin reactivă făcând imposibilă reacția dintre metal și zgură;
- antrenarea zgurii în șarjă.

b) Balanțe electronice pentru cântărirea componentelor încărcăturii

a)

b)

Fig.4.2. Balanțe

a) balanță SARTORIUS CP2202S-OCE;

b) balanță KERN ECE 50K50

- balanță SARTORIUS CP2202S-OCE (figura 4.2.a) având caracteristicile: cantitatea minimă de măsurare: 0,5 g; cantitatea maximă de măsurare: 2200 g; precizie: 0,01g.

- balanță KERN ECE 50K50 (figura 4.2.b) având caracteristicile: cantitatea minimă de măsurare 50g; cantitatea maximă de măsurare 50kg; precizie: 50g.

c) Cuptoare de calcinare / topire**Fig.4.3.** Cuptoare de topire

a) cuptor de topire (calcinare)

Nabertherm model L15/12/B180;

b) cuptor de topire (calcinare)

Nabertherm model LHT 02/17

- cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model L15/12/B180 (figura 4.3.a) cu următoarele caracteristici: putere: 3,6kW; temperatură maximă : 1200°C, respectiv 1700°C; volum: 10l.

- cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model LHT 02/17 (figura 4.3.b) cu următoarele caracteristici: putere: 3kW; temperatură maximă: 1700°C; volum: 5l.

d) Lingotiere

Turnarea aliajului de aluminiu s-a făcut în lingotiere cu secțiune rotundă, confecționate din grafit, greutatea unui lingou turnat fiind cuprinsă între 1,95 - 2,20 kg cu secțiune circulară de 80 mm și lungimea de până la 160 mm.



Fig.4.4. Lingotiere

4.3. Procesul tehnologic de elaborare a aliajului de aluminiu

Experimentările au fost efectuate în condiții de laborator, încărcătura constând din bare de aluminiu (secțiune dreptunghiulară 50x9 mm, debitate la lungime de 250 mm) cu puritate peste 99%, provenit din modernizarea unor stații de transformare electrică.

Tabelul 4.2. Adaosuri de materiale pe durata elaborării turnării

Nr. șarjă	Adaos element de aliere (g)			Adaos formare zgură și rafinare, (g)		Adaos sârmă Al/AlTi5 pentru finisare structură (g)	
	Si	Mn	Mg	Flux formare zgura	Adaos NaCl+KCl+CaCl ₂	Al	AlTi5
1.	17	16	19	80	15	10	14
2.	21	16	20	80	15	15	10
3.	18	15	19	80	18	10	12
4.	17	17	18	85	15	10	12
5.	18	18	18	80	19	10	10
6.	19	18	20	80	15	15	10
7.	20	18	19	80	20	13	12
8.	21	18	18	85	18	12	14
9.	19	17	18	80	20	14	13
10.	18	16	19	80	15	16	14
11.	20	19	20	80	15	13	12
12.	21	20	21	84	17	15	12
13.	22	21	21	80	15	15	12
14.	20	20	20	85	15	13	13
15.	19	19	22	80	20	15	11
16.	23	19	19	82	20	17	14
17.	19	18	19	80	18	15	14
18.	20	19	22	80	18	15	13

Având în vedere calitatea încărcăturii, nu a fost necesară prelevare de probă, iar pentru corecția compoziției chimice a aliajului 6082 s-au utilizat următoarele materiale: Si metalic, prealiaj de Mg și Mn80% (adaosurile specifice sunt prezentate în tabelul 4.2) [62,63].

Pentru finisarea granulației s-au utilizat micro-răcitori din sârma de aluminiu și aliaj AlTi5 (tabelul 4.2). Pentru protecția băii s-a utilizat flux de protecție, iar pentru degazarea băii KCl, NaCl și CaCl_2 . Materialele pentru protecția băii au fost adăugate în momentul când baia metalică a fost formată pe o adâncime de circa 50 mm.

În vederea elaborării acestui aliaj de aluminiu, s-a ales sortimentul de deșeu menționat mai sus, deoarece compoziția chimică este cunoscută, este foarte curat și poate fi corelat din punct de vedere dimensional cu capacitatea agregatului de elaborare, asigurându-se în același timp și o încărcătură compactă. După o încălzire până la circa $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, s-a intensificat regimul termic, iar pe măsura topirii încărcăturii, s-a făcut adaosul pentru formarea stratului de protecție (stratului de zgura). După terminarea topirii, s-a continuat încălzirea băii metalice timp de 5-6 minute, făcându-se apoi adaosul pentru corecția compoziției chimice, timp în care baia metalică a fost intens amestecată cu o vergea din oțel (figura 4.5), iar în figura 4.6 sunt prezentate aspecte ale evoluției temperaturii din timpul elaborării și turnării.



Fig.4. 5. Aspecte privind elaborarea și turnarea aliajului de aluminiu

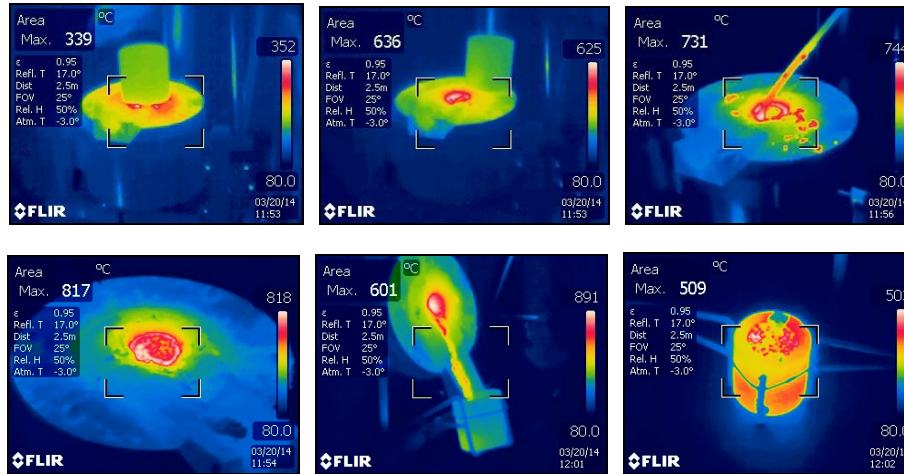


Fig.4.6. Aspecte privind evoluția temperaturii pe perioada elaborării și turnării

Adaosurile de elemente de aliere s-au efectuat în medie cu 8 minute înaintea evacuării, iar adaosul de sârmă de AlTi5 cu 5 minute. Adaosul de sârmă de aluminiu sub formă de granule (diametrul = 2mm, lungime = 2mm) a fost adăugat în timpul evacuării și turnării aluminiului în lingotieră (diametrul = 80mm, înălțime = 160mm). După scoaterea din lingotieră, lingourile au fost supuse unui tratament de omogenizare la temperatura de 480 °C (470-510 °C), cu timp de menținere de 14h și răcire în curent de aer (figura 4.7).

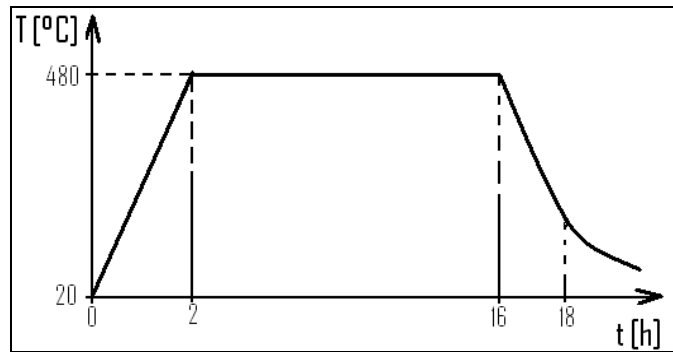


Fig.4.7. Diagrama pentru tratamentul de omogenizare

Pentru încercări mecanice, probele au fost prelucrate prin forjare, acestea fiind încălzite la 400 °C (360-510 °C) [12]. Din lingoul obținut s-au confecționat prin forjare bare cu diametru între 18-20 mm, din care, prin prelucrare mecanică s-au obținut eșantioane pentru determinarea compoziției chimice și a caracteristicilor fizico-mecanice, așa cum se poate observa în figura 4.8, iar în tabelele 4.3 și 4.4 sunt prezentate valorile acestora [23].



Fig.4.8. Probe forjate și epruvete pentru determinarea caracteristicilor de rezistență

Tabelul 4.3. Compoziția chimică a aliajului 6082, (%)

Nr. șarja	Lim.	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
	min.	0,70	-	-	0,40	0,60	-	-	-	-	Rest
	max.	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,01	0,20	0,10	Rest
1	1,30	0,39	0,018	0,431	0,72	0,03	0,002	0,05	0,06	Rest	
2	1,10	0,49	0,02	0,42	0,72	0,03	0,003	0,09	0,05	Rest	
3	1,28	0,50	0,02	0,43	0,97	0,09	0,01	0,05	0,05	Rest	
4	0,76	0,42	0,03	0,61	0,82	0,08	0,003	0,04	0,05	Rest	
5	1,12	0,44	0,04	0,72	0,85	0,07	0,01	0,08	0,06	Rest	
6	1,15	0,41	0,04	0,75	0,82	0,08	0,008	0,03	0,08	Rest	
7.	0,86	0,49	0,03	0,53	0,87	0,10	0,005	0,04	0,09	Rest	
8	0,82	0,44	0,03	0,65	0,72	0,11	0,009	0,05	0,07	Rest	
9	1,13	0,38	0,02	0,94	0,90	0,09	0,01	0,11	0,06	Rest	
10	1,23	0,36	0,015	0,96	0,70	0,12	0,007	0,12	0,08	Rest	
11	1,08	0,41	0,02	0,97	0,71	0,05	0,006	0,09	0,06	Rest	
12	1,15	0,31	0,03	0,84	1,17	0,05	0,007	0,06	0,05	Rest	
13	0,96	0,34	0,026	0,73	1,11	0,06	0,009	0,08	0,07	Rest	
14	0,92	0,43	0,024	0,45	1,14	0,09	0,08	0,07	0,05	Rest	
15	1,04	0,39	0,02	0,87	0,84	0,10	0,08	0,12	0,04	Rest	
16	1,15	0,36	0,03	0,91	0,93	0,07	0,08	0,13	0,05	Rest	
17	1,18	0,36	0,02	0,84	0,96	0,05	0,07	0,09	0,08	Rest	
18	0,97	0,37	0,03	0,88	0,93	0,06	0,05	0,13	0,07	Rest	

Epruvetele pentru solicitarea de tracțiune au fost realizate conform standardului SR EN ISO 6892-1:2010, de diametru 10 mm și lungime totală de 150

mm. Epruvetele pentru duritate au fost realizate conform standardului, SR EN ISO 6506:2006 la dimensiunile 80x100x25 mm, iar epruvetele tip disc pentru determinarea compoziției chimice au fost prelucrate la diametru de 30 mm și grosime de 3 mm.

Tabelul 4.4. Caracteristici fizico-mecanice șarje, după forjare

Nr. șarja	Caracteristici fizico - mecanice				
	Rp _{0,2} (N/mm ²)	R _m (N/mm ²)	A (%)	Z (%)	Duritatea (HB)
1.	177	275	21	22	80
2.	172	268	20	22	85
3.	168	272	20	19	87
4.	167	262	22	19	84
5.	175	280	23	20	88
6.	184	285	24	21	92
7.	178	278	21	18	81
8.	182	267	22	22	89
9.	198	282	22	23	88
10.	182	278	23	22	92
11.	175	269	24	19	82
12.	169	276	24	20	87
13.	176	284	20	24	91
14.	178	283	22	20	81
15.	171	269	21	18	80
16.	181	272	25	22	86
17.	184	282	25	23	92
18.	171	279	24	21	85

Am considerat că prezintă interes o comparație a valorilor obținute pentru caracteristicile mecanice a celor 18 șarje, cu valori obținute pe eșantioane prelevate dintr-o jantă confecționată prin forjare din aceeași marcă de aliaj, scoasă din funcțiune.

S-au prelevat eșantioane din spița jantei și din discul interior al acesteia, așa cum se prezintă în figura 4.9. Din eșantioanele respective au fost realizate epruvete pentru solicitările la tracțiune și încovoiere prin șoc (figura 4.10).

Pentru eșantionul prelevat din spița jantei, rezistența la curgere Rp_{0,2} a fost 222 N/mm², iar rezistența la rupere R_m a fost 365,42 N/mm². Valorile mai mari, comparativ cu cele obținute în cazul celor 18 șarje, se explică prin finisarea structurii (grăunți fini și precipitarea Mg₂Si sub formă globulară). S-a realizat și încercarea de rezistență prin șoc, având în vedere că jantele sunt supuse la coliziuni în timpul exploatării, iar valoarea acesteia a fost KU = 82 J.



Fig.4.9. Elemente prelevate din janta forjată



Fig.4.10. Epruvete folosite pentru încercarea la tracțiune și încovoiere prin șoc

4.4. Analiza tehnologică

Pe baza datelor obținute referitoare la compoziția chimică și caracteristicile fizico-mecanice, s-a efectuat o analiză tehnologică a rezultatelor obținute:

- în ceea ce privește compoziția chimică, toate cele 18 șarje s-au încadrat în limitele prevăzute în standard. Referitor la Mg, acesta a fost bine controlat ca urmare a faptului că a fost introdus în baia metalică prin imersie (introdus în cutie metalică perforată), pentru a reduce pierderile prin ardere, pe de o parte, iar pe de altă parte, pentru măsuri de protecție a muncii. Elementele de aliere, cu influență mai mare asupra turnării, Si, Mg și Mn s-au situat în limitele prevăzute în standard;
- utilizând drept component principal al încărcăturii, Al de puritate foarte ridicată (peste 99%), conținutul de Fe nu a depășit valoarea maximă prevăzută de

standard. Referitor la elementele reziduale Cr și Zn conținutul acestora s-a situat mult sub limita prevăzută de standard. În ceea ce privește Ti, ca urmare a adaosului de sârmă cu Ti, se observă o creștere a conținutului de Ti, acesta fiind situat în limitele 0,7-0,9 pentru un număr de 7 șarje (șarjele 6,7,8, 10, 13, 17, 18);

- caracteristicile mecanice sunt superioare celor prevăzute de standard, existând tendința de creștere a acestora cu creșterea conținutului de Ti, Mn, Mg și Si. Ele pot fi bine influențate în primul rând prin controlul conținutului de Ti, a celui de Fe, prin acest element împiedicându-se formarea componentilor fragili, precum și a conținutului de Mg, având în vedere formarea compusului Mg_2Si .

- pentru elaborarea aliajului 6082 se impune utilizarea deșeurilor cu puritate în aluminiu cât mai mare, de dorit, de cel puțin 99%, ceea ce asigură un control riguros a procesului de aliere;

- în cazul utilizării deșeurilor de aluminiu cu elemente de aliere, trebuie obligatoriu să se cunoască fie compoziția chimică a deșeurilor, fie să se preleveze probă pentru analiza chimică, după terminarea topirii și dacă este cazul, diluarea topiturii cu aluminiu primar;

- după topirea adaosului de aluminiu primar, obligatoriu se prelevează probă pentru compoziția chimică, aceasta fiind necesară pentru o aliere corectă;

- prin respectarea compoziției chimice și a tratamentului de omogenizare se asigură obținerea pentru caracteristicile mecanice a valorilor prevăzute în standard;

- cercetările vor fi extinse pentru a stabili o serie de corelații matematice între caracteristicile calitative și principalele elemente din compoziția chimică, precum și influența acestora asupra granulației.

4.5. Prelucrarea datelor experimentale

Datele obținute în cadrul experimentărilor, referitoare la compoziția chimică și caracteristicile fizico-mecanice au fost prelucrate în programele de calcul Excel și Matlab, în vederea obținerii unor corelații între acești parametri.

4.5.1. Rezultate obținute la prelucrarea în programul Excel

Principalele elemente de aliere ale aluminiului sunt Cu, Mg și Zn, la care se adaugă Mn, Ni, Cr, alierea având ca scop îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale acestuia, proprietăți care sunt influențate însă și de prezența impurităților [62, 63].

O caracteristică importantă cu influență mare asupra durabilității în exploatare a jantelor auto este rezistența la rupere, care se determină conform SR EN ISO 6892-1:2010 [64, 65]. Experimentările au fost efectuate asupra aliajului de aluminiu 6082 desemnat în conformitate cu standardul SR EN 573-1:2005.

În urma prelucrării datelor experimentale în fază de laborator, prezentate în tabelele 4.3 și 4.4, în programul de calcul Excel, se prezintă în continuare influența compoziției chimice asupra rezistenței la rupere, limitei de curgere, precum și a durtății pentru materialul studiat [66, 67, 68].

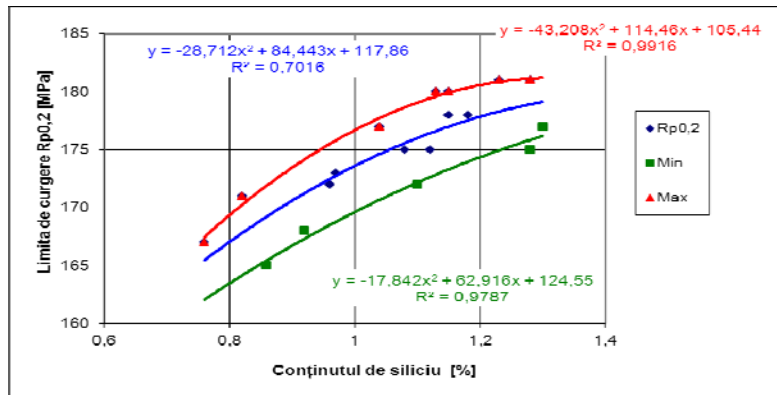


Fig.4.11. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de siliciu

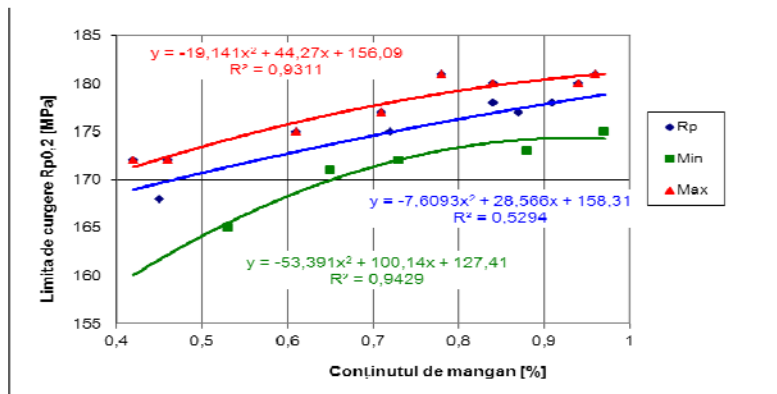


Fig.4.12. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de mangan

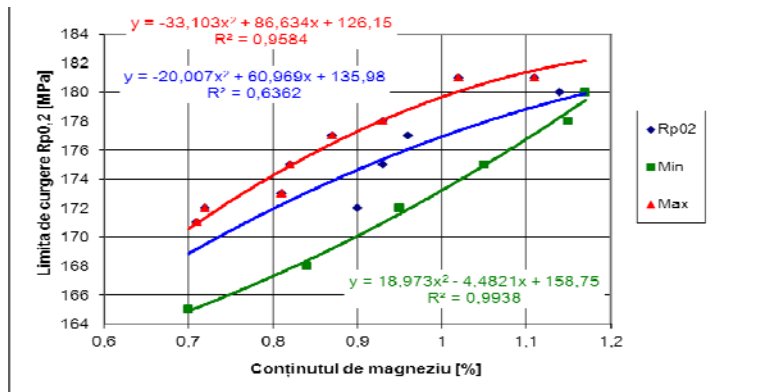


Fig.4.13. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de magneziu

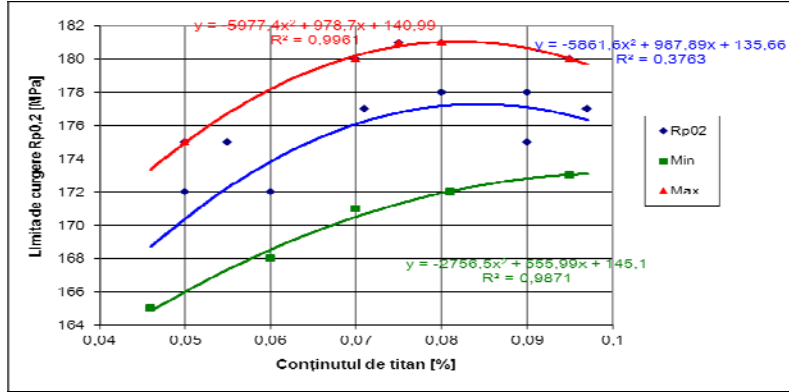


Fig.4.14. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de titan

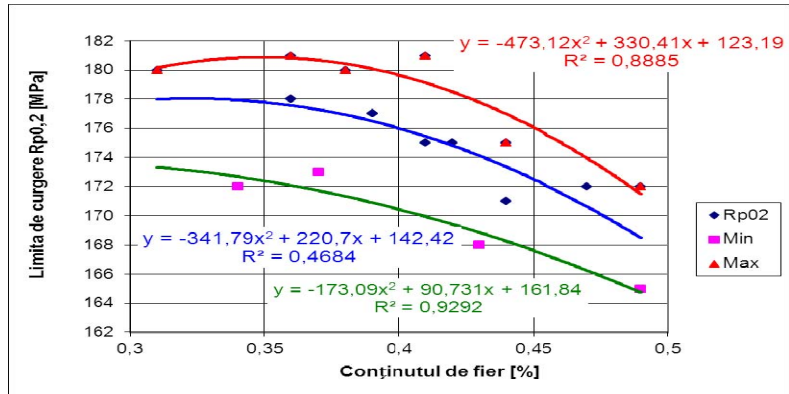


Fig. 4.15. Variația limitei de curgere în funcție de conținutul de fier

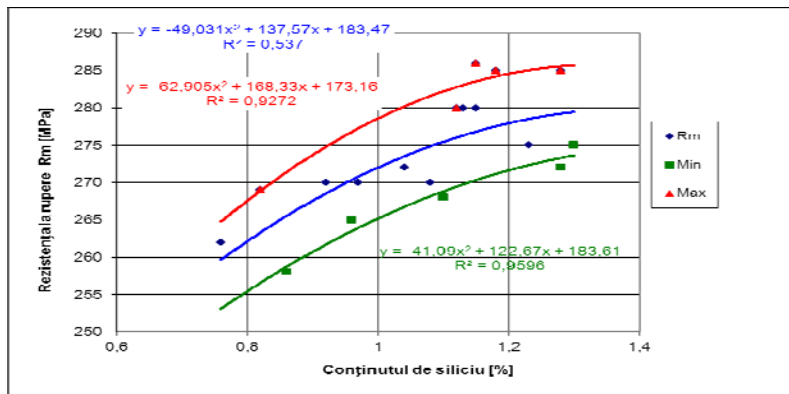


Fig.4.16. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de siliciu

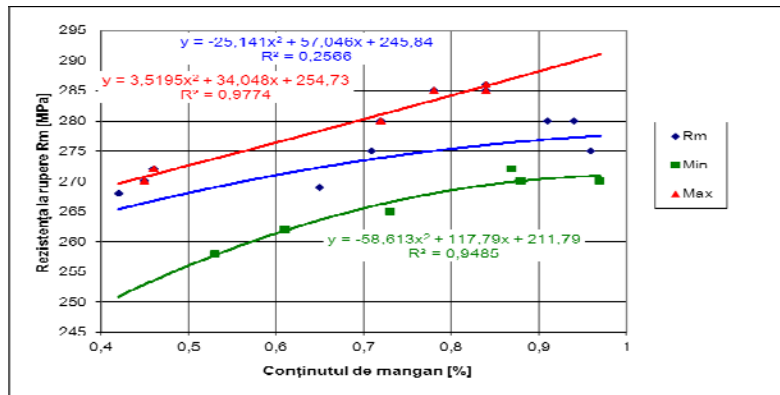


Fig.4.17. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de mangan

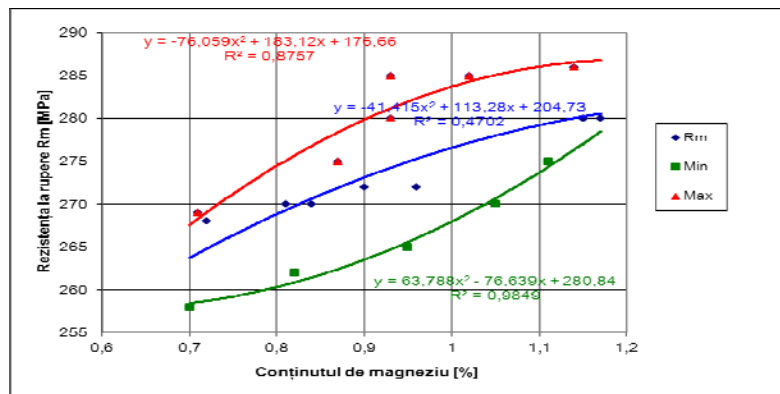


Fig.4.18. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de magneziu

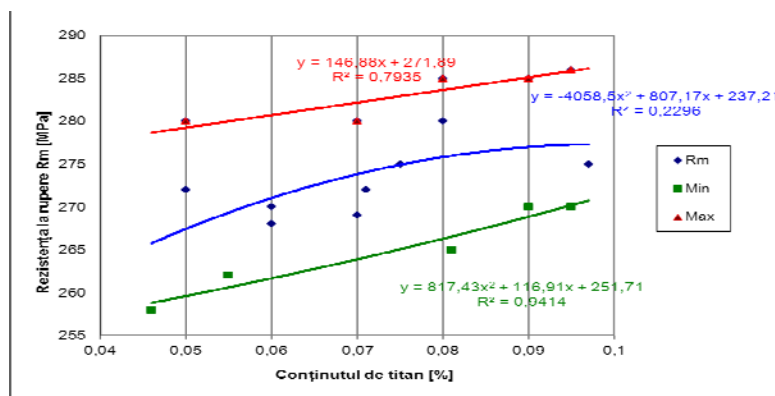


Fig.4.19. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de titan

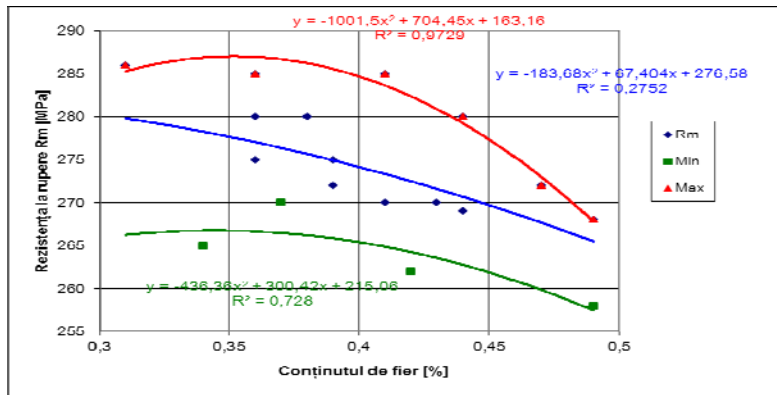


Fig.4.20. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de fier

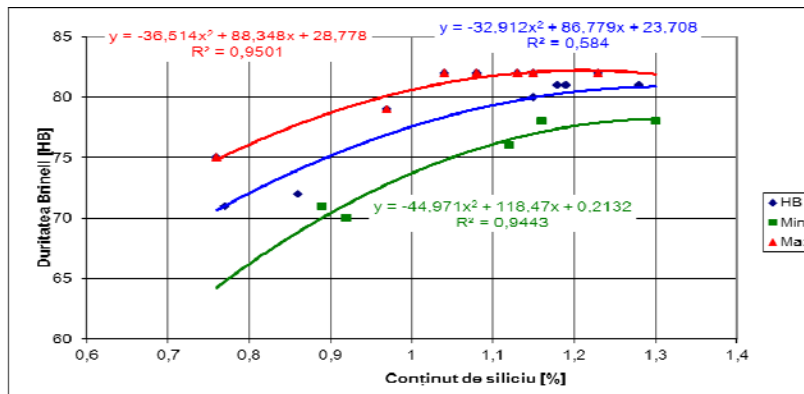


Fig.4.21. Variația durezzații în funcție de conținutul de siliciu

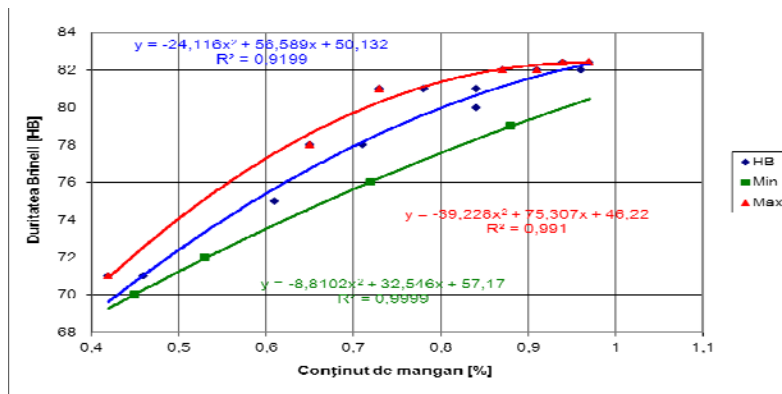


Fig.4.22. Variația durezzații în funcție de conținutul de mangan

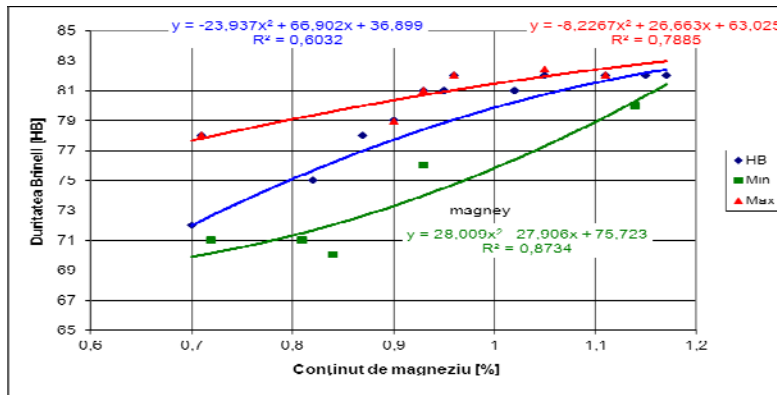


Fig.4.23. Variația durtății în funcție de conținutul de magneziu

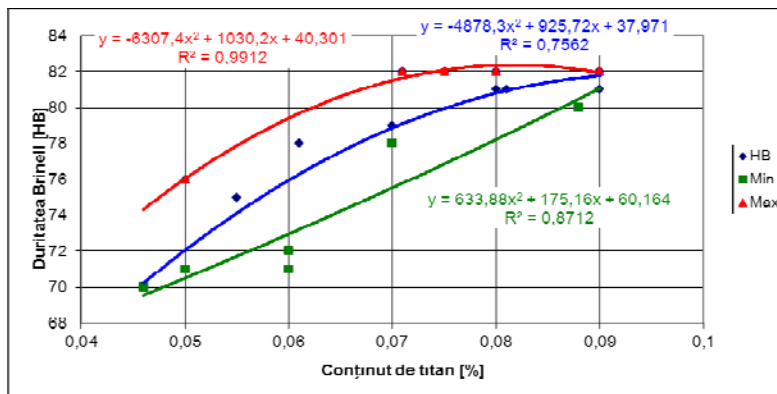


Fig.4.24. Variația durtății în funcție de conținutul de titan

4.5.2. Interpretarea rezultatelor obținute în programul Excel

Prin prelucrarea datelor s-au obținut corelații exprimate prin funcții polinomială (de gradul 2), exponențiale și logaritmice. Având în vedere pe de o parte simplitatea ecuațiilor de corelație polinomială de gradul 2, iar pe de altă parte valoarea reprezentativă a coeficientului de corelație se prezintă în lucrare numai aceste corelații.

Corelațiile obținute sunt prezentate atât sub formă grafică cât și analitică, fiind reprezentative din punct de vedere al valorilor obținute pentru coeficientul de corelație (R). În cazul elementelor Si, Mn, Mg și Ti există tendința de creștere a valorilor pentru cei trei parametri dependenți. Această creștere este determinată de formarea compușilor intermetalici, pe de o parte, iar pe de altă parte, formarea unor centri de cristalizare (Ti), care conduce la finisarea granulației. În cazul fierului, o creștere a conținutului de fier conduce la reducerea valorilor pentru caracteristicile de rezistență, principala cauză fiind aceea a formării între Fe și Si a unor compuși fragili. În cadrul fiecărei corelații, domeniul de variație este bine delimitat superior și inferior, astfel încât majoritatea valorilor pentru paramentru dependent se găsesc în interiorul domeniului. Acolo unde valorile pentru R sunt mai mari se observă un

domeniu mai îngust de variație a valorilor și invers. Cunoașterea acestor corelații este foarte utilă, deoarece permite extinderea cercetării din punct de vedere al acestor elemente și alegerea unui subinterval care să ne conducă la obținerea unor valori impuse pentru caracteristicile de rezistență.

Analizând rezultatele cercetărilor efectuate se pot concluziona următoarele:

- încărcătura utilizată constând din aluminiu primar a condus la un conținut redus de elemente nocive în aliajul obținut, cu observația unui conținut de fier, uneori mai ridicat, ca urmare a topirii aliajului după șarje de oțel;
- asimilarea pentru elementele necesare corecției compoziției chimice a fost de peste 80%. Menționăm ca Mg a fost imersat în baia metalică, fiind inițial introdus într-o cutie metalică perforată, prinsă la o bară metalică;
- se impune pe cât posibil o reducere cât mai avansată a conținutului de fier, ceea ce poate fi realizat practic, în sistem industrial printr-o sortare avansată a deșeurilor, în funcție de proveniență, pe de o parte, iar pe de altă parte o cunoaștere a compoziției chimice a tuturor componentelor încărcăturii, astfel încât să se poată interveni în procesul de diluare a fierului din baia metalică;
- cunoașterea corelațiilor permite o bună estimare pe durata elaborării a caracteristicilor fizico-mecanice a aliajului în funcție de compoziția chimică și o corecție a acesteia.

4.5.3. Rezultate obținute la prelucrarea în programul Matlab

S-au obținut ecuații de corelație între caracteristicile mecanice, care sunt parametrii dependenți și elementele de aliere Ti, Si, Mn și Mg, grupate câte trei, care sunt parametrii independenți [65, 66].

4.5.3.1. Ecuațiile de corelație între limita de curgere sau rezistența la rupere și elementele de aliere Ti, Si, Mn și Mg

Se va nota $R^2(i)$ = pătratul coeficientului de corelație pentru ecuația cu numărul i .

Din analiza rezultatelor obținute din prelucrarea datelor, se poate considera că s-au obținut ecuații de corelație triplă, între caracteristicile de rezistență și principalele elemente din compoziția chimică: Si, Mn, Mg și Ti. Dintre ecuațiile de corelație triplă, cele mai semnificative (coeficient de corelație mare) au fost reprezentate sub formă grafică. Pentru reprezentarea în spațiu cu trei dimensiuni, am dat unui parametru independent valoarea medie. Prin permutări, dintr-o ecuație de corelație de gradul trei, rezultă trei ecuații de corelație de gradul doi, pentru fiecare corelație triplă, deci, grafic, trei suprafețe de corelație. Suprafețele de regresie și curbele de nivel obținute din corelațiile triple sunt prezentate în figurile 4.25 – 4.36.

Ecuația de corelație între limita la curgere $R_{p0,2}$ și conținutul de Si, Mn și Ti este:

$$R_{p0,2} = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} 0.0295Si^2 - 0.0084Mn^2 - 4.6558Ti^2 - 0.0105SiMn + 0.2355SiTi - \\ - 0.1587MnTi - 0.0570Si + 0.0490Mn + 0.5234Ti + 0.1566 \end{array} \right) \quad (4.1)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.1) = 0.9153$, pentru $Si = Si_{med} = 1.074\%$; $Mn = Mn_{med} = 0.737\%$; $Ti = Ti_{med} = 0.073\%$, $R_{p0,2} = 175.01$ MPa.

Pentru **Si = Si_{med}**, ecuația de corelație între $R_{p0,2}$ și conținutul de Mn și Ti este:

$$Rp_{0,2} = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0084 Mn^2 - 4.6558 Ti^2 - 0.1587 MnTi + \\ + 0.0377 Mn + 0.7763 Ti + 0.1294 \end{array} \right) \quad (4.2)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.2)=0.7365$. Punctul de maxim are coordonatele: $Mn = 1.7335\%$; $Ti = 0.0538\%$, $Rp_{0,2} = 182.9708$ MPa. Punctul staționar este în afara limitelor prevăzute în standard.

Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între $Rp_{0,2}$ și conținutul de Si și Ti este:

$$Rp_{0,2} = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} 0.0295 Si^2 - 4.6558 Ti^2 + 0.2355 SiTi - \\ - 0.0648 Si + 0.4064 Ti + 0.1882 \end{array} \right) \quad (4.3)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.3)=0.6790$. Punctul de staționar are coordonatele: $Si=0.8391\%$; $Ti = 0.0649\%$, $Rp_{0,2} = 174.1757$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele tehnologice.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între $Rp_{0,2}$ și conținutul de Si și Mn este:

$$Rp_{0,2} = 29.4863 Si^2 - 8.4108 Mn^2 - 10.5072 SiMn - 39.8111 Si + \\ + 37.3912 Mn + 170.0132 \quad (4.4)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.4)=0.8646$. Punctul de staționar are coordonatele: $Si=0.9638\%$; $Mn = 1.6208\%$, $Rp_{0,2} = 181.1283$ MPa. Punctul staționar este în afara limitelor tehnologice.

Ecuația de corelație între rezistența la rupere R_m și conținutul de Si, Mn și Ti este:

$$R_m = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0610 Si^2 - 0.1496 Mn^2 - 5.1418 Ti^2 + 0.1632 SiMn - 0.8747 SiTi + \\ + 0.7733 MnTi + 0.1177 Si - 0.0181 Mn + 1.1669 Ti + 0.1575 \end{array} \right) \quad (4.5)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.5) = 0.8676$, pentru $Si = Si_{med} = 1.074\%$; $Mn = Mn_{med} = 0.737\%$; $Ti = Ti_{med} = 0.073\%$, $R_m = 273.444$ MPa.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Mn și Ti este:

$$R_m = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.1496 Mn^2 - 5.1418 Ti^2 + 0.7733 MnTi + \\ + 0.1571 Mn + 0.2275 Ti + 0.2136 \end{array} \right) \quad (4.6)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.6)=0.1900$. Punctul de maxim are coordonatele $Mn=0.7226\%$; $Ti = 0.0765\%$, $R_m = 279.0982$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele tehnologice.

Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Si și Ti este:

$$R_m = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0610 Si^2 - 5.1418 Ti^2 - 0.8747 SiTi + 0.2380 Si + \\ + 1.7370 Ti + 0.0628 \end{array} \right) \quad (4.7)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.7)=0.7185. Punctul de maxim are coordonatele Si=1.8989%; Ti = 0.0074%, $R_m = 295.1498$ MPa. Punctul staționar se situează peste limita tehnologică superioară.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Si și Mn este:

$$R_m = -60.9734 Si^2 - 149.6335 Mn^2 + 163.2142 SiMn + 53.7975 Si + 38.3468 Mn + 215.3515 \quad (4.8)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.8)=0.7839. Punctul de maxim are coordonatele: Si=2.2686%; Mn = 1.3654%, $R_m = 302.5520$ MPa. Punctul staționar se situează mult peste limita superioară a intervalului prevăzut în standard.

Ecuația de corelație între limita la curgere $R_{p_{0,2}}$ și conținutul de Si, Mg și Ti este:

$$R_{p_{0,2}} = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} 0.0235 Si^2 + 0.0017 Mg^2 - 3.0636 Ti^2 + 0.0174 SiMg + 0.2753 SiTi - \\ - 0.3902 MgTi - 0.0763 Si + 0.0235 Mg + 0.5528 Ti + 0.1701 \end{array} \right) \quad (4.9)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.9) =0.9040, pentru Si=Si_{med}=1.074%; Mg = Mg_{med} = 0.932%, Ti = Ti_{med} = 0.073%, $R_{p_{0,2}} = 175.01$ MPa.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între $R_{p_{0,2}}$ și conținutul de Mg și Ti este:

$$R_{p_{0,2}} = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} 0.0017 Mg^2 - 3.0636 Ti^2 - 0.3902 MgTi + \\ + 0.0422 Mg + 0.8484 Ti + 0.1153 \end{array} \right) \quad (4.10)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.10)=0.8326. Punctul de sa are coordonatele: Mg=0.4198%; Ti = 0.1117%, $R_{p_{0,2}} = 171.5263$ MPa. Punctul staționar se situează în imediata vecinătate a limitei superioare.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între $R_{p_{0,2}}$ și conținutul de Si și Ti este:

$$R_{p_{0,2}} = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} 0.0235 Si^2 - 3.0636 Ti^2 + 0.2753 SiTi - 0.0601 Si + \\ + 0.1890 Ti + 0.1935 \end{array} \right) \quad (4.11)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.11)=0.7506. Punctul de sa are coordonatele: Si=0.8696%; Ti = 0.0699%, $R_{p_{0,2}} = 173.9857$ MPa. Punctul staționar se situează în limitele tehnologice.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între $R_{p_{0,2}}$ și conținutul de Si și Mg este:

$$R_{p_{0,2}} = 23.4665 Si^2 + 1.6583 Mg^2 + 17.3965 SiMg - 56.1645 Si - 4.9833 Mg + 194.1526 \quad (4.12)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.12)=0.8457. Punctul de șa are coordonatele $Si = -0.6775\%$; $Mg = 5.0563\%$, $R_{p_{0,2}} = 200.5802$ MPa. Punctul staționar este mult în afara limitei inferioare.

Ecuția de corelație între rezistența la tracțiune R_m și conținutul de Si, Mg și Ti este:

$$R_m = -89.0548 Si^2 - 63.9940 Mg^2 - 106.2209 Ti^2 + 186.8086 SiMg + 332.3718 SiTi - 477.9972 MgTi + 26.0743 Si + 33.1648 Mg + 150.6186 Ti + 245.1113 \quad (4.13)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.13) =0.8367, pentru $Si = Si_{med} = 1.074\%$; $Mg = Mg_{med} = 0.932\%$, $Ti = Ti_{med} = 0.073\%$, $R_m = R_m = 273.444$ MPa.

Pentru **Si = Si_{med}**, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Mg și Ti este:

$$R_m = -63.9940 Mg^2 - 106.2209 Ti^2 - 477.9972 MgTi + 167.4470 Mg + 507.5489 Ti + 170.4108 \quad (4.14)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.14)=0.6223. Punctul de șa are coordonatele: $Mg = 1.0285\%$; $Ti = 0.0749\%$, $R_m = 275.5336$ MPa. Punctul staționar este mult în intervalul prevăzut în standard.

Pentru **Mg = Mg_{med}**, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Si și Ti este:

$$R_m = -89.0548 Si^2 - 106.2209 Ti^2 + 332.3718 SiTi + 200.2215 Si - 294.9810 Ti + 158.5812 \quad (4.15)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (15)=0.7510. Punctul de șa are coordonatele: $Si = 0.7642\%$; $Ti = -0.1929\%$, $R_m = 263.5353$ MPa. Punctul staționar este mult în afara limitei inferioare.

Pentru **Ti = Ti_{med}**, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Si și Mg este:

$$R_m = -89.0548 Si^2 - 63.9940 Mg^2 + 186.8086 SiMg + 50.3559 Si - 68.0851 Mg + 255.5479 \quad (4.16)$$

Coeficientul de corelație este R^2 (4.16)=0.8154. Punctul de șa are coordonatele: $Si = 0.5184\%$; $Mg = 0.2247\%$, $R_m = 260.9505$ MPa. Punctul staționar se situează în afara limitei inferioare a intervalului prevăzut în standard.

Ecuția de corelație între limita la curgere $R_{p_{0,2}}$ și conținutul de Mn, Mg și Ti este:

$$\begin{aligned}
 Rp_{0,2} = & -51.9118 Mn^2 - 40,7802 Mg^2 + 103.8402 Ti^2 + 90.2381 MnMg - \\
 & - 92.0092 MnTi - 526.6073 MgTi - 1.8211 Mn + 66.7990 Mg + \\
 & + 589.6681Ti + 114.3222
 \end{aligned} \quad (4.17)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.17) = 0,8720$, pentru $Mn = Mn_{med} = 0.737\%$; $Mg = Mg_{med} = 0.932\%$; $Ti = Ti_{med} = 0.073\%$, $Rp_{0,2} = 175.01$ MPa.

Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între $Rp_{0,2}$ și conținutul de Mg și Ti este:

$$\begin{aligned}
 Rp_{0,2} = & -40.7802Mg^2 + 103.8402Ti^2 - 526.6073MgTi + 133.3245Mg + \\
 & + 521.8369Ti + 84.7657
 \end{aligned} \quad (4.18)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.18) = 0.8006$. Punctul de șa are coordonatele: $Mg = 1.0280\%$, $Ti = 0.0940$, $Rp_{0,2} = 177.8105$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele de variație a parametrilor independenți.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între $Rp_{0,2}$ și conținutul de Mn și Ti este:

$$\begin{aligned}
 Rp_{0,2} = & -51.9118Mn^2 + 103.8402Ti^2 - 92.0092MnTi + 82.3009Mn + \\
 & + 98.7530Ti + 141.1541
 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.19) = 0.4765$. Punctul de șa are coordonatele: $Mn = 0.8718\%$, $Ti = -0.0893$, $Rp_{0,2} = 172.6217$ MPa. Punctul staționar este mult în afara limitei inferioare.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între $Rp_{0,2}$ și conținutul de Mn și Mg este:

$$\begin{aligned}
 Rp_{0,2} = & -51.9118Mn^2 - 40.7802Mg^2 + 90.2381MnMg - 8.5429Mn + \\
 & + 28.3274Mg + 157.9549
 \end{aligned} \quad (4.20)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.20) = 0.7936$. Punctul de maxim are coordonatele: $Mn = 5.7216\%$, $Mg = 6.6777$, $Rp_{0,2} = 228.0964$ MPa. Punctul staționar este situat mult peste limita superioară a intervalului prevăzut în standard.

Ecuația de corelație între rezistența la rupere R_m și conținutul de Mn, Mg și Ti este:

$$R_m = 10^3 \times \left(\begin{aligned} & 0.0084Mn^2 + 0.0821Mg^2 + 4.1534Ti^2 - 0.1056MnMg - 0.7859MnTi - \\ & - 0.3873MgTi + 0.1217Mn + 0.0003Mg + 0.4523Ti + 0.1944 \end{aligned} \right) \quad (4.21)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.21) = 0.7723$, pentru $Mn = Mn_{med} = 0.737\%$; $Mg = Mg_{med} = 0.932\%$; $Ti = Ti_{med} = 0.073\%$, $R_m = 273.444$ MPa

Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Mg și Ti este:

$$R_m = 10^3 \times \begin{pmatrix} 0.0821 Mg^2 + 4.1534 Ti^2 - 0.3873 MgTi - 0.0775 Mg - \\ - 0.1271 Ti + 0.2887 \end{pmatrix} \quad (4.22)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.22)=0.6917$. Punctul de minim are coordonatele: Mg = 0.5714%; Ti = 0.0419%, $R_m = 263.8780$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele de variație a parametrilor independenți.

