

**BORİK ASİT (H_3BO_3) KATKILI BİR AlSiCu ALAŞIMI
KAYMALI YATAK MALZEMESİNİN MEKANİK VE
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yusuf YAKUT

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet KAPLAN**

EYLÜL-2015

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BORİK ASİT (H_3BO_3) KATKILI BİR $AlSiCu$ ALAŞIMI KAYMALI
YATAK MALZEMESİNİN MEKANİK VE MİKROYAPI
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf YAKUT

(112122103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Eylül 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Ekim 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet KAPLAN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZDAMAR (O.M.Ü)

EKİM-2015

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yardım ve desteklerinden ötürü danışman hocam Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr Mehmet KAPLAN'a ve Gümüşhane Üniversitesinden Öğretim Görevlisi Selahattin BUDAK' a teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

Yusuf YAKUT
ELAZIĞ – 2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLOLAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Alüminyum ve Alaşımları	2
1.1.1. Alüminyum Üretimi	3
1.1.1.1. Alümina Üretimi.....	3
1.1.1.2. Alüminadan Alüminyum Üretimi.....	4
1.1.2. Alüminyumun Özellikleri.....	7
1.1.3. Alüminyum Alaşımları	8
1.1.4. Alüminyum Döküm Alaşımları	9
1.1.5. Otomotiv Sektöründe Alüminyum	10
1.2. Alüminyum Alaşımı ve Döküm	13
1.2.1. Döküm Yönteminin Üstünlükleri	13
1.2.2. Döküm Yönteminin Dezavantajları.....	14
1.2.3. Yolluklar.....	15
1.2.4. Çıkıcılar Besleyiciler	16
1.2.5. Maça	17
1.2.5.1. Maçadan Beklenen Özellikler	17
1.2.5.2. Maça Kumu ve Bağlayıcı	18
1.2.5.3. Maça Sandığı	19
1.2.5.4. Maça Üretimi.....	19
1.2.6. Kokil Kalıba Döküm	20
1.2.6.1. Kokil Kalıba Döküm Avantajları	20
1.2.6.2. Kokil Kalıba Döküm Dezavantajları	20

1.2.7.Kokil Kalıp	20
1.2.7.1. Kalıp Malzemesi.....	21
1.2.7.2. Kalıbın Tasarımı	21
1.2.7.3. Kalıbın ve Sandıkların İşlenmesi.....	22
1.2.7.4. Kalıp Ömrünü Etkileyen Faktörler	23
1.2.8. Ergitme İşlemi	23
1.2.9. Ergitme Ocakları.....	24
1.2.10. Gaz Alma İşlemi.....	25
1.2.11. Katılaşma.....	27
1.2.12. Yönlendirilmiş Katılaşma.....	29
1.2.13. Dökülmüş Parçaların Temzilik İşlemleri.....	29
1.2.14. Poteyaj	30
1.2.14.1. Cam Suyu	30
1.2.14.2. Kokil Dökümde Poteyajın Rolü	31
1.2.14.3. Poteyajınizolasyon Gücü	31
1.2.15. Dünya Döküm Sektörü	32
1.3. Bor ve Uygulama Alanları.....	34
1.3.1. Bor'un Tarihçesi	36
1.3.2. Bor'un Bazı Kullanım Alanları	37
1.3.3. Bor Minarelleri	38
1.3.4. Dünya Bor Üretim ve Rezerv Durumu.....	38
1.3.5. Borik Asit	41
1.3.5.1. Borik Asit Üretim Yöntemleri.....	41
1.3.5.1.1. Genel Bilgiler	41
1.3.5.1.2. Kolemanitten Borik Asit Üretimi	42
1.4. Yataklar	44
1.4.1. Kaymalı Yataklar.....	44
1.4.1.1. Enine (Radyal) Kaymalı Yataklar	45
1.4.1.1.1.Gövdesi Tek Parçalı Kaymalı Radyal Yataklar.....	45
1.4.1.1.2.Gövdesi İki Parçalı Kaymalı Radyal Yataklar	46
1.4.1.2. Boyuna (Aksiyal) Kaymalı Yataklar	46
1.4.1.3. Enine-Boyuna (Radyal-Aksiyal) Kaymalı Yataklar.....	46

1.4.2. Yuvarlanmalı Yataklar	47
1.4.3. Kaymalı Yatakların Yapısı	48
1.4.4. Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler	49
1.4.5. Yatak Malzemesi Çalışmaları.....	50
1.4.6. Yatakların Korunması	52
1.5. Aşınma.....	53
1.5.1. Aşınma Zaman İlişkisi.....	54
1.5.2. Aşınma Türleri.....	55
1.5.2.1. Adhezif Aşınma.....	55
1.5.2.2. Abrasif Aşınma.....	56
1.5.2.3. Yorulma Aşınması.....	57
1.5.2.4. Korozyon Aşınma	58
1.5.2.5. Erozyon Aşınması	59
1.5.2.6. Tabaka Aşınması	59
1.5.3. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	59
1.5.3.1. Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Olanlar.....	60
1.5.3.2. Karşı Elemana Bağlı Olanlar.....	60
1.5.3.3. Ortama Bağlı Olanlar	60
1.5.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri	61
1.5.4.1. Ağırlık Farkı Metodu.....	61
1.5.4.2. Kalınlık Ölçme Metodu	62
1.5.4.3. İz Değişiminin İzlenmesi Metodu	62
1.5.4.4. Radyo İzotoplarla Ölçme Metodu	62
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	63
2.1. DeneySEL Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	63
2.2. Yatak Malzemelerinin Üretimi	63
2.3. Sertlik Ölçme İşlemi.....	64
2.4. Yoğunluk Ölçme İşlemi	65
2.5. Aşınma Deneyi.....	65
2.6. Korozyon Deneyi	66
2.7. Mikroyapı İncelemeleri.....	66
2.8. X-Işını Kırınımı İncelemeleri.....	67

2.9. Termal Analiz İncelemeleri.....	68
3. SONUÇLAR.....	69
3.1. Deney Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri	69
3.2. Sertlik Ölçme Sonuçları.....	69
3.3. Yoğunluk Ölçme Sonuçları	70
3.4. Aşınma Deneyi Sonuçları	71
3.5. Korozyon Deneyi Sonuçları.....	79
3.6. Mikroyapı İncelemeleri.....	84
3.6.1. Optik Mikroskop İncelemeleri	84
3.6.2. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve EDX İncelemeleri	87
3.7. X-Işını Kırınımı Sonuçları	100
3.8. Termal Analiz Sonuçları	100
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ	111

ÖZET

Bu çalışmada döküm yolu ile elde edilen alüminyum alaşımı yatak ve kalıp malzemelerine içerisine borik asit ilavesi yapılarak mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Bor, doğada tüm canlıların yaşamlarını sürdürülebilmesi için vazgeçilmez elementlerin başında gelmektedir. Bilim ve teknolojiadaki hızlı gelişmeler neticesinde dünyada bor kullanımı her geçen gün hızla artmaktadır. Bor ve bileşiklerinin, makine ve metalürji sanayinde kullanımında katma değerinin çok yüksek olmasından dolayı günümüzün en stratejik madeni olmuştur.

Borun demir çelik üretiminde alaşım elementi olarak kullanımı dünyada oldukça yaygındır. Özellikle Rusya, Japonya, ABD ve Çin bu ülkelerin başında gelmektedir. Türkiye’de ise borun alaşım elementi olarak kullanımı düşük düzeydedir. Yapılan araştırmalarda ülkemizde borik asitin alüminyum esaslı alaşımlarına alaşım elementi olarak ilavesi ile ilgili yüksek lisans yada doktora çalışmalarına rastlanamamıştır. Bu çalışmada alüminyum alaşımlarına farklı oranlarda (ppm düzeyinde) borik asitin etkileri hakkında araştırma çalışmaları yapılarak malzeme bilimine olumlu katkılar sağlanabilmektedir.

Alüminyum alaşımlarından elde edilen kaymalı yatak malzemelerinde, alaşım elementi olarak kullanılacak olan borik asitin sertlik, mukavemet, aşınma, mikro yapı ve korozyon gibi özelliklerinin geliştirmesi üzerine çalışılmıştır.

Bu çalışma ile Türkiye’de üretilen bor ürünü (borik asit) için ilave bir pazar oluşturulması beklenmektedir. Dünya bor üretiminin %90’ ını Türkiye ve ABD gerçekleştirmektedir. Türkiye’de kolemanit, uleksit ve boraks mineralleri ve borik asit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, sodyum perboratmonohidrat ve susuz boraks ticari olarak üretilmekte ve üretimin büyük bir bölümü ihraç edilmektedir. Bu araştırma ile söz konusu ürünlerden borik asit ülke içerisinde ekonomik olarak bir miktar kullanılabilme imkânı bulacak ve bu şekilde bilimsel çalışmalara özgünlük katması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Borik asit, Alüminyum alaşımı, Mekanik özellikler, Mikro yapı

SUMMARY

Investigation of The Boric Acid (H_3BO_3) Doped a AlSi Alloy Journal Bearing

Material of Microstructure And Mechanical Properties

It is aimed to improve mechanical specifications of aluminum alloy bed and cast materials, produced through casting, by adding boric acid in its alloy.

Boron is one of the irreplaceable element for all creatures in nature in order to maintain one's life. As a result of rapid improvements in science and technology, usage of boron increasing rapidly in the world day by day. Boron have become one of the most strategic metal recently because boron and its compounds which used in mechanical and metallurgy industry is very high value-added. Boron is used quite widespread in the world as alloy element in iron steel production. Especially Russia, Japan, USA and China are the primary of these countries. In Turkey, usage of boron as alloy element is very low level. It hasn't able to found any doctorate and post graduate study related to adding boric acid to aluminum alloy as alloy element in our country. This study will provide positive contributions to material science by researching effect of boric acid to aluminum alloys in different rate of ppm level.

It will be worked on Boric acid, which will use as alloy element, and be improved it's specifications such as hardness, strength, abrasion, micro structure and corrosion, for Bed and cast materials obtained from aluminum alloys.

With this study, a big market will be able to generated for boron product (boric acid) produced in Turkey. %90 of boron world production is carried out in Turkey and USA. Colemanite, ulexite, borax minerals, boric acid, borax dehydrate, borax pentahydrate, sodium perborate monohydrate and dehydrated borax produce as commercial and majority of the production is exported. With this project, boric acid will find opportunity as use economically in our country and add originality to the scientific works.

Keywords: Boric acid, Aluminum alloy, Mechanical specifications, Micro structure

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.Alümina eldesi şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.2.Alüminadan alüminyum eldesinin şematik gösterimi.....	5
Şekil 1.3.Alüminyum imalatında elektroliz prosesi.	6
Şekil 1.4.Ana alüminyum alaşımları.	9
Şekil 1.5.Alüminyum extrüzyon ürünlerinin dağılımı.	11
Şekil 1.6.Alüminyum hadde ürünlerinin dağılımı.....	11
Şekil 1.7.Alüminyum döküm ürünlerinin dağılımı	12
Şekil 1.8.Otomotivde üretim tekniğine göre alüminyum	13
Şekil 1.9Dökümün temel tanımları.	14
Şekil 1.10.Yolluk sistemi şematik gösterimi.....	16
Şekil 1.11.Çıkıcı ve besleyici gösterimi.....	16
Şekil 1.12.Maça kullanım örnekleri.	17
Şekil 1.13.Atmosferik basınçta alüminyum ve magnezyum içinde hidrojen çözünürlüğü.....	26
Şekil 1.14.Alüminyum katılaşma aşamaları.....	28
Şekil 1.15.Dentrit görünümü.....	28
Şekil 1.16.Katılaşmanın yönlendirilmesi.	29
Şekil 1.17.Bor'un periyodik cetveldeki yeri.....	34
Şekil 1.18.Bor Ürünlerinin Toplam Satışlarının sektörel (%) dağılımı	38
Şekil 1.19.Bor Ürünlerinin Yurt içi Satışlarının sektörel (%) dağılımı.	38
Şekil 1.20.Ülkelerin bor üretimini su anki hızlarıyla sürdürmeleri durumundaki bor rezerv ömürleri	39
Şekil 1.21.Radyal kaymalı yatak ve yatak yükü değişimi.....	45
Şekil 1.22.Aksiyal kaymalı yatak görüntüsü.....	46
Şekil 1.23.Rulmanlı yatağın genel görünümü	47
Şekil 1.24.Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri	54
Şekil 1.25.Aşınmanın zamana bağlı değişimi	55
Şekil 1.26.Abrasiv aşınma şeması.....	57
Şekil 1.27.Korozif aşınma şeması	58

Sayfa No

Şekil 2.1. Döküm makinesi basit bir tasarımı ve numuneler.....	64
Şekil 2.2. Aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü	65
Şekil 2.3. Taramalı elektron mikroskobu	67
Şekil 2.4. X-ışını difraktometre cihazı.	68
Şekil 3.1. Borik asit oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları.	70
Şekil 3.2. Borik asit oranına bağlı yoğunluk ölçüm sonuçları.	70
Şekil 3.3. Borik asit oranına bağlı aşınma deneyi sonuçları.	71
Şekil 3.4. Deney numunelerinde aşınma ile meydana gelen hacim kaybının yola göre değişimi.	72
Şekil 3.5. NR numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi.	73
Şekil 3.6. NR numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü.	73
Şekil 3.7. N1 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi.	74
Şekil 3.8. N1 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü.	74
Şekil 3.9. N2 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi.	75
Şekil 3.10. N2 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü.	75
Şekil 3.11. N3 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi.	76
Şekil 3.12. N3 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü.	76
Şekil 3.13. N4 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi.	77
Şekil 3.14. N4 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü.	77

Sayfa No

Şekil 3.15. N5 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi.	78
Şekil 3.16. N5 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü.	78
Şekil 3.17. Alaşımların borik asit miktarına bağlı korozyon aşınma deneyi sonuçları.....	79
Şekil 3.18. Alaşımlarda korozyon aşınması ile meydana gelen kütle kaybının zamana göre değişimi.	79
Şekil 3.19. Alaşımlarda korozyon aşınması etkisinin zamana bağlı kütle değişimleri.	80
Şekil 3.20. NR numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi.	81
Şekil 3.21. N1 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi.....	81
Şekil 3.22. N2 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi.....	82
Şekil 3.23. N3 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi.....	82
Şekil 3.24. N4 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi.....	83
Şekil 3.25. N5 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi.....	83
Şekil 3.26. NR numunesinin optik mikroskop resmi.	84
Şekil 3.27. N1 numunesinin optik mikroskop resmi.	85
Şekil 3.28. N2 numunesinin optik mikroskop resmi.	85
Şekil 3.29. N3 numunesinin optik mikroskop resmi.	86
Şekil 3.30. N4 numunesinin optik mikroskop resmi.	86
Şekil 3.31. N5 numunesinin optik mikroskop resmi.	87
Şekil 3.32. NR numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500.....	88
Şekil 3.33. NR numunesinin EDX analiz sonuçları.	89
Şekil 3.34. N1 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500.	90
Şekil 3.35. N1 numunesinin EDX analiz sonuçları.....	91
Şekil 3.36. N2 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500.	92
Şekil 3.37. N2 numunesinin EDX analiz sonuçları.....	93
Şekil 3.38. N3 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500.	94
Şekil 3.39. N3 numunesinin EDX analiz sonuçları.....	95
Şekil 3.40. N4 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500.	96

Sayfa No

Şekil 3.41. N4 numunesinin EDX analiz sonuçları.....	97
Şekil 3.42. N5 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500.	98
Şekil 3.43. N5 numunesinin EDX analiz sonuçları.....	99
Şekil 3.44. Üretilen numunelerin XRD analiz grafikleri.....	100
Şekil 3.45. Üretilen numunelerin DSC eğrileri.	101
Şekil 3.46. NR numunesinin DSC eğrisi.....	102
Şekil 3.47. N1 numunesinin DSC eğrisi.	102
Şekil 3.48. N2 numunesinin DSC eğrisi.	103
Şekil 3.49. N3 numunesinin DSC eğrisi.	103
Şekil 3.50. N4 numunesinin DSC eğrisi.	104
Şekil 3.51. N5 numunesinin DSC eğrisi.	104

TABLOLİSTESİ

Sayfa No

Tablo1.1. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması.....	8
Tablo1.2. Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri.....	9
Tablo1.3. Bazı ülkelerin yıllara göre alüminyum üretimleri.....	10
Tablo1.4. Araçlarda kullanılan bazı alüminyum parçalar ve bunların şekillendirme yöntemleri.	12
Tablo1.5. Ülkelerin Dökümhane sayıları.	33
Tablo1.6. Bor'un atomik yapısı.....	34
Tablo1.7. Bor'un kimyasal özellikleri.....	35
Tablo1.8. Bor'un fiziksel özellikleri	36
Tablo1.9. Dünya bor tüketiminin sektörlere göre dağılımı	37
Tablo1.10. 2008 yılı Dünya Bor Üretiminin Bölgesel Dağılımı.	39
Tablo1.11. Bor Rezervlerinin Ülkelere Göre Dağılımı.	40
Tablo1.12. Türkiye Bor Rezervlerinin Maden Sahalarına Göre Dağılımı.	40
Tablo2.1. Deney numunelerinde kullanılan borik asit oranları.	63
Tablo3.1. Referans numunenin kimyasal bileşimi.	69

1. GİRİŞ

Günümüzde uzay, uçak ve otomotiv endüstrileri gibi yeni nesil teknoloji alanlarında kullanılarak hafif, üstün ve çeşitli özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Malzemeciler, hayatımızı kolaylaştıracak üstün özellikler içeren ve daha ergonomik malzeme arayışı içerisine girmişlerdir (Akbulut, 1995).

Bunun sonucu olarak; hafif mukavemetli ve aşınma dayanımları yüksek malzemelere olan ilgi artmıştır. Bu anlamda, teknolojinin gelişmesiyle kompozitlere olan ilgi bu malzemelerin gösterdikleri iyi aşınma direnci, yüksek yük taşıyabilme kapasitesi ve düşük ağırlık özelliklerinden dolayı son 25 yılda hızla yükselmiştir (Muradoğlu, 1999).

Malzeme bilimi alanında, yüksek aşınma direnci, yüksek dayanım/yoğunluk, iyi korozyon dayanımı sergileyen hafif malzemelerin geliştirilmesi için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Önemli endüstri dallarından otomotiv, elektronik, spor, havacılık ve uzay gibi uygulama alanlarında malzeme performansının artırılmasına yönelik özellikler önem kazanmaktadır (Durmuş, Uzun ve Şahin, 2011).

Tek başına dünya Bor rezervlerinin yaklaşık %70'ini elinde bulunduran ülkemiz, bu cevherlerin değerlendirilmesinde yetersiz durumdadır. Birçok bilim adamının "21. yüzyılın petrolü" olarak tanımladığı ve uzay teknolojisinden, bilişim sektörüne, metalürjiden nükleer teknolojiye kadar daha sayamadığımız pek çok sanayi dalında kullanılan Bor mineralleri ülkemizin elinde bulunan en stratejik varlık konumundadır (Çınk, 2001).

Makine ve metalürji sanayinde bor ve bileşiklerinin kullanımı incelenmiştir. Bor ve bileşiklerinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları detaylı olarak araştırılmıştır. Alaşım elementi olarak bor ve bileşiklerinin kullanımı yaygındır. Bor ve bileşikleri malzemelerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve metalurjik özelliklerini olumlu yönde arttırdığı tespit edilmiştir. Borlama işlemi ile de malzemelerin yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek korozyon direnci gibi özellikler kazanmaktadır. Bor ve bileşiklerinin makine ve metalürji sanayinde yaygın olarak kullanılması için, örnekleri ile birlikte öneriler sunulmuştur. Sonuç olarak, dünya bor ve bileşikleri rezervlerinin yaklaşık %72'si Türkiye de bulunduğundan bu kaynağın katma değere dönüşümü için kamu ve özel sektöre tavsiyelerde bulunulmuştur (Çahk, 2004).

Bor ve bileşiklerinin, metalik malzemelere sağladığı yararları yüksek ısıya dayanım, yüksek mukavemete, yüksek manyetik geçirgenlik, yüksek elastiklik, yüksek yüzey koruma, yüksek kronojik sıcaklığa dayanım, yüksek iletkenlik, yüksek aşınma ve korozyona dayanım, yüksek ısı transferi, yüksek soğurma, yüksek yapışma ve tutunma gibi özellikleri kazandırmaktadır (Duman, 2003).

Malzeme bilimi alanında en önemli özellikleri kendi bünyesinde bulunduran mühendislik malzemelerinden birisi de alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının en önemli avantajları kolay işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğidir. Ayrıca alüminyum ve alaşımları, düşük sertlik ve aşınma direncine sahip olmasına rağmen bu malzemeler endüstrilerde özellikle tribolojik uygulamalarda, demir ve çelikten sonra en fazla kullanılan mühendislik malzemesidir (Gavgali, Totik ve Sadeler , 2003) .

Yukarıda belirtilen literatür araştırmalarından da anlaşıldığı üzere alüminyum döküm alaşımlarının genel ve ortak özellikleri, dökülebilme yeteneklerinin yüksek oluşlarıdır. Bu alaşım grupları hem döküm özellikleri hem de diğer özellikler bakımından kendi aralarında da önemli farklılıklar göstermektedirler. Genel döküm özelliklerinin iyi olması ise, ötektik bölgesi alaşımlarının bilinen katılaşma davranışları ve düşük ergime sıcaklıkları ile ilgilidir. Bu sayede karmaşık şekilli parçaların boşluksuz ve gözeneksiz dökümü sağlanır. Borik asit katkılı alüminyum alaşımına uygulanacak olan deney parametrelerinin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkisinin araştırılması endüstriyel uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabilecek parçaların üretimi bakımından önemli olduğu düşünülmektedir.

1.1. Alüminyum ve Alaşımları

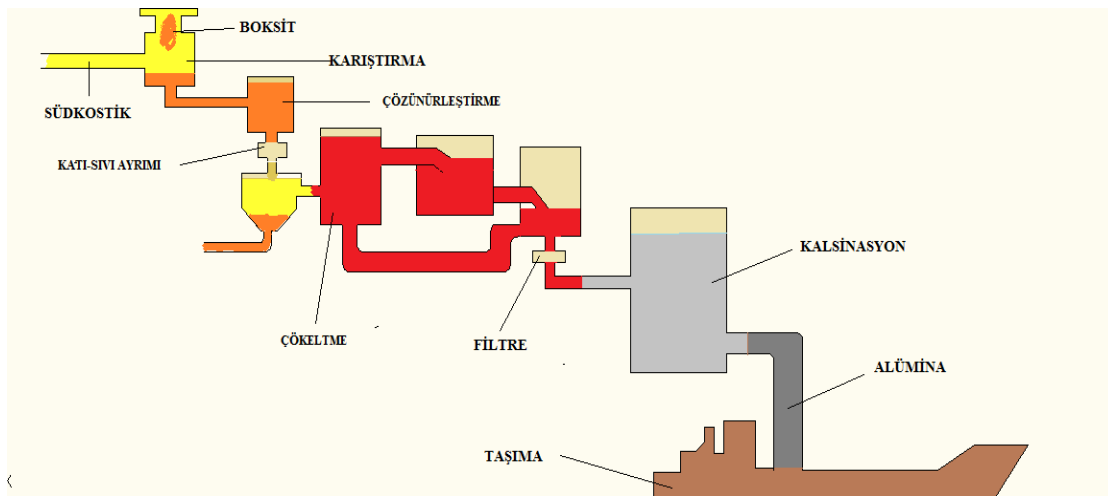
Alüminyum, demir ve çelikten sonra en çok kullanılan metallere dendir. 20. yüzyılın başlarında dünyada alüminyum üretimi yaklaşık 170.000 ton iken, 21.yüzyıla doğru 17.5 milyon tona ulaşmıştır. Demir dışındaki metallere alüminyumun üretimi ve tüketimindeki yüksek artış hızının nedeni alüminyum metalinin özelliklerindendir. Bu özellikler düşük yoğunluk, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, ışığı ve ısıyı yansıtıcılığı, sıcak ve soğuk şekil alabilmesi, farklı dayanım oranları, tekrar kullanılabilmek gibi belirgin özellikler ve fiyatının da 1974'lü yıllara dek diğer rakip metallere göre daha az oranda artmış olmasıdır (IAI, 2010).

Tüm dünya için alüminyum ve alaşımları büyük ticari değeri olan ve büyük miktarlarda üretilen malzeme haline gelmektedir. Alüminyum metalinin uçak ve otomotiv sanayinde üstün rol alması “stratejik” bir metal olarak görülmesini sağlamıştır. Alüminyum ve oluşturulan alaşım türleri imalat sanayisinde, tarım, inşaat, kimya, gıda, ulaştırma, elektrik ve elektronik gibi sektörler içerisinde giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Ülke sanayisi için alüminyum sanayii çok yeni olmasına rağmen, alüminyum ürünlerine olan rağbet ve buna bağlı olarak yurtiçinde işlenen alüminyum ürünlerinin miktarı hızlı artış göstermektedir (TMMOB,2003).

1.1.1. Alüminyum Üretimi

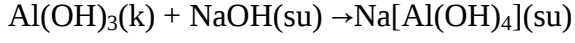
1.1.1.1. Alümina üretimi

Alüminyum, dünya genel olarak aynı yöntem ile elde etmektedir. Alüminyum elde etmek iki aşamadan meydana gelir. İlk olarak “Bayer Metodu” ile boksit cevherinden alümina üretimi gerçekleşir. Sonra ise elektroliz ile alüminadan alüminyumun eldesi sağlanır. Alüminanın tesis yerleri genel olarak boksit cevherlerine yakın kurulmaktadır. Madende çıkan boksit cevherleri, sudkostik (kostik soda, NaOH) eriyik malzeme ile karıştırılarak edilerek alüminyum hidroksit oluşumu gerçekleştirilir. İşlemin sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile "alümina" (alüminyum oksit) eldesi sağlanır. Şekil1.1’de alümina eldesinin şematik gösterimi verilmiştir.



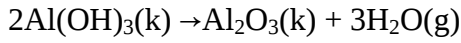
Şekil 1.1. Alümina üretimi şematik gösterimi

Boksit içindeki mineral cinsine göre 155-245°C de ve 11-31atm.basınç altında ve değişen NaOH konsantrasyonlarında otoklavda işlenir. Cevherdeki alüminyum,



reaksiyonuna göre sodyum aluminat şeklindeki çözeltiye eklenir. Boksitin otoklavlardaki basınç altında çözündürüldükten sonra katı-sıvı ayrımı için filtre aşamasına geçilecektir. Bu kademe ise kırmızı çamur adı verilen atık maddenin ayrıştırılmasını sağlar, çözelti yaklaşık 60°C sıcaklığa kadar soğutulur ve çöktürme tanklarına iletilir.

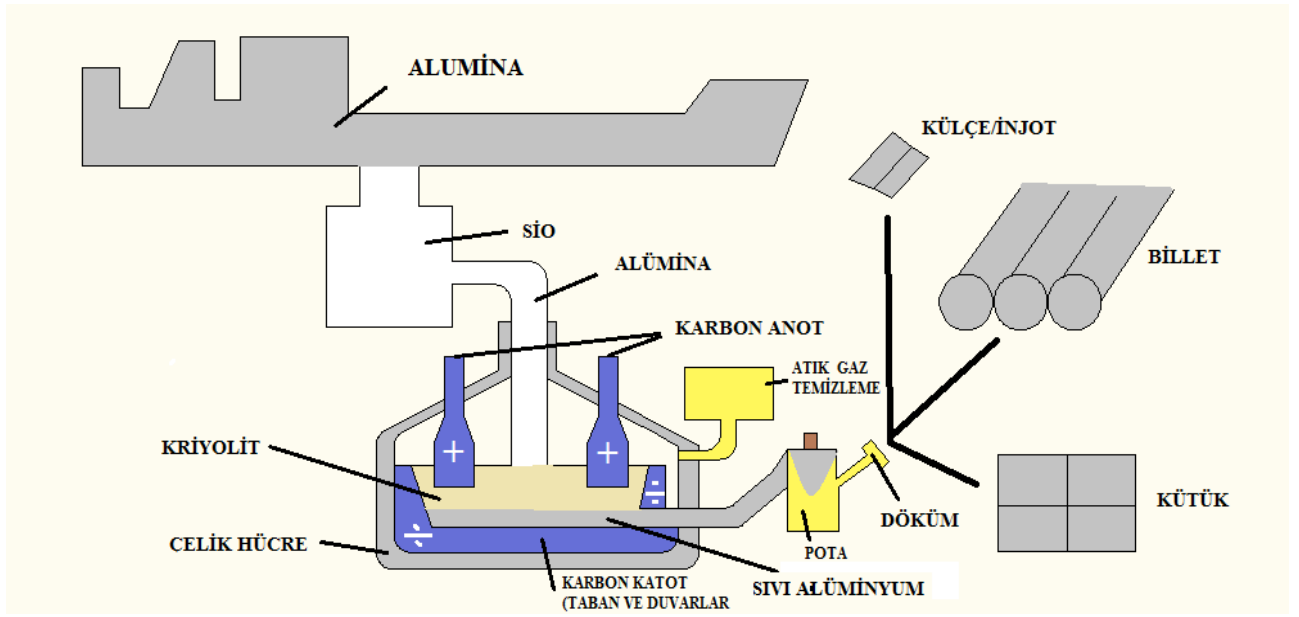
3000 m³büyüklüğüne kadar yapılabilen çökeltme tanklarında çözelti devamlı karıştırılarak ve Al(OH)₃çöktürülmesi sağlanır. Çöktürme hızı aşılama madde yapısının ve özellikle ilave edilen miktarın bir fonksiyonu olmaktadır. Toplam çöktürme işlemi 30 ila 70 saat içinde tamamlanır. Çöktürme işlemi ile elde edilen Al(OH)₃termik ayrışma işlemine tabi tutulur, yani kalsinasyonla alüminaya(Al₂O₃) dönüştürülmektedir.



Kalsinasyon işlemi klasik olarak sıvı yakıt veya doğal gaz ile ısıtılan döner fırınlarda 1200-1250°C de gerçekleştirilmektedir. Kalsinasyon sonucu elde edilen ürün alümina olur. Bu arada elde edilen ürünün yaklaşık %50'si bacaya gider. 250-300°C sıcaklıklarda multisiklonlarda (toz tutucu) katı parçacıklar geri kazanılarak verim %95-98 miktarına yükseltilebilir (Beeley, 2001).

1.1.1.2. Alüminadan Alüminyum Üretimi

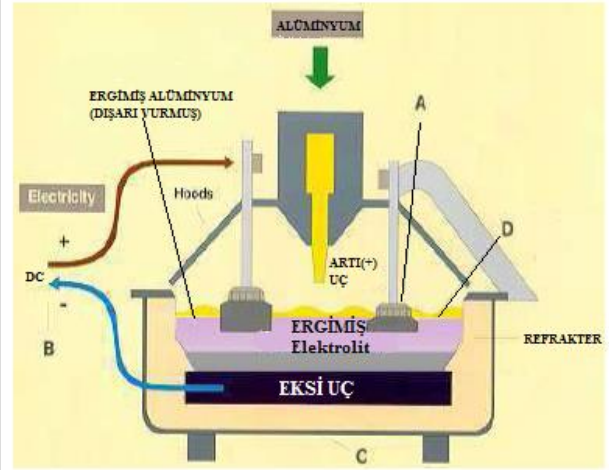
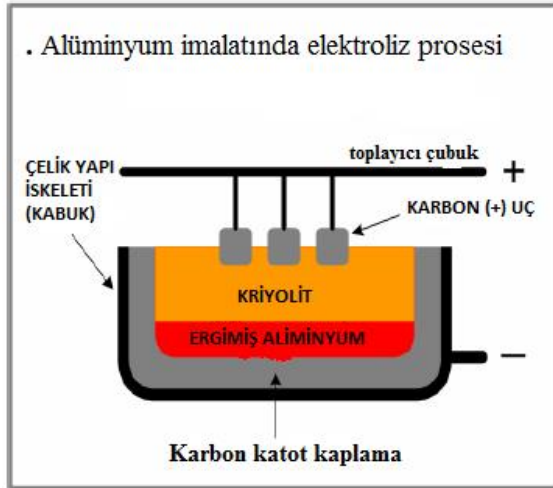
Bundan sonraki aşama, alüminanın alüminyuma dönüşmesidir. Beyaz bir toz görünümündeki alümina, elektroliz işleminin yapıldığı hücrelere aktarılır. Burada amaç, alüminyumu oksijeninden ayırabilmektir. Elektroliz işlemi için 4 veya 5 volt gerilim doğru akım uygulanmaktadır. Altta biriken alüminyumun alınması ile işlem biter.



Şekil 1.2. Alüminadan alüminyum eldesinin şematik gösterimi

Alüminadan alüminyum üretimi redüksiyon elektrolizi ile gerçekleştirilmektedir. Banyo tabanı ve kendisi karbon bloklardan hazırlanmıştır. Burası aynı zamanda hücrede katot görevini üstlenmektedir. Bu kısımdan akım girişi alüminyum baradan olmakta ve banyo tabanınca katot barası olarak ta çelik kullanılmıştır. Anot olarak karbon bloklar kullanılmıştır. Anotlara akım iletimi alüminyum baradan olup anotla bağlantı çelikten yapılmaktadır.

Banyoda taban ısıısının kaybını önlemek için refrakter malzeme ile izole edildi. Banyonun tümü çelik bir çerçeve içerisinde bulunur. Elektrolit içerisinde çözünmüş olarak ortalama %5 civarında Al₂O₃ içeren kriyolit (Na₃AlF₆) malzemesidir. Elektrolit sıcaklığı 950-970°C civarındadır. Bu gerekli ısıyı elektrik enerjisinden sağlamaktadır. Anot, sıvı elektrolit içerisine daldırılmaktadır. Na₃AlF₆- Al₂O₃ ikili denge diyagramında ötektik nokta 962°C de yaklaşık %10-11 Al₂O₃ civarındadır. Gerek elektrolitin iletkenliğini yükseltmek, gerekse de ergime sıcaklığını düşürmek için işletmeden işletmeye değişen cins ve miktarda olmak üzere %2-7 LiF ve %2-3 MgF₂ ilave edilmektedir. Bu son katkılardan LiF iletkenliği artırıcı etki yapar ve yoğunluğun düşmesine etkilidir (Dennis, 1971).



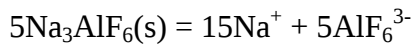
Şekil 1.3. Alüminyum imalatında elektroliz prosesi

Genel olarak,

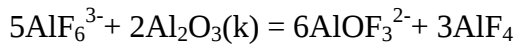
$\text{Al}_2\text{O}_3 + x\text{C} = 2\text{Al}(\text{s}) + m\text{CO}_2 + n\text{CO}$ şeklinde verilen elektrolizle (Şekil1.3) ilgili temel eşitlik, anodik ve katodik olaylar çerçevesinde $x=1,4+y$; $m=1,5.y$; $n=2$ stokiometrik eşitlikleri ile gerçekleşir (y değeri 0 ile 1,5 arasındadır).

Hücrede gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar;

1) Disosiasyon:

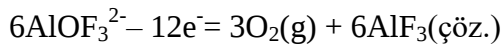


2) Al_2O_3 'in çözünmesi:



Bundan sonra anodik ve katodik reaksiyonlar gerçekleşir.

3) Anot reaksiyonu:



Bu reaksiyon ile O_2 gazı oluşur ve nötr hale dönen AlF_3 elektrolit içinde çözünür.

4) Katot reaksiyonu:

Birinci kademe, $12\text{Na} + \text{O} + 12\text{e}^- = 12\text{NaO}(\text{g})$ reaksiyonuna göre önce sodyum redüklenerek gaz halde oluşur.

İkinci kademe, sıvılaşmış metalik sodyum alüminyum redükler ve $12\text{NaO}(\text{s}) + 4\text{AlF}_3(\text{çöz}) = 4\text{Al}(\text{s}) + 12\text{NaF}(\text{çöz})$ reaksiyonuna göre sıvı halde metal alüminyum ile elektrolit içinde çözünen NaF oluşur.

Toplam reaksiyon, $12\text{NaF} + 2\text{AlF}_3 + 3\text{Na} + 3\text{AlF}_4 = 5\text{Na}_3\text{AlF}_6(\text{s})$ şeklinde

Yeniden kriyolitleşik külüyle son bulur.

Sonuç reaksiyon bu alanda, $2\text{Al}_2\text{O}_3(\text{çöz}) = 4\text{Al}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g})$ şeklindedir.

Genellikle, ağırlık olarak 4 birim boksitten 2 birim alümina ve 2 birim alüminadanda 1 birim alüminyum elde edilmektedir. Önceleri üretilen birincil alüminyumun her tonu için 42.500 kwh olan enerji sarfıyatı, günümüzde ortalama 16.000 kwh değerine düşmüştü. Bu değer, en yeni teknoloji ile çalışıldığında yaklaşık 13.000 kwh/t olmuştur (Askland, 2006).

1.1.2. Alüminyumun Özellikleri

Hafif metaller sınıfından olan alüminyum, bileşikler halinde yer kabuğunun %8'ini oluşturmaktadır. Oksijen ve silisyumdan sonra doğada en çok bileşiği bulunan metallerdir. Mühendislik uygulamalarında ve insan yaşamında önemli ölçüde kullanım alanı bulan alüminyumun en belirgin özelliği hafif olmasıdır. Magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metaldir. Alaşımlarında yoğunluğu çok az artmasına rağmen mukavemeti önemli miktarda artar.

Alüminyum iyi bir ısı ve elektrik iletkeni olarak; kolayca dökülür ve işlenir, korozyona dayanır. Sıcak ve soğuk şekillendirilebilme, dekoratiflik özelliklerinden dolayı makine imalat, metal sanayi, inşaat, kimya, gıda sanayi, ulaştırma, elektrik ve elektronik sanayi uzay sanayi ve diğer birçok ortamlarda kullanılır (TMMOB, 2003).

Alüminyumun özellikleri;

Özgül ağırlık : katı hal 2.7 gram/cm^3 , sıvı hal (700°C) 2.37 gram/cm^3

Ergime sıcaklık : 660°C

Kaynama sıcaklık : 2500°C

Olarak verilmiştir. (Murphy, 1935)

Tablo 1.1. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması(Murphy,1935)

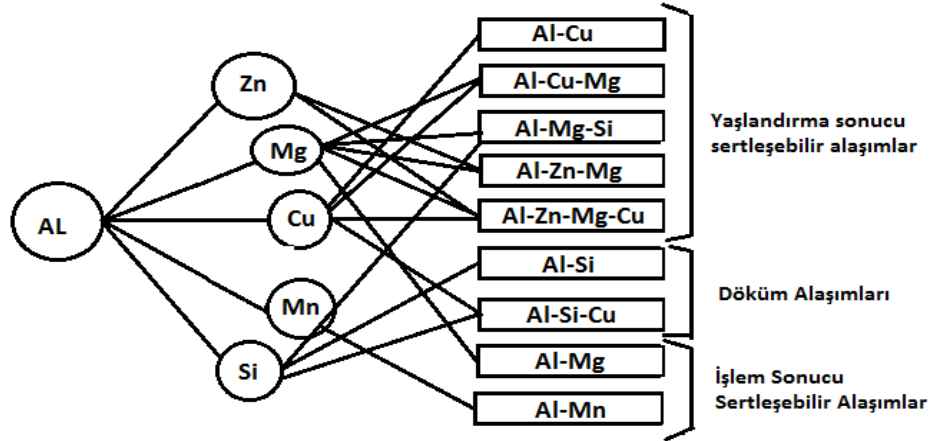
Özellik	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül Ağırlık	2,7	8,94	7,87	7,1	1,74
Elektrik direnci (ohm.mm ² / m) . 10 ²	2,66	1,68	9,8	6	4,46
Isıl iletkenliği (cal / cm ² / °C.sec)	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl genleşme katsayısı (mm / mm °C) x 10 ⁻⁶	24	16,7	11,9	33	25,7
Ergime sıcaklığı (°C)	660	1083	1535	420	651
Yanma ısısı (kcal / kg)	6970	1083	1600	1270	6000
Yansıtma = 0.6 (%)	90	70	58	70	73
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

1.1.3. Alüminyum Alaşımları

Farklı metal ilave edilmesiyle alüminyumun mukavemet ve sertliğinin artmasına imkân sağlanır. Piyasadaki alüminyumda mevcut küçük miktarlardaki gayri safiyetlerin dahi alüminyumun mukavemetini saf metale kıyasla %50' ye kadar arttırmaya yeterli olduğunu bilinmektedir. Alüminyumun alaşımlarında ağırlıklı kullanılan metaller bakır, silisyum, manganez, magnezyum ve çinkodur. Bu metaller, nihai alaşımda arzu edilen bileşimi elde etmek için tek tek veya birleşik halde alüminyuma ilave edilirler.

Şekil1.4'te ana alüminyum alaşımları şematik olarak gösterilmiştir.

Alaşımlandırmanın neticesinde alüminyum metalinin mukavemetinde elde edilen yükselme, diğer özelliklerdeki değişimlerle birlikte meydana gelmektedir. Değişim farklı alaşımlarda nadiren aynı olmaktadır. Zira birçok alaşımlar esas itibariyle aynı çekme mukavemetine sahip olmalarına rağmen süneklik, elektriklik ve ısı iletkenliği ve imal kolaylığı bakımından geniş ölçüde farklı olur (Murphy,1935).



Şekil 1.4. Ana alüminyum alaşımları. (Murphy, 1935)

1.1.4. Alüminyum Döküm Alaşımları

Dökümde kullanılan alaşımlandırma metalleri genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde artırır. Bununla beraber süneklik azalabilir (Kayır, 2005).

