

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALUMİNYUMUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE AŞINMA
DAVRANIŞINA MAĞNEZYUMUN VE SİLİSYUMUN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met.Müh. Sait TURHAN**

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı : Malzeme

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen ve her konuda bana yardımcı olan hocam sayın Prof.Dr.Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel kısımlarında ve hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör.Hayrettin AHLATCI'ya ve mekanik metalurji laboratuvarında çalışan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, yüksek öğrenim hayatım boyunca ,gerek maddi gerekse manevi bakımdan desteklerini benden hiç bir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2002

SAİT TURHAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI VE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	2
2.1. Giriş	2
2.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	2
2.2.1. Alüminyum İşlem Alaşımları	3
2.2.2. Alüminyum Döküm Alaşımları	3
2.3. Alaşım Elementlerinin Etkileri	4
2.3.1. Bakırın Etkisi	5
2.3.2. Silisyumun Etkisi	5
2.3.3. Magnezyumun Etkisi	5
2.3.4. Manganezin Etkisi	6
2.3.5. Çinkonun Etkisi	6
2.3.6. Titanyumun Etkisi	6
2.3.7. Demirin Etkisi	6
2.3.8. Nikelin Etkisi	6
2.3.9. Sodyumun Etkisi	7
3. SAF ALÜMİNYUM, ALÜMİNYUM-SİLİSYUM VE ALÜMİNYUM- MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MALZEME ÖZELLİKLERİ	8
3.1. Denge Diyagramları	8
3.1.1. Alüminyum-Magnezyum Alaşımı	8
3.1.2. Alüminyum-Silisyum Alaşımı	9
3.2. Fiziksel Özellikler	10
3.2.1. Yoğunluk	10
3.2.2. Elektrik İletkenliği	11
3.3. Korozyon Özellikleri	12
3.4. Döküm Özellikleri	12
3.5. Mekanik Özellikler	14
4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YAPISI ÖZELLİKLERİ	16
4.1. Giriş	16
4.2. Makro Yapının Mekanik Özelliklere Etkisi	18
4.3. Mikro Yapının Mekanik Özelliklere Etkisi	18
4.4. Homojenizasyon	19
5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIN AŞINMA ÖZELLİKLERİ	22
5.1. Giriş	22
5.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	23
5.2.1. Ana Malzeme Özelliklerinin Bağlı Faktörler	24
5.2.2. Karşıt Malzeme Özelliklerine Bağlı Faktörler	25

5.2.3 Çalışma Koşullarına Bağlı Faktörler	25
5.2.4 Aşınma Ortamına bağlı Faktörler	28
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
6.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Uygulanan İşlemler	31
6.2.Metalografik Çalışmalar	31
6.3 Mekanik Deneyler	31
6.3.1. Mikro Sertlik Deneyi	31
6.3.2. Çekme Deneyi	31
6.4.Metal-Metal (Adhesive) Aşınma Deneyi	32
6. 5.Metal- Aşındırıcı (Abrasive) Aşınma Deneyi	32
7. DENEYSEL SONUÇLAR	34
7.1. Makroyapı ve Mikroyapı Karakterizasyonu	34
7.2. Mekanik Deneyler	34
7. 2.1. Mikro Sertlik Deneyi	34
7. 2.2. Çekme Deneyi	34
7 .3. Aşınma Deneyleri	34
7.3. 1. Metal-metal Aşınma Deneyleri	34
7.3.2. Metal-abrasiv Aşınma Deneyleri	35
8. DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ	38
8.1. Makro ve Mikroyapı İncelemeleri	38
8.2. Mekanik Deneyler	38
8.2.1. Mikro Sertlik Deneyi	38
8.2.2. Çekme Deneyi	39
8.3. Aşınma Deneyleri	45
8.3.1. Metal-metal Aşınma Deneyleri	45
8.3.2. Metal-abrasiv Aşınma Deneyleri	48
9. GENEL SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	65