Pentru **Mg = Mg_{med}**, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Mn și Ti este:

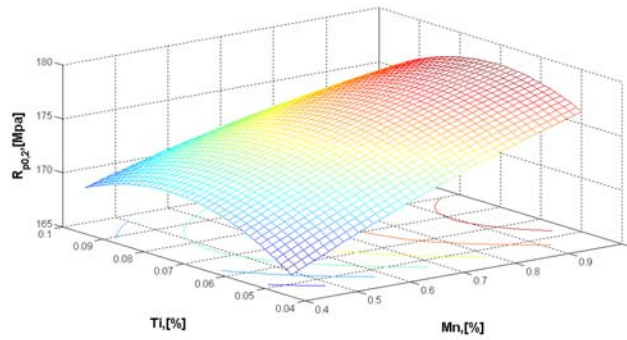
$$R_m = 10^3 \times \begin{pmatrix} 0.0084 Mn^2 + 4.1534 Ti^2 - 0.7859 MnTi + 0.0233 Mn + \\ + 0.0912 Ti + 0.2660 \end{pmatrix} \quad (4.23)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.23)=0.2034$. Punctul de șa are coordonatele: Mn = 0.5550 %, Ti = 0.0415 %, $R_m = 274.3461$ MPa. Punctul staționar se situează în limitele tehnologice.

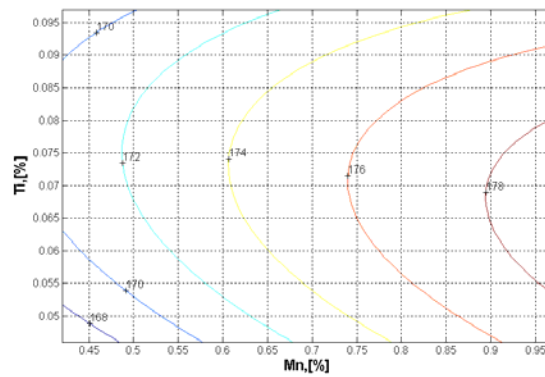
Pentru **Ti = Ti_{med}**, ecuația de corelație între R_m și conținutul de Mn și Mg este:

$$R_m = 8.3849Mn^2 + 82.0734Mg^2 - 105.5702MnMg + 64.3275Mn - \\ - 28.0090Mg + 249.5956 \quad (4.24)$$

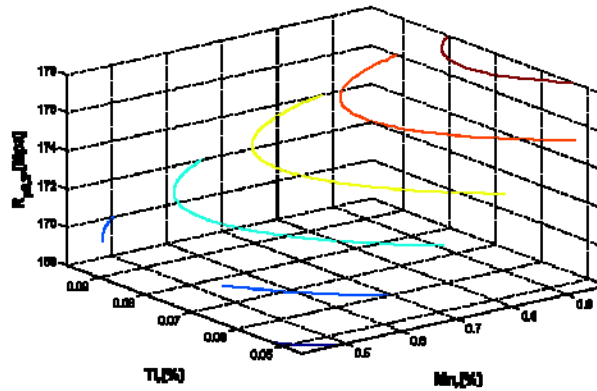
Coeficientul de corelație este $R^2(4.24)=0.6547$. Punctul de șa are coordonatele: Mn = 0.9059%, Ti = 0.7532%, $R_m = 268.1826$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele de variație a parametrilor independenți.



(a) – suprafața de regresie



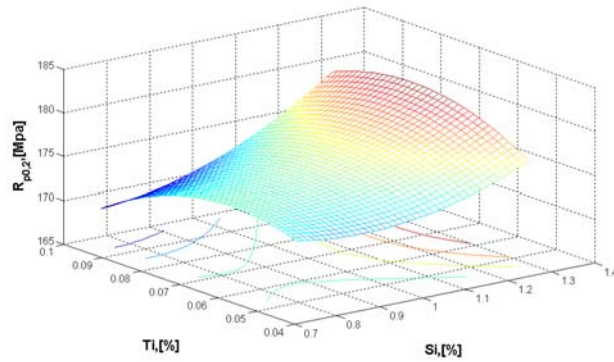
(b) – liniile de nivel plane



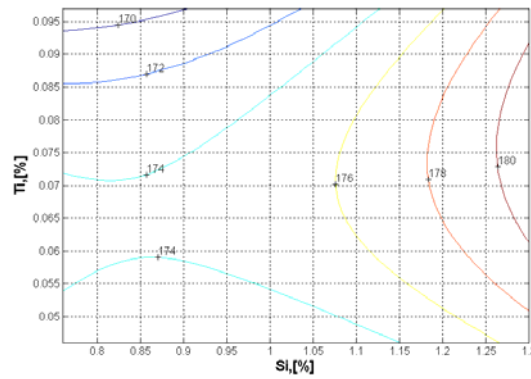
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.25. $R_{p0,2} = f(Mn, Ti)$, $Si = Si_{med}$

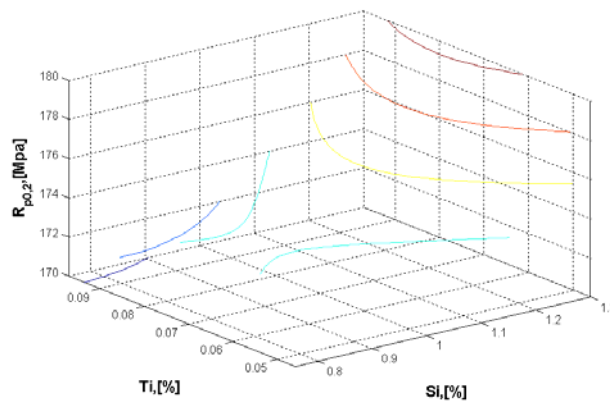
- pentru un conținut de $Si=Si_{med}$, creșterea conținutului de Mn conduce la creșterea limitei de curgere, indiferent de conținutul de Ti, valori mai mari obținându-se pentru $Ti = 0,065 - 0,085\%$. De asemenea, o creștere a Ti conduce la creșterea limitei de curgere, în mod deosebit până la $0,085\%$ Ti (figura 4.25).



(a) – suprafața de regresie



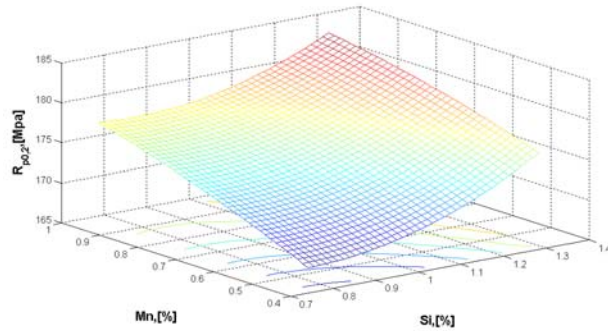
(b) – linii de nivel plane



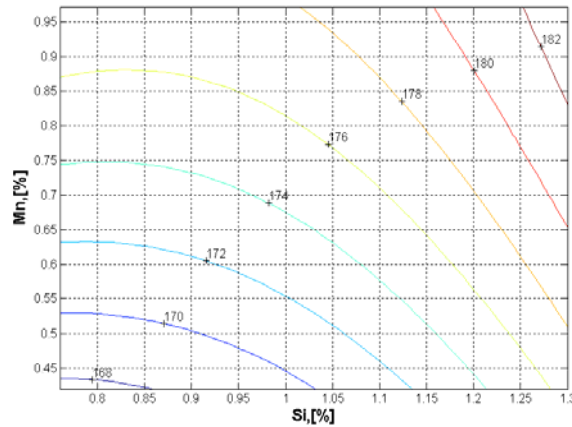
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.26. $R_{p0,2} = f(Si, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$

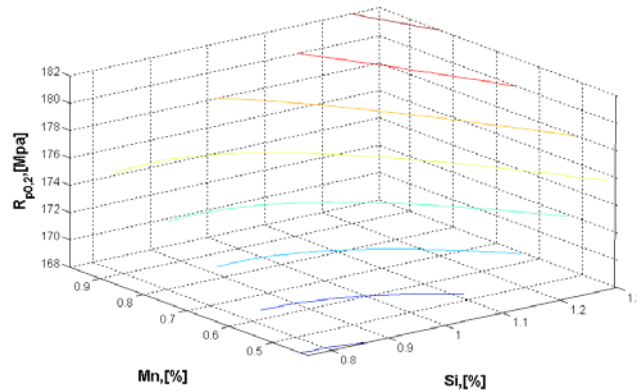
- pentru un conținut de $Mn=Mn_{med}$, influența Ti este similară ca în cazul anterior și, de asemenea, creșterea conținutului de Si conduce la creșterea limitei de curgere (figura 4.26).



(a) – suprafața de regresie



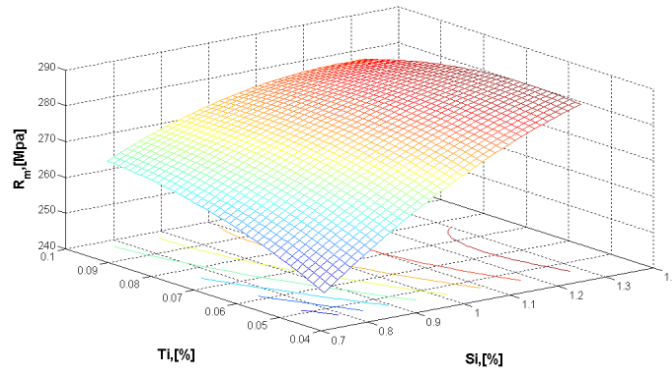
(b) – linii de nivel plane



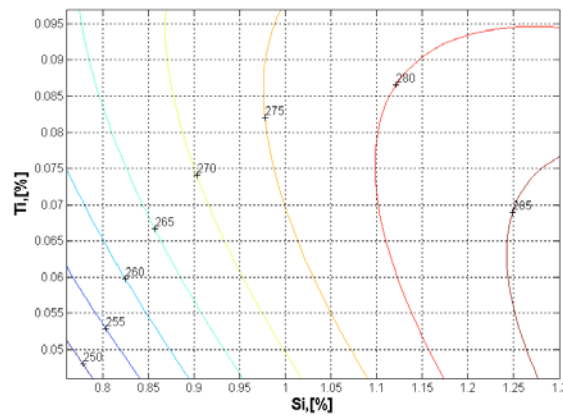
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.27. $R_{p0,2} = f(Si, Mn)$, $Ti = Ti_{med}$

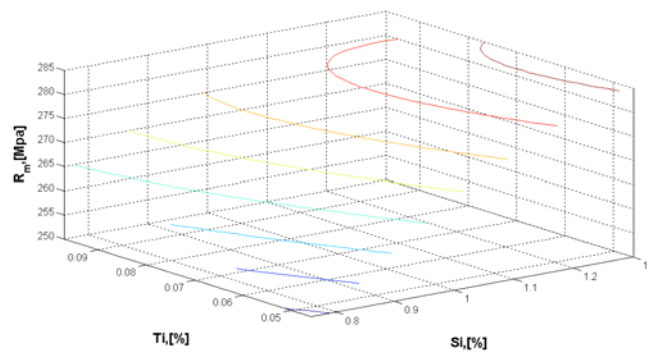
- pentru un conținut de Ti egal cu valoarea medie, atât creșterea conținutului de Si, cât și a celui de Mn, conduc la creșterea valorilor limitei de curgere, valorile cele mai mari obținându-se când cele două elemente sunt spre limita superioară (figura 4.27).



(a) – suprafața de regresie



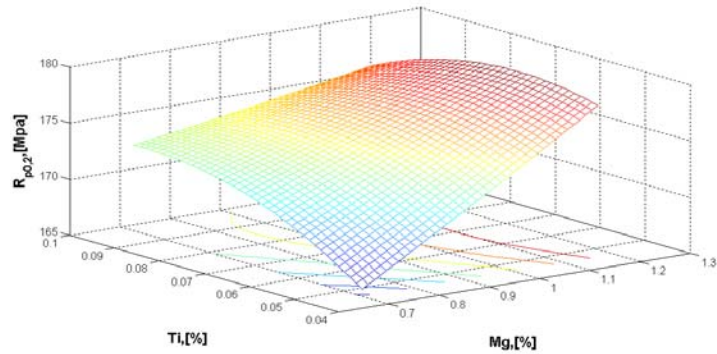
(b) – linii de nivel plane



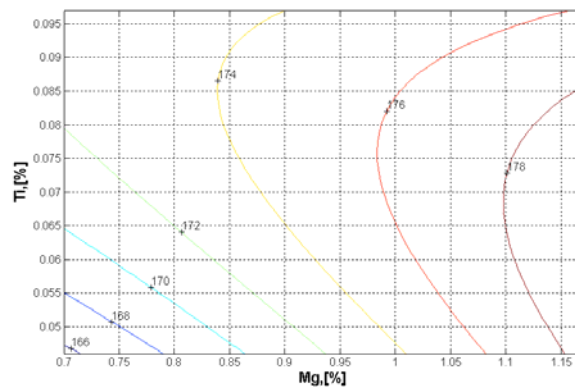
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.28. $R_m = f(Si, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$

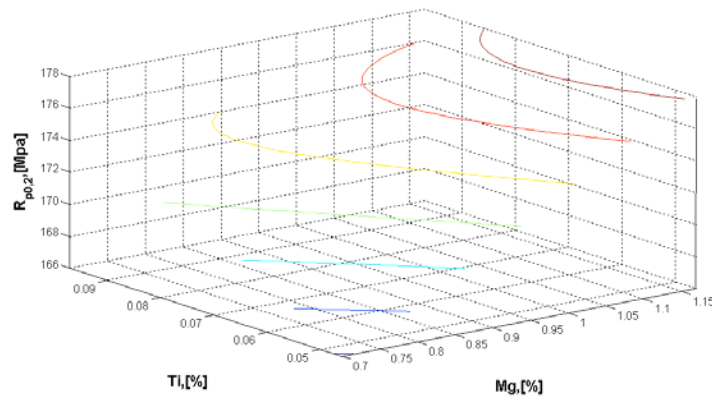
- din punct de vedere a influenței Si, Mn și Ti (pentru $Mn=Mn_{med}$) influențele asupra rezistenței la rupere (figura 4.28) sunt similare cu cele asupra limitei de curgere (figura 4.26), ceea ce confirmă legătura dintre limita la curgere și rezistența la rupere.



(a) – suprafața de regresie



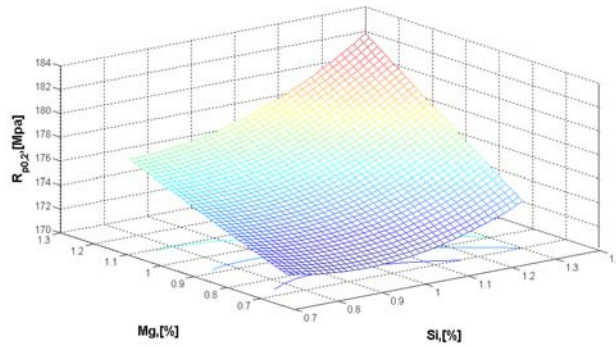
(b) – linii de nivel plane



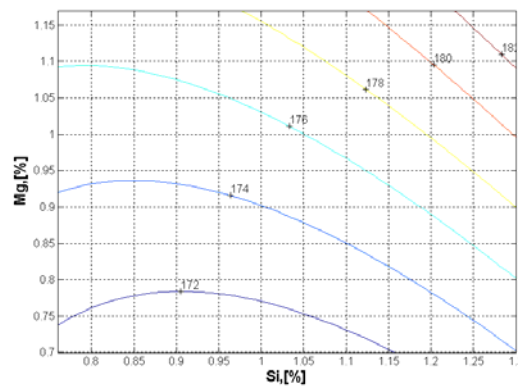
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.29. $R_{p0,2} = f(Mg, Ti)$, $Si = Si_{med}$

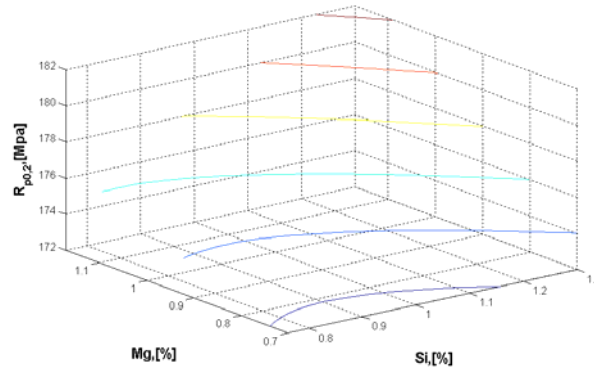
- pentru $Si = Si_{med}$, creșterea conținutului de Ti și Mg conduc la creșterea valorilor pentru limita de curgere, creșterile sunt mai semnificative pentru conținut de Ti până la 0,090% (figura 4.29).



(a) suprafața de regresie



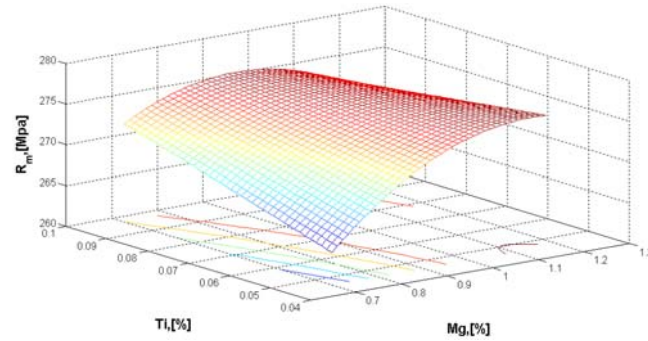
(b) - linii de nivel plane



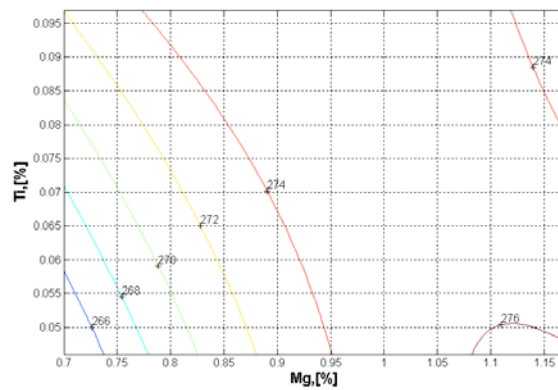
(c) - linii de nivel spațiale

Fig. 4.30. $R_{p0,2} = f(Si, Mg)$, $T_i = T_{i_{med}}$

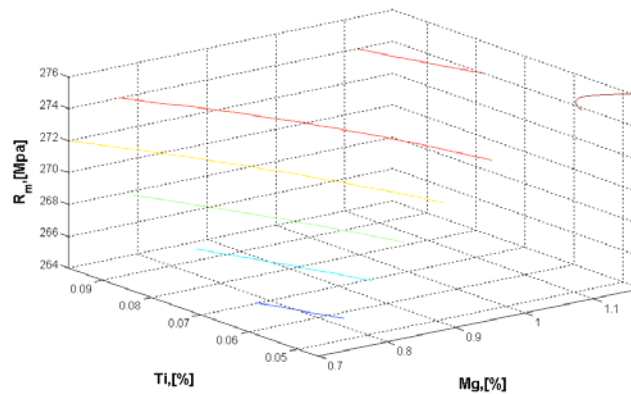
- creșterea simultană a conținutului de Si și de Mg, atunci când $T_i = T_{i_{med}}$, determină creșterea valorilor pentru limita de curgere, valorile maxime ale acestora obținându-se atunci când Mg și Si se situează spre limita superioară. Această creștere se poate considera că este cauzată de finisarea grăunților prin intermediul compusului Mg_2Si (figura 4.30).



(a) – suprafața de regresie



(b) – linii de nivel plane



(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.31. $R_m = f(Mg, Ti)$, $Si = Si_{med}$

- pentru valori ale $Si=Si_{med}$, creșterea simultană a conținutului de Mg și Ti (0,090%) conduc la creșterea valorilor pentru rezistența la rupere. Aceste creșteri sunt cauzate atât de finisarea granulației, cât și de formarea unor soluții solide aliate (figura 4.31).

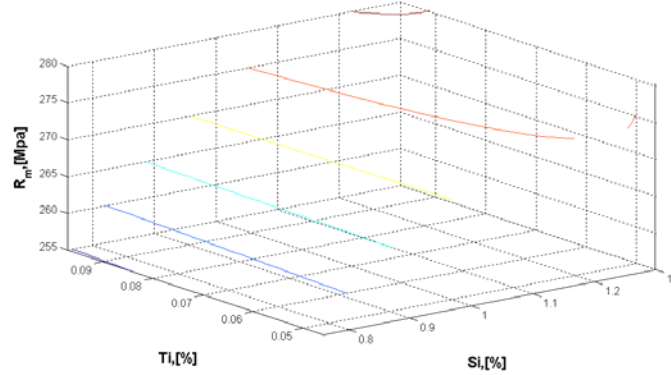
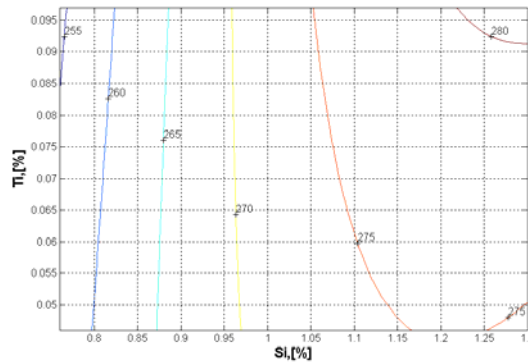
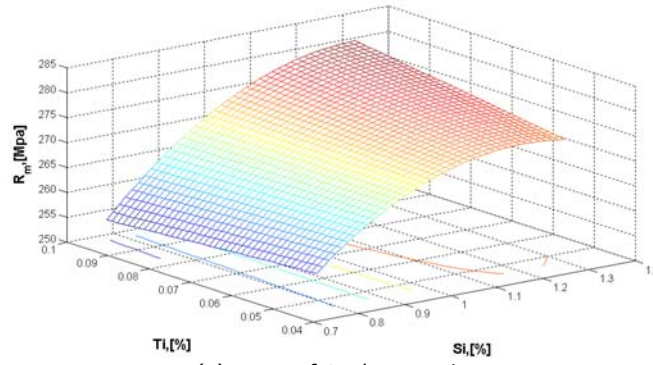
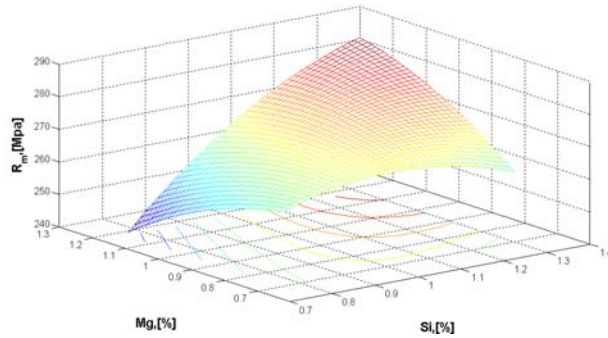
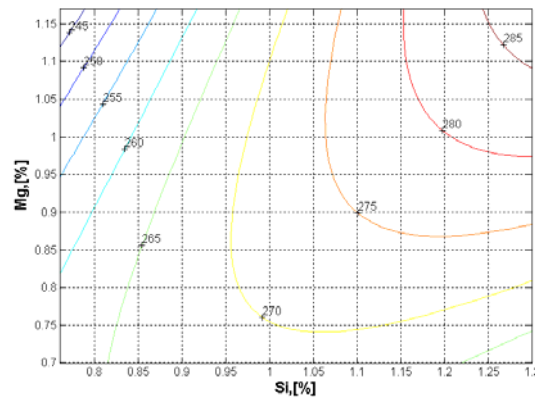


Fig.4.32. $R_m = f(Si, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$

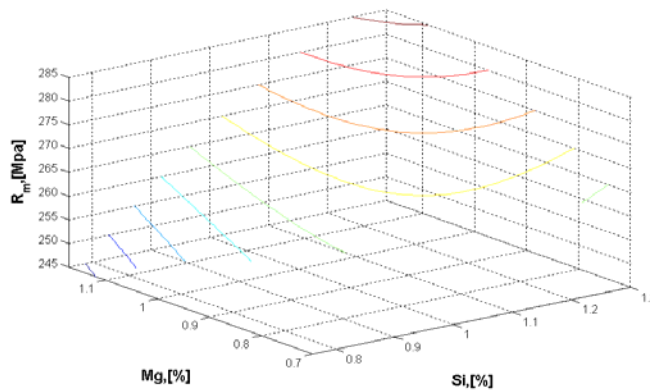
- creșterea conținutului de Ti și respectiv, de Si, în intervalul 0,85-1,3%, atunci când $Mg=Mg_{med}$, conduc la creșterea valorilor pentru caracteristica R_m , valorile superioare obținându-se când aceste elemente se situează spre limita superioară (figura 4.32).



(a) – suprafața de regresie



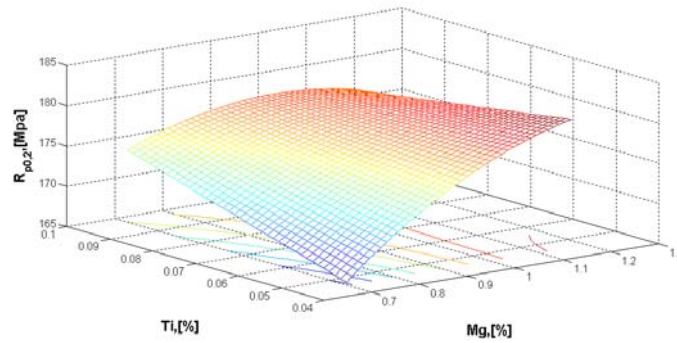
(b) – linii de nivel plane



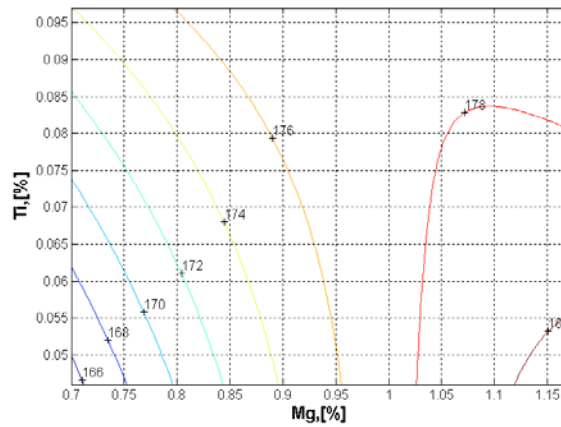
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.33. $R_m = f(Si, Mg)$, $Ti = Ti_{med}$

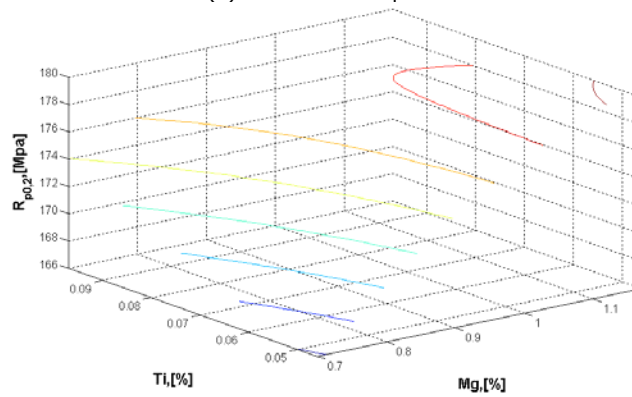
- creșterea simultană a conținutului de Si și Mg pentru un conținut constant de Ti, determină fiecare creșterea valorilor pentru rezistența la rupere, astfel încât, atunci când aceste elemente se situează spre limita superioară, pentru R_m se obțin cele mai mari valori. La fel ca și în cazurile anterioare, explicația constă în formarea compusului Mg_2Si care conduce la finisarea granulației (figura 4.33).



(a) – suprafața de regresie



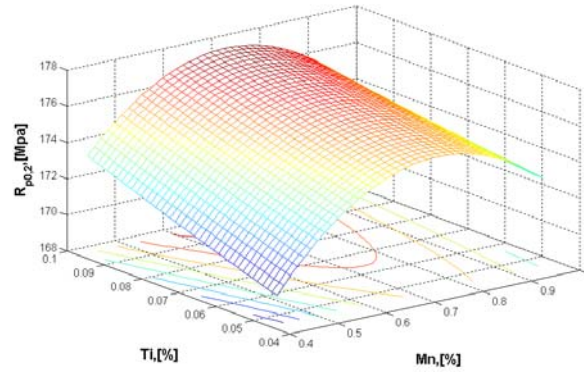
(b) – linii de nivel plane



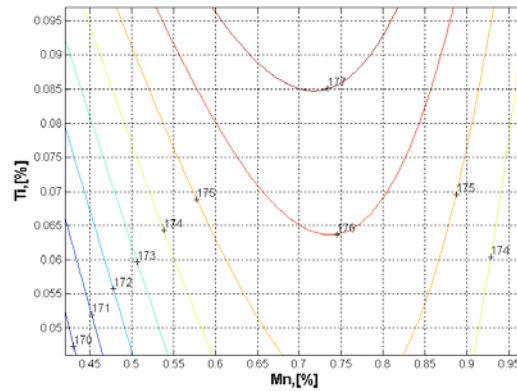
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.34. $R_{p0,2} = f(Mg, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$

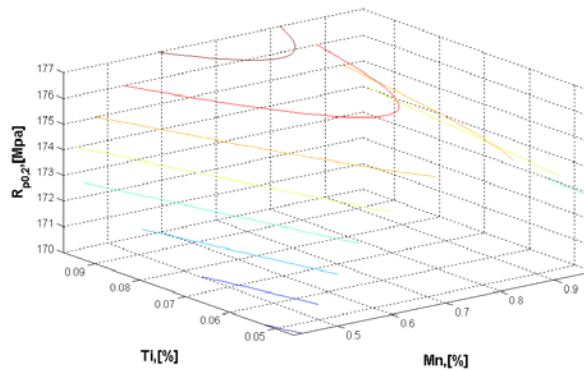
- pentru un conținut de $Mn = Mn_{med}$, creșterea conținutului de Ti conduce la creșterea valorilor pentru $R_{p0,2}$, iar în ceea ce privește conținutul de Mg, aceste valori cresc, mai ales până la 1,05% Mg (figura 4.34).



(a) – suprafața de regresie



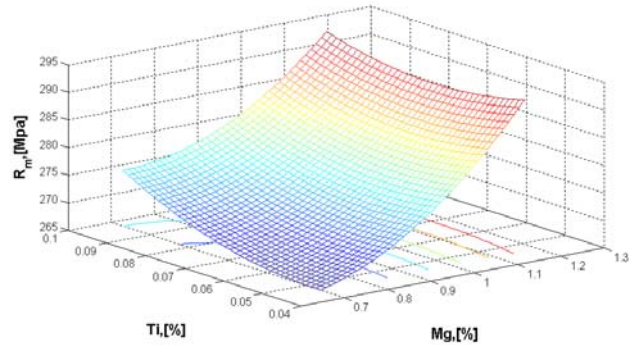
(b) – linii de nivel plane



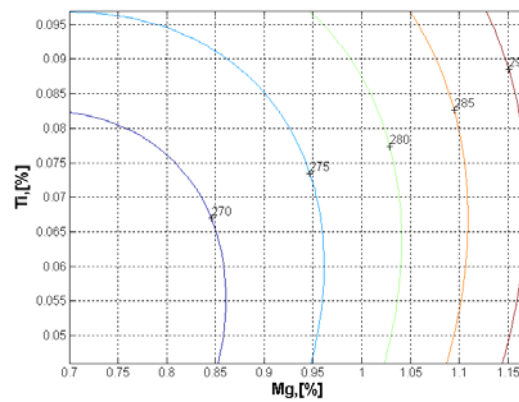
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.35. $R_{p0,2} = f(Mn, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$

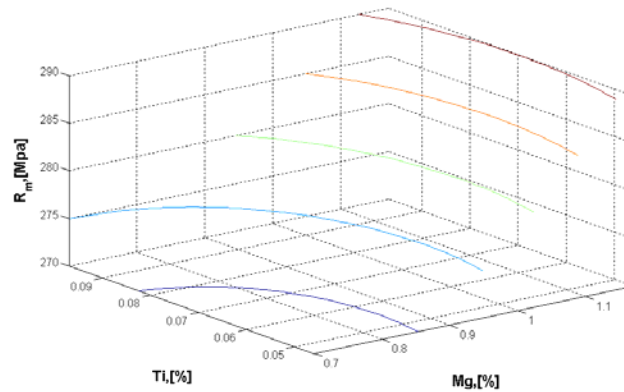
- în ceea ce privește influența cumulată a Ti și Mn (pentru $Mg=Mg_{med}$), creșterea conținutului de Ti conduce la creșterea valorilor pentru limita de curgere, și de asemenea, aceeași influență are Mn, mai ales pentru conținuturi ridicate de Ti (figura 4.35).



(a) – suprafața de regresie



(b) – linii de nivel plane



(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.36. $R_m = f(Mg, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$

- referitor la influența cumulată a Ti și Mg asupra rezistenței la rupere ($Mn = Mn_{med}$), se constată că cele mai mari valori pentru această caracteristică se obțin atunci când cele două elemente se situează spre limita superioară prevăzută în standard (figura 4.36).

4.5.3.2. Ecuatiile de corelație între duritate și elementele de aliere Ti, Si, Mn și Mg

Ecuatia de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si, Mn și Mg este:

$$HB = 1.1023 Si^2 - 55.1049 Mn^2 - 46.8065 Mg^2 - 29.5366 SiMn + 13.7916 SiMg + 78.5238 MnMg + 5.3930 Si + 60.1784 Mn + 15.4150 Mg + 39.6364 \quad (4.25)$$

Coeficientul de corelație este: $R^2(4.25) = 0.9678$, pentru $Si = Si_{med} = 1.074\%$; $Mn = Mn_{med} = 0.737\%$; $Mg = Mg_{med} = 0.932\%$, $HB = 77.944$ HB.

Pentru **Si = Si_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell HB și conținutul de Mn și Mg este:

$$HB = -55.1049 Mn^2 - 46.8065 Mg^2 + 78.5238 MnMg + 28.4593 Mn + 30.2257 Mg + 46.6991 \quad (4.26)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.26) = 0.9607$. Punctul de maxim are coordonatele: $Mn = 1.2136\%$; $Mg = 1.3408\%$, $HB = 84.2315$ HB. Punctul de staționare este situat deasupra limitei tehnologice superioare.

Pentru **Mn = Mn_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si și Mg este:

$$HB = 1.1023 Si^2 - 46.8065 Mg^2 + 13.7916 SiMg - 16.3821 Si + 73.3045 Mg + 54.0519 \quad (4.27)$$

Coeficientul de corelație este: $R^2(4.27) = 0.0127$. Punctul de staționare are coordonatele: $Si = 1.3177\%$; $Mg = 0.9772\%$, $HB = 79.0749$ HB. Punctul de staționare este situat deasupra limitei tehnologice superioare.

Pentru **Mg = Mg_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si și Mn este:

$$HB = 1.1023 Si^2 - 55.1049 Mn^2 - 29.5366 SiMn + 18.2498 Si + 133.3800 Mn + 13.3300 \quad (4.28)$$

Coeficientul de corelație este: $R^2(4.28) = 0.9411$. Punctul de staționare are coordonatele: $Si = 1.7288\%$; $Mn = 0.7469\%$, $HB = 78.9167$ HB. Punctul de staționare este situat deasupra limitei tehnologice superioare (figura 4.37).

Ecuatia de corelație între duritatea Brinell HB și conținutul de Si, Mn și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0091 Si^2 - 0.0476 Mn^2 - 7.4277 Ti^2 - 0.0341 SiMn + \\ 0.3253 SiTi + 0.3403 MnTi + 0.0220 Si + 0.0993 Mn + \\ + 0.4920 Ti + 0.0073 \end{array} \right) \quad (4.29)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.29) = 0.9935$, pentru $Si = Si_{med} = 1.074\%$; $Mn = Mn_{med} = 0.737\%$; $Ti = Ti_{med} = 0.073\%$, $HB = 77.944$ HB.

Pentru **Si = Si_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Mn și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \begin{pmatrix} -0.0476 Mn^2 - 7.4277 Ti^2 + 0.3403 MnTi + 0.0627 Mn + \\ + 0.8414 Ti + 0.0205 \end{pmatrix} \quad (4.30)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.30)=0.9798$. Punctul de maxim are coordonatele: Mn=0.9376%; Ti = 0.0781%, HB = 82.7228 HB. Punctul staționar se situează în intervalul de variație a parametrilor independenți (figura 4.38).

Pentru **Mn = Mn_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \begin{pmatrix} -0.0091 Si^2 - 7.4277 Ti^2 + 0.3253 SiTi - 0.0031 Si + \\ + 0.7429 Ti + 0.0546 \end{pmatrix} \quad (4.31)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.31)=0.5412$. Punctul de maxim are coordonatele: Si= 1.1922%; Ti = 0,0761%, HB = 81.0453HB. Punctul staționar se situează în intervalul de variație a parametrilor independenți.

Pentru **Ti = Ti_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si și Mn este:

$$HB = -9.0731 Si^2 - 47.5903 Mn^2 - 34.1362 SiMn + 45.8047 Si + \\ + 124.1798 Mn + 3.5833 \quad (4.32)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.32)=0.9331$. Punctul de maxim are coordonatele: Si=0.2148%; Mn = 1.2276 %, HB = 84.7267 HB. Punctul staționar este situat în afara limitelor specificate în standard (figura 4.39).

Ecuația de corelație între duritatea Brinell HB și conținutul de Si, Mg și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \begin{pmatrix} -0.0333Si^2 - 0.0334Mg^2 - 2.8737Ti^2 - 0.0884SiMg + 0.1744SiTi - \\ 0.4310MgTi - 0.0243Si + 0.0127Mg + 0.7483Ti + 0.0489 \end{pmatrix} \quad (4.33)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.33)=0.9073$, pentru Si=Si_{med}=1.074%; Mg = Mg_{med} = 0.932%, Ti = Ti_{med} = 0.073%, HB = 77.944 HB.

Pentru **Si = Si_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Mg și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \begin{pmatrix} -0.0334 Mg^2 - 2.8737 Ti^2 - 0.4310 MgTi + 0.1077 Mg + \\ + 0.9357 Ti - 0.0156 \end{pmatrix} \quad (4.34)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.34)=0.8332$. Punctul de maxim are coordonatele: Mg=1.0897%; Ti =0.0811 %, HB = 80.9532 HB. Punctul staționar se situează în limitele tehnologice (figura 4.40).

Pentru **Mg = Mg_{med}**, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \begin{pmatrix} -0.0333 Si^2 - 2.8737 Ti^2 + 0.1744 SiTi + 0.0581 Si + \\ + 0.3466 Ti + 0.0318 \end{pmatrix} \quad (4.35)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.35)=0.7698$. Punctul de maxim are coordonatele: Si= 1.1180%; Ti = 0.0942%, HB = 80.5865HB. Punctul staționar se situează în intervalul de variație a parametrilor independenți (figura 4.41).

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Si și Mg este:

$$HB = -33.3476 Si^2 - 33.3654 Mg^2 + 88.3967 SiMg - 11.5344 Si - 18.7516 Mg + 88.2220 \quad (4.36)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.36)=0.7115$. Punctul de staționar are coordonatele: Si=0.7217%; Mg = 0.6750 %, HB = 77.7313 HB. Punctul staționar este situat în limitele tehnologice.

Ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Mn, Mg și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0770 Mn^2 - 0.0323 Mg^2 - 5.4384 Ti^2 + 0.0681 MnMg + 0.4679 MnTi - \\ 0.1791 MgTi + 0.0308 Mn + 0.0245 Mg + 0.6580 Ti + 0.0259 \end{array} \right) \quad (4.37)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.37) = 0.9909$, pentru Mn = Mn_{med} = 0.737%; Mg = Mg_{med} = 0.932%, Ti = Ti_{med} = 0.073%, HB = 77.944 HB.

Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Mg și Ti este:

$$HB = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0323 Mg^2 - 5.4384 Ti^2 - 0.1791 MgTi + 0.0747 Mg + \\ + 1.0029 Ti + 0.0068 \end{array} \right) \quad (4.38)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.38)=0.6962$. Punctul de maxim are coordonatele: Mg=0.9444%; Ti =0.0767 %, HB = 80.5404 HB. Punctul staționar se situează în intervalul de variație a parametrilor independenți (figura 4.42).

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Mn și Ti este:

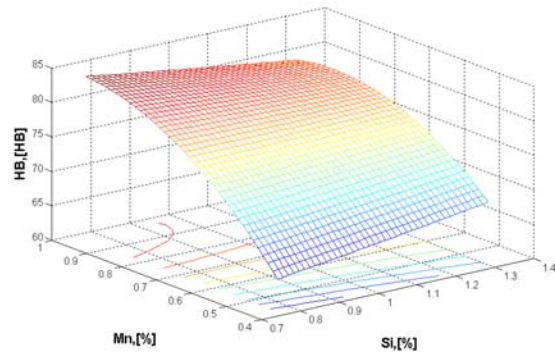
$$HB = 10^3 \times \left(\begin{array}{l} -0.0770 Mn^2 - 5.4384 Ti^2 + 0.4679 MnTi + 0.0943 Mn + \\ + 0.4911 Ti + 0.0207 \end{array} \right) \quad (4.39)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(4.39)=0.9678$. Punctul de maxim are coordonatele: Mn = 0.8624%; Ti = 0.0822%, HB = 81.5840HB. Punctul staționar se situează în limitele tehnologice (figura 4.43).

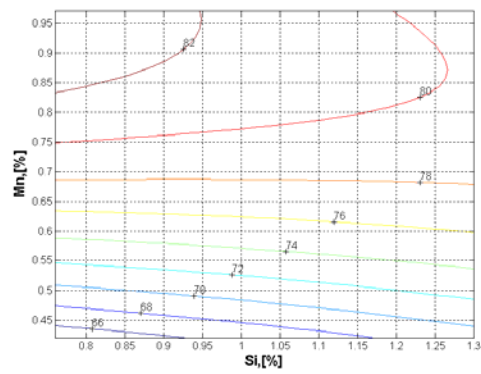
Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între duritatea Brinell și conținutul de Mn și Mg este:

$$HB = -76.9819 Mn^2 - 32.2740 Mg^2 + 68.0703 MnMg + 65.0173 Mn + 11.4199 Mg + 44.9841 \quad (4.40)$$

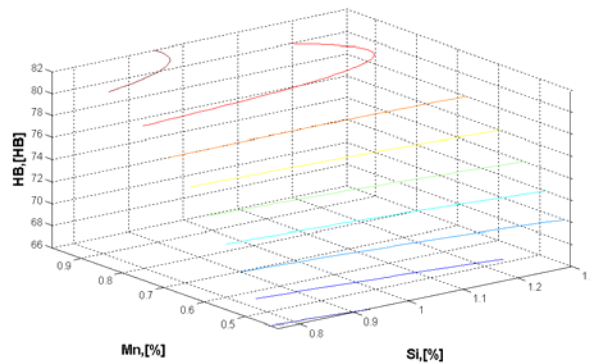
Coeficientul de corelație este $R^2(4.40)=0.9455$. Punctul de maxim are coordonatele: Mn = 0.9377%; Mg = 1.1658%, HB = 82.1245 HB. Punctul staționar este situat aproape de limita superioară.