Tablo 1.2. Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri

Alaşım Elementi	Etkileri
Bakır	%12 Cu'a dek dayancı artırır, daha fazlası gevreklik yaratır; genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artır.
Çinko	Dökülebilirliği düşürür; yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler; %10 Zn'dan yüksek gerilim yenimi çatlaması gösterir; diğer alaşım elementleri ile birlikte dayanımı çok artırır; %3 Zn'dan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarda belirgin bir etkisi yoktur.
Demir	Az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancı artırır; dökümleri sıcakçatlama eğilimlerini azaltır.
Magnezyum	Katı çözelti sertleşmesi yaratır; %6'dan fazla magnezyum içeren

	alaşımlarda çökelme sertleşmesi olur; dökümleri zordur.
Mangan	Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır; metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir; çekmeyi azaltır, alaşımların süreklilik ve tokluk özelliklerini artırır.
Silis	Akışkanlığı artırır; sıcak çatlama eğilimini azaltır; %13'den fazla silis içeren alaşımların islenmesi zordur; yenim direncini artırır.

1.1.5. Otomotiv Sektöründe Alüminyum

Alüminyum güçlü, dayanıklı ve hafif bir malzeme olarak tanımlanır. Otomobil imalatında hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte alüminyum da otomotiv endüstrisine giriş yapmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak günümüzde ortalama bir arabada çok çeşitli alüminyum parçalar kullanılır hale geldi. Artan küresel rekabet ve çevre duyarlılığı, motorlu araç üreticilerini, sağladığı katma değerler nedeniyle alüminyum daha da fazla kullanılmaya özendirilmektedir.

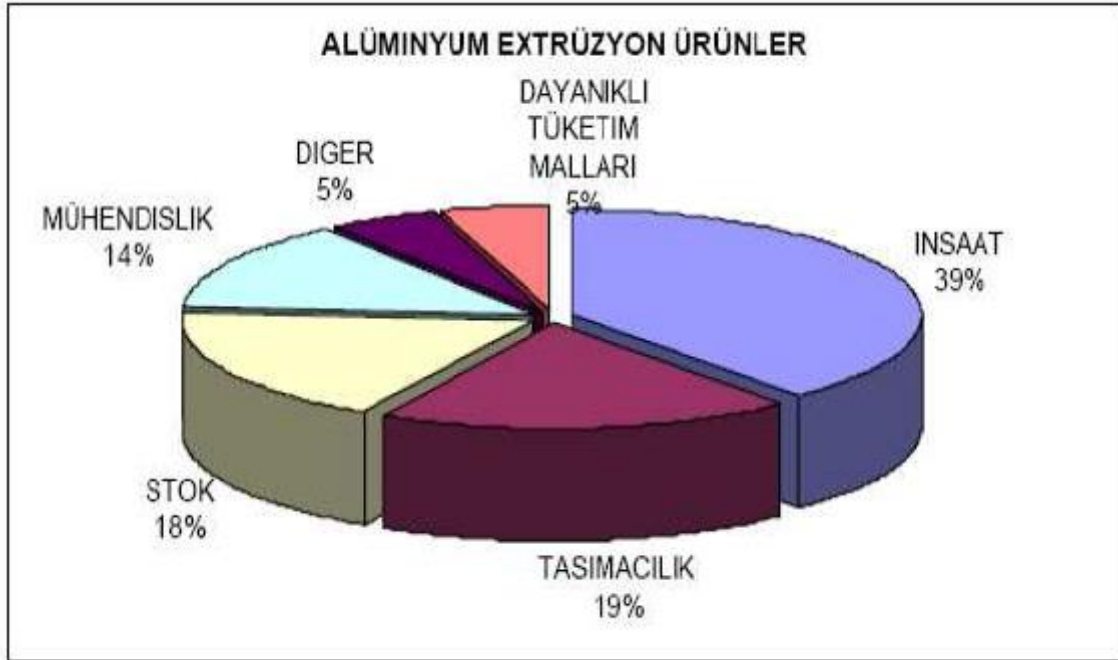
Tablo 1.3.Bazı ülkelerin yıllara göre alüminyum üretimleri (EAA,2002)

Birincil Alüminyum Üretimi (Bin-Metrik ton)								
Yıllar	Afrika	K.Amerika	L.Amerika	Asya	AB	Okyanusya	Çin	Toplam
2001	1.369	5.222	1.991	2.234	3.885	2.122	3.371	23.922
2002	1.372	5.413	2.230	2.261	3.928	2.170	4.321	25.520
2003	1.428	5.495	2.275	2.475	4.068	2.198	5.547	27.482
2004	1.711	5.110	2.356	2.735	4.295	2.246	6.589	29.181
2005	1.739	5.382	2.391	3.100	4.352	2.252	7.743	31.153

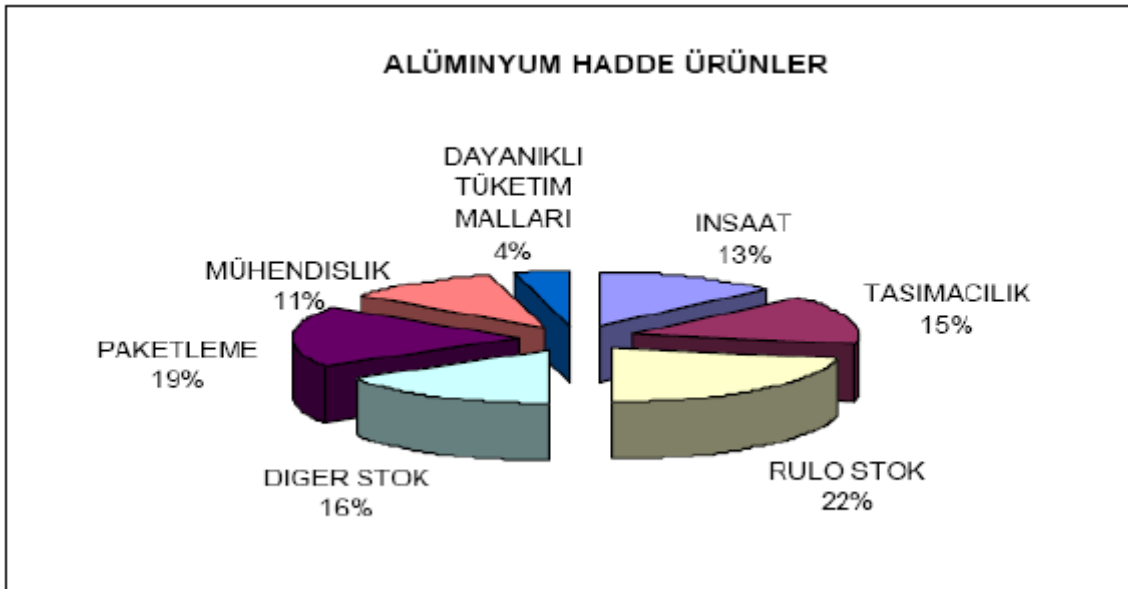
Avrupa Alüminyum Birliği'nin verilerine göre alüminyum taşımacılık sektöründe önemli bir paya sahiptir. Bu verilere göre üretilen alüminyum döküm ürünlerin yaklaşık %76'sını, alüminyum ekstrüzyon ürünlerinin %20'sini ve alüminyum hadde ürünlerinin %15.5'ini taşımacılık sektöründe kullanmaktadır (EAA,2002).

Şekil 1.5-6-7'den görülebileceği gibi alüminyum hadde ürünlerinin taşımacılıktaki pazar payı Avrupa Alüminyum Birliği verilerine göre %15 civarındadır. Taşımacılıkta en

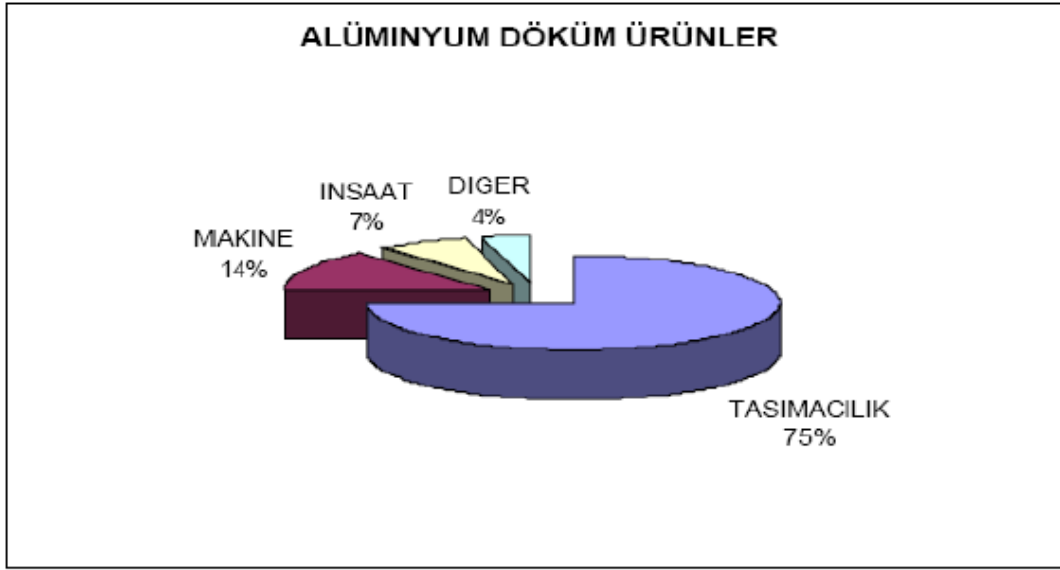
fazla kullanılan alüminyum malzeme, %75’lik payla döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum ürünleridir (Özcömert, 2006).



Şekil 1.5. Alüminyum extrüzyon ürünlerinin dağılımı



Şekil 1.6. Alüminyum hadde ürünlerinin dağılımı



Şekil 1.7. Alüminyum döküm ürünlerinin dağılımı

Tablo 1.4. Araçlarda kullanılan bazı alüminyum parçalar ve bunların şekillendirme yöntemleri (Wallentowitzetal, 2003)

Parça	Şekillendirme Yöntemi	Ağırlık (kg)
Kasa	Döküm, ekstrüzyon, hidroform, levha	130-180
Gövde paneli	Levha	50-70
İç yüzey levhaları	Levha	50-70
Motor bloğu ve silindir kapağı	Döküm	60-80
Egzoz Manifoldu	Döküm	10
Pistonlar	Döküm	
Transmisyon kutusu	Döküm	5-Feb
Diferansiyel kutusu	Döküm	2
Jantlar	Döküm	8-May
Fren Parçaları	Döküm	1
Süspansiyon parçaları	Döküm, ekstrüzyon, hidroform	30-50
Yakıt tankı	Levha	5
Radyatör	Ekstrüzyon, Levha	20-Oct
A/C Kondenser	Ekstrüzyon, Levha	5

Otomotiv endüstrisinde döküm yöntemi ile elde edilen alüminyum parçaların tercih edilmesinin sebepleri şunlardır:

1. Hafif oluşu
2. Isı iletkenliğinin yüksek olması,
3. Korozyon dayanımının yüksek olması,
4. Estetik ve güzel görüntü sağlayışı,
5. Elektrik iletkenliğinin iyi oluşu.



Şekil 1.8. Otomotivde üretim tekniğine göre alüminyum

1.2. Alüminyum Alaşımı ve Döküm

Ergimiş sıvı metalin çıkacak parçanın negatif olan bir boşluğuna dökülüp onu katılaştırmak suretiyle istediğimiz şekli elde etme yöntemi döküm olarak adlandırılır (Özcömert,2006). Temel tanımlamalar Şekil1.9’de verilmiştir.

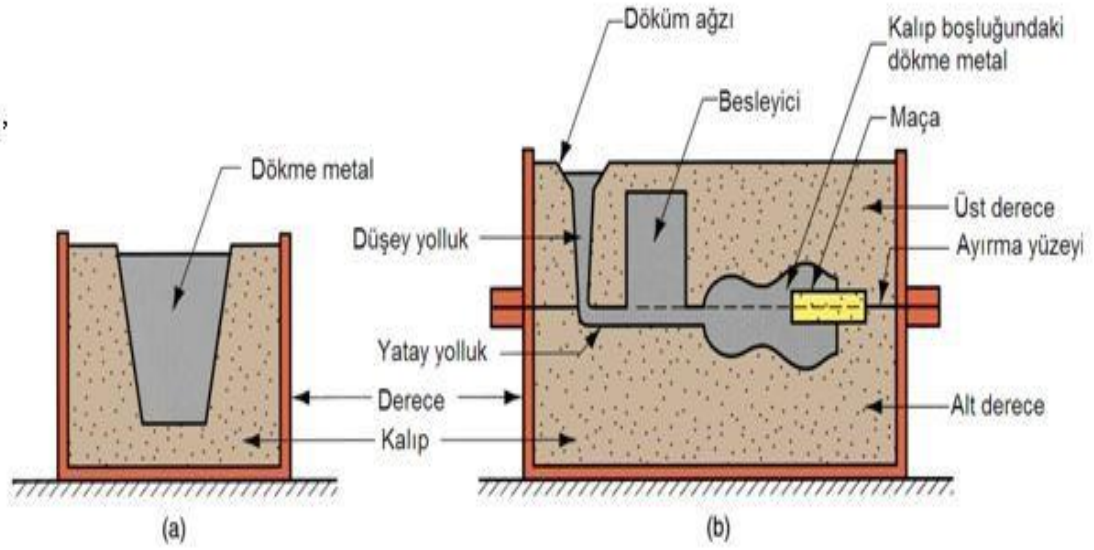
1.2.1. Döküm Yönteminin Üstünlükleri

- Yöntem çok geniş bir alana sahip olarak, hem çok küçük, hem de tonlarca ağırlıktaki büyük parçaların üretimine uygun teknikleri bulunabilmektedir.
- Oldukça karmaşık şekilli ve içi boş parçaların üretilmesi mümkün olur.

- Neredeyse tüm metal alaşım türlerinin dökümü mümkün olur. Bazı malzemeler (dökme demir) ise sadece döküm yoluyla elde edilebilmektedir.
- Seri üretime uygun şekilde döküm yöntemleri geliştirilebilinmiştir.

1.2.2. Döküm Yöntemlerinin Dezavantajları

- İnce yapıdaki kesitlerin elde edilmesi zordur.
- Az sayıda parça üretiminde ekonomik sayılmaz.
- Benzer malzemelerin plastik şekil verme yöntemleri (dövme) ile elde edileni, dayanım bakımından çoğunlukla daha iyidir.
- Hassas boyut toleranslarında yüzey kalitesinin sağlanabilmesi zordur.
- Çevreci bir imalat yöntemi de sayılmaz.



Şekil 1.9. Dökümün temel tanımlamaları (Aran,2007)

En çok bilinen döküm yöntem çeşitleri;

- Kum Kalıba Döküm Yöntemi (yaş ve kuru kum kalıplar)
- Yüzeyi Kurutulmuş Kalıplara Döküm Yöntemi
- Çukur Kalıplara Döküm Yöntemi

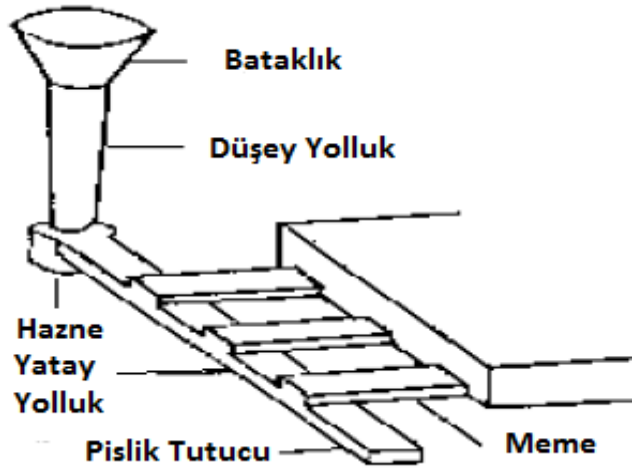
- Kabuk kalıplara Döküm Yöntemi
- CO₂Yöntemiyle Hazırlanmış Kalıplara Döküm Yöntemi
- Vakumlu Kalıplara Döküm Yöntemi
- Hava ile Sertleşen Kalıplara Döküm Yöntemi
- Çimento Bağlayıcı Kalıplara Döküm Yöntemi
- Kokil Kalıba Döküm Yöntemi
- Basınçlı Döküm Yöntemi
- Savurmalı Döküm Yöntemi
- Sürekli Döküm Yöntemi
- Hassas Döküm Yöntemi
- Alçı Kalıba Döküm Yöntemi
- Seramik Kalıba Döküm Yöntemi
- Dolu Kalıba Döküm Yöntemi

Bu tez çalışmasında kum kalıba alüminyum döküm yöntemi uygulandığı için bu konu üzerinde durulacaktır.

1.2.3. Yolluklar

Döküm esnasında ergimiş metalin kalıp boşluğuna akışını kontrol etmek suretiyle, kalıp boşluğunun tamamen doldurulmasını sağlayan yatay ve dik kanallara "yolluk" denir. Yolluğun gösterimi Şekil 1.10'de verilmiştir.

Düşey yolluk; yatay düzleme dik olarak yerleştirilir, direkt olarak kalıp boşluğuyla temasları yoktur. Yatay yolluk ise; yatay düzlemde bulunarak kalıp ile direkt temas içindedir. Eriyik metalin sakın bir biçimde kalıbı doldurması, pisliklerin ye cürufun kalıp boşluğuna girmemesini sağlayacaktır (Aran,2007).



Şekil 1.10. Yolluk sistemi şematik gösterimi (Aran,2007)

1.2.4. Çıkıcılar ve Besleyiciler

Erimiş metal katılaşırken; sıvı, sıvı-katı ve katı hallerinde büzülürken hacimlerinde küçülme meydana gelir. Böyle bir durumda; dökülmüş parçalarda iç ve dış büzülmenin boşluklara sebep olur. Böyle hatalarının önlenmesi için, besleyici ve çıkıcı diye adlandırılan boşluklardan faydalanılır. Büzülme boşlukları çıkıcıların ve besleyicilerin içerisinde meydana gelişi sağlanmasıyla, doğru bir döküm elde edilmiş olur. Döküm parçalarının katılaşmasından sonra çıkıcı ve besleyici kesilecektir. Çıkıcı ve besleyici şematik gösterimi Şekil 1.11’de verilmiştir (Aran,2007).

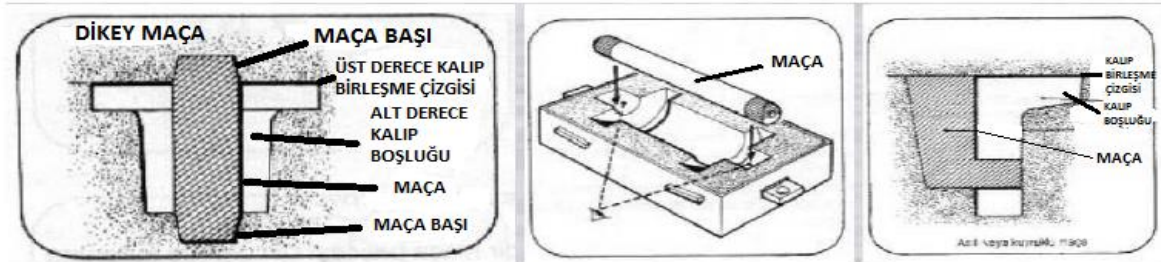
Genellikle çıkıcıların ve besleyicilerin görevleri aynı sayılır. Atmosfer ortamına açık olanlara çıkıcı, kapalı olanlara besleyici adı verilir. Çıkıcılar kendi aralarında üst ve yan çıkıcı olarak ikiye ayrılır.



Şekil 1.11. Çıkıcı ve besleyici gösterimi (Aran,2007)

1.2.5. Maça

İçerisi boş olarak çıkarılacak parçaların döküldükten sonra içi boş çıkabilmesi için dökülen parçanın bu boş kısmının şeklini oluşturan negatif parçalar maça olarak adlandırılır. Maça malzemesi kumdan meydana gelir. Ama bu kumlar kalıp kumundan farklıdır. Önemli olan farklarda kalıp kumundaki kil yerine bağlayıcıların kullanılmış olmasıdır. Bağlayıcı olarak organik ve inorganik bağlayıcılar vardır. Maça kumunun içinde su bulunur ama su bağlayıcı görevi yapamayacaktır. Su katılmadığı takdirde bağlayıcılar görev yapmazlar. Su az olarak kullanılırsa maçalar piştikten sonra istenen özellik elde edilemez. Fazla su ise pişme süresini uzatır, yüzeyde kabuklaşma meydana gelir ve bağlayıcılar katmerleşir. Şekil1.12’de maça kullanım örnekleri şematik olarak verilmiştir (Campbell, 2003).



Şekil 1.12. Maça kullanım örnekleri (Aran,2007)

1.2.5.1. Maça’dan Beklenen Özellikler

Maçadan beklenen özellikler aşağıda verilmiştir (Campbell, 2003).

- Dayanıklılık; şeklini koruması ve erozyona dirençli olması
- Geçirgen; sıcak hava ve gazların, kumdaki boşluklardan geçmesine olanak sağlaması
- Isıl kararlılık; erimiş metalle temasta kırılmalara direnebilmesi
- Dağılma; dökümün çatlamadan büzülmesine izin verebilme
- Tekrar kullanılma; İşi biten kalıptan çıkan kumların tekrar kalıp yapımında kullanılabilmesi
- Hızlı pişebilmeli ve bu sırada biçimi değişmemeli
- Yüzeyi düzgün kalmalı
- Depolama esnasında özellikleri değişim göstermemeli

Maçaların imalatı maça sandığı ile çevirme şablonu ile olmaktadır. Bu çalışmada kullanılmış maçalar maça sandığından imal edilmektedir. Maça sandıkları ile maça yapılmasında, içerisinde maçaların dış şekline sahip bir boşluk bulunan sandıklardan faydalanılmaktadır. Sandıklar düzgün bir yüzeyin üzerine konulmaktadır ve içerisine maça malzemeleri konarak herhangi bir vasıta ile sıkıştırılmaktadır. Mukavemetlerini artırmak üzere maçaların içerisine tel parçaları konulur.

Sandıkta maça imalatında çeşitli makinelerden faydalanılmaktadır. Böylece maçalar daha çabuk ve sıhhatli olarak yapıştırılmış olur. Bunlar; doldurma, sürme, pres, sarsma ve üfleme makinalarıdır.

Üfleme makinaları, maça kumunu basınçlı bir hava ile karıştırılarak bir enjektör memesinin ağzından maça sandığına üflenir. Küçük ve orta büyüklükte maçaların imaline elverişlidir. Büyük maçalar için uygun değildir, çünkü sınırlı değerdeki basınç sıkıştırma için yeterli değildir.

1.2.5.2. Maça Kumu ve Bağlayıcı

Maçaların Kumu, Si (%81-91), Bağlayıcı olarak, su (%3.5-7.5) ve kil (%0.9 den az) den oluşmaktadır.

Bağlayıcılar, organik ve inorganik olarak ikiye ayrılır;

Organik bağlayıcıların özellikleri 500°C de kaybolmakta olup, başlıca organik bağlayıcılar aşağıdaki gibidir:

- Maça yağları
- Reçineler
- Unlar
- Melaslar
- Ziftler

İnorganik bağlayıcılar ise yanmazlar ve yüksek sıcaklığa dayanmakta olup, başlıca inorganik bağlayıcılar aşağıdaki gibidir:

- Ateş Kili

- Bentonit
- Silis Tozu
- Demir Oksit

1.2.5.3. Maça Sandığı

Dökülecek parçaların iç şekillerini verecek maçanın yapılmasını sağlayacak vasıtaya maça sandığı denir. Maça sandıklarının iç boşluğu maçanın şeklini verecektir.

1.2.5.4. Maça Üretimi

Maça basmada önemli faktörlerden birisi de hazırlanmış olan kum karışımının maça sandığını doldurmasıdır. Doldurmayı belirleyen 4 ana unsur vardır;

1-Kum tipi: Uluslararası kum tane büyüklüğü A.F.S (Amerikan Foundry Standarts-Society) normuyla belirlenir. A.F.S numarası düşükse kum kaba;38-40-46 A.F.S gibi yüksek ise ince kumdur.(80-100A.F.S gibi) Kalın kum ince kuma göre daha iyi doldurur.

2-Üfleme basıncı: Yüksek basınç doldurmada düşük basınca göre daha iyidir (2-4 Bar). Yüksek basınç kumun aşındırıcılığı artacağından kalıp ömrü bakımından tercih edilmemelidir.

3-Üfleme nozulu

4-Hava filtresi yerleşimi: Kum maça sandığına hava ile beraber dolar. Kumun ilerleyeceği yön hava yönünde olacağı için yerleşim önemlidir.

5- Hava filtresi büyüklüğü: Büyük çaplı hava filtreleri maçanın dolmasına yardımcı olan hava akısını fazlalaştırdığı için iyidir. Fakat limit düzeyde olmaları gerekir. Zira çok fazla hava tahliyesi de kumun maça sandığı içinde sıkışmamasına sebep olacağından gevşek yapıda, mukavemeti düşük veya tam dolmamış maça elde edilebilir.

Maçalar en fazla 345°C ye kadar pişirilir. Pişirme esnasında ilk önce nem atılır. 100°C de maça sıcaklığı tutulur, maça yağı veya diğer bağlayıcılar kimyasal moleküller olarak değişikliğe uğrarlar. Pişirme çevrimi 2 ile 6 dakika arasında 200-230°C arasındadır. İnce kesitli maçalarda örneğin su ceketini için pişirme süresi 1-1.5dk'dır. Az pişmiş maçalar çok gaz çıkarırlar ve çeşitli hatalara neden olurlar.

1.2.6. Kokil Kalıba Döküm

Basit ve hassas bir şekilde açılıp kapatılabilecek şekilde tasarlanan, iki parçalı bir metal kalıp kullanılmaktadır. Alçak erime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde kullanılan kalıplar genellikle çelik veya dökme demirden yapılmaktadır. Kokil kalıbın avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Campbell, 2003).

1.2.6.1. Kokil Kalıba Dökümün Avantajları

- İnce taneli içyapı sayesinde mekanik özellikler daha gelişmiştir.
- İnce boyutlu toleranslar sağlanır.
- Çeşitli parçaların üretimleri mümkün olur.
- Parça yüzey kaliteleri iyi olur
- Seri üretimlerde ekonomik yöntemdir.
- Soğuk metal kalıpların yol açtığı hızlı soğumalar ince taneli bir yapının oluşmasını sağlamaktadır, böylece dökümler dayanıklılık açısından iyi olur.

1.2.6.2. Kokil Kalıba Dökümün Dezavantajları

- Kokil kalıp imalat maliyetli olduğundan yöntem ancak seri üretimler için uygundur.
- Yöntemle her malzemenin dökümü yapılamaz.
- Nadiren ufak boyutlu ürünlerin üretiminde tercih edilir.
- Alçak sıcaklıklarda eriyen metaller için uygundur.
- Kalıp yüksek maliyetlidir.

1.2.7. Kokil Kalıp

Parçaya şeklini vererek sıvı malzemenin içinde katılaştığı kaba kalıp denir. Kalıbın hazırlanması dökülecek olan parçanın malzemesine, şekline ve yapılacak döküm yönteminin gerekli şartlarına bağlıdır ve bu şartlara göre düzenlenir. Parçanın şeklinin korunması ve dolayısıyla iç şekillendirme için döküm dışı işlemlerden mümkün oldukça sakınılması gerekir (Bonollo et al., 2005).

1.2.7.1. Kalıp malzemesi

Kalıp malzemelerinde bazı özellikleri içermesi beklenmektedir. Başlıca özellikler şunlardır;

- Kolay şekillendirilme ve şeklini koruma,
- Dayanım özellikleri,
- Gaz geçirgenlikleri,
- Isıya karşı dayanım ve düşük maliyetler.

1.2.7.2. Kalıbın Tasarımı

Kalıp ve takım tasarımları, ekonomik olarak üretilebilmesi ve kullanılması oldukça önemlidir. Üretilecek olan ürünün şeklinden başlamak, elden geldiği kadar fazla üretime imkân verecek şekilde bir tasarım yapılacaktır. İdeal bir takım çeliğinden yapılarak uygun ısıtıl işleminden geçmiş bir kalıp, tasarım hatalı ise ısıtıl işlem sırasında da kırılabilecektir. Zaman kaybını önlemenin ve maliyetleri düşük tutmanın yolu iyi bir tasarımdır. Kalıbı oluşturan parçalar, çalışma şartları göz önüne alındığında tek tek değerlendirilir.

Çentik Etkisi: Keskin köşelere sahip veya ani kesit değişiklikleri bulunan kalıplar veya takımlar, düzenli yükler altında bu değişikliklerin çentik etkisi oluşturması ile tehlike altındadır. Bunun gibi özellikle kesit değişimlerinin başladığı noktalarda çatlamlar başlayacaktır. Sertliğin artması riskide artırır. Sertliğin yüksek olması gereken kalıplarda köşeleri ve kenarları işlerken daha büyük radyuslu köşegenler yapılmalıdır.

Isıl İşlemler Bakımından Tasarım: Isıl işlem esnasında, çelik içerisindeki yapısal dönüşümlerden kaynaklanan gerilmeler ve çelik yüzeyi ile merkezi arasındaki sıcaklık farklılıkları iç gerilmeleri meydana getirir. Gerilmeler ise çeliğin çatlama veya kırılma risk oranını arttırmaktadır. Eğer “Gerilim giderme tavlama” yapılmaz ise, bu risk daha da artacaktır. Tasarımcı mümkün olduğunca simetrik bir şekil çıkarmaya çalışmalıdır. Üretilecek parçanın hacminin artması kalıpta bir alt parça daha oluşturma gerekliliği üzerinde düşünülmesi gereken bir konudur.

Bu şekilde yapılacak olan tasarım aşınan veya hasar gören parçaların hızlı bir şekilde değiştirebilme avantajını ortaya çıkaracaktır (Cerit, 1994).

1.2.7.3. Kalıbın ve Sandıkların İşlenmesi

Genel olarak çelikler tornalama, frezeleme, planlayama ve taşlama gibi talaş kaldırma yöntemleri ile işlenmeleri sırasında, işleme yüzeylerindeki kesici ucun sürtünmesi ve yüksek sıcaklıklara ulaşması yüzünden gerilmeler ortaya çıkar. Kalıbın şekline ve işlemenin miktarına bağlı olarak gerilmeler değişebilirler. Gerilim giderme tavlama'sının amacı bu gerilmeleri yok etmektir.

Kesme işlemi esnasında, mekanik şekilde uygulanan neredeyse tüm kesme kuvvetleri ısıya dönüşmektedir. Bundan dolayı mekanik işleme sırasında ortaya çıkan ısı yayılımı ve kesici takımın ucundaki sıcaklık işlemede çok önemli etkenlerdendir. Talaşlı üretimden kaynaklı gerilmeler ve ısı işlemler esnasında meydana gelen iç gerilmeler malzemenin çekme dayanımının boyutunu aşmasıyla, bükülmeye veya şekil değişikliğiyle çarpılmalar meydana gelmektedir.

Erozyon yöntemi ile işleme sırasında, bir elektrottan ark etkisiyle çıkan kıvılcımlar, işlenecek olan parça yüzeyindeki metalin yakılarak uzaklaştırmasından meydana gelir. Erozyonla şekillendirmenin avantajları, çok sayıda aynı şekillerin verilecek takım veya kalıplarda sertleştirilmiş çelikler için şekillendirmede ortaya çıkmaktadır.

Taşlama güzel pürüzsüz bir yüzey ve iyi ölçü toleranslarının elde edilebildiği bir işlemdir. Yanlış yapılacak bir taşlama işleminde, sertleştirilmiş kalıp veya takımın çatlamasına neden olacaktır. Doğru taşlama yapmak için uygun taş seçilmeli, yağlı taşlar kullanılmamalı, soğutucu sıvılar ise yeterli miktarda ve kaliteli olmasına dikkat edilmelidir. Çelik sertliği çoksa, daha yumuşak taşlar seçilerek düşük basınçla taşlama yapılması gerekir. Çok soğutucu sıvıyla taşlama yapılsa dahi taşın yanlış seçilmesi veya yüksek basınçlı taşlama, taşlama çatlaklarına yol açabilecektir. Yüzeydeki aşırı ısınmadan dolayı yumuşak bir yüzey de ortaya çıkabilmektedir.

Genel Kurallar:

- Taşlama tabakası kalın ise: Kuru taşlamadan sonra yaş taşlama tavsiye edilmektedir.
- Taşlama tabakası seri bir şekilde olacaksa: Açık gözeli, kaba taneli taşlar tercih edilir.
- İyi bir yüzey çıkması isteniyorsa: Daha küçük taneli fakat daha yoğun yapıda taşlar kullanılması uygundur.

- Geniş alanların taşlanması: Daha yumuşak ve daha kaba taneli taşlar seçilmelidir.
- Küçük alanların taşlanması: Daha sert ve daha küçük taneli taşlar seçilmesi gerekir.
- Sertliği düşük metallerin taşlamasında: Daha sert ve kaba taneli taşlar seçilmesi gerekir.
- Sert metallerin taşlanması: Daha yumuşak ve daha ince taneli taşlar seçilmesi gerekir.

1.2.7.4. Kalıp Ömrünü Etkileyen Faktörler

- Dökülen alasım: Erime noktası ne kadar yüksekse kalıp ömrü de o derece kısa olur.
- Kalıp malzemesi: Özel kalite dökme demir, çelik, bronz (ergimesi düşük ise)
- Dökme sıcaklığı: Yüksek dökme sıcaklıkları, kalıp ömrünü kısaltır, büzülme problemlerini artırır ve daha uzun çevrim sürelerine yol açar.
- Kalıp sıcaklığı: Eğer sıcaklık çok düşük ise akış bozulmaları oluşur ve kalıpta sıcaklık farkları meydana gelir. Eğer sıcaklık çok yüksek ise aşırı çevrim sürelerine yol açar. Ve kalıp erozyonu artar.
- Kalıp konfigürasyonu: Kalıp veya dökümün kesit değişimleri, sıcaklık farklılıklarına yol açabilir ve sonuçta kalıp ömrü kısalmır.
- Metal kalıplarda dayanım ve ısı iletimi önemlidir. Soğuma kum vb. kalıplardan daha hızlı olduğundan dökümde ince taneli yapı oluşur.

Kalıplar geçirgen olmadığından hava boşlukları ile geçirgenlik sağlanır.

1.2.8. Ergitme İşlemi

Katı haldeki bir metali ısı vererek sıvı hale getirmek ve bu sıvı metali hazırlanan kalıba dökerek katılaşmasını sağlamak suretiyle gerçekleştirilen bu imalat yönteminin önemli safhalarından birinde dökülecek metali ergitmektir.

Ergitme işlemi dökümün kalitesine önemli etkileri olan bir aşamadır. Ergitilecek metalle aynı anda alasım elemanları ve temizleme maddeleri şarj olarak doldurulur. Metal şarjı, kullanılmamış saf metaller ve ikinci kez kullanılacak hurda, temiz döküm artıkları (yolluk, çıkıcı ve ıskarta parça) gibi malzemelerden oluşur.

Eğer alaşım elementlerinin ergime dereceleri düşükse, eriyikte arzu edilen bileşimi elde etmek için saf alaşım elementleri ilave edilir. Ergime noktası yüksek alasım elemanları düşük ergime dereceli metallerle kolay karışmazlar (Campbell, 2003).

Bu durumda daha düşük ergime noktalı sertleştirme alaşımları veya sertleştiriciler kullanılır. Bu sertleştiriciler, genel olarak ihtiyaç duyulan alaşım elemanlarının biri veya ikisinin yüksek konsantrasyonlu alaşımından ibarettir. Boşluk segragasyonuna meyli azaltırlar. Ergitme sırasındaki alaşımlamada, genellikle ilk olarak düşük ergime noktasına sahip olan alaşım; daha sonra da yüksek ergime derecesine sahip olan alaşım ergir. Ergimiş metalin yüzeyi; atmosferik reaksiyona ve kirlenmeye karşı korunmak, arıtılmak ve ısı kaybını önlemek için izole edilmelidir. Bu işlem, genel olarak yüzeyin cüruf bileşikleri ile örtülmesi veya eriyiğin karıştırılması suretiyle yapılır. Sıvı çelik için cüruf bileşimi CaO , SiO_2 , MnO ve FeO ihtiva eder. Cüruf asidik (yüksek SiO_2 muhtevalı) veya bazik (yüksek CaO 'lu) olarak yapılır. Sıvı metaller katı halden daha fazla gaz çözündürürler. Çünkü katılaşma meydana geldiğinde çözünülebilirlik ani olarak azalır. Neticede bir metal katılaşırken çözünmüş gazlar çözeltiden çıkarlar ve dentrit araları gibi mevcut boşluklarda toplanır ve mikro boşluklara sebep olurlar. Makro boşlukların büzülme sonucu mu yoksa gazlar yüzünden mi meydana geldiği kolayca belirlenemez. Genel olarak, eğer boşluk küresel ve düzgün çeperlere sahipse bu boşluk gaz boşluğudur. Eğer çeperler pürüzlü veya köseli ise, dentritler arası büzülme yüzünden olduğu anlaşılır (ASM, 1998).

Temizleyiciler; kireç taşı ve dolomit, karbonat ve kalsiyum florid (dökme demirler için) gibi inorganik bileşiklerdir. Bu bileşikler çözünmüş gazları ve safsızlıkları gidererek eriyiği arılaştırırlar. Gazlardan ve metal olmayan safsızlıklardan doğacak kirlenmeyi azaltmak için ergimiş metali taşıma ve dökme sırasında dikkatli olmak gereklidir. Bu çerçevede pota ve kepçe gibi takımlar temiz ve nemsiz olmalıdır (Campbell, 2003).

1.2.9. Ergitme Ocakları

Metallerin ısıtılması ve eritilmesi için eritme ocakları kullanılır. Döküm endüstri teknolojilerin de değişik eritme ocakları kullanılmaktadır. Bu ergitme ocakları,

- Potalı döküm ocakları
- Kupol döküm ocakları
- Alevli döküm ocakları
- Elektrikli ark ocakları
- Endüksiyon döküm ocakları
- Elektrik direnç Ocakları

şeklinde sayılabilir.

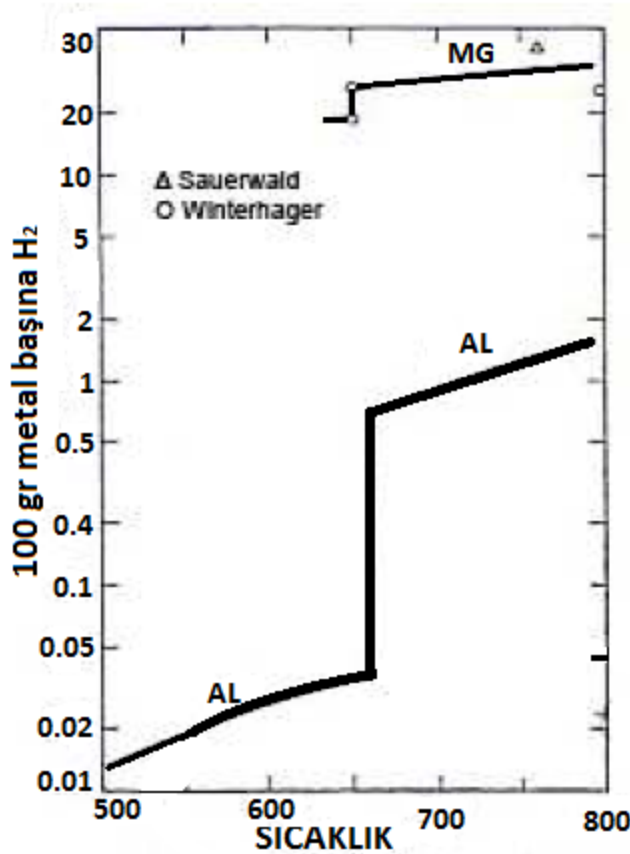
Bir dökümhane kullanılacak olan en uygun eritme döküm ocağı veya ocakları seçilirken dikkate alınması gereken unsurlar şunlardır:

- Dökülecek olan metalin veya metallerin türleri ve miktarları
- İlk yatırımın ve işletme giderlerinin ekonomikliğı,
- Döküm parametrelerinin kontrolü ve metalürjik olarak temizliğı.

Endüksiyon ocaklarında metallerin içinden manyetik alan oluşturabilmek için bir bobinden geçen akım kullanılmaktadır. İndüklenmiş akımla, hızlı ısıtma ve eritme sağlanır. Elektromanyetik kuvvetin alanı, aynı zamanda sıvı metalde karıştırma etkisi oluşturmaktadır.

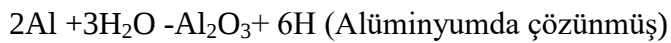
1.2.10. Gaz Alma İşlemi

Eğer fırsat verilirse, alüminyum alaşımları, zararlı miktarda hidrojen gazını çözecekler ve absorbe edeceklerdir. Sıcaklığın alüminyumdaki hidrojen çözünürlüğü üzerinde çok derin bir etkisi vardır. Şekil1.13’de atmosferik basınçta alüminyum ve magnezyum içinde hidrojen çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Ergime noktasında, çözünürlükte birden bire bir artış meydana gelmektedir. Çözünürlük sınırı, döküm sıcaklıklarına eristiğinde, ardından gelen soğuma ve katılaşma, gaz gelişimi ve büyük bir ihtimalle gaz veya ufak delik ve mikroskobik gaz porozitesi ile sonuçlanır (Murphy,1935).



Şekil 1.13. Atmosferik basınçta alüminyum ve magnezyum içinde hidrojen çözünürlüğü (Murphy, 1935).