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Alüminyum işlem alaşımlarının gösterimi.....	3
Tablo 2.2. Alüminyum döküm alaşımlarının gösterimi.....	4
Tablo 3.1. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri.....	10
Tablo 3.2. Bazı metallerin yoğunluk değerlerinin alüminyumun yoğunluk değeriyle karşılaştırılması.....	11
Tablo 3.3. AlSi5, AlSi12 ve AlMg8 alaşımlarının döküm özelliklerinin karşılaştırılması.....	14
Tablo 6.1. Deneysel çalışmalar'da kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri	30
Tablo 7.1. Mikro sertlik deney sonuçları.....	35
Tablo 7.2. Çekme deneyi sonuçları.....	36
Tablo 7.3. Metal-metal aşınma deneyinde kayma mesafesine bağlı olarak ağırlık kaybı sonuçları.....	37
Tablo 7.4. Sıcaklığa bağlı olarak metal-abrasive aşınma deneyi ağırlık kaybı değerleri.....	37
Tablo 8.1. Metal-metal aşınma hızı değerleri	46

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1	Al-Si denge diyagramı 9
Şekil 3.2.	Al-Mg denge diyagramı 10
Şekil 3.3.	Değişik miktarlarda Si içeren alaşımların mekanik özelliklerine Mg 'un etkisi 15
Şekil 4.1.	Alüminyum alaşımlarının makro yapısının şematik görünüşü 17
Şekil 4.2.	Al-%5 Mg alaşımında tane segregasyonu olan döküm yapısının şematik kesiti 19
Şekil 4.3.	Katılaşma hızının veyahomojenizasyonun tane segregasyonuna etkisi 20
Şekil 5.1.	Tribolojik sistemin şematik gösterimi 23
Şekil 5.2.	Abrasiv sertliğinin aşınan malzemenin sertliğine oranının aşınma kaybına etkisi 25
Şekil 5.3.	3600 m kayma mesafesi ve 1m/sn kayma hızında çalışan Al-Si- Pb alaşımlarının yük aşınma oranı ilişkisi 26
Şekil 5.4.	3600 metre kayma mesafesi ve 20N yük altında çalışan Al-Si-Pb alaşımlarının aşınma oranına kayma hızının etkisi 27
Şekil 5.5.	600 °C de 4 saat bekletilip su verilmiş ,T6 şartlarında (155 °C de 6 saat) yaşlandırılmış A356 Al-Si alaşımlarının kayma mesafesi - ağırlık kaybı ilişkisi 29
Şekil 6.1.	(a) Metal-metal ve(b)Metal-abrasif deney düzeneğinin şematik görünümü 32
Şekil 8.1.	Al-Si ve Al-Mg döküm yapılarının alaşım bileşimine bağlı olarak mikro sertlik değişimi 39
Şekil 8.2.	(a) %Si ve(b) %Mg bileşimine bağlı olarak Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının mikro sertlik değişimleri 40
Şekil 8.3.	(a)Si ve (b) Mg bileşimine bağlı olarak Al-Si veAl-Mg alaşımlarının mukavemet değerlerinin değişimi 41
Şekil 8.4.	Saf Al'un döküm yapısıyla homojenleştirilip sıcak deforme edilmiş yapıların çekme ve akma mukavemetlerinin karşılaştırılması 42
Şekil 8.5.	(a) Si ve(b) Mg içeriğine bağlı olarak Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının süneklik değerlerinin değişimi 43
Şekil 8.6.	Saf Al'un döküm yapısıyla homojenleştirilip sıcak deforme 44