(a) – suprafața de regresie

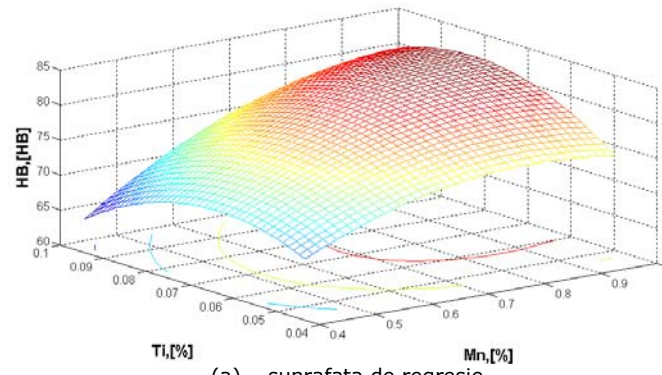


(b) – linii de nivel plane

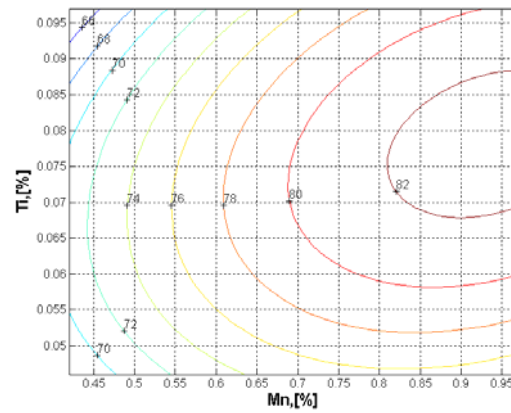


(b) linii de nivel spațiale

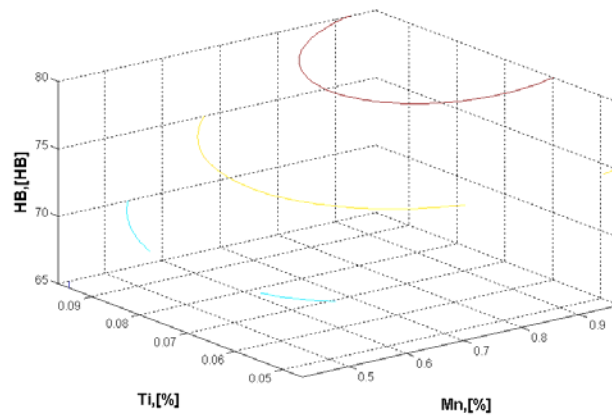
Fig.4.37. $HB = f(Si, Mn)$, $Mg = Mg_{med}$



(a) - suprafața de regresie

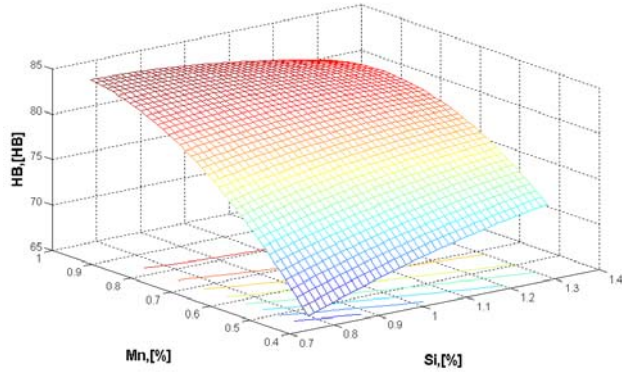


(b) - linii de nivel plane

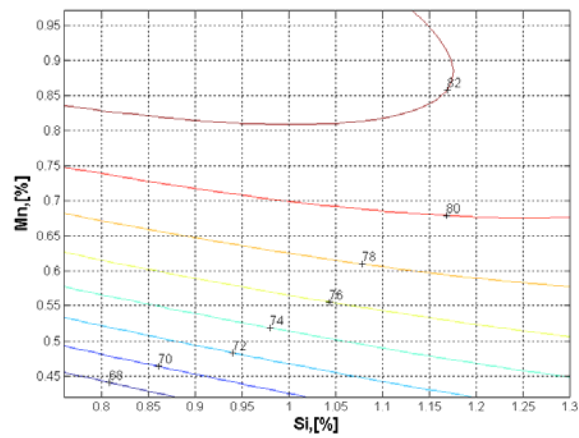


(c) - linii de nivel spațiale

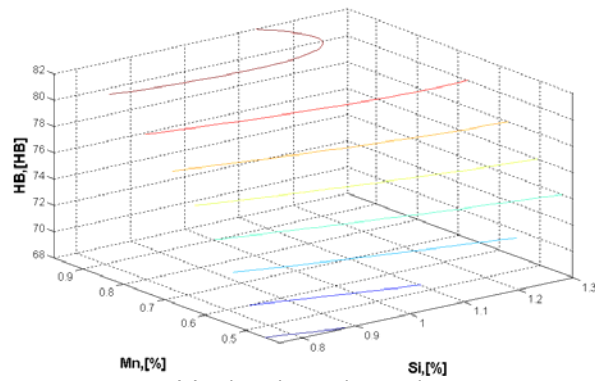
Fig.4.38. $HB = f(Mn, Ti)$, $Si = Si_{med}$



(a) - suprafața de regresie

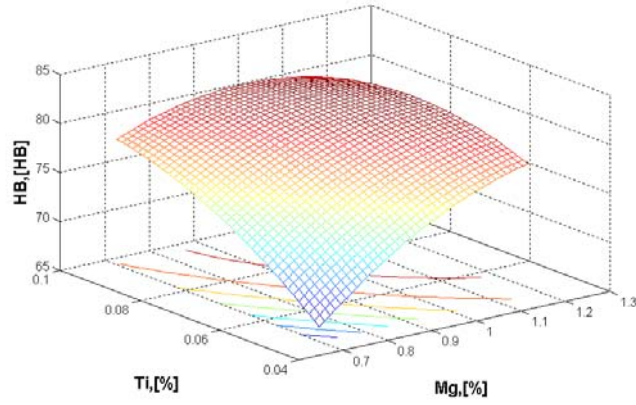


(b) - linii de nivel plane

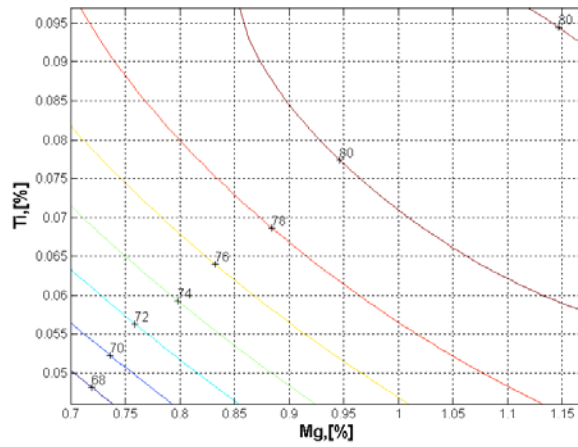


(c) - linii de nivel spațiale

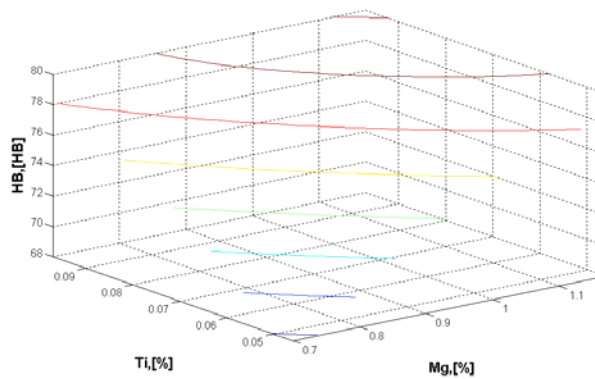
Fig.4.39. $HB = f(Si, Mn), Ti = Ti_{med}$



(a) - suprafața de regresie

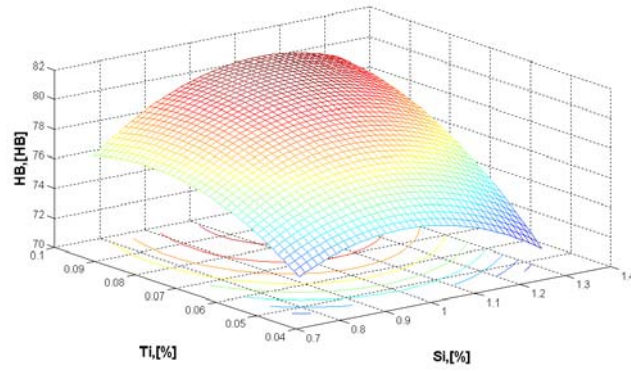


(b) - linii de nivel plane

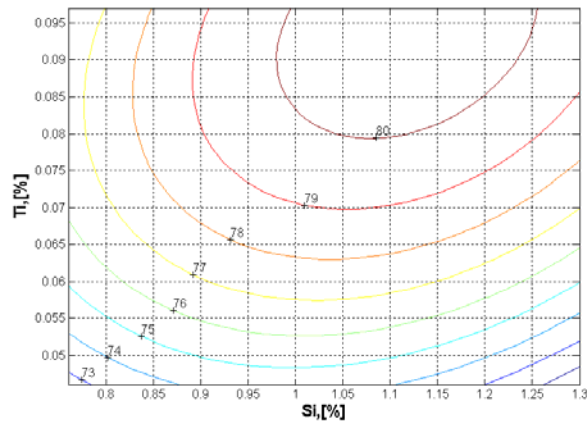


(c) - linii de nivel spațiale

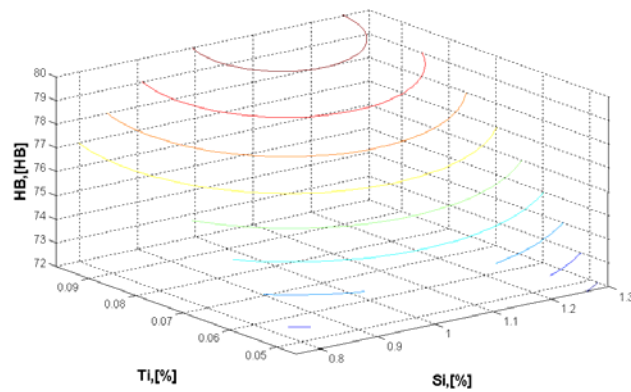
Fig.4.40. $HB = f(Mg, Ti)$, $Si = Si_{med}$



(a) - suprafața de regresie

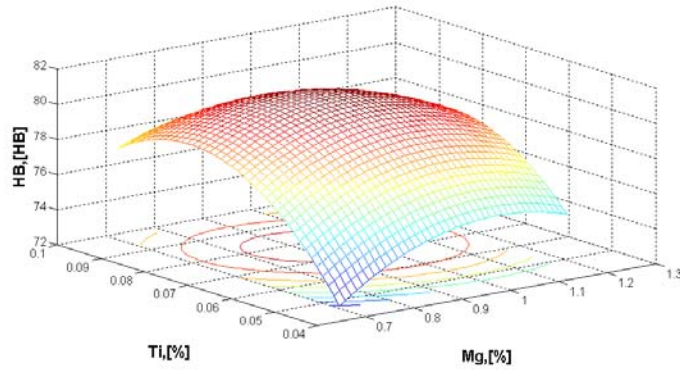


(b) - linii de nivel plane

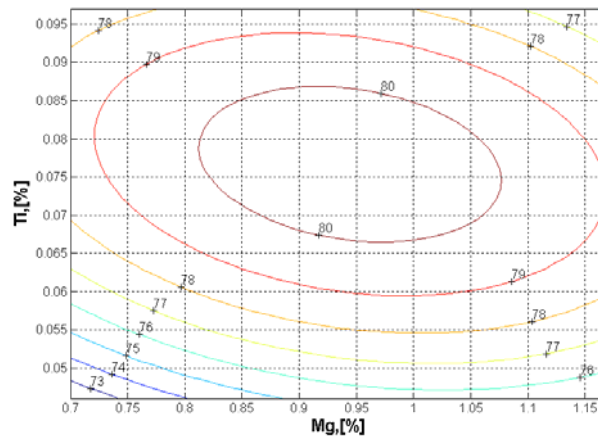


(c) - linii de nivel spațiale

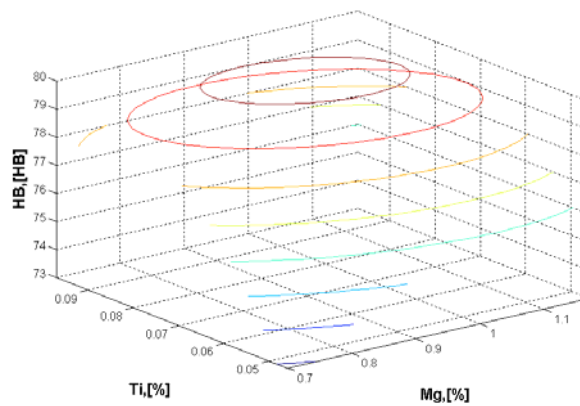
Fig.4.41. $HB = f(Si, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$



(a) - suprafața de regresie

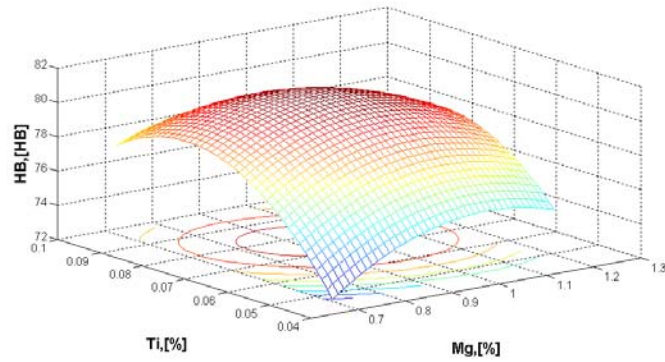


(b) - linii de nivel plane

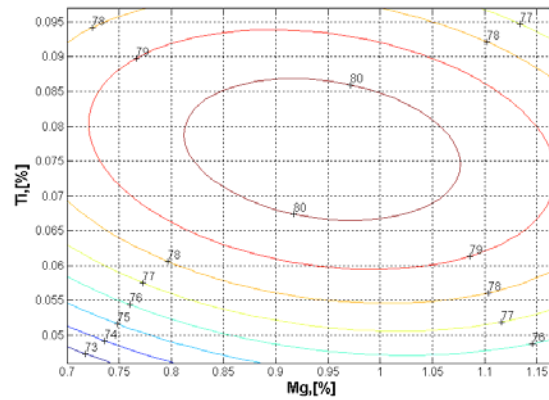


(c) - linii de nivel spațiale

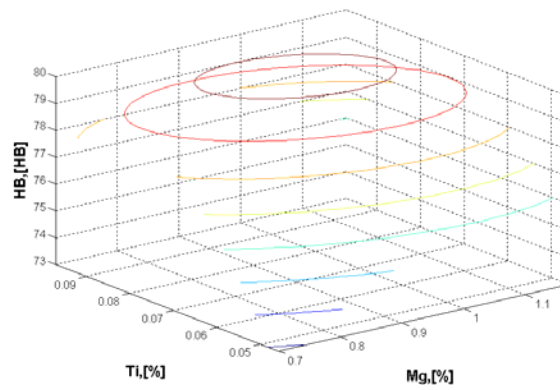
Fig.4.42. $HB = f(Mg, Ti)$, $Mn = Mn_{med}$



(a) – suprafața de regresie



(b) – linii de nivel plane



(c) – linii de nivel spațiale

Fig.4.43. $HB = f(Mn, Ti)$, $Mg = Mg_{med}$

4.5.4. Interpretarea rezultatelor obținute în programul Matlab

Au fost prelucrate patru combinații de parametri din care unul dependent (duritatea aliajului) și patru independenți, elementele de aliere Si, Mn, Mg și Ti). Prin permutări referitoare la parametrii independenți s-au obținut cele patru funcții de corelație și anume: $HB = f(\text{Si}, \text{Mn}, \text{Mg})$; $HB = f(\text{Si}, \text{Mn}, \text{Ti})$; $HB = f(\text{Si}, \text{Mg}, \text{Ti})$; $HB = f(\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Ti})$.

În urma analizei rezultatelor experimentale, se pot concluziona următoarele:

- elementele de aliere Si, Mn, Mg și Ti influențează semnificativ (în sens pozitiv) calitatea aliajului, mai precis $R_{p0,2}$ și R_m ;
- influențele sunt similare atât asupra lui $R_{p0,2}$ și R_m , ceea ce denotă o bună corespondență între cele două caracteristici mecanice;
- valorile pentru caracteristicile mecanice sunt influențate de compoziții care finisează granulația, precum și de cei care formează soluții solide aliate;
- cunoașterea corelațiilor permite o mai bună corespondență între elementele de aliere;
- corelațiile obținute prin prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB au permis stabilirea unor corelații simple și multiple între duritatea aliajului și elementele de aliere;
- cunoașterea corelațiilor permite o bună estimare pe durata elaborării a durității aliajului în funcție de compoziția chimică și o corecție a compoziției chimice.

4.6. Concluzii

Din experimentărilor efectuate și prelucrării datelor obținute în cadrul acestora se desprind următoarele concluzii:

- elaborarea aliajului în cuptorul cu inducție și turnarea în lingotiere de grafit cu secțiune circulară a decurs fără probleme de ordin tehnologic;
- încărcătura a constat deșeu de aluminiu (cu min. 99%Al) ceea ce se reflectă în calitatea lingoului obținut;
- alierea cu mangan, siliciu, magneziu a decurs corespunzător, toate cele 18 șarje încadrându-se din acest punct de vedere în limitele prevăzute în standard;
- din prelucrarea datelor în programul de calcul EXCEL s-au obținut corelații între caracteristicile calitative și elementele din compoziția chimică, exprimate (analitic și grafic) prin ecuații polinomiale de gradul 2, semnificative din punct de vedere a valorilor coeficienților de corelație și sensului tehnologic;
- aceleași date care au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, au fost prelucrate și în MATLAB obținându-se ecuații triple exprimate sub formă analitică și sub formă grafică (ca și corelații duble, atribuind prin permutări unui parametru independent valoarea medie);
- corelațiile obținute au permis cunoașterea dependenței din punct de vedere cantitativ a influenței compoziției chimice asupra caracteristicilor calitative și stabilirea unui subdomeniu de compoziție chimică pentru în vederea îmbunătățirii acestora.

5. CERCETĂRI INDUSTRIALE PRIVIND ELABORAREA ALIAJULUI DE ALUMINIU DESTINAT FABRICĂRII JANTELOR AUTO

5.1. Considerații generale

Cercetările efectuate au avut drept scop verificarea rezultatelor obținute în fază de laborator și stabilirea unor corespondențe între aceste caracteristici și cele obținute industrial. Cercetările s-au efectuat pe platforma unei societăți comerciale din țară, care elaborează și procesează aliajele de aluminiu, în scopul îmbunătățirii calității semifabricatului rezultat. La societatea comercială se toarnă semi-continuu bare cu diametru cuprins între 305 – 400 mm și lungimea de 7400 mm, care se debitează la lungimea finală de 7000 mm. Barele destinate fabricării jantelor sunt obținute din aliaj de aluminiu 6082, ele fiind livrate la export, către beneficiarul final, respectiv societatea comercială în care se produc prin forjare componentele auto menționate mai sus.

Societatea comercială este echipată cu două cuptoare de topire, de capacitate 90 de tone, prevăzute cu două camere (principală și secundară) și încălzire cu gaz metan (figura 5.1), o instalație de turnare semi-continuu și un cuptor de tratament termic, laborator pentru determinarea compoziției chimice și a granulației.



Fig.5.1. Cuptor de topire

5.2. Fluxul tehnologic

5.2.1. Elaborarea aliajului de aluminiu

Materia primă constă din deșuri de aluminiu, în cea mai mare parte de compoziție chimică cunoscută, aceste deșuri provin din: resturi de la turnare, piese turnate cu defecte, semifabricate cu defecte, resturi de la debitarea semifabricatelor, jante cu defecte, șpan de la prelucrarea mecanică, deșuri de la prelucrarea altor produse, a căror compoziție chimică este cunoscută, precum și sortimente a căror compoziție chimică nu este cunoscută (figura 5.2 și 5.3).



Fig.5.2. Deșeu jante aliaj de aluminiu 6082



Fig.5.3. Deșeu aliaj de aluminiu 6061

Fluxul tehnologic pentru elaborarea aliajului de aluminiu este prezentat în figura 5.4. De asemenea, se utilizează aluminiu primar, care are rolul de a dilua încărcătura în ceea ce privește conținutul de elemente considerate dăunătoare (sau dacă este cazul și în elemente de aliere).

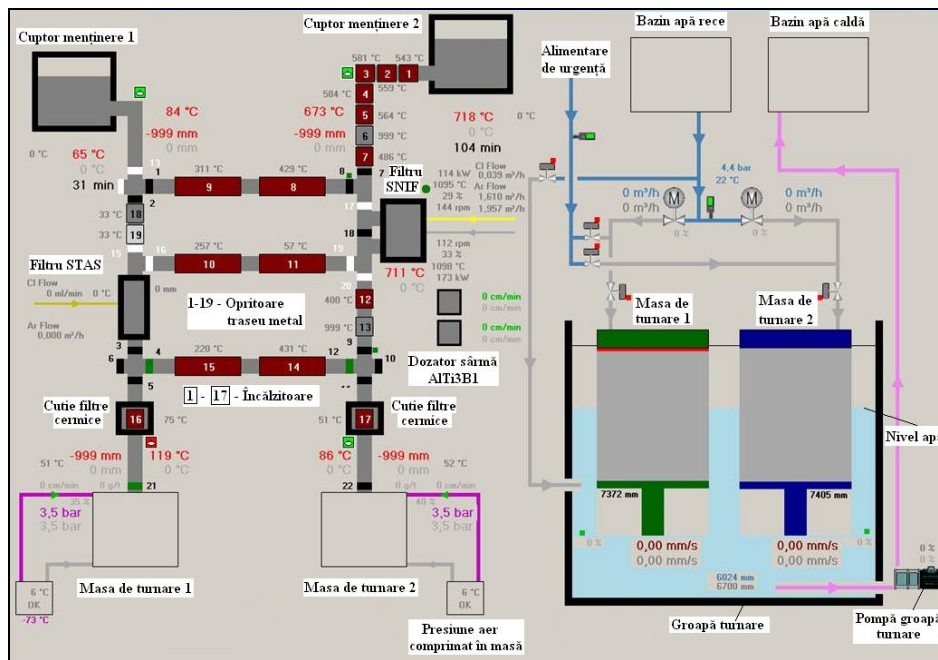


Fig.5.4. Fluxul tehnologic

În tabelul 5.1 se prezintă structura încărcăturii pentru cele 13 șarje urmărite. În figura 5.5 se prezintă structura procentuală a încărcăturii, iar în figura 5.7 valoarea medie a componentelor acesteia, iar în figura 5.8 limitele de variație a acesteia. Se prezintă structura încărcăturii luând în considerare numai componentele cu aluminiu pentru fiecare șarja, în figurile 5.1. Anexă – 5.13. Anexă.

Adaosul de materiale pentru corecția compoziției chimice se prezintă în tabelul 5.1 și sub formă grafică, în figurile 5.8 și 5.9.

Tabelul 5.1. Structura încărcăturii

Nr. șarje	Al primar 99,5%	Cr 75%	Mn 75%	Mg 99,9%	Si	6060.25	6082.4	AlMgSi1	AG3	doze	profile tabla/term	deșeu intern	S9M	5083 - Mg 4%	6063.1	5083	6005	Total încărcătură
1		50	120	40	60		36180	2170	2000				1200	3200		45020		45020
2	3080	44	130	63	58	1000	33200	1500	3960			10470				53505		53505
3	3080	40	110	85	20	2740	23600	1700	4520	650		12080			48625			
4	3850	60	160	120	60	2220	21440	6280	3640	1080		7410	1220		880	48420		48420
5	3080	50	150	110	30	4000	24220	5220				11890	1660		840	51250		51250
6	6930	50	150	150	102	2400	23160	1100	1000			14490	1430			52562		52562
7	6160	50	160	140	107	3370	20270	970	1190			4000				36417		36417
8	3080	83	224	161	131	3260	30740	2920		1880		4530	1000			50209		50209
9	6160	70	230	140	120	2780	20040		3400			10350	2000		4000	1670	50960	50960
10	6160	50	160	110	80	3550	28580		2000			5640				52330		
11	4620	50	160	90	40	1200	27640		5910			7250	1400			1500	4400	54260
12	1540	35	120	80	50	2790	33970		2780			3760	1190			1400	53315	
13	2780	30	90	280	50		19660						690	25480				50960

AG3 - tablă lăcuită / vopsită
S9M - jante turnate, Remat

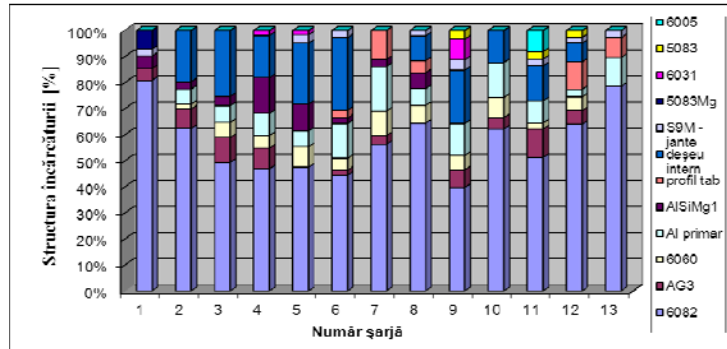


Fig.5.5. Structura procentuală a încărcăturii pe fiecare șarjă

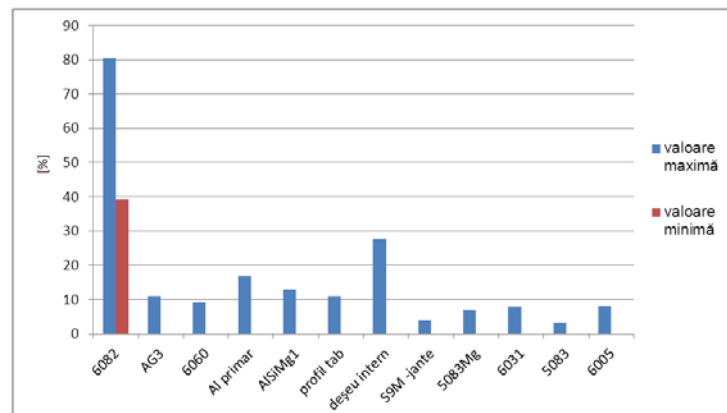


Fig.5.6. Limitele de variație a componentelor încărcăturii

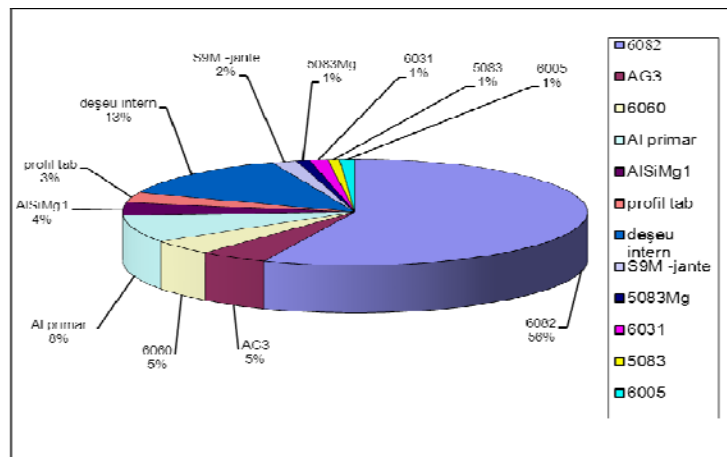


Fig.5.7. Structura medie a încărcăturii

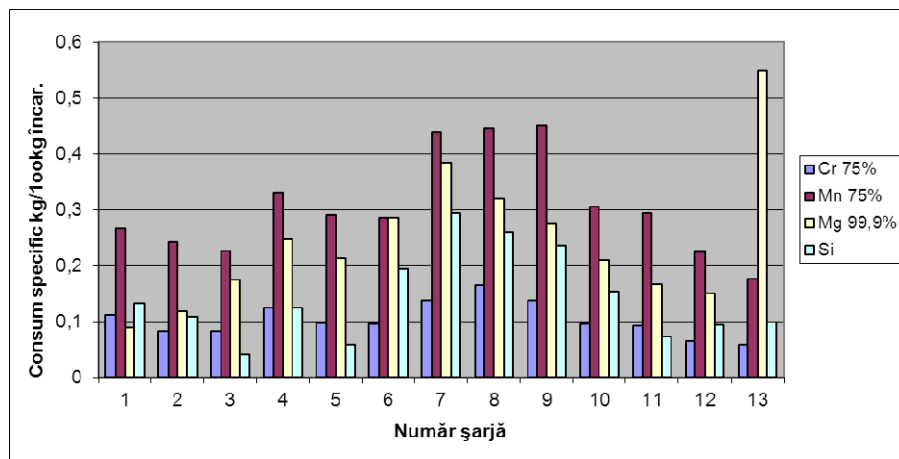


Fig.5.8. Consum specific elemente de aliere

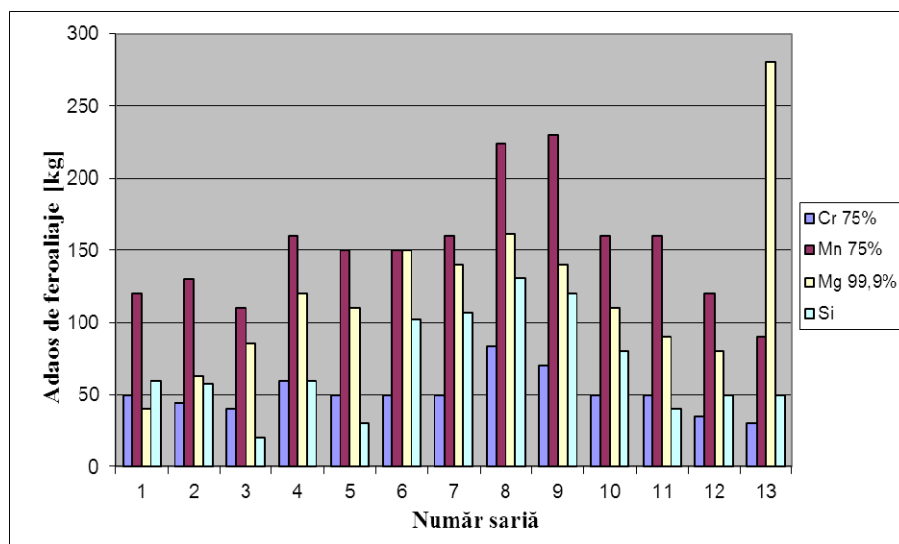


Fig.5.9. Adaosurile de feroaliaje pentru șarjele urmărite

În funcție de sortimentele disponibile, se dozează șarja (se stabilesc cantitățile din fiecare sortiment), se introduce în camera secundară, în care au loc procesele de calcinare, preîncălzire și topire. Din camera de topire, aliajul de aluminiu topit, având temperatura de 700 °C este transferat în camera principală, unde, prin intermediul unor pompe electromagnetice are loc recircularea metalului topit, în vederea omogenizării termice și chimice (figura 5.10).

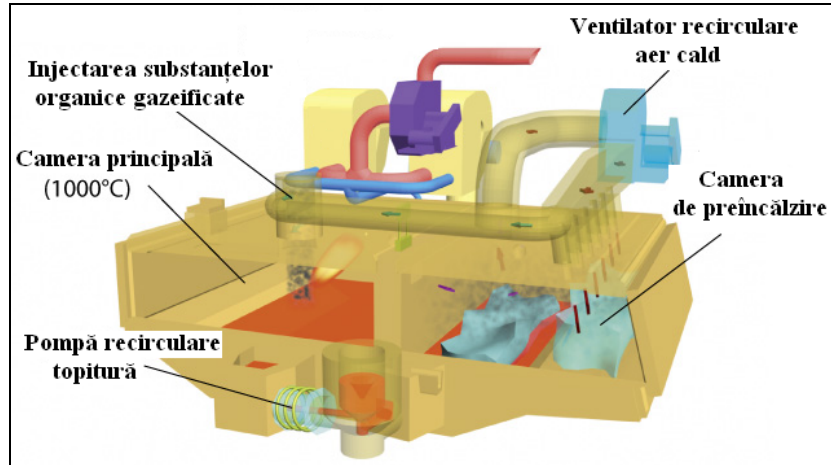


Fig.5.10. Camerele cuptorului de topire

Din cuptorul de topire, o cantitate de circa 40 de tone este transferată în cuptorul de menținere, de capacitate 50 de tone, alimentat cu gaz (figura 5.11), din care se prelevează probe pentru determinarea compoziției chimice și a dimensiunilor grăunților, iar omogenizarea topiturii se realizează mecanic.



Fig.5.11. Cuptor de menținere

Pentru determinarea compoziției chimice, probele sunt prelucrate pe mașini de frezat, adâncimea de frezare fiind de 1-2 mm. Pe suprafața probei trebuie să se realizeze minim trei arderi, aflate la aceeași distanță de margine și echidistante între

ele (figura 5.12.a, 5.12.b). Ulterior, probele prelucrate sunt analizate la spectrometru cu emisie optică (OES) în vederea determinării compoziției chimice. Pe baza cunoașterii compoziției chimice a topiturii, se face corecția necesară de adaosuri de feroaliaje, se omogenizează încărcătura și se reglează temperatura în vederea turnării. În cadrul acestor operații tehnologice se are în vedere și mărimea grăunților.



a) ardere probă



b) probă arsă



c) șlefuire probă



d) probă anodizată

Fig.5.12. Etape pregătire probe pentru determinarea compoziției chimice și a grăunților

Compoziția chimică a topiturii înainte și după adaosul de feroaliaje, se prezintă în tabelul 5.2, iar variația conținutului elementelor din compoziția chimică se regăsește în figurile 5.13- 5.16.

Orientativ, în compoziția chimică, pentru șarjele urmărite, am constatat existența mai multor elemente reziduale provenite din încărcătură, de regulă din cea de compoziție chimică necunoscută, concentrația acestora fiind proporțională cu proporția acestui sortiment de materiale în încărcătură, astfel: Ca = 0,0007 – 0,004 %; Pb = 0,0044 – 0,012 %; Zn = 0,054 – 0,071 %; Cu = 0.064 – 0,071 %.

Tabelul 5.2 Compoziția chimică a topiturii, [%]

Nr. șarjă	Preluare probă	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ca	Pb
1.	V	97.09	0.917	0.329	0.075	0.469	0.896	0.09	0.07	0.028	0.0025	0.01
	X	96.79	1.01	0.325	0.076	0.623	0.898	0.15	0.069	0.028	0.002	0.0095
2.	V	97.47	0.818	0.322	0.077	0.424	0.671	0.083	0.071	0.025	0.0015	0.0104
	X	96.83	1.015	0.33	0.079	0.625	0.829	0.16	0.07	0.027	0.003	0.0119
3.	V	97.49	0.883	0.329	0.076	0.398	0.611	0.077	0.071	0.027	0.0037	0.0146
	X	96.9	0.997	0.326	0.077	0.618	0.8085	0.145	0.066	0.029	0.004	0.0116
4.	V	97.69	0.84	0.309	0.071	0.353	0.544	0.058	0.07	0.023	0.0017	0.0116
	X	96.95	0.979	0.32	0.073	0.582	0.811	0.142	0.073	0.028	0.003	0.0117
5.	V	97.52	0.935	0.314	0.072	0.379	0.569	0.073	0.078	0.025	0.0026	0.012
	X	96.81	1.005	0.317	0.077	0.623	0.849	0.151	0.079	0.027	0.003	0.012
6.	V	97.96	0.728	0.315	0.067	0.305	0.441	0.05	0.069	0.026	0.0016	0.0101
	X	96.92	1,00	0.331	0.072	0.587	0.818	0.135	0.074	0.028	0.003	0.011
7.	V	97.88	0.727	0.292	0.069	0.327	0.513	0.059	0.071	0.026	0.004	0.0109
	X	96.7	1.085	0.336	0.076	0.628	0.8905	0.142	0.077	0.026	0.003	0.0116
8.	V	97.82	0.717	0.31	0.094	0.321	0.561	0.061	0.067	0.02	0.0008	0.0086
	X	97.03	0.949	0.316	0.089	0.589	0.79	0.133	0.062	0.021	0.001	0.0048
9.	V	97.87	0.783	0.324	0.064	0.31	0.49	0.058	0.059	0.023	0.0007	0.005
	X	96.99	1.004	0.312	0.078	0.601	0.79	0.135	0.054	0.025	0.001	0.004
10.	V	97.57	0.868	0.314	0.074	0.366	0.635	0.075	0.054	0.026	0.0013	0.0044
	X	96.98	0.958	0.306	0.072	0.608	0.811	0.158	0.056	0.027	0.001	0.0062
11.	V	97.58	0.887	0.312	0.073	0.365	0.588	0.075	0.058	0.026	0.0007	0.009
	X	96.92	1.02..	0.327	0.835	0.595	0.788	0.148	0.061	0.028	0.001	0.093
12.	V	97.33	0.945	0.343	0.085	0.414	0.669	0.091	0.064	0.028	0.0008	0.009
	X	96.94	1,00	0.326	0.077	0.583	0.80	0.145	0.06	0.027	0.001	0.01
13.	V	96.97	0.908	0.334	0.084	0.449	0,80	0.105	0.064	0.031	0.003	0.0113
	X	96.79	1.024	0.337	0.086	0.599	0.9112	0.139	0.063	0.032	0.003	0.0118

V - înainte de adaos, X - după adaos

Adaosul de sarma AlTi5B1 / AlTi3B1 efectuat pentru finisarea grăunților, a condus la conținuturi finale de B = 0,0002 – 0,0003 % și Ti = 0,021 – 0,032 %.

De menționat că depozitul de materii prime este foarte bine organizat, depozitarea fiind făcută în spații bine delimitate, fiind exclusă amestecarea diferitelor sortimente, ceea ce se reflectă în calitatea produsului obținut. Deșeurile mai puțin corespunzătoare sunt procesate în interiorul societății, produsul obținut fiind destinat dezoxidării oțelului.

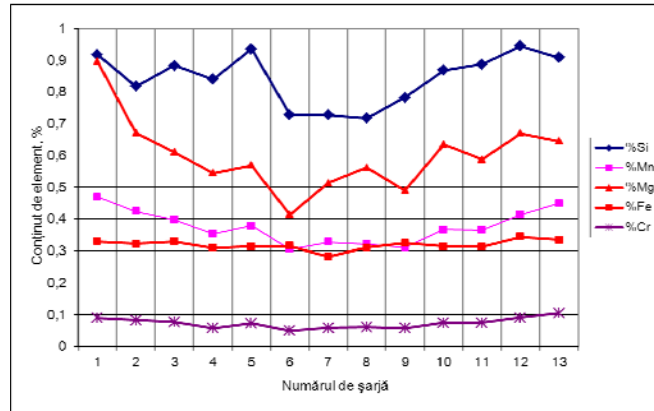


Fig.5.13. Variația conținutului de Si, Mn, Mg, Fe și Cr înainte de adaos

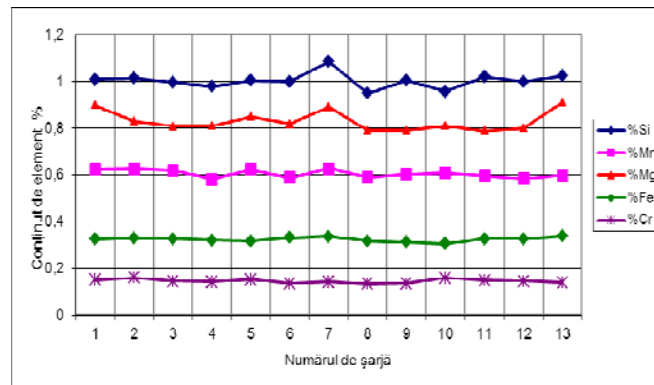


Fig.5.14. Variația conținutului de Si, Mn, Mg, Fe și Cr după adaos

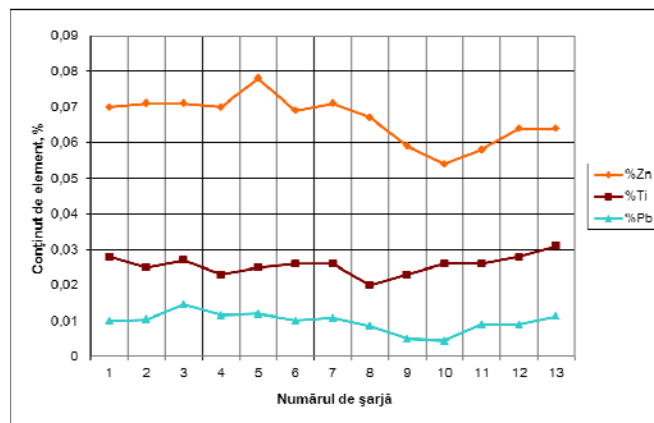


Fig.5.15. Variația conținutului de Zn, Ti și Pb înainte de adaos

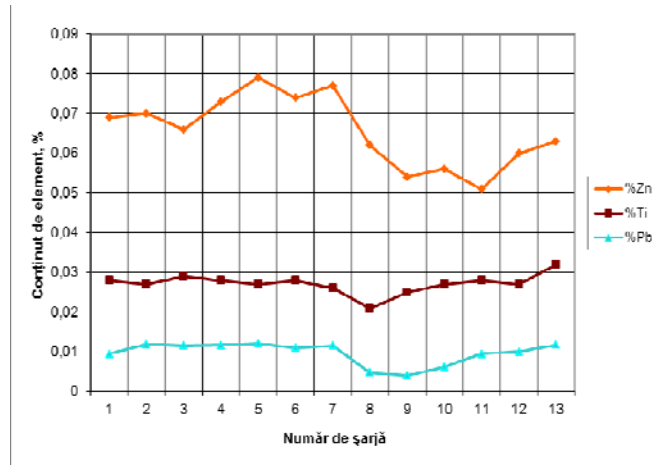


Fig.5.16. Variația conținutului de Zn, Ti și Pb după adaos

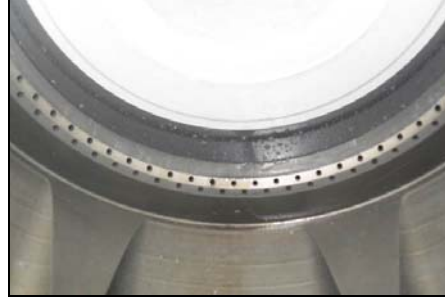
5.2.2. Turnarea aliajului de aluminiu

În momentul turnării, aliajul de aluminiu având temperatura de 715-720 °C este trecut printr-un filtru SNIF (spinning nozzle inert flotation), de capacitate 2 tone, prevăzut cu 2 rotoare pentru omogenizarea băii metalice, acesta având și rol de degazare.



Fig.5.17. Adaos AlTi5B1/AlTi3B1

Pe fluxul de turnare, între filtru SNIF și instalația de turnare semi-continuă, are loc procesul de adaos de AlTi5B1 / AlTi3B1, sub formă de sârmă de diametru 10 mm (figura 5.17), care are rolul de a finisa structura. În continuare aliajul de aluminiu străbate un filtru ceramic, de 40ppi (por/inch), (figura 5.18), care are rolul de a menține impuritățile existente în topitură.

**Fig.5.18.** Filtru ceramic**Fig.5.19.** Inel de grafit

În masa instalației de turnare semi-continuă (figura 5.20) sunt prevăzute orificii de turnare, în care se montează matricele cu inelele de grafit (figura 5.19), care are rolul de a acționa ca un lubrifiant la nivelul suprafeței barei (similar cu prafurile unguente la turnarea continuă a oțelului). Aceste inele de grafit asigură o suprafață bună a produsului turnat, netedă, fără zgârieturi, denivelări, discontinuități, fisuri, etc. (figura 5.21).

**Fig.5.20.** Masa de turnare**Fig.5.21.** Bara fără defecte de suprafață

În cazul unei lubrifieri necorespunzătoare, pe suprafața barei pot să apară defecte de suprafață, ca de exemplu, în figura 5.22.



Fig. 5.22. Bare cu defecte

Pentru corelarea rafinării și determinarea dimensiunilor grăunților, pe fluxul de producție, se prelevează două probe, una din cuptor și una din masă, a căror suprafață este prelucrată și șlefuită, determinare care se realizează prin metoda de măsurare OPTICAST AB (figurile 5.25-5.27).

Prelevarea probelor se face pe vată minerală, iar răcirea acestora se face în aer, pentru o perioadă de 10 minute și apoi în apă, probele fiind supuse prelucrării prin frezare (figura 5.12.c).

Pregătirea suprafeței probelor presupune patru etape (figura 5.24) și anume:

- polișare, pentru 40 s, cu electrolit;
- clătire;
- anodizare, pentru o perioadă de 80s, cu acid tetrafluoroboric HBF₄;
- clătire.

După pregătire, probele sunt analizate la microscopul XJP-6A, prevăzut cu cameră color digitală de 1/3", unde prin metoda de măsurare OPTICAST se determină limitele pentru mărimea grăunților, se alege dimensiunea cea mai mică și cea mai mare, între care se face media aritmetică (figurile 5.25 și 5.26).



Fig.5.23. Aparatură necesară pentru determinarea dimensiunilor grăunților

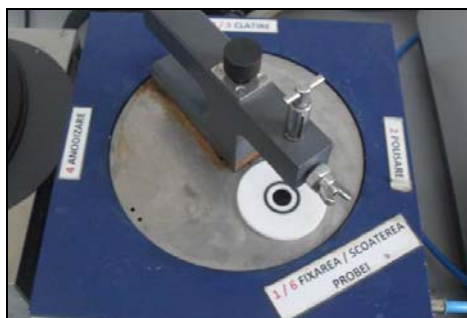


Fig.5.24. Etape pregătire probă pentru determinarea dimensiunilor grăunților

Dimensiunile mărimilor grăunților, determinate pe probele prelevate din cuptor și din masa de turnare, sunt prezentate în tabelul 5.3, iar în figura 5.27, pentru șarja 4, se prezintă modul de determinare a grăunților, pentru o probă

prelevată din cuptor și în figurile 5.28 și 5.29 se prezintă dimensiunile grăunților pentru șarjele 6 și 13.

Tabelul 5.3. Dimensiunile pentru mărimea grăunților și 2Mg/Si

Nr. șarjă	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MG în cuptor	248	237	269	270	259	245	268	273	239	220	233	227	233
MG în masă	133	150	153	159	130	142	157	168	180	153	158	140	121
Raportul 2Mg/Si	1,778	1,634	1,621	1,656	1,689	1,636	1,641	1,664	1,573	1,693	1,545	1,6	1,779

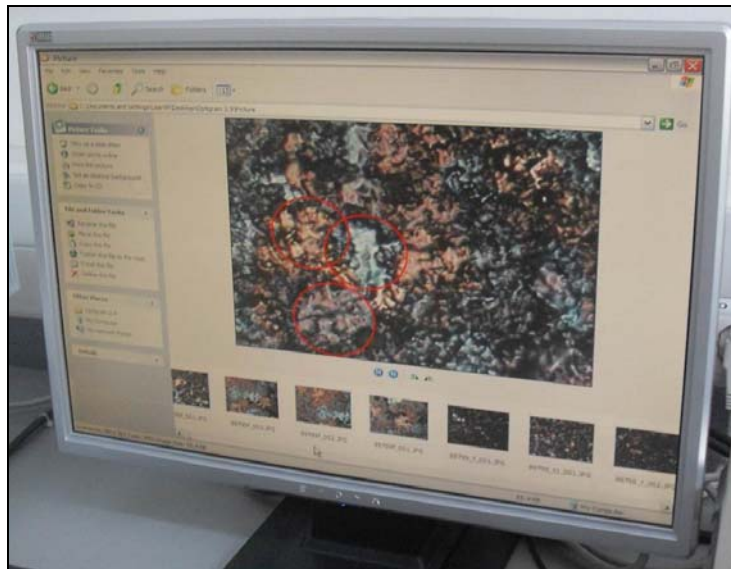


Fig.5.25. Metoda OPTICAST AB



Fig.5.26. Microscop XJP-6A pentru determinare dimensiuni grăunți

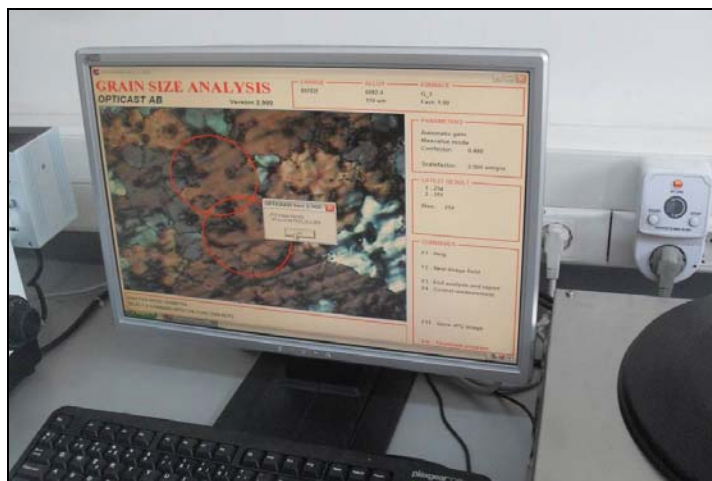


Fig.5.27. Determinare grăunți pentru probă prelevată din cuptor, pentru șarja 4

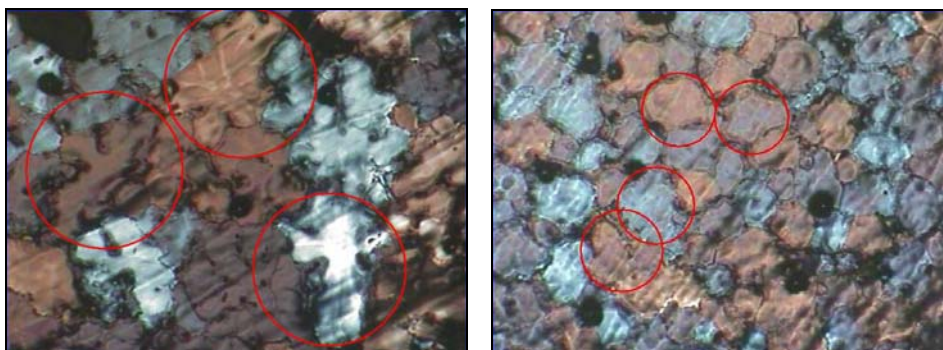


Fig.5.28. Dimensiuni grăunți probe prelevate pentru șarja 6

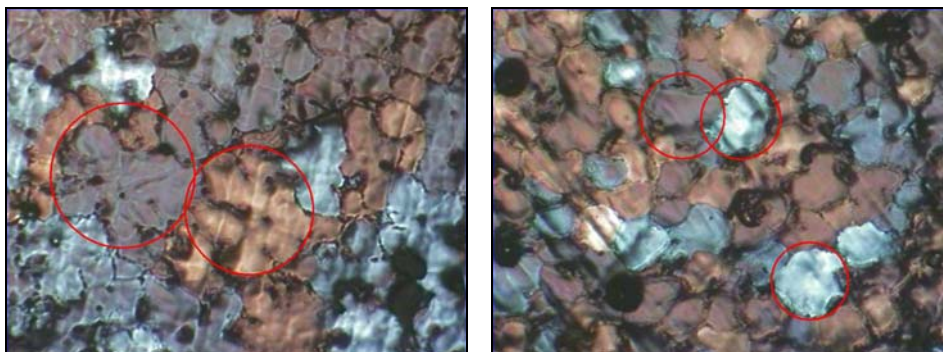


Fig.5.29. Dimensiuni grăunți probe prelevate pentru șarja 13

Pentru obținerea barelor turnate la dimensiunea de aproximativ 7400 mm, durata turnării este de 1h45', iar răcirea barelor se face în apă, parametrii de răcire fiind: presiune de aer = 3,5 bar, debitul de apă = 120 m³/h și temperatura apei =

22^oC. Temperatura barelor la scoaterea din instalație este de 50-60 °C, urmând ca acestea să fie pregătite pentru tratamentul termic de omogenizare. Timpul de la scoaterea din instalație și până la introducerea în cuptor este de aproximativ 2h30' (50' - scoatere bare, 150' - test US, 30' - tăiere, manevrare, debitare la lungimea netă și marcare – figurile 5.30-5.33).