Su buharı aşağıdaki reaksiyon nedeniyle özellikle alüminyum alaşımlarının gazlanmasına yol açtığından zararlıdır;



H₂O içeren yanma gazları bu durumda hem oksidasyona hem de hidrojen emilimine yol açabilir. Ergimiş metal (alaşım) üzerindeki hidrojenin kısmi basıncının artması ile hidrojen çözünürlüğünün arttığı bilinmektedir ki: Yanma gazları ve atmosferin su içeriğinin oluşturduğu hidrojen zararlı kusurları ciddi olarak arttırabilir. Neyse ki hidrojen, ergimiş metalin temizleme ve tasfiye işlemleri ile büyük ölçüde ortadan kaldırılabilir ve onun zararlı etkileri bu şekilde azaltılabilir, bu işleme gaz alma denir (Baiming, 2008).

Gaz alma işleminin iki amacı vardır,

- 1-Ergimiş metal ve cürufun daha etkili olarak ayrılmasını sağlamak
- 2-Çözünmüş hidrojeni ve hapsolmuş cürufu ortadan kaldırmak

Azot, helyum, argon ve klor içeren gaz halindeki ergimiş metali istenmeyen gazlardan temizlemek için kullanılırlar. Gazlar hidrojenin ortadan kaldırılması için ergimiş metalin içinden geçerek kabarcıklar çıkarırlar. Alüminyumda çözünen hidrojen gaz kabarcıklarının içine yayılır ve dışarı taşınır. Cüruf ayrılması muhtemelen oksitleri yüzeye taşıyan inert gaz kabarcıklarının mekanik bir hareketidir. Bununla birlikte klor, klorürleri oluşturmak için kimyasal olarak reaksiyona girer. Klorürler metalin ıslaklık karakteristiğini değiştirerek, cüruf ve ergimiş metalin ayrılmasını sağlar. Temizleme, cürufu yüzeyden ayırarak ve ardından kuru gazı ergimiş metalin içinden kabarcıklar çıkartarak gerçekleşir. Bu işlem 140-180 kg ergimiş metale dakika başına yaklaşık 15-20 litre gaz hızı ile 10-20 dakika süre ile gerçekleşir (EAA,2004).

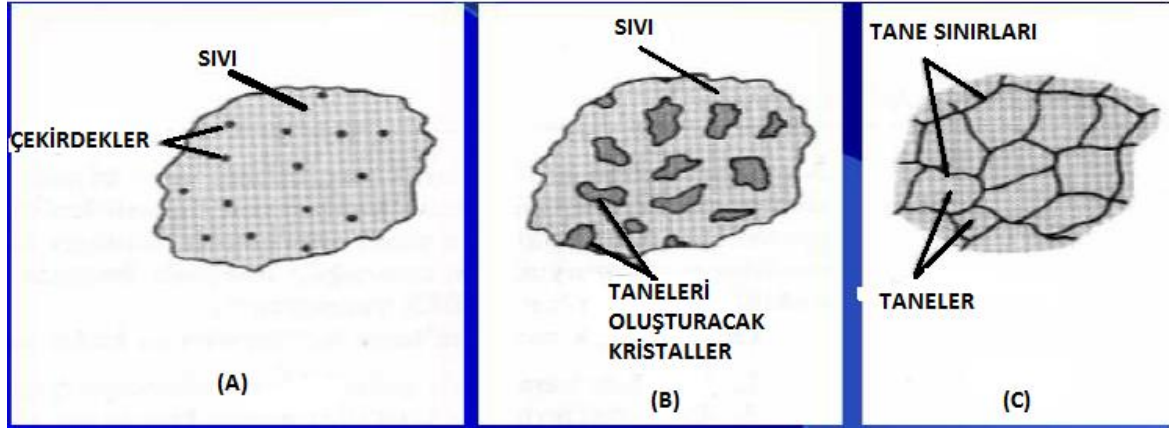
Temizleme, mümkün olabilecek en düşük sıcaklıkta (yaklaşık 677°C) maksimum hidrojenin giderilmesi için uygulanır. Temizlemeden sonra, ergimiş metalin sıcaklığı çabucak döküm için gerekli seviyeye yükseltilir, ergimiş metalin yüzeyi sıyrılır ve sıvı metali kalıba döküm işlemi başlar (Cerit, 1994).

1.2.11. Katılaşma

Genellikle eritme işleminden sonra kalıp boşluğuna iletilen ergiyik metal sıvıdan katıya dönüşmesi olayına katılaşma denir. Özellik olarak atomların sıvı faz içinde uzak mesafeden kısa mesafeye veya kısa düzenden uzun düzene geçişleri olarak tanımlanabilir. Ürün özelliklerinin kontrol edilmesinde yapısal karakteristiklerin çoğunluğu bu aşamada meydana gelmektedir. Eş olarak gaz ve çekilme porozitesi, segregasyon ve bunun gibi hatalar bu sırada meydana gelmişlerdir. Bunların azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması katılaşma iş akışının kontrolü ile olur.

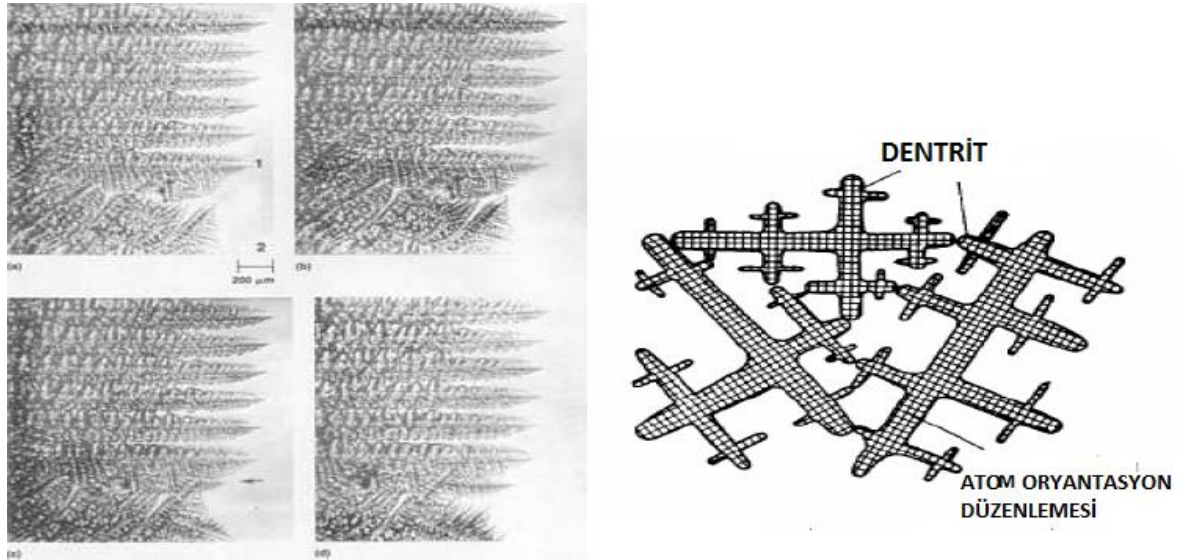
Metallerin ve alaşımların çoğunluğu yarı iletkenler, kompozitler, seramikler ve polimerler proses (fabrikasyon) hattının bir derecesinde sıvı şekildedir. Sıvı ileride sıcaklığın sıvı-katı dönüşüm noktasının altına inmesiyle birlikte katılaşmaya başlar. Katılaşma sürecinde oluşan yapılar ingot dökümlerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini tayin ettiğinden, istenen özellik de parça üretimi için malzeme üzerinde yapılması gerekenler iki proseslerin rotası da etkilenir. Bunlarla birlikte döküm sonrası termo mekanik selprosesler esnasında malzemelerin davranışı döküm yapıları tarafından belirlenir.

Katılaşma, Şekil1.14’de verildiği gibi çekirdeklenmeler ve büyüme olmak üzere iki kademeden meydana gelmiştir (Beeley, 2001).



Şekil 1.14. Alüminyum katılaşma aşamaları (Beeley, 2001)

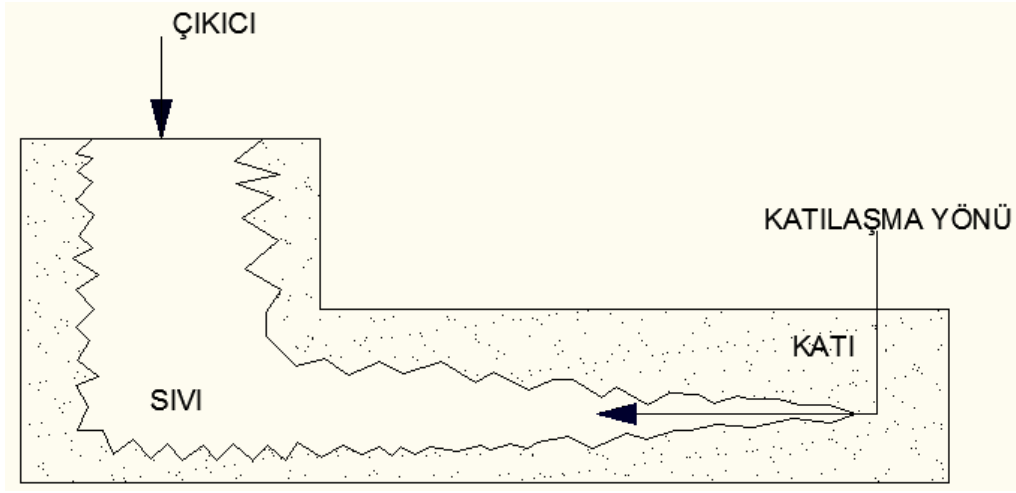
İçyapıdaki tanelerin büyüklükleri, birim zamanda oluşan çekirdek sayısı ve kristallerin büyüme hızına bağlı olarak değişir. Çekirdek sayısı ne kadar çok olursa, taneler o kadar ince olarak oluşur. Kristal tercihli yönlerde çok hızlı, diğer yönlerde ise daha yavaş büyür ve bu şekilde oluşan kristallerin hacimsel düzeni dendrit olarak adlandırılır (ASM,1998). Şekil1.15’de dentritlerin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.15. Dentrit görünümü (ASM, 1998)

1.2.12. Yönlendirilmiş Katılaşma

Kalıp içerisine dökülmüş metalin katılaşmadan önce ısısının hızla uzaklaştırıldığı cidarda katı bir kabuğun oluşması ile başlar ve bu kabuğun kalınlaşması ile devam eder. İyi tasarlanmış bir kalıpta, bu katılaşma ve kendini çekme olayları kalın kesitlerin beslemesiyle kademeli olarak ilerlemeli ve en son katılaşan bölgelerin dışı açık olan yolluk ve çıkıcılarda kalması sağlanmalıdır (Şekil1.16) (Aran,2007).



Şekil 1.16. Katılaşmanın yönlendirilmesi (Aran, 2007)

1.2.13. Döküm Parçaların Temizlik İşlemleri

Çoğu döküm parçalar, katılastıktan ve kalıptan çıkarıldıktan sonra, bazen temizleme ve bitirme operasyonu gerektirirler. Bunlar ise aşağıdaki safhaların hepsini veya birçoğunu kapsar.

- 1- Maçaların çıkarılması
- 2 - Yolluk, çıkıcı ve besleyicilerin giderilmesi
- 3 - Çapak ve kaba noktaların yüzeyden temizlenmesi
- 4 - Yüzeyin temizlenmesi
- 5 - Mevcut herhangi bir hatanın tamiri.

Gerekli operasyonlar her zaman aynı sırada yapılmaz ve özel döküm prosesleri bunlardan bazılarını gerek duymaz. Temizleme ve bitirme işlemleri maliyete önemli oranda yansıdığından, bazı faktörler parçanın dizaynı sırasında ve kullanılacak döküm

yönteminin seçiminde dikkate alınmalıdır. Böylece önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir. Son yıllarda bu operasyonları mekanize etmek için çok gayretler sarf edilmektedir. Kum maçalar genellikle sarsıntı ile giderilebilir. Bazen de maça bağlayıcılarını çözerek giderilmelidir.

Küçük dökümlerdeki yolluk ve besleyiciler kırılabilir fakat büyük parçalardakiler kesilmelidir. Demir dışı ve dökme demir parçalarda, genellikle bu işlem bir abrasiv kesme diski veya band testere vasıtasıyla yapılır. Çelik dökümlerdeki, özellikle büyük çelik parçalardaki yolluk ve çıkıcılar genellikle bioksiasetlenen alevi ile kesilir. Yolluk ve besleyiciler giderildikten sonra küçük parçalar genellikle, çapak, küçük çıkıntı ve yüzeye yapışmış kumları gidermek için bir konveyör üzerinde temizleme odasından geçirilebilir. Burada parçalara aşındırıcı veya temizleme malzemeleri püskürtülür.

1.2.14. Poteyaj

Poteyaj bir çeşit kokil kalıp kaplamasıdır. Amacı:

- Kalıp doluş kontrolünü sağlamak
- Kalıp yüzeyini koruma (Alüminyumdan dolayı aşınmayı engellemek)
- Dengeli katılaşma için metal-kalıp arasındaki ısı akışını kontrol etme (bazı bölgeleri erken bazı bölgeleri geç katılaştırmak için).
- Döküm parçasında iyi yüzey kalitesi sağlama
- Döküm parçasının kalıptan kolay ayrılmasını sağlama
- Tesviye maliyetlerini düşürmektir.

Temel olarak poteyaj türleri;

- İletken poteyaj (su, talk, TiO_2 , mica, quartz tozu, kireç ve bağlayıcı olarak sodyum silikat)
- İzolasyon(yalıtkan) özellikli poteyaj (Su, grafit, yağ)
- Semi iletken poteyaj (diğer iki türün karışımı) olarak sınıflandırabilir.

1.2.14.1. Cam Suyu

Poteyajın kalıba tutunmasını arttırmak için kullanılır. Kalıp aplik geometrisine göre poteyaj malzemesine ne kadar dâhil edileceği değişmektedir.

Cam suyu; %35-40 Sodyum silikat ve % 60-65 sudan oluşmaktadır.

1.2.14.2. Kokil Dökümde Poteyajın Rolü

Kokil dökümde, döküm parçalarının metalurji bakımından mükemmel, yüzeylerinin düzgün ve dökümün kolay ve çabuk yapılması gereklidir.

Kalıbı boyamanın amacı, hassas bir şekilde islenmiş olan kalıp yüzeyini korumak, katılaşmayı kontrol altına almak, döküm yüzeyini mümkün olduğu kadar mükemmel çıkarmak, maçaların ve hareket eden parçaların kolayca hareketini sağlamak ve son olarak katılaşmış parçanın kalıptan kolayca çıkmasını sağlamaktır.

Kalıptaki izolasyon derecesinin ayarlanması ile parçadaki katılaşmanın arzu edilen yön ve şekilde olması için, parçanın çeşitli bölgelerindeki ısı dereceleri ayarlanmış olur. Dökülen parçanın kalınlığı, kalıbın çeşitli kısımlarındaki kalınlık durumu ve sekline göre değişik poteyajlar kullanılmaktadır.

1.2.14.3. Poteyajın İzolasyon Gücü

Bir kalıp şunları içerir: metali direkt besleme sistemleri (kalıbın giriş kısmı/yolluk) ve indirekt sistemler (besleyici). Bu sıvı metal akısını sağlayan sistemler, metalin gerektiği kadar beslenmesine izin verecek şekilde olmalı ve genellikle kitleli kısımlar olan, parçanın en son katılaştıran kısımlarına varıncaya kadar katılaşmadan dolayı meydana gelecek çekintiyi dengelemelidir. Bunun neticesi olarak, metalin geçişini sağlamak ve devrede metalin sıvı kalmasını sağlamak için ısıtılırlar veya izole edilirler. Tersine olarak da kitleli veya çok sıcak kısımlar katılaşmayı sağlamak için soğutulurlar ve besleme sistemi katılaşmadan önce(besleyiciler erken katılışırsa çekintiler meydana gelir) ve bu kitleli kısımlara bağlı ince kısımlarla aynı zamanda katılışırlar. Soğutma dengesi kurulamadığı veya “yönlendirilmiş katılaşma” sağlanamadığı zaman ana problem çekintiden dolayı oluşan kopma ve çekinti boşluklarıdır.

Özetlemek gerekirse, besleme devresini ve kitleli kısımlarla bağlantılı ince kısımları izole etmek, diğer taraftan kitleli kısım ve parçanın sıcak bölgelerini soğutmak gereklidir. Alaşım ile temas eden poteyaj tabakasının yüzey bölgesi yer yer en azından alaşım sıcaklığına (750°C) gelebilir. Poteyajın bu bölgesinde su riskler mevcuttur;

- Sıcaklıkla bozulabilir ve çökebilir.
- Sıvı alüminyum ile reaksiyona girebilir veya sıvı alüminyum poteyaja yapışır.

- Isıl genleşme katsayısı dolayısıyla poteyajda çatlamalar.
- Parça kalıptan çıkarılırken yeterli çıkış açısı yok ise poteyaj ve/veya parçada sıyrma oluşabilir.

Poteyajın hava tabancası ile uygulanırken; 1 kg/cm²hava basıncı, 125-175°C sıcaklıkta 30 cm mesafeden ve kesikli olarak uygulanmalıdır.

1.2.15. Dünya Döküm Sektörü

Kayır (2005) verilerine göre, dünyada yaklaşık 35 bin dökümhanede 2003 yılında 73,5 milyon ton döküm üretimi gerçekleştirilmiştir. Dünya döküm üretiminin parasal karşılığı yaklaşık 170 milyar dolardır ve bu sektörde istihdam edilen kişi sayısı 2 milyon civarındadır. Dünya döküm üretiminde ilk on sırada yer alan ülkeler; Çin (18 milyon ton), ABD (12 milyon ton), Rusya (6,3 milyon ton), Japonya (6,1 milyon ton), Almanya (4,7 milyon ton), Hindistan (4milyon ton), Fransa (2,5milyon ton), İtalya (2,4 milyon ton) , Brezilya (2,2milyon ton) ve Meksika (1,8 milyon ton)'dır .

Tablo 1.5. Ülkelerin Dökümhane sayıları (Kayır, 2005)

Ülkeler	Demir Döküm	Çelik Döküm	Demir Dışı Döküm	Toplam
Çin				12.000
Hindistan				4.500
ABD	681	288	1.651	2.620
Rusya				1.900
Meksika	741	27	1.019	1.787
Japonya	457	80	1.176	1.713
İtalya	232	27	880	1.139
Türkiye	904	69	84	1.057
Brezilya				1.000
Ukrayna	400	233	327	960
Tayvan	506	48	340	894
G. Kore	451	135	183	769
Almanya	214	53	384	651
Fransa	121	41	367	529
İngiltere	294		230	524
Polonya	173	36	245	454
Romanya	176	35	132	343
İspanya	153	36	117	306

G. Afrika	100	49	120	269
Macaristan	44	28	138	210
Kanada	73	38	84	195
Çek Cum.	106	32	56	194
İsveç	48	13	84	145
Portekiz	50	11	54	115
Avusturya	37		59	96
Tayland	53	10	10	73
İsviçre	19	3	38	60
Slovenya	16	4	33	53
Finlandiya	16	6	21	43
Hırvatistan	19	2	20	41
Belçika	21	9	9	39
Norveç	8	3	12	23
Hollanda	20			20
Danimarka	10		8	18
Toplam				34.740
Dünya %	40,0	8,6	51,4	100,0
Türkiye	904	69	84	1.057
Türkiye %	85,5	6,5	7,9	100,0

Ana döküm sektörlerinde üretim miktarları aşağıda verilmiştir (Kayır, 2005).

1. Pik Dökümü Üretimleri: 2002 yılında, 11 milyon tonluk pik döküm üretimiyle Çin başta yer almış, onu ABD, Hindistan ve Japonya sırayla izlemiştir.
2. Sfero Döküm Üretimi: 3,8 milyon tonluk üretimiyle 2002 yılında ABD basta gelirken onu Çin, Japonya ve Almanya izlemiştir.
3. Çelik Döküm Üretimi: 2002 yılında, 1,8 milyon tonluk üretimiyle Çin dünya lideridir. Onu ABD, Hindistan ve Japonya sırayla izlemiştir.
4. Alüminyum Döküm Üretimi: 2002 yılında, 1,9 milyon tonluk üretimiyle ABD basta gelirken, onu Japonya, Çin ve İtalya izlemiştir.

Bor elementinin kimyasal özellikleri Tablo1.7’de verilmiştir. Fiziksel özellikleri ise Tablo1.8’de verilmiştir.

Tablo 1.7. Bor’un kimyasal özellikleri (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 2010)

Elektrokimyasal Eşdeğer	0.1344g/amp-hr		
Elektronegativite (Pauling)	2.04		
Füzyon Isısı	50.2kJ/mol		
İyonizasyon potansiyeli	Birinci: 8.298	İkinci: 25.154	Üçüncü: 37.93
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190		

Farklı metal ve ametal elementlerin yapmış oldukları bileşiklerin göstermiş oldukları farklı özellikler, bor bileşiklerinin farklı endüstrilerde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bor, bileşikleri metal dışındaki bileşik gibi davranırlar, ama farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkeni olmaktadır. Kristalize olarak bor, görünüm ve optik özellikler bakımından elmasa benzer ve neredeyse elmasın sertliğindedir.

Bor, yeryüzünde yaygın olarak bulunan 51. element olarak geçmektedir. Bor doğada hiçbir zaman serbest halde bulunmamaktadır. Yeryüzünde yaklaşık 225çeşit bor minerali olduğu tespit edilmiştir. Ticari anlamda madenlerin yatakları sınırlandırılmış olup en çok Türkiye ve ABD’de bulunur (MTA, 1976).

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüklerine bağlı olarak değişir. Mikron ölçüsündeki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermemektedir. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyon ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilecektir ve ana ürün olarak borik asit oluşmaktadır (ÖİK, 2000).

Tablo 1.8. Bor'un fiziksel özellikleri (Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 2010)

Atomik Kütlesi	10.811	
Kaynama Noktası	4275K - 4002°C - 7236°F	
Termal Genleşme Katsayısı	0.0000083 cm/cm/°C (0°C)	
Kondüktivite	Elektriksel: 1.0E ⁻¹² 10 ⁶ /cm	Termal: 0.274 W/cmK
Yoğunluk:	2.34 g/cc @ 300K	
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal	
Elastik Modülü	Bulk: 320 Gpa	
Atomizasyon Entalpisi	573.2 kJ/mole @ 25°C	
Füzyon Entalpisi	22.18 kJ/mole	
Buharlaşma Entalpisi	480 kJ/mole	
Sertlik	Mohs: 9.3	Vickers: 49000 MN m ⁻²
Buharlaşma Isısı	489.7 kJ/mol	
Ergime Noktası	2573K - 2300°C - 4172°F	
Molar Hacmi	4.68 cm ³ /mole	
Fiziksel Durumu	(20°C & 1 atm): Katı	
Spesifik Isısı	1.02 J/gK	
Buhar Basıncı	0.348 Pa @2300°C	

1.3.1. Bor'un Tarihçesi

Bor mineralinin kullanım alanlarına dair ilk yazılı metine, 762senesinde Arap yerleşimleri çevresinde rastlanıyor. Bu tarihten kısa bir süre sonra Çinliler; sonrasında da Avrupadan yazılan kaynakların çevrilmesi sonucu 12. ve 13.yüzyılda taşınmıştır (Kılıç, 2004).

Türkiye'de Bor Madenleri 1978 yılında devletleştirildikten sonra tamamen Eti Holding tarafından işletiliyor. Anadolu topraklarında bor ilk kez 1861 yılında çıkarılmaya başlanmıştır. Bor üretimi 1970'li yıllara kadar büyük ölçüde yabancıların elindeydi.

Bor minarelleri, kamu yararı ve ulusal çıkarları korumak adına 4 Ekim 1978’de 2172 sayılı yasa ile devletleştirilmiş ve Etibank’a devredilmiştir.

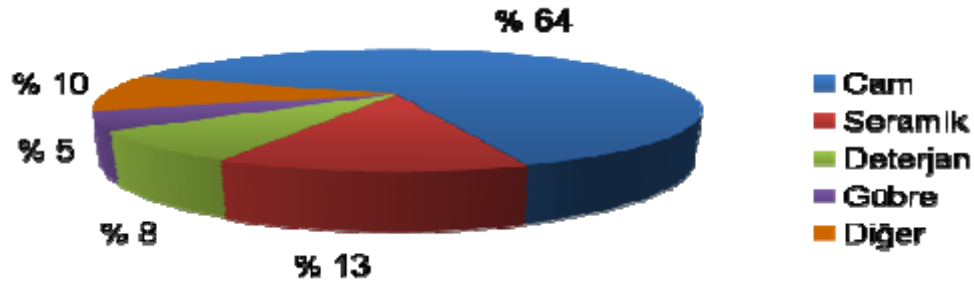
1.3.2. Bor’un Bazı Kullanım Alanları

Askeri ve zırhlı araçlarda, cam sanayisinde, elektronik ve bilgisayar alanında, enerji sektöründe, fotoğrafçılık ve görüş sistemleri alanında, ilaç ve kozmetik alanında, iletişim alanında, inşaat sektöründe, kâğıt sanayisinde, kimya sektöründe, makine sanayisinde, metalürji alanında, nükleer sanayisinde, otomobil sanayisinde, spor malzemelerde, tarım sektöründe, tıp alanında, uzay ve havacılık sanayisinde, kullanılmaktadır (Ulusal Bor Araştırma Ens., 2010).

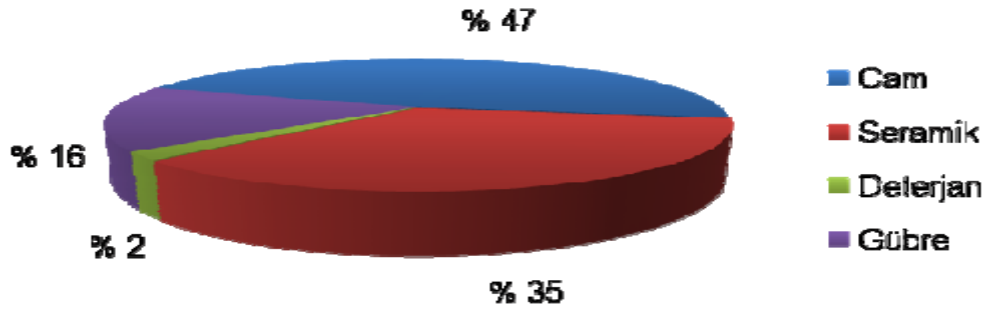
Önceleri ilaç, inşaat, boya, tekstil, deterjan, sabun, ısıya dayanıklı cam, emaye, fiberglas, seramik, elektrik, izolasyon, tarımda kullanılan kimyasal maddelerin üretimi için kullanılmaktaydı. Günümüzde bunlara ek olarak enerji depolamada, su arıtma işlerinde, atık temizleme işlemlerinde, otomobillerde hava yastığı ve hidrolik fren imalinde, bilgisayar teknolojisinde, otomotiv ve silah teknolojisinde hafif ve kursun geçirmez zırh malzemesi olarak, jet ve roket yakıtlarında, atom enerjisi denetim rodlarında, çelik güçlendirmede, ısı ve radyasyondan koruyucu levhalar, yanmayı geciktirici malzeme ile son derece dayanıklı malzemenin imali gibi alanlarda da kullanılmasıyla bor minerallerin önemi gün geçtikçe artmaktadır (Duman,2003).

Tablo 1.9. Dünya bor tüketiminin sektörlere göre dağılımı

ÜRÜN	K. AMERİKA	B. AVRUPA	DİĞER	TOPLAM	PAY %
	bin ton-B ₂ O ₃				
FİBERGLAS	168	97	37	302	20
DETERJAN	21	242	17	280	19
BOROSİLİKAT CAM	51	55	73	179	12
SERAMİK	13	69	80	162	11
TEKSTİL-TİP FİBERGLAS	67	7	87	161	11
TARIM	17	14	27	58	4
DİĞER	84	208	77	369	24
TOPLAM	421	692	398	1.511	100



Şekil 1.18. Bor Ürünlerinin Toplam Satışlarının sektörel (%) dağılımı (Eti Holding, 2003)



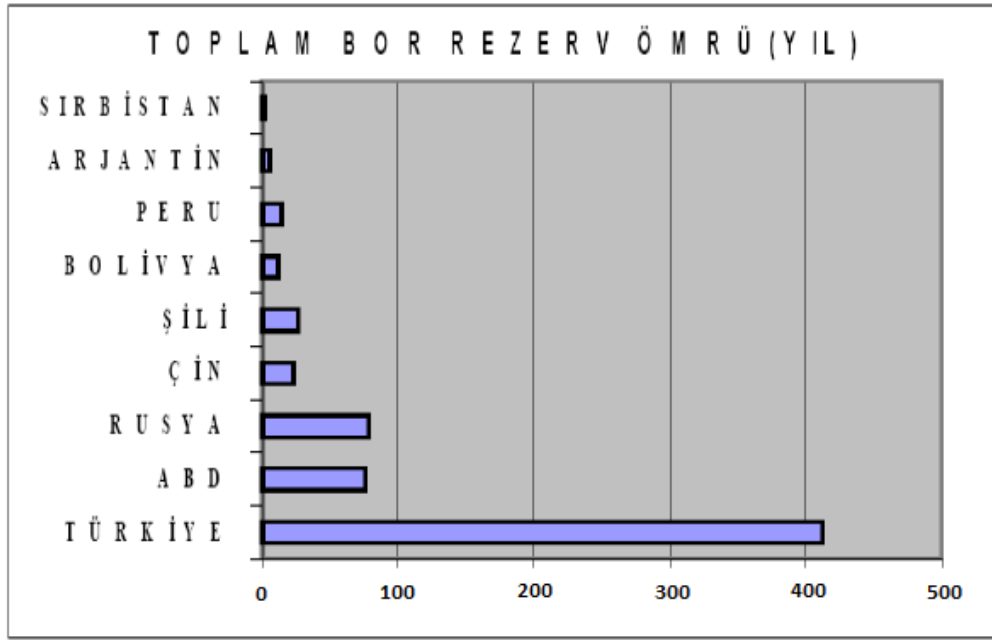
Şekil 1.19. Bor Ürünlerinin Yurt içi Satışlarının sektörel (%) dağılımı (Eti Holding, 2003)

1.3.3. Bor Minarelleri

Bor, elmaştan sonra en sert madendir. Stratejik değere sahip Bor minarelleri doğada yaklaşık 230 çeşittir. Bunlardan ticari değere sahip olanları ise boraks(tinkal), kernit (razorit), kolemanit, uleksit, propertit, pandemit ve borik asittir.

1.3.4. Dünya Bor Üretim ve Rezerv Durumu

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikler olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidro termal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır (Roskill, 2010).



Şekil 1.20. Ülkelerin bor üretimini şu anki hızlarıyla sürdürmeleri durumundaki bor rezervi ömürleri (Çalık, 2002)

Tablo 1.10. 2008 Yılı dünya bor üretiminin bölgesel dağılımı (Eti Holding, 2003)

BÖLGELER	ÜRETİMDEKİ PAY (%)
Avrupa (Türkiye)	42
Kuzey Amerika (ABD)	35
Güney Amerika (Şili, Arjantin, Peru ve Bolivya)	11
Asya (Rusya ve Çin)	12

Dünyadaki bor mineral rezervleri oluşumu başlıca üç kuşaktadır: İkincisi, Türkiye'nin de yer aldığı Güney Orta Asya Alp kuşağı denilen bölgedir (Roskill, 2010).

Tablo 1.11. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı (Eti Holding, 2003)

Ülke	Toplam Rezerv (Bin ton B ₂ O ₃)	Toplam Rezerv (% B ₂ O ₃)
Türkiye	885.000	71.3
A.B.D.	80.000	6.5
Rusya	35.000	2.8
Çin	47.000	3.8
Arjantin	9.000	0.7
Bolivya	19.000	1.5
Şili	41.000	3.3
Peru	22.000	1.8
Kazakistan	102.000	8.2
Sırbistan	-	-
İran	1.000	0.1
Toplam	1.241.000	100

Tablo 1.12. Türkiye bor rezervlerinin maden sahalarına göre dağılımı (Eti Holding, 2003)

Maden Sahası	Tabii Borat	Toplam Rezerv (Bin Ton)	% B ₂ O ₃
Bigadiç, Balıkesir	Kolemanit, Üleksit	623.459	29-31
Emet, Kütahya	Kolemanit	1.682.562	28-30
Kestelek, Bursa	Kolemanit	6.995	29
Kırka, Eskişehir	Tinkal	750.620	26

1.3.5. Borik Asit

Ortoborik asit, borasik asit olarak da isimlendirilen borik asit (H_3BO_3 , $B(OH)_3$) kristal yapılı, kokusuz, beyaz bir maddedir. Molekül ağırlığı 61.83 g/mol-g, B_2O_3 içeriği %56.3, yoğunluğu 1.5172 g/cm³, oluşum ısısı 1094.3 kJ/mol ve çözünme ısısı +22.2 kJ/mol'dür (Smith ve McBroom, 1992).

Kolemanitten borik asit üretiminde uygulanan endüstriyel proseste, yaklaşık 90°C'de reaksiyonla hazırlanan yaklaşık %17-18 H_3BO_3 içeren derişik çözeltinin 35 - 45°C'ye soğutulması ile borik asit üretilmektedir.

Borik asit son derece zayıf bir asittir. Farklı derişimli borik asit çözeltilerinin 90°C'deki pH değerlerini farklılık gösterebilmektedir. Konsantre borik asit çözeltilerin asitlik gücü ise asetik asite yaklaşmaktadır (NiesandCampbell, 1964).

1.3.5.1. Borik Asit Üretim Yöntemleri

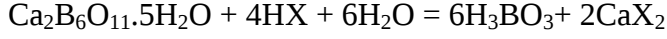
1.3.5.1.1. Genel bilgiler

Borik asit bor minerallerinin değişik asit çözeltileriyle reaksiyonu sonucu oluşmaktadır (Coleman, 1977). Literatürde; kolemanit, üleksit, boraks gibi bor minerallerinin, hidroklorik asit, fosforik asit, sülfürik asit, propiyonik asit, asetik asit, nitrik asit gibi asit çözeltileriyle borik asit oluşum reaksiyonları incelenmiştir. Çalışmalarda, genel olarak reaksiyon kinetiği belirlenerek, karıştırma hızı, reaksiyon sıcaklığı, kullanılan hammaddenin tanecik boyutu, asit konsantrasyonu gibi parametrelerin reaksiyon hızı üzerine etkileri incelenmiş, çalışmaların bazılarında ise bor minerallerinin içindeki yan minerallerden kaynaklanan safsızlıkların çözeltiye geçiş hızları belirlenmiştir. Fakat, çözeltiye safsızlık geçişiyle ilgili sınırlı sayıdaki bu çalışmalarda özellikle magnezyum geçişi incelenmiş olup tüm önemli safsızlıkları inceleyen bir çalışma mevcut değildir.

Kolemanit ve değişik oranlı sülfürik asit/ propiyonik asit karışımları kullanılarak gerçekleştirilen tüm kesikli ve sürekli reaksiyon deneyleri sürekli üretim proses modeline uygun olarak gerçekleştirilmiş olup çözeltiye Al, Mg, Na, K, Si, Sr, As, Fe iyonlarının geçişi incelenmiştir.

1.3.5.1.2. Kolemanitten borik asit üretimi

Kolemanitten borik asit üretimi eşitlik 2.4’de verilen kolemanitin borik asitten kuvvetli herhangi bir asitle reaksiyonu sonucu üretilebilmektedir.



Endüstride uygulanan proses yukarıda verilen H_2SO_4 ile reaksiyona dayanmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda oluşan borik asit çözeltide kalırken, çözünürlüğü çok düşük olan jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çözeltide doymunluk (veya belirli bir aşırı doymunluk) değeriine ulaşarak kristallenir ve cevherdeki asitte çözünmeyen diğer maddelerle birlikte filtrasyonla çözeltiden ayrılır. Çözeltide kalan borik asit ise 35-45°C’de kristallendirilerek elde edilir.

Kolemanitten borik asit üretiminde, reaksiyondan çıkan katıların yıkanmasına olanak sağlayacak kadar suyun kullanılabilmesi için kalsiyum sülfat ile mümkün olduğunca fazla suyun çıkması yani kalsiyum sülfatın jips halinde çöktürülmesi gerekir. Ayrıca hemihidrat oluşumu, hemihidratın çözünürlüğü jipse göre daha yüksek olduğu için, kristalizasyona giren çözeltideki CaSO_4 konsantrasyonunun artmasına ve kristalizasyon sırasında jips halinde çökerek ürün borik asiti CaSO_4 açısından kirletmektedir. Bu nedenle reaksiyon sıcaklığı hemihidrat oluşumuna izin vermeyecek kadar düşük olarak seçilir. Fakat reaksiyon ortamındaki serbest asit konsantrasyonu veya diğer iyonların varlığı transizyon sıcaklığını düşürerek hemihidrat oluşumuna neden olabilir. Bu olay gerçek reaksiyon ortamında şimdiye kadar incelenmemiş olup alınan katı örneklerinin X-ışınları kırınımı analizi düşük sıcaklıkta hemihidrat kolaylıkla dihidrata dönüşeceği için uygun bir yöntem değildir.

Bu olay ancak yerinde ölçüme olanak tanıyan Raman spektrometresi ile takip edilebilir. Reaksiyon süresi içinde jipsin aşırı doymunluğunun giderilip giderilmediğini belirleyebilmek için jipsin reaksiyon koşullarındaki (sıcaklık, borik asit konsantrasyonu) çözünürlüğünü bilmek gerekir. Borik asit çözeltilerine giren ve çözeltide giderek artan konsantrasyonlara çıkan safsızlıklarda jipsin çözünürlüğünü etkilemektedir. MgSO_4 ’ın jipsin çözünürlüğü üzerine etkisi incelenmiştir. 90°C’deki %18’lik borik asit çözeltilerinde, ortamda %0.5 oranında MgSO_4 varlığı jipsin çözünürlüğünü %0.224’e çıkarırken, bu konsantrasyonun üzerindeki MgSO_4 konsantrasyonları çözünürlüğü düşürmekte, %3.5’luk MgSO_4 konsantrasyonu için çözünürlük %0.097’ye düşmektedir (Bulutçu ve diğ., 1997).

Kolemanitin sudaki çözünürlüğü çok düşük olmasına karşılık, borik asit çözeltilerindeki çözünürlüğü, borik asit konsantrasyonunun artması ile artmaktadır. Kolemanitin borik asit çözeltilerinde çok hızlı çözündüğü ve %18'lik borik asit çözeltisindeki denge çözünürlüğünün %2.12 olduğu bulunmuştur. (Bulutcu ve diğ., 1997).

Borik asit çözeltisinde çözünen kolemanit çözeltinin pH'ını değiştirmektedir. Saf borik asit çözeltilerine %0.8'e kadar kolemanit eklenmesi ile oluşan pH'ları göstermektedir. Kolemanitin saf sülfürik asitle reaksiyonuna dayanan proseste kolemanit cevheri ile sisteme giren ve asitlendirme sırasında çözeltiye geçen Fe ve As safsızlıklarını gidermek için pH'nın 3'ün üzerinde olması ve bu iyonların Fe^{3-} ve As^{5+} durumlarına okside edilmeleri gerekmektedir.

Kolemanitin borik asit çözeltilerindeki bu çözünürlük davranışından, borik asit üretim prosesinde, reaksiyonda kolemanit fazlası kullanılarak Fe ve As safsızlıkların kontrolü için yararlanabilir.

Bu şekilde pH kontrolü yapabilmek için iki farklı yol önerilmiştir.

Reaksiyon pH'ının 1.5-1.8 arasında tutulduğu 1. reaktördeki bekleme süresi azaltılarak reaksiyona girmemiş kolemanitle diğer reaktörlerde pH yükseltilebilir veya 3. reaktöre uygun miktarda kolemanit beslemesi yapılarak pH ayarlanabilir. Fakat burada eklenebilecek en fazla kolemanit %0.5'in altında olmalıdır.

Çünkü derişik üretim çözeltisinde çözülebilen daha yüksek oranlı kolemanit, borik asit kristalizasyonu sırasında borik asit konsantrasyonunun düşmesi nedeniyle kristalize olarak ürün saflığını bozabilir. %0.4'e kadar kolemanit fazlalığı istenilen pH değişikliğini oluşturmaktadır.

Kolemanitin değişik oranlı propionik asit/sülfürik asit karışımlarındaki reaksiyonlarında ise reaksiyon pH'ı 3.7-4.3 arasında olduğundan kolemanitin çözünürlüğünden yararlanılarak yapılan pH kontrolüne gerek duyulmayacaktır. Ayrıca bu ılımlı pH değerlerinin tüm reaktörlerde geçerli olması reaktörlerdeki korozyon hızını da azaltacaktır.

1.4. Yataklar

Muylular çevrelenerek desteklenmesini ve dönmelerini imkan sağlayan makine elemanlarına yatak denir (Çerik,1986). İçten yanmalı motorların silindirleri içerisinde oluşturulan yükler veya güçler, makinenin hareket mekanizmalarından yardımcı makinelere ileten, piston eksenel hareketlerini devir hareketlerine döndürülmesini sağlayan krank milleri, kam milleri vb. hareketli parçaları taşıyan hareketsiz kısım isimleri “yatak” ve bunların yüzeylerine de “yatak yüzeyi” denir (Küçük şahin, 1999; Çerik,1986).

Yataklar krank muylularından daha çok aşınan yumuşak metal kaplı değiştirilebilir zarflardır (Glenn, 1975).

Motorların gelişmesi, yatakların yapım mükemmelliğiyle yakından ilgilidir. Çünkü, motor gücünün, veriminin artması ve çalışma düzeni üzerinde, yatakların payı büyüktür. Yataklar yapısal özelliklerine göre, iki guruba ayrılabilir;

I - Kaymalı yataklar

II -Yuvarlanmalı yataklar

Yataklar çalışma sırasında uygulanan yüklerin türüne göre de ikiye ayrılmaktadır;

I - Yüğü değişmeyen yataklar (elektrik jeneratörleri ve morları v.b.)