	edilmiş yapılarının sünekliliklerinin karşılaştırılması	
Şekil 8.7.	Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında bileşime bağlı olarak tokluk 44 değerlerinin değişimi	
Şekil 8.8.	Saf Al'un döküm yapısıyla homojenleştirilip sıcak deforme 45 edilmiş yapıların tokluklarının karşılaştırılması	
Şekil 8.9.	(a) Al-Si ve(b) Al-Mg alaşımlarında alaşım bileşimine bağlı 46 olarak ağırlık kayıp(mg) miktarlarının değişimi	
Şekil.10	Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında bileşime bağlı olarak aşınma 47 hızlarının değişimi	
Şekil 8.11.	Döküm hali ve homojenleştirilip sıcak deforme edilmiş Saf Al'un 47 metal-metal aşınma hızlarının karşılaştırılması	
Şekil 8.12.	(a) Al-Si (b) Al-Mg alaşımlarında metal-abrasive aşınması 49 sonucu sıcaklık ve bileşime bağlı olarak ağırlık kaybı değerleri	
Şekil A.1.	Döküm ve homojenleştirilip sıcak deformasyon uygulanmış saf 54 Al'un makroyapı görüntüleri	
Şekil A.2.	A.2. Al-%1-2-4-8 Mg alaşımlarının döküm ve homojenleştirme 55 ısıtıl işlemi–sıcak deformasyon uygulanmış yapılarına ait makro yapı görüntüleri	
Şekil A.3.	Al-%1-2-4-8 Si alaşımlarının döküm ve homojenleştirme ısıtıl 56 işlemi–sıcak deformasyon uygulanmış yapılarına ait makro yapı görüntüleri	
Şekil A.4.	Saf Al'a ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 57 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.5.	% 1 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 58 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.6.	% 2 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 58 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.7.	Al-% 4 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 59 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.8.	Al-% 8 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 59 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.9	Al-% 1 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 60 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.10	Al-% 2 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 60 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.11	Al-% 4 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 61 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.12	Al-% 8 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) 61 homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları	
Şekil A.13	(a) Saf Al (döküm hali), (b) % 8 Si ve (c) % 8 Mg alaşımlarının 62 metal-metal aşınma yüzeylerinin görünümü.	
Şekil A.14	Abrasif band üzerinde aşındırılmış homojenleştirme ve sıcak 63	

deformasyon uygulanmış saf Al, Al-% 8Si ve Al-%8 Mg
alaşımının (a), (c), (e) oda sıcaklığı ve (b), (d) ve (f) 400 °C'deki
aşınma yüzeylerinin görünümü

ALUMİNYUMUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE AŞINMA DAVRANIŞINA MAĞNEZYUMUN VE SİLİSYUMUN ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, alüminyumun makro ve mikroyapısına, mekanik özelliklerine ve aşınma davranışlarına Silisyum ve Mağnezyumun etkisi incelenmiştir. incelenmiştir.

Metalik kalıba döküm yöntemiyle üretilen saf Al, %1-8 oranları arasında Si içeren Al-Si ve %1-8 oranları arasında Mg içeren Al-Mg alaşımlarına 400 °C de 24 saat homojenizasyon ısı işlemi yapılmıştır. Bunu takiben alaşımlara 400 °C de %40 oranında sıcak basma uygulanmıştır.

İncelenen alaşımlar makro ve mikro yapısal incelemeler sonrasında sertlik ölçümleri çekme ve aşınma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Aşınma deneyleri M2 takım çeliği (metal-metal) ve 180 mesh'lik Al_2O_3 zımpara (metal-abrasif) üzerinde yapılmıştır. Uygulana abrezif aşınma deneyleri 400C ye çeşitli sıcaklıklarda yapılmıştır.

Mikro sertlik ölçümleri silisyum ve mağnezyum bileşim artışına bağlı olarak sertlik değerinin arttığı ve mağnezyumun sertlik arttırma etkisinin silisyumdan daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çekme deneyleri ile alüminyuma ilave edilen silisyum ve mağnezyum artışına bağlı olarak çekme ve akma mukavemetlerinin arttığı sünekliliğin ve tokluğun ise düştüğü belirlenmiştir. Mağnezyumun mukavemet arttırma ve sünekliliği düşürme etkisinin silisyuma göre daha yüksektir.