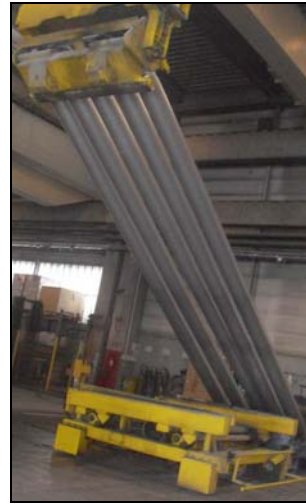


Fig.5.30. Extragere bare de aluminiu și pregătire pentru tratament termic



Fig.5.31. Pregătire bare pentru introducere în cuptor



Fig.5.32. Debitare capete



Fig.5.33. Marcaj bară turnată

5.2.3. Tratamentul termic aplicat aliajelor de aluminiu

Tratamentul termic de omogenizare, prezentat schematic în figura 5.34, presupune introducerea barelor în cuptor, la temperatura de 30 ° C și încălzite până la temperatura medie de 532 ° C în 160', cu menținere la această temperatură timp de 6h și cu o viteză medie de răcire de 430 ° C/h, ceea ce reprezintă 1h în curent de aer. Ulterior, răcirea acestora se face în aer, la temperatura ambiantă (figura 5.35).

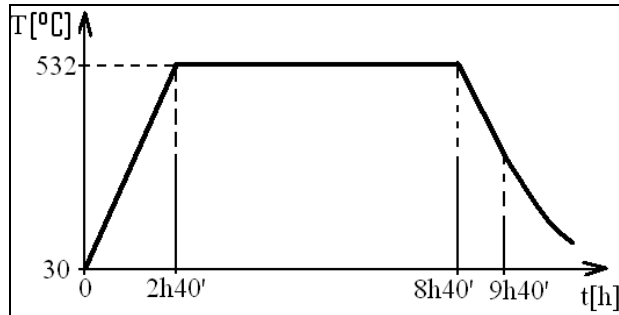


Fig.5.34. Diagrama tratament de recoacere



Fig. 5.35. Ieșire bare din cuptor, după tratamentul de recoacere

5.2.4. Analiza rezultatelor tehnologice

Din analiza celor 13 șarje urmărite, pe fluxul de elaborare-turnare, rezultă următoarele concluzii:

- încărcătura a constat din 12 componente, 11 reprezentând deșeuri și 1 component Al primar;
- numărul de componente care intră în componența unei șarje a fost de maxim 8 și minim 4;
- componentul de bază a fost deșeurul din aliaj 6082, din aceeași marcă ca și aliajul elaborat, ceea ce reprezintă un avantaj, atât din punct de vedere tehnologic, cât și economic. Ponderea acestui sortiment este cuprinsă între 39,325 % - 80,364 % (figura 5.6);

- toate deșeurile utilizate în încărcătură au fost de calitate foarte bună, fără resturi de pământ, zgură, fără deșeu de material plastic, etc;
- faptul că încărcătura a fost de bună calitate și proporția mare de deșeu 6082, a determinat o utilizare de doar 16,915 % de Al primar;
- calitatea bună a încărcăturii se reflectă și în compoziția chimică a aliajului la terminarea topirii, în acest sens, se poate observa, că, din punct de vedere a principalelor elemente de aliere, Si, Mn, Mg, nu sunt depășite limitele maxime (figura 5.13), chiar mai mult, în ceea ce privește Si se încadrează în limitele prevăzute în standard;
- elemente precum Cr și Fe sunt sub limita prevăzută în standard. Întrădeavăr, există de la o șarjă la alta variații mari ale conținutului de Si și Mg. Referitor la celelalte elemente, Zn, Ti, Pb, variațiile de la șarjă la alta sunt destul de mici;
- după corecția compoziției chimice, în produsul final, se constată de la o șarjă la alta, variații foarte mici, nesemnificative, ceea ce dovedește o bună cunoaștere a procesului tehnologic;
- după cum se poate observa în figura 5.14, la șarjele 1, 7 și 13, a crescut Mg la 0,9 %, ceea ce se reflectă și în valoarea raportului 2Mg/Si din tabelul 5.3, raport mai mare de 1,73. La șarja numărul 7, cu toate că a crescut Mg, raportul nu a depășit valoarea 1,7, deoarece, proporțional a crescut și Si;
- la evacuarea din cuptor, temperatura de evacuare a variat între 714 – 721°C, intervalul tehnologic fiind 710 – 725 °C. Referitor la temperatura de turnare, atât pe masa 1, cât și pe masa 2, aceasta s-a încadrat între limitele impuse, 690 – 710 °C;
- consumul specific de AlTi5B1 a fost cuprins între 600 – 750 g/t. Pentru fiecare șarjă s-a determinat mărimea grăuntelui, încadrându-se în normele impuse de beneficiar. Viteza de turnare s-a menținut constantă, la 1,15 mm/s (69 mm/min);
- parametrii de răcire au fost respectați, astfel încât nu au existat probleme din punct de vedere al calității suprafeței barelor și a defectelor interne. Toate barele obținute pe cele două mese s-au încadrat în lungimea impusă de instrucțiunile tehnologice.

5.3. Analiza și prelucrarea datelor experimentale

5.3.1. Determinarea caracteristicilor mecanice

Din fiecare șarjă elaborată s-au prelevat probe din cuptor pentru determinarea compoziției chimice, în vederea corecției acesteia și după aceea, o altă probă pentru determinarea mărimii grăunților. Ulterior, se prelevează o nouă probă din masa de turnare, pentru determinarea mărimii grăunților în masă.

De asemenea, din barele turnate semi-continuu (1 bară/șarjă), înainte de debitarea la lungimea de 7000 mm (impusă de beneficiar) s-au prelevat probe (eșantioane/șaipe cu diametrul de 305 mm și grosimea de 30 mm) în vederea prelucrării pentru obținerea epruvetelor necesare determinării caracteristicilor mecanice (rezistenței la rupere R_m , rezistența la forfecare τ (R_f), energia de rupere KU/KV și durezza), așa cum se prezintă în figurile 5.36 - 5.38. Epruvetele pentru determinarea solicitării la tracțiune, având diametrul de 10 mm și lungimea totală de 150 mm, au fost realizate conform SR EN ISO 6892-1:2010. Pentru determinarea durtății, epruvetele au fost realizate conform SR EN ISO 6506:2006, având dimensiunile 80x100x25 mm. Solicitarea la forfecare s-a realizat conform STAS

7927-67, epruvetele având diametrul $\Phi 8$ mm și lungimea de 50 mm. Solicitarea la încovoiere prin șoc s-a realizat conform SR EN ISO 148-1:2011, epruvetele având dimensiunile de 10x10x55 mm, creștătura fiind realizată în U, având 2 mm.

Încercările s-au efectuat în cadrul laboratorului de Rezistența Materialelor din cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara – Universitatea „Politehnica” Timișoara. Odată obținute aceste valori, ele au fost corelate cu principalele elemente din compoziția chimică, precum și cu mărimea grăuntelui.



Fig.5.36. Eșantion bară turnată



Fig.5.37. Eșantioane din bară pentru epruvete



Fig.5.38. Epruvete pentru solicitările mecanice

Valorile pentru parametri urmăriți sunt centralizate și prezentate în tabelele 5.2, 5.3, 5.4.

Tabelul 5.4. Caracteristicile mecanice pentru fiecare șarjă

Nr. Șarjă	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_m [MPa]	264	248	253	224	272	275	236	253	236	256	248	265	252
R_f [MPa]	151	143	141	138	144	148	142	143	140	146	142	155	150
KU [J]	78,1	82,5	88,5	96	101	80	65	65	72,5	78	69	74,5	81
Duritatea Brinell [HB]	75	74	77	75	77	80	76	77	75	78	75	82	79

5.3.2. Considerații privind prelucrarea datelor experimentale

În prima parte a prelucrării datelor s-a urmărit stabilirea unor corelații între mărimea grăunților (considerată parametru dependent) și elementele din compoziția

chimică cu influență asupra finisării granulației.

În partea a doua a prelucrării datelor s-a urmărit stabilirea unor corelații între caracteristicile calitative ale aliajului (caracteristici mecanice, considerate parametri dependenți) și elementele din compoziția chimică, mărimea grăunților și raportul 2Mg/Si.

Datele au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB în vederea obținerii unor corelații de dependență între parametri analizați. Prin prelucrarea datelor în programul EXCEL, au fost obținute corelații simple, exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1 și 2, iar prin prelucrarea aceluiași date în programul MATLAB, au fost obținute corelații multiple (duble și triple), exprimate prin ecuații polinomiale de gradul 2.

Toate corelațiile obținute sunt prezentate atât sub formă analitică cât și grafică, o parte din ele regăsindu-se în anexe.

5.3.3 Rezultatele prelucrării datelor privind mărimea grăunților

5.3.3.1. Rezultatele prelucrării datelor în programul EXCEL

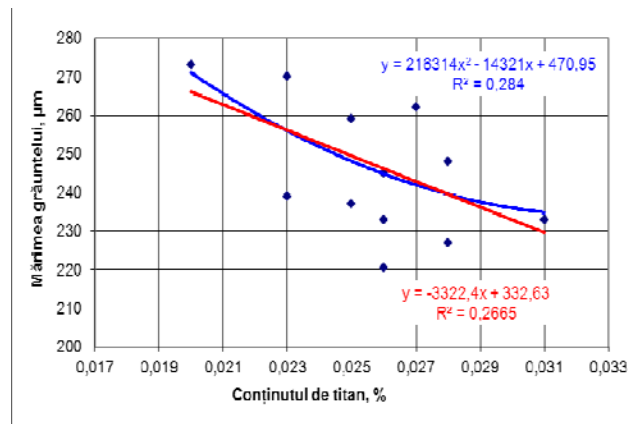


Fig.5.39. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Ti, în cuptor

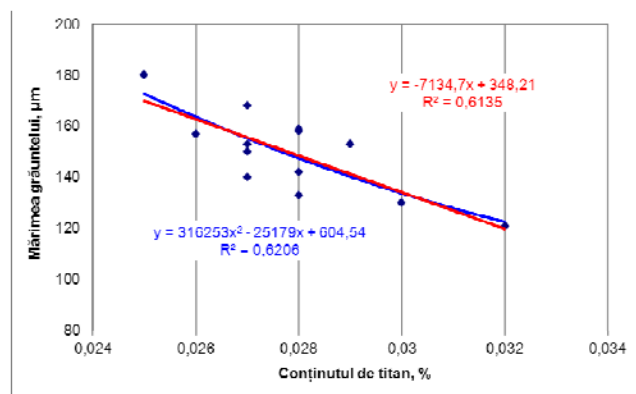


Fig.5.40. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Ti, în masă

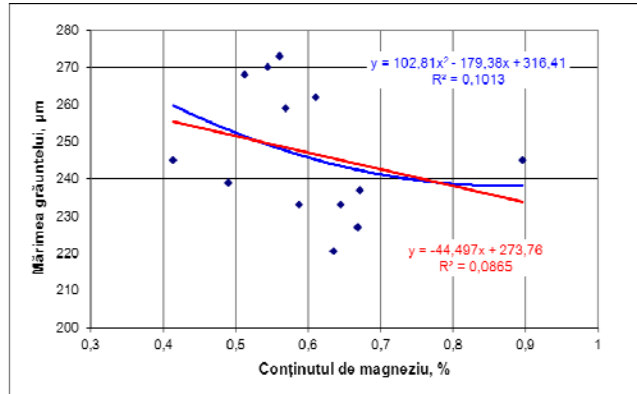


Fig.5.41. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Mg, în cuptor

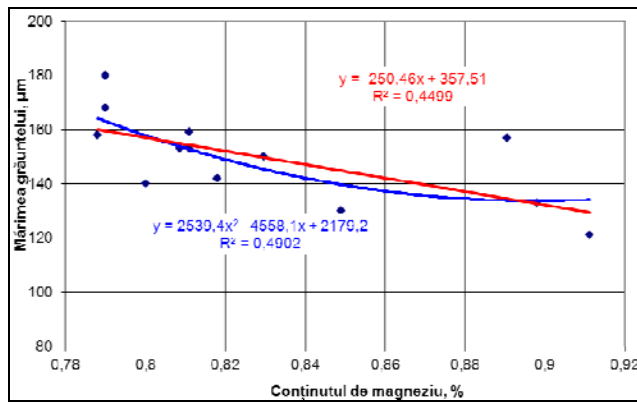


Fig.5.42. Mărimea grăunților în funcție de conținutul de Mg, în masă

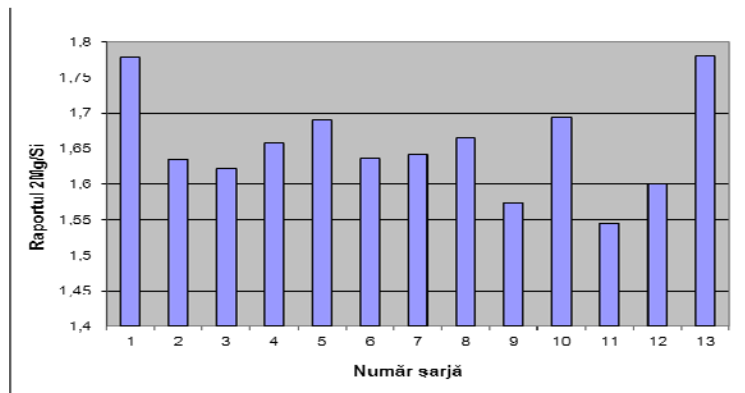


Fig.5.43. Variația raportului 2Mg/Si pentru șarjele urmărite

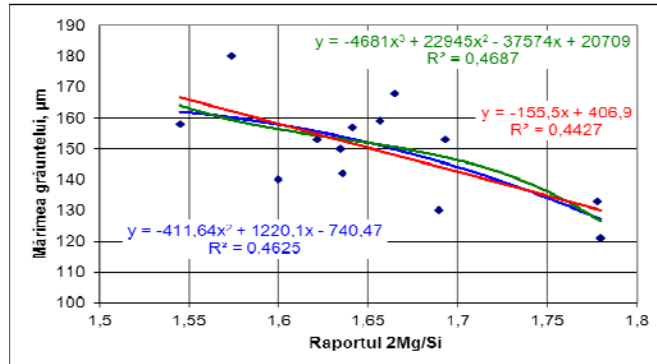


Fig.5.44. Variația mărimii grăunților măsurați în masă, în funcție de raportul 2Mg/Si

5.3.3.2. Rezultatele prelucrării datelor în programul MATLAB

Se va nota $MG_{m,c}$ – mărimea grăunților în masă sau în cuptor și $R^2(i) =$ pătratul coeficientului de corelație pentru ecuația cu numărul i .

Din analiza rezultatelor obținute din prelucrarea datelor, s-au obținut ecuații de corelație triplă, între MG , determinată în cuptor sau în masa de turnare și elementele chimice Si, Mn, Ti, Mg și raportul 2Mg/Si. Suprafețele de regresie și curbele de nivel obținute din corelațiile duble și triple sunt prezentate în figurile 5.45 – 5.50.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile MG_m și valorile pentru Ti, Mg și 2Mg/Si, obținute în masa de turnare, se pleacă de la ecuația:

$$MG_m = 10^6 \begin{pmatrix} 1.4178 Ti^2 + 0.0014 Mg^2 + 0.0018 Mg_2Si^2 - 0.1432 Ti \cdot Mg + \\ 0.0693 Ti \cdot Mg_2Si - 0.0032 Mg \cdot Mg_2Si - 0.0782 Ti + 0.0067 Mg - \\ - 0.0053 Mg_2Si + 0.0030 \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.1) = 0.9104$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0,02\%$, $Mg = Mg_{med} = 0.83\%$, $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med} = 1,655$, $MG_m = MG_{med} = 149,538 \mu m$.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Mg și 2Mg/Si este (figura 5.45):

$$MG_m = 10^3 \begin{pmatrix} 1.3812 Mg^2 + 1.8489 Mg_2Si^2 - 3.2060 Mg \cdot Mg_2Si + 2.6756 Mg - \\ - 3.4153 Mg_2Si + 1.9602 \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.2) = 0.6882$. Punctul de staționare are coordonatele: $Mg = -0.0166 \cdot 10^3 \%$, $2Mg/Si = -0.0135 \cdot 10^3$, $MG_m = 2.7553 \cdot 10^3 \mu m$. Punctul staționar este situat mult în afara limitelor de variație a parametrilor independenți.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Ti și 2Mg/Si este (figura 5.46):

$$MG_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 1.4178 Ti^2 + 0.0018 Mg_2Si^2 + 0.0693 Ti \cdot Mg_2Si - 0.1971 Ti - \\ - 0.0080 Mg_2Si + 0.0095 \end{array} \right) \quad (5.3)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.3) = -0.3010$. Punctul de minim are coordonatele: $Ti = 0.0306 \%$, $2Mg/Si = 1.5923$, $MG_m = 134.4961 \mu m$. Punctul staționar este în limitelor prevăzute în standard.

Pentru $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Ti și Mg este (figura 5.47):

$$MG_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 1.4178 Ti^2 + 0.0014 Mg^2 - 0.1432 Ti \cdot Mg + 0.0365 Ti + \\ + 0.0014 Mg - 0.0007 \end{array} \right) \quad (5.4)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.4) = 0.7989$. Punctul de inflexiune are coordonatele: $Ti = 0.0233 \%$, $Mg = 0.7166 \%$, $MG_m = 167.3213 \mu m$. Punctul staționar este situate în afara limitele tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile lui MG_c și valorile pentru Ti , Mg și $2Mg/Si$, obținute în cuptor, se pleacă de la ecuația:

$$MG_c = 10^5 \left(\begin{array}{l} 5.3684 Ti^2 + 0.0006 Mg_2Si^2 - 0.1487 Ti \cdot Mg_2Si^2 + \\ + 0.0004 Mg \cdot Mg_2Si - 0.1242 Ti + 0.0019 Mg_2Si + 0.0032 \end{array} \right) \quad (5.5)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.5) = 0.6382$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0.0257 \%$, $Mg = Mg_{med} = 0.6 \%$, $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med} = 1.247$, $MG_c = MG_{cmed} = 247.27 \mu m$.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între MG și valorile pentru Mg și $2Mg/Si$ este:

$$MG_c = 10^3 \left(\begin{array}{l} 59.3704 \cdot 2Mg / Si^2 + 38.1433 Mg \cdot 2Mg / Si - \\ - 192.2978 \cdot 2Mg / Si + 359.7866 \end{array} \right) \quad (5.6)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.6) = -0.0358$. Punctul de staționar are coordonatele: $Mg = 5.0415 \%$, $2Mg/Si = 0\%$, $MG_c = 359.7866 \mu m$. Punctul staționar este situate în limitele tehnologice.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între MG_c și valorile pentru Ti și $2Mg/Si$ este:

$$MG_c = 10^5 \left(\begin{array}{l} 5.3684 Ti^2 + 0.0006 Mg_2Si^2 - 0.1487 Ti \cdot Mg_2Si - 0.1242 Ti + \\ + 0.0021 Mg_2Si + 0.0032 \end{array} \right) \quad (5.7)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.7) = 0.5821$. Punctul de staționar are coordonatele: $Ti = 0.0180 \%$, $2Mg/Si = 0.4666$, $MG_m = 262.1157 \mu m$. Punctul staționar se situează în limitele tehnologice.

Pentru $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med}$, ecuația de corelație între MG_c și valorile pentru Ti și Mg este:

$$MG_c = 10^5 \left(5.3684 Ti^2 - 0.3096 Ti + 0.0005 Mg - 0.0065 \right) \quad (5.8)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.8) = 0.4070$, dar punctul obținut este neconcludent.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile MG_m și valorile pentru Mn, Si și 2Mg/Si, obținute în masa de turnare, se pleacă de la ecuația:

$$MG_m = 10^4 \begin{pmatrix} -6.7261 Mn^2 - 0.8662 Si^2 + 0.0278 Mg_2 Si^2 + 5.2062 Mn \cdot Si - \\ -0.0218 Mn \cdot Mg_2 Si - 0.3266 Si \cdot Mg_2 Si + 2.9619 Mn - \\ -0.8937 Si + 0.2351 Mg_2 Si - 0.6064 \end{pmatrix} \quad (5.9)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.9) = 0.9542$, pentru $Mn = Mn_{med} = 0,6046\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med} = 1,655$, $MG_m = MG_{med} = 149,538 \mu m$.

Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Si și 2Mg/Si este (figura 5.49):

$$MG_m = 10^4 \begin{pmatrix} -0.8662 Si^2 + 0.0278 Mg_2 Si^2 - 0.3266 Si \cdot Mg_2 Si + 2.2544 Si + \\ + 0.2219 Mg_2 Si - 1.2748 \end{pmatrix} \quad (5.10)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.10) = 0.2080$. Punctul de sa are coordonatele: $Si = 0.9744 \%$, $2Mg/Si = 1.7345$, $MG_m = 159.6480 \mu m$. Punctul staționar este situat în limitele tehnologice.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Mn și 2Mg/Si este (figura 5.50):

$$MG_m = 10^4 \begin{pmatrix} -6.7261 Mn^2 + 0.278 Mg_2 Si^2 - 0.0218 Mn \cdot Mg_2 Si + \\ + 8.1865 Mn - 0.0927 Mg_2 Si - 2.3755 \end{pmatrix} \quad (5.11)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.11) = 0.4331$. Punctul de sa are coordonatele: $Mn = 0.6055 \%$, $2Mg/Si = 1.9062$, $MG_m = 144.1599 \mu m$. Punctul staționar este situat în limitele tehnologice.

Pentru $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Mn și Si este (figura 5.50):

$$MG_m = 10^4 \begin{pmatrix} -6.7261 Mn^2 - 0.8662 Si^2 + 5.2062 Mn \cdot Si + 2.9258 Mn \\ -1.4342 Si - 0.1413 \end{pmatrix} \quad (5.12)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.12) = 0.6326$. Punctul de sa are coordonatele: $Mn = 0.6311 \%$, $Si = 1.0687 \%$, $MG_m = 155.7110 \mu m$. Punctul staționar este situat în limitele tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile MG_m și valorile pentru Ti, Mg și Si, obținute în masa de turnare, se pleacă de la ecuația:

$$MG_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 1.4314 Ti^2 + 0.0023 Mg^2 + 0.0049 Si^2 - 0.0087 Ti \cdot Mg - \\ - 0.1110 Ti \cdot Si - 0.0066 Mg \cdot Si + 0.0354 Ti + \\ + 0.0028 Mg + 0.0013 Si - 0.0007 \end{array} \right) \quad (5.13)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.13) = 0.9105$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0,0278\%$, $Mg = Mg_{med} = 0.8303\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $MG_m = MG_{med} = 149,538 \mu m$.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Mg și Si este (figura 5.48):

$$MG_m = 10^3 \left(\begin{array}{l} 2.3138 Mg^2 + 4.8836 Si^2 - 6.6108 Mg \cdot Si + 2.5379 Mg - \\ - 4.3885 Si + 1.43229 \end{array} \right) \quad (5.14)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.14) = 0.6848$. Punctul de minim are coordonatele: $Mg = 2.8240 \%$, $Si = 2.3607 \%$, $MG_m = -164.1875 \mu m$. Punctul staționar este situat mult în afara limitelor tehnologice superioare.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Ti și Si este:

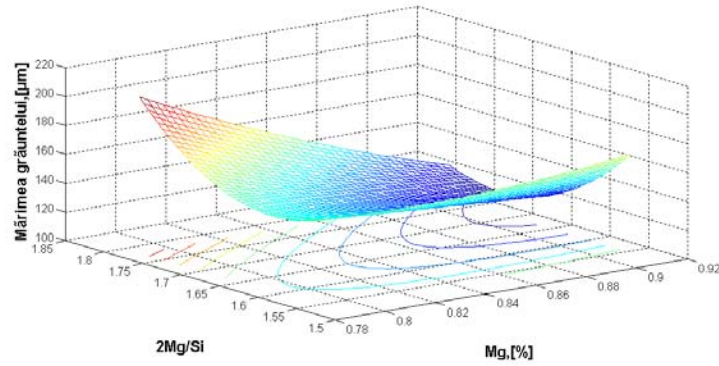
$$MG_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 1.4314 Ti^2 + 0.0049 Si^2 - 0.1110 Ti \cdot Si + 0.0281 Ti - \\ - 0.0068 Si + 0.0032 \end{array} \right) \quad (5.15)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.15) = 0.5024$. Punctul de minim are coordonatele: $Ti = 0.0306 \%$, $Si = 1.0425\%$, $MG_m = 134.0626 \mu m$. Punctul staționar este situat în limitelor tehnologice prevăzute în standard.

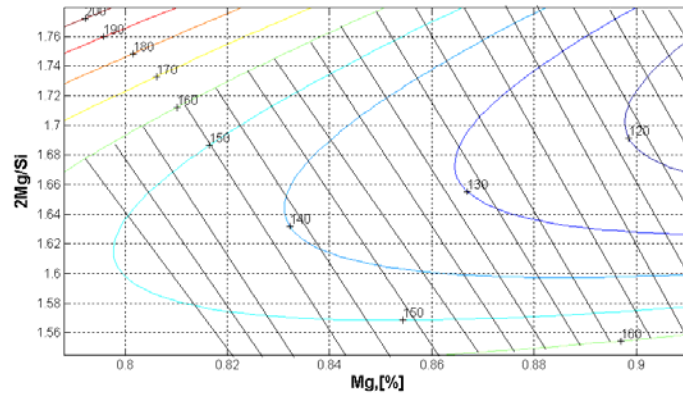
Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între MG_m și valorile pentru Ti și Mg este:

$$MG_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 1.4314 Ti^2 + 0.0023 Mg^2 - 0.0087 Ti \cdot Mg - 0.0760 Ti - \\ - 0.0039 Mg + 0.0030 \end{array} \right) \quad (5.16)$$

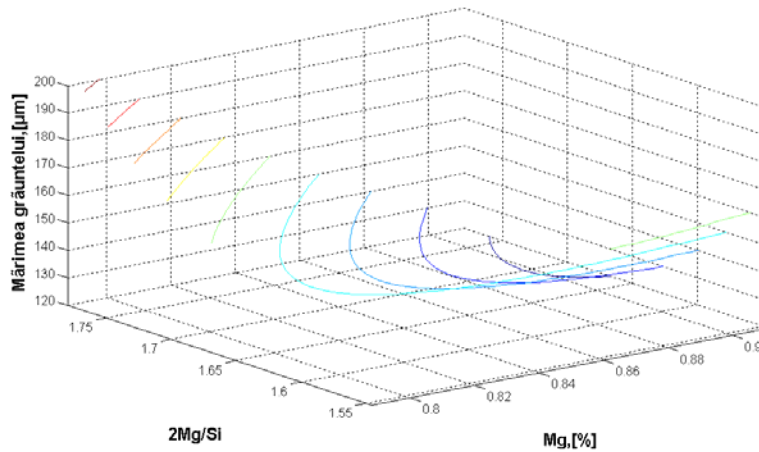
Coeficientul de corelație este $R^2(5.16) = 0.7638$. Punctul de minim are coordonatele: $Ti = 0.0293 \%$, $Mg = 0.8879 \%$, $MG_m = 130.5992 \mu m$. Punctul staționar este situat în limitelor tehnologice prevăzute în standard.



(a) – suprafața de regresie



(b) – liniile de nivel plane



(c) – linii de nivel spațiale

Fig.5.45. $MG_m = f(Mg, Mg_2Si)$, $Ti = Ti_{med}$, rel. (5.2)

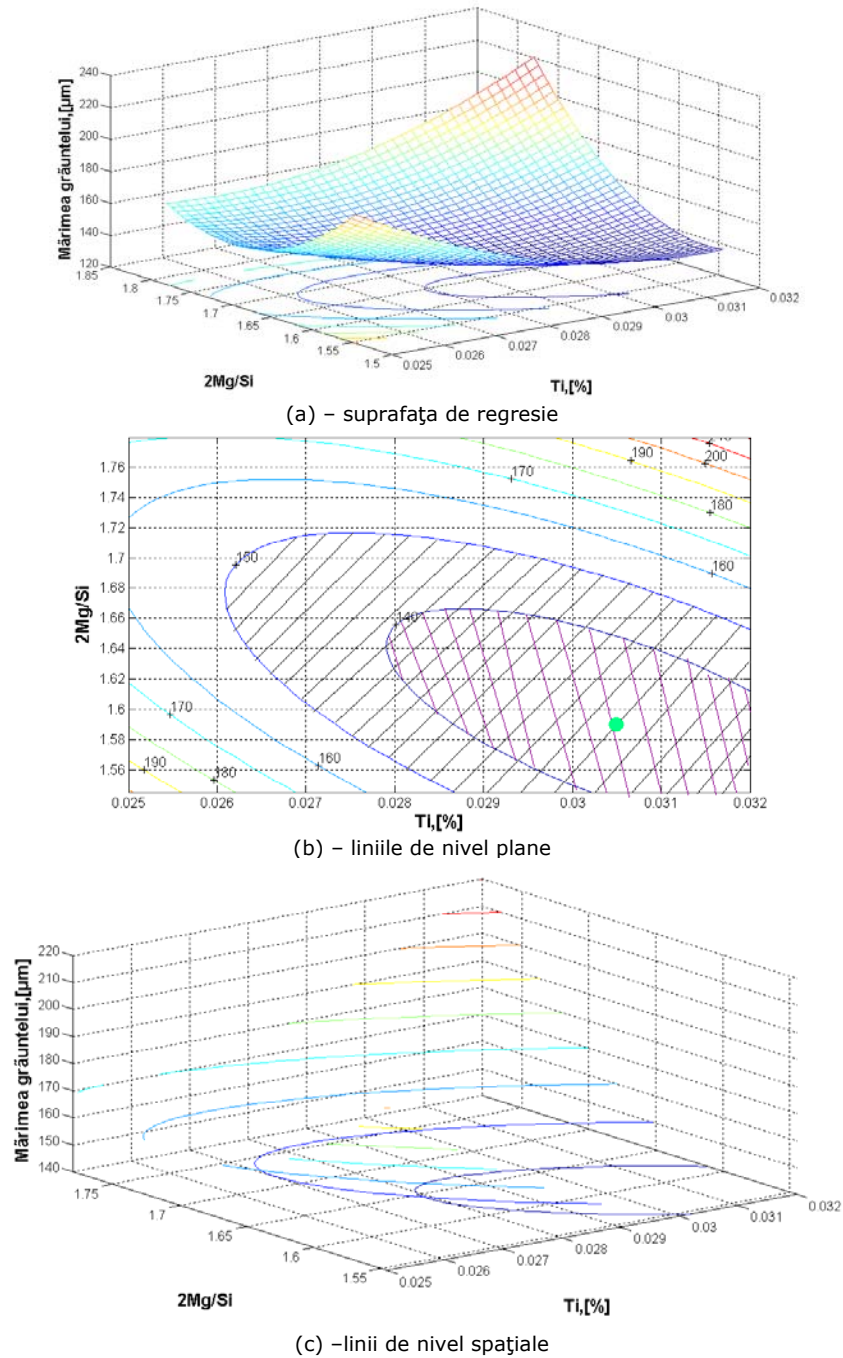
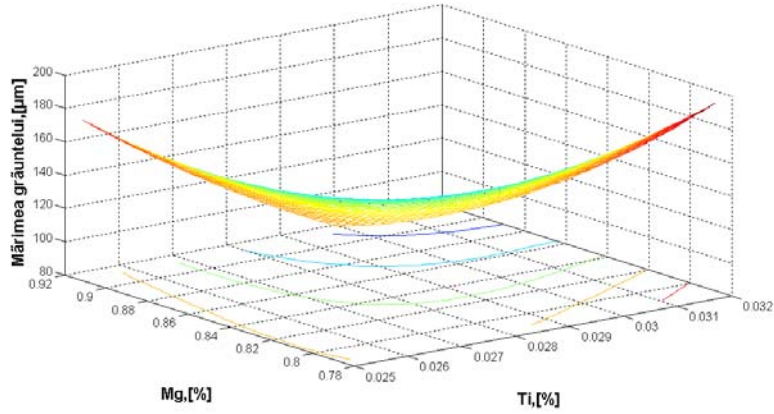
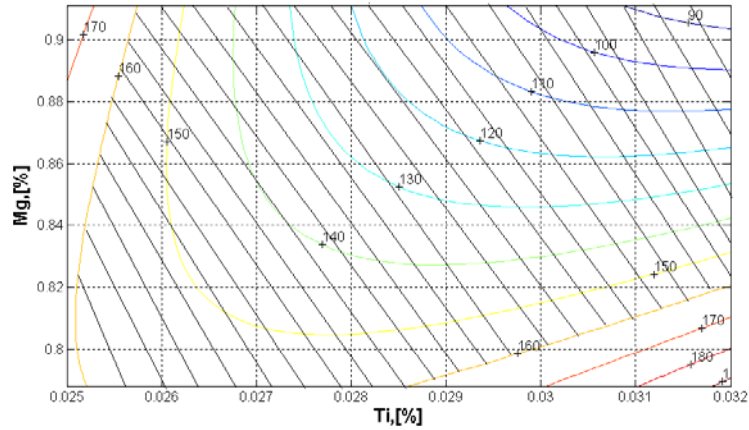


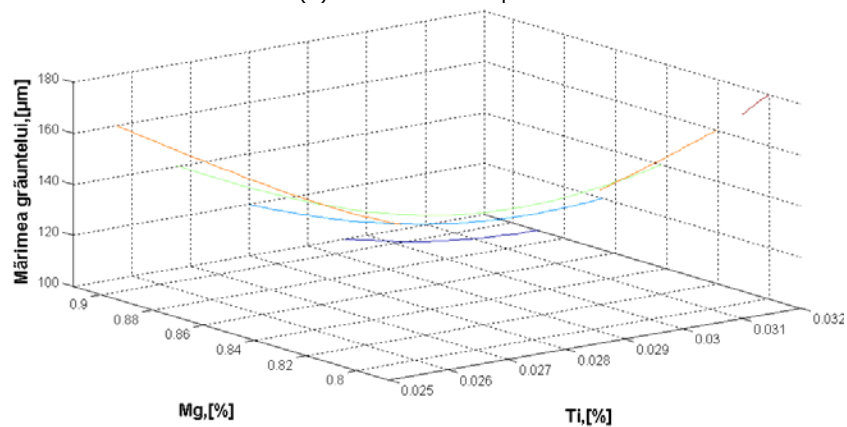
Fig.5.46. $MG_m = f(Ti, Mg_2Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.3)



(a) – suprafața de regresie

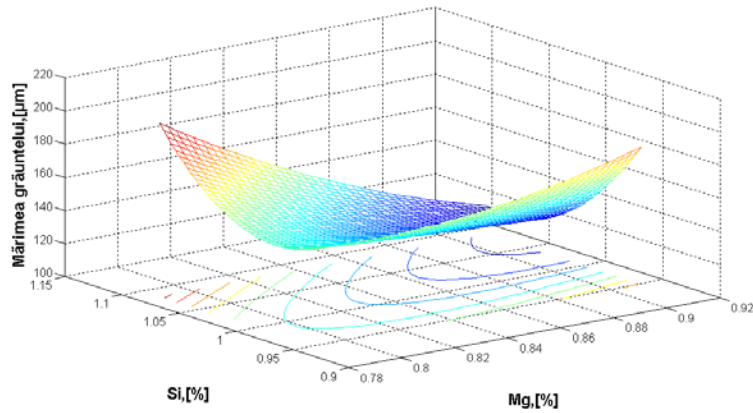


(b) – liniile de nivel plane

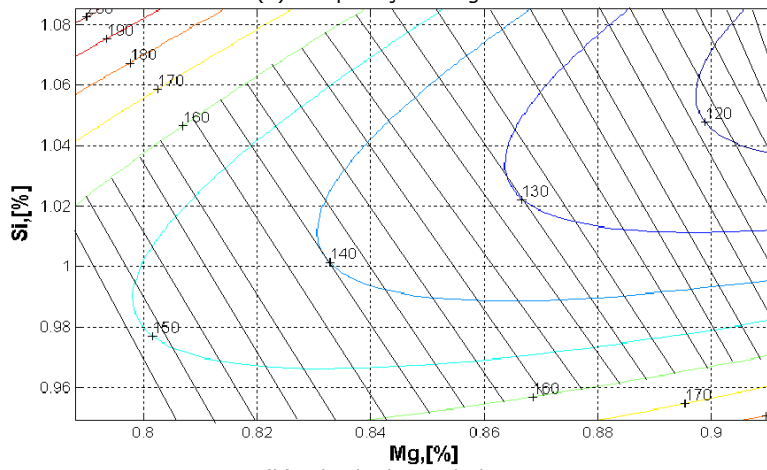


(c) – linii de nivel spațiale

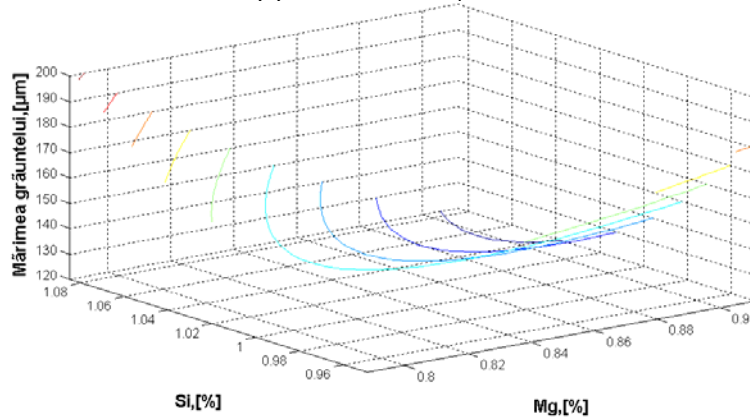
Fig. 5.47. $MG_m = f(Ti, Mg)$, $Mg_2Si = Mg_2Si_{med}$, rel. (5.4)



(a) – suprafața de regresie

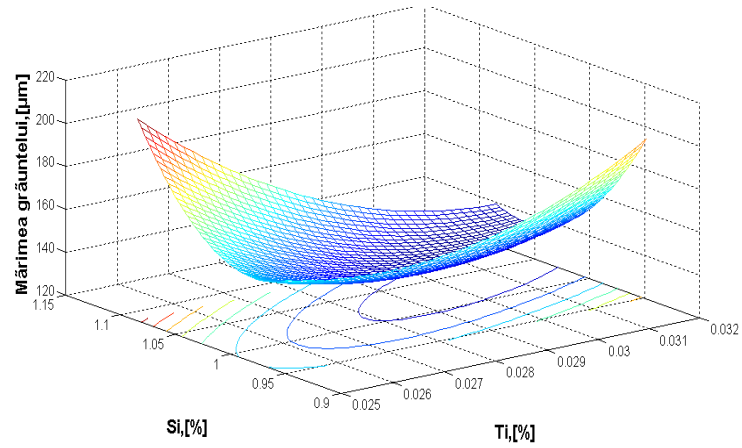


(b) – liniile de nivel plane



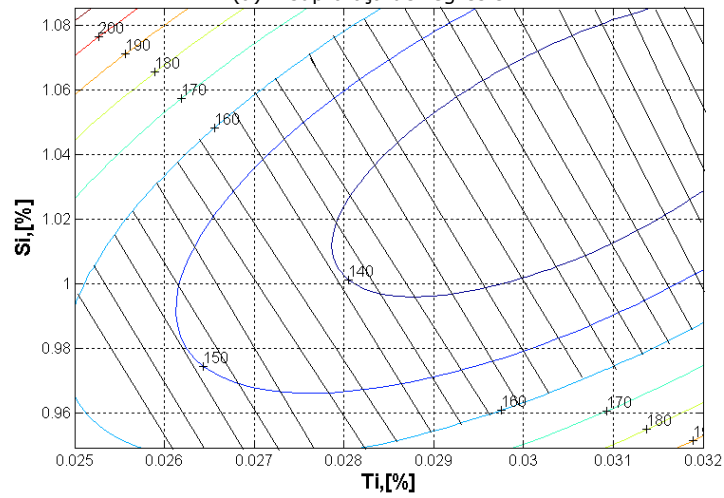
(c) – linii de nivel spațiale

Fig.5.48. $MG_m = f(Mg, Si)$, $Ti = Ti_{med}$, rel. (5.14)

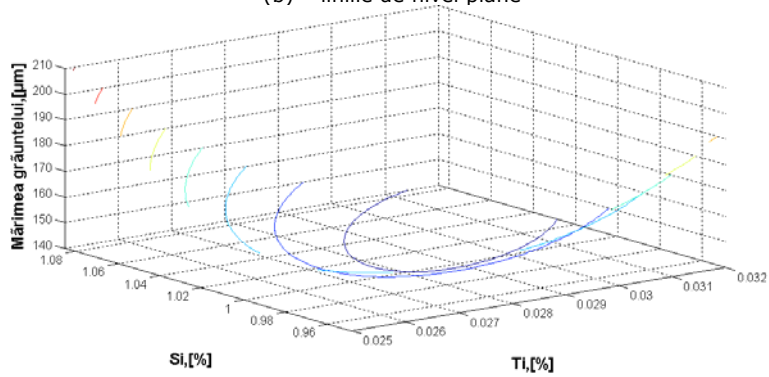


Si, [%] Ti, [%]

(a) – suprafața de regresie



(b) – liniile de nivel plane



(c) – linii de nivel spațiale

Fig.5.49. $MG_m = f(Ti, Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.15)

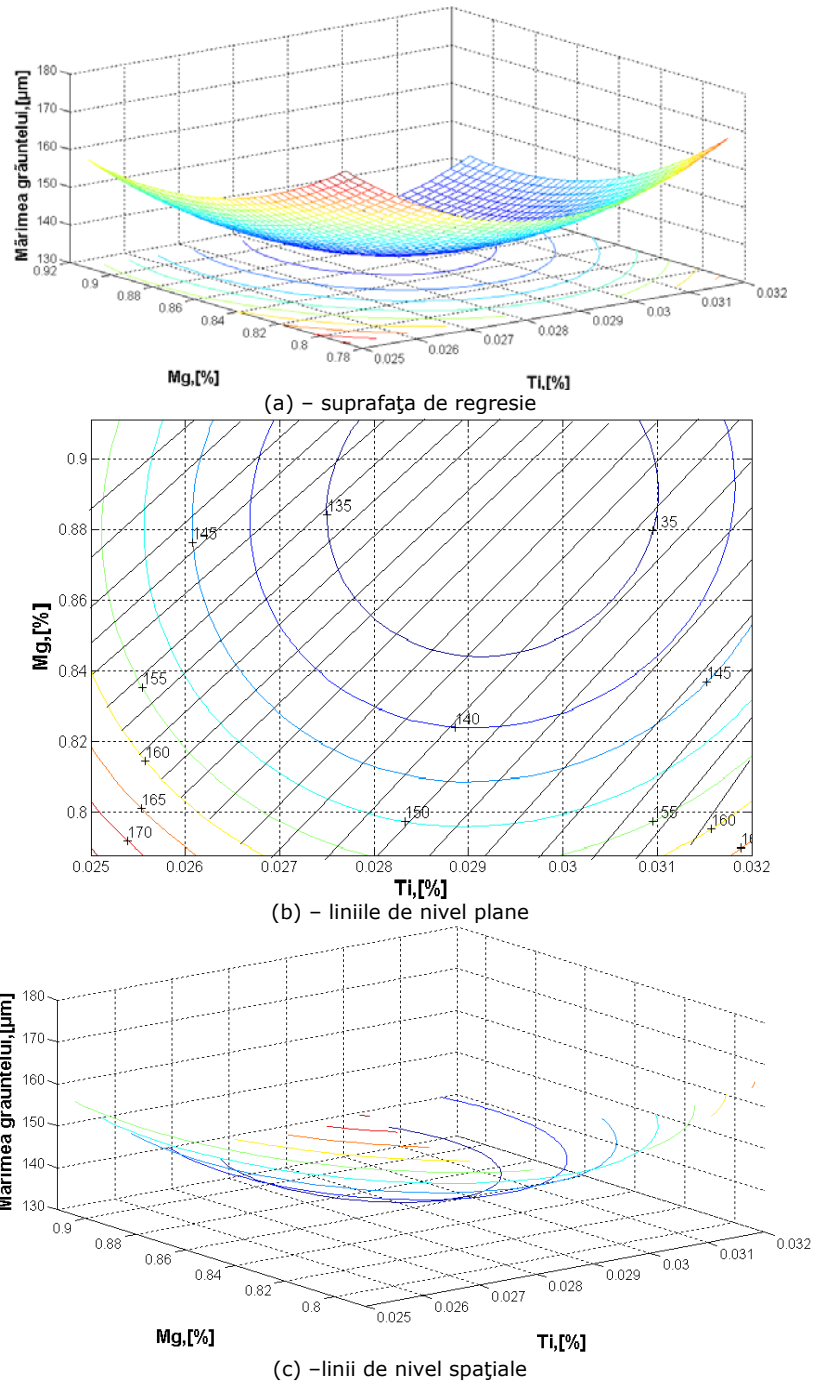


Fig.5.50. $MG_m = f (Ti, Mg)$, $Si = Si_{medr}$, rel. (5.16)

5.3.3.3 Analiza rezultatelor obținute privind mărirea grăunților

Din analiza corelațiilor obținute în programul Excel, se constată că elementele de aliere finisează granulația, indiferent dacă proba este prelevată din cuptor sau din masă. Interes pentru practică prezintă mărirea grăunților în masă. În ceea ce privește Ti (figura 3.40), un conținut între 0,026 – 0,032 %, asigură o granulație între 160 – 120 μm . De asemenea, un conținut de Mg între 0,80 – 0,91 %, asigură aceleași limite pentru mărirea grăunților (figura 3.41).

Aceleași limite pentru mărirea grăunților, cu o probabilitate peste 85 %, se obține (figura 3.44) și pentru limitele raportului 2Mg/Si între 1,55 – 1,77 (puțin peste 1,73). Din figura 5.43 se constată că doar la 2 șarje, valoarea raportului 2Mg/Si a depășit valoarea 1,73. În figura 5.44 se observă că un raport 2Mg/Si situat între 1,55 – 1,75 asigură pentru mărirea grăunțului valori între 160 – 120 μm .

Din prelucrarea datelor în programul Matlab se constată că, o creștere simultană a conținutului de Mg și a raportului 2Mg/Si, determină finisarea granulației, putând ajunge până la 120 μm pentru valori ale Mg între 0,8 – 0,9 % (figura 5.45). De asemenea, obținerea unei granulații sub 160 μm , la aceleași limite de variație pentru 2Mg/Si, ca în cazul anterior, se realizează pentru un conținut al Ti de 0,25 – 0,32 % (figura 5.46). Punctul de minim are coordonatele: Ti = 0.0306 %, 2Mg/Si = 1.5923, $MG_m = 134.4961\mu\text{m}$, el fiind situat în domeniul tehnologic.

O creștere simultană a valorilor pentru conținutul de Ti și Mg duce de asemenea la finisarea granulației (figura 5.47), practic, cu mici excepții, pentru un conținut de Ti situate între 0,25-0,32 % și un conținut de Mg de 0,79 – 0,9 %, granulația este sub 160 μm .