II – Yüğü değişken yataklar (İçten yanmalı motorların krank mili yatakları v.b.)

1.4.1. Kaymalı Yataklar

Motorun çalışma sırasında yatağın herhangi bir yeri hareket almıyor ve muylu, yatak içerisinde sürtünerek dönme hareketi yapıyorsa, bu tür yataklara kaymalı yatak denir. Yükleme yönüne göre, kaymalı yataklar üçe ayrılmaktadır: (Küçük şahin, 1999; Çerik, 1986).

1- Enine (Radyal) kaymalı yataklar

2- Boyuna (Aksiyal) kaymalı yataklar

3- Enine-Boyuna (Radyal-Aksiyal) kaymalı yataklar

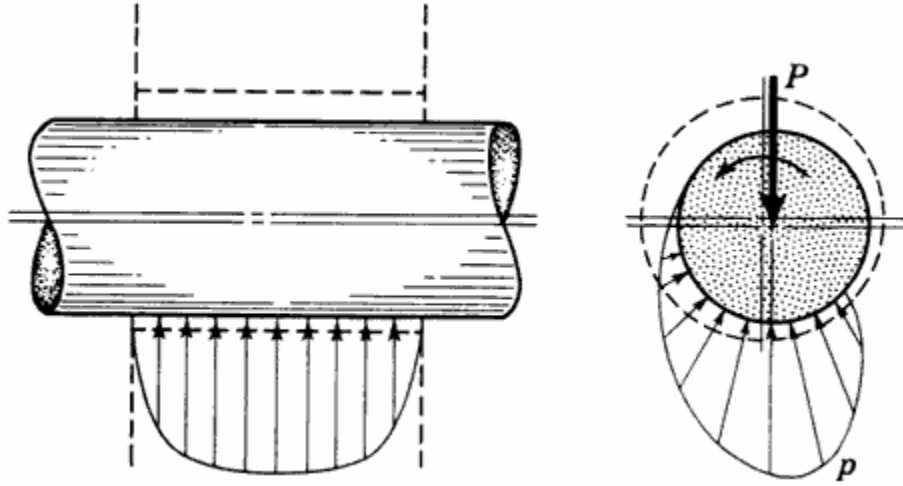
1.4.1.1. Enine (Radyal) Kaymalı Yataklar

Enine kaymalı yataklara, “radyal kaymalı yataklar” da denilmektedir. Şekil 1.23’de görüldüğü gibi bu tür yataklarda yük, yatak eksenine dikey konumda etmektedir. P kuvveti mil dönerken milin yatağa yaslanma yüzeyine şekildeki gibi basar ve kuvvet merkez kaç etkisi ile yumurta grafiği dağılımına benzer şekilde yaslanma yüzeylerinden kenarlara gittikçe azalır.

Kaymalı radyal yatakların gövde kısmı, tek parçalı veya iki parçalı olabilir. O halde; yatak gövdesine göre kaymalı yataklar, ikiye ayrılır (Küçük şahin, 1999; Çerik, 1986).

A- Gövdesi tek parçalı, kaymalı radyal yataklar

B- Gövdesi iki parçalı, kaymalı radyal yataklar



Şekil 1.21. Radyal kaymalı yatak ve yatak yükü dağılımı

1.4.1.1.1. Gövdesi Tek Parçalı Kaymalı Radyal Yataklar

Bu yataklar basit yapılı olup, fazla zorlanmayan, dönme sayısı az ve sürekli çalışmayan muylular için kullanılırlar. Bu tip yataklara, gözlü yataklar denir. Gözlü yataklarda burç bulunuyorsa, yatağın ömrü uzar. Çünkü burç, yataklığa elverişli malzemeden yapıldığı gibi, aşırı aşınması durumunda değiştirilebilir. Bu yatak tiplerinin en büyük sakıncası; muylunun yatak içine yalnız eksen doğrultusunda sokulabilmesidir. Bu tip yataklar içten yanmalı motorlarda biyel kolu piston bağlantılarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Akkurt, 1998).

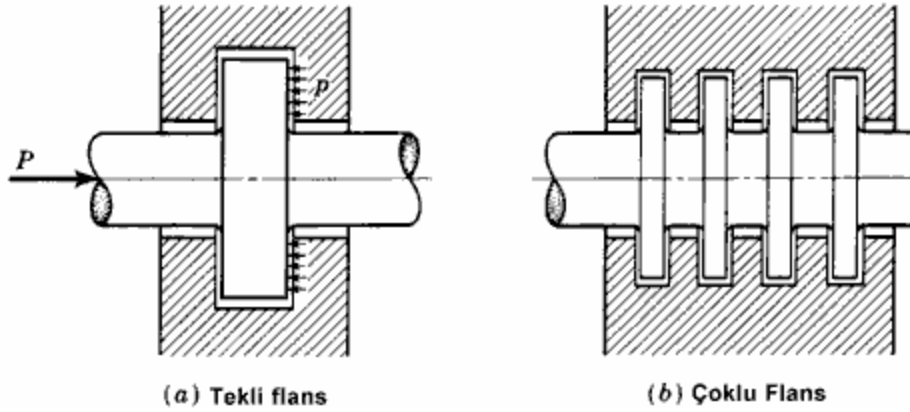
1.4.1.1.2. Gövdesi İki Parçalı Kaymalı Radyal Yataklar

Parçalı yataklar alt parça ve üst parça olmak üzere; gövde kısmı iki parçadan oluşmaktadır. Gövdesi iki parçadan oluşan yataklar genel olarak şu elemanlardan oluşur:

- a- Yatak gövdesi
- b- Yatak kapağı
- c- Kapağı gövdeye bağlayan düzen
- d- İç yatak
- e- Yağlama düzeni

1.4.1.2. Boyuna (Aksiyal) Kaymalı Yataklar

Boyuna kaymalı yataklara, aksiyal kaymalı yataklar da denilmektedir. Bu tür yataklara yük, yatak eksenine paralel etmektedir. Şekil 1.24. de görülmektedir.



Şekil 1.22. Aksiyal kaymalı yatak görüntüsü

1.4.1.3. Enine-Boyuna (Radyal-Aksiyal) Kaymalı Yataklar

Enine-Boyuna kaymalı yataklara, Radyal-Eksenel kaymalı yataklar denilmektedir. Bu tür yataklara yük, yatak eksenine hem dik hem de paralel etmektedir. Yağlama bakımından kaymalı yataklar sıvı ve sınır sürtünmeli olabilirler. Bu son durumdaki yataklara kuru sürtünmeli yataklarda denir. Sıvı sürtünmeli yataklar hidrodinamik, gazodinamik, hidrostatik ve gazostatik olmak üzere dört gruba ayrılır.

1.4.2. Yuvarlanmalı Yataklar

Muylu dönüşünü kolaylaştırabilmek için, farklı biçimlerde yuvarlanan parçaları içeren yataklara yuvarlanmalı yataklar veya rulmanlı yataklar denir. Şekil 1.25.'de görüldüğü gibi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Rulmanlı yataklar

- 1- İç bilezik
- 2- Yuvarlanma elemanları
- 3- Kafes
- 4- Dış bilezik
- 5- Yatak kutusu gibi kısımlardan oluşan bir sistemdir.



Şekil 1.23. Rulmanlı yatağın genel görünümü

İç bilezik mil üzerine, dış bilezik makine gövdesine geçirilir. Kafes ise, yuvarlanma elemanlarının birbirine göre belirli bir mesafede tutulmasına yarar. Rulmanlı yatakların kaymalı yataklara göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

Hareketin başlangıcındaki sürtünme ile çalışma süresindeki sürtünme arasında çok az bir farkın olması: Sürtünme katsayısının çok düşük ve buna bağlı olarak enerji kaybının aynı oranda az olması, eksenel bakımdan az yer işgal etmesi. Yağlamanın basit, yağ sarfiyatının az olması, bakım ve değiştirilmesinin kolay olması boyutlarının uluslararası kabul edilen standartlara uygun yapılandırılması ve piyasada hazır bulunması vb. gibi.

Bu avantajların yanı sıra rulmanlı yatakların dezavantajları da vardır. Yüksek devirlerde gürültülü çalışması, ömürlerinin daha az olması ve devir sayısı büyüdükçe ömrünün azalması, radyal yönden daha büyük yer işgal etmesi, sönümleme kabiliyetinin az olması vb. gibi. Rulmanlı yataklar yuvarlanma elemanlarına ve taşıdıkları kuvvetlere göre değişiklik göstermektedir. Rulmanlı yataklar yuvarlanma elemanlarına göre; bilyeli ve makaralı olarak yapılırlar. Makaralı rulmanların da silindirik, masuralı, konik ve iğneli yapıda olanları vardır. Taşıyabilecekleri yüklere göre rulmanlar radyal yük taşıyan, eksenel yük taşıyan ve radyal yük ve eksenel yükleri bir arada taşıyan radyal-eksenel şeklinde olabilirler. Tüm bu hususlar dikkate alınırsa, rulmanlı yataklar yukarıda anlatıldığı gibi sınıflandırılabilirler.

1.4.3. Kaymalı Yatakların Yapısı

Otomobil motorlarından son zamanlarında daha yüksek performans ve daha düşük yakıt tüketimi talep edilmektedir. Bu talepler yatakların zorlu koşullar altında çalışmasını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak, motor yatakları daha yüksek yükler altında ve daha yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Yüksek performanslı yeni teknolojiye sahip motorlarda motor yağının viskozitesinin düşük olması, mil ve taşıyıcı arasındaki yağ filminin kalınlığının azaltılması istenmektedir. Bu şartlar altında kullanılan geleneksel yatak malzemelerinin en önemli problemi, düşük aşınma direncidir.

Motorlarda yatak, yanma ile oluşan kuvvetlerin farklı etkilerine dayanabilecek, uzun ömürlü olacak sık sık arıza yapmayacak, muylular çabuk aşınma ve bozulmalardan korunmalı, millerin serbest bir şekilde dönmesini sağlamalıdır. Bir motorda yataklara etkiyen farklı yükler görülmektedir. Kaymalı yataklar bu yükleri karşılayacak özelliklere sahip olmalıdır.

Yataklar yukarıda sayılan özellikleri sağlamaları için değişik malzemelerden yapılırlar, bu malzeme kusnet ve metal olarak üzere iki bölümden oluşur. Kusnetler, genel olarak çelik yada bronzlardan yapılmışlardır. Genel olarak kullanılanlar ise çelik kusnetlerdir. Yatak malzemeleri, yataklardan beklenen tüm özellikleri karşılayacak tek bir metal bulunmadığından, çeşitli elementlerin bileşiminden oluşan alaşımlardır. Alaşım içerisinde bulunacak olan element cinsleri ve miktarları ve kullanılacak motorların özellikleri ve çalışma şartlarına göre değişir. Bu nedenle yatak malzemesinin mukavemeti gerek soğuk gerekse sıcakken yeterli bir değerde olmalıdır. Ayrıca kuru sürtünme katsayısı

düşük, korozyona dayanıklı, ısı iletkenlik katsayısı iyi, yağ tutuculuk özelliği iyi olmalı, sert parçacıkları bünyesine kabul edecek kadar yumuşak olmalıdır, bunlara ilaveten üretimi ve işlenmesi kolay olmalıdır. Yataklardan istenilen bu birbirine zıt olarak kabul edilebilecek özelliklerinin tamamını ideal olarak sağlamak pratik olarak mümkün değildir. Bu özelliklerin bir optimum değeri, alaşımlarla sağlanabilmektedir. Bu nedenle uygulamada çok farklı içerikli ve formülasyonlu kaymalı yatak malzemesi üretilmektedir. Birçok firma tarafından değişik yatak malzemeleri geliştirilmiştir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan kaymalı yataklara, genel olarak “Düz yataklar” yada “Jurnal yataklar” adı da verilir. Silindirik metal yatak, “Kep” diye isimlendirilen iki yarım silindir parçası şeklinde yapılmaktadırlar. Her iki yatağın kepi jurnalın çevresinde, gerçekten bir yüzeyi oluşturacak şekilde hazırlanmıştır. Aşınmış, bozulmuş ya da saran yataklar kolaylıkla değiştirmek için, keplerin içerisine iki yarım silindir parçası olarak yapılmış birer “Şel” yerleştirilmiştir. Diğer yatak şelleri ise, burç şeklinde ve tek parçadan yapılmış, basınçla yerlerine geçirilmektedir. Bunlara örnek olarak pistonların kol yatağı gösterilir. Uzun zaman ve sürekli yük altındaki çalışması sonucu şel yüzeylerindeki metaller aşınır ve yataklar ile mil arasındaki boşluklar çoğalır. Bu gibi durumlarda yataklar bir üst çap da olanları ile değiştirilir. Yataklar mil çaplarına göre küçük ise ana yatak tornalama tezgâhında yenileştirilir.

1.4.4. Yatak Malzemesinden Beklenen Özellikler

- a. Yağlamanın iyi yapıldığı ve yükün bütünüyle sıvı sürtünme ile karşılandığı durumlarda yatak malzemesinin gerekli mukavemet ve sertlikte olması yeterlidir.
- b. Maksimum basınç ortalama basınçtan bir kaç kat büyük olabileceğinden yatağın basma mukavemeti kalıcı deformasyona uğramayacak kadar yüksek olmalıdır.
- c. Tekrarlı yüklere dayanabilmesi için yorulma mukavemeti yüksek olmalıdır. Özellikle uçak ve otomotiv sanayi için bu önemlidir.
- d. Mildeki sehimler yada birtakım hatalar yatağın plastik deformasyonu ile karşılanabilmelidir.
- e. Yatak içine giren partiküller aşındırıcı etki yaparak kısa zamanda yatak ve mili bozar. Yatak malzemesi bu tür partiküllerin içine gömüleceği kadar yumuşak olmalıdır.
- f. Yatağın sınır sürtünme koşullarında yada yağsız ortamlarda aşınmadan, çizilmeden ve sarmadan çalışması,

- g. Isıyı kolayca iletibilmeleri için ısıl iletkenlik katsayıları yüksek olmalıdır.
- h. Geniş sıcaklık aralığında çalışan yerlerde ısıl genişleme katsayıları düşük olmalı.
- 1. Düşük sürtünme katsayısı olmalıdır.(Müh ve Makine Dergisi)

1.4.5. Yatak Malzemesi Çalışmaları

Motorların iyilik derecesinin bir ölçüsü de daha küçük boyutlu motorlardan daha yüksek güçler elde etmektir. Bu çalışmalar günümüz otomobil motorlarını gittikçe daha zorlu şartlarda çalıştırmaya zorlamaktadır. Bu nedenle yataklara gelen yüklerde aynı oranda artmakta ve çabuk yıpranmaktadır. Bu zorlu şartlar karşısında yatak ile mil arasında kullanılan yağ kalınlıkları da iyice azaldığından dolayı kolayca yatak sarması hasarları ile karşılaşmaktadır. Yüksek performanslı motorlarda, yüksek motor zorlanmalarını karşılayabilmek ve yatak ömrünü arttırabilmek için yeni yatak malzemeleri üretimi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır.

Yasuaki, G. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Pb, Sn, In ve Cu alaşımlı yataklar geliştirmişlerdir. Gerçek bir motor şartlarını sağlayabilecek bir düzenek hazırlayıp yeni geliştirdikleri yataklarını bu deney düzeneğinde test etmiştir. Deney sonuçlarına göre yataklar daha iyi yorulma direnci ve aşınma direnci göstermiştir. Yüksek hızlı motorlarda, geleneksel yataklara oranla daha iyi dayanıma ve yağlayıcılık özelliklerine sahip olduğu belirtmişlerdir.

Toru, D. ve arkadaşlarının çalışmalarında Alüminyum alaşımlı ve sert parçacık katkılı yatak malzemesi geliştirmiştir. Bunlar ürettikleri yataklarının aşınma davranışlarının bir aşındırma deney düzeneği kurarak aşınma dayanımını araştırmışlardır. Kullanılan sert parçacıkların aşınma direncini arttırdığını saptamışlardır.

K.V Sudhakar. Bimetal otomobil yataklarının bozulma analizlerini yapmıştır. Malzemedeki hasarlı alanlar bir tarayıcı elektron mikroskobu ile muayene edilmiş. Metalin temel mikro yapısını belirlemek için optik mikroskop kullanılmıştır. Tetkikler sonucunda bozulmanın gerilme çatlamasına bağlı olduğu ifade edilmiştir.

A.E.Roact ve arkadaşları yüksek hızlı dizel motorlar için kurşun esaslı yeni bir krank mili yatak malzemesi geliştirmiş ve bu yatağı gerçek motor şartlarında çalıştırmışlardır. 100 saat sonunda yapılan analizler sonucunda yüksek sıcaklıklarda ve devirlerde kurşunun yağ tutuculuk özelliğinden dolayı aşınmanın düşük seviyede kaldığı belirtilmiştir.

K.Sakamoto, ve arkadaşları düşük yük uygulamaları için yeni bir alüminyum, kurşun ve silikon içerikli bir yatak geliştirmişlerdir. Pürçek, G., ve arkadaşları çalışmalarında çinko alüminyum alaşımlarından imal edilen kaymalı yatağı yatak aşınma test cihazında kuru ortamda 20 N yük, 1500d/dak ve 2.5 saat test etmişlerdir. Yapılan deneylerde yüksek sürtünme katsayısı ve yüksek ağırlık kaybı, yağlı ortamda ise çok düşük sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı elde edilmiştir.

Varol,R., Cu ve Fe içerikli toz metalürjisi (T/M) yöntemi ile üretilmiş kendi kendini yağlayan yatak malzemelerinin hız-ağırlık kaybı, aşınma özelliklerini incelemiş, aynı şartlar altında yüklü uygulamalarda aşınma değerlerinde her iki yatak malzemesinde önemli farklılık olmadığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada demir esaslı T/M yatakların sürtünme özelliklerinin, bronz yataklarinkinden daha kötü olduğu belirtilmiştir.

Ünlü, B., S., ve arkadaşları bakır esaslı bronz ve pirinç yatakların tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması konulu bir çalışma yapmışlardır. Kaymalı yatak malzemesi olarak CuSn10bronz ile CuZn30 pirincinden üretilen yatakların aşınma ve sürtünme özelliklerini belirlemek için bir takım deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, kuru ortamda yapılan deneylerde yüksek sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı, yağlı ortamda ise bunların çok daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Savaşkan, T., ve arkadaşları Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların özellikleri hakkında bir çalışma yapmışlardır. Üretilen alaşımların özellikleri disk-çubuk esaslı bir aşınma deney düzeneği yardımıyla incelenmiştir. Yataklar içerisinde en az aşınanın $ZnAl_{40}Cu_2Si$ alaşımlı yatağın olduğunu ifade etmişlerdir.

Çuvalcı, H., Ticari ZA-27 ve birçok hazır kaymalı yatağı laboratuarda kaymalı yatak deney düzeneğinde değişik çalışma koşullarında sürtünme deneylerine tabi tutularak yatakların sürtünme davranışlarını belirlemiştir. Yatak basıncının yatakların sürtünme faktörünü etkilediğini ve basınç arttıkça bu değerlerin önemli ölçüde düştüğünü ayrıca yatak boşluğu arttıkça da yatakların sürtünme faktörü değerlerinin düştüğünü belirtmiştir.

Ünlü, B., S., ve arkadaşları kaymalı yatakların değişik parametrelere göre tribolojik özelliklerini belirlemek ve bu unsurların kaymalı yatak üzerindeki etkilerini incelemek için radyal kaymalı yatak aşınma cihazı tasarımı yapmışlardır. Bu cihaz üzerinde bu parametrelere göre tribolojik özelliklerinin belirlenmesi bazı deneylerle göstermiştir. Bu yolla bütün deneylerin yatak üzerinde yapılabileceğini açıklamışlar gerçek çalışma ortamında yapılan deneylerden çok fazla sapmalar olmadığını belirlemiştir.

Watanabe, K., ve arkadaşları çalışmalarında yataklar üzerine lazer ile mikron çukurlar açarak sürtünme yüzey alanını azaltmış ve bu oyuklarda yağ biriktiğinden yağlamanın iyileştirdiği ve bu sebeple aşınmanın önemli derecede azaldığı ve motorun mekanik kayıpların fark edilir düzeyde azalma olduğu sonucuna varmışlardır.

Shan, M.C., Maeks, E.,F., yatakların yağlamasını incelemiş ve iyi bir yağlama ile yatakların daha iyi korunduğunu ve yorulmanın geciktiği savını desteklemişlerdir.

Oğulları,E.F., gaz türbinlerinde kullanılan kaymalı yataklardaki silikon nitrit, alüminyum oksit, zirkon oksit gibi seramik malzemelerin etkilerini incelemiş ve sonuç olarak yüksek hızlarda yatak malzemesinde kullanılan sert parçacıkların yatak dayanımını arttırdığını göstermişlerdir.

Araştırmalar, içten yanmalı motorlarda kullanılacak çok çeşitli yatak metali ve alaşımın yararlı bir biçimde kullanıldığını göstermektedir. Bilinen yataklarda bu alaşımlar; küçük yataklarda ince bir tabaka olarak 0.33-0.635 mm ve büyük yataklarda ise 6 mm²ye kadar olabilmektedir.

1.4.6. Yatakların Korunması

İçerisinde aşındırıcı veya paslandırıcı maddeler bulunan kullanılmış yağ, yatak metallerini aşındırma eğilimindedir. Bu nedenle, yatakların yağlama yağları tarafından korunmaları gerekir. Bu, iki şekilde gerçekleştirilir. Bunlar aşındırıcı veya paslandırıcı maddelerin nötrleştirilmesi ve yatak metal yüzeylerinde koruyucu bir yağ katmanının oluşturulmasıdır.

1.5. Aşınma

Aşınma, dış etkenler altındaki temas eden yüzeylerde meydana gelecek fiziksel değişimlerin sonucudur (Akkurt,1992). Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların mevcut olması gerekmektedir.

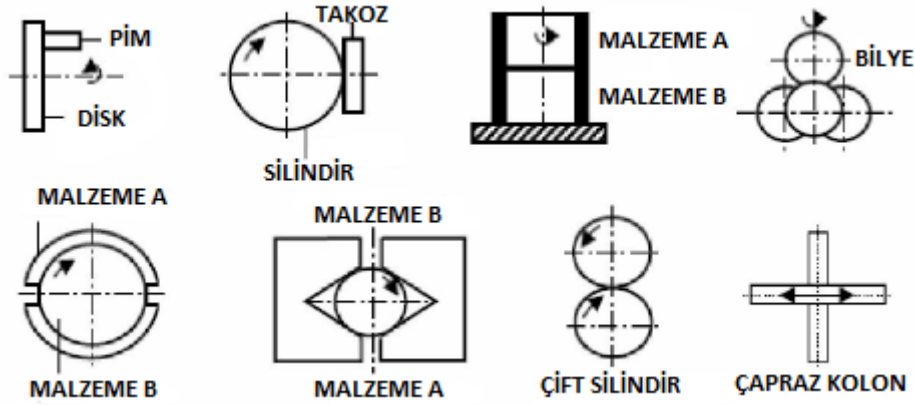
- 1) Mekanik bir etken olması,
- 2) Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
- 3) Sürekli olması,
- 4) Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- 5) İsteğimiz dışında meydana gelmesidir.

Aşınma, ne bir malzeme ve ne de bir malzemenin yüzey özelliğidir. Bilakis bir sistem özelliğidir. Bu nedenle çok değişkenli bir fonksiyon olan aşınmanın sürekli incelenmesi gerekir. Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işleme yöntemleriyle bile işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir (Cöcen,Belevi,Önel, 1997).

Çünkü imalat tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkansızdır. Yüzeyi elde etmede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar itinayla hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzey üzerinde mutlaka belirli büyüklükte pürüzlülük, yani yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunur (Portakal, 1974). Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki karşılıklı pürüzler etkilenir. İlk temas birkaç pürüz tepeleri arasında oluşur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler şekildeğişimine uğrar, yani ezilir ve bunun sonucu kısa boyutlu yeni pürüzler birbiri ile temas ederler. Yüklemin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır (İpek, 1992; İpek, 1987), (Odabaş, 1991). Yüzey pürüzlüğünün artışı ile aşınma direnci azalır (Pıgors, 1979). Temasta olan cisimlere bağıl hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girer. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme enerjisine ve aşınmaya dönüşür (İpek, 1992; İpek, 1987; Odabaş, 1991).

Kayma sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre

Şekil 1.26'da şematik olarak gösterilmiştir (Yılmaz, 1997).

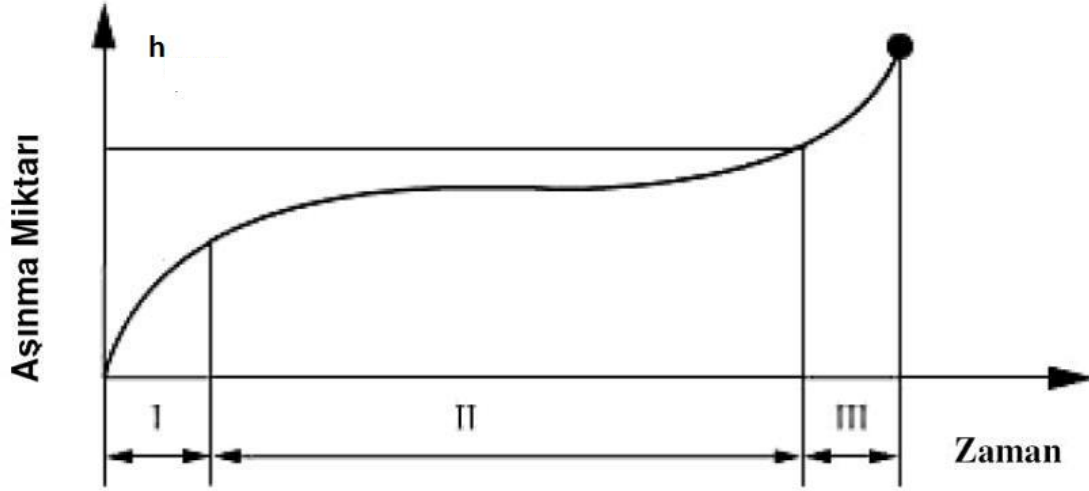


Şekil 1.24. Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri (Yılmaz, 1997).

1.5.1. Aşınma Zaman İlişkisi

Aşınma zaman bağlantısı Şekil 1.27’de görüldüğü gibi üç safhadan ibarettir;

- I. Safhada makinelerin ilk çalıştırılmaları esnada parçaların birbiri üzerinde hareketiyle şiddetli bir aşınma meydana gelir. Rodaj adı verilen bu safhada parçalar birbirine alıştırılır. Burada meydana gelen aşınma parçaların sonraki aşınma safhalarını da etkilemesi nedeniyle rodaj işleminin iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleşmesi önemli bir unsurdur.
- II. Safhada çalışma devam etmektedir ve temas bölgelerinde aşınma oluşmaktadır. Bu aşınma makine elemanlarının ömürlerinin tespitinde önemli bir etkidir. Rodajdan başlayarak
- III. Safhaya kadar aşınma doğal olarak devam eder.
- III. Safha ise aşınma hızının oldukça arttığı ve parçaların kullanılmaz hale geldiği safhadır. Bu safhaya şiddetli aşınma bölgesi denilmektedir.



Şekil 1.25. Aşınmanın zamana bağlı değişimi (Ünlü, 2004).

1.5.2. Aşınma Türleri

Birçok araştırmacı, malzemelerin aşınması üzerine yaptıkları araştırmalar sonucu aşınmayı farklı farklı sınıflandırmışlardır (İpek, 1992; Odabaş, 1991). En genel olarak bilinenleri;

- 1.Adhesiv aşınma
- 2.Abrasiv aşınma
3. Yorulma aşınma
- 4.Korozif aşınma
- 5.Erozyon aşınma
6. Tabaka aşınma

En genel olarak bilinenleridir.

1.5.2.1. Adhezif Aşınma

Adhesiv aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılması suretiyle meydana gelir. Kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, metal ağırlığı veya etkiyen bir kuvvet, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkiler.

Bu basınç, yani bu noktalardaki gerilme pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynaklanmalarına neden olurlar. Ayrıca pürüzlerin deformasyonu ile oluşan mikro adhesiv temas yüzeyi boyunca yayılır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan adsorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaklaşmayı oluşturur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur (İpek, 1992; Odabaş, 1991; Gürleyik, 1986; Onaran, 1985).

Adhesiv aşınma sırasındaki oksitlenme olayını, korozyif aşınma ile karıştırmamak gerekir. Yukarıda bahsedilen parçalanma malzeme moleküllerinin direk temasa geçmelerine imkan verir. Bunun neticesinde de bölgesel kaynak bağları oluşur (soğuk kaynama); Bu sırada eğer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir ve ergime noktasına kadar ulaşabilir. Böylece kaynama yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parça kopar. Bu metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest parçacıklar halinde kalabilecekleri gibi metallere birine bağlı şekilde de bulunabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı (aşınma) meydana gelmekle beraber, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusudur (Hurricks, 1973).

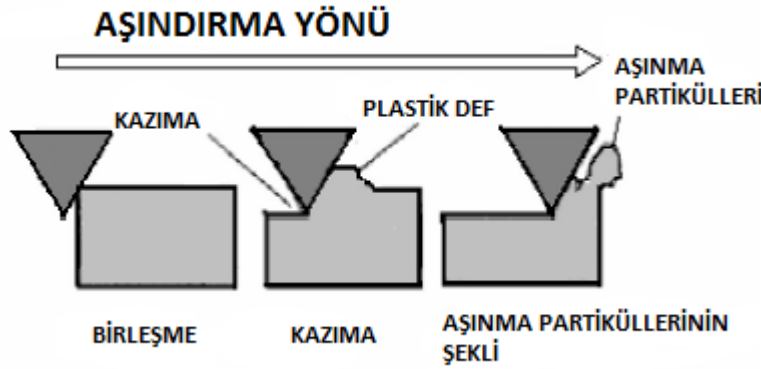
1.5.2.2. Abrasif Aşınma

Abrasiv aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayıdır. Bu tarif, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasif aşınmayı kapsar (Karamış, 1986; Habig, 1980). Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonunda meydana gelen abrasiv aşınma, “İki Cisimli Abrasiv Aşınma”dır. Eğer ara yüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip eden sert tanecikler de bulunuyorsa bu tür aşınmaya “Üç Cisimli Aşınma” denir. Bu tanecikler ara yüzeye dışarıdan girebilecekleri gibi aşınma enkazları da olabilirler (Habig, 1980). Khrushov ve Babichev, aşındırıcı tanelerle temas eden yüzeyde iki prosesin meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Weissbach, 1977).

1) Basıncın etkisiyle plastik şekil değiştirme sonucu çiziklerin oluşması (Metal kalkmadan, yüzeyin plastik değişmesi).

2) Mikro talaş şeklinde metal parçacıkların ayrılması (Yüzeyden mikro talaşların ayrılması).

Abrasiv aşınma, kesilme, kazınma, tek veya tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahrip eden çeşitli mekanizmalar ile meydana gelir. Abrasiv aşınma şeması Şekil 1.28’de görülmektedir. Abrasiv aşınma için en önemli şart, sürtünme sırasında, aşındırıcı sertliğinin aşınan malzeme sertliğinden daha fazla olması gerekir (Weissbach, 1977).



Şekil 1.26. Abrasiv aşınma şeması (Koç, 2004).

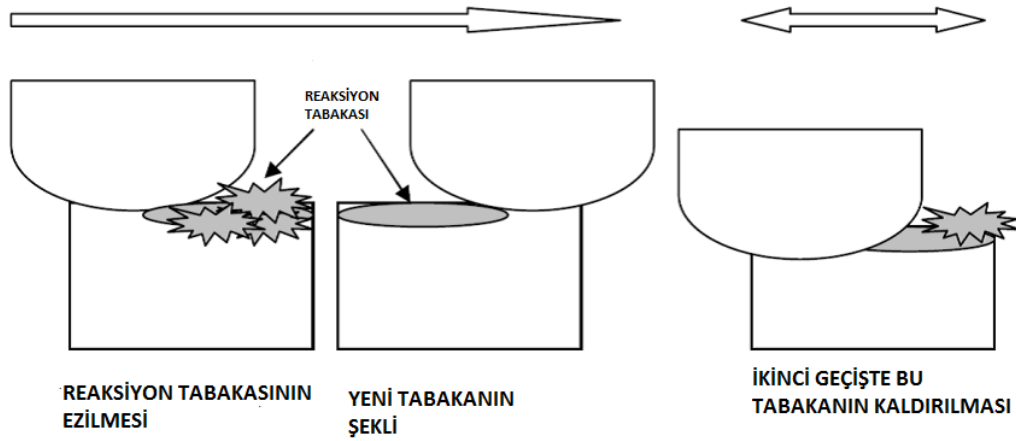
Şekil 1.28’de iki cisimli abrasiv aşınmayı göstermektedir. Daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizerek mikro talaş kaldırmaktadır (Weissbach, 1977).

1.5.2.3. Yorulma Aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelir. Bu olay daima yüzeyden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilimlerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları meydana gelir. Bu olay esnasında iç yapıda parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelerek yüzeyden kısmi çözülmeler olur (Gürleyik, 1980). Pitting adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir (Karamış, 1986).

1.5.2.4. Korozi Aşınma

Temas yapısı farklı tabakaların oluşması ve sürtünme hareketi ile bu tabakaların parçalanıp yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların yanı sıra kimyasal ve elektrokimyasal tahribatların oluşmasına korozyon denir. Metal veya metal alaşımlarının çevreleri ile (katı, sıvı ve gaz ortamlar) kimyasal veya metalürjik ilişkiden dolayı yüzeylerinde aşınma sonucu meydana gelen hasara korozi aşınma denir. Bu aşınma için gerekli şart, korozyonun ve sürtünme hareketinin olmasıdır. Korozi aşınma, abrasiv ve adhesiv aşınmalar ile birlikte oluşabilir. Sürtünen yüzeylerde oluşan korozyon ürünü sert parçacıklar halinde koparsa aşınma şiddetlenir (Tekin, 1986). Korozi aşınma şeması Şekil 1.29’ da görülmektedir.



Şekil 1.27. Korozi aşınma şeması (Koç, 2004).

Korozyonlu aşınmayı önlemek amacıyla;

- Malzeme seçimine dikkat etmek,
- Yüksek sertliğe ve korozyon direncine sahip kaplama malzemeleriyle yüzeyi kaplamak,
- Ortamın hava ile temasını kesmek,
- Kromat ve nitratlar gibi önleyici kullanmak, katodik koruma gibi yöntemler uygulanabilir (Koç, 2004).

1.5.2.5. Erozyon Aşınması

Malzeme yüzeyi ile temas ortamı arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde malzeme yüzeylerinde görülen bozulma şekline erozyon denir. Erozyon, içinde katı tanecikler ihtiva eden bir sıvının katı cismin yüzeyine çarpması ile meydana gelir. Erozyon, (yıkama veya hidroabrasiv aşınma) akıcı maddelerin oluşturduğu aşınmadır. Sıvılar ve gazlar akış sırasında yüzeyden parçacıklar kopmasına ve girdaplar etkisiyle dalgalı bir yüzeyin meydana gelmesine neden olur. Özellikle doğrusal akımın saptırıldığı ve bozulduğu yerlerde aşınma yüksek olmaktadır. Akışkanın birlikte sürüklediği maddeler, mesela, hava içerisindeki tozlar, su içindeki kumlar ve bunlar içindeki oksitler özellikle aşındırmayı artırıcı yönde etki yaparak malzemenin iç yapısını gevşetip, yüzeyden parçacıkların ayrılmasına neden olur (İpek, 1992, 1987; Lülisdorf, 1978).

1.5.2.6. Tabaka Aşınması

Temas eden iki cismin izafi hareketi sırasında, hareketin başlatılması ve devamı için gerekli kuvvet farklıdır. Bu iki sürtünme hali arasındaki direnç farkı özellikle küçük kayma hızlarında sürtünme titreşimlerinin doğmasına sebep olur. Bu titreşimler, tribolojik zorlanmaların işaretidir (Tekin, 1986).

Malzeme yüzeyinde mevcut olan ve sürtünme olayı esnasında meydana gelen tabaka, ana malzemenin aşınmaya karşı olan direncini önemli ölçüde değiştirir. Parçalanarak serbest hale geçen oksit parçacıklarının kalktığı bölgede tekrar oksitleme görülür ve olay süreklilik kazanır (İpek, 1992; Akkurt, 1990).

Malzemenin bölgesel olarak aşırı zorlanan yerlerinde, fiziksel veya kimyasal değişimler sonucunda meydana gelen bir aşınmadır. Genelde uzay araçlarının sıcaklığa dayanıklı kabuğunda ve fren balatalarında görülür (Lülisdorf, 1978; Akkurt, 1990).

1.5.3. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Yapılan çeşitli çalışmalar ile aşınmaya etki eden faktörler belirlenmiştir. Ancak aralarındaki ilişki tam olarak tespit edilememiştir. Aşınmaya etki eden değişkenler ise şunlardır;

1.5.3.1. Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Olanlar

- 1) Malzemenin Cinsi
- 2) Kimyasal Bileşimi
- 3) Mikro Yapısı
- 4) Hacimsel ve Yüzeysel Sertliği
- 5) Elastiklik Modülü
- 6) Akma ve Kırılma Özellikleri
- 7) Yüzeyin Pürüzlülük Durumu
- 8) Şekli ve Boyutları
- 9) Soğuk Şekillendirme Durumu
- 10) Gördüğü Isıl İşlem

1.5.3.2. Karşı Elemana Bağlı Olanlar

- 1) Aşındırıcı Tane Büyüklüğü
- 2) Tane Şekli
- 3) Tane Dağılımı

1.5.3.3. Ortama Bağlı Olanlar

- 1) Nem
- 2) Sıcaklık

Farklı yüksek basınç ve çalışma hızlarında yapılan deneyler neticesinde sürtünen yüzeyin artması ile aşınmanın hızlandığı, aynı yükte çalışma hızının artması ile aşınmanın da arttığı tespit edilmiştir. Basınç artışına paralel olarak çalışma hızının da artması aşınmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca sürtünmeyi artıran yük aşınmanın artmasına neden olmaktadır (Karamış, 1986).

Metal-metal sürtünme aşınmasında aşınma miktarı, zamana ve kayma yoluna bağlı olarak belirtilir. Aşınma miktarları aşınan parçanın şekil ve ağırlık değişimine ait sayısal bir büyüklük olup aşınma (olay) ve aşınma miktarı (sonuç) olarak birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Buna göre aşınma miktarı parçanın ağırlık kaybı (gravimetrik aşınma) ve hacimsel

(volumetrik) aşınma veya sürtünme yüzeyinin yükseklik kaybı olarak ifade edilir (Gürleyik, 1986; Arıkan, 1988).

1.5.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Gelişen ve değişen endüstri ve sanayi alanlarında kullanılan alet ve makinelerde istenilen en önemli özellik kullanım ömürleridir. Makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti içinde birçok laboratuvar testlerinin yapılıp daha sonra kullanılması gerekmektedir (Aytaç, 2007).

Bu malzemelerin tespiti için de birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gereklidir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin bir modeli ile çalışır. Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür (Aytaç, 2007).

a) Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemelerinin adhesiv (metal metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler

b) Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü deneyler

ASLE (American Society Of Lubrication Engineers, 1978) tarafından yüz kadar test sistemi belirlenmiştir. Bu aşınma testlerinde, aşınma ölçüm yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişimi ve radyoizotop metotları gibi metotlar kullanılmaktadır. Bir ölçme yönteminde öncelikle yüksek hassasiyet, kolay ve seri uygulama ve son olarak ekonomik olması beklenen özelliklerdir (İzciler, Öcal 2001).

1.5.4.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi için 10^{-4} veya 10^{-5} hassasiyetindeki teraziler kullanılır. Aşınma miktarı gram veya miligram olarak bulunur. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin çıkartılıp ölçüm yapılması gerekir, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması, bu yöntemin dezavantajıdır.

1.5.4.2. Kalınlık Ölçme Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değerinin karşılaştırılması ile elde edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile $\pm 1\mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülebilir.

1.5.4.3. İz Değişiminin İzlenmesi Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutlarındaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir.

1.5.4.4. Radyo İzotoplarla Ölçme Metodu

Sürtünmenin yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α - parçacıkları ile bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınma miktarının yüksek derecede hassasiyetle ölçülmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi en büyük avantajıdır (Keleştimur, 1989).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılmak amacıyla biri referans malzemesi olmak üzere toplam altı çeşit deney malzemesi kum kalıp döküm yöntemi ile üretilmiştir. Öncelikle referans malzemesi (NR)ve daha sonra da bu malzemeye değişik oranlarda borik asit (H_3BO_3) ilave edilerek (Tablo 2.1) diğer (N1-N5) deney malzemeleri üretilmiştir.

Üretilen alaşımların bileşimleri spektral analiz yöntemiyle belirlenmiş ve tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Deney numunelerinde kullanılan borik asit oranları

	Kimyasal bileşim (% ağırlık)													Borik Asit
	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr	Sb	P	Al	(ppm)
NR	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	0
N1	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	1
N2	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	3
N3	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	5
N4	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	10
N5	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	20

2.2. Yatak Malzemelerinin Üretimi

Kum kalıba döküm en çok kullanılan üretim yöntemidir. Çok farklı büyüklükteki parçalara uygulanışı ve kalıplama maliyetinin az oluşu tercih nedenlerinin başında gelir. Kum kalıba döküm yöntemi kullanılan kalıbın cinsine göre değişik gruplara ayrılabilir. Bunların bazıları: yaş kum kalıba döküm, kuru kum kalıba döküm, tamamen maçaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan maça kalıba döküm, kabuk kalıba (shellmold) döküm vb. yöntemlerdir.