Uygulanan Metal-Metal aşınma deneyleri sonucunda Alüminyuma ilave edilen % 2 ye kadar olan Silisyum un adhesive aşınma direnci üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı % 2'nin üzerindeki silisyum ilavesinin ise adhesive aşınma direncinin bir miktar düştüğü gözlenmiştir. Alüminyuma ilave edilen mağnezyum ise adhesif aşınma direncini arttırmaktadır. Mağnezyum serisi alaşımların adhesif aşınma direnci silisyum seri alaşımlardan daha yüksektir.

Oda sıcaklığında ve 400°C'ye kadarki yüksek sıcaklıklarda yapılan Metal-Abrasiv aşınma deneyleri sonucunda Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında alaşım elementi artışına bağlı olarak aşınma direnci artmıştır. Gerek oda gerekse 400C ye kadarki yüksek sıcaklıklarda Al-Mg serisi alaşımlar Al-Si serisine nazaran daha yüksek aşınma direnci göstermişlerdir.

THE EFFECT OF MAGNESIUM AND SILICON ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR BEHAVIOUR OF ALUMINIUM

SUMMARY

In this study, the effects of Mg and Si content on the macro and microstructures, mechanical properties and wear behaviors of aluminum alloys were examined.

Pure Al, Al / 1 to 8 wt % Mg and Al /1 to 8 wt % Si produced by die casting were homogenized at 400 °C for 24 hours. After homogenization, alloys were upset about 40 % at 400 °C.

After macro and microstructural examinations, alloys were subjected to microhardness measurements, tensile and wear tests. Wear tests were conducted on M2 quality tool steel disc (metal-metal wear tests) and 180 mesh Al₂O₃ abrasive grains (Metal- Abrasive wear tests). Abrasive wear tests were performed in the temperature range from room temperature to 400°C.

Microhardness measurements and tensile tests revealed that, addition of Si and Mg increase hardness and strength but decrease ductility and toughness of aluminum alloys. As an alloying element, Mg has more pronounce effect on mechanical properties than Si.

The results of metal- metal wear tests revealed that, addition of Si up to 2 wt.% did not cause a significant change in wear resistance, whilst wear resistance decreased .with increasing Si for the Si contests higher than 2 wt. %. Addition of Mg caused continuous improvement on metal-metal wear resistance of aluminum alloys. When compared to Si series, Mg added aluminum alloys exhibited higher wear resistance.

The results of the metal-abrasive wear tests carried out at various temperatures up to 400 °C showed that, addition of Si and Mg increase the abrasion resistance of aluminum alloys. It should be mentioned that abrasion resistance Al-Mg alloys is higher than that of Al-Si alloys.

1.GİRİŞ

Alüminyum günümüzde demir çelikten sonra en çok kullanılan metal durumundadır. Döküm özelliklerinin iyi olması ve bir çok döküm yöntemine kolaylıkla adapte olması, mekanik özelliklerin çeşitli metalurjik işlemler sonucu geliştirilebilmesi, korozyon özelliklerinin iyi olması, alüminyum kullanımının bu denli yaygın olmasının en önemli nedenleridir.

Silisyum günümüzde Alüminyuma en çok ilave edilen alaşım elementidir. Al-Si alaşımları bilhassa mükemmel döküm özelliği ve iyi korozyon direnç istenen uygulamalarda tercih edilmektedir. Al-Si alaşımlarının en yaygın kullanım alanı motor pistonlarının üretimidir. Ayrıca bu alaşımlar mimari uygulamalarda, radyatör dilimlerinin üretiminde, lehim teli ve sert lehim teli üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Al-Mg alaşımları bilhassa mükemmel korozyon direnci, iyi kaynaklanabilme özelliği ve yüksek mekanik mukavemet istenen uygulamalarda tercih edilmektedir [2].