Valori ale granulației sub 170 μm se obțin prin creșterea simultană a Si și Mg (figura 5.48), acestea situându-se în limitele tehnologice.

O creștere simultană a Ti și Si conduce la finisarea grăunților, suprafața de corelație prezintă un punct de minim de coordonate Ti = 0,0306 %, Si = 1,0425%, $MG_m = 134,0626 \mu\text{m}$, pentru o valoare medie a Mg de 0,8303% (figura 5.49). Comparând cu punctul de minim al suprafeței, prezentat în figura 5.45, se observă că formează o zonă de minim, ceea ce se observă și în figura 5.50. Practic, în toată suprafața de corelație, granulația este sub 170 μm , în plus, această suprafață prezintă punct de minim de coordonate Ti = 0,0293 %, Mg = 0,8879 %, $MG_m = 130.5992 \mu\text{m}$.

În concluzie, rezultă că, la conținut de Ti = 0,029 - 0,031 %, conținut de Mg = 0,88 %, Si = 1,0425 % și 2Mg/Si = 1,55 – 1,77 se obțin cele mai mici valori pentru mărirea grăunțului. În două cazuri, conținuturile de Ti sunt identice și o diferență nesemnificativă pentru MG, astfel, rezultatele obținute reflectă influența practică a elementelor menționate asupra MG.

5.3.4. Rezultatele prelucrării datelor privind caracteristicile mecanice

5.3.4.1. Rezultatele prelucrării datelor în programul EXCEL

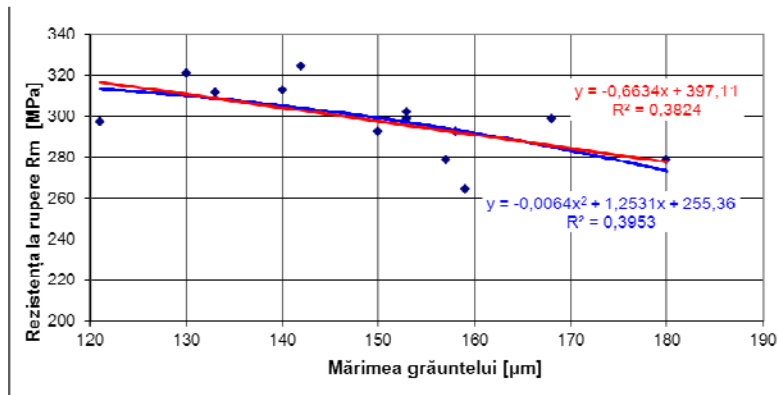


Fig.5.51. Variația rezistenței la rupere în funcție de mărimea grăuntelui

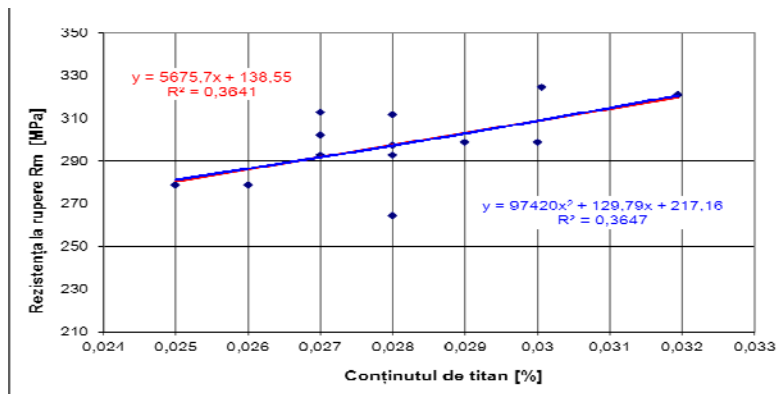


Fig.5.52. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Ti

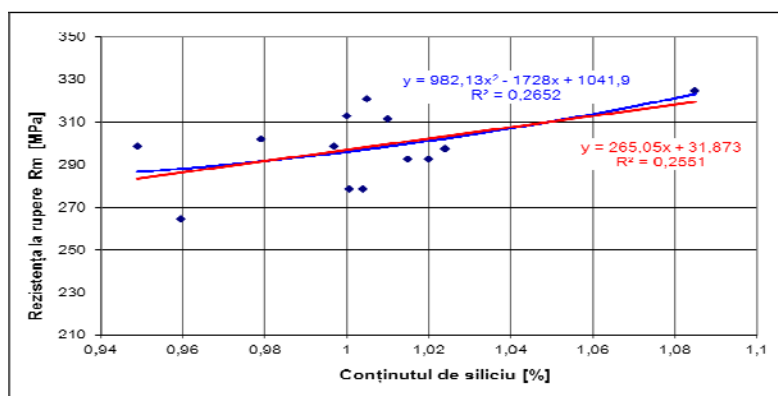


Fig.5.53. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Si

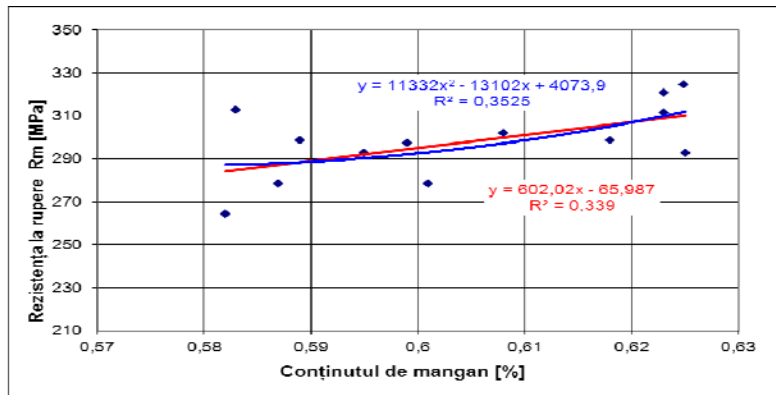


Fig.5.54. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Mn

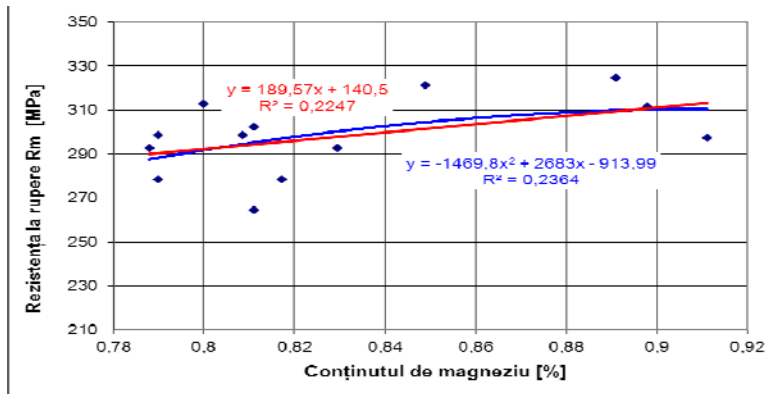


Fig.5.55. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Mg

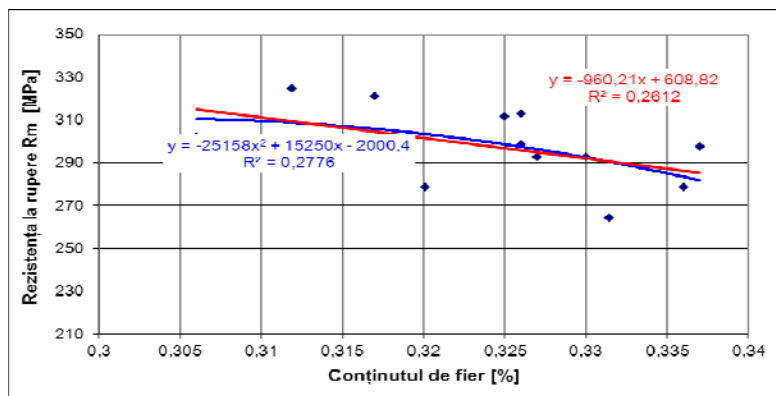


Fig.5.56. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de Fe

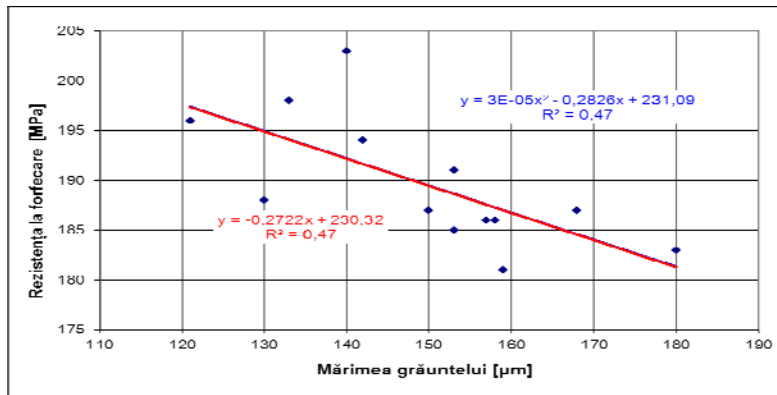


Fig.5.57. Variația rezistenței la forfecare în funcție de MG

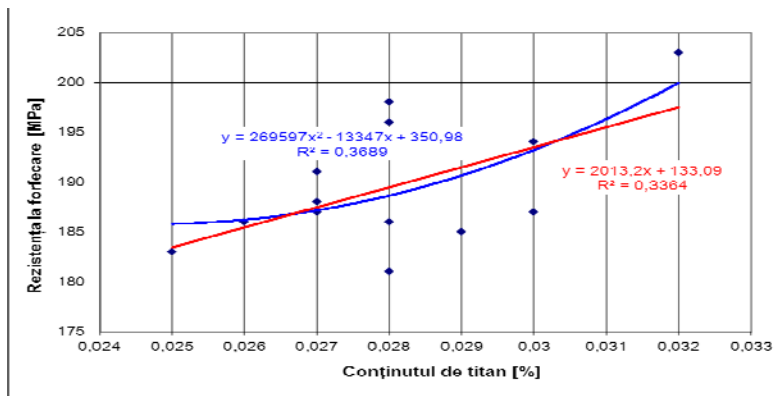


Fig.5.58. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Ti

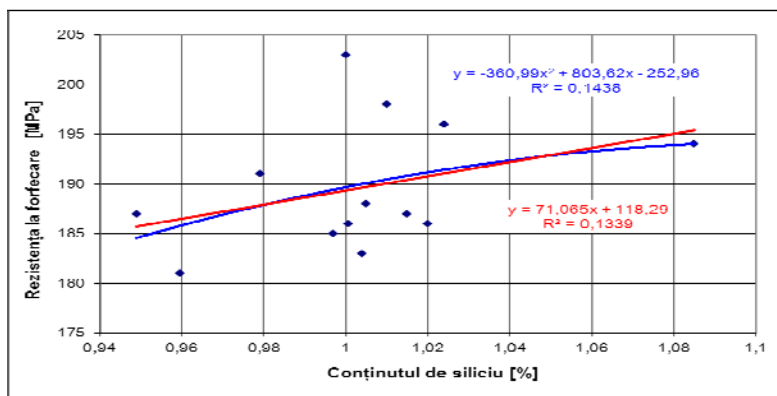


Fig.5.59. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Si

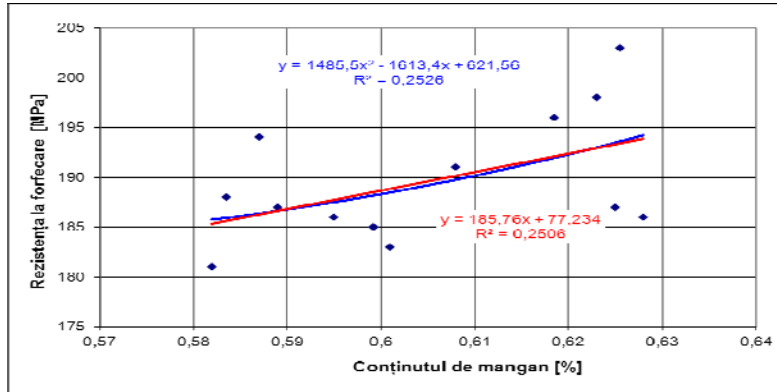


Fig.5.60. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Mn

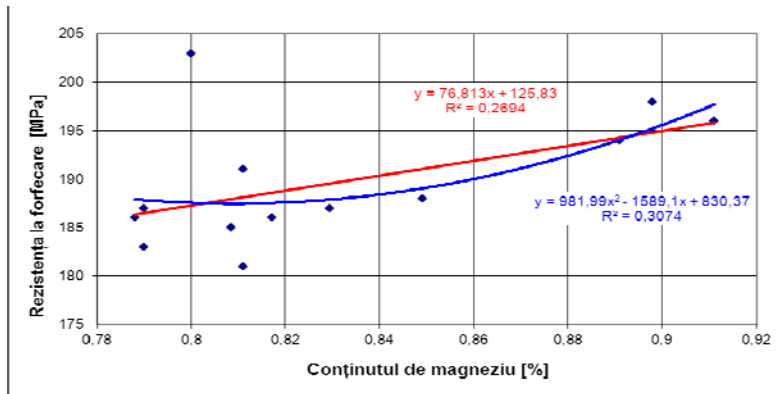


Fig.5.61. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Mg

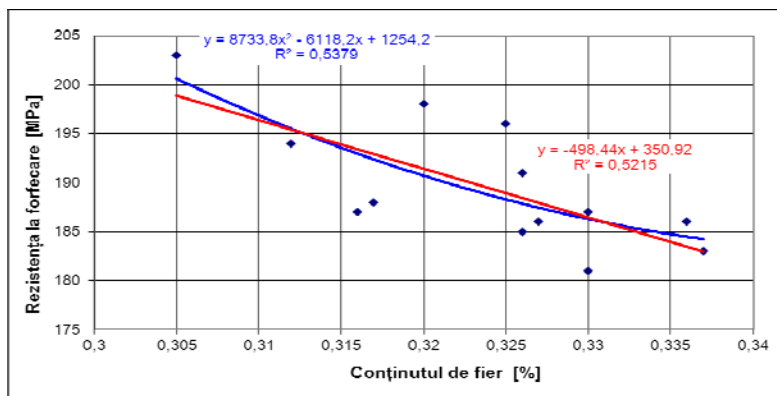


Fig.5.62. Variația rezistenței la forfecare în funcție de conținutul de Fe

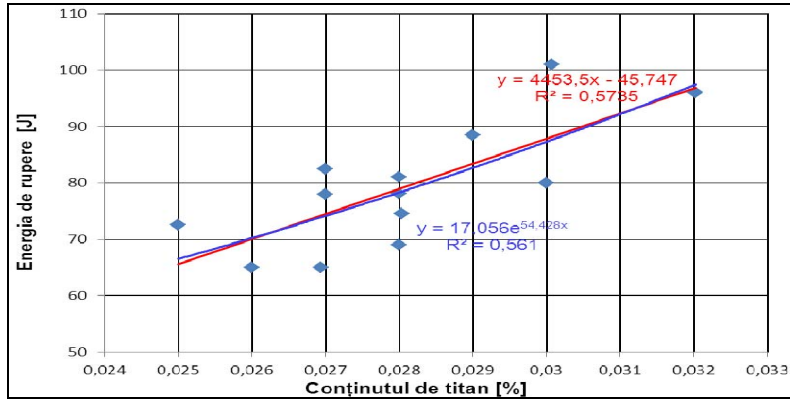


Fig.5.63. Variația energiei de rupere în funcție de conținutul de Ti

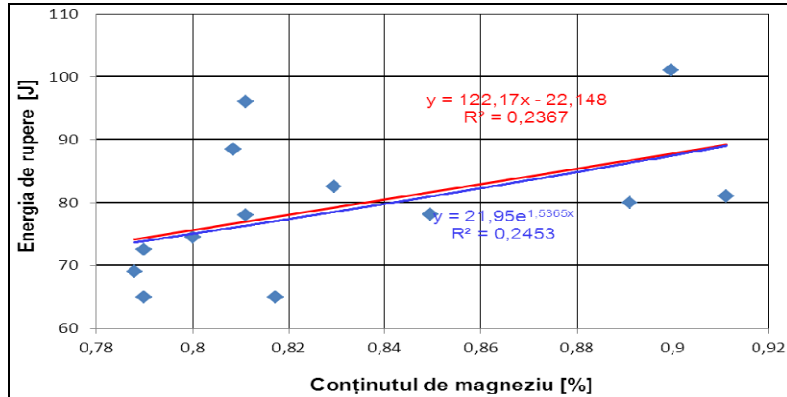


Fig.5.64. Variația energiei de rupere în funcție de conținutul de Mg

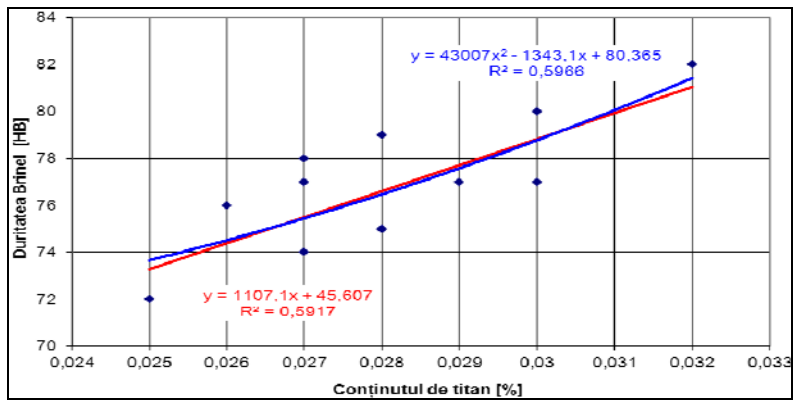


Fig.5.65. Variația duriității Brinell în funcție de conținutul de Ti

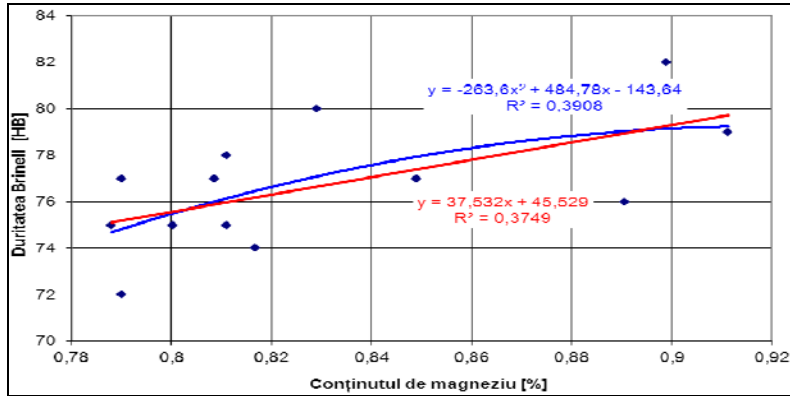


Fig.5.66. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Mg

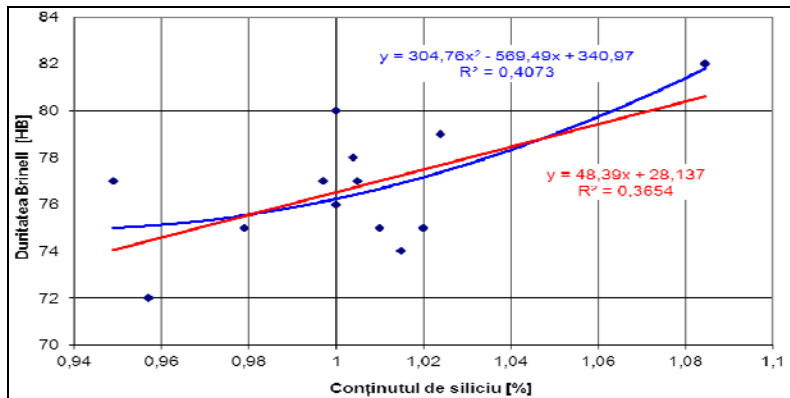


Fig.5.67. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Si

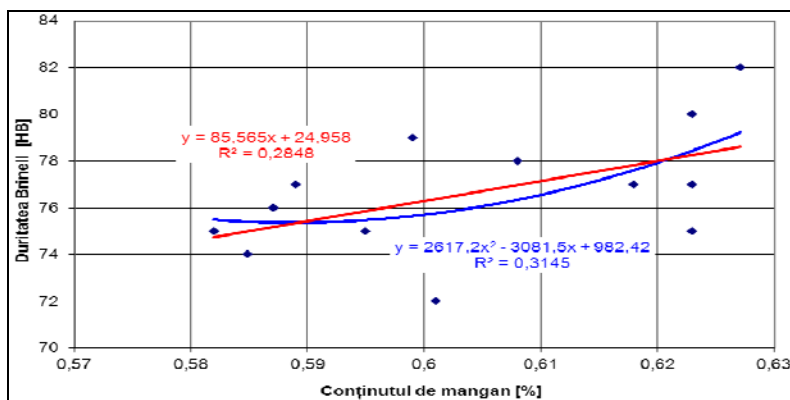


Fig.5.68. Variația durtății Brinell în funcție de conținutul de Mn

5.3.4.2. Rezultatele prelucrării datelor în programul MATLAB

S-au realizat corelații între caracteristicile mecanice (rezistența la tracțiune, rezistența la forfecare, energia de rupere la încovoiere prin șoc) și principalele elemente din compoziția chimică: Si, Mg și Ti, sau raportul 2Mg/Si și mărimea grăunților MG_m . Dintre ecuațiile de corelație triplă, cele mai semnificative au fost reprezentate sub formă grafică. Suprafețele de regresie și curbele de nivel obținute din corelațiile duble și triple sunt prezentate în figurile 5.69 – 5.82.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile rezistenței la tracțiune R_m și valorile pentru Ti, Mg și Si se pleacă de la ecuația:

$$R_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 3.0628 Ti^2 + 0.0003 Mg^2 - 0.0081 Si^2 - 0.3161 Ti \cdot Mg + \\ + 0.3115 Ti \cdot Si + 0.0051 Mg \cdot Si - 0.2202 Ti + 0.0033 Mg + \\ + 0.0033 Si + 0.0003 \end{array} \right) \quad (5.17)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.17) = 0.5848$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0,0278\%$, $Mg = Mg_{med} = 0.8303\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $R_m = R_{mmed} = 297,90$ MPa.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între R_m și valorile pentru Mg și Si este:

$$R_m = 10^4 \left(\begin{array}{l} 0.0319 Mg^2 - 0.8113 Si^2 + 0.5103 Mg \cdot Si - 0.5501 Mg + \\ + 1.2015 Si - 0.3490 \end{array} \right) \quad (5.18)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.18) = 0.3523$. Punctul de șa are coordonatele: Mg = 0.7672 %, Si = 0.9818 %, $R_m = 297.8930$ MPa. Punctul staționar se situează în limitele prevăzute în standard.

Pentru Mg = Mg_{med} , ecuația de corelație între R_m și valorile pentru Ti și Si este:

$$R_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 3.0628 Ti^2 - 0.0081 Si^2 + 0.3115 Ti \cdot Si - 0.4827 Ti - \\ - 0.0076 Si + 0.0032 \end{array} \right) \quad (5.19)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.19) = 0.2015$. Punctul de șa are coordonatele: Ti = 0.0279 %, Si = 1.0019 %, $R_m = 302.3695$ MPa. Punctul staționar se află în intervalul optim prevăzut în standard.

Pentru Si = Si_{med} , ecuația de corelație între R_m și valorile pentru Ti și Mg este:

$$R_m = 10^6 \left(\begin{array}{l} 3.0628 Ti^2 + 0.0003 Mg^2 - 0.3161 Ti \cdot Mg + 0.0924 Ti + \\ + 0.0084 Mg - 0.0045 \end{array} \right) \quad (5.20)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.20) = 0.0978$. Punctul de șa are coordonatele: Ti = 0.0283 %, Mg = 0.8415 %, $R_m = 303.2908$ MPa. Punctul staționar se află în limitele tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile rezistenței la tracțiune R_m și valorile pentru raportul 2Mg/Si și MG_m se pleacă de la ecuația:

$$R_m = 10^4 \left(\begin{array}{l} 0.1661 \cdot (2Mg / Si)^2 + 0.0020 \cdot 2Mg / Si \cdot MG_m - \\ - 0.8445 \cdot 2Mg / Si - 0.0047 MG_m + 1.0851 \end{array} \right) \quad (5.21)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.21) = 0.7574$. Punctul de inflexiune are coordonatele $2Mg/Si = 1.8320$, $MG_m = 120.8182 \mu m$, $R_m = R_{mmed} = 303.2057$ MPa. Punctul de șa se află în intervalul tehnologic.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile rezistenței la forfecare τ și valorile pentru Ti, Mg și Si, se pleacă de la ecuația:

$$\tau = 10^6 \left(\begin{array}{l} - 2.3212 Ti^2 - 0.0022 Mg^2 - 0.0057 Si^2 + 0.0746 Ti \cdot Mg + \\ + 0.0009 Ti \cdot Si + 0.0102 Mg \cdot Si + 0.0663 Ti - 0.0160 Mg + \\ + 0.0029 Si + 0.0045 \end{array} \right) \quad (5.22)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.22) = 0.6991$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0,0278\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $Mg = Mg_{med} = 0.8303\%$, $\tau = \tau_{med} = 189,615$ MPa.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între τ și valorile pentru Mg și Si este:

$$\tau = 10^4 \left(\begin{array}{l} 0.2216 Mg^2 - 0.5684 Si^2 + 1.0159 Mg \cdot Si - 1.3953 Mg + \\ + 0.2952 Si + 0.4543 \end{array} \right) \quad (5.23)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.23) = 0.2313$. Punctul de șa are coordonatele: $Mg = 0.8375\%$, $Si = 1.0081\%$, $\tau = 188.6095$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele prevăzute în standard.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între τ și valorile pentru Ti și Si este:

$$\tau = 10^6 \left(\begin{array}{l} - 2.3212 Ti^2 - 0.0057 Si^2 + 0.0009 Ti \cdot Si + 0.1283 Ti + \\ + 0.0114 Si - 0.0073 \end{array} \right) \quad (5.24)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.24) = 0.0794$. Punctul de maxim are coordonatele: $Ti = 0.0278\%$, $Si = 1.0018\%$, $\tau = 188.9522$ MPa. Punctul staționar este situat în limitele prevăzute în standard.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între τ și valorile pentru Ti și Mg este:

$$\tau = 10^6 \left(\begin{array}{l} - 2.3212 Ti^2 - 0.0022 Mg^2 + 0.0746 Ti \cdot Mg + 0.0672 Ti - \\ - 0.0058 Mg + 0.0017 \end{array} \right) \quad (5.25)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.25) = 0.3075$. Punctul de șa are coordonatele: $Ti = 0.0280\%$, $Mg = 0.8446\%$, $\tau = 188.3633$ MPa. Punctul staționar se situează în limitele tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile rezistenței la forfecare T și valorile pentru raportul $2Mg/Si$ și MG_m , se pleacă de la ecuația:

$$\tau = 10^3 \left(\begin{array}{l} 1.2789 (2Mg / Si)^2 + 0.0097 \cdot 2Mg / Si \cdot MG_m - 5.6692 \cdot 2Mg / Si - \\ - 0.0222 MG_m + 6.5488 \end{array} \right) \quad (5.26)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.26) = 0.8547$. Punctul de minim are coordonatele $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med} = 1.3135$, $MG_m = MG_{mmed} = 239.2244 \mu m$, $T = T_{med} = 172.6773$ MPa. Punctul de minim este în afara limitelor tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile energiei de rupere KU și valorile pentru Ti , Mg și Si se pleacă de la ecuația:

$$KU = 10^6 \left(\begin{array}{l} 2.2280 Ti^2 - 0.0049 Mg^2 - 0.0086 Si^2 - 0.1751 Ti \cdot Mg + \\ + 0.2292 Ti \cdot Si + 0.0093 Mg \cdot Si - 0.2090 Ti + 0.0039 Mg + \\ + 0.0031 Si - 0.0002 \end{array} \right) \quad (5.27)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.27) = 0.8755$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0,0278\%$, $Mg = Mg_{med} = 0.8303\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $KU = KU_{med} = 79.3$ J.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între KU și valorile pentru Mg și Si este:

$$KU = 10^3 \left(\begin{array}{l} - 4.9425 Mg^2 - 8.5605 Si^2 + 9.3310 Mg \cdot Si - 0.9895 Mg + \\ + 9.4494 Si - 4.3187 \end{array} \right) \quad (5.28)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.28) = 0.8044$. Punctul de maxim are coordonatele: $Mg = 0.8669 \%$, $Si = 1.0244 \%$, $KU = 92.2729$ J. Punctul staționar se situează în limitele prevăzute în standard.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între KU și valorile pentru Ti și Si este:

$$KU = 10^6 \left(\begin{array}{l} 2.2280 Ti^2 - 0.0086 Si^2 + 0.2292 Ti \cdot Si - 0.3544 Ti + \\ + 0.0108 Si - 0.0004 \end{array} \right) \quad (5.29)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.29) = 0.4225$. Punctul de sa are coordonatele: $Ti = 0.0278 \%$, $Si = 1.0045 \%$, $KU = 89.0757$ J. Punctul staționar se află în intervalul optim prevăzut în standard.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între KU și valorile pentru Ti și Mg este:

$$KU = 10^6 \left(\begin{array}{l} 2.2280 Ti^2 - 0.0049 Mg^2 - 0.1751 Ti \cdot Mg + 0.0210 Ti + \\ + 0.0132 Mg - 0.0058 \end{array} \right) \quad (5.30)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.30) = 0.0508$. Punctul de sa are coordonatele: $Ti = 0.0283 \%$, $Mg = 0.8398 \%$, $KU = 89.8034$ J. Punctul staționar se află în limitele tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile energiei de rupere KU și valorile pentru raportul $2Mg/Si$ și MG_m , se pleacă de la ecuația:

$$KU = 10^3 \left(\begin{array}{l} -2.1087(2Mg/Si)^2 - 0.0105 \cdot 2Mg/Si \cdot MG_m + \\ + 8.5275 \cdot 2Mg/Si + 0.0216MG_m - 8.5356 \end{array} \right) \quad (5.31)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.31) = 0.6627$. Punctul de maxim are coordonatele $2Mg/Si = 2Mg/Si_{med} = 1.8383$, $MG_m = MG_{med} = 73.8830 \mu m$, $KU = KU_{med} = 99.3370$ J. Punctul de maxim este în afara limitelor tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile durezzații Brinell HB și valorile pentru Ti, Mg și Si se pleacă de la ecuația:

$$HB = 10^5 \left(\begin{array}{l} -5.5210 Ti^2 + 0.0007 Mg^2 - 0.0341 Si^2 - 0.0514 Ti \cdot Mg + \\ 0.6004 Ti \cdot Si + 0.0716 Mg \cdot Si - 0.2465 Ti - 0.0723 Mg + \\ + 0.0075 Si + 0.0380 \end{array} \right) \quad (5.32)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.32) = 0.7291$, pentru $Ti = Ti_{med} = 0,0278\%$, $Mg = Mg_{med} = 0.8303\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $HB = HB_{med} = 76.69$ HB.

Pentru $Ti = Ti_{med}$, ecuația de corelație între HB și valorile pentru Mg și Si este:

$$HB = 10^3 \left(\begin{array}{l} 0.0651 Mg^2 - 83.4093 Si^2 + 7.1638 Mg \cdot Si - 7.3695 Mg + \\ + 0.9226 Si + 2.6894 \end{array} \right) \quad (5.33)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.33) = 0.1308$. Punctul de sa are coordonatele: $Mg = 0.8359 \%$, $Si = 1.0135 \%$, $HB = 76.8473$ HB. Punctul staționar se situează în limitele prevăzute în standard.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între HB și valorile pentru Ti și Si este:

$$HB = 10^5 \left(\begin{array}{l} -5.5210 Ti^2 - 0.0341 Si^2 + 0.6004 Ti \cdot Si - 0.2892 Ti + \\ + 0.0520 Si - 0.0215 \end{array} \right) \quad (5.34)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.34) = 0.1092$. Punctul de maxim are coordonatele: $Ti = 0.0293 \%$, $Si = 1.0205 \%$, $HB = 77.5705$ HB. Punctul staționar se află în intervalul optim prevăzut în standard.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între HB și valorile pentru Ti și Mg este:

$$HB = 10^5 \left(\begin{array}{l} -5.5210 Ti^2 + 0.0007 Mg^2 - 0.0514 Ti \cdot Mg + 0.3560 Ti - \\ - 0.0004 Mg - 0.0038 \end{array} \right) \quad (5.35)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.35) = 0.0117$. Punctul de sa are coordonatele: $Ti = 0.0261 \%$, $Mg = 1.3169 \%$, $HB = 58.8152$. Punctul staționar se află în afara limitele tehnologice.

Pentru determinarea corelațiilor între valorile durezzații Brinell HB și valorile pentru Mg, Si și Mn se pleacă de la ecuația:

$$HB = 10^4 \begin{pmatrix} -0.0749 Mg^2 - 0.0520 Si^2 + 1.5234 Mn^2 + 0.6422 Mg \cdot Si + \\ + 0.2038 Mg \cdot Mn - 1.6877 Si \cdot Mn - 0.6457 Mg + 0.5942 Si - \\ - 0.3252 Mn + 0.0775 \end{pmatrix} \quad (5.36)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.36) = 0.9436$, pentru $Mg = Mg_{med} = 0.8303\%$, $Si = Si_{med} = 1.0035\%$, $Mn = Mn_{med} = 0.6046\%$, $HB = HB_{med} = 76.69$ HB.

Pentru $Mg = Mg_{med}$, ecuația de corelație între HB și valorile pentru Si și Mn este:

$$HB = 10^4 \begin{pmatrix} -0.0520 Si^2 + 1.5234 Mn^2 - 1.6877 Si \cdot Mn + 1.1274 Si - \\ - 0.1560 Mn - 0.5103 \end{pmatrix} \quad (5.37)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.37) = 0.2177$. Punctul de șa are coordonatele: $Si = 1.0021\%$, $Mn = 0.6063\%$, $HB = 72.8994$ HB. Punctul staționar se situează în limitele prevăzute în standard.

Pentru $Si = Si_{med}$, ecuația de corelație între HB și valorile pentru Mg și Mn este:

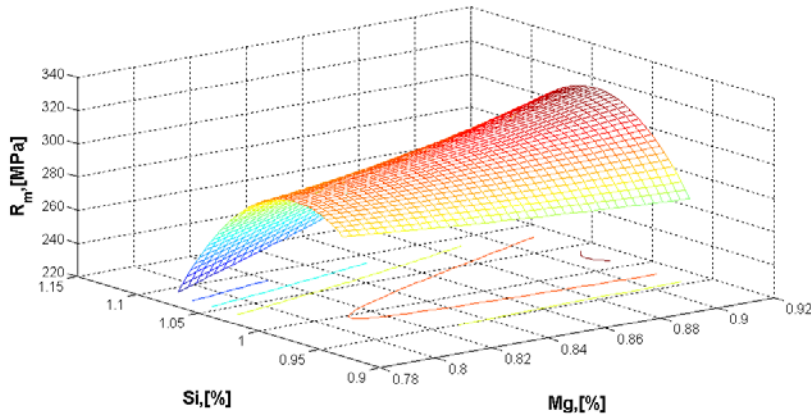
$$HB = 10^4 \begin{pmatrix} -0.0749 Mg^2 + 1.5234 Mn^2 + 0.2038 Mg \cdot Mn - 0.0013 Mg - \\ - 2.0188 Mn + 0.6214 \end{pmatrix} \quad (5.38)$$

Coeficientul de corelație este $R^2(5.38) = 0.1337$. Punctul de șa are coordonatele: $Mg = 0.8180\%$, $Mn = 0.6079\%$, $HB = 73.0121$ HB. Punctul staționar se află în intervalul optim prevăzut în standard.

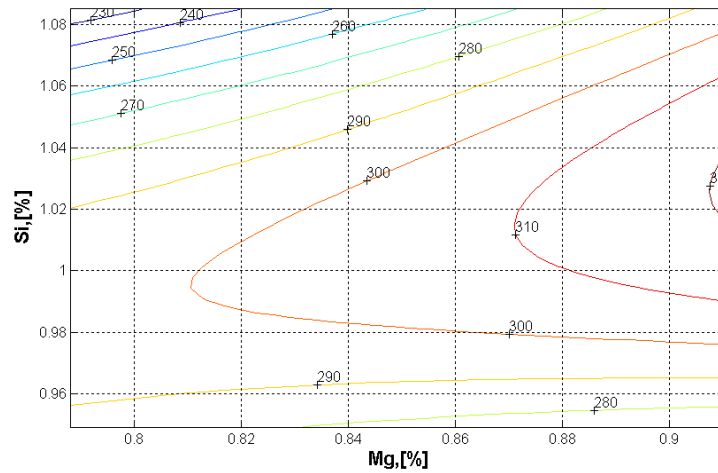
Pentru $Mn = Mn_{med}$, ecuația de corelație între HB și valorile pentru Mg și Si este:

$$HB = 10^3 \begin{pmatrix} -0.7492 Mg^2 - 0.5202 Si^2 + 6.4218 Mg \cdot Si - 5.2253 Mg - \\ 4.2635 Si + 4.3796 \end{pmatrix} \quad (5.39)$$

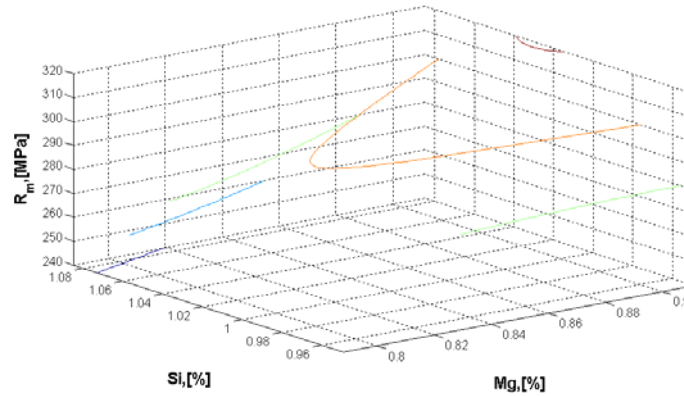
Coeficientul de corelație este $R^2(5.39) = 0.0519$. Punctul de șa are coordonatele: $Mg = 0.8270\%$, $Si = 1.0066\%$, $HB = 73.0547$ HB. Punctul staționar se află în afara limitele tehnologice.



(a) - suprafața de regresie

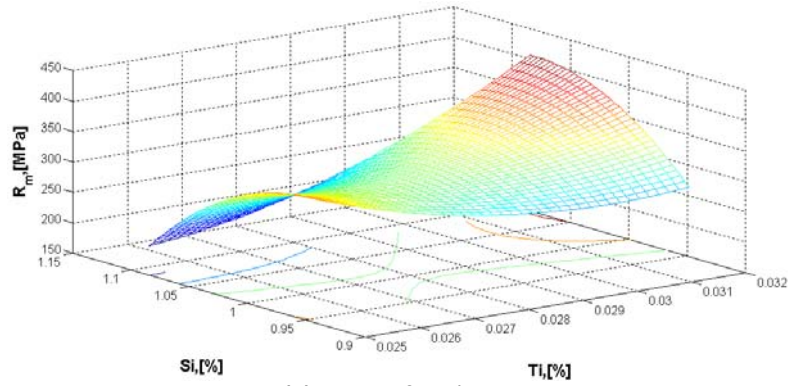


(b) - liniile de nivel plane

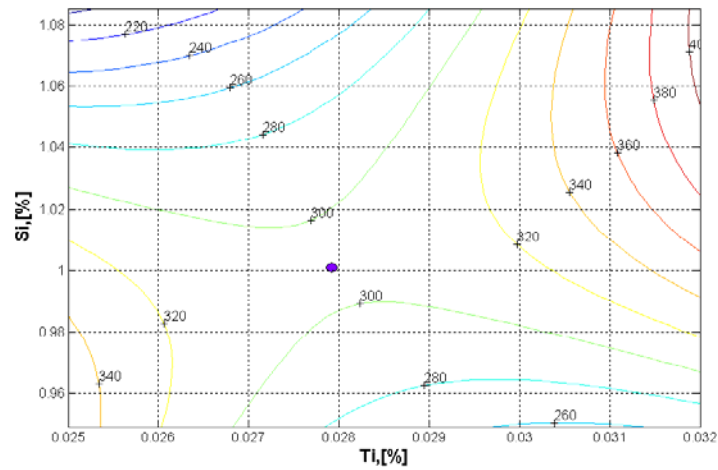


(c) - linii de nivel spațiale

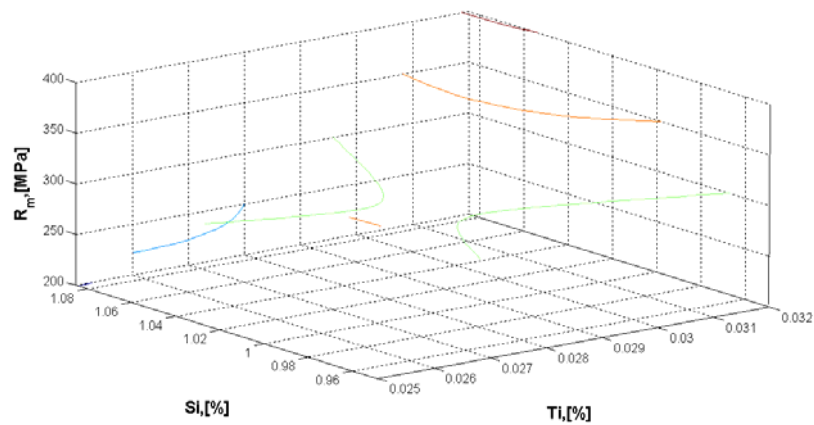
Fig.5.69. $R_m = f(Mg, Si)$, $T_i = T_{imed}$, rel. (5.18)



(a) – suprafața de regresie

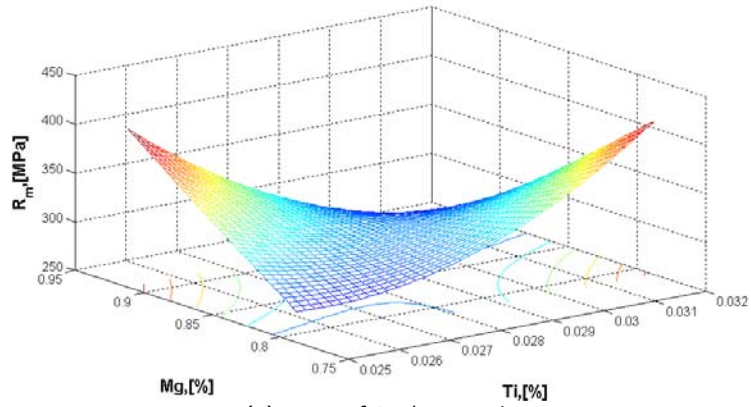


(b) – liniile de nivel plane

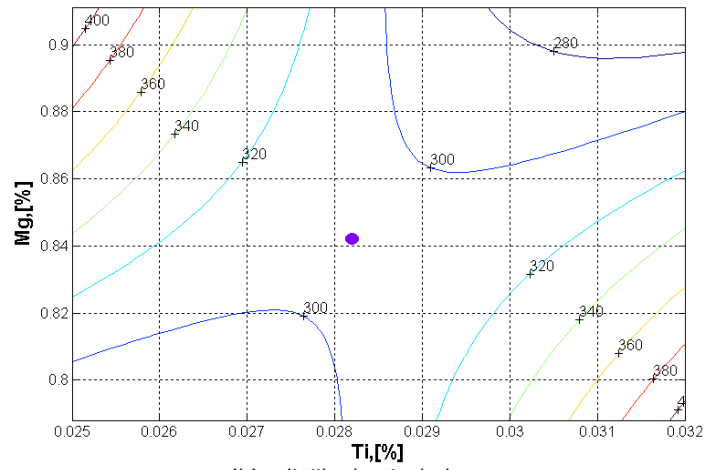


(c) – linii de nivel spațiale

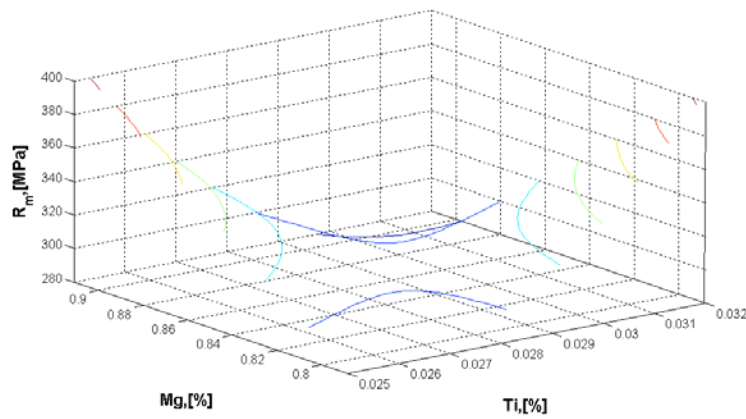
Fig.5.70. $R_m = f(Ti, Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.19)



(a) – suprafața de regresie

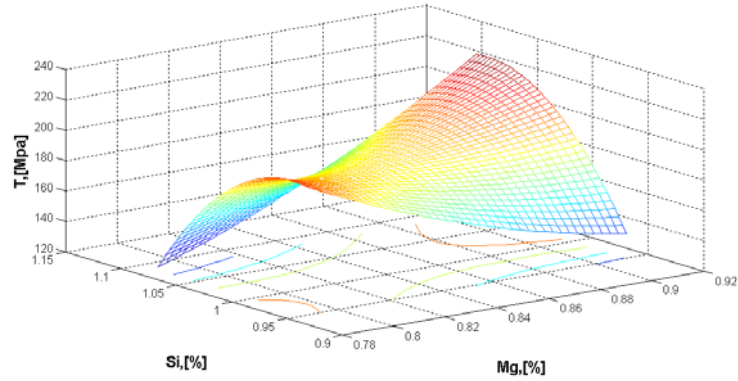


(b) – liniile de nivel plane

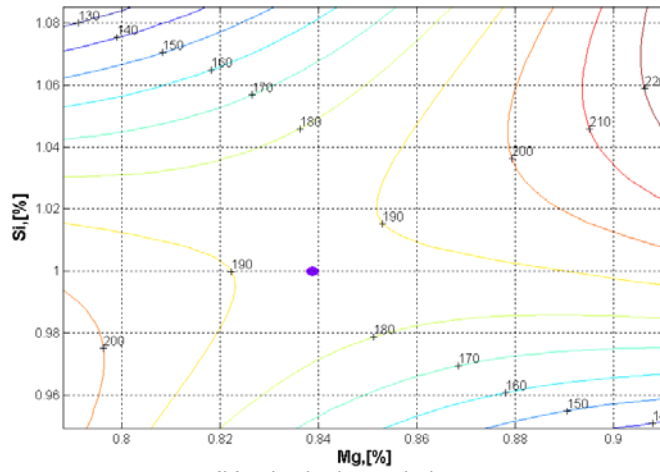


(c) –linii de nivel spațiale

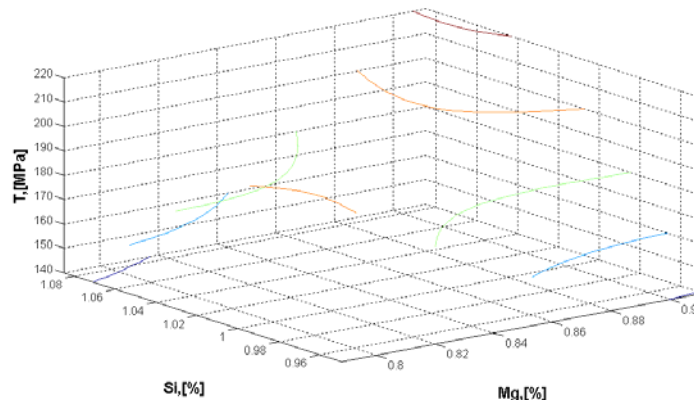
Fig.5.71. $R_m = f(Ti, Mg)$, $Si = Si_{med}$, rel. (5.20)