Kuru kum kalıplarda serbest nem buharı olmadığından kalıp havalandırılması problemi çok azalmaktadır. Daha düşük gerginliğe sahip kumların kullanılabilmesi, bu yöntemle daha iyi döküm yüzeyi elde etme imkânı sağlar. Yaş kum kalıp yöntemine kıyasla, nem kontrolü daha az kritiktir. Ayrıca kalıbın dökümden önce bir müddet beklemesi, yaş kum

kalıplarda olduğu gibi kuruma ve yüzeyin gevrekleşmesi gibi sorunlara yol açmaz. Döküm makinesi basit bir tasarımı ve numune resimleri Şekil 2.1’de verilmiştir.

Ergitme işlemi indüksiyon ocağı kullanılarak yapılmıştır. 10 kg olarak hazırlanan karışım 750 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak eritilmiş. Sonra başka bir pota içerisine, toz halinde bulunan bor ürünü (H_3BO_3) konulmuş ve sıvı metal bu pota içerisine dökülerek karıştırılmıştır. Sıvı metal karışımı daha önceden hazırlanan kum kalıba dökülerek katılaştırılınca kadar bekletilip numuneler kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 2.1. Döküm makinesi basit bir tasarımı ve numuneler

2.3. Sertlik Ölçme İşlemi

Döküm yöntemiyle üretilen deney malzemelerinin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür. Ölçülen sertlik değerlerinin tam olarak belirlenmesi için numunelerin belirli bölgelerinden ölçümler yapılmış ve her bir numuneden toplam 5 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra en yüksek ve en küçük sertlik değeri çıkartıldıktan sonra kalan sertliklerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.

2.4. Yoğunluk Ölçme İşlemi

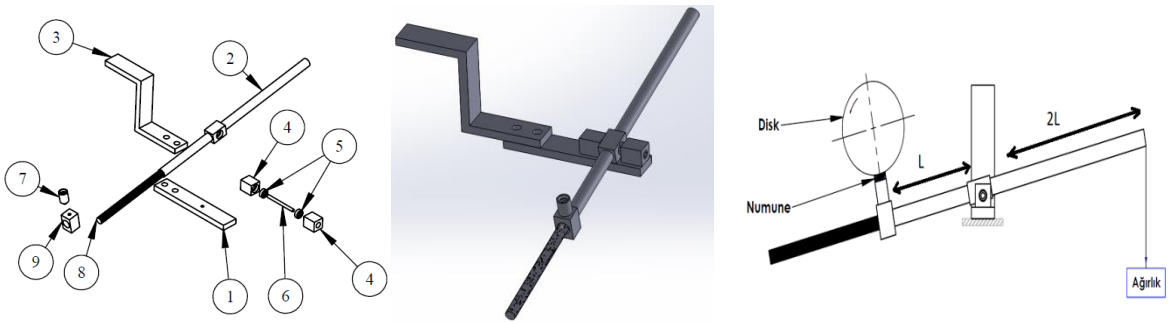
Deney numunelerinin yoğunluğunu belirlemek amacıyla talaşlı işlemlle hazırlanan numunelerin boyutları $\pm 0,001$ mm hassasiyetine sahip bir mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Kütle ölçümlerinde ise $\pm 0,01$ mg hassasiyetine sahip bir terazi kullanılmıştır. Ölçülen kütle değerleri hacim değerlerine bölünerek numunelerin yoğunlukları bulunmuştur.

2.5. Aşınma Deneyi

Borik asit ilaveli yatak malzemelerinin aşınma performanslarını belirlemek amacıyla aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma deneyleri için Şekil 2.2 'de verilen çubuk-disk (pin-on-disk) aşındırma aparatı kullanılmıştır. Burada yük kolu, yük, numune tutucu, numune, aşındırıcı disk görülebilmektedir.

Aşındırma işleminde çapı 110 mm olan disk kullanılmıştır. Bu disk 42CrMo4 (Fe-0,427 % C- % 1,072 Cr - 0,669 % Mn - % 0,053 Mo) çeliğinden imal edilmiş olup, ısıl işlemlle 50 RSD-C (478,3 HB) değerine de sertleştirilmiştir. Sertleştirme işleminden sonra söz konusu disk ± 3 μm 'lik bir hassasiyetle taşlanarak kullanılmıştır.

Aşınma deneyleri 100 N yük altında ve 120 devir/dakika hız ile dönen aşındırıcı disk üzerine bu yükün deney numunelerine sırayla uygulanması ile yapılmıştır. Deneyler esnasında aşındırıcı diskin dönmesiyle alınan yollar 500 m artımlı olarak belirlenmiş ve toplam 2500 m de aşınma miktarı alınan yola bağlı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.2. Aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü

Yapılan aşınma deneylerinde yük sabit tutularak 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m ve 2500 m yol koşullarında numunelerin kütle kaybı mg cinsinden hesaplanmıştır. Kütle kaybı hesaplanırken aşınma deneyi uygulanmadan önce numuneler 10^{-4} hassasiyetindeki

Precisa marka ve XB 220A model terazide tartılmıştır. Daha sonra numuneler sırasıyla aşınma aparatına bağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi yapıldıktan sonra numuneler tekrar tartılmıştır. Böylece numunelerin ilk ve aşınma deneyi sonrası kütleleri arasındaki fark numunelerin kütle kayıpları olarak değerlendirilmiştir. Ölçülen kütle kayıpları alaşımların yoğunluklarına bölünerek aşınma ile meydana gelen hacim kayıpları hesaplanmıştır.

Numunelerin aşınma davranışlarını karşılaştırmak amacıyla aşınmış yüzeyler optik mikroskop (OM) ve tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşınma testi sonuçlarıyla karşılaştırılarak ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

2.6. Korozyon Deneyi

Al₆Si₂CuFeZn kaymalı yatak malzemesinin H₂SO₄(sülfürik asit) korozyon ortamı içerisinde H₃BO₃ etkisini belirlemek için asidik korozyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneyi için; numuneler etüvde 115°C sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletildi. Etüvden alınan numuneler vakum desikatöründe soğumaya bırakılmıştır. Bu işlem numuneler sabit tartıma gelinceye kadar tekrarlanmış ve numuneler sabit tartıma geldikten sonra bu değerler kaydedilmiştir.

Sabit tartım sonrası numuneler % 96'lık H₂SO₄ (sülfürik asit) korozyon ortamı içerisinde (100 ml) 7 gün süreyle bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numuneler saf su ile temizlenip kurutulmuştur. Numuneler etüvde 115 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletilmiş ve etüvden alınan numuneler vakum desikatöründe soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra numuneler tartılarak kütle kayıpları kaydedilmiştir.

Tartımdan sonra numuneler aynı korozyon ortamında ilk deneyde olduğu gibi 7 gün süreyle bekletilerek ikinci ölçümler yapılmıştır. En son olarak 14 gün süreyle tüm numuneler bu işlemden geçirilerek, yaklaşık bir ay gibi bir sürede korozyon deneyi tamamlanmıştır.

2.7. Mikroyapı İncelemeleri

Hazırlanan numunelerin mikroyapısını incelemek için öncelikle numuneler 80, 220, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik silisyum karbür zımparalarıyla yüzeyleri düzgün hale getirilmiştir. Daha sonra elmas yağlayıcı, 1 mikronluk elmas pasta ve çuha kullanılarak

numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatma esnasında saf alkol kullanılarak numune yüzeyleri temiz tutulmuştur. Temizlenen yüzeyler uygun kimyasal maddeler [2,5 ml HNO₃ (nitrik asit) + 1,5 ml HCl + 1 ml HF (hidroflorik asit) + 95 ml saf su] ile dağlanarak farklı renk tonlarındaki bölgelerin ortaya çıkması sağlanmıştır.

Mikroyapı incelemeleri için hazır hale getirilen numuneler F.Ü. Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne ait optik mikroskop (OM) kullanılarak yapılmıştır.

Optik mikroskopla yapılan incelemelerden sonra numunelerin mikro yapılarını daha detaylı incelemek ve ne ölçüde başarılı olduğunu anlayabilmek amacıyla, Fırat Üniversitesi Elektron Mikroskop laboratuvarında bulunan JEOL marka ve JSM 7001F model FE-SEM taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve bunlara bağlı elektron enerji dağılım X-ışını (EDX) spektrometreleri ile detaylı mikroyapı incelemeleri yapılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

2.8. X-ışını Kırınımı İncelemeleri

Farklı Borik asit katkılarının etkisiyle numunelerde oluşacak muhtemel faz ve bileşikler belirlemek amacıyla Ondokuz Mayıs Üniversitesi Karadeniz İleri Teknoloji

Araştırma ve Uygulama Merkezine ait Rigaku marka Smartlab model X Işını Difraktometrecihazı kullanılarak X-ışını kırınımı analizleri yapılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. X-ışını difraktometre cihazı (XRD)

2.9. Termal Analiz İncelemeleri

Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne ait Perkin Elmer marka Diamond model Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile üretilen deney numunelerinin termal analizleri yapılmıştır. Bu yöntemle borik asit etkisiyle $Al_6Si_2CuFeZn$ alaşımlarının faz dönüşüm sıcaklıklarında ilave bir değişikliğin olup olmadığı deneysel olarak araştırılmıştır.

3. SONUÇLAR

3.1. Deney Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri

Üretilen referans alaşımın kimyasal bileşimi Tablo3.1 de verilmiştir.

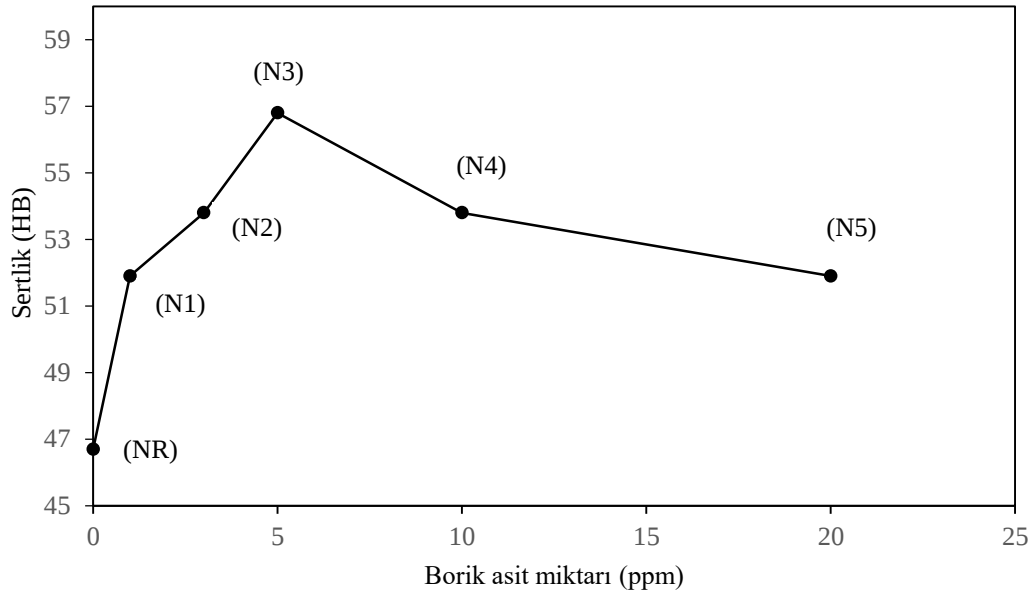
Tablo3.1.Referans numunenin kimyasal bileşimi

	Kimyasal bileşim (% ağırlık)													Borik Asit
	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr	Sb	P	Al	(ppm)
NR	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	0
N1	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	1
N2	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	3
N3	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	5
N4	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	10
N5	6,614	1,789	1,215	1,008	0,138	0,106	0,094	0,087	0,052	0,023	0,001	0,001	Bal.	20

3.2. Sertlik Ölçme Sonuçları

Döküm teknikleri kullanılarak üretilen numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. NR, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin sertliği Brinell (BSD) cinsinden ölçülmüştür. Numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde her bir numuneden 5 adet sertlik değeri alınmış ve ölçülen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur. Şekil 3.1de deney numunelerine ait borik asit oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları grafiği görülmektedir.

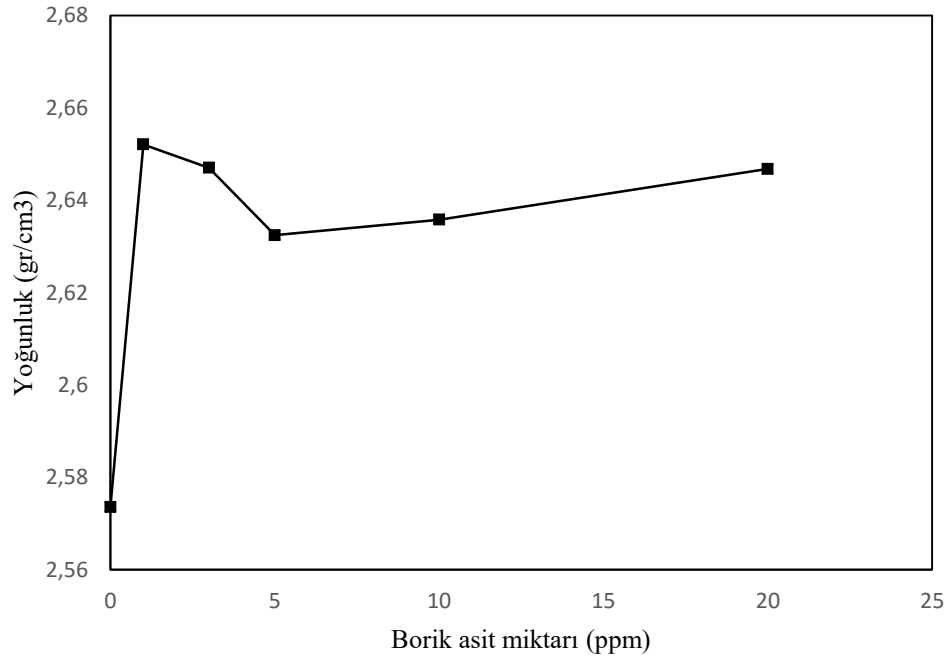
Mekanik deneylerden sertlik ölçümlerinde, referans malzemeye borik asit ilave edildiğinde, deney malzemelerinin sertliğinde artış meydana geldiği anlaşılmıştır. Burada görüldüğü gibi borik asit ilavesiyle numunelerde sertlik artışı olmuştur. Referans numunesinin (NR) sertlik değeri 46,7 BSD iken N3 numunesinin sertlik değeri 56,8 BSD olarak ölçülmüştür. Burada en yüksek sertlik artışına N3 numunesi sahiptir ve referans 1 numuneye göre yaklaşık % 22'lik bir sertlik artışı olmuştur. N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin sertlik değerlerinin referans numuneye göre arttığı gözlemlenmiştir. Böylece referans numuneye katılan borik asit yatak malzemesinin sertliğini artırmıştır denilebilir.



Şekil 3.1. Borik asit oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçları (BSD)

3.3. Yoğunluk Ölçme Sonuçları

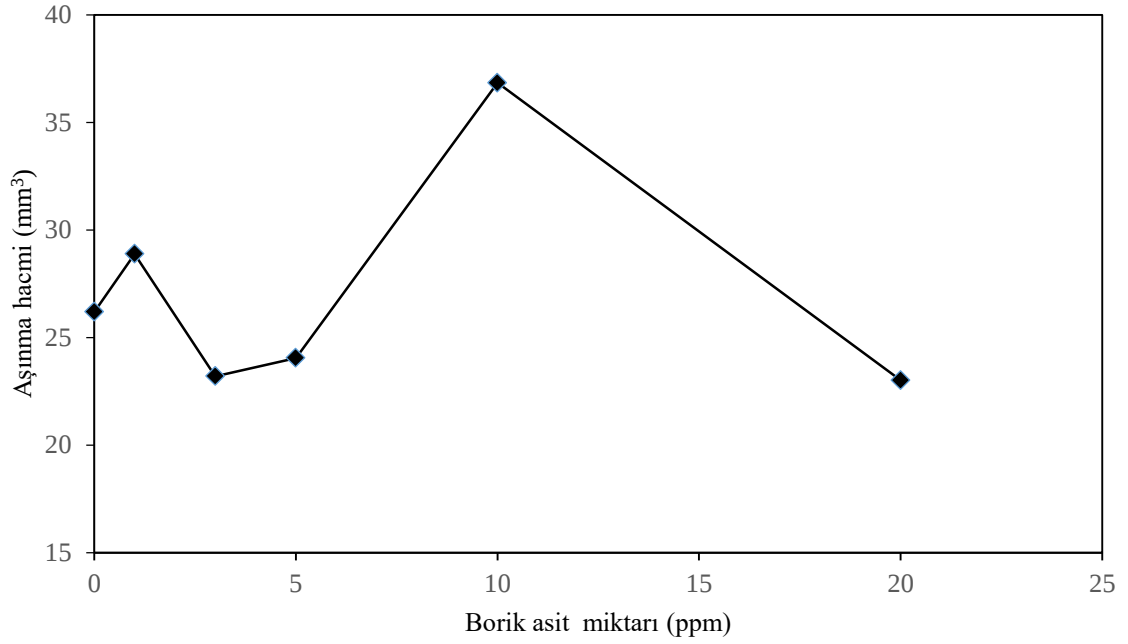
Şekil 3.2’de numunelerin borik asit miktarına bağlı yoğunluk grafiği verilmiştir. Burada borik asit ilavesiyle alaşımların yoğunluklarının arttığı görülmektedir.



Şekil 3.2. Borik asit oranına bağlı yoğunluk ölçüm sonuçları

3.4. Aşınma Deneyi Sonuçları

Şekil 3.3’de tüm numunelerin 100 N yük altındaki aşınma deneyi sonuçları görülmektedir.

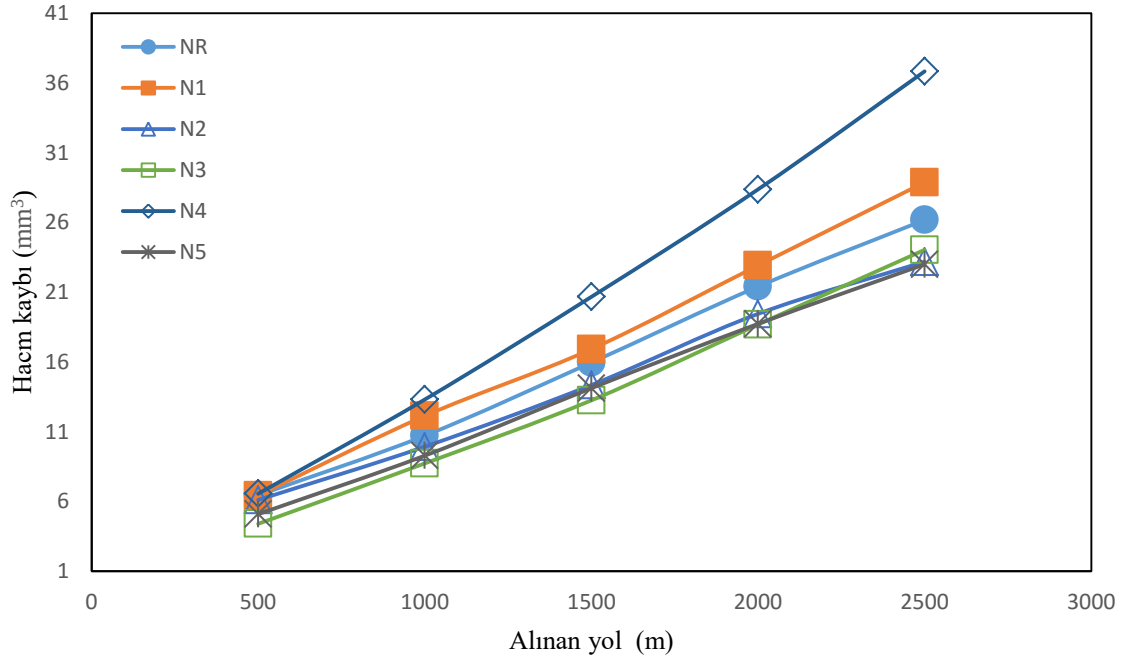


Şekil 3.3. Alaşımların borik asit miktarına bağlı aşınma deneyi sonuçları

Şekil 3.3’teki grafik incelendiğinde burada aşınma dayanımı en az olan numune N4 numunesidir. Referans numuneyle kıyaslayacak olursak, N1 ve N4 numuneleri daha düşük aşınma dayanımına sahip bulunmaktadır. Diğer numuneler ise daha iyi aşınma dayanımına sahiptirler. Borik asit ilavesi aşınma dayanımını olumlu yönde etkilemiştir.

Şekil 3.4’te tüm numunelerin alınan yola bağlı aşınma deneyi sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde 2500 m’lik kayma mesafesi sonunda en az aşınma kaybına N2, N3 ve N5 numuneleri sahiptir. Burada en düşük aşınma kaybını yaklaşık 23 mm³ ile N5 numunesi göstermiştir.

Şekil 3.4’te verilen artan aşınma yoluna bağlı hacimsel aşınma kaybı diyagramında tüm numuneler artan aşınma yoluna bağlı olarak aynı paralelde bir aşınma hacim kaybı göstermişlerdir.



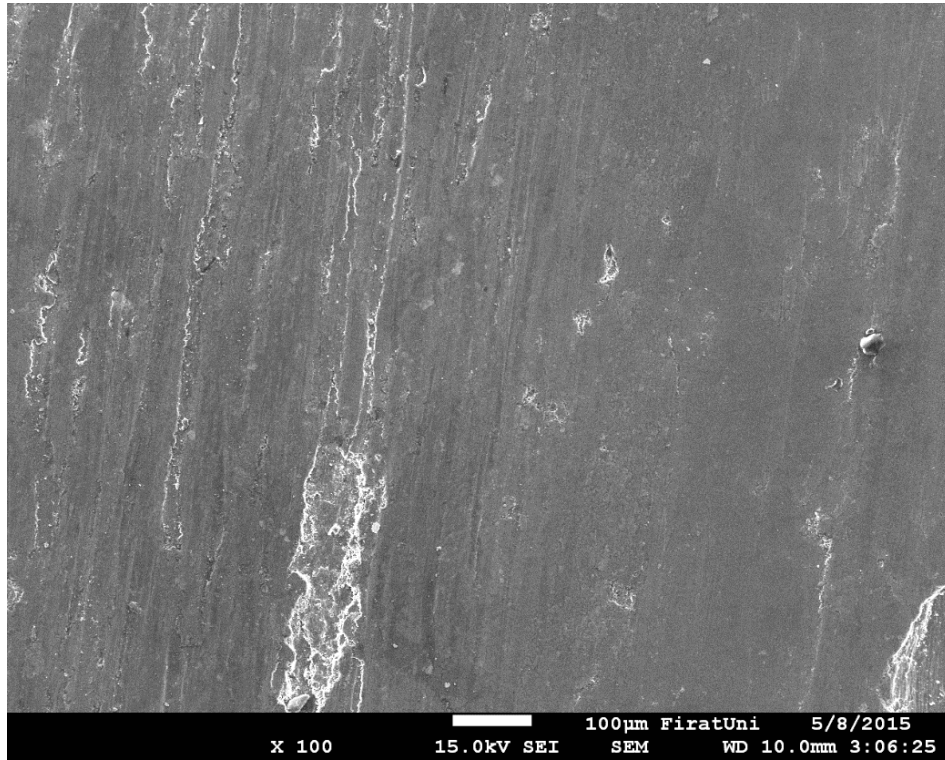
Şekil 3.4. Deney numunelerinde aşınma ile meydana gelen hacim kaybının yola göre değişimi

Deney numunelerinin aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınmış yüzeylerinin mikroyapıları incelenmesiyle ilgili; aşınma izlerinin karakteristik yapıları Şekil 3.5 – 3.16’da görülmektedir. Bu mikrograflar söz konusu alaşımların yüzeylerinde aşınma sırasında oluşan, sıvanma belirtilerini ve çizikleri belirgin bir şekilde göstermektedir.

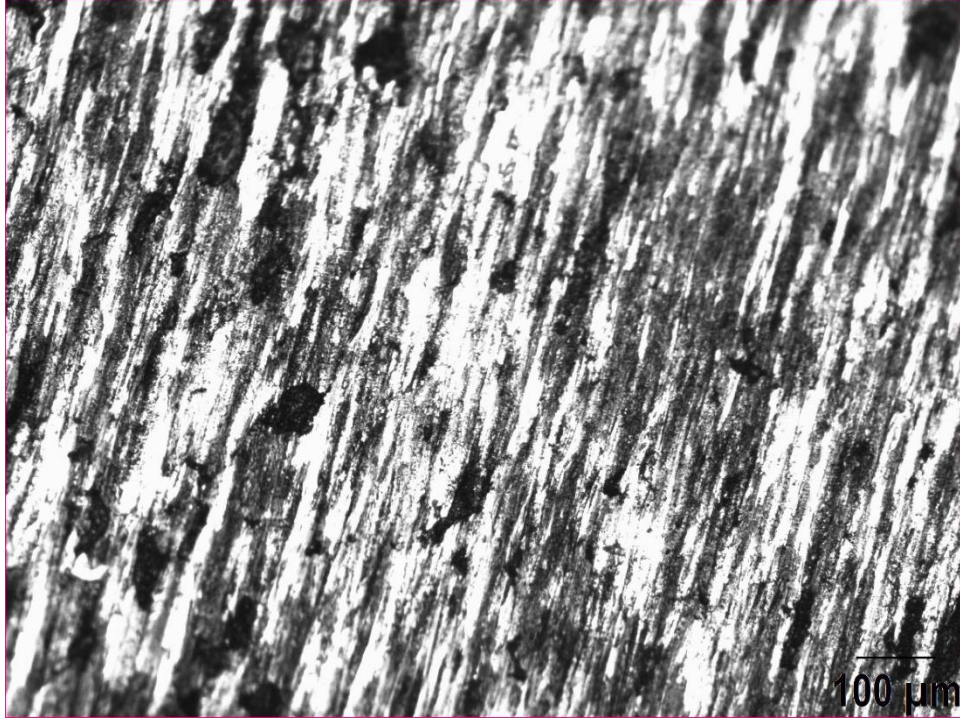
Resimlerde yukarıda verilen aşınma deneyi grafikleri paralelinde ilave edilen borik asit miktarı arttıkça aşınma izlerinde değişimler görülmektedir. Borik asit miktarı arttıkça oluşan çizik sayısı azalmakta, ancak sıvanma miktarı artmaktadır. Sonuç olarak aşınma grafikleri ve aşınmış yüzey resimleri birbirlerini destekler nitelikte olup borik asit miktarına bağlı olarak aşınmanın azaldığı ve sıvanmanın arttığı dikkati çekmektedir.



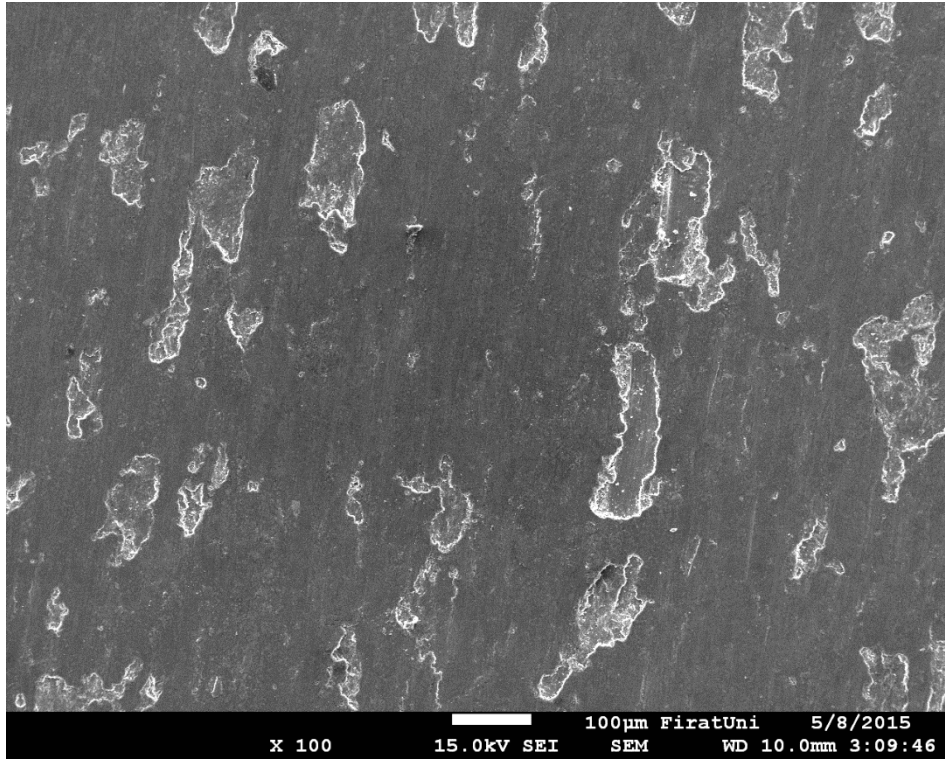
Şekil 3.5. NR numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi



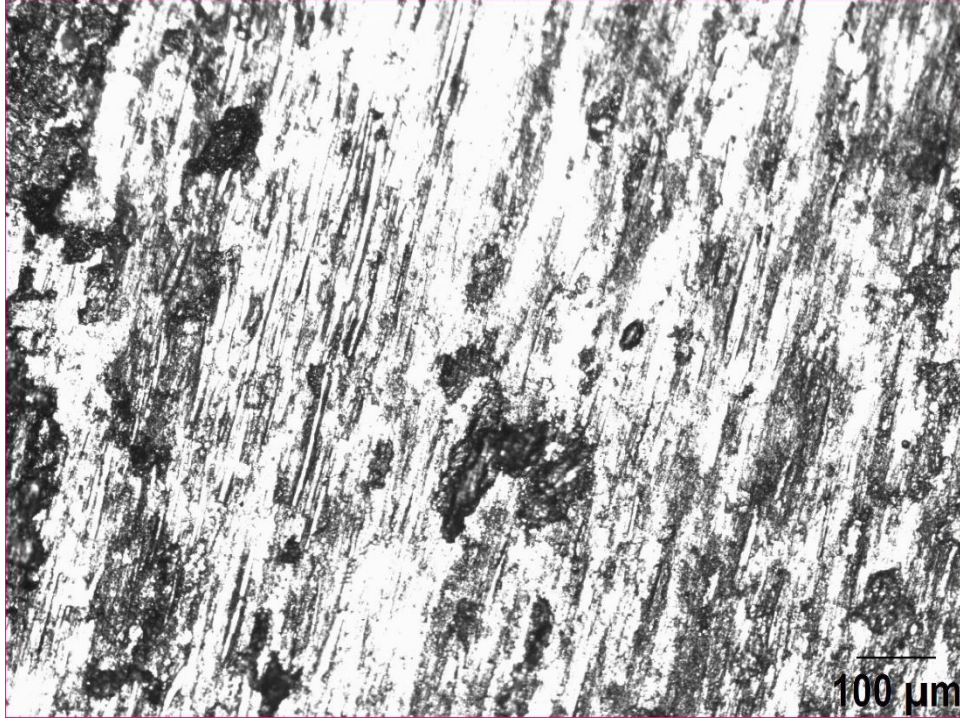
Şekil 3.6. NR numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü



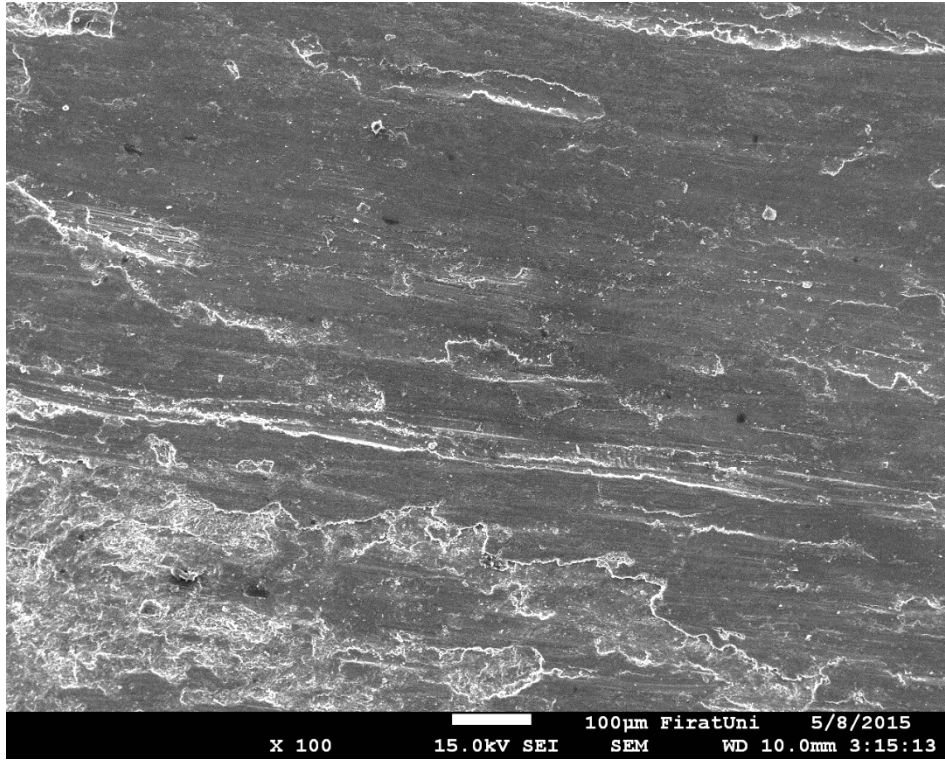
Şekil 3.7. N1 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m'lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi



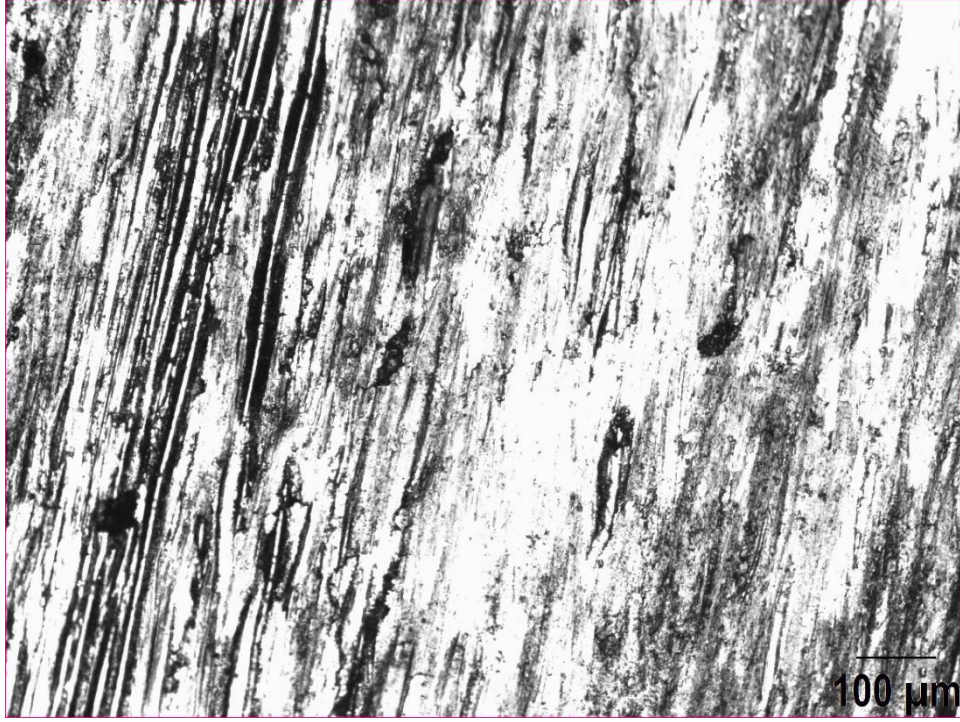
Şekil 3.8. N1 numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m'lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü



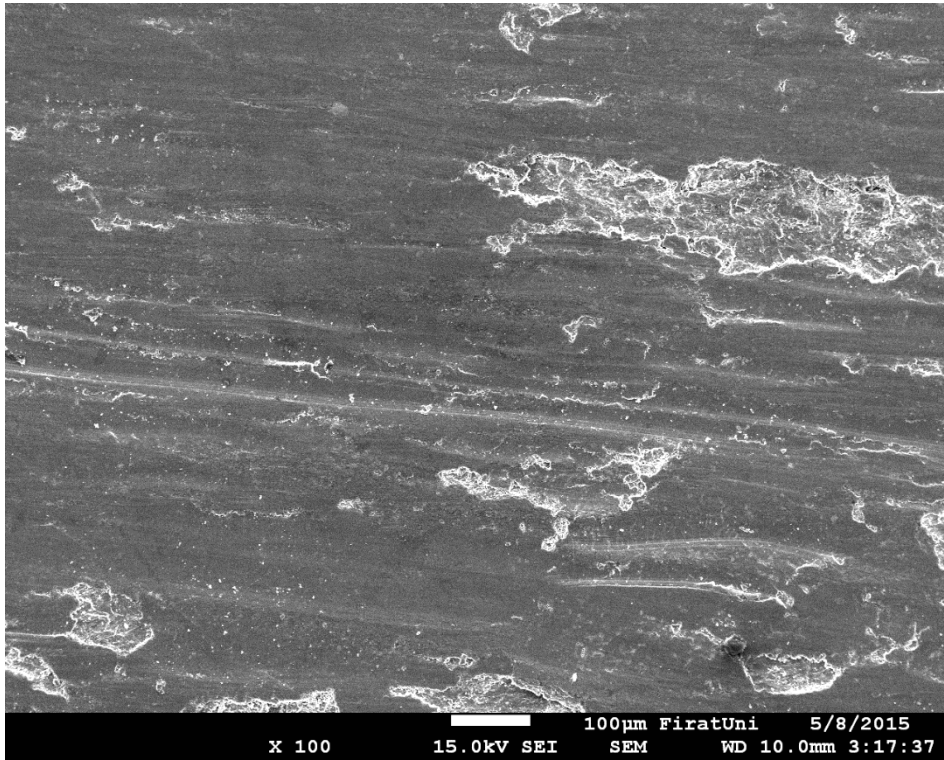
Şekil 3.9. N2numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi



Şekil 3.10. N2numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü



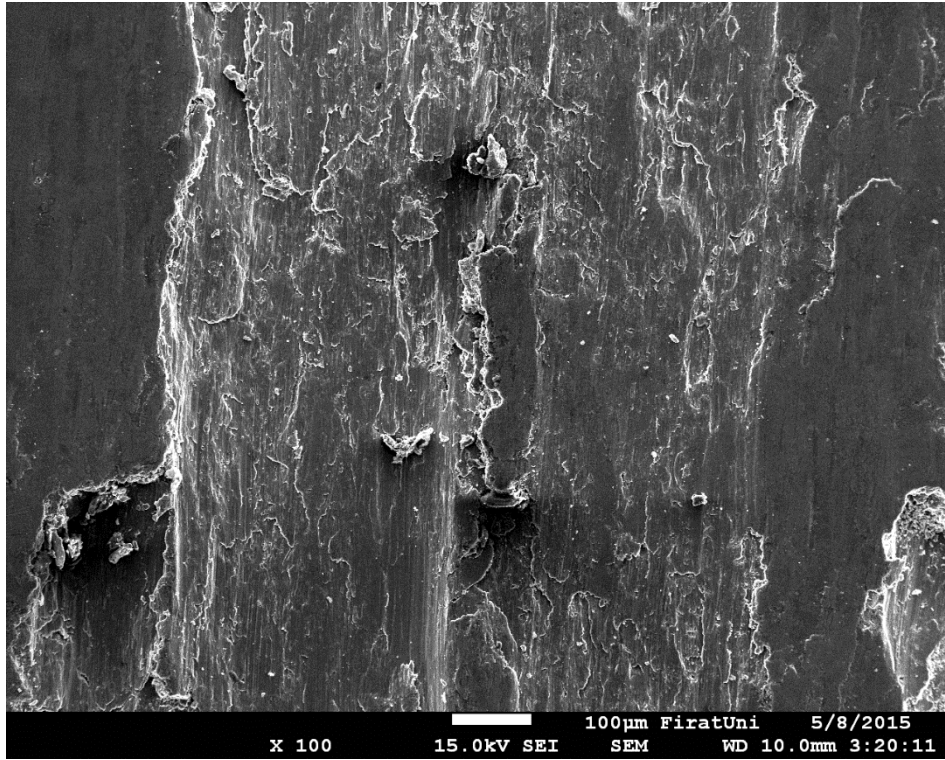
Şekil 3.11. N3numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi



Şekil 3.12. N3numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü



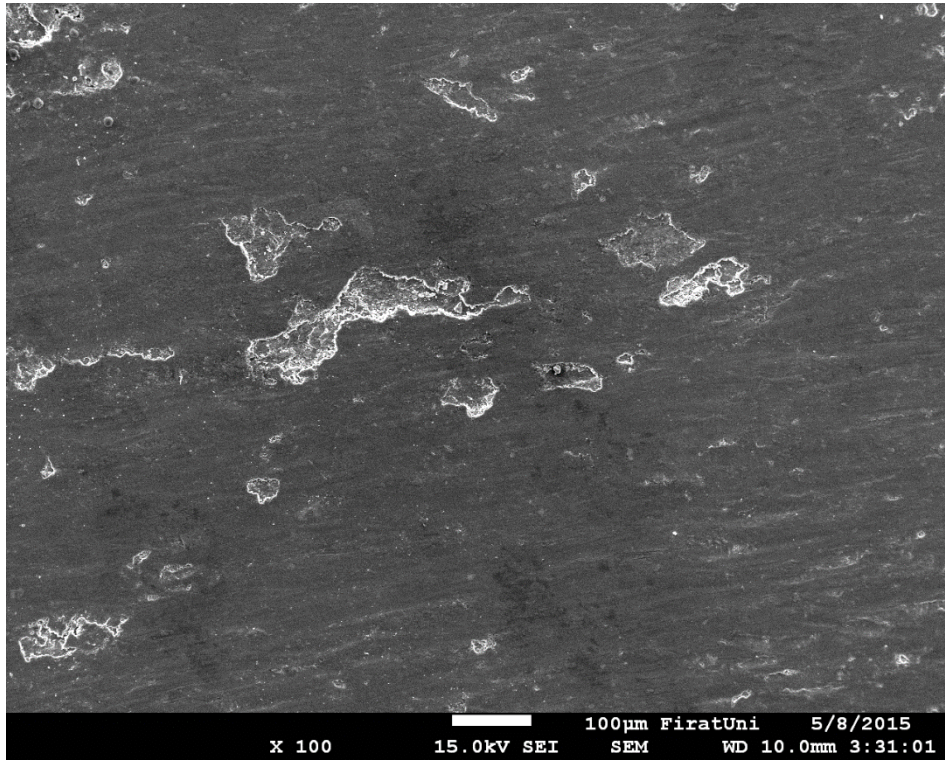
Şekil 3.13. N4numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi



Şekil 3.14. N4numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü



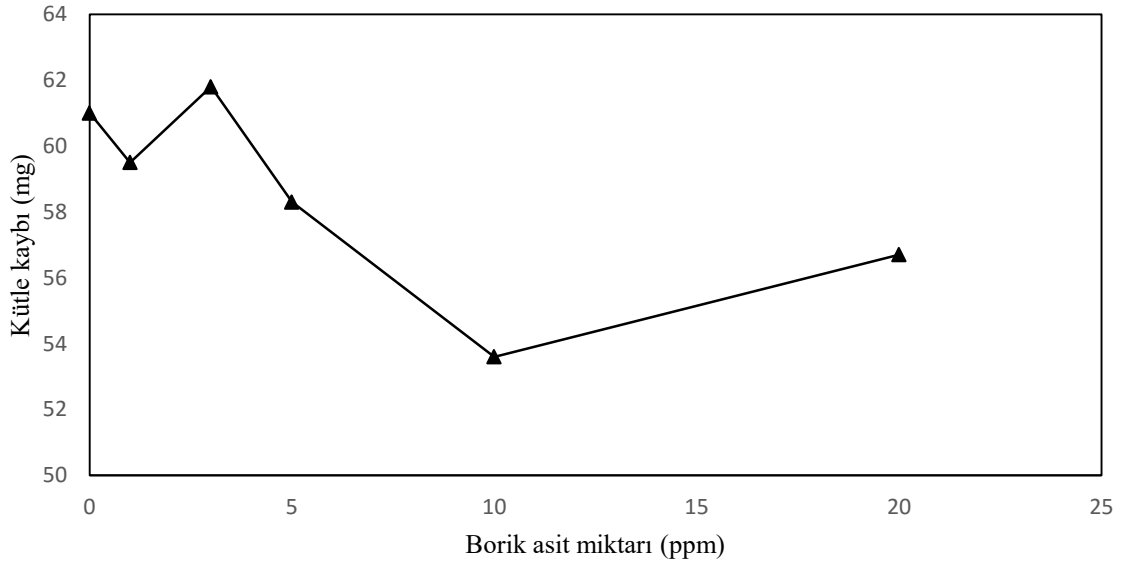
Şekil 3.15. N5numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki optik mikroskop resmi



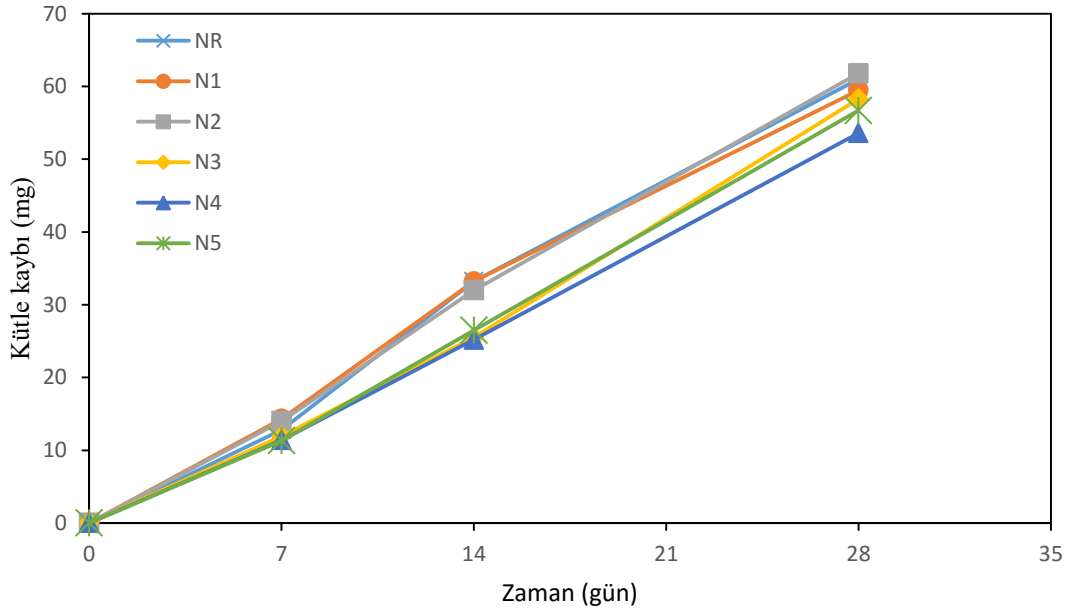
Şekil 3.16. N5numunesinin aşınma yüzeyinin 2500 m’lik kayma mesafesi sonundaki SEM görüntüsü

3.5. Korozyon Deneyi Sonuçları

Deney numunelerinin borik asit miktarına ve zamana bağlı olarak kütle değişimlerine ilişkin korozyon deneyi grafikleri Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilmiştir.