Bu çalışmada Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında ana alaşım elementi bileşiminin alaşımın mekanik özelliklerine ve aşınma davranışlarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak Saf Alüminyum, Al-Mg ve Al-Si alaşım numunelerine 400 °C de 24 saat homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Bunu takiben numunelere 400 °Cde sıcak basma uygulanmış ve numuneler % 40 oranında deforme edilmişlerdir. Homojenize edilmiş ve sıcak deforme edilmiş numunelere mikro sertlik ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca bu numuneler metal-metal ve metal-abrasive aşınma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Metal-metal aşınma deneyleri, oda sıcaklığında M2 kalite takım çeliğinden imal edilmiş bir disk üzerinde metal-abrasive aşınma deneyleri ise oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda (100-200-300-400 °C) 180 mesh lik Al₂O₃ bantlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2 ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Giriş

Saf alüminyum, genel olarak, paketlenme malzemesi olarak mutfak ve ev aletlerinde, depolama ve tanklarda, yüzeyi elokse edilmiş sac ve profil olarak dekorasyonda, redüksiyon maddesi olarak çelik sanayiinde ve alüminyum boyalarında kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik iletim malzemesi olarak kablo ve akım raylarında önemli bir kullanım alanına sahiptir [1].

Alüminyumun saf halde kullanımı yukarıda belirli alanlar dışında oldukça sınırlıdır. Alüminyum daha çok Alüminyum alaşımları halinde kullanılmaktadır. Saf alüminyuma alaşım elementlerini ilave edilmesinin temel nedenleri..,

1. Akışkanlığı arttırmak, sıcak yırtılma eğilimini azaltmak
2. Alaşımın korozyon direncini, mekanik özelliklerini ve kaynak kabiliyeti gibi özelliklerini geliştirmektir.

2.2 Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Uygulamada, ürüne şekil verme yöntemine göre alüminyum alaşımları iki ana grupta incelenebilir. Bunlar,

- 1- İşlem alüminyum alaşımları
- 2- Döküm alüminyum alaşımlarıdır.

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında bir çok standart kullanılmaktadır. Bu standartlardan en çok kullanılanı Alüminyum Birliğinin (Aluminium Association) standartıdır. Bunun yanında ALCOA, ASTM, DIN 1713, Fransız Standartları gibi standartlar kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen standartların ortak özelliği ise tüm standartlarda alüminyum alaşımları işlem alüminyum alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır [2].

2.2.1 Alüminyum işlem alaşımları

Alüminyum işlem alaşımlarında en yaygın olarak kullanılan simgeleme metodu Alüminyum Birliği tarafından geliştirilmiştir. Bu simgeleme metodu dört rakamdan oluşur.

Tablo 2.1. Alüminyum işlem alaşımlarının gösterimi [2].

SİMGE	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ
1xxx	Saf Alüminyum(%99.00Al)
2xxx	Al-Cu
3xxx	Al-Mn
4xxx	Al-Si
5xxx	Al-Mg
6xxx	Al-Mg-Si
7xxx	Al-Zn
8xxx	Diğer Elementler
9xxx	Kullanılmayan Dizi

Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. Son iki rakam ise %99 değerinin noktadan sonraki değerini belirtir.Örneğin, 1060 alaşımındaki son iki rakam alüminyumun %99.60 saflığında olduğunu göstermektedir. Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen empürite elementlerinin sayısını göstermektedir. 2xxx den 8xxx e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam ise alaşım kompozisyonundaki değişimleri gösterir. Son iki rakam ise değişik alaşımları tanıtmak amacıyla kullanılır.

2.2.2 Alüminyum Döküm Alaşımları

Aluminyum döküm alaşımlarında da dört rakamlı simgeleme kullanılır.Yalnız üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulmuştur. Tablo1.2 de bu simgeleme metodu gösterilmektedir.Burada 1xx.x serisi için, ikinci ve üçüncü rakamlar aluminyumun noktadan sonraki saflık değerini belirtir. Noktadan sonraki rakam ise ürünün şeklini belirtir.Aşağıda ürün şekilleri ve rakamsal karşılıkları verilmiştir.