(a) - suprafața de regresie

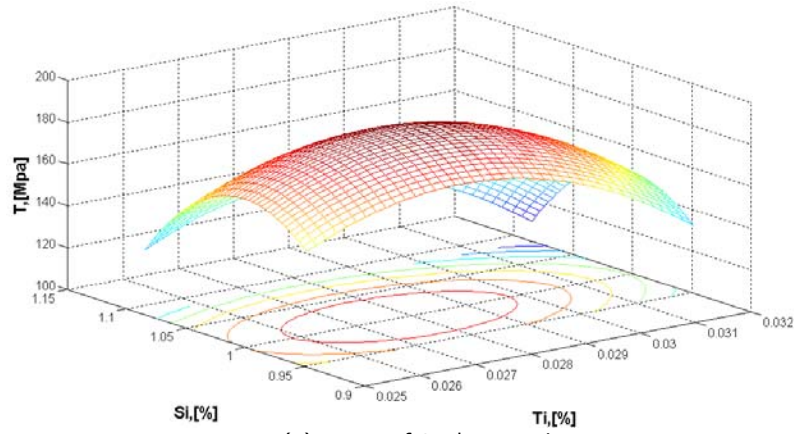


(b) - liniile de nivel plane

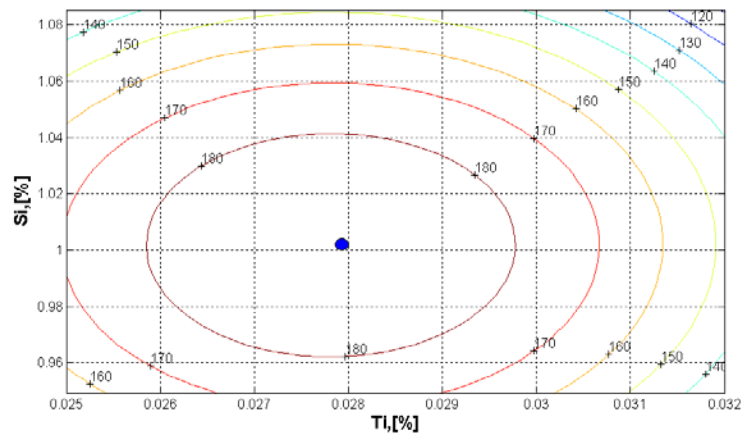


(c) - linii de nivel spațiale

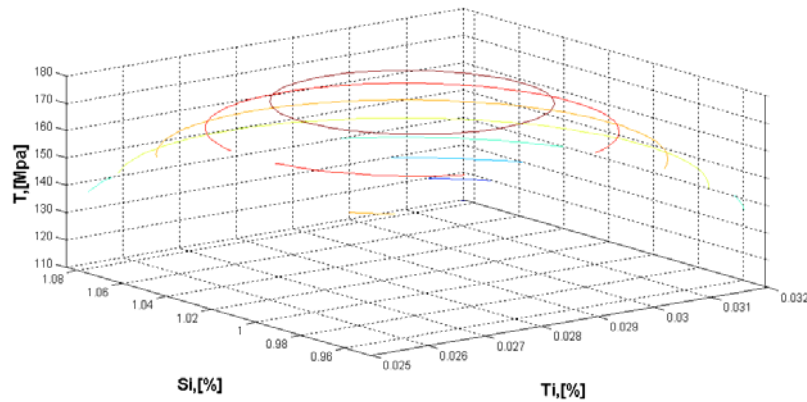
Fig.5.72. $T = f(Mg, Si)$, $T_i = T_{i\text{med},r}$ rel. (5.23)



(a) - suprafața de regresie

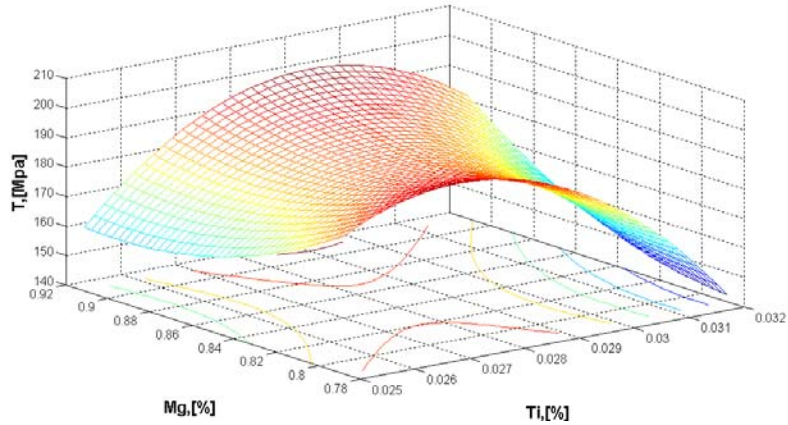


(b) - liniile de nivel plane

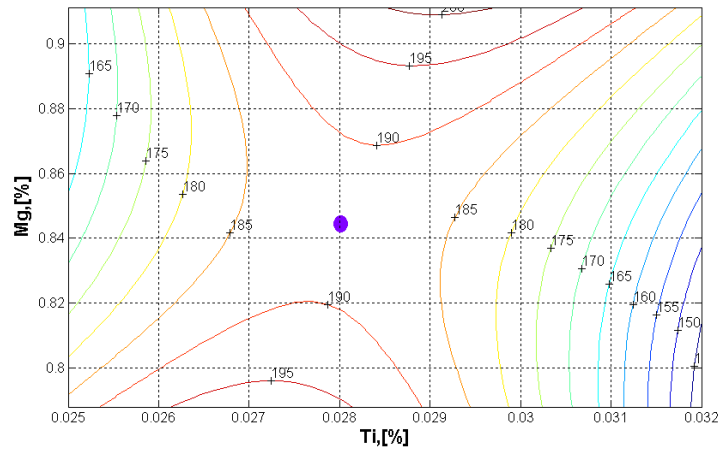


(c) - linii de nivel spațiale

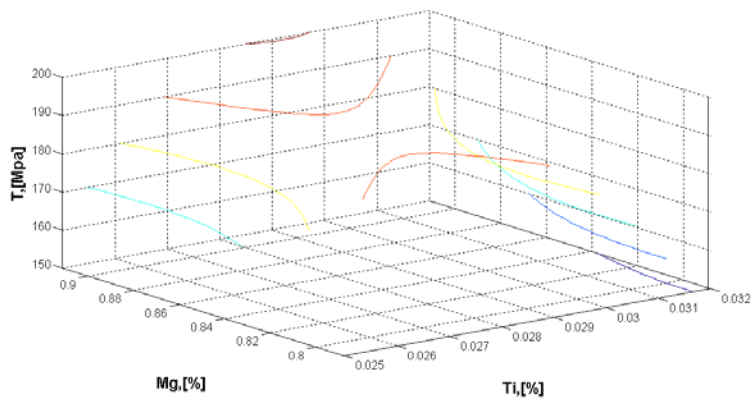
Fig.5.73. $T = f(T_i, Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel.(5.24)



(a) - suprafața de regresie

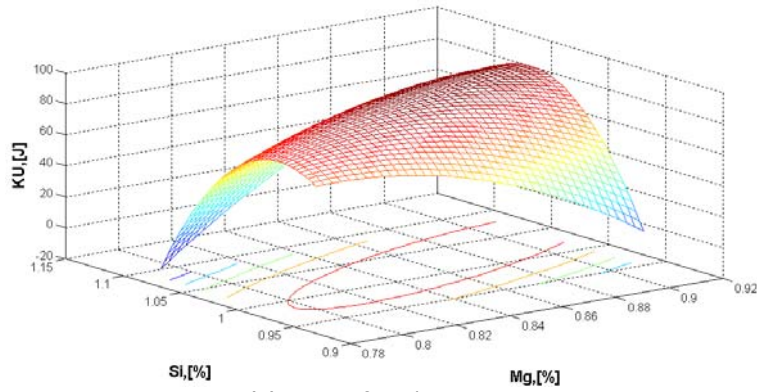


(b) - liniile de nivel plane

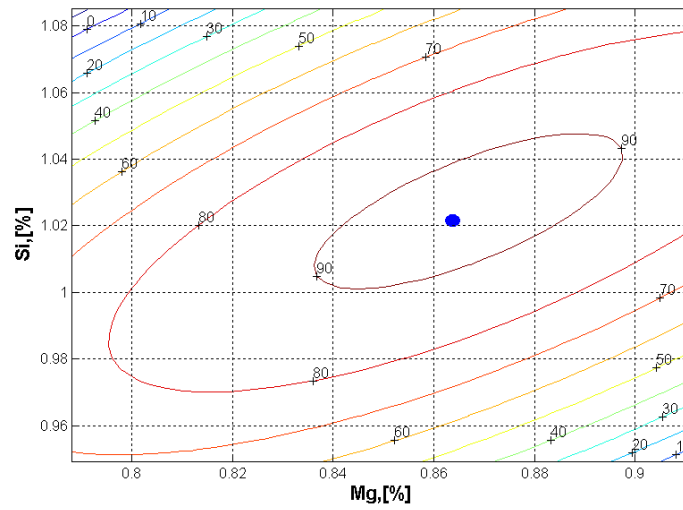


(c) - linii de nivel spațiale

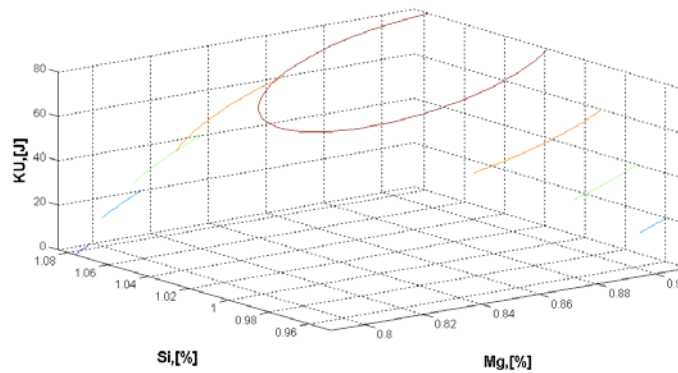
Fig.5.74. $T = f(Ti, Mg)$, $Si = Si_{med}$, rel.(5.25)



(a) - suprafața de regresie

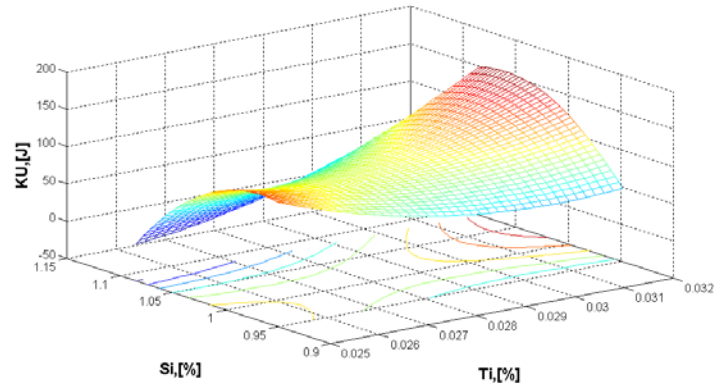


(b) - liniile de nivel plane

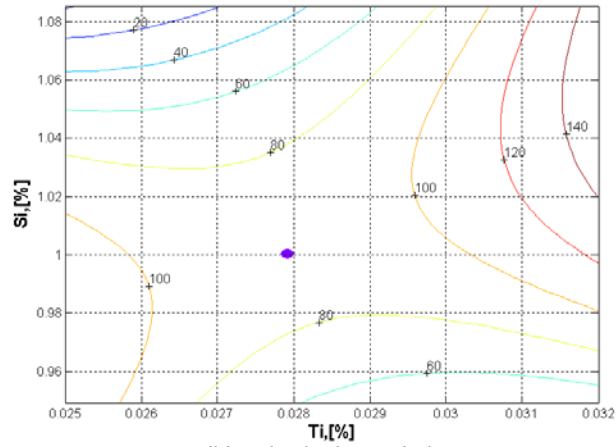


(c) -linii de nivel spațiale

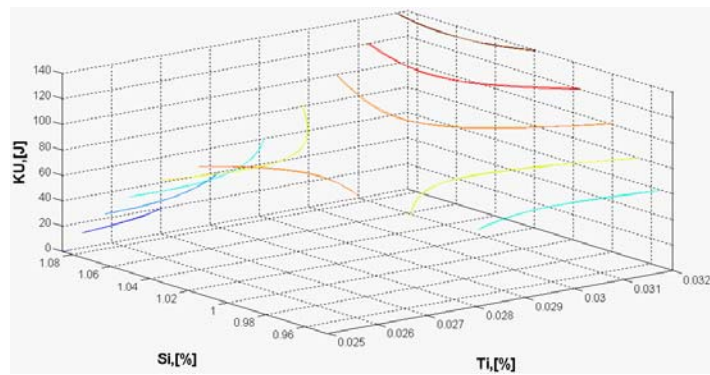
Fig.5.75. $KU = f(Mg, Si)$, $Ti = Ti_{med}$, rel. (5.28)



(a) - suprafața de regresie

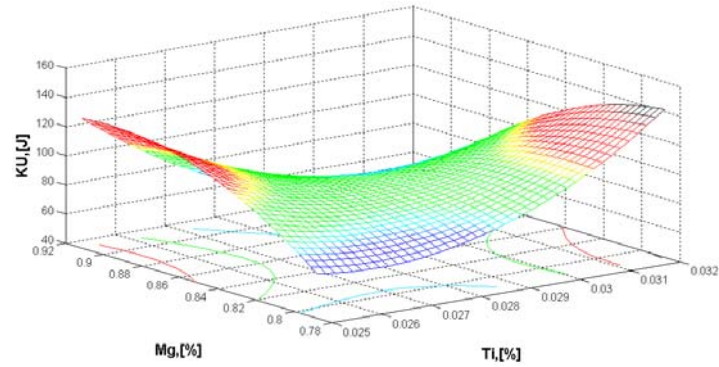


(b) - liniile de nivel plane

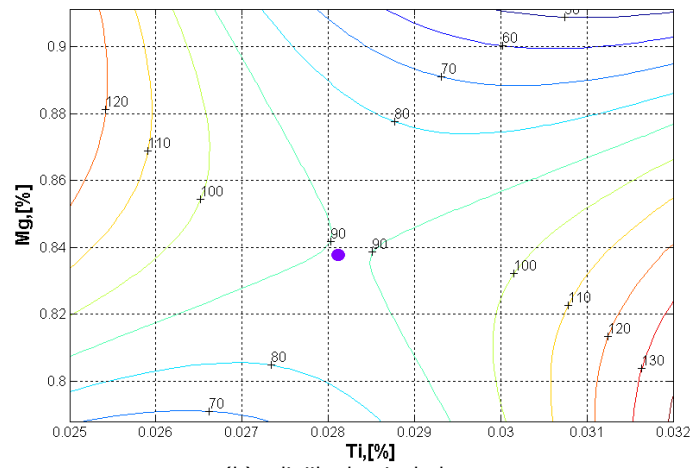


(c) -linii de nivel spațiale

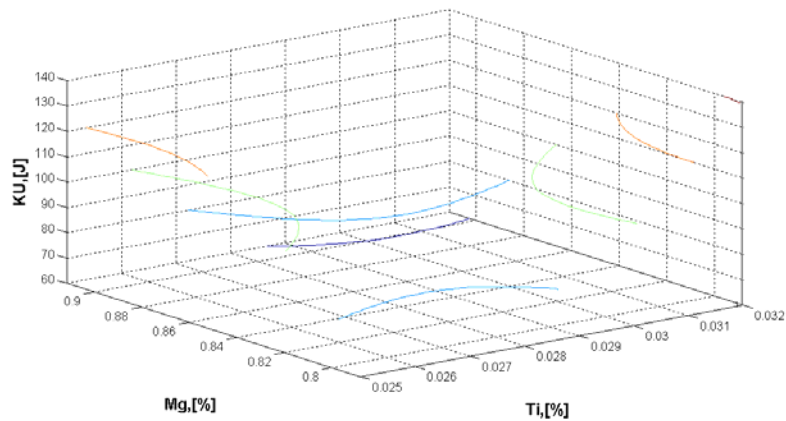
Fig.5.76. $KU = f(Ti, Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.29)



(a) – suprafața de regresie

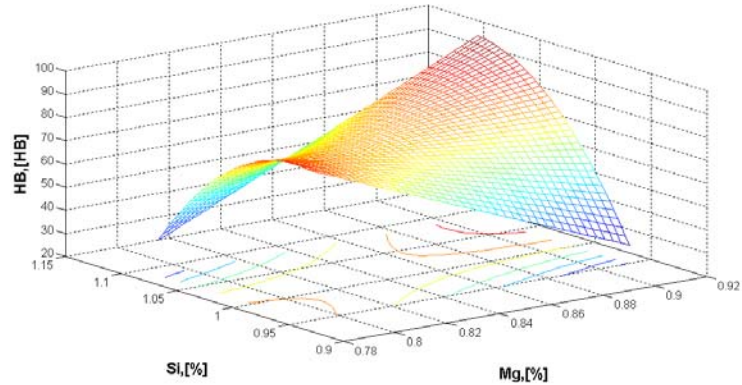


(b) – liniile de nivel plane

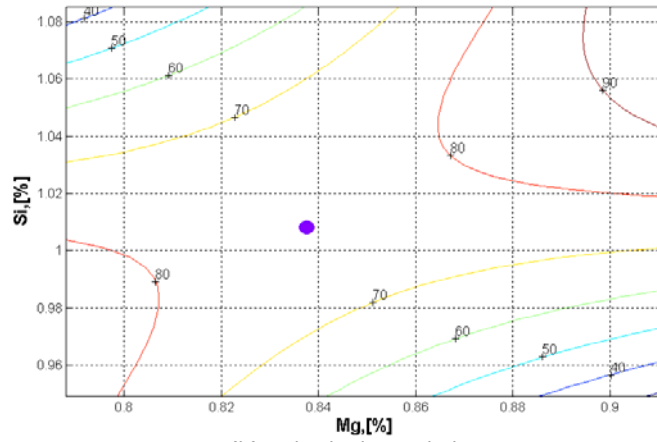


(c) – linii de nivel spațiale

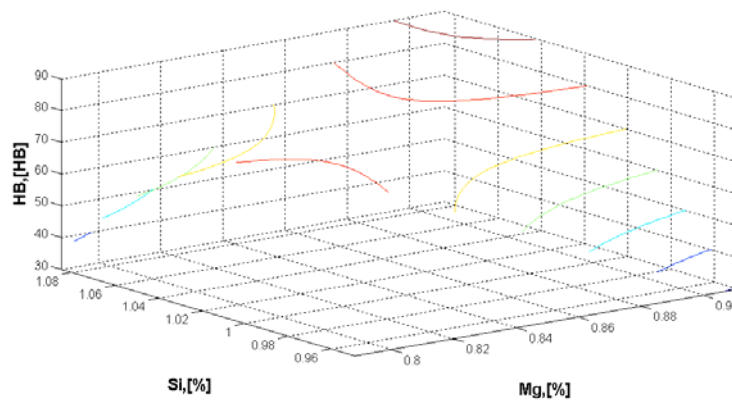
Fig.5.77. $KU = f(Ti, Mg)$, $Si = Si_{med}$, rel. (5.30)



(a) - suprafața de regresie

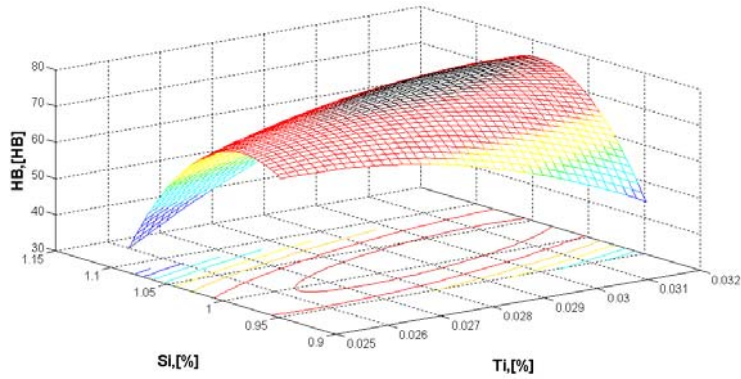


(b) - liniile de nivel plane

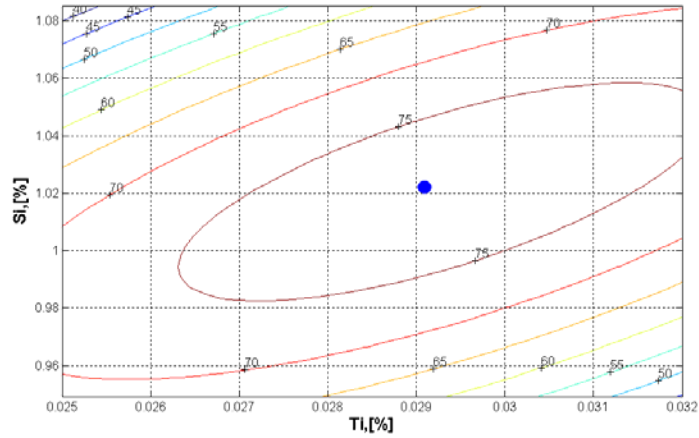


(c) -linii de nivel spațiale

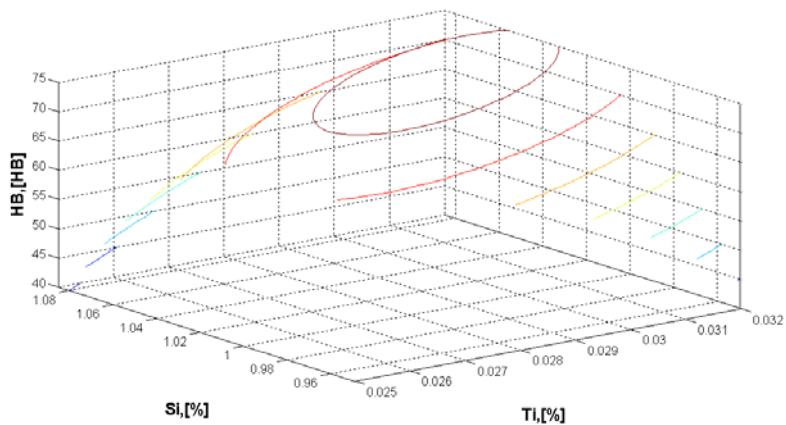
Fig.5.78. $HB = f(Mg, Si), Ti = Ti_{med}$, rel. (5.33)



(a) - suprafața de regresie

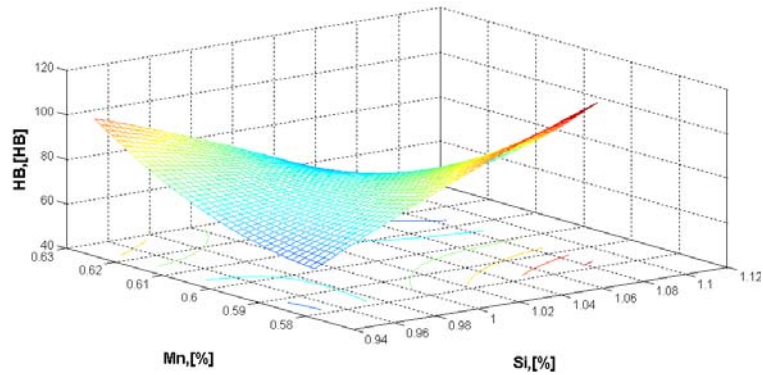


(b) - liniile de nivel plane

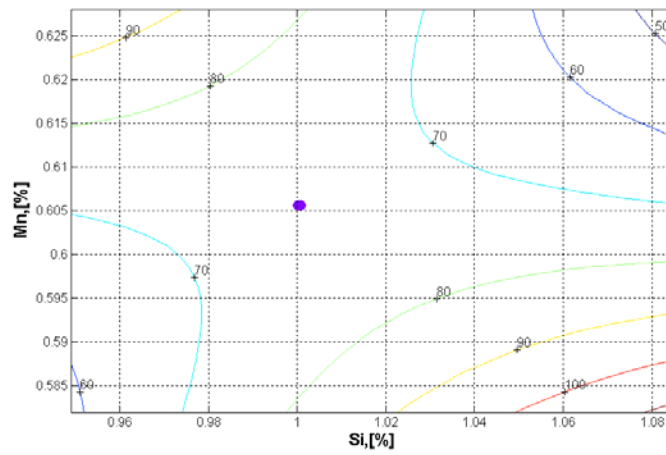


(c) -linii de nivel spațiale

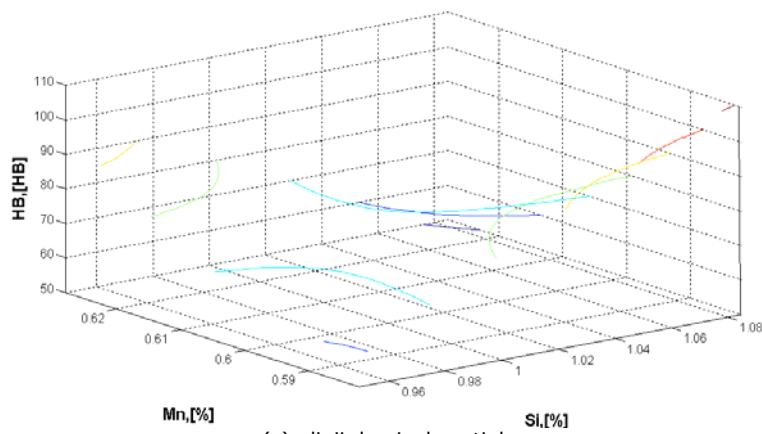
Fig.5.79. $HB = f(Ti, Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.34)



(a) – suprafața de regresie

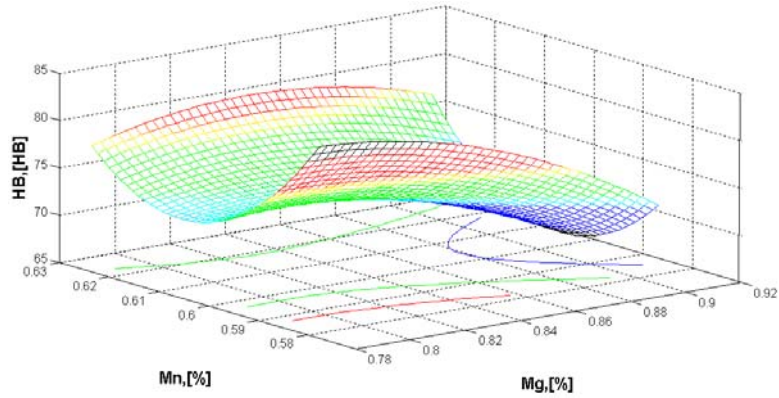


(b) – liniile de nivel plane

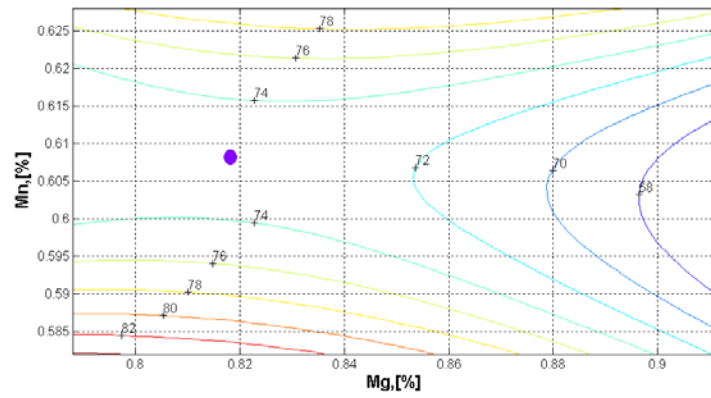


(c) – linii de nivel spațiale

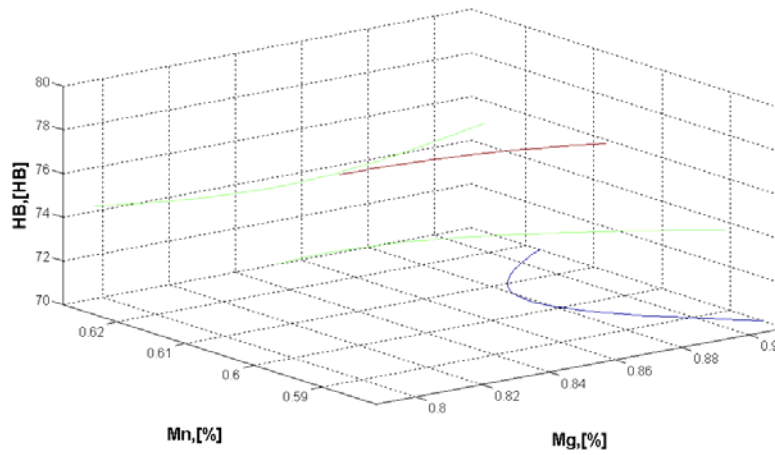
Fig.5.80. $HB = f(Si, Mn)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.37)



(a) - suprafața de regresie

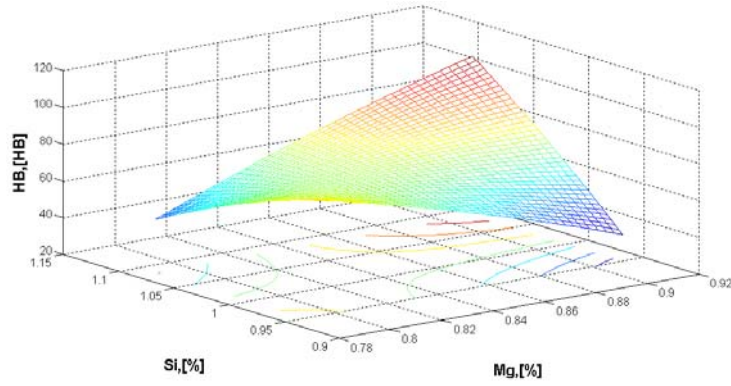


(b) - liniile de nivel plane

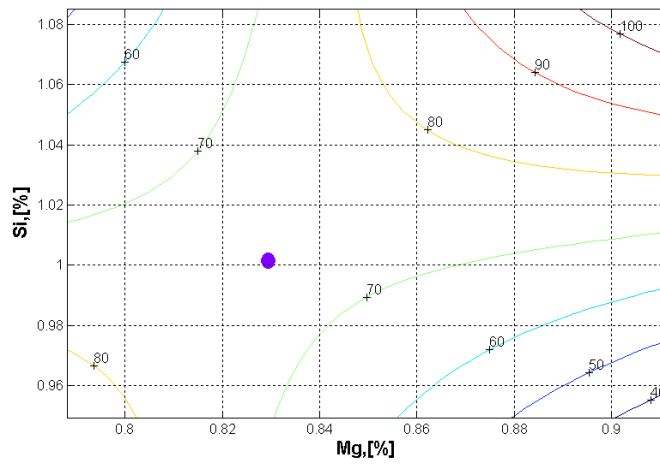


(c) -linii de nivel spațiale

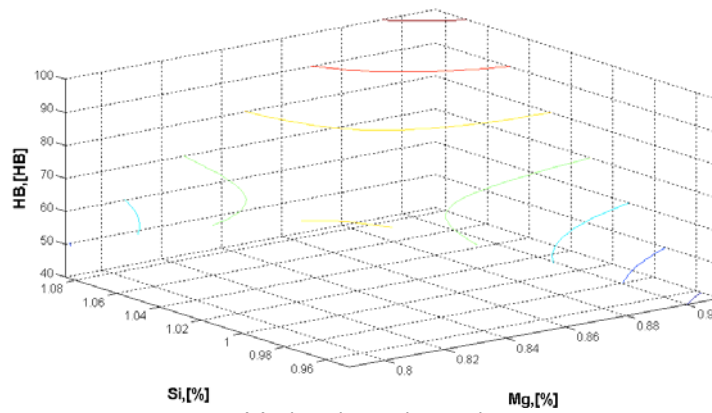
Fig.5.81. $HB = f(Mg, Mn)$, $Si = Si_{imedr}$, rel. (5.38)



(a) – suprafața de regresie



(b) – liniile de nivel plane



(c) –linii de nivel spațiale

Fig.5.82. $HB = f(Mg, Si), Mn = Mn_{medr}$, rel. (5.39)

5.3.4.3. Analiza rezultatelor obținute privind caracteristicile mecanice

Analizând corelațiile obținute în programul Excel, din punct de vedere al coeficientului de corelație și a reprezentării grafice, rezultă că acestea sunt semnificative din punct de vedere tehnologic.

Se constată că elementele de aliere Si, Mg, Mn, precum și Ti, folosit pentru finisarea granulației, au influență pozitivă asupra caracteristicilor mecanice (figurile 5.51 – 5.55, figurile 5.57 – 5.61 și figurile 5.63 – 5.68), luând în considerație limitele între care variază aceste elemente. Elementele repective se dizolvă parțial în aluminiu, iar o altă parte asigură formarea unor compuși chimici definiți. În ceea ce privește Ti, creșterea lui duce la finisarea granulației, ceea ce asigură creșterea valorilor pentru caracteristicile mecanice. În ceea ce privește prezența Fe în aliajul de aluminiu, se constată că o creștere a acestuia duce la înrăutățirea caracteristicilor mecanice (figurile 5.56 și 5.62).

O creștere simultană a conținutului de Mg și Si conduce la obținerea unor valori superioare pentru rezistența la rupere (figura 5.69). Suprafața care reprezintă dependența dintre Si și Ti, prezintă un punct de șa, având coordonatele $Ti = 0.0279\%$, $Si = 1.0019\%$, $R_m = 302.3695$ MPa. (figura 5.70). Din analiza figurilor se constată că, pentru valorile corespunzătoare Ti, Mg și Si, la care MG are valori minime, rezistența la rupere este superioară limitei minime prevăzută în standard. Din acest punct de vedere se corelează foarte bine mărimea grăuntelui cu rezistența la rupere. De asemenea, pentru aceleași valori ale conținutului de Ti, Si și Mg se obține pentru rezistența la forfecare valoarea maximă de 189 MPa, valoare superioară limitei prevăzută în standard (figurile 5.72 - 5.74).

Pentru valori ale $Mg = 0.8669\%$ și $Si = 1.0244\%$ se obține o valoare maxima pentru energia de rupere de $KU = 92.2729$ J (figura 5.75). Se observă că, odată cu creșterea conținutului de Ti și Si, crește și energia de rupere (figura 5.76), situație acceptabilă până la valori ale $Ti = 0.03\%$ și $Si = 1.04\%$. De asemenea, pentru valori ale $Ti = 0,03\%$ și $Mg = 0.84\%$ se obțin valori ridicate pentru KU, iar peste valori ale Mg de 0.84 %, se observă o ușoară scădere a acesteia (figura 5.77).

Referitor la corelațiile necesare pentru determinarea durității Brinell, se poate observa că, pentru aceleași valori ale Ti, Si și Mg, se obțin pentru duritatea Brinell valori superioare valorii minime din standard, valoarea maxima fiind de 77.6 HB (figurile 5.78 și 5.79).

De asemenea, pentru valori ale manganului de 0.6 % și păstrarea celorlalte valori pentru Si și Mg, ca în cazurile anterioare, duritatea Brinell are o ușoară scădere, până la valoare de 73 HB, valoare care însă este superioară celei din standard (figurile 5.80 – 5.82).

Utilizarea unei încărcături de calitate, conduce la variații mici pentru elementele din compoziția chimică, în urma alierii, se constată diferențe mici de compoziție chimică, de la o șarjă la alta, putându-se păstra astfel și limite restrânse de variație pentru fiecare element chimic ($Mg = 0.79 - 0.92\%$, $Ti = 0.025 - 0.032\%$, $Mn = 0.58 - 0.63\%$, $Si = 0.95 - 1.09\%$), în comparație cu prevederile din standard. Limitele de variație restrânse pentru elementele chimice au condus la variații acceptabile a caracteristicilor mecanice și calitative.

6. CERCETĂRI PRIVIND RECONDIȚIONAREA PRIN SUDURĂ A JANTELOR DIN ALIAJE DE ALUMINIU

6.1. Introducere

În prezent, în industria producătoare de automobile, tendința pe plan mondial este echiparea acestora cu jante produse din aliaje neferoase pe bază de aluminiu, magneziu sau titan. Aceste jante prezintă avantajul că sunt mai ușoare, ceea ce conduce la reducerea masei nesuspendate a autovehiculului, creșterea performanțelor autovehiculului, ceea ce face să avem o mai bună manevrabilitate, o frânare mai rapidă și o accelerație mai bună, o eficiență mai mare a consumului de combustibil și o cantitate mai mică de emisii de CO. Pe lângă toate acestea, rezistența la coroziune are de asemenea un rol important, ținându-se cont și de aspectul estetic al jantelor.

În timpul exploatării, jantele pot fi supuse la coliziuni accidentale, cum ar fi impactul cu trotuarul, ceea ce conduce la o serie de defecte care necesită reparare. În lucrare se prezintă rezultatele încercărilor de remediere a defectelor prin sudare, a structurii în zona sudată și a caracteristicilor calitative. Pentru realizarea încercărilor am luat în considerare jante produse din aliaje pe bază de aluminiu.

Sudarea aliajelor de aluminiu este dificilă, datorită prezenței oxidului de aluminiu (Al_2O_3), care are punctul de topire ridicat, de aproximativ 2000 °C, mult mai mare decât cel al aliajului de aluminiu. La sudarea aluminiului și a aliajelor sale se folosește cel mai des, procedeul WIG, în special la piesele cu grosimi mici [8].

Jantele din aliaj de aluminiu prezintă avantajul că sunt ușoare și estetice. Dezavantajul este ca, în urma unui impact necontrolat, pot apărea fisuri sau ruperi, care pot fi remediate prin diferite procedee de sudare, urmărindu-se, păstrarea caracteristicile tehnice inițiale [11].

6.2. Tipuri de procedee de sudare

Sudarea aluminiului este privită ca fiind ceva dificil, datorită aparatului utilizate. Dificultatea sudării aluminiului o reprezintă de fapt oxidul de aluminiu care are un punct de topire mult mai mare decât cel al aluminiului care se află sub acest strat de oxid. Oxidul de aluminiu trebuie înlăturat în timpul procesului de sudare, acest lucru se face utilizându-se un aparat de sudură care generează curent alternativ.

Polaritatea cu care se sudează este extrem de importantă. Dacă minusul se leagă la piesă, avem polaritate inversă, iar dacă minusul se leagă la electrod, avem polaritate directă. Există aparate care pot selecta cu ce polaritate se sudează.

Când se sudează cu polaritate inversă (oțelul), căldura arcului electric este concentrată pe piesă. Dacă s-ar suda cu polaritate directă, căldura ar fi concentrată pe electrod (sârma în cazul mig-mag sau electrodul de wolfram în cazul wig), ceea ce ar duce la topirea până la distrugere a acestuia și nu a piesei. Dar în același timp se mai întâmplă un fenomen, așa numit bombardare cu electroni, care în cazul aluminiului ar îndepărta stratul nedorit de oxid de aluminiu. Atunci, pentru a folosi avantajele ambelor polarități, se folosește curentul alternativ, care le alternează astfel:

- polaritate directă - îndepărtarea stratului de oxid de aluminiu + încălzire electrod;
- polaritate inversă - topirea piesei + răcirea relativă a electrodului.

Există mai multe procedee de sudare, și anume:

- **Sudarea manuală cu electrod învelit(sudarea cu electrod)**- cel mai des întâlnit sau poate doar cel mai cunoscut dintre toate procedeele, se mai prescurtează MMA - manual metal arc sau SEI - sudare cu electrod învelit, se pretează la lucrări de confecții metalice, fier forjat, recipiente sub presiune, căi ferate, etc., productivitatea este mare și nu se folosesc tuburi cu gaz sau instalații auxiliare, ceea ce face ca procedeul să fie ușor de aplicat pe șantier. Dezavantajul major este că energia dezvoltată de arcul electric este concentrată pe o suprafață relativ mare, deci porțiunea topită(baia de metal topit) este greu de controlat, adică se găurește piesa.

- **MIG-MAG** (metal inert gas-metal active gas), gazul utilizat este argonul, la care "sârma este situată în centru". Spre deosebire de sudarea cu electrod la care metalul topit este protejat pentru a nu oxida, de către zgura depusă de pe electrod (flux), la mig-mag baia de metal topit este protejată de către un gaz care iese pe lângă sârma în momentul sudării, sârma fiind materialul de adaos. Acest gaz este, în cazul MIG, argon (inert), iar în cazul MAG un amestec de argon și dioxid de carbon(activ) deci e impropriu spus "argon" [10].

În general oțelurile se sudează cu amestec(mag) pentru a stabili arcul electric, iar aluminiu se sudează cu argon(mig), aluminiul fiind mult mai reactiv decât oțelul. Acest procedeu se poate folosi la construcții metalice, recipiente sub presiune, tinichigerie și eșapamente auto, diverse lucrări de garaj.

Unele dintre avantajele acestui procedeu este că energia arcului electric este concentrată pe o suprafață mai mică decât la sudarea cu electrod, iar productivitatea mai mare pentru că nu se mai schimbă electrodul, se poate robotiza fiind foarte des folosit în industria auto, se vede mult mai bine baia de metal nefiind acoperită de zgură, deci un cordon mai frumos și este probabil procedeul cel mai ușor de utilizat, fiind necesară o atenție sporită doar la deplasarea pistolului. Ca dezavantaj, tubul de gaz care trebuie reîncărcat regulat, dar și incomod de transportat.

- **Sudare prin procedeul WIG (wolfram inert gas) sau TIG (tungsten inert gas)** sau sudarea cu electrod ne-fuzibil în mediu de gaz inert. La acest procedeu arcul arde între un electrod de Wolfram și piesa care se sudează (de unde și denumirea Wolfram Inert Gas). Acest electrod are doar rolul de electrod și nu are un rol de material de adaos; ca atare se uzează foarte lent în comparație cu un electrod învelit. Prin procedeul WIG se realizează topirea celor două componente ce urmează a fi sudate. Eventual, în unele cazuri, este necesară folosirea unui material de adaos pentru a realiza o îmbinare cu geometrie și caracteristici mecanice mai bune. Avantajul procedurii WIG este că poate fi folosit la majoritatea materialelor sudabile (oțelurile carbon și aliate, aluminiul, cuprul, nichelul și aliajele acestora). În unele cazuri mai speciale se folosește la sudarea materialelor cu afinitate mare la gaze ca titanul, tantalul și zirconiu. Pentru a suda astfel de materiale este nevoie de un spațiu perfect etanș în care nu poate pătrunde aer (o atmosferă controlată de argon de exemplu). Procedeul WIG oferă cea mai bună calitate a îmbinării sudate, cu gradul de puritate cel mai ridicat și fără defecte în îmbinare, universalitate foarte mare, sudându-se practic toate materialele metalice de orice formă și dimensiune de cusătură. Un alt avantaj este dat de absența zgurii de pe cusătură, precum și

absența stropilor la sudare, ceea ce face posibilă sudarea tablelor subțiri (sub 1 mm până la 0,5 mm).

Ca și dezavantaje ale sudării WIG putem enumera: productivitate scăzută - rata depunerii mică $AD = 0,5-1$ g/s ($1,5-3,5$ Kg/h), viteză de sudare mică (în special când se sudează manual cu material de adaos) 10-30 cm/minut, cost ridicat al sudării (gaze scumpe), instalații de sudare scumpe, limitarea la grosimi sub 10 mm, necesită un operator (sudor) cu calificare superioară, deoarece calitatea depinde exclusiv de operator [9].

- **Sudarea cu plasmă** este un procedeu asemănător cu wig, doar că arcul electric este forțat să iasă printr-o duză, ceea ce concentrează foarte mult energia termică a arcului electric. Se folosește la materiale foarte subțiri, de sub 1mm.

- **Sudarea sub strat de flux** se folosește în uzine, fiind un proces mecanizat și cu care se sudează piese cu lungimi mari și grosimi de materiale între 3 și 10mm (ex. stâlpi, țevi sudate elicoidal, grinzi).

- **Sudarea cu laser** se folosește din ce în ce mai mult în industria auto la sudarea caroseriilor.

- **Sudarea cu fascicul de electroni** un procedeu foarte costisitor, se sudează doar într-o incintă vidată. Avantajul este că energia termică este atât de concentrată încât se pot îmbina piese de grosimi de până la 50mm, fără șanfren și material de adaos și fără să sufere deformări din cauza căldurii.

- **Procedeu modern de sudare CMT (Cold Metal Transfer)** a fost dezvoltat pentru a satisface cerințele tot mai stricte privind stabilitatea procesului, reproductibilitatea și rentabilitatea din industria automobilelor. Principalele scopuri pentru care a fost dezvoltat au fost reducerea deformațiilor, un arc electric cât mai rece, posibilitatea de a acoperi rosturi mari și sudarea aluminiului cu oțelul. Materiale de bază cu proprietăți diferite, cum sunt oțelul și aluminiul, pot fi acum sudate împreună.

CMT este un proces controlat digital care permite transferul de material la un flux de curent foarte scăzut. Materialul de bază din aluminiu se topește împreună cu materialul de adaos din aliaj aluminiu, iar topitura aceasta realizează o brăzare pe oțelul galvanizat. Sârma de adaos, după ce face contact cu materialul de bază și este încălzită, este retrasă pentru desprinderea picăturii. Retragerea precisă a sârmei facilitează desprinderea controlată a picăturii pentru a asigura un transfer de material fără stropi. Mișcarea sârmei are loc la o frecvență foarte ridicată și necesită un răspuns rapid direct de la pistol. Pentru că sistemul de avans sârma să poată face față acestor mișcări rapide, pachetul de furtune al pistolului a fost echipat cu un buffer care compensează mișcarea înainte și înapoi a sârmei.

Se preferă procedeu WIG din cauza cantității mici de hidrogen introduse în baia de metal topit și a proprietăților mecanice și chimice foarte apropiate dintre metalul de bază și cusătură. Calitatea maximă a îmbinării sudate este asigurată de curățenia operației de sudare, toate echipamentele și materialele utilizate nu trebuie să fie murdare de ulei, să fie ferite de umezeală, să nu fie prăfuite sau să nu conțină alte impurități. Pentru a menține o baie de metal curată în timpul sudării, gazul de protecție care curge trebuie să fie suficient de consistent ca să protejeze baia de metal topit de impuritățile din atmosferă.

Prin procedeu WIG se realizează topirea celor două componente ce urmează a fi sudate. Eventual, în unele cazuri, este necesară folosirea unui material de adaos pentru a realiza o îmbinare cu geometrie și caracteristici mecanice mai bune.

Avantajul procedurii WIG este că poate fi folosit la majoritatea materialelor sudabile (oțelurile carbon și aliate, aluminiul, cuprul, nichelul și aliajele acestora), precum și în unele cazuri mai speciale se folosește la sudarea materialelor cu afinitate mare la gaze ca titanul, tantalul și zirconiu [69].

Procedura WIG este potrivită sudării aluminiului și aliajelor sale, dar anumite caracteristici ale materialului trebuie luate în considerare, dacă se dorește obținerea unei suduri calitativ superioare. Datorită faptului că multe aliaje de aluminiu nu sunt destul de rezistente în starea semi-solidă, imediat după sudură, vor apărea degradări, de tipul fisurilor. Pentru a preveni acest lucru este necesară alegerea cu grijă a materialului de adaos, care trebuie să fie compozițional, mai aliat decât metalul de bază.