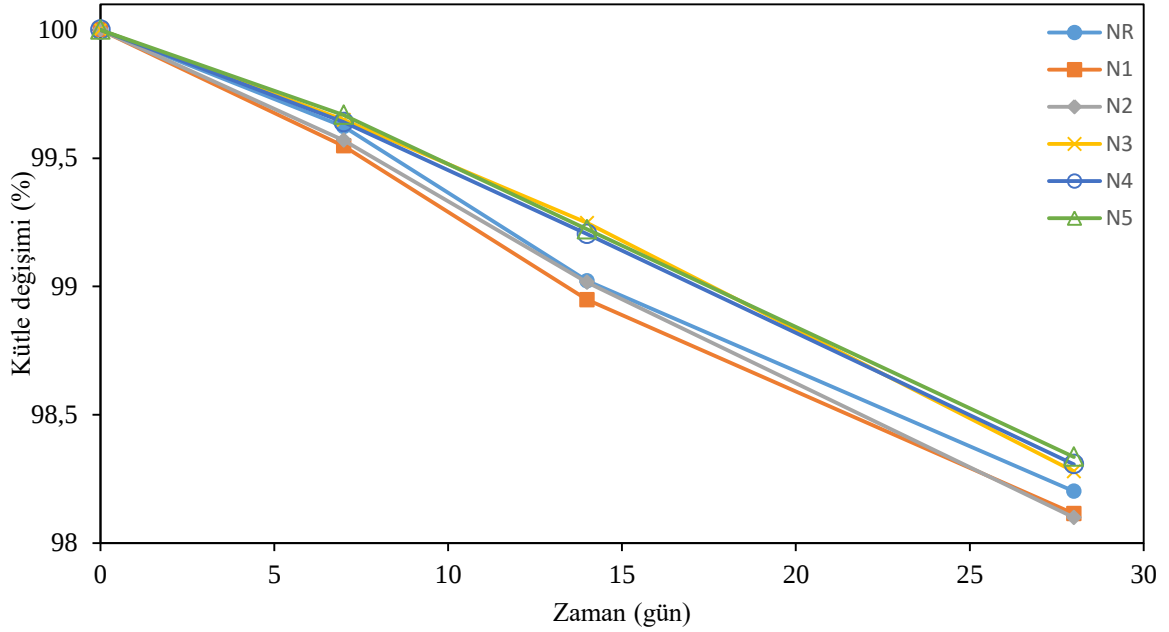


Şekil 3.17. Alaşımların borik asit miktarına bağlı korozyon aşınma deneyi sonuçları



Şekil 3.18. Alaşımlarda korozyon aşınması ile meydana gelen kütle kaybının zamana göre değişimi

Hazırlanan numunelerin her birinin boyutları birbirine yakın olmakla birlikte, tamamı aynı ağırlıkta olmadığından grafiklerin daha iyi anlaşılabilmesi için değerler, yüzde (%) olarak da verilmiştir (Şekil 3.19).

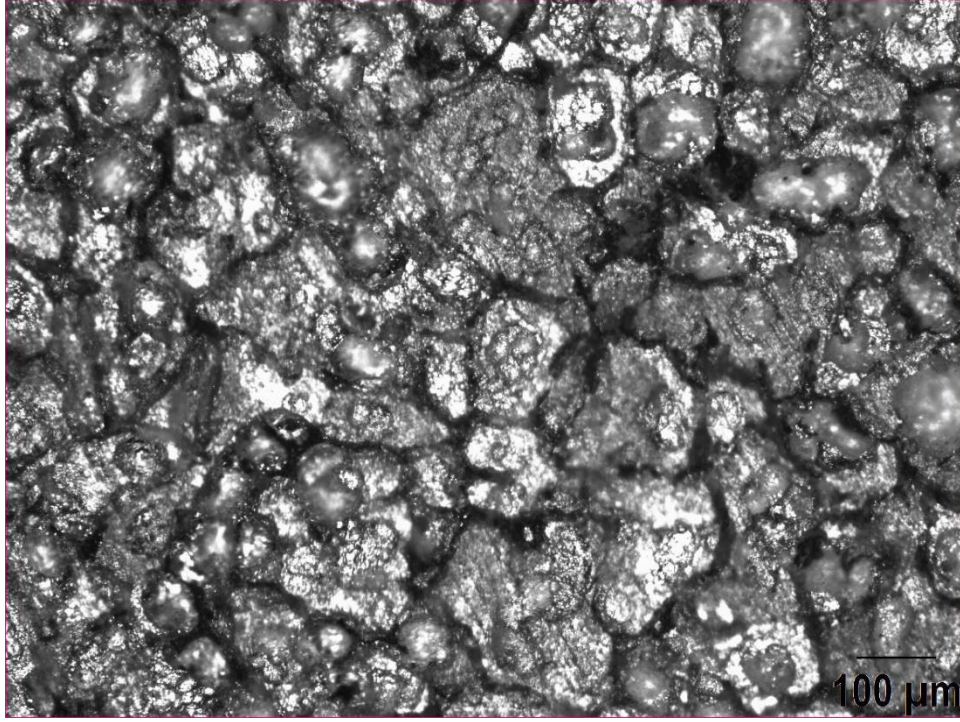


Şekil 3.19. Alaşımlarda korozyon aşınması etkisinin zamana bağlı kütle kaybının değişimleri

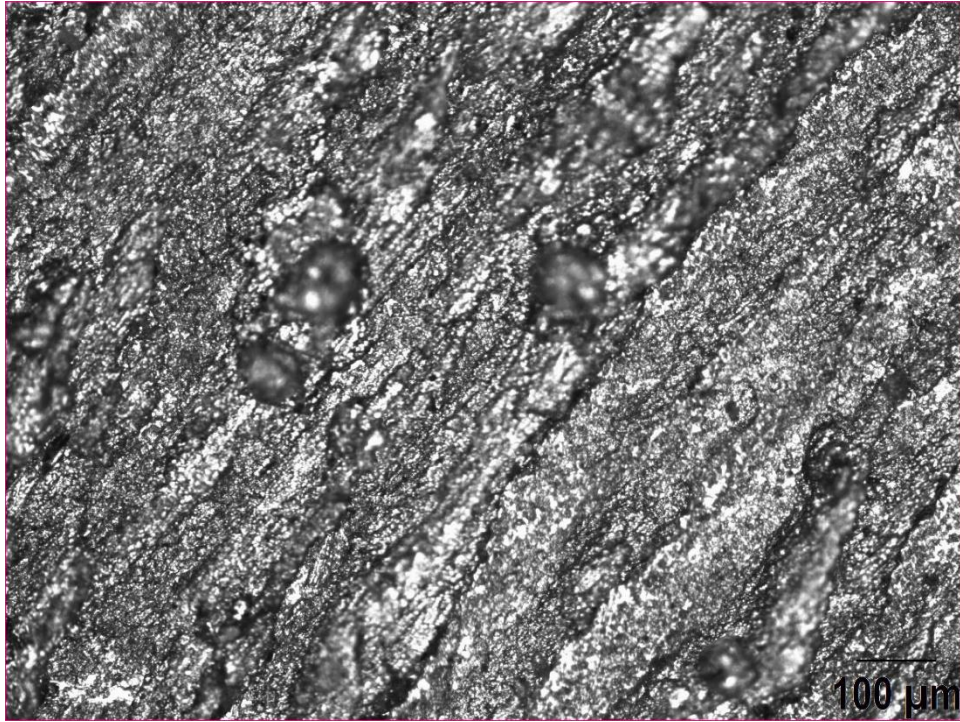
Alüminyum esaslı Al7Si2CuFeZn alaşım numunelerinin korozyon direnci yüzeyde oluşan alüminyum oksit filminden dolayı yüksektir. Alaşıma katılan borik asit ile birlikte malzemenin korozyon direncinin daha da arttığı görülmektedir.

Borik asidin tane inceltme etkisi izlenmektedir. Tane sınırı korozyonu bu malzemelerde tanelerden ziyade tane sınırlarının asitten daha fazla etkilendiği görülmektedir. Bu nedenle deney numunelerinin taneler arası korozyona maruz kaldıkları düşünülmektedir. Ancak taneler arası korozyon gözle görülemeyen ve en tehlikeli korozyon türü olarak kabul edildiği bilinmektedir.

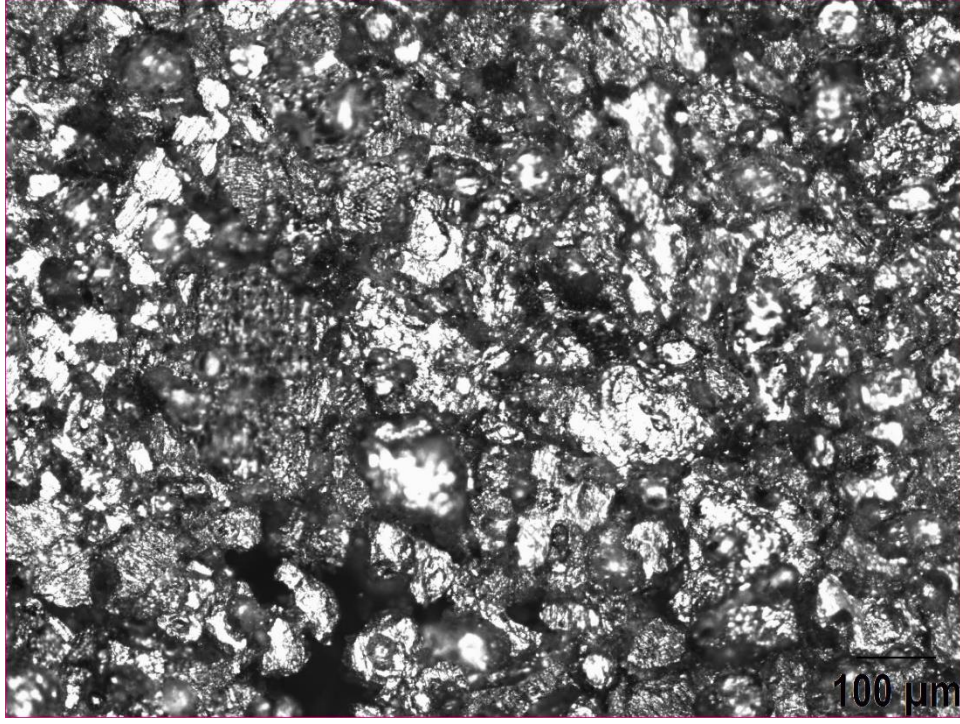
Deney numunelerinin korozyon deneyleri sonucunda oluşan aşınma yüzeylerinin mikro yapıları incelendiğinde; korozyonun meydana getirdiği karakteristik yapısal bozulmalar Şekil 3.20 – Şekil 3.25’te görülmektedir.



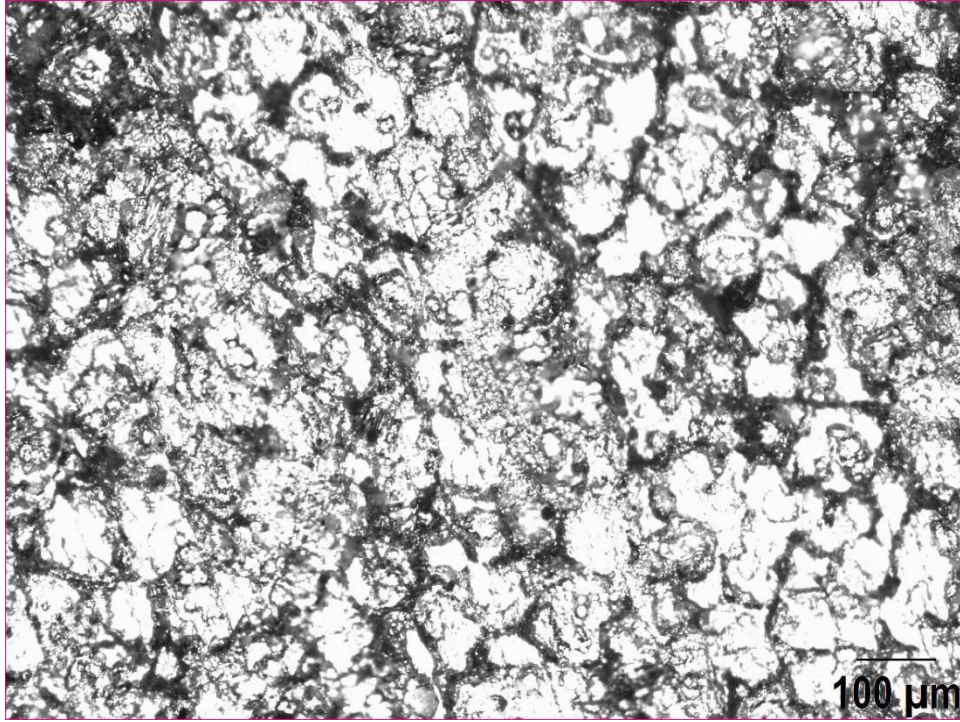
Şekil 3.20. NR numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi



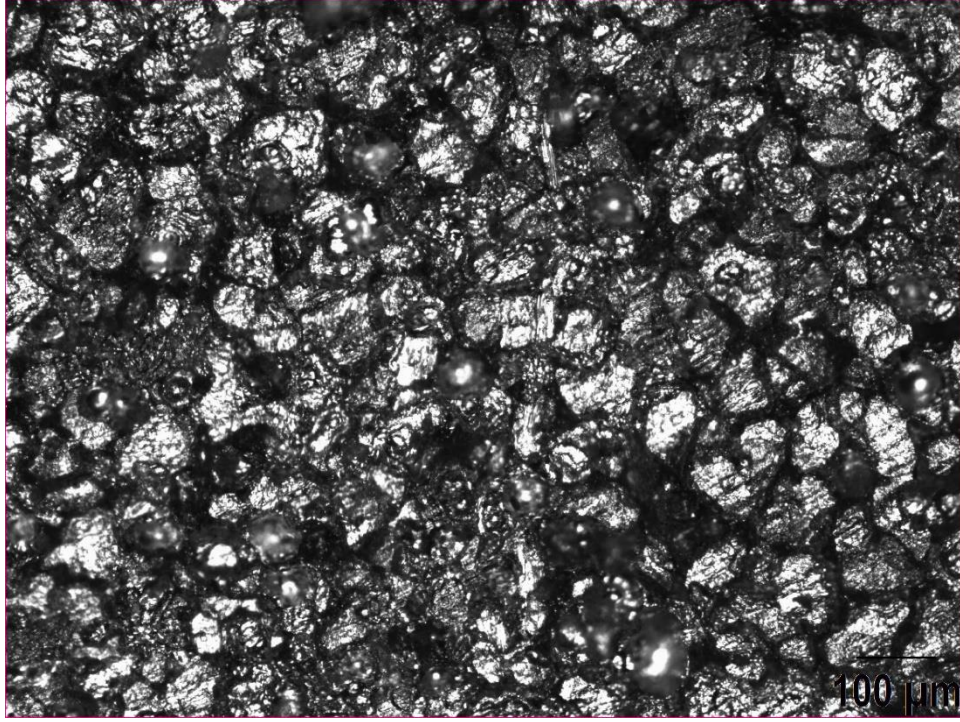
Şekil 3.21. N1 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi



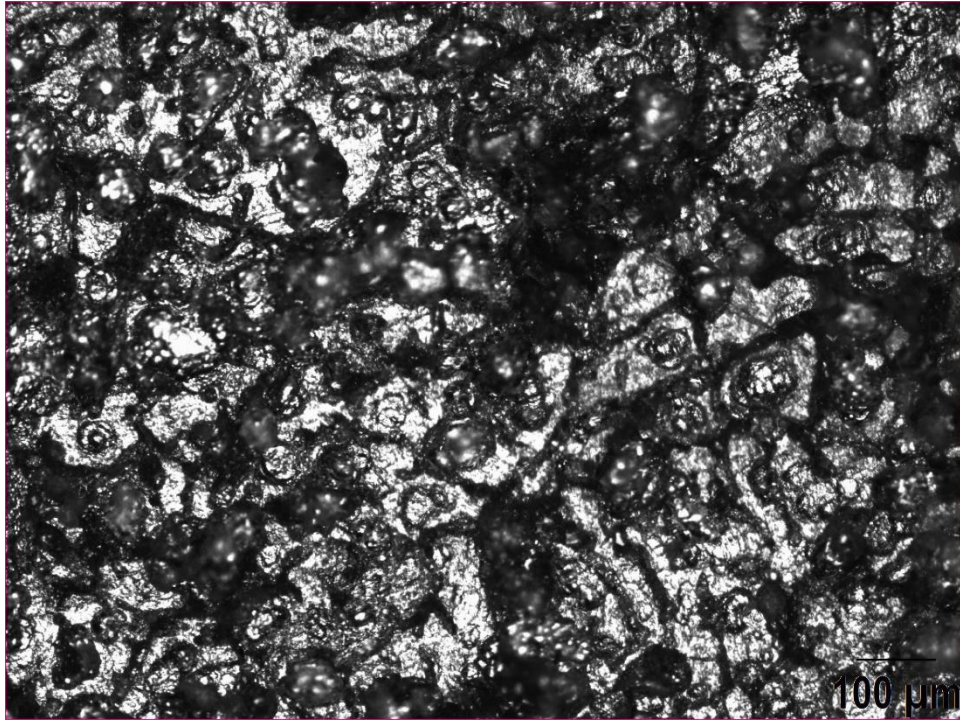
Şekil 3.22. N2 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi



Şekil 3.23. N3 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi



Şekil 3.24. N4 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi



Şekil 3.25. N5 numunesinin korozyon deneyi sonundaki optik mikroskop resmi

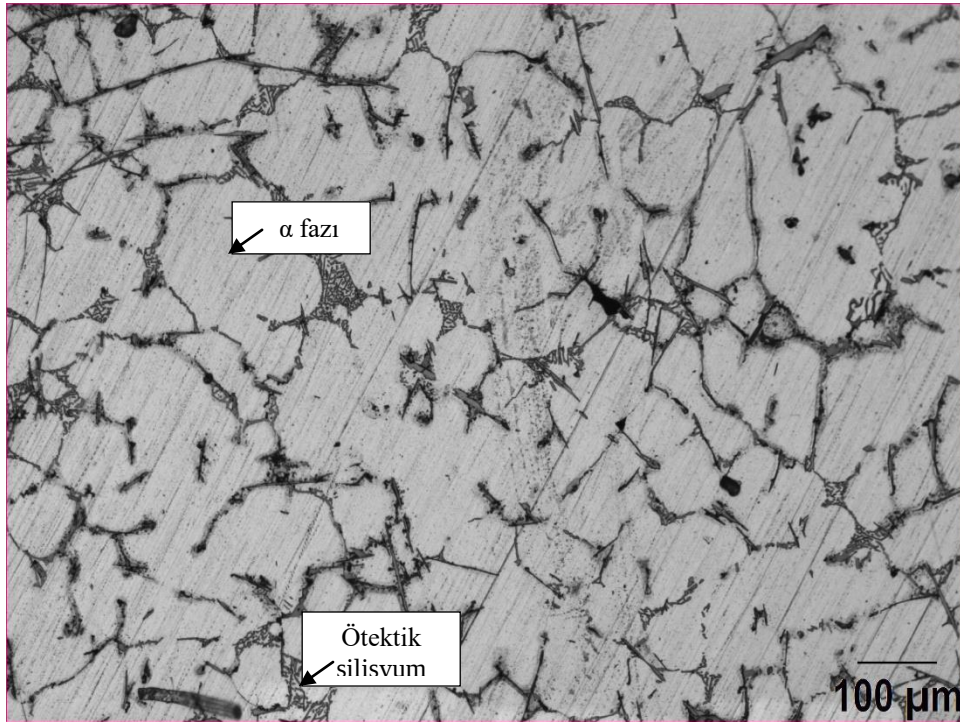
3.6. Mikroyapı İncelemeleri

3.6.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

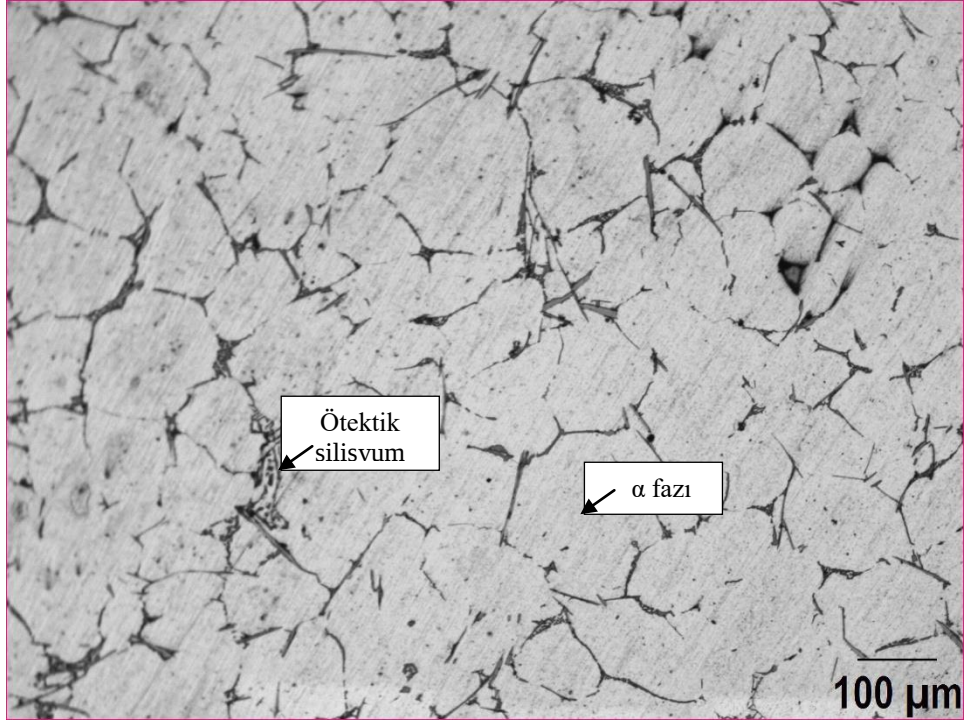
Şekil 3.26 – Şekil 3.31’de NR, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin optik mikroskop resimleri görülmektedir. Bütün optik resimlerde açık renkli kısımlar alüminyum esaslı bileşimleri temsil etmektedir.

Kum kalıba döküm yöntemiyle üretilen numunelerden alınan mikroyapı optik mikroskop resimlerinde tane sınırında çökelmiş AlSi ötektiği ile α -Al dendritleri açık olarak görülmektedir. Alüminyum dendritleri arasında silisyum bileşenleri bulunmaktadır.

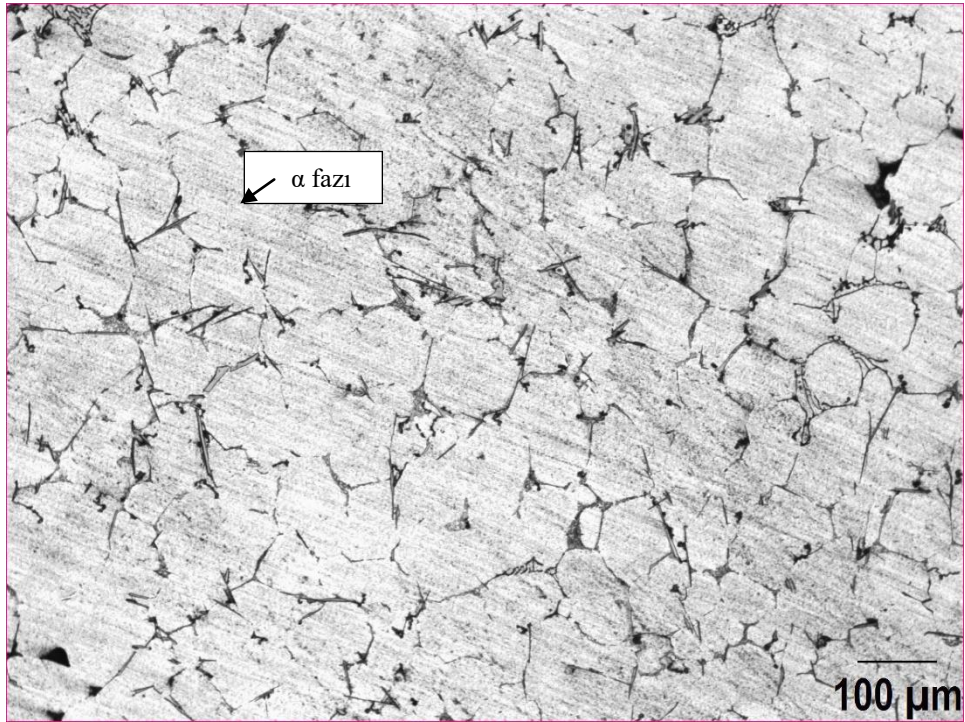
Numunelerde borik asitin tane inceltme etkisi görülmektedir. Ancak N5 numunesi için bu durum söz konusu değildir.



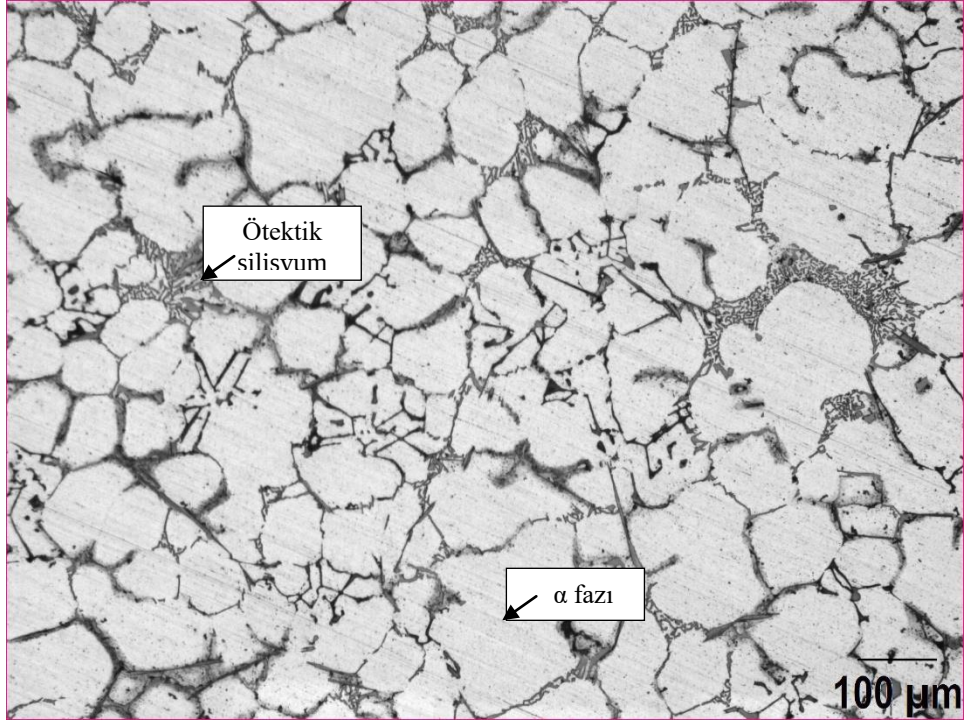
Şekil 3.26. NR numunesinin optik mikroskop resmi



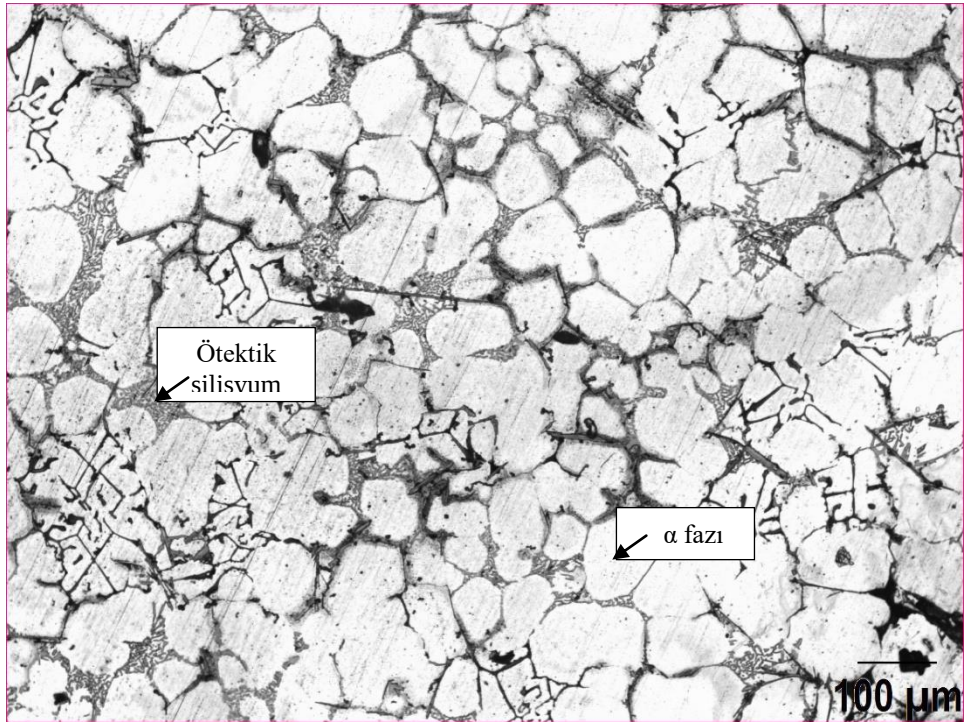
Şekil 3.27. N1 numunesinin optik mikroskop resmi



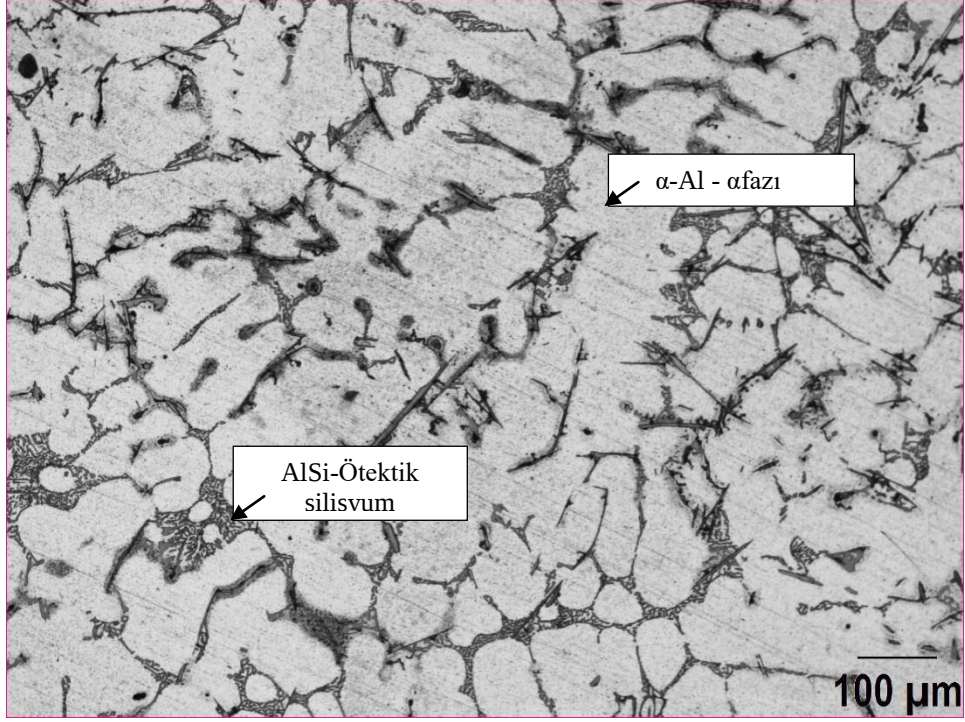
Şekil 3.28. N2 numunesinin optik mikroskop resmi



Şekil 3.29. N3 numunesinin optik mikroskop resmi



Şekil 3.30. N4 numunesinin optik mikroskop resmi

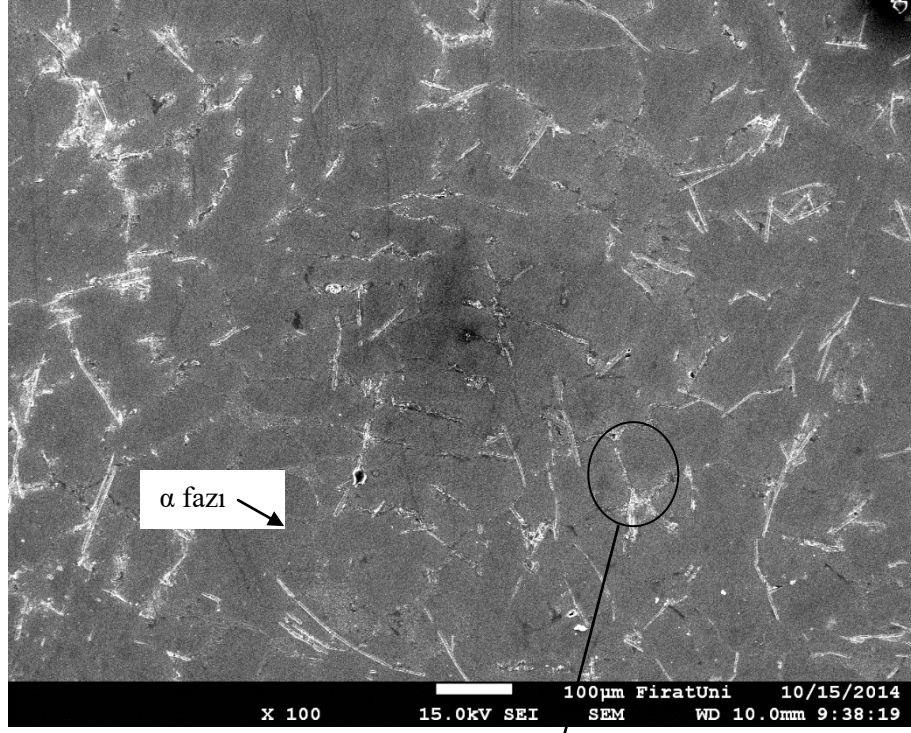


Şekil 3.31. N5 numunesinin optik mikroskop resmi

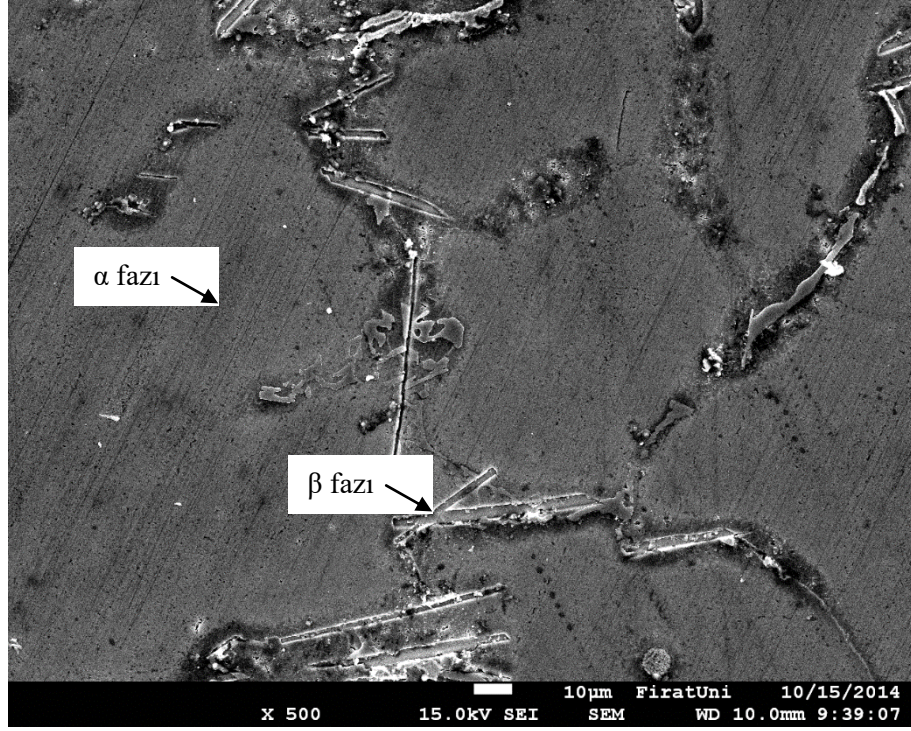
3.6.2. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve EDX İncelemeleri

Döküm yöntemiyle üretilen, parlatılmış ve dağlanmış numunelerden çeşitli büyütme ölçeklerinde alınan mikroyapı SEM resimleri ve EDX analizleri NR, N1, N2, N3, N4 ve N5 numuneleri için sırasıyla Şekil 3.32 – Şekil 3.43de verilmiştir.