0- Döküm

1- İngot

2- Modifiye edilmiş ingot

2xx.x ile 9xx.x arasındaki alaşımlarda ise ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısı oluşturur.

Tablo2.2 Aluminyum döküm alaşımlarının gösterimi[2].

SİMGE	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ
1xx.x	Minumum%99.00 Aluminyum
2xx.x	Al-Cu
3xx.x	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si
4xx.x	Al-Si
5xx.x	Al-Mg
6xx.x	Kullanılmayan Dizi
7xx.x	Al-Mg-Zn
8xx.x	Al-Sn
9xx.x	Diğer Elementler

2.3 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Aluminyum alaşımlarında başlıca kullanılan alaşım elementleri, bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, krom, kalay, manganez, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

2.3.1 Bakırın Etkisi

Genel olarak bakır alüminyuma, sertlik, dayanım, iyi döküm özelliği ve işlenebilme kolaylığı gibi özellikler kazandırır. Bakır dövme alaşımlarında %3 ile 5 arasında kullanılır. %5 den fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlükleri ortaya çıkar [2]. Ayrıca elektrik iletkenliği ve korozyon direnci düşer. Dövme alaşımlarında %12 ye kadar bakır kullanılabilir.

Bakır Al-Si alaşımlarında mekanik mukavemeti artırırken buna karşın alaşımın deniz suyuna, zayıf asitlere ve kötü atmosfer şartlarına karşı dayanımını azaltır. Ayrıca Al-Si alaşımlarına bakır ilavesiyle düşük genleşme katsayısı elde edilebilir.

2.3.2 Silisyumun Etkisi

Silisyum ilavesiyle alaşımın akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti özellikleri iyileşmektedir [2]. Ayrıca tane boyutu küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliği sağlanır. Ayrıca silisyum ilavesiyle çok iyi döküm özellikleri elde edilirken..Silisyum ilavesiyle talaş kaldırma ise zorlaşmaktadır [3].

Silisyumun mekanik özelliklere katkısında alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekil ve dağılımı daha etkindir. Küçük ve yuvarlak primer faz yüksek mukavemet sağlar. İğne şeklindeki silisyumlu faz ise çekme mukavemetini arttırmakla beraber, sünekliği, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür [2].

2.3.3 Magnezyumun Etkisi

Magnezyum alüminyuma ilave edilen önemli alaşım elementlerinden biridir. Magnezyum alaşıma yüksek mukavemet ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. Kaynak kabiliyetini artırır Ayrıca Magnezyum ötektik altı Al-Si alaşımlarında demir in mekanik özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderir ve mekanik mukavemet, korozyon direnci ve aşınma direncini artırır. Buna karşılık sünekliği azaltır.

Al-Si alaşımları katı eriyik bölgesinin dar olması nedeniyle ısıl işlemle sertleştirilemezler. Mağnezyum ilavesiyle Al-Si alaşımları ısıl işlemle sertleşebilme yeteneği kazanır [2].

2.3.4 Manganezin Etkisi

Manganez, alüminyum alaşımlarının çekme mukavemetini arttırır. Ayrıca yeniden kristalleşme sıcaklığını korozyon direncine zarar vermeksizin 50-60 °C kadar yükseltir.

Manganez Al-Si alaşımlarında demirin mekanik ve fiziksel özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderme imkanı verir. Böylece mekanik mukavemet ve korozyon direnci artar [3].

2.3.5 Çinkonun Etkisi

Çinko ilavesiyle bütün alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti, haddelenebilme ve işlenebilme kabiliyeti artmaktadır. Çinko mağnezyum ile birlikte ilave edildiğinde yüksek darbe mukavemeti kazandırır.

Çinko Al-Si alaşımlarında çökelme sertleşmesine sebep olduğundan dolayı aşınma direncini arttırıcı etki yapar [4].