6.3. Procedura experimentală

În cadrul lucrării s-a studiat o jantă din aliaj de aluminiu, pentru autoturisme, obținută prin turnare. Aliajul de aluminiu studiat este AlSi11 cu 0,5% Mg, iar compoziția chimică a acestuia și principalele caracteristici mecanice se prezintă în tabelul 6.1.

Segmentul de jantă studiat în cadrul experimentărilor are două părți bine definite, rupte la baza de prindere a spițelor de organul de antrenare (obadă) cu găuri pentru prezoanele de prindere, așa cum se poate observa în figurile 6.1 și 6.2.

Tabelul 6.1. Compoziție chimică a aliajul de aluminiu studiat

	Compoziția chimică [%]					
	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Al
AlSi11 (EN AC 44000)	10.....11.8	0.19	0.05	0.45	0.07	Rest
Aliajul de aluminiu studiat	10.7	0.12	0.003	0.549	0.05	Rest



Fig.6.1. Aspectul jantei rupte
(partea exterioară)



Fig.6.2. Porțiuni din jantă
(partea interioară)

O analiză vizuală a spițelor, ne arată că ruptura a fost bruscă fără deformații clare, iar pe suprafața lor nu s-a decelat defecte de fabricație de tipul fisurilor.

În cadrul experimentărilor s-a urmărit recondiționarea spiței jantei prin sudare. Aceasta s-a executat conform unor specificații preliminare a procedurii de sudare (pWPS) pentru jante de aluminiu, iar parametrii de sudare sunt prezentați în tabelul 6.2.

- procedeu de sudare: 141 WIG;
- poziția de sudare: PA (orizontal);

- gaz de protecție: Argon – I1 – SR EN ISO 14175;
- electrod nefuzibil: Ø2,4mm W (WP/SR EN 26848);
- temperatura între straturi: max. 200°C;
- grosime material: 16...26mm;
- material de adaos: AlTiGAlMg5 (vergele) – ISO 18273 (AlMg56);
- nr. de rânduri: 12+1.

Tabelul 6.2. Parametrii de sudare

Nr. rând	Procedeu de sudare	Debit gaz de protecție [l/min]	Intensitatea curentului Is[A]	Tensiunea arcului Va[V]	Tipul curentului	Viteza de sudare, v_s [cm/min]
1...12	141	10-12	90...110	18...20	CA	10...15
13	141	9-12	110...140	20...22	CA	12...16

Îmbinarea sudată a fost examinată macroscopic, microscopic și s-au determinat caracteristicile mecanice ale acesteia. În continuare se prezintă rezultatele experimentale obținute.

6.4. Rezultate și discuții

Aspectul probei sudate se prezintă în figura 6.3. Din analiza probei obținute prin procedeul de sudare cap la cap, s-a constatat că aceasta nu prezintă defecte de sudare [70, 71].

**Fig.6.3.** Aspectul probei sudate

- *Examinarea macroscopică* efectuată conform SR EN 1321:2000 a evidențiat aspectul secțiunii spiței cu zone de diferite grosimi, în care s-au observat imperfecțiuni de fabricație de tip pori, uniform distribuiți pe circa 2% din secțiunea transversală (figura 6.4). Pe secțiunile transversale nu s-au decelat fisuri. Imaginea macroscopică a zonelor sudate de diferite secțiuni este prezentată în figura 6.5.

Zona sudată evidențiază o îmbinare sudată cap la cap, realizată din 13 rânduri, cu 6 straturi (5 centrale și un strat de rădăcină) în care nu s-au observat defecte de sudare de tipul microfisurilor.



Fig.6.4. Secțiunea transversală a spiței
[Atac F1]

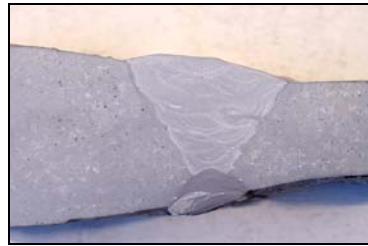


Fig.6.5. Macrostructura spiței sudate
[Atac F1]

• *Examinarea microscopică* s-a executat conform SR 5000-97, STAS 5500-74, iar evidențierea microstructurii s-a efectuat cu reactivul F1, conform CR 12361. În materialul de bază (MB) s-au dezvoltat microstructuri, formate din amestecuri de precipitate fine de Al și Si, plasate într-o matrice de aluminiu și înconjurate de eutectice de Al-Si, sub forme diferite (rotunjite, poliedrice, etc.) (figura 6.6).



Fig.6.6. Microstructura MB [Atac F1, 100x]

Pe fondul general al microstructurii, s-au observat pori fini izolați, formați în timpul proceselor de solidificare la răcirea materialului. În zonele influențate termic (ZIT), s-au decelat microstructuri formate din amestecuri fine de precipitate de Al și Si în matricea de aluminiu și eutectice globulare de Al-Si, plasate neuniform (figura 6.7) [72]. În aceste zone examinate nu s-au observat defecte de sudare de tipul microfisurilor.

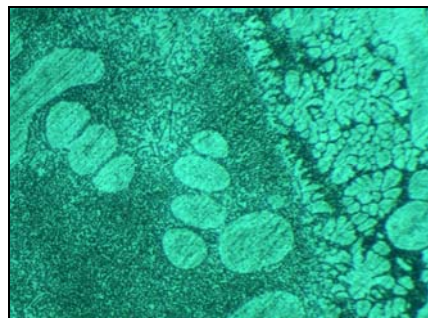


Fig.6.7. Microstructură ZIT, [Atac F1, 100x]

În sudură (SUD) s-au evidențiat microstructuri dendritice formate din precipitate fine de Al-Mg uniform distribuite în matricea de aluminiu, dar există și zone separate în care aceste particule se grupează pe direcția fluxului termic de răcire a sudurii (figura 6.8).

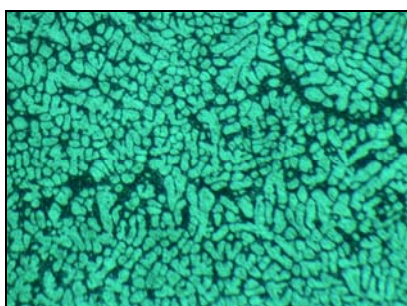


Fig.6.8. Microstructură SUD, [Atac F1, 100x]

Zonele sudurii examinate microscopic nu au prezentat defecte de sudare de tipul microfisurilor.

• *Încercările de duritate HV5* s-au efectuat conform SR EN ISO 6507-1:2006, atât pe secțiunea transversală a spiței roții, cât și pe zonele caracteristice îmbinărilor sudate, relevate în figurile 6.1 și 6.2. Evaluarea durității HV5 a urmărit două șiruri de încercare, unul inferior în partea de jos a îmbinării sudate și unul plasat superior la 2 mm de suprafața probei. Valorile maxime și minime ale durității HV5 ale zonelor caracteristice sunt sintetizate în tabelul 6.3, în care s-au trecut și valorile calculate ale estimatorului de durificare locală $\Delta HV5$.

Tabelul 6.3. Valorile durității HV5

Zona încercată	Duritate HV5		Estimator de durificare locală $\Delta HV5[\%]^*$	Duritate HV5		Estimator de durificare locală $\Delta HV5[\%]$
	Valori minime	Valori maxime		Valori minime	Valori maxime	
	Șir inferior			Șir superior		
MB _{st}	53	59	10,16	52	59	11,86
ZIT _{st}	53	66	19,69	59	67	11,94
SUD	81	88	7,95	72	77	6,49
ZIT _{dr}	54	64	15,62	51	58	12,0
MB _{dr}	42	55	23,63	48	53	9,43

Estimatorul de durificare locală, $\Delta HV5$ s-a determinat cu relația:

$$\Delta HV5 = [(HV5_{max} - HV5_{min}) / HV5_{max}] \cdot 100 [\%] \quad (6.1)$$

în care:

- HV5_{max} este duritatea maximă într-o zonă,
- HV5_{min} este duritatea minimă în aceeași zonă.

Dacă $\Delta HV5 \geq 50 \%$, în zona examinată se dezvoltă durificări locale accentuate, riscul de apariție a ruperii fragile fiind ridicat [73].

În figura 6.9 se prezintă variația estimatorului ΔHV_5 pe zonele caracteristice îmbinării sudate.

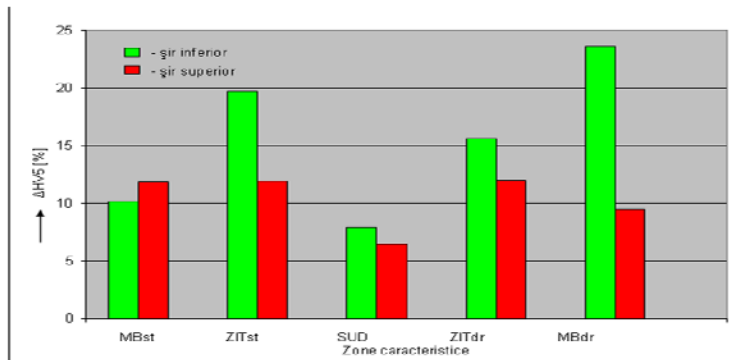


Fig.6.9. Variația estimatorului de durificare locală în funcție de zonele caracteristice

Analizând variația ΔHV_5 pe zonele caracteristice îmbinărilor sudate (MB, ZIT, SUD) se observă că în materialul de bază (MB_{st} , MB_{dr}) apar durificări locale de max. 23,63%, în zonele influențate termic (ZIT_{st} , ZIT_{dr}) durificările locale ΔHV_5 sunt cuprinse între 11,94% și 19,69%, iar în sudură (SUD) de max. 7,95%.

În toate cazurile, estimatorul durificării locale ΔHV_5 , are valori inferioare celei de 50%, drept pentru care în zonele caracteristice îmbinării sudate analizate nu apar modificări structurale accentuate, riscul apariției ruperilor fragile este scăzut.

- *Încercările mecanice la tracțiune* s-au efectuat conform SR EN 6892-1:2010, metoda B, pe epruvetele cilindrice $\varnothing 5 \times 25 \text{ mm}$, prelevate atât din materialul de bază, cât și din îmbinarea sudată și încercate la temperatura de $+20^\circ\text{C}$. Caracteristicile mecanice de rezistență determinate experimental ($R_{p0,2} = 123 \dots 125 \text{ MPa}$ și $R_m = 199 \dots 211 \text{ MPa}$) și de deformabilitate ($A = 6 \dots 7\%$) sunt la nivelul metalelor de bază folosite, aliaje Al-Si ($R_m = 150 \dots 250 \text{ MPa}$ și $A = \text{min. } 7\%$). În sudura (SUD), rezistența are valori ridicate ($R = 150 \dots 152 \text{ MPa}$), cu suprafețe de rupere ductile ale epruvetelor.
- *Încercările mecanice de încovoiere prin șoc* executate la temperatura de încercare de $+20^\circ\text{C}$ conform SR EN ISO 148-1:2011 pe epruvete prismatice ($10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$), dau energii de rupere KU mici, de minim 3,7 J și maxim 5,0 J pe metalele de bază și în domeniul de minim 8,7 J și maxim de 10 J în sudură. Valorile scăzute ale energiilor de rupere sunt în concordanță cu tipurile de rupere fragile a epruvetelor încercate.

6.5. Concluzii

Aliajele Al-Si sunt tot mai des folosite în construcția componentelor de bază din industria constructoare de automobile, în special la realizarea părților metalice ale roților (jantele).

Problema recondiționării jantelor din aliaje de Al-Si-Mg este de actualitate având în vedere posibilitățile de sudare în siguranță prin procedee moderne avansate.

Sudarea unei jante metalice a condus la realizarea unei îmbinări sudate cap la cap cu procedeul european 141 folosind o sârmă de sudare SGAI-5356 cu $\varnothing 2,4\text{mm}$, conform EN ISO 18273. În îmbinare nu s-au decelat defecte de sudare de tipul fisurilor sau micro-fisurilor.

Caracteristicile mecanice de rezistență ale îmbinărilor sudate sunt ridicate, fiind practic la nivelul metalului de baza (AlSi11).

Caracteristicile de tenacitate, definite prin energia de rupere KU de maxim 10 J sunt scăzute, cu suprafețe de rupere fragilă a epruvetelor. Din acest motiv, aceste jante metalice recondiționate prin sudare, trebuie ferite de șocurile din exploatare.

Caracteristicile mecanice obținute pe aliajul studiat sunt comparabile cu a jantelor forjate obținute din aliajul 6082, dar inferioare acestora, ceea ce justifică utilizarea tehnologiei de fabricație prin forjare.

PARTEA a III-a

CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

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

7.1. Concluzii finale

1. Cercetările pe plan mondial efectuate în acest domeniu sunt orientate către creșterea caracteristicilor fizico-mecanice ale aliajelor prin optimizarea compozițiilor chimice și microalierii (ex. cu Sr sau Ti), stabilirea de procedee de prelucrări în fază lichidă (rafinare, degazare); stabilirea de procedee și tehnologii de turnare performante; studiul proceselor și stabilirea de procedee și tehnologii avansate de prelucrări fizico-chimice ale suprafețelor, incluzând acoperiri de protecție și decorative cu rezistență ridicată la coroziune și abraziune;
2. Principalele elemente de aliere, utilizate pentru elaborarea aliajelor de aluminiu, destinate fabricării jantelor auto sunt: siliciu, mangan și magneziu, utilizate în diverse combinații;
3. Pentru elaborarea aliajului 6082 se impune utilizarea deșeurilor cu puritate în aluminiu cât mai mare, de dorit, de cel puțin 99%, ceea ce asigură un control riguros a procesului de aliere;
4. Prin respectarea compoziției chimice și a tratamentului de omogenizare se asigură obținerea pentru caracteristicile mecanice a valorilor prevăzute în standard;
5. Prin prelucrarea datelor obținute la cele 18 șarje din cadrul experimentărilor în fază de laborator, s-au obținut corelații exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2, exponențiale și logaritmice, care redau influența dintre compoziția chimică a aliajului considerat parametru independent și caracteristicile mecanice considerate ca parametrii dependenți;
6. Valorile medii a elementelor din compoziția chimică pentru șarjele analizate se încadrează în limitele prevăzute pentru aliajul de aluminiu 6082.
7. Se impune pe cât posibil o reducere cât mai avansată a conținutului de fier, ceea ce poate fi realizat practic, în sistem industrial printr-o sortare avansată a deșeurilor, în funcție de proveniență, pe de o parte, iar pe de altă parte o cunoaștere a compoziției chimice a tuturor componentelor încărcăturii, astfel încât să se poată interveni în procesul de diluare a fierului din baia metalică;
8. Cunoașterea corelațiilor permite o bună estimare pe durata elaborării a caracteristicilor fizico-mecanice a aliajului în funcție de compoziția chimică și o corecție a acesteia;

Fluxul industrial de elaborare-turnare

9. Componentul de bază a fost deșeurile din aliaj 6082, din aceeași marcă ca și aliajul elaborat, ceea ce reprezintă un avantaj, atât din punct de vedere tehnologic, cât și economic. Ponderea acestui sortiment este cuprinsă între 39,325 % - 80,364 %;
10. Toate deșeurile utilizate în încărcătură au fost de calitate foarte bună, fără resturi de pământ, zgură, fără deșeu de material plastic, etc; astfel, încărcătura a fost de bună calitate și proporția mare de deșeu 6082, a determinat o utilizare redusă de aluminiu primar, acesta fiind un avantaj din punct de vedere economic;
11. În domeniul de variație a Mg, Si și Ti, corespunzător valorilor minime obținute în practica industrială a mărimii grăuntelui, corespunde valorilor în care caracteristicile mecanice sunt cu cel puțin 15 % superioare valorilor prevăzute în standard.
12. Rezultatele obținute în cadrul experimentărilor în fază industrială confirmă valabilitatea rezultatelor obținute în fază de laborator.

Recondiționarea jantelor

13. Problema recondiționării jantelor din aliaje de Al-Si-Mg este de actualitate având în vedere posibilitățile de sudare în siguranță prin procedee moderne avansate;
14. Caracteristicile mecanice de rezistență ale îmbinărilor sudate sunt ridicate, fiind practic la nivelul metalului de baza (AlSi11);
15. Caracteristicile mecanice obținute pe aliajul studiat sunt comparabile cu a jantelor forjate obținute din aliajul 6082, dar inferioare acestora, ceea ce justifică utilizarea tehnologiei de fabricație prin forjare.

7.2. Contribuții originale

La efectuarea studiului din literatura de specialitate privitor la tematica temei de doctorat, a experimentărilor efectuate în fază de laborator, a analizei tehnologice a rezultatelor obținute, atât în fază de laborator, cât și industrial, precum și a experimentărilor efectuate pentru recondiționarea jantelor auto, consider că mi-am adus următoarele contribuții:

1. Realizarea pe baza studiului literaturii de specialitate cu referire la producerea aliajului de aluminiu pentru producerea jantelor auto, a unor sinteze privind:
 - clasificarea aliajelor metalice folosite în industria auto;
 - clasificarea aliajelor de aluminiu și utilizarea lor în industria transporturilor;
 - principalele tipuri de aliaje de aluminiu folosite pentru producerea jantelor auto;
 - tehnologiile de fabricare, prelucrare, finisare și control a jantelor din aliaje de aluminiu.
2. Stabilirea tehnologiei de elaborare, turnare, deformare plastică prin forjare și de tratament termic, a aliajului de aluminiu produs în fază de laborator, în cuptorul electric de inducție de 3,4 kg;
3. Determinarea caracteristicilor calitative pe epruvetele obținute din aliajul de aluminiu produs în fază de laborator;
4. Stabilirea prin prelucrarea datelor în programele de calcul EXCEL și MATLAB, a unor corelații simple și multiple între caracteristicile mecanice, considerate parametrii dependent, și elementele din compoziția chimică (Si, Mn, Mg, Ti, Fe), considerate ca parametrii independent, pentru aliajul de aluminiu elaborat;
5. Analiza fluxului tehnologic de elaborare a aliajului de aluminiu 6082 la o societate comercială din țară;
6. Stabilirea pe baza analizei fluxului de fabricație a structurii încărcăturii metalice, a limitelor de variație a componentelor încărcăturii, a adaosurilor de materiale pentru corecția compoziției chimice, precum și consumul specific de elemente de aliere;
7. Determinarea pentru fiecare șarjă a dimensiunilor grăunților, atât în cuptor, cât și după aliere, în masă;
8. Determinarea caracteristicilor mecanice pe epruvete prelevate din barele turnate la societatea comercială;
9. Prelucrarea datelor experimentale în programele de calcul Excel și Matlab, în vederea obținerii unor corelații între mărimea grăunților, caracteristicile mecanice și elementele din compoziția chimică Ti, Si, Mg și raportul 2Mg/Si;
10. Analiza rezultatelor obținute și stabilirea unui subdomeniu de variație a elementelor de aliere, în vederea obținerii unui aliaj cu granulație cât mai fină;
11. Clasificarea pe baza studiului literaturii de specialitate a procedeelor de sudare a aliajelor de aluminiu;
12. Examinarea macroscopică și microscopică a unei jante auto obținută prin turnare, în zona recondiționată, la nivelul metalului de bază, zonei influențate termic și în sudură;
13. Determinarea caracteristicilor mecanice pentru janta recondiționată prin sudură și compararea acestora cu caracteristicile unei jante forjate.

7.3. Direcții de continuare a cercetărilor

Având în vedere rezultatele cercetărilor efectuate referitoare la „Aliaje metalice utilizate pentru fabricarea jantelor destinate autovehiculelor rutiere”, consider că acestea prezintă interes deosebit pentru industrie, și pot continua pe viitor în următoarele direcții:

1. Producerea aliajelor de aluminiu și cu alte elemente de aliere, cum ar fi stronțiu sau vanadiu;
2. Studiul structural al aliajului și stabilirea relației structură-caracteristici în diferite stări de prelucrare.
3. Obținerea unui reper (jantă) reprezentativ din aliajul 6082 , care să fie supus la teste de impact și rezistență la oboseală și stabilirea relațiilor de corelație ale acestor caracteristici cu cele referitoare la calitatea materialului;
4. Obținerea unui reper (jantă) reprezentativ, prin tehnologia flow-forming sau air-inside tech și compararea acestuia din punct de vedere calitativ și economic cu jantele forjate.

DISEMINAREA REZULTATELOR OBȚINUTE

1. **Nicoleta Bularda**, Studiu privind aliajele de aluminiu utilizate la fabricarea jantelor pentru autovehiculele rutiere – Simpozionul Științific Studentesc HD-43-STUD, Hunedoara, 24-25 mai 2013.
2. **Nicoleta Bularda**, Considerații teoretice privind fabricarea jantelor din aliaje de aluminiu - Prima Conferință Națională multidisciplinară cu participare internațională „Ion D. Lăzărescu - fondatorul Școlii românești de teoria așchierii”, CUGIR, 20 septembrie 2013.
3. **Nicoleta Bularda**, Teodor Hepuț, Reconditioning by Welding of Rims Manufactured from Nonferrous Alloys, TIMA 14- Innovative technologies for joining advanced materials, Timișoara, 19-20 Iunie 2014, ISSN1022-6680, Volume 1029, pp.61-66.
4. **Nicoleta Bularda**, Florin Pavăl și Vasile Puțan, *Research on improving the quality of aluminum alloys*, Annals of Faculty Engineering Hunedoara, Fascicula 3, 2014, pp.313-318, accredited and ranked in the B+ category by CNCSIS.
5. **Nicoleta Bularda**, Teodor Hepuț, Mathematical Modeling Concerning the Influence of Chemical Composition of the 6082 Aluminum Alloy on Physical and Mechanical Characteristics, ICNAAM 2014 – 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 22-28 Septembrie 2014, Rhodos, Grecia.
6. **Nicoleta Bularda**, Francisc Weber and Eugen Crișan, Mathematical Modeling Concerning the Cumulative Influence of the Alloying Elements for Aluminum Alloy 6082 on the Physical and Mechanical Characteristics, ICNAAM 2014 – 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 22-28 Septembrie 2014, Rhodos, Grecia
7. **Nicoleta Bularda**, Teodor Hepuț, Eugen Crișan, *Researches concerning the cumulative influence of the titanium and other alloying element in aluminum alloy 6082 on the physical and mechanical characteristics*, Fascicula 4, 2014, pp.267-274, accredited and ranked in the B+ category by CNCSIS.

BIBLIOGRAFIE

1. Alexandru I., ș.a. – Alegerea și utilizarea materialelor metalice, E.D.P., București 1997
2. Mitelea I. – Selecția și utilizarea materialelor inginerești, Editura Politehnică, Timișoara 1998
3. Constantin V., Palade V. – Organe de mașini și mecanisme, Vol.1, Ed. Fundației Universitare "Dunărea de Jos", Galați, 2004
4. Suci V., Suci M.V. – Studiul Materialelor, Editura Fair Parteners, 2008
5. Geru N., ș.a. – Materiale metalice. Structură, proprietăți, E.T., București 1985
6. Ciucescu D., Gheorghian M. – Știința și ingineria materialelor (Îndrumar de laborator), Editura Didactică și Pedagogică R.A. București, 2009
7. Cazimirovici E., Suci M.V. –Laminarea materialelor metalice speciale, ISBN 973-9493-37-8, Editura BREN, București, 2000
8. www.sudura-aluminiu.ro.
9. www.sudura.ro.
10. www.mig-welding.co.uk/aluminium-welding.htm
11. www.weldingtipsandtricks.com/tig-welding-aluminum.html
12. Puțan V. - Bazele elaborării și turnării aliajelor neferoase, Editura Politehnica Timișoara, 2010
13. Bogdanoff T., Dahlström J. - The influence of copper on an Al-Si-Mg alloy (A356) - Microstructure and mechanical Properties - Bachelor Thesis June 2009, Department of Mechanical Engineering - Component Technology - Castings , Jönköping University , Sweden
14. <http://www.trident-metals.com/alumdesign.shtml>
15. Totten G.E., Mackenzie S.D. – Handbook of Aluminum: Alloy Production and Materials Manufacturing, Marcel Decker Inc., New York, 2003
16. Hatch J.E. – Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, "American Society for Metals", Metals Park, Ohio, 1998
17. www.table-aluminiu.ro/aliaje-aluminiu
18. [www.utgjiu.ro/rev_mec/mecanica/pdf/2008-01/9_Remus %20Boboescu.pdf](http://www.utgjiu.ro/rev_mec/mecanica/pdf/2008-01/9_Remus%20Boboescu.pdf)
19. Vargel CH. – Corrosion of aluminium, Elsevier, Paris, 2004
20. www.aluminiumleader.com/en/around/transport
21. www.mechanicaldesignforum.com
22. www.keytometals.com
23. www.engineersedge.com
24. Mròvka-Nowotnik G. - Influence of chemical composition variation and heat treatment on microstructure and mechanical properties of 6xxx alloys, "Archives of Materials Science and Engineering", Volume 46, Issue 2, December 2010, Pages 98-107
25. Chiaberge M. - New Trends and Developments in Automotive Industry, Publisher InTech, 2011
26. Mrówka-Nowotnik G., Sieniawski J., Nowotnik A., Tensile properties and fracture toughness of heat treated 6082 alloy, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 17, Issue 1-2, July – August 2006, pages 105-108
27. aluminium.matter.org.uk/aluselect/01_applications.asp

28. www.alcoa.co.uk
29. Mrówka-Nowotnik G., s.a. – Tensile properties and fracture toughness of heat treated 6082 alloy, "Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering", JAMME, vol.17, pp.105-108, July-August 2006
30. Mrówka-Nowotnik G., Sieniawski J., Wierzbńska M. - Intermetallic phase particles in 6082 aluminium alloy, "Archives of Materials Science and Engineering", Volume 28, Issue 2, February 2007, Pages 69-76
31. Dragomir I. - Teoria Proceselor Siderurgice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985
32. Fajda M., Kvačkaj T. - Microstructure and Mechanical Properties of EN AW 6082 Aluminium Alloy Prepared by Equal-Channel Angular Pressing, "Journal of Metals, Materials and Minerals", Vol.17 No.2 pp.23-27, 2007
33. Mrówka - Nowotnik G., Sieniawski J. - Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys, Journal of Materials Processing Technology 162-163 (2005) 367-372.
34. Segal, V.M. - „Methods of stress-strain Analysis in Metalforming”, Sc.D. Thesis, Minsk, 1974.
35. Segal, V.M. - Equal channel angular extrusion: from macromechanics to structure formation” , Materials Science and Engineering A271, pp. 322 – 333, 1999.
36. Popa I.I., Materiale avansate multifuncționale cu granulație ultrafină / nanometrică obținute prin deformare plastică severă ---tehnologia de extrudare la presiune constanta în canal unghiular, Universitatea Transilvania din Brașov Școala Doctorală Interdisciplinară Departament: ȘTIINȚA MATERIALELOR
37. www.aerospacemetals.com
38. asm.matweb.com
39. Christy T.V., Murugan N. and Kumar S. - A Comparative Study on the Microstructures and Mechanical Properties of Al 6061 Alloy and the MMC Al 6061/TiB₂/12P, "Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering", Vol. 9, No.1, pp.57-65, 2010
40. Madhusudhan Reddy G., Mastanaiah P., Sata Prasad K. and Mohandas T. - Microstructure and mechanical property correlations in AA 6061 aluminium alloy friction stir welds, "Transactions of The Indian Institute of Metals" ,Vol. 62, Issue 1, February 2009, pp. 49-58
41. www.mechanicaldesignforum.com
42. www.sfsa.org/tutorials/eng_block
43. www.alueurope.eu
44. www.tirerack.com
45. www.bbsalloywheels.co.uk
46. www.ozracing.ro
47. www.alcar-wheelbase.ro
48. Bularda N. - Considerații teoretice privind fabricarea jantelor din aliaje de aluminiu - Prima Conferință Națională multidisciplinară cu participare internațională „Ion D. Lăzărescu - fondatorul Școlii românești de teoria așchierii”, CUGIR, 20 septembrie 2013.
49. www.leggera.eu
50. www.custompartnet.com
51. www.diecasting.org
52. www.themetalcasting.com/pressure-die-casting.html
53. www.wisegeek.com

54. www.engineershandbook.com
55. www.exalco.ro
56. Frumușanu G. – Utilaje și echipamente pentru prelucrări mecanice (Curs), Universitatea Dunarea de Jos din Galați, 2008
57. Petrescu M.G., Nae I. - Mașini-unelte și prelucrări prin așchiere, Editura Universității din Ploiești, 2004
58. Satyanarayana N., Samnaiah Ch.- Fatigue Analysis of Aluminum Alloy Wheel Under Radial Load, "International Journal of Mechanical and Industrial Engineering" (IJMIE), ISSN No. 2231 -6477, Vol-2, Issue-1, 2012
59. Bularda N., Pavăl F., Puțan V. - Research on improving the quality of aluminum alloys, Annals of Faculty Engineering Hunedoara, Fascicula 3, 2014, pp.313-318, accredited and ranked in the **B+ category** by CNC
60. Zhang B., Cockcroft S.L., Maijer D.M., Zhu J.D., Phillion A.B. - Casting defects in low-pressure die-cast aluminum alloy wheels, "The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society", November 2005, Volume 57, Issue 11, pp 36-43
61. Bularda N - Studiu privind aliajele de aluminiu utilizate la fabricarea jantelor pentru autovehiculele rutiere – Simpozionul Științific Studentesc HD-43-STUD, Hunedoara, 24-25 mai 2013.
62. www.alueurope.eu
63. Ienciu M., Moldovan P., Panait N., Buzatu M. – Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase speciale, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985
64. <http://magazin.asro.ro>
65. www.sapagroup.com;
66. Bularda N, Hepuț T. - Mathematical Modeling Concerning the Influence of Chemical Composition of the 6082 Aluminum Alloy on Physical and Mechanical Characteristics, ICNAAM 2014 – 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 22-28 Septembrie 2014, Rhodos, Grecia.
67. Bularda N., Weber F., Crișan E - Mathematical Modeling Concerning the Cumulative Influence of the Alloying Elements for Aluminum Alloy 6082 on the Physical and Mechanical Characteristics, ICNAAM 2014 – 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 22-28 Septembrie 2014, Rhodos, Grecia.
68. Bularda N., Hepuț T., Crișan E. - Researches concerning the cumulative influence of the titanium and other alloying element in aluminum alloy 6082 on the physical and mechanical characteristics, Fascicula 4, 2014, pp.267-274, accredited and ranked in the **B+ category** by CNCSIS
69. Zaharia A.I., coordonator științific Prof. univ. dr. ing. Teodor MACHEDON-PISU- Teza de doctorat, 2014 - Contribuții privind caracterizarea îmbinărilor sudate din aliaje de aluminiu AlMg₅ (Contribution regarding the characterization of welded joints of aluminum alloys AlMg₅)
70. ***raport ISIM, Timișoara, Aprilie 2014
71. Bularda N., Hepuț T. - Reconditioning by Welding of Rims Manufactured from Nonferrous Alloys, TIMA 14- Innovative technologies for joining advanced materials, Timișoara, 19-20 Iunie 2014, ISSN1022-6680, Volume 1029, pp.61-66.
72. Fanelli P., Montanari R., Rovatti L., Ucciardello N., Vivio F., Vullo V. - Caratterizzazione microstrutturale e modellazione di giunti saldati per friction stir spot welding in lega 6082 (Microstructural characterization and

- modelling of Fiction Stir Spot welded joints in 6082 aluminium alloy), La Metallurgia Italiana – no.4, 2011, p.43-49
73. Safta V. - Încercările tehnologice și de rezistență ale îmbinărilor sudate sau lipite (Technological and resistance tests of welded and bonded joints), Editura SUDURA, Timișoara, România, 2006.

ANEXE

Tabelul 2.1.A Stările aliajelor de aluminiu

SIMBOL	DEFINIȚIE
0	1
F	Stare de fabricație. Această stare se aplică produselor la care nu există un control special al stării de tratament sau a ecruisării. Pentru această stare a produselor trase nu există impulsuri pentru proprietățile mecanice.
O	Stare de recoacere (numai pentru produsele trase). Se aplică produselor care au fost recoapte total pentru a se obține starea minimă de rezistență.
H1	Numai ecruisare. Se aplică produselor care sunt ecruisate pentru a se obține o anumită rezistență fără un tratament termic suplimentar. Cifra care urmează după această stare indică gradul de ecruisare.
H2	Ecruisare și recoacere parțială. Se aplică produselor care sunt ecruisate mai mult decât era necesar în final și pentru a se obține o reducere a rezistenței se execută o recoacere parțială. Cifra care urmează după această stare indică gradul de ecruisare care rămâne după executarea recoacerii parțiale.
H3	Ecruisare și stabilizare. Se aplică produselor care sunt ecruisate a căror proprietăți mecanice sunt stabilizate prin executarea unui tratament termic la temperatură joasă care are ca scop o mică reducere a rezistenței la rupere și îmbunătățirea ductilității. Această stare se aplică numai la acele aliaje care dacă nu sunt stabilizate se înmoaie gradat la temperatura camerei.
H11, H27, H14, H24, H19	Cifra care urmează după această stare indică gradul final de ecruisare. Cifra 8 indică stările care au un grad final de ecruisare echivalent cu cel rezultat în urma reducerii suprafeței cu 75%. Stările cuprinse între 0 (recoapte) și 8 (ecruisate total) sunt marcate cu numere de la 1 la 7 (ex. H11 sau H27). Materialele care au o rezistență la rupere cuprinsă între starea "O" și starea "HX8" este marcată cu cifra 4 ($\frac{1}{2}$ ecruisată, ex. H14 sau H24). Cifra 9(ex. H19) simbolizează stări extra ecruisate.
H111	Starea H111 se aplică produselor care sunt ecruisate mai puțin decât este impus pentru starea H11.
H112	Se aplică produselor care obțin o anumită stare în timpul procesului de formare care nu este controlată special din punct de vedere al ecruisării sau a tratamentului termic, dar pentru care există impulsuri pentru proprietățile mecanice.
H311	Se aplică produselor care sunt ecruisate mai puțin decât este impus pentru starea controlată H31.
H321	Se aplică produselor care sunt ecruisate mai puțin decât este impus pentru starea controlată H32.
H323, H343	Se aplică aliajelor care conțin mai mult de 4% magneziu, care au fost fabricate special pentru a se obține o rezistență acceptabilă la coroziunea fisurată.
T1	Răcire de la o temperatură ridicată și îmbătrânire naturală până la o stare stabilă.
T2	Recoacere (doar pentru produse turnate).
T3	Stare obținută prin punere în soluție, prelucrare la rece și îmbătrânire naturală. Se aplică produselor care au fost prelucrate la rece pentru a

SIMBOL	DEFINIȚIE
0	1
	se obține creșterea rezistenței după îmbătrânire, sau la care efectul prelucrării la rece prin planare sau întindere constă în îmbunătățirea valorilor proprietăților mecanice.
T31	Tratament termic de punere în soluție și racire prin aplatizare sau întindere. Se aplică pentru coli și plăci din 2219 și 2024. De asemenea, se pun nituri la rece imediat după tratamentul termic (de exemplu, nituri din 2024).
T351	Tratament termic de punere în soluție și detensionare prin întindere. Echivalent cu T4. Se aplică la plăci și bare laminate din 2024 sau 2219.
T3511	Tratament termic de punere în soluție și detensionare prin întindere, dar sunt premise valori mici pentru întindere. Echivalent cu T4, se aplică pentru piesele realizate din aliajul 2024, extrudate.
T36, T86	Indică reducere de 6% cauzată de prelucrarea la rece executată între tratamentul termic de punere în soluție și îmbătrânire.
T37, T87	Indică reducere de 8% cauzată de prelucrarea la rece executată între tratamentul termic de punere în soluție și îmbătrânire.
T4	Stare substanțial stabilă obținută prin punere în soluție și îmbătrânire naturală. Se aplică produselor care nu au fost prelucrate la rece după punerea în soluție, sau la care prelucrarea la rece prin planare sau întindere nu îmbunătățește valorile proprietăților mecanice.
T41, T61	Aceste stări indică executarea călirii în apă caldă. A doua cifră indică varietatea procedurilor de tratament termic. Atunci când urmează după T8 și devine T81, indică că nu a fost specificată reducerea dimensiunilor prin prelucrare la rece între tratamentul termic de punere în soluție și îmbătrânire artificială.
T451	Tratament termic de punere în soluție și detensionare prin întindere. Echivalent cu T4.
T4511	Tratament termic de punere în soluție și detensionare prin întindere, fiind permise mici detensionări.
T42, T62, T72	Indică faptul că tratamentul termic a fost executat de către utilizator. T42: Tratament de punere în soluție și îmbătrânire naturală până la o stare stabilă.
T5	Stare obținută prin răcire de la o temperatură ridicată a procesului de formare și îmbătrânire artificială. Se aplică produselor care au fost răcite de la o temperatură ridicată a procesului de formare cum ar fi turnarea sau extrudarea și apoi au fost îmbătrânite artificial, pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice sau a obține o stabilitate dimensională sau a atinge ambele scopuri.
T51, T52, T54	Răcire de la o temperatură ridicată, detensionare prin comprimare și îmbătrânit artificial.
T53	Indică un tratament termic de detensionare executat pentru obținerea stabilității dimensionale a produselor turnate.
T6	Stare obținută prin punere în soluție și îmbătrânire artificială. Se aplică produselor care nu au fost prelucrate la rece după punerea în soluție sau la care prelucrarea la rece prin planare sau întindere nu îmbunătățește valorile proprietăților mecanice.
T61	-T61: Tratament termic de punere în soluție și îmbătrânire artificială.

SIMBOL	DEFINIȚIE
0	1
	Se aplică pieselor forjate care sunt calmate în apă fierbinte pentru a evita tensiunile interne.
T651, T6511, T652	-T651: Tratament termic de punere în soluție, detensionare prin întindere și îmbătrânire artificială.
T7	Stare obținută prin punere în soluție și stabilizare. Se aplică produselor care sunt stabilizate pentru a se obține valoarea maximă a rezistenței la rupere și controlul asupra unor caracteristici speciale.
T73, T7351	Indică executarea unui tratament termic special executat pentru creșterea rezistenței la coroziune.
T76	Indică executarea unui tratament termic special executat pentru creșterea rezistenței la coroziunea exfoliantă.
T8	Stare obținută prin punere în soluție, prelucrare la rece și îmbătrânire artificială. Se aplică produselor care au fost prelucrate la rece pentru a se obține creșterea rezistenței, sau la care efectul prelucrării la rece prin planare sau întindere îmbunătățesc valorile proprietăților mecanice.
T9	Tratament termic de punere în soluție, îmbătrânire artificială și prelucrare la rece. Se aplică produselor care sunt prelucrate la rece pentru creșterea rezistenței.