Deney numunelerden alınan mikroyapı SEM görüntülerinde ana matrisi meydana getiren α -Al dendritleri açık olarak görülmektedir. Alüminyum dendritleri arasında silisyum bileşenleri bulunmaktadır.

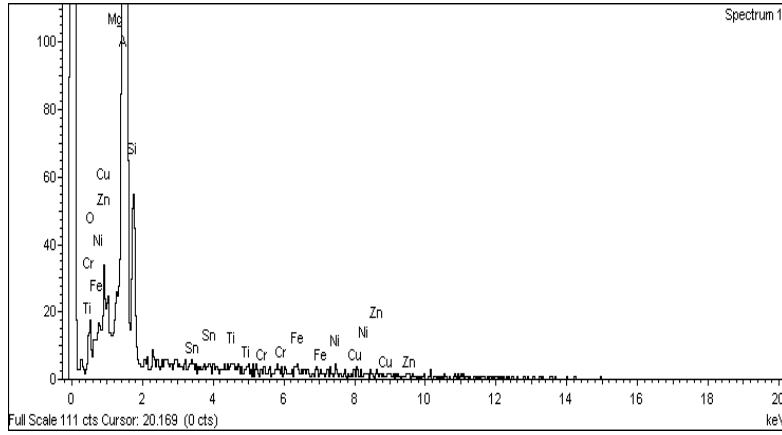
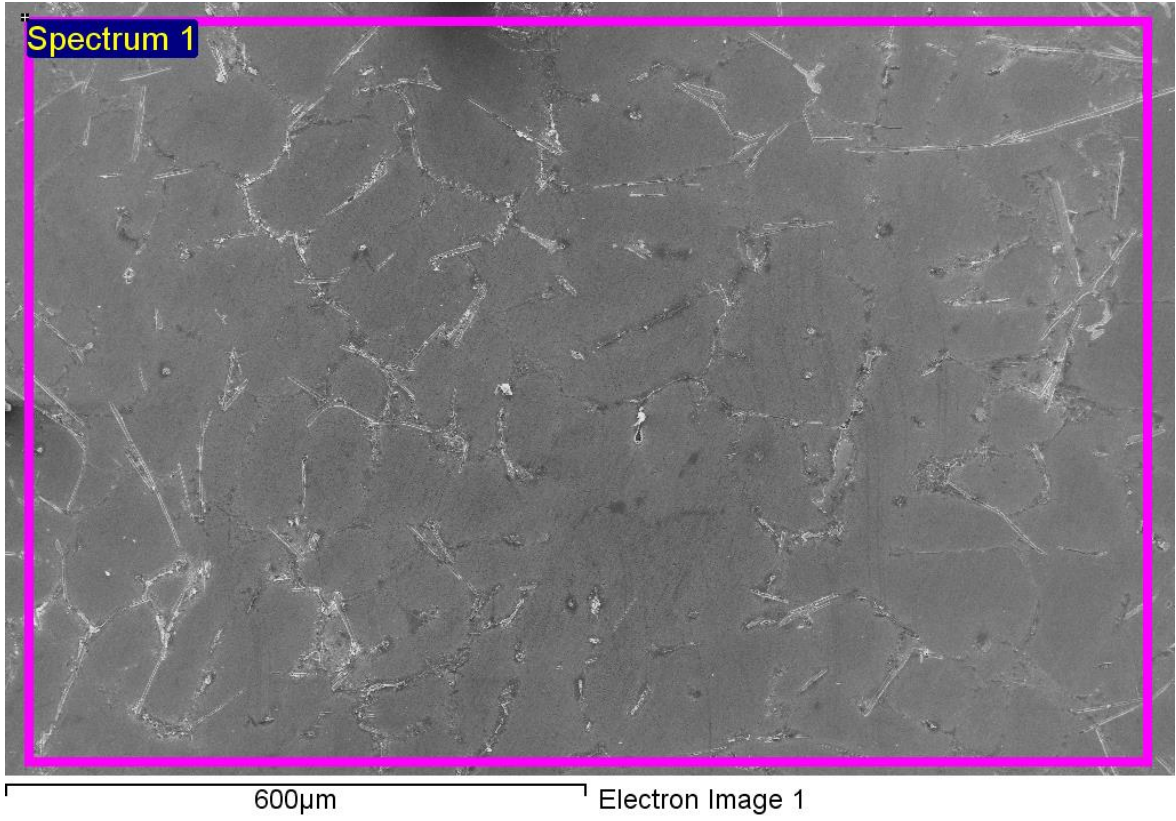


(a)



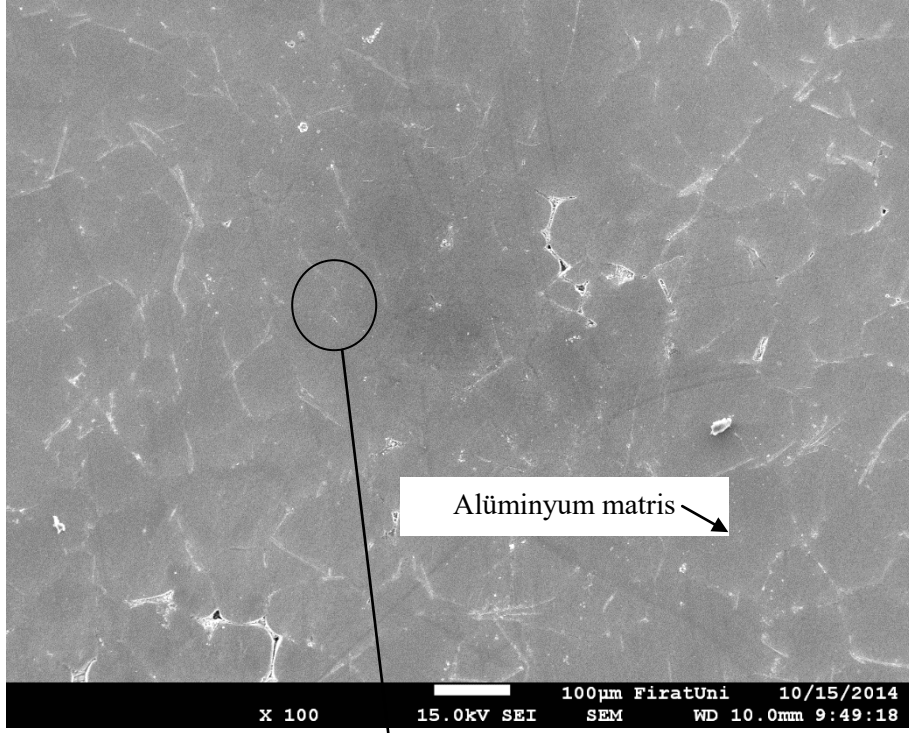
(b)

Şekil 3.32. NR numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500

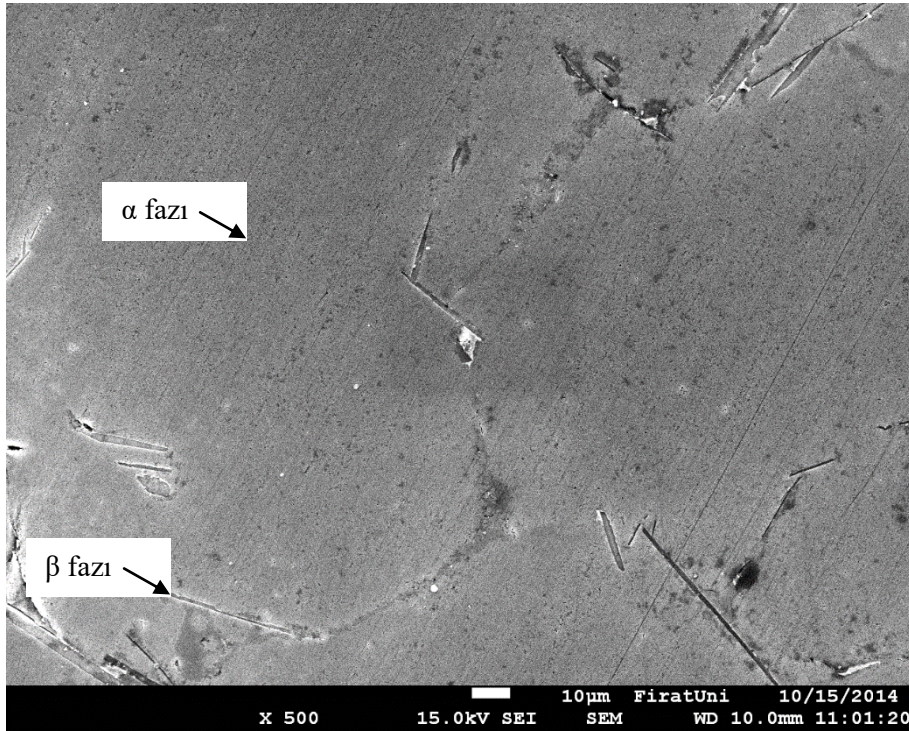


Element	Weight%	Atomic%
O K	2.61	4.46
Mg K	0.29	0.32
Al K	86.25	87.42
Si K	5.68	5.53
Ti K	0.18	0.11
Cr K	0.31	0.16
Fe K	0.78	0.38
Ni K	1.05	0.49
Cu L	1.42	0.61
Zn L	1.03	0.43
Sn L	0.41	0.09
Totals	100.00	

Şekil 3.33. NR numunesinin EDX analiz sonuçları

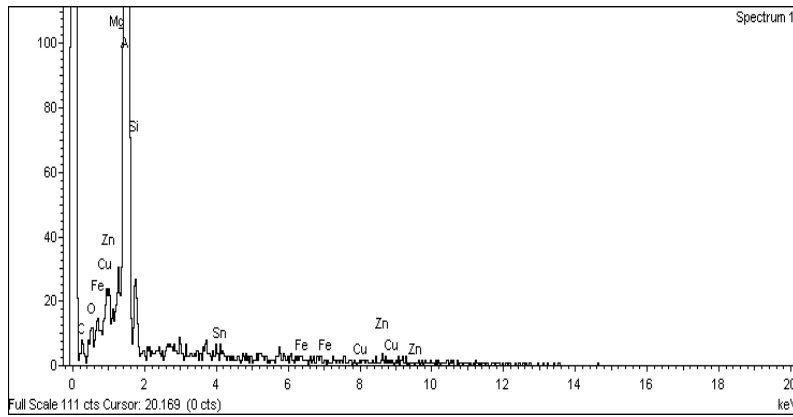
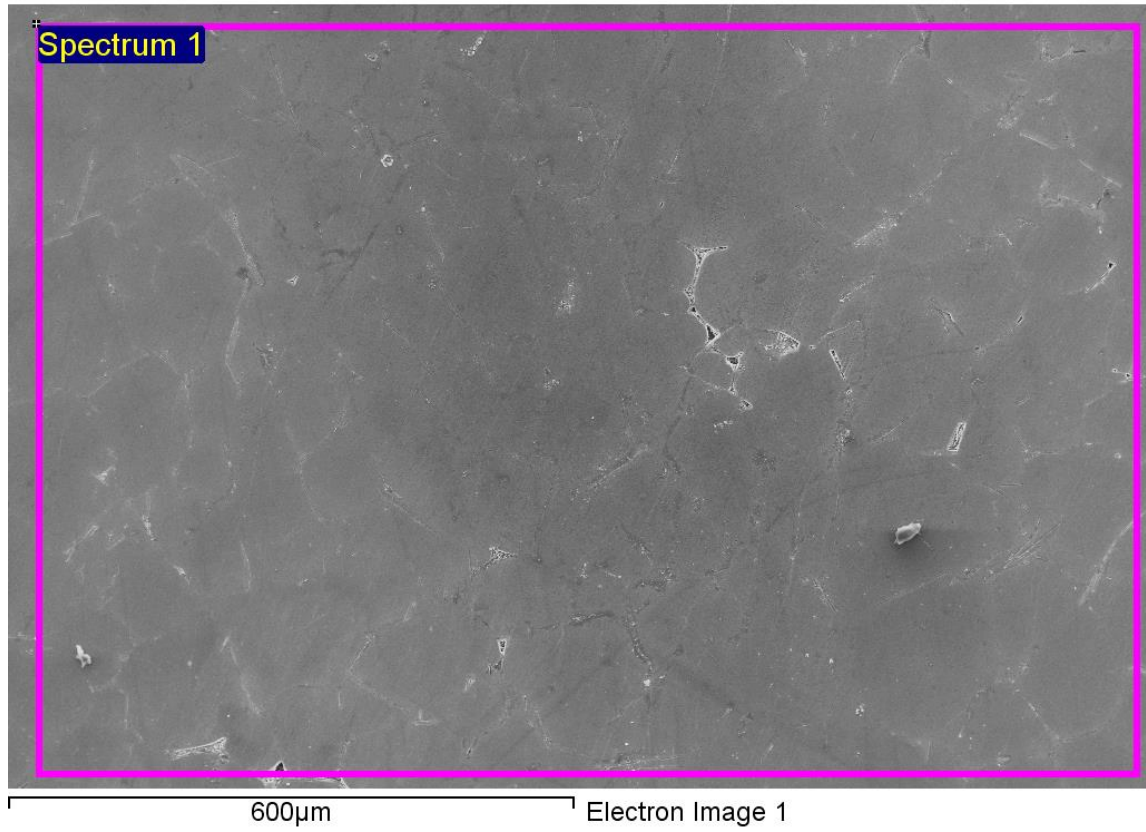


(a)



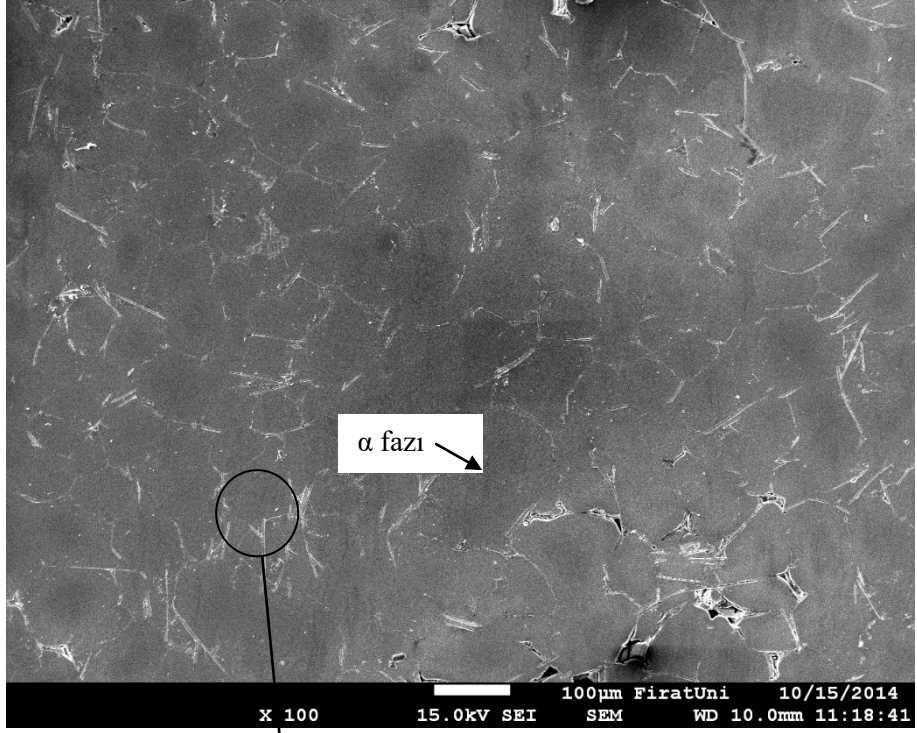
(b)

Şekil 3.34. N1 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500

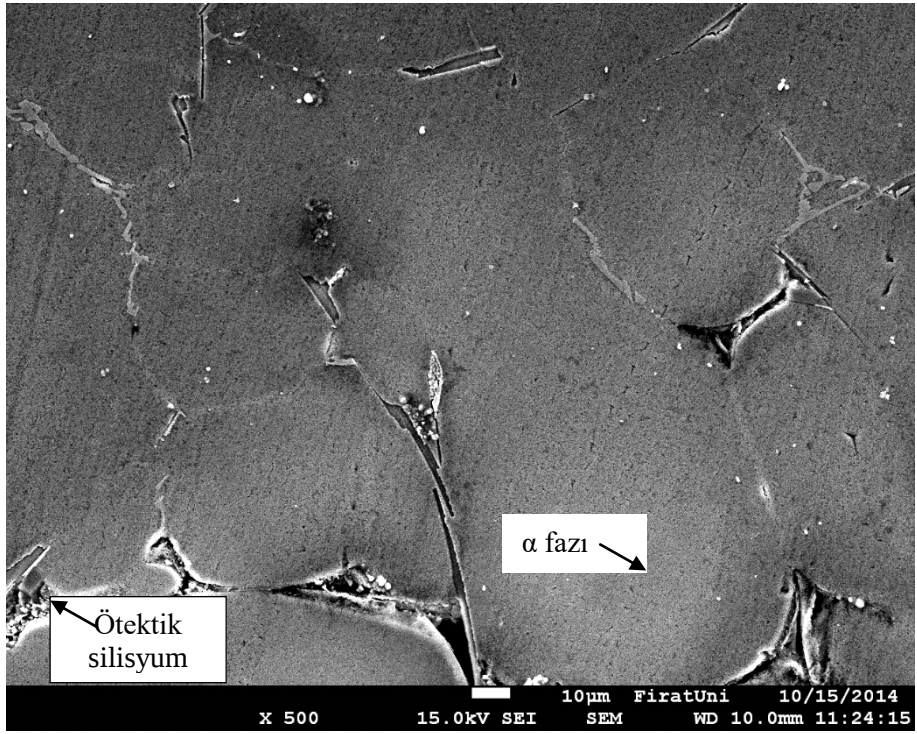


Element	Weight%	Atomic%
C K	8.35	17.02
O K	2.01	3.08
Mg K	0.58	0.58
Al K	84.09	76.32
Si K	2.42	2.11
Fe K	0.38	0.17
Cu L	0.76	0.29
Zn L	0.87	0.33
Sn L	0.54	0.11
Totals	100.00	

Şekil 3.35. N1 numunesinin EDX analiz sonuçları

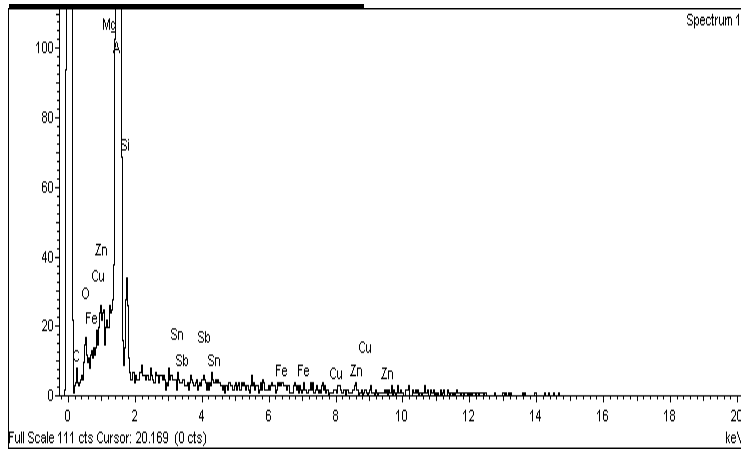
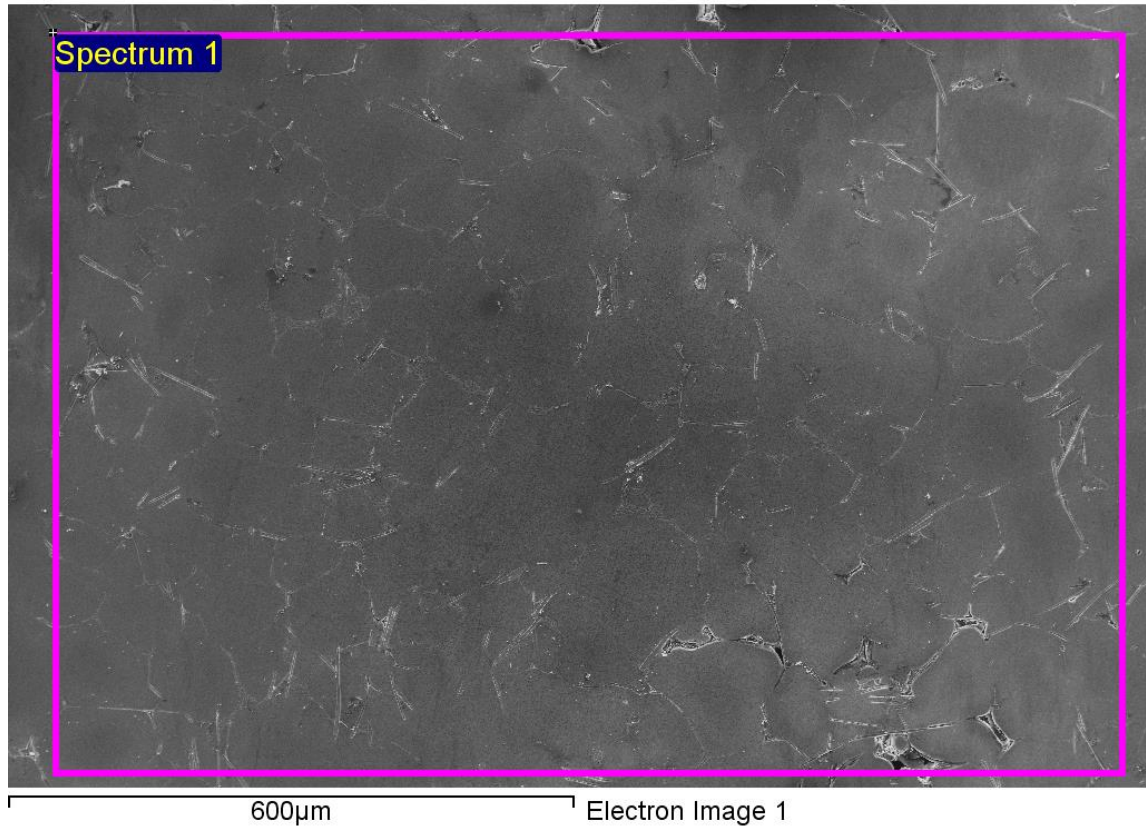


(a)



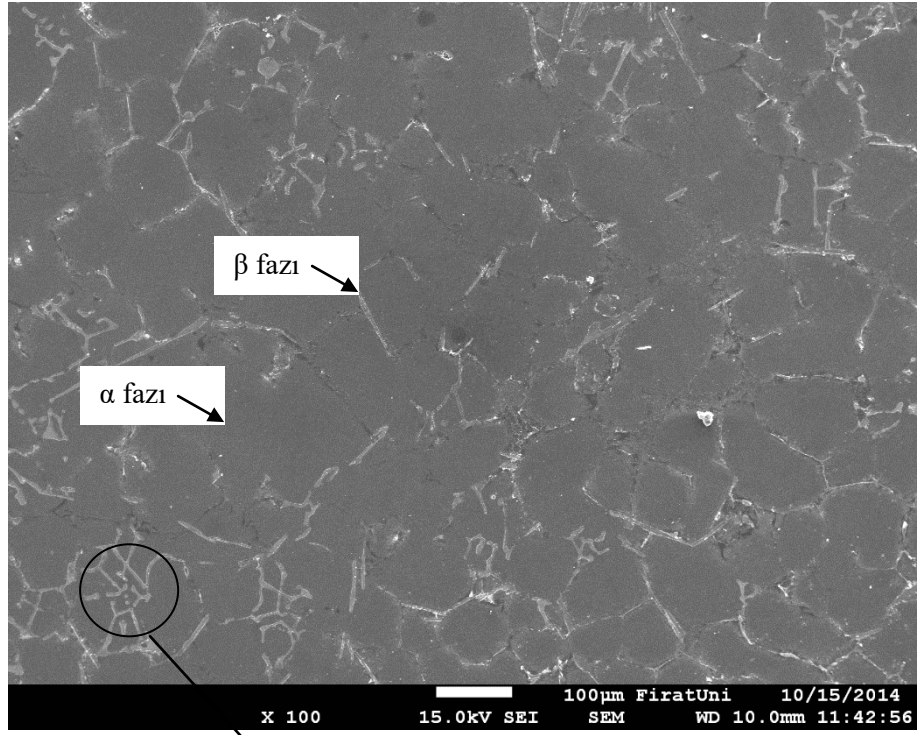
(b)

Şekil 3.36. N2 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500

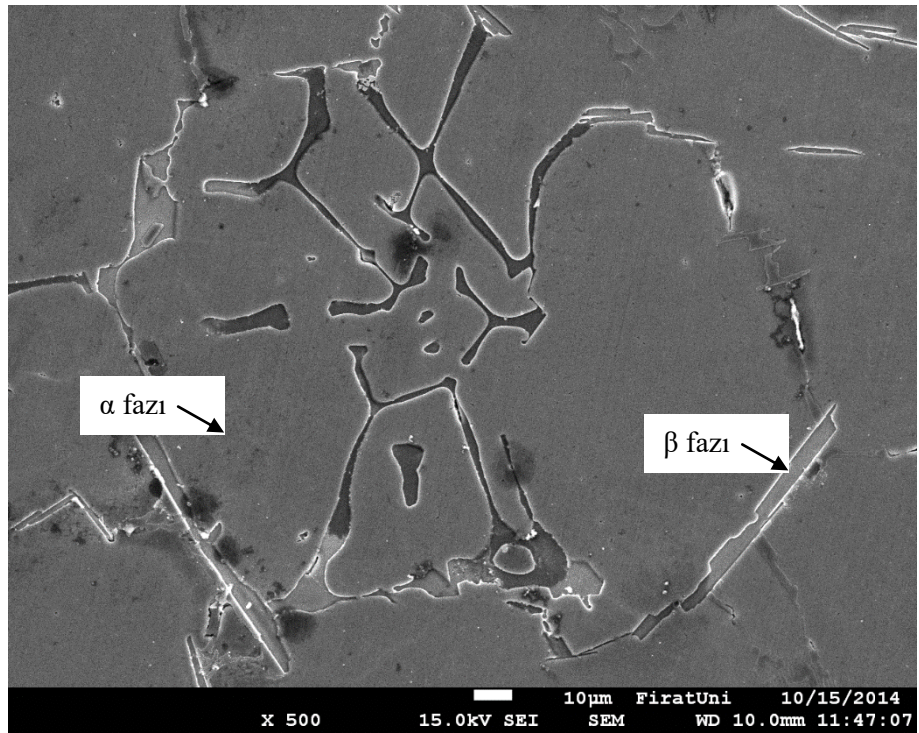


C K	8.68	17.63
O K	2.07	3.16
Mg K	0.08	0.08
Al K	83.80	75.73
Si K	3.07	2.66
Fe K	0.23	0.10
Cu L	0.47	0.18
Zn L	0.79	0.29
Sn L	0.59	0.12
Sb L	0.22	0.05
Totals	100.00	

Şekil 3.37. N2 numunesinin EDX analiz sonuçları

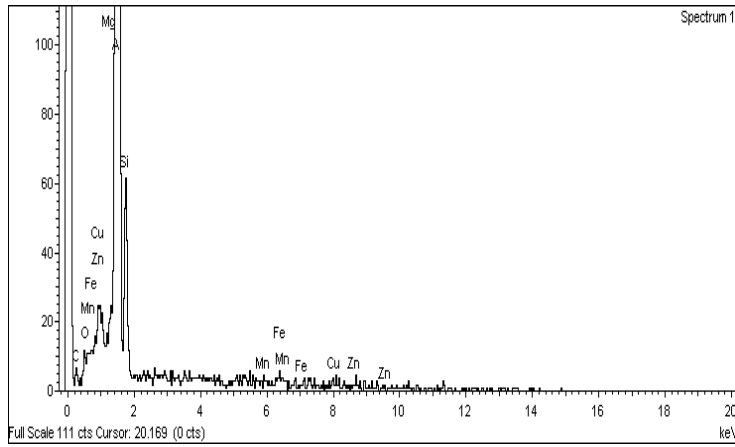
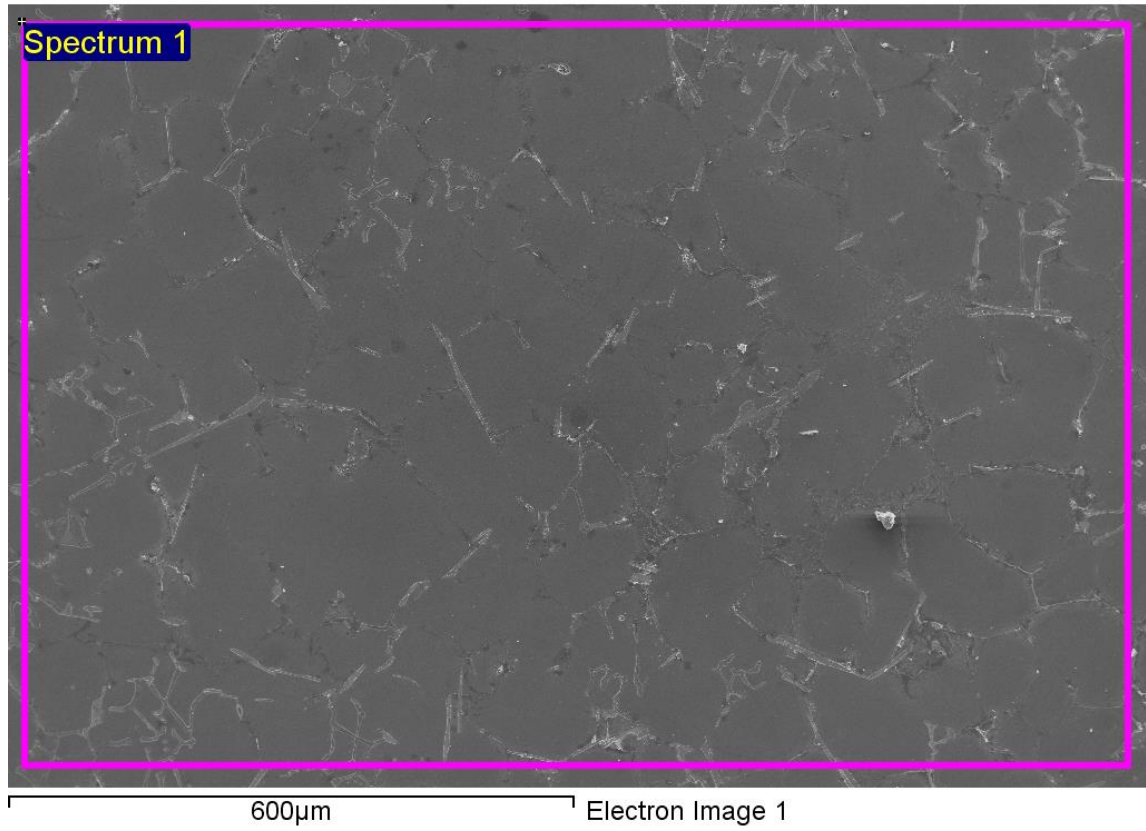


(a)



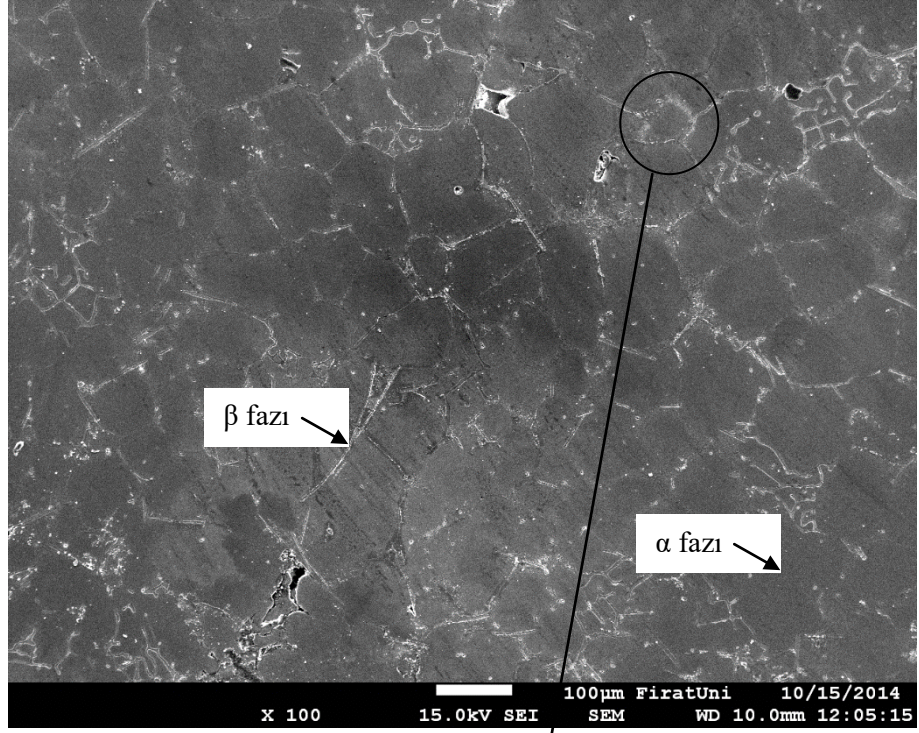
(b)

Şekil 3.38. N3 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500

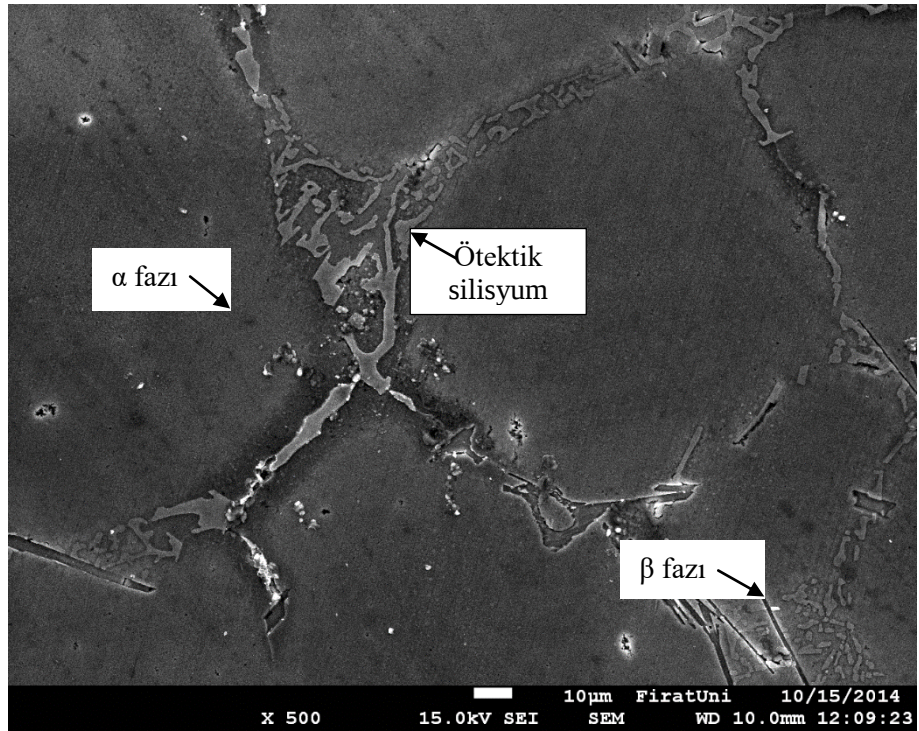


Element	Weight%	Atomic%
C K	7.26	15.08
O K	1.43	2.23
Mg K	0.14	0.14
Al K	82.04	75.92
Si K	6.05	5.38
Mn K	0.19	0.09
Fe K	0.63	0.28
Cu L	1.47	0.58
Zn L	0.80	0.31
Totals	100.00	

Şekil 3.39. N3 numunesinin EDX analiz sonuçları

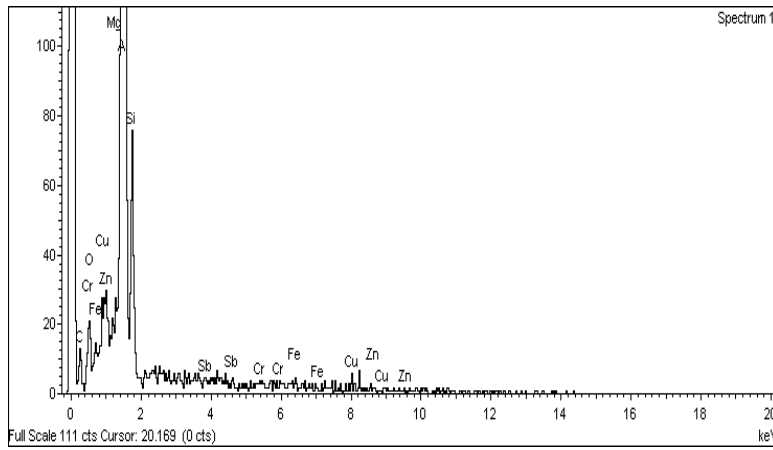
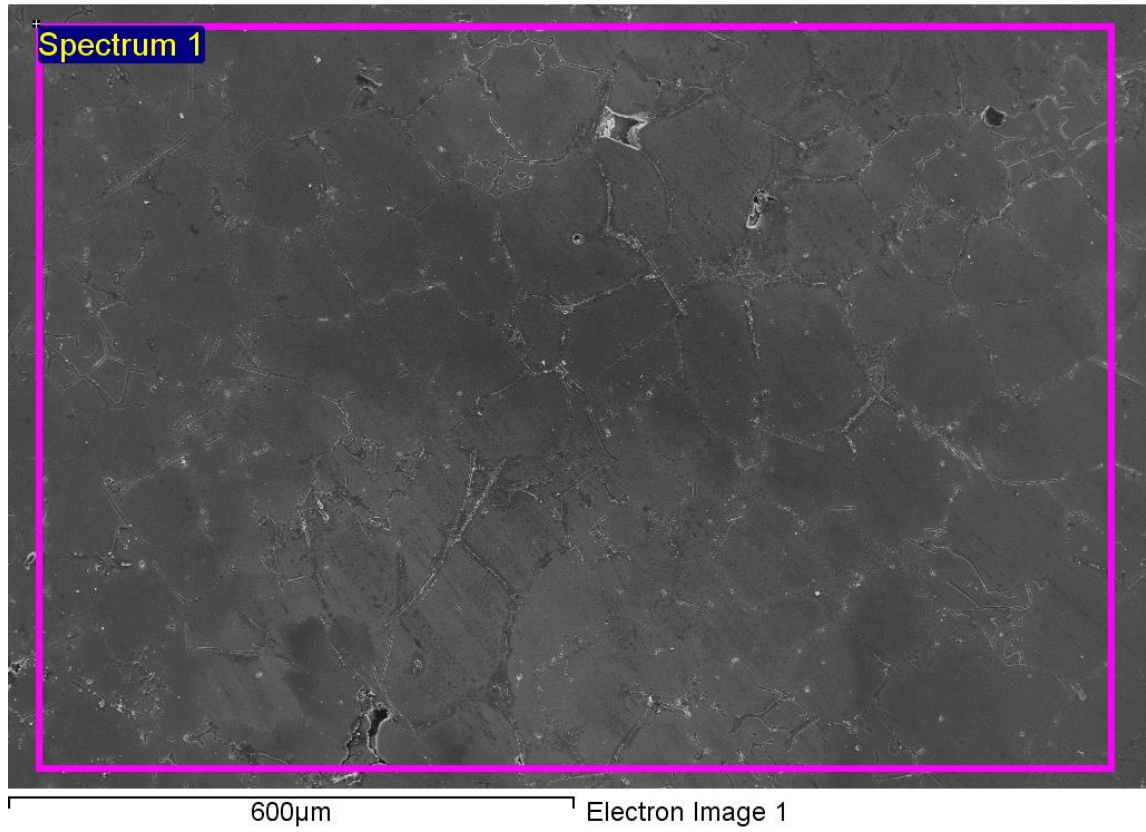


(a)



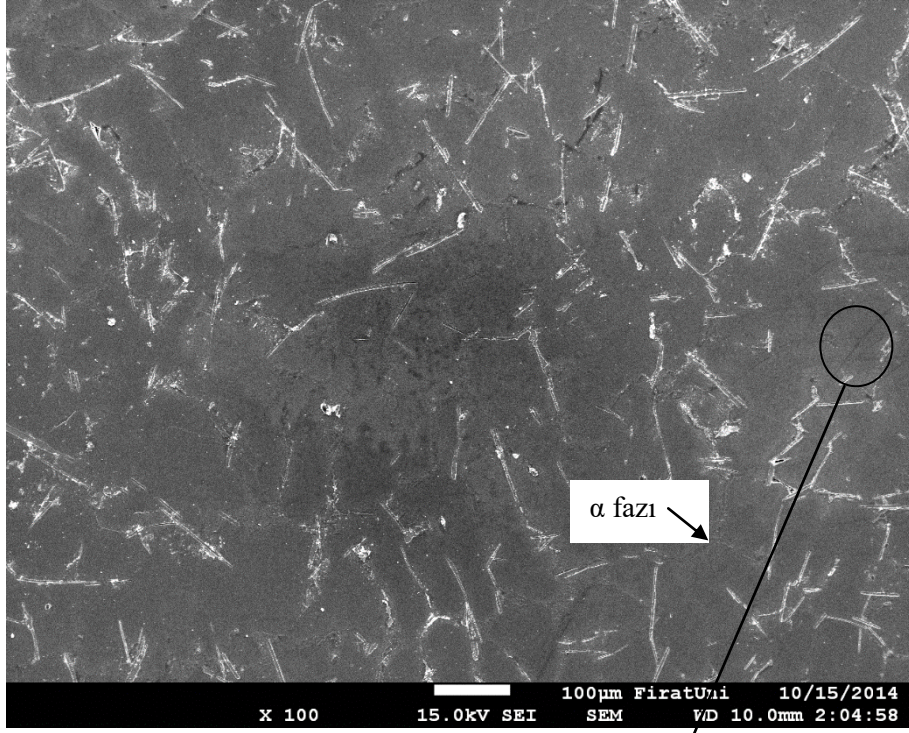
(b)