2.3.6 Titanyumun Etkisi

Titanyumun alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etkisi vardır. En iyi etkiyi bor ile beraber kullanıldığında gösterir. Titanyum alüminyum alaşımlarında çekme mukavemeti ve sünekliliği arttırır, ısı iletkenliğini düşürür [2].

2.3.7 Demirin Etkisi

Demir alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etki gösterir. Ayrıca bazı alüminyum alaşımlarında yüksek sıcaklık mukavemetini arttırır. Demirin Al-Si alaşımlarında mekanik özelliklere olumsuz etkisi vardır. Yüksek silisyum içeren alaşımlarda demir kaba ve gevrek bir yapının ortaya çıkmasına sebep olur. Bu nedenle bu tip alaşımlarda demir oranının minimum değerde olması istenir.

2.3.8 Nikelin Etkisi

Nikel alüminyum alaşımlarına yüksek sıcaklık mukavemeti ve boyutsal kararlılık sağlamak için ilave edilir. Al-Si alaşımlarına nikel ilave edildiğinde yüksek aşınma direnci ve düşük genleşme katsayısı elde edilir [4].

2.3.9 Sodyumun Etkisi

Sodyum Al-Si alaşımlarına iç yapıyı modifiye edici elaman olarak katılır. Al-Si alaşımlarına %0,001 ile %0,003 oranlarında Na ilavesi ile ötektik ve ötektik altı modifiye edilmiş veya ince ötektik malzeme yapısı elde edilir [2].

Sodyum yüksek sıcaklıkta işlenen Al-Mg alaşımlarında çatlak hatalarının oluşmasına neden olur. Mg miktarı %2 den fazla ise gevreklik sorunu ortaya çıkar [2].

BÖLÜM 3 ALÜMİNYUM-SİLİSYUM VE ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

3.1 Denge diyagramları

3.1.1 Al-Si alaşımı

Al-Si sistemi, basit bir ötektik içeren alüminyum ve silisyum fazlarına sahip bir denge diyagramı verir.

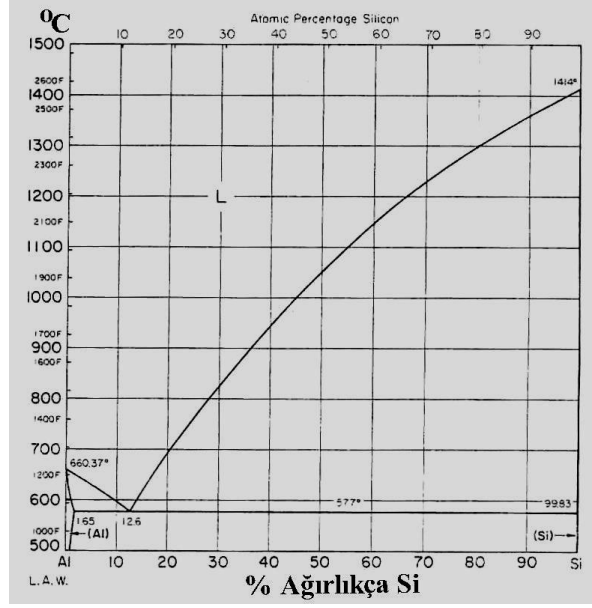
Oda sıcaklığında silisyumun alüminyum içersindeki çözünürlüğü çok düşüktür. Ötektik sıcaklığında ise silisyumun alüminyum içersindeki çözünürlüğü %1,59 dur ve %12,6 Si noktasında ötektik ayrışma gösterir. Alüminyum silisyum alaşımlarının yapıları düşük sıcaklıklarda ve oda sıcaklığında α ve β gibi iki katı eriyik karışımından oluşur. Bu karışımlar aşağıdaki şekillerde bulunur.

a-) Silisyum miktarı ötektik bileşiminden aşağı olan alaşımlar için ,oranı sıcaklıkla değişen α katı eriyiği ve ötektik yapı(hipo ötektik alaşımlar)

b-) Silisyum miktarı ötektik bileşiminde olan alaşımlar için ,ötektik yapı(ötektik alaşımlar)

c-) Silisyum miktarı ötektik bileşiminden yüksek olan alaşımlar için β katı eriyiği(pratik olarak silisyum) ve ötektik yapı. α katı eriyiği saf alüminyuma yakın özellikler gösterirken, β katı eriyiği ise saf silisyuma yakın özellikler gösterirler.