Fig.5.1.A. Deșeuri de aluminiu

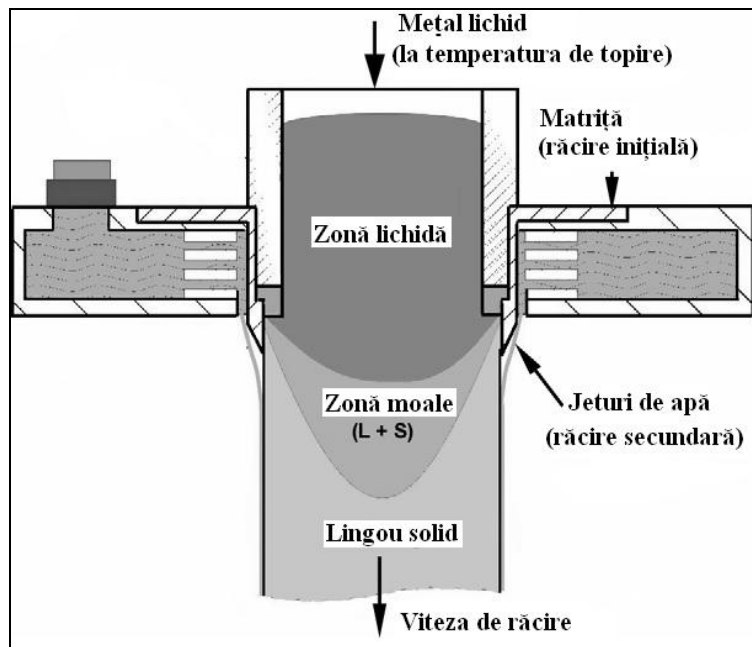


Fig.5.2.A. Solidificarea semifabricatului din aliaj de aluminiu

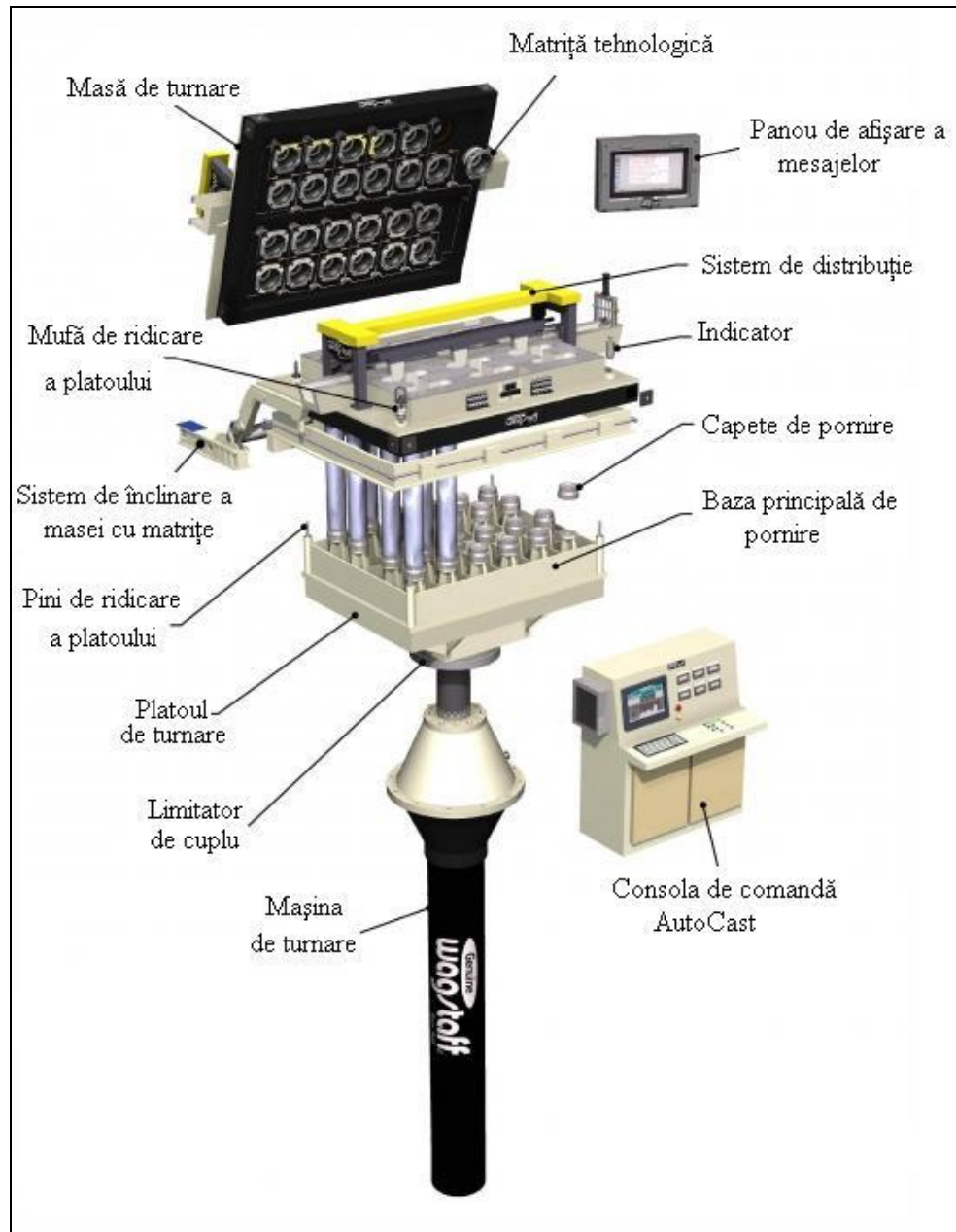


Fig.5.3.A. Sistemul Wagstaff de turnare a semifabricatelor din aliaj de aluminiu

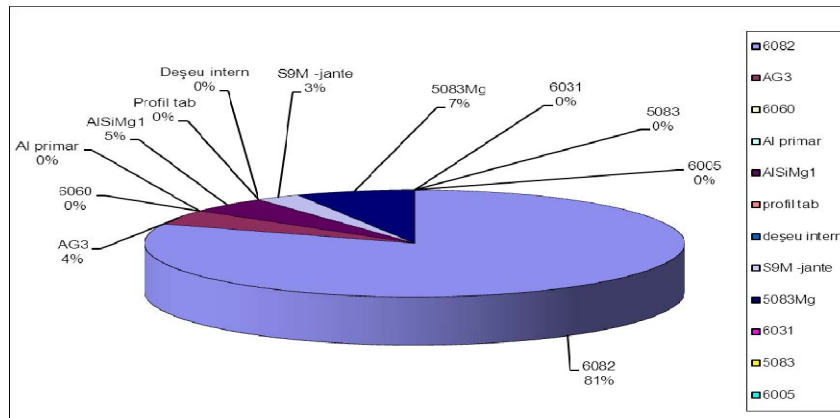


Fig.5.4.A. Structura încărcăturii pentru șarja 1

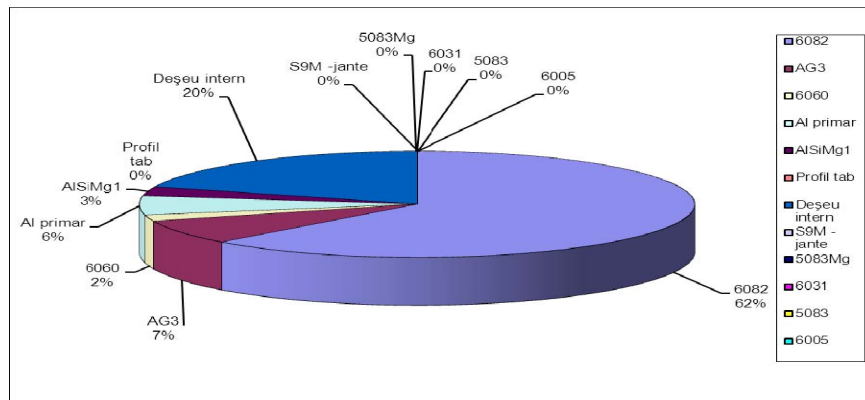


Fig.5.5.A. Structura încărcăturii pentru șarja 2

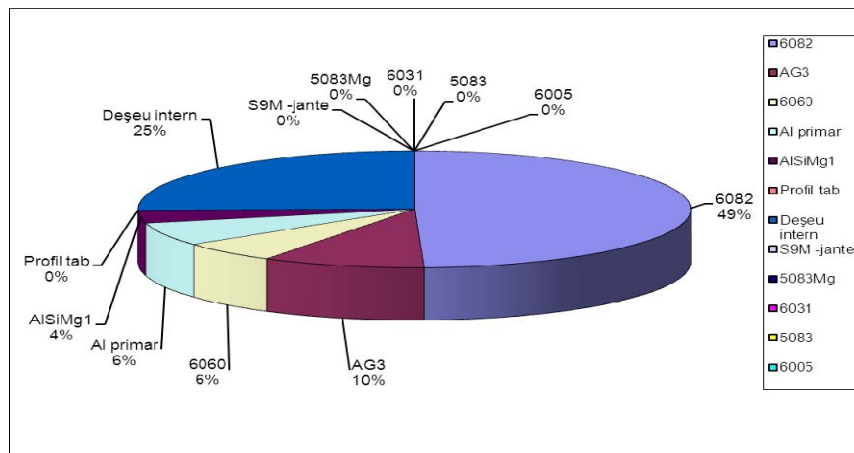


Fig.5.6.A. Structura încărcăturii pentru șarja 3

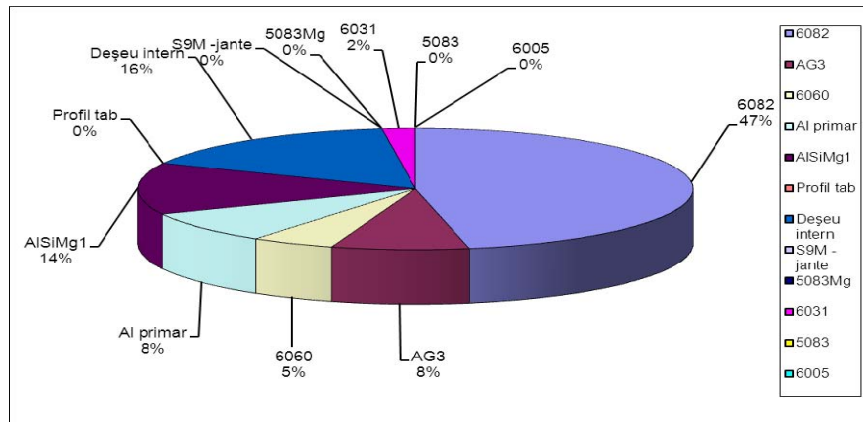


Fig.5.7.A. Structura încărcăturii pentru șarja 4

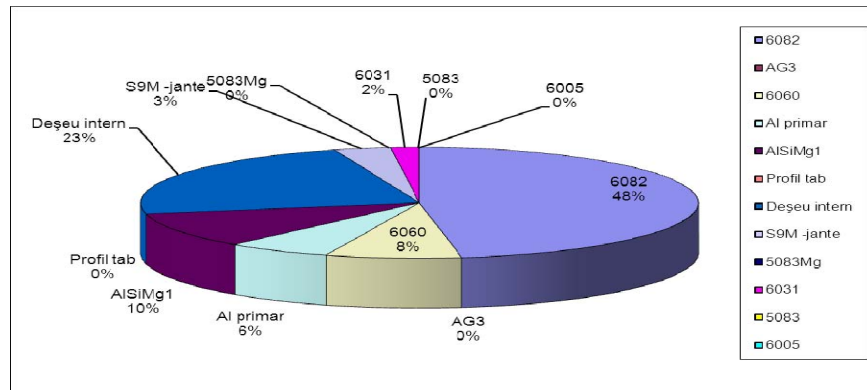


Fig.5.8.A. Structura încărcăturii pentru șarja 5

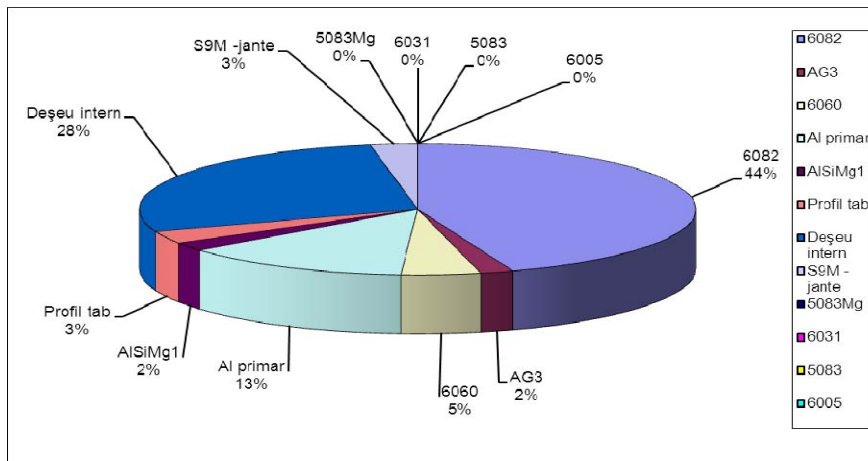


Fig.5.9.A. Structura încărcăturii pentru șarja 6

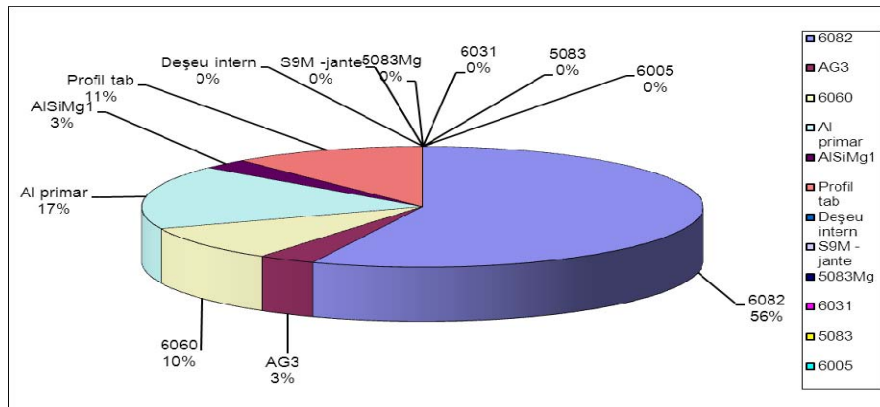


Fig.5.10.A. Structura încărcăturii pentru șarja 7

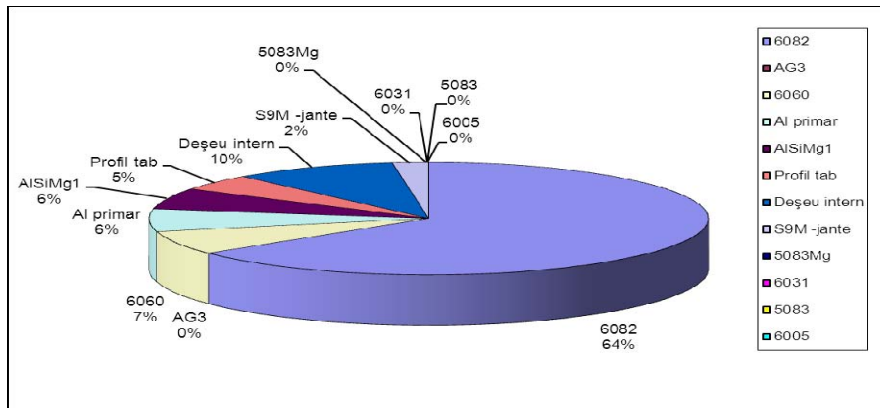


Fig.5.11.A. Structura încărcăturii pentru șarja 8

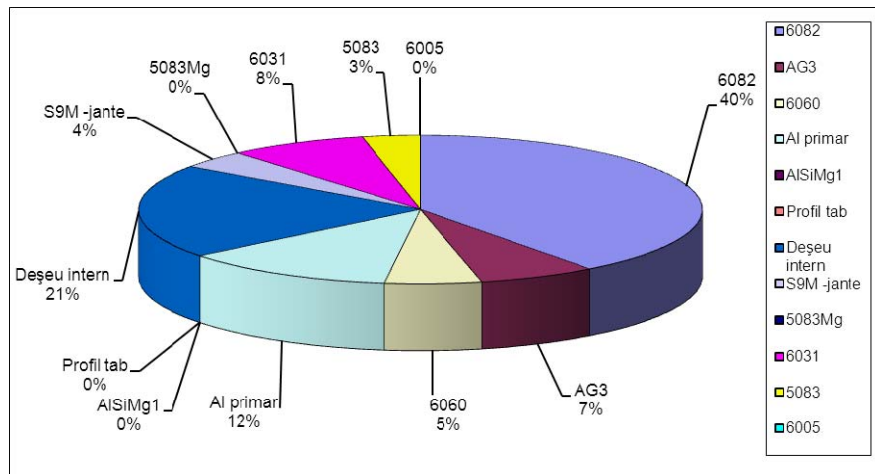


Fig.5.12.A. Structura încărcăturii pentru șarja 9

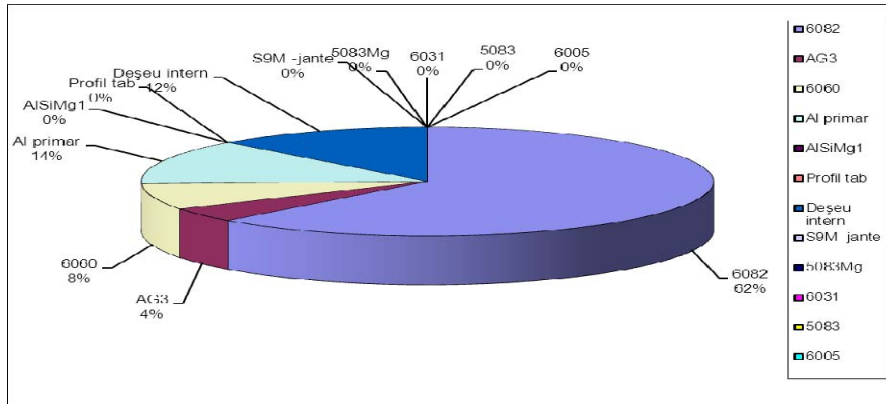


Fig.5.13.A. Structura încărcăturii pentru șarja 10

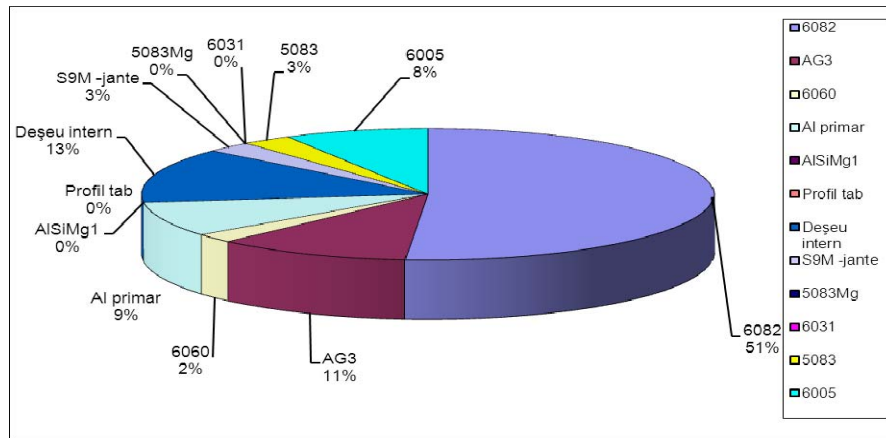


Fig.5.14.A. Structura încărcăturii pentru șarja 11

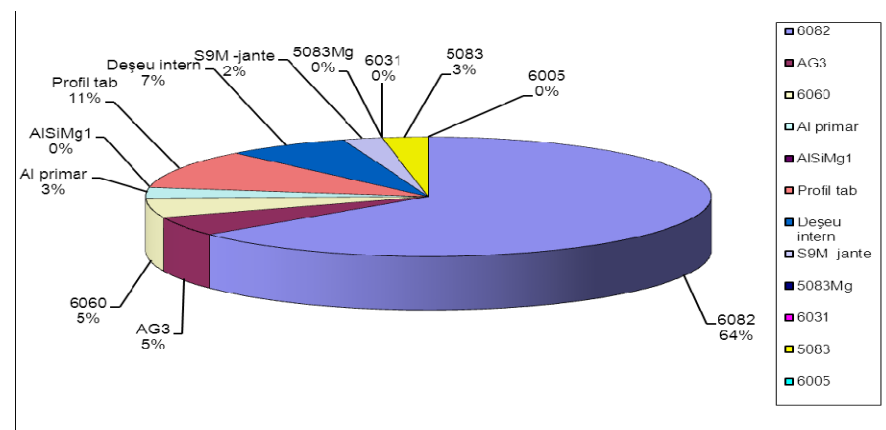


Fig.5.15.A. Structura încărcăturii pentru șarja 12

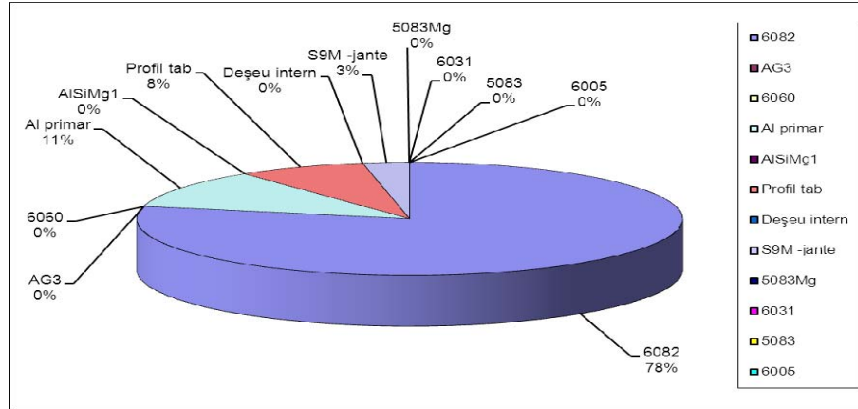


Fig.5.16.A. Structura încărcăturii pentru șarja 13

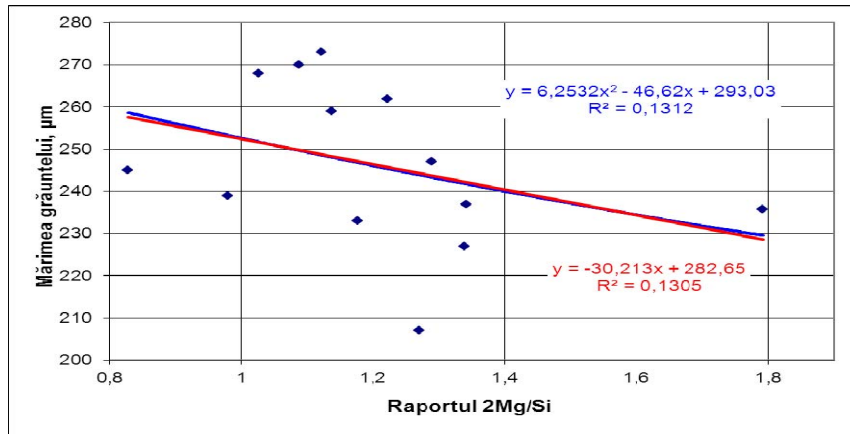


Fig.5.17.A. Variația mărimii grăunților măsurată în cuptor, în funcție de raportul 2Mg/Si

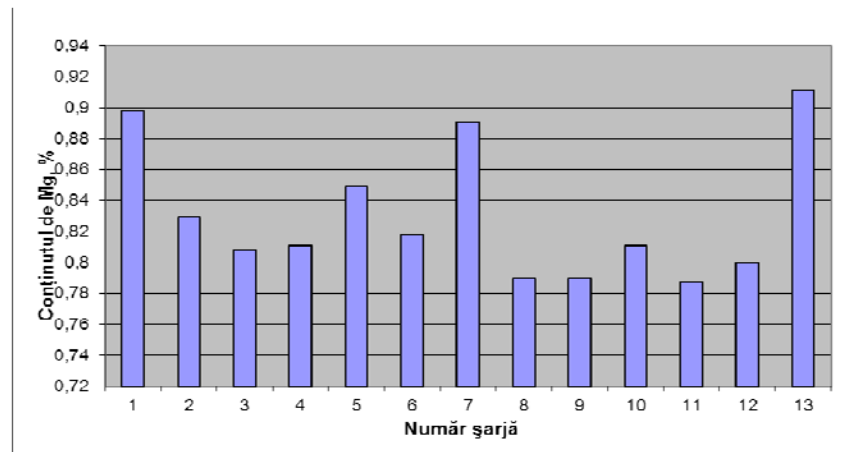


Fig. 5.18.A. Conținutul de Mg, în masă, pentru șarjele urmărite

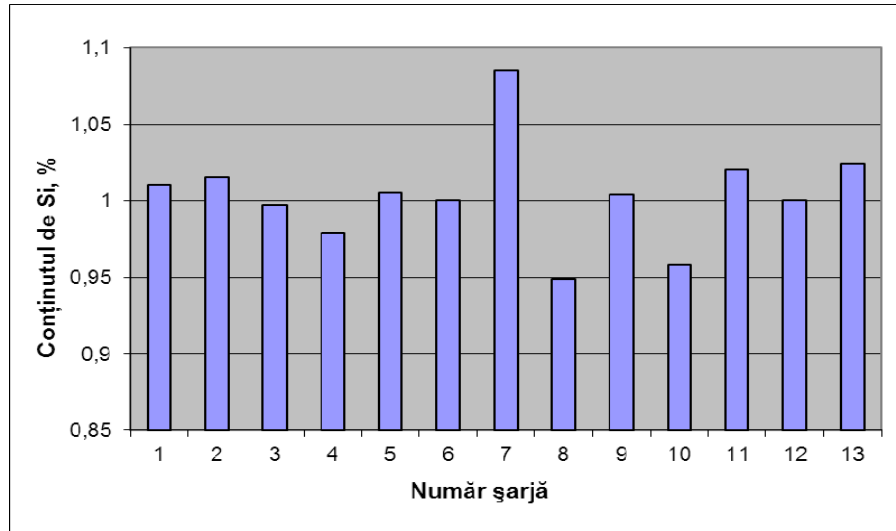
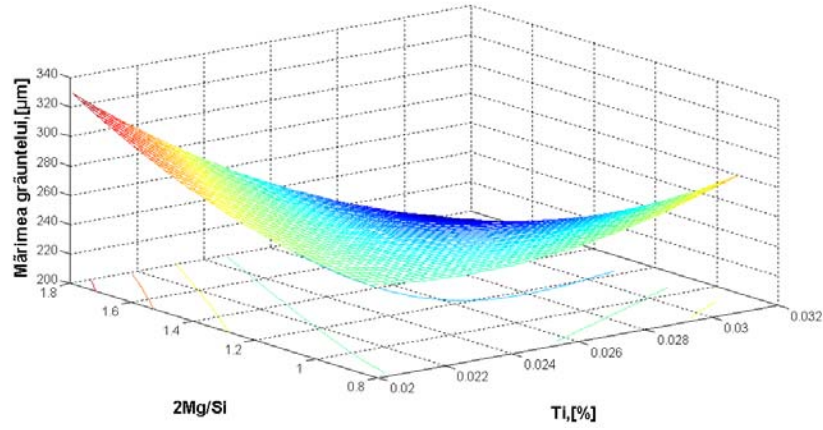
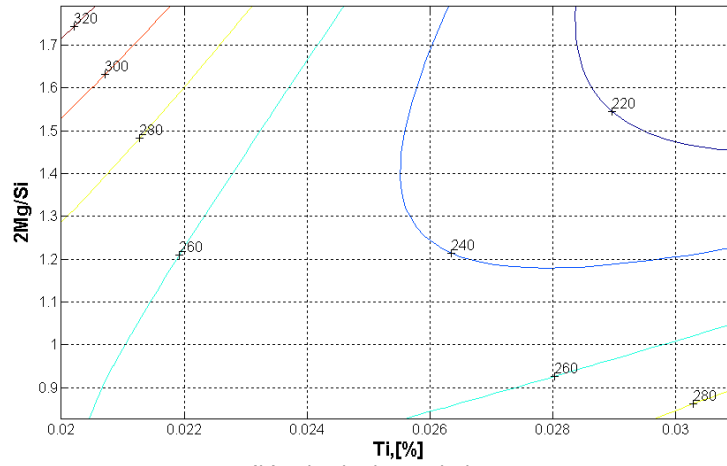


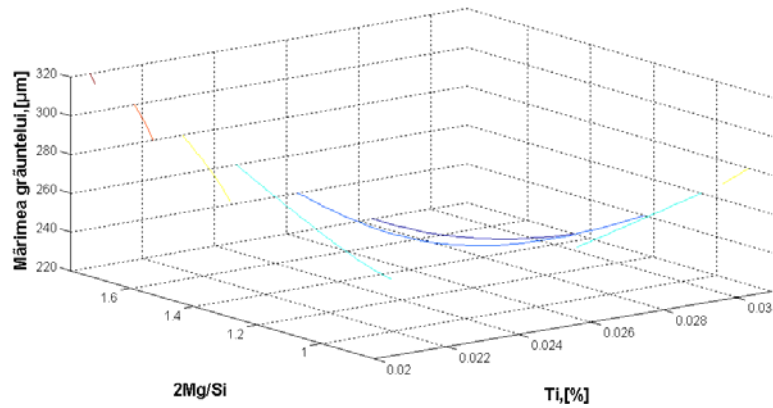
Fig.5.19.A. Conținutul de Si, în masă, pentru șarjele urmărite



(a) – suprafața de regresie

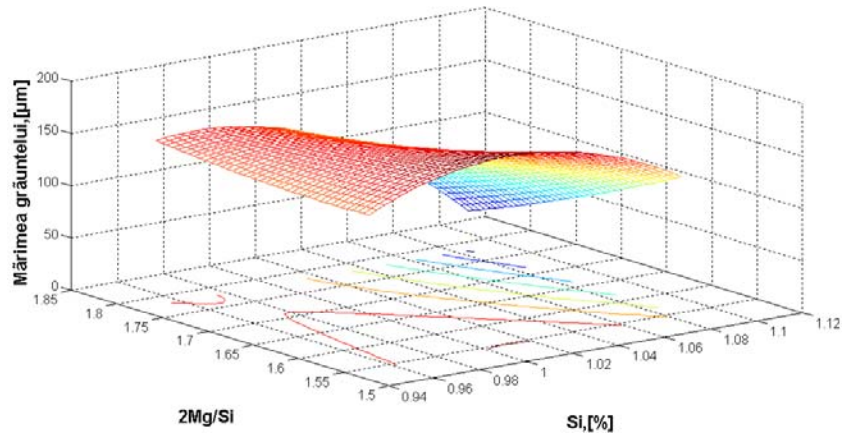


(b) – liniile de nivel plane

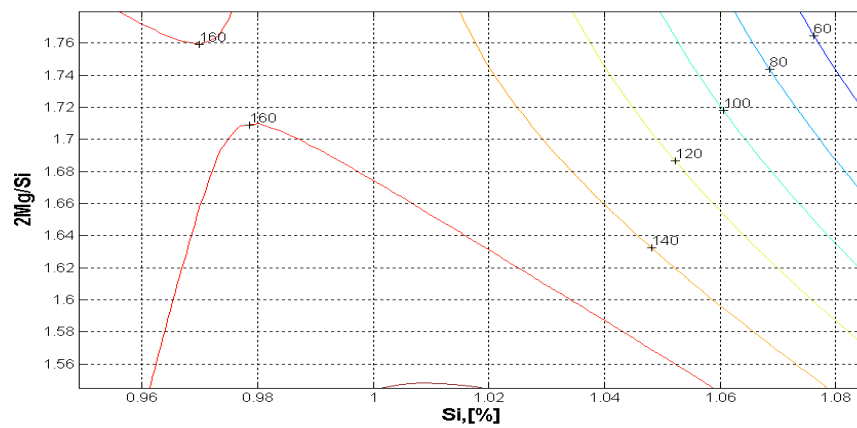


(c) – linii de nivel spațiale

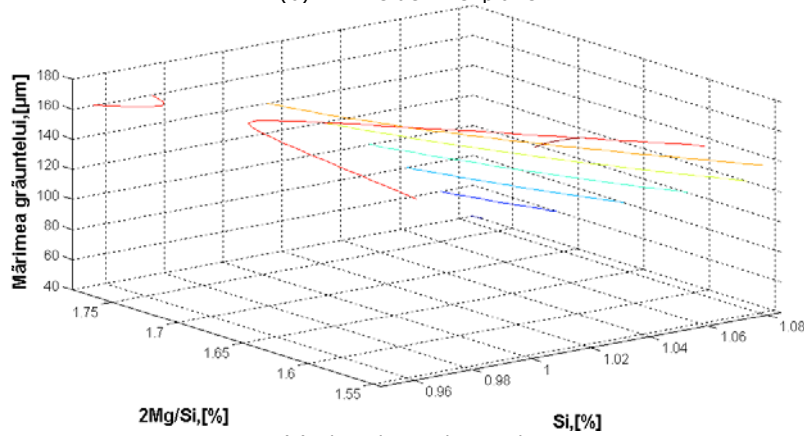
Fig.5.20.A. $MG_c = f(Ti, Mg_2Si)$, $Mg = Mg_{med}$, rel. (5.6)



(a) – suprafața de regresie

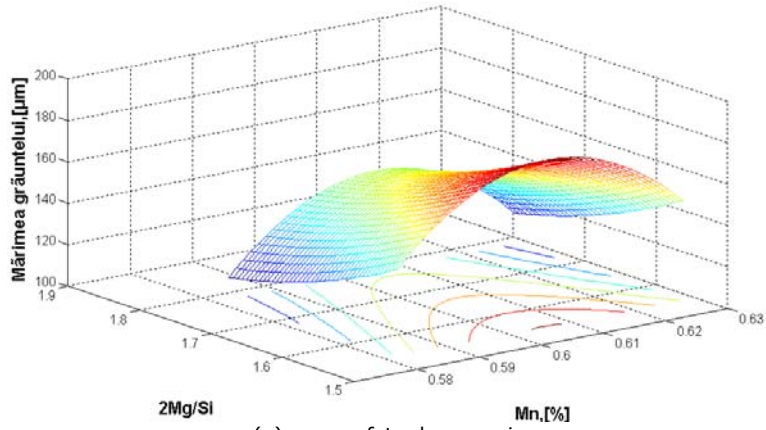


(b) – liniile de nivel plane

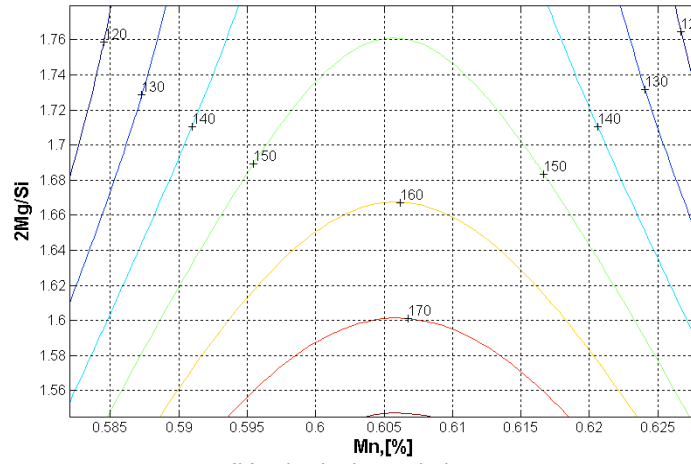


(c) – linii de nivel spațiale

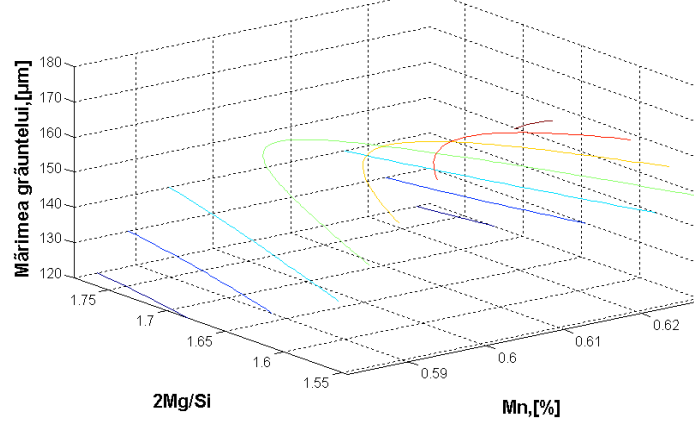
Fig.5.21.A. $MG_m = f(Si, Mg_2Si)$, $Mn = Mn_{med}$, rel. (5.10)



(a) – suprafața de regresie

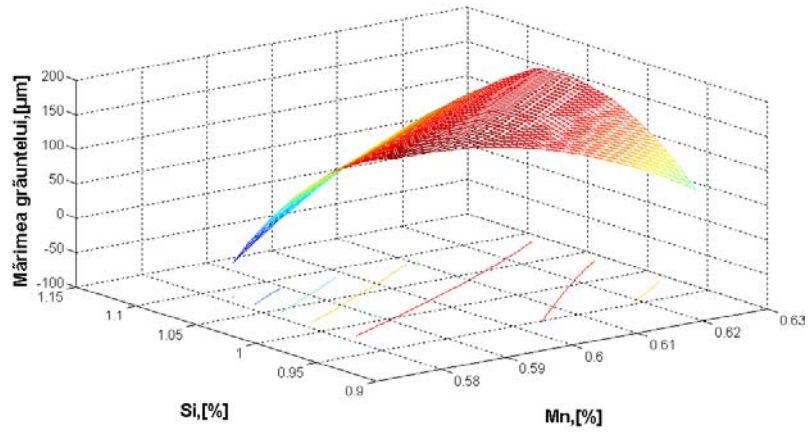


(b) – liniile de nivel plane

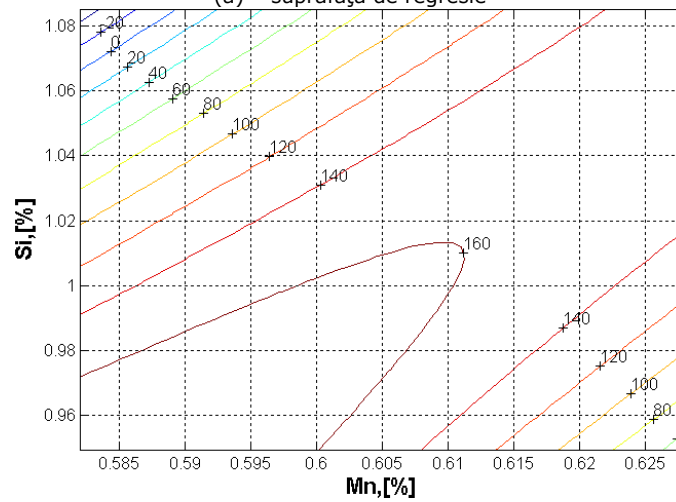


(c) – linii de nivel spațiale

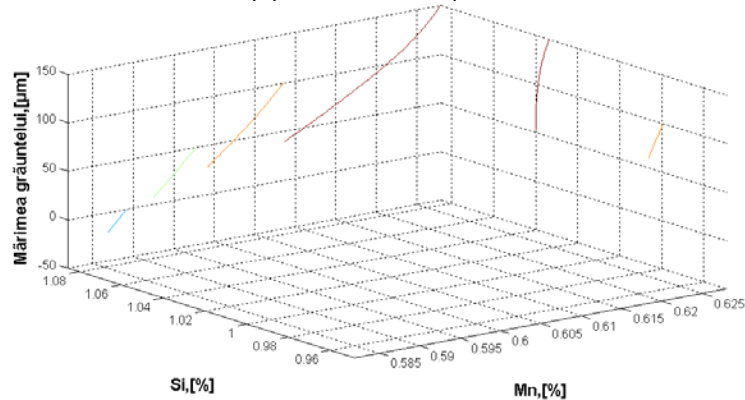
Fig.5.22.A. $MG_m = f(Mn, Mg_2Si), Si = Si_{med}$, rel. (5.11)



(a) - suprafața de regresie



(b) - liniile de nivel plane



(c) - linii de nivel spațiale

Fig.5.23.A. $MG_m = f(Mn, Si)$, $Mg_2Si = Mg_2Si_{med}$, rel. (5.12)

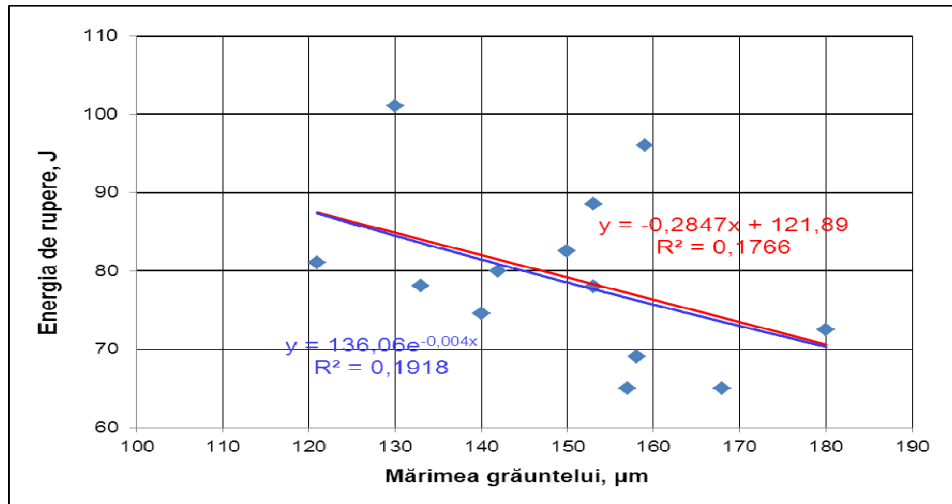


Fig.5.24.A. Variația energiei de rupere în funcție de mărimea grăuntelui

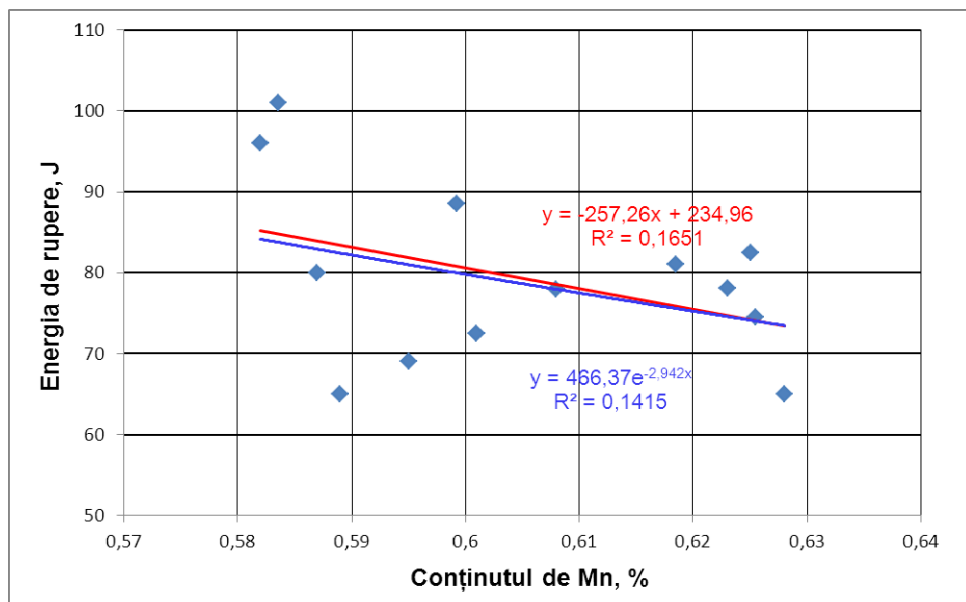
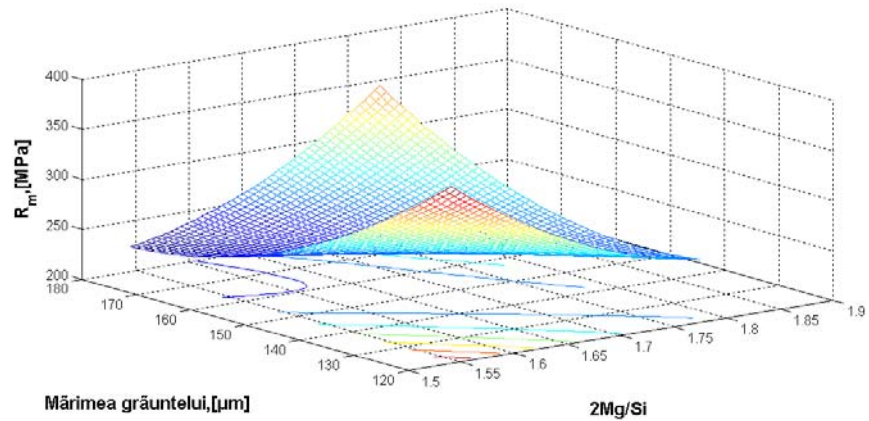
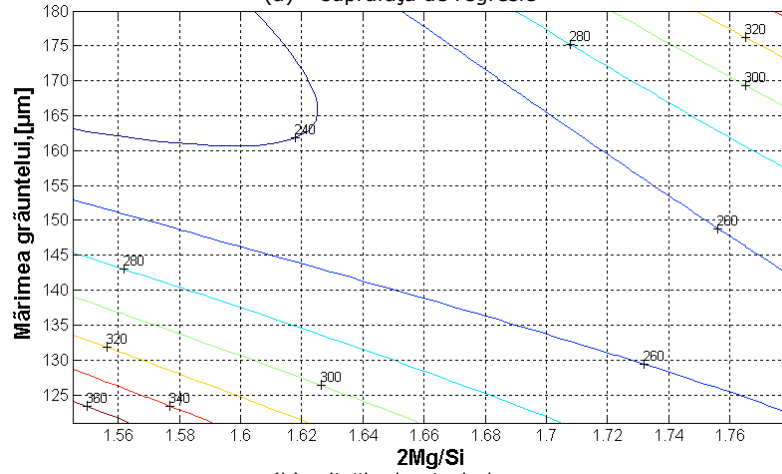


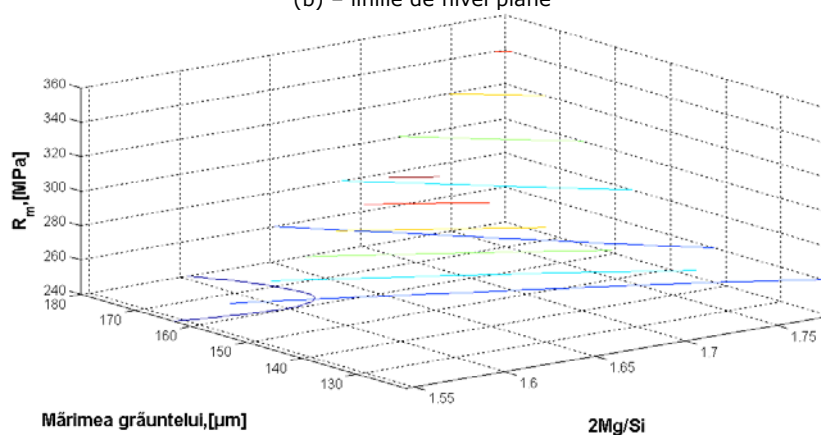
Fig.5.25.A. Variația energiei de rupere în funcție de conținutul de Mn

Mărimea grăuntelui, [μm] 2Mg/Si

(a) – suprafața de regresie

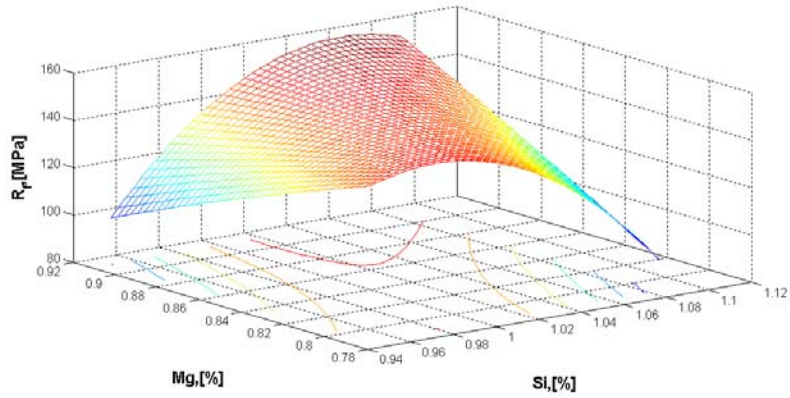
Mărimea grăuntelui, [μm] 2Mg/Si

(b) – liniile de nivel plane

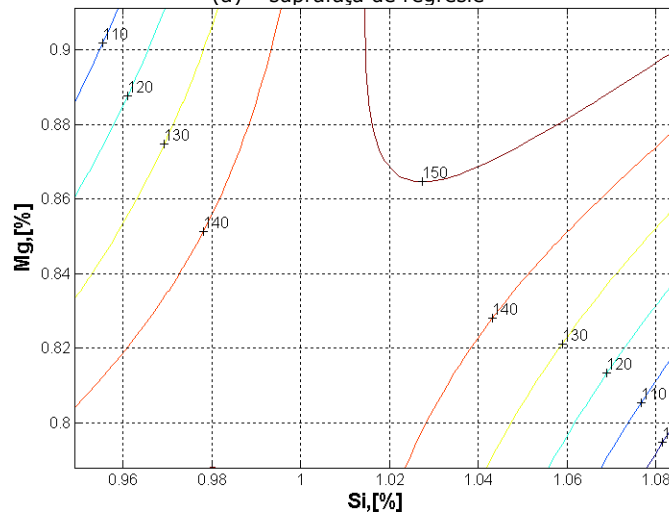
Mărimea grăuntelui, [μm] 2Mg/Si

(c) – linii de nivel spațiale

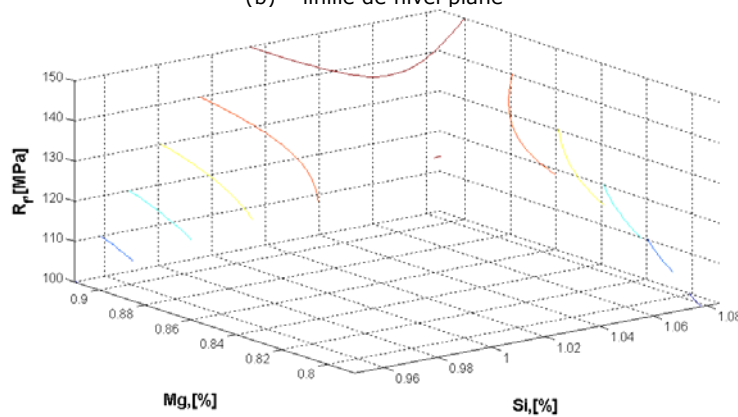
Fig.5.26.A. $R_m = f(2\text{Mg/Si}, \text{MG}_m)$, rel. (5.21)



(a) - suprafața de regresie

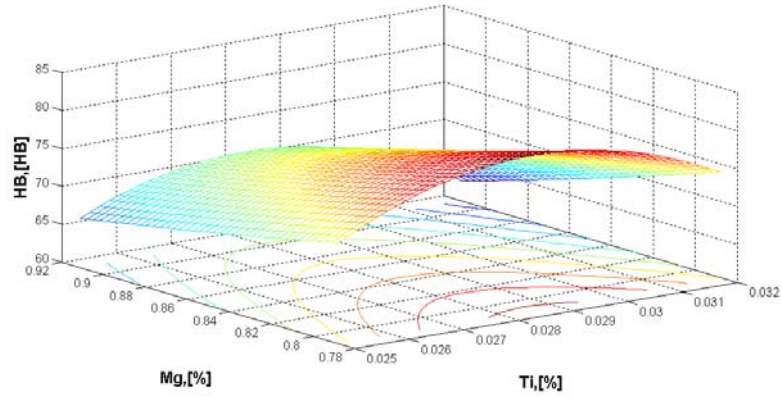


(b) - liniile de nivel plane

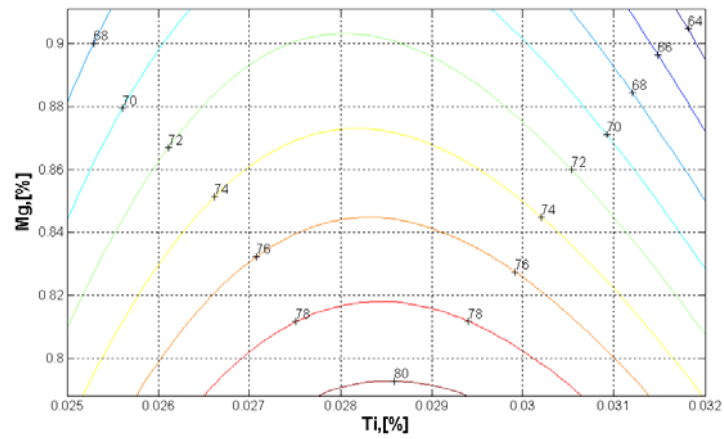


(c) -linii de nivel spațiale

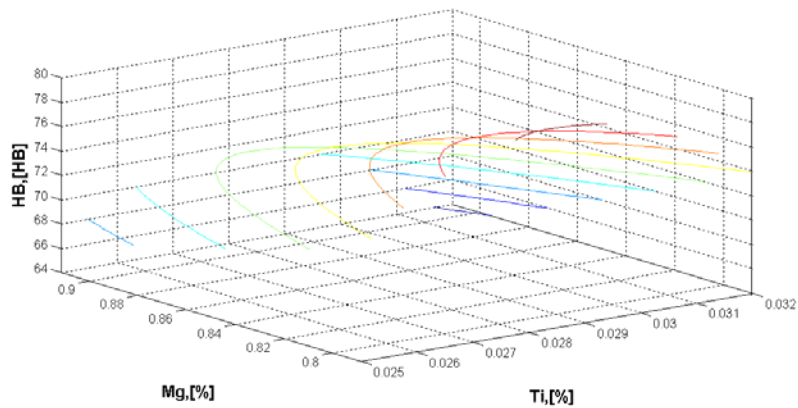
Fig.5.27.A. $R_f = f(Si, Mg)$, $Ti = Ti_{med}$, rel. (5.23)



(a) – suprafața de regresie



(b) – liniile de nivel plane



(c) – linii de nivel spațiale

Fig.5.28.A. $HB = f(Ti, Mg)$, $Si = Si_{med}$, rel. (5.35)

**Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT”
seria 11: Știința și Ingineria materialelor**

1. **Tihamér Bartiș** - *Noi pigmenți termorezistenți și comportarea lor în glazuri și coloranți ceramici, ISBN: 978-973-625-424-6, (2007);*
 2. **Radu Ioan Lazău** - *Studii asupra parametrilor care influențează culoarea glazurilor ceramice cu ioni tranziționali, ISBN: 978-973-625-520-5, (2007);*
.....
.....
 38. **Adina Păucă** – *Cercetări privind îmbunătățirea caracteristicilor cilindrilor de laminor și comportarea acestora în exploatare, ISBN: 978-606-554-760-5, (2014);*
 39. **Adela Susana Todoruț** - *Cercetări privind gestionarea și valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente, rezultate din industria de materiale, în contextul dezvoltării durabile a județului hunedoara, ISBN: 978-606-554-767-4, (2014);*
 40. **Maria Laura Strugariu** - *Cercetări privind valorificarea subproduselor rezultate de la epurarea apelor industriale, ISBN: 978-606-554-768-1, (2014);*
 41. **Victoria I. Haranguș** - *Contribuții privind creșterea gradului de siguranță și securitate în muncă la oțelăriile electrice, ISBN: 978-606-554-773-5, (2014);*
 42. **Liviu Viorel Pascu** - *Cercetări privind îmbunătățirea calității saboților de frână destinați materialului rulant, ISBN:978-606-554-905-0, (2015);*
 43. **Mihail V. Vătășescu** - *Contribuții privind creșterea nivelului de securitate și sănătate în muncă pe fluxul de procesare la cald a oțelului, ISBN:978-606-554-916-6, (2015);*
 44. **Nicoleta Bularda** - *Aliaje metalice utilizate pentru fabricarea jantelor destinate autovehiculelor rutiere, ISBN:978-606-554-917-3, (2015).*
-



EDITURA POLITEHNICA

Lista completă a tezelor publicate sub sigla Editurii Politehnica poate fi consultată
la adresa: <http://www.editurapolitehnica.upt.ro>