Şekil 3.40. N4 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500

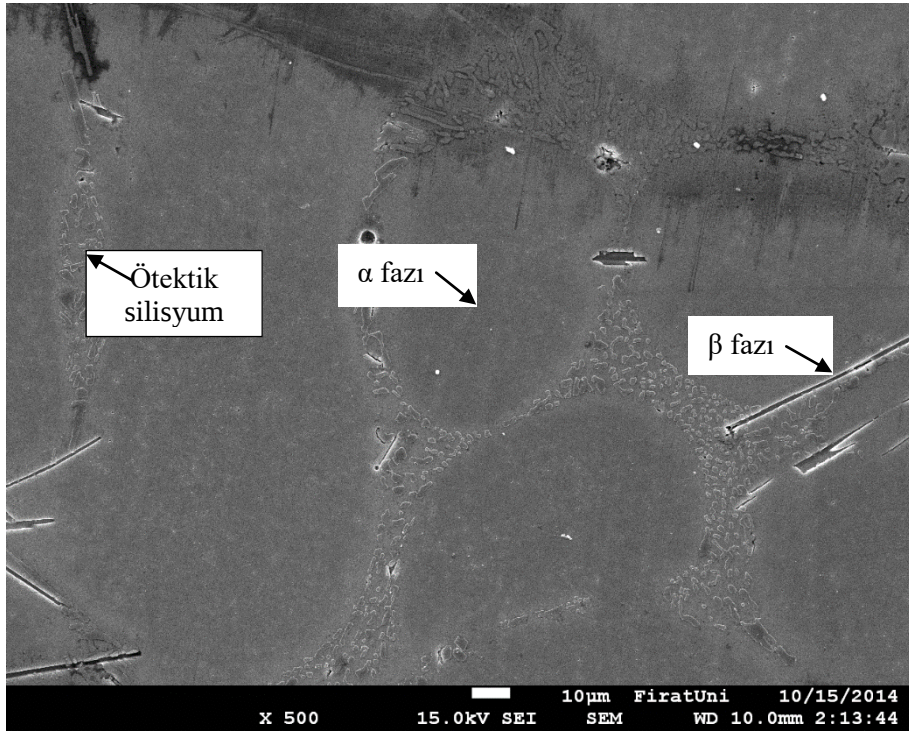


Element	Weight%	Atomic%
C K	12.78	24.77
O K	3.59	5.22
Mg K	0.07	0.06
Al K	74.44	64.19
Si K	5.38	4.46
Cr K	0.31	0.14
Fe K	0.44	0.18
Cu L	1.31	0.48
Zn L	1.11	0.39
Sb L	0.57	0.11
Totals	100.00	

Şekil 3.41. N4 numunesinin EDX analiz sonuçları

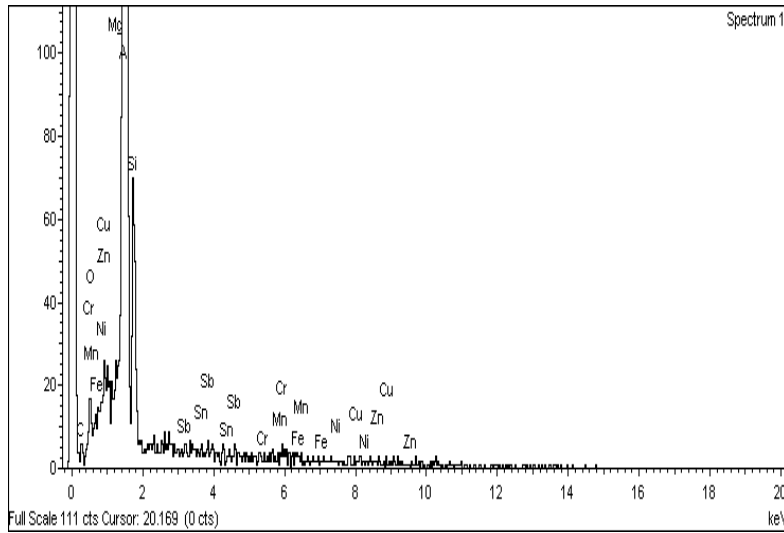
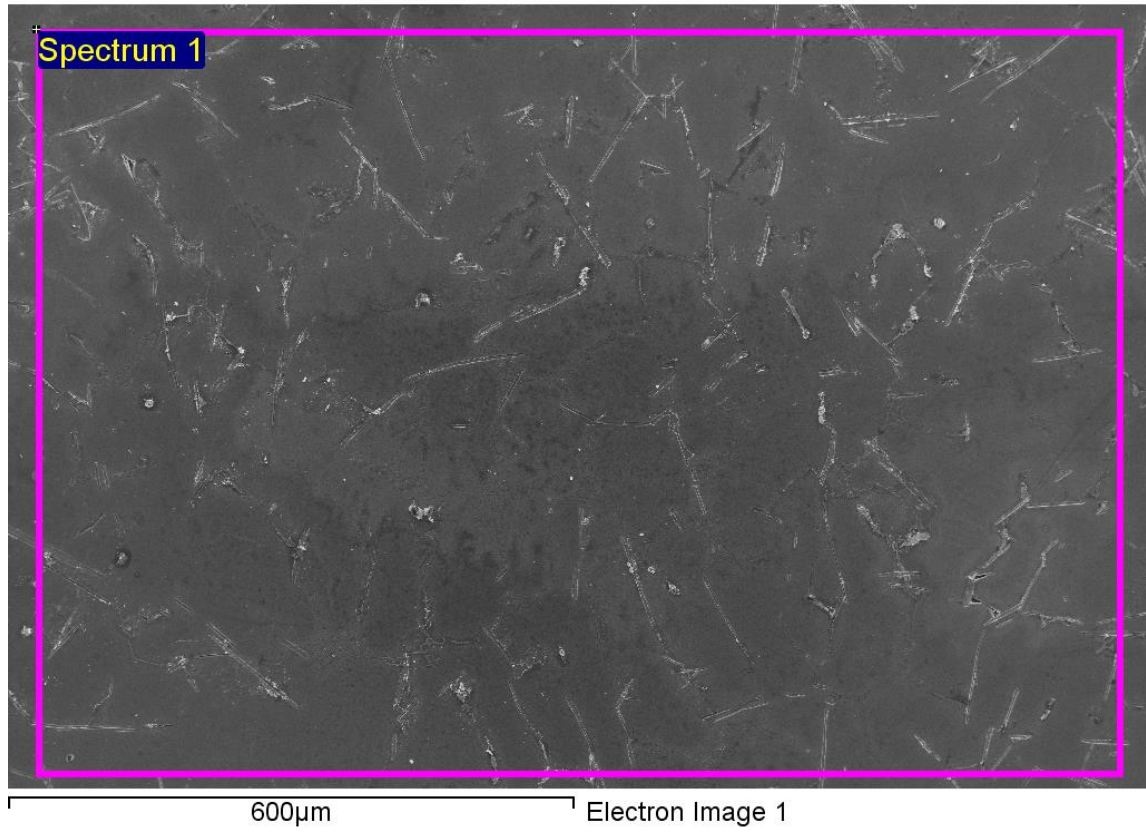


(a)



(b)

Şekil 3.42. N5 numunesinin SEM görüntüsü, (a) X 100 ve (b) X 500

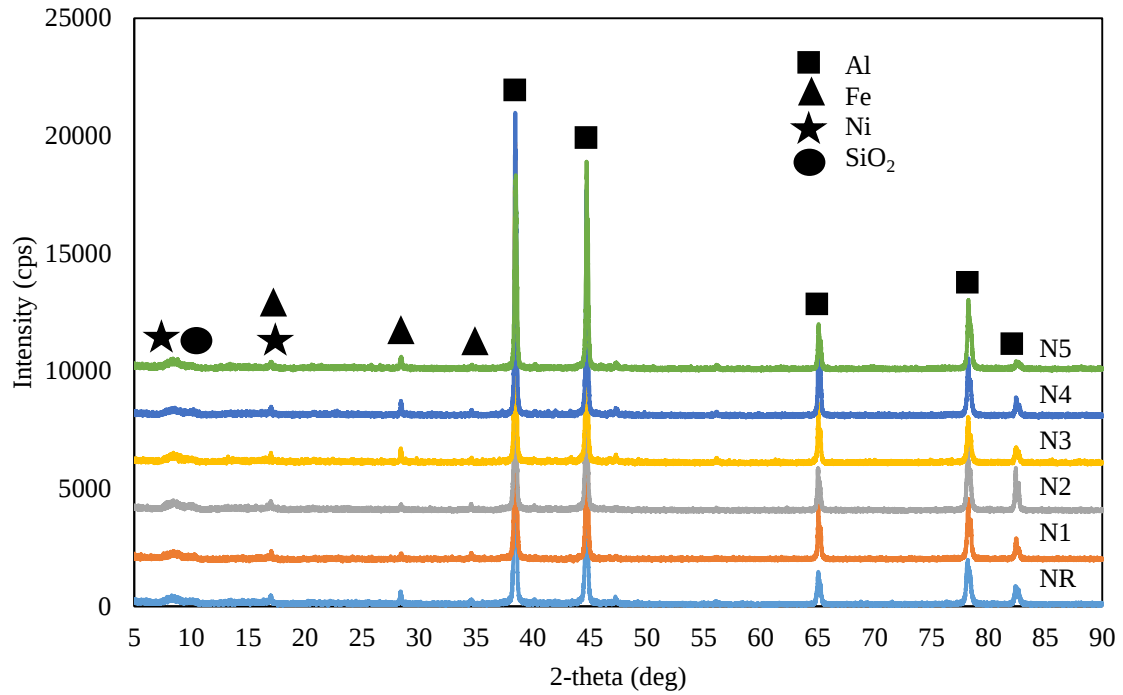


Element	Weight%	Atomic%
C K	7.04	14.69
O K	2.95	4.61
Mg K	0.18	0.18
Al K	79.16	73.50
Si K	5.81	5.19
Cr K	0.10	0.05
Mn K	0.35	0.16
Fe K	0.74	0.33
Ni K	0.13	0.05
Cu L	1.70	0.67
Zn L	0.99	0.38
Sn L	0.52	0.11
Sb L	0.33	0.07
Totals	100.00	

Şekil 3.43. N5 numunesinin EDX analiz sonuçları

3.7. X-Işını Kırınımı Sonuçları

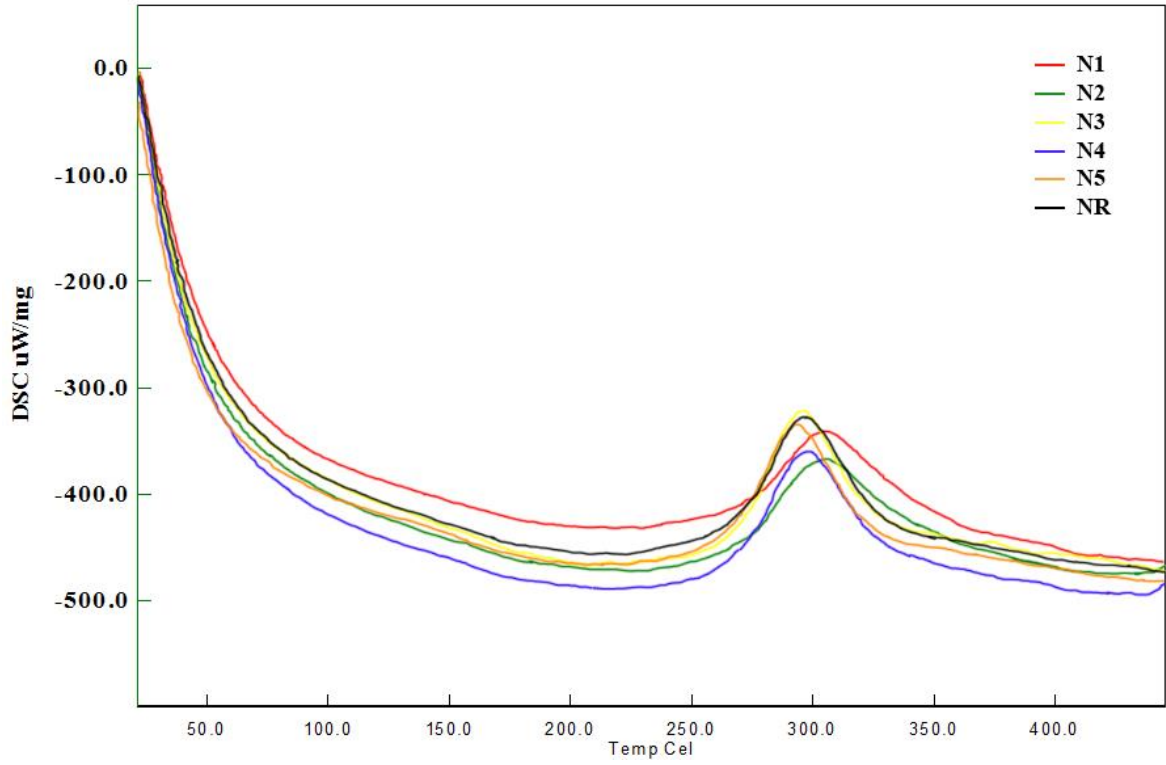
Şekil 3.44’de borik asit oranlarında farklı üretilen NR, N1, N2, N3, N4 ve N5’ e ait numunelerden elde edilen X-ışını kırınımı (XRD) sonuçları verilmektedir. XRD incelemeleri sonucunda NR, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinde de matris yapısı alüminyum olduğundan dolayı aynı 2θ açılarında Al piki en yüksek değeri vermiştir. Borik asit ilavesiyle deney numunelerinde ilave bir pik (faz) oluşmadığı XRD analizi sonuçlarında anlaşılmaktadır.



Şekil 3.44. Üretilen numunelerin XRD analiz grafikleri

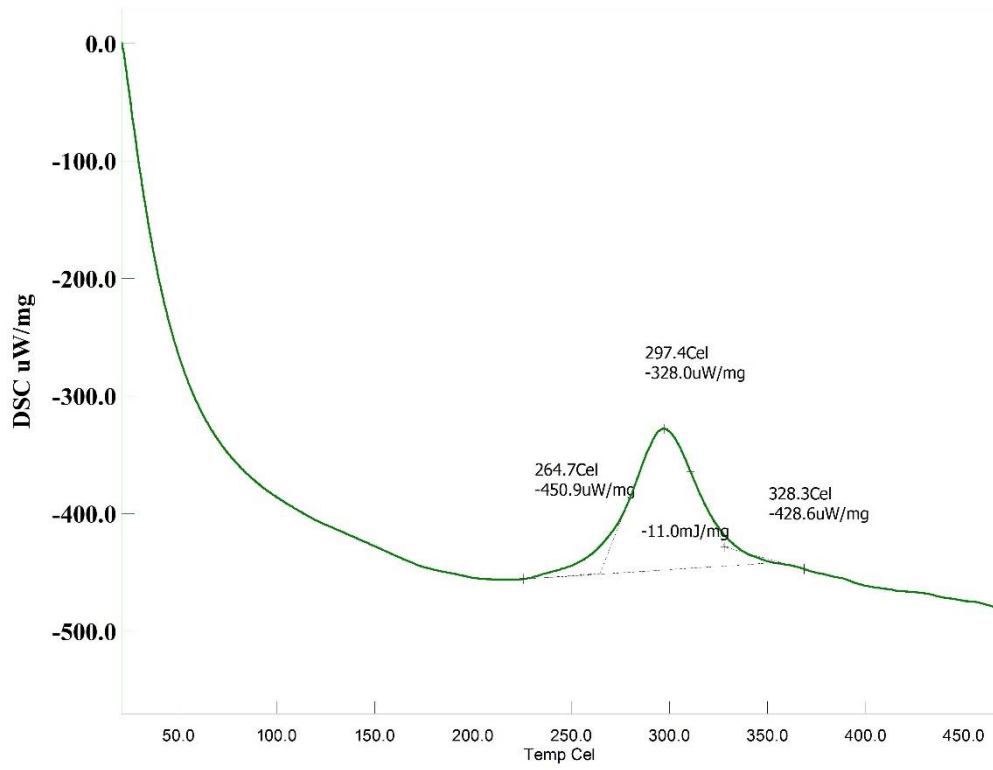
3.8. Termal Analiz Sonuçları

Döküm yoluyla üretilen deney numunelerinin Diferansiyel Taramalı Kalorimetre yöntemiyle yapılan termal analiz sonuçları Şekil 3.45 – Şekil 3.51’de verilmiştir.

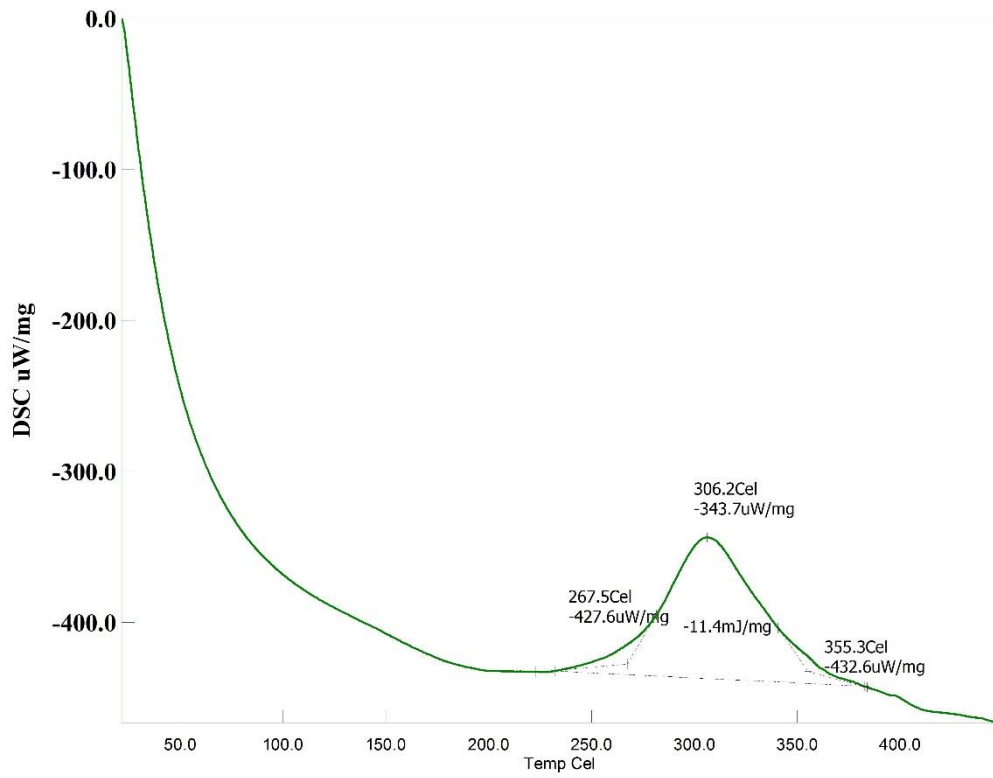


Şekil 3.45. Üretilen numunelerin DSC eğrileri

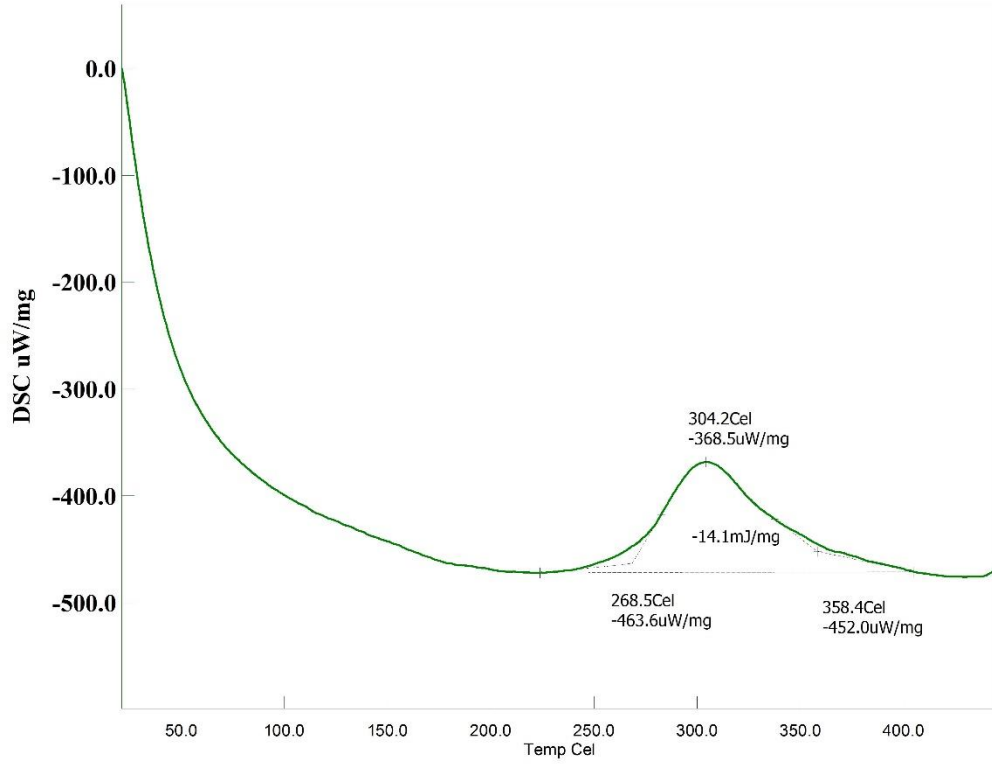
Numuneler için 450 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yapılan DSC analizinde, pikler ekzotermik yapıdadır ve yapıda bir bozulma söz konusudur. Bozulmada sıcaklık değişimleri her bir numune için çok farklı sonuç ortaya çıkmıştır. Numunelerin borik asit oranlarına bağlı olarak malzemenin kendi içerisinde farklı elementler ile ve borik asitle yaptığı gerek bağ gerekse oluşan ana yapıda farklılık vardır. Bu durumda her bir numunenin bozulma sıcaklığı da farklı olmuştur.



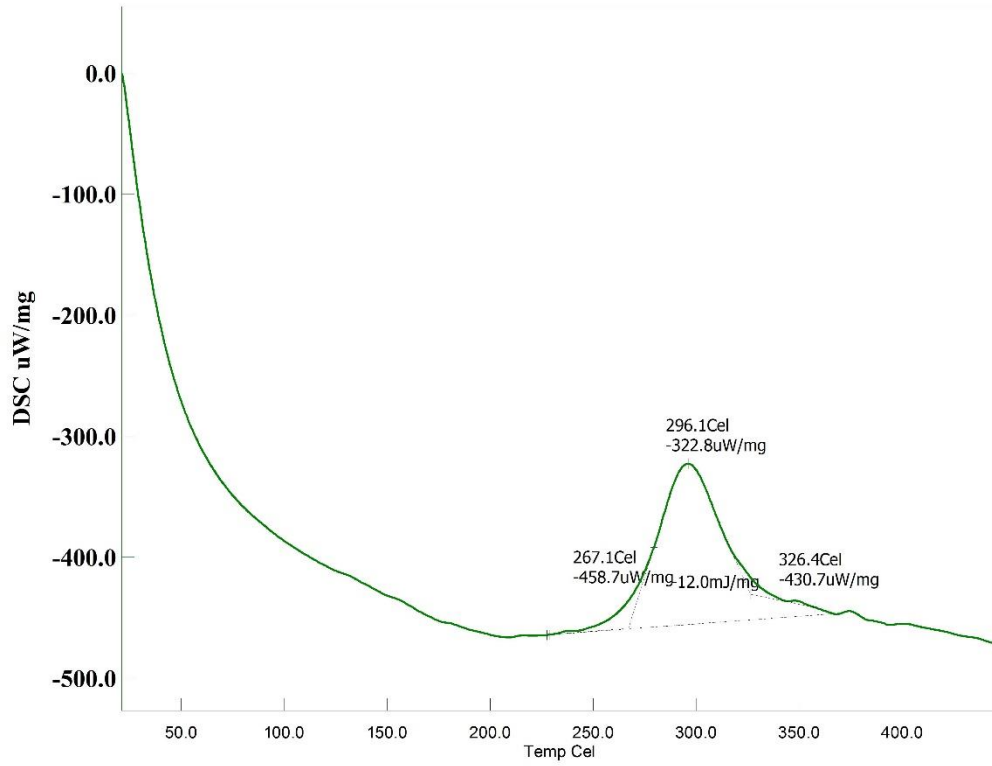
Şekil 3.46. NR numunesinin DSC eğrisi



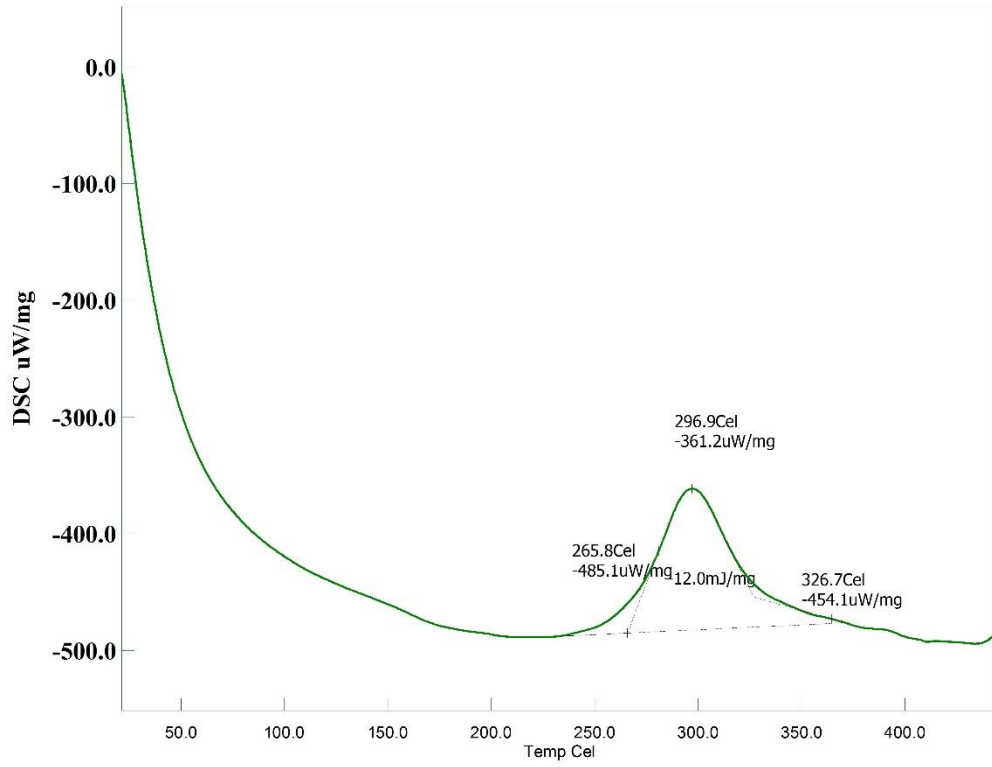
Şekil 8.47. N1 numunesinin DSC eğrisi



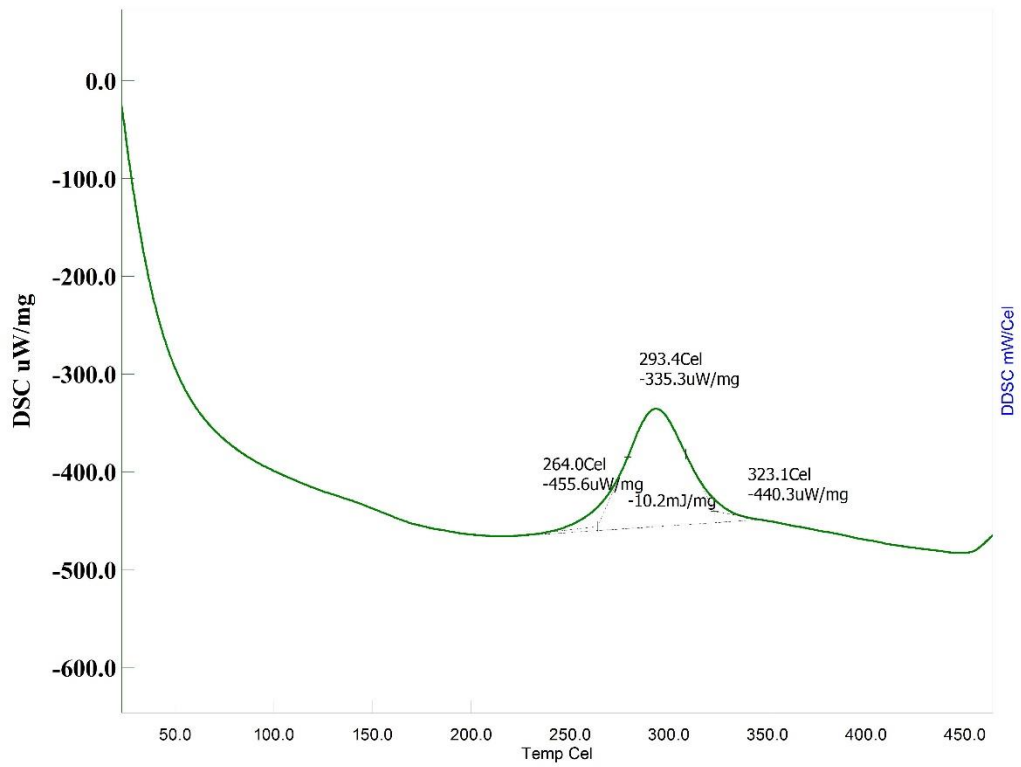
Şekil 8.48. N2 numunesinin DSC eğrisi



Şekil 8.49. N3 numunesinin DSC eğrisi



Şekil 8.50. N4 numunesinin DSC eğrisi



Şekil 8.51. N5 numunesinin DSC eğrisi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Borik Asit (H_3BO_3) Katkılı Bir AlSiCu Alaşımı Kaymalı Yatak Malzemesinin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi” konulu çalışmada kum kalıba döküm yöntemiyle üretilen kaymalı yatak malzemesi üzerinde yapılan çalışmalarda aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Sertlik ölçme sonuçlarına göre borik asit katkı oranının artışı ile sertliğin arttığı ve en yüksek sertlik artışının 56,8 BSD ile 5 ppm borik asit içeren N3 numunesinde olduğu tespit edilmiştir. NR numunesinin 46,7 BSD sertliğe sahip olduğu hatırlanırsa % 22’lik bir artış olduğu anlaşılmıştır.
2. Bu kaymalı yatak malzemesinin aşınma testlerinden; artan borik asit ilavesi ile aşınma dayanımının da genel olarak arttığı sonucuna varılmıştır.
3. Metal metal aşınması neticesinde; yüzeyde oluklar meydana getiren abrasif aşınma ve kraterler ve yüzeye sıvanma olmuş parçacıklar şeklinde kendini gösteren adhesif aşınma mekanizmaları görülmektedir.
4. Referans kaymalı yatak malzemesine katılan borik asit alaşımın korozyon direncine olumlu etki yaptığı ve borik asit katkısının deney malzemelerinin korozyon direncini kısmen arttırdığı anlaşılmıştır.
5. Numunelerin optik mikroskop resimlerinden yapılan döküm işleminde boşluk ve tanelerin dağılımı açısından kabul edilebilir değerler ve matriste istenmeyen boşlukların azaldığı sonucuna varılmıştır.
6. Numunelerin SEM incelemeleri ve EDX analiz sonuçlarından matrisi oluşturan elementlerin homojen denilebilecek bir dağılım gösterdiği görülmüştür.

7. Ana yapı Al dendritlerinden oluşmakta ve ikinci faz olarak Si bileşiklerinden oluşmaktadır. Ancak yapıyı olumsuz etkileyebilecek intermetalik fazlara da rastlanılmıştır.
8. XRD incelemeleri neticesinde borik asitin amorf olması sebebiyle pik vermediği ve herhangi bir faz veya bileşik oluşturup oluşturmadığı tespit edilememiştir.
9. DSC incelemeleri neticesinde numuneler; 250 – 350 °C sıcaklık arasında ekzotermik (ısı veren) bir reaksiyon göstermiştir.
10. İncelemeye esas alınan bu kaymalı yatak malzemesinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin borik asit katkısıyla iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Akkurt, M., 1992, Makine Elemanları, Cilt 2, İstanbul: İTÜ Matbaası, 76-79.

Akkurt, M., 1998, Makine Elemanları III Cilt.

Akkurt, S., 1990, Poliasetalin Kuru ve Su ile Yağlama Koşullarında Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Bakımından İncelenmesi, 4. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 585 – 594.

Anık S., Dikicioğlu A., Vural M., İmal Usulleri, (İ.T.Ü Makine Fakültesi), Birsen Yayınevi, İstanbul 2000.

Aran A., Metal Döküm Teknolojisi, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul 1999.

Aran, A., 2007, Döküm Teknolojisi, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 106s.

Arıkan, R., 1988, MOS2 İlaveli Çinko-Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Yapısı ve Aşınma Özellikleri, 3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 537-547.

Askland D. R., 2006, The Science and Engineering of Materials, Thomson Press Company, Canada, 849p.

ASM, 1998, ASM Handbook- Vol.15-Casting, ASM International, 2000p.

Aytaç, A., 2007, A356 Alüminyum Alaşımının Yarı Katı İşleme Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Lisans Tezi, Z.K.Ü Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük.

Baiming, C., Qinling, B., Jun, Y., Yanqiu, X. and Jingcheng H., 2008, Tribological properties of solid lubricants (graphite, h-BN) for Cu-based P/M friction composites, *Tribology International*, 41:1145-1152.

Beeley, P., 2001, Foundry Technology, Butterworth –Heinemann Company, Woburn, 699p.

Bonollo, F., Urban, J. , Bonatto B., and Botter, M., 2005, Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark, *La Metallurgia Italiana*, 6/2005(23):26-27.

Bulutçu, A.N., Gürbüz, H., Özcan, Ö., Yavaşoğlu, N., Gür, G. ve Sayan, P., 1997. Borik Asit Tesisi Araştırma ve Danışmanlık Hizmetleri Proje Raporu, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.

Campbell, J., 2003, Castings , Butterworth –Heinemann Company, Burlington, 353p.

Cerit, A. M., 1994, Makina Mühendisliği El kitabı- Üretim ve Tasarım, TMMOB Makina Mühendisler Odası, Ankara, 169, 115s.

Coleman, D.A., 1977. Encyclopedia of Chemical Processing and Design, pp. 57-66, Eds. Mc Ketta, J.J., Cunningham, W.A., Volume 5, Marcel Dekker, Inc., NY, pp 57-66.

Cöcen Ü., Belevi M., Önel K., 1997, Tane Silisyum Karbür Katkılı Alüminyum Bazlı Kompozitlerin Aşınma Davranışı, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, 155-187.

Çalık A., 2002, Türkiye'nin Bor Madenleri ve Özellikleri, Makine ve Mühendis Dergisi, 508:46.

Çavuşoğlu E., Döküm Teknolojisi, İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul 1981.

Çerik, H.V., 1986, Makine Bilgisi ve Makine Elemanları

Duman, A., 2003, Bor Madenleri ve Stratejik Bor Ürünleri, Bilim ve Ütopya Dergisi, 114, 37s.

Duran A. D., Döküm İş Makineleri, MEB Yayınları, İstanbul 1987.

Duran A. D., Çelik S., Süzen C., 1992, Dökümcülük İş ve İşlem Yaprakları Sınıf 3, MEB Yayınları, İstanbul.

EAA, 2002, Aluminium in the Automotive Industry, European Aluminium Association, 34p.

Ediz N. ve Özdağ H., 2001, Bor Mineralleri ve Ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi FBE. Dergisi, 72:133-149.

Eti Holding A.S., 2003, Bor Nitrid Ön Fizibilite Etüdü, Eti Holding Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Ankara, 21s.

Fidaner S., Çelik S., Doğmuş H., Süzen C., Duran A., 1979, Genel Dökümcülük Bilgisi Cilt 3, MEB Yayınları, Ankara.

Gürleyik, M.Y., 1980, Yıkama Aşındırması, Mühendis ve Makine, Cilt 311, Sayı 368, K.T.Ü. Trabzon, 25-34.

Gürleyik, M. Y., 1986, Makine Mühendisliğinde Aşınma Olayları, Mühendis ve Makine, Cilt 27, 3-14.

Habig, K. H., 1980, Verschleiß UND Härte von Werkstoffen, Hanser- Verlag, München-Wien, Germany, 547-554.

Hurricks, P. L., 1973, Some Metallurgical Factor Controlling the Adhesive and Abrasive Wear Resistance of Steels a Review, Wear 26, 285 – 304.

Hutchings, I.M., 1992, Tribology: Friction and wear of Engineering Materials, London: Adward Arnold,

IAI, “Story Of Aluminium”, International Aluminium Institute ,

İpek, R., 1987, Tren Fren Papuçlarının Aşınmasının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 94-102.

İpek, R., 1992, AISI 1020 Çeliğinin, Yüzey Sertleştirme İşlemleri Uygulanarak AISI 5155 Çeliğinin Yerine Kullanabilirliğinin Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi (yayımlanmamış), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 40-52.

İzciler, M., Öcal. İ., 2001, Yüzey topografyasına bağlı olarak aşınmanın ölçümü, I. Demir-Çelik Sempozyumu Bildirileri, TMMOB, Erdemir, Ereğli- Zonguldak.

Karamış, M.B., 1986, Traktör Hızı ve Pulluk Çalışma Derinliğinin Uç Demiri Aşınma Hızına Etkileri ve Optimizasyonu, 2. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, ODTÜ, Gaziantep, 668 -677.

Karamış, M.B., 1986, Abrasiv Aşınma Mekanizmasında Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi, 2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 493-500.

Kayır, Y. Z., 2005, Dünya Döküm Üretiminin Liderleri Kimlerdir?, KOSGEB yayınları, 06935, Ankara, 7s.

Keleştimur, M.H., 1989, Makine Yapı Çeliklerinde Abrasif Aşınma Direncine Yüzey Sertliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Kıhç, A.M., 2004, Bor Madeninin Türkiye Aksından Önemi ve Gelecekteki Yeri, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskisehir, 41s.

Koç, R., 2004, Vagon Boji Bagalarına Alternatif Polimer Malzemelerin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi (yayımlanmamış), SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 121-142.

Küçükşahin, F., 1999, Diesel Motorları,

Lülsdorf, P., 1978, VerschleiBprobleme mit Zylinder und Schnecke beim Extrudieren, VDI - Bildungswerk, BW 3019, Traisdorf, 140-152.

Murphy, A.J., 1935, Non-ferrous Foundry Metallurgy, Pergamon Press Ltd, London, 497p.

Nies, N.P. and Campbell, G.W., 1964. Inorganic Boron-Oxygen Chemistry in *Boron, Metallo-boron Compounds and Boranes*, Ed. Adams, R.M., John Wiley&Sons Inc., New York.

Odabaş, D., 1991, Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerin Teorik ve Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi (yayımlanmamış), Fen Bilimleri Enstitüsü Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 58-76.

Onaran, K., 1985, Malzeme Bilgisi, İstanbul: Çağlayan Basımevi, 87-95.

ÖİK, 2000, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Demir-Çelik Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 210s.

Özcömert, M., 2006, Otomotiv endüstrisinde alüminyum , İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul, 20s.

Pigors, O., 1979, Abrasiv Verschleißverhalten von Stählen bei Gleit – und Wölbewegungen, Schmierungstechnik 10.

Portakal, A., 1974, Kaymalı Düz Yataklarda Yüzey Pürüzlülüğü ve Aşınma Hızı, Mühendis ve Makine ,Cilt 19, 400-408.

Sarıhan, E., 2006, Bor Sektör Profili ,İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 36s.

Smith, R.A. and McBroom, R.B., 1992. Boron Oxides, Boric Acid and Borates *in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Fourth Edition, Volume 4, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Tekin, E., 1986, Madencilikte Kullanılan Aşınma Dayanımlı Demir Alaşımları, 2 Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 401-409.**TMMOB**, 2003, Alüminyum Raporu, Metalürji Müh. Odası Alüminyum Komisyonu 24.Dönem Çalışma Raporu, 159s.

Ünlü, B. S., 2004, Kaymalı Yataklarda Tribolojik Özelliklerin ve Borlanmış Demir Esaslı Malzemelerin Yatak Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Yılmaz, F., 1997, Sürtünme ve Aşınma, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 229-247.

Yoshitsugu, K.,Toshiaki, W., Kazumi, O., Tetsuya, W. and Hiroshi, N., 1999, Boron nitride as a lubricant additive, *Wear*, 232:199-206.

Weissbach, W., 1977, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. (Çev: S. Anık), Kurtuluş Matbaası, İstanbul, 28-35.

URL-1, www.alfed.org.uk (Erisim tarihi: 05 Ocak 2010) **ALFED**, “Aluminium in Transportation” , Aluminium Federation,

URL-2, www.world-aluminium.org (Erisim Tarihi: 05 Ocak 2010)

ÖZGEÇMİŞ

01.05.1981 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya’da 1999 yılında tamamladı. 2000 yılında Elazığ Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği Anabilim Dalında lisans eğitimime başladı. 2004 yılında bu bölümden mezun oldu. 2004-2005 yılları arasında askerlik görevini tamamladı. 2005 ile 2011 yılları arasında özel sektörde makine enerji şefi olarak çalıştı. 2012 Haziran ayında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yeşilyurt Demir Çelik Meslek Yüksekokulu Makina ve Metal Teknolojileri bölümüne Öğretim Görevlisi olarak atandı.