α fazı yüzey kübik merkezlidir.Erime sınırı 577 °Cde %1,65Si-200 °C de ise %0,1 Si içerir. α yumuşak bir fazdır. β fazı ise kübik yapıdaki kristalleri ihtiva eder.Ergime limiti belirsizdir. Orta sertlikte gevrek bir fazdır.

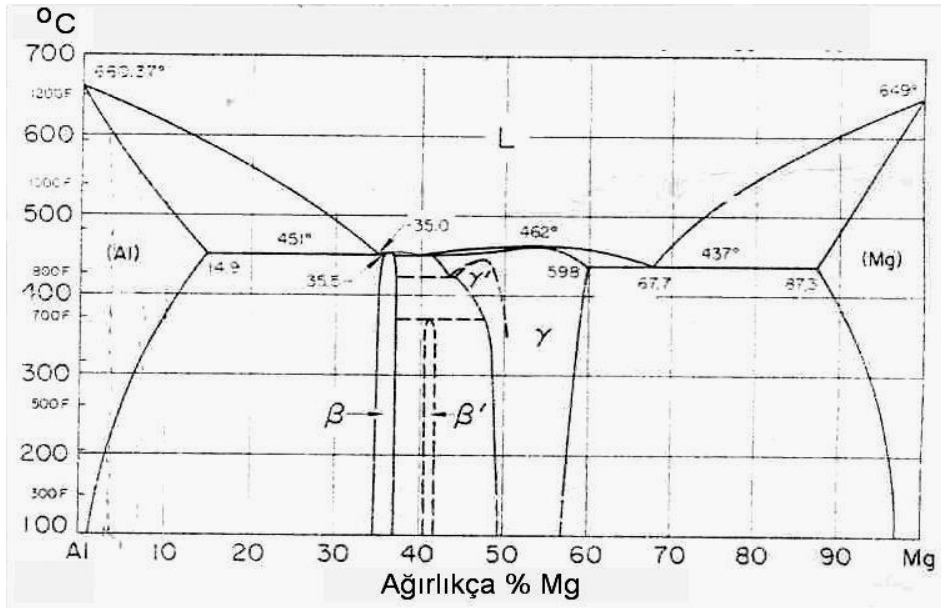


Şekil3.1 Al-Si denge diyagramı [5].

3.1.2 Al-Mg alaşımı

Aluminyum magnezyum alaşımlarında Mg oda sıcaklığında %1,9, ötektik sıcaklığında (450 °C) ise %17,4 oranında aluminyum içersinde erir (Şekil 3.2). Aluminyum magnezyum alaşımları iki ötektik ihtiva ederler. Bunlar 437 °C de %67,7 Mg ve 450 °C de %35 Mg içeren iki ötektik yapıdır [2].

Al-Mg alaşımları Al-Cu alaşımları gibi ısıt işlem uygulanabilecek alaşımlarda istenen karakteristik bir katı eriyiğe sahiptirler. Ancak %8 in üstünde magnezyum içeren alaşımlar ısıt işlemle sertleştirilebilmeye daha uygundur [2].Düşük oranlarda magnezyum içeren alaşımlar ısıt işleme pek uygun değildir. Bunlara ilave edilecek Cu ve Si gibi alaşım elementleri ısıt işlemle sertleştirilebilme yeteneğini arttırlar [3].



Şekil3.2 Al-Mg denge diyagramı [5]

3.2 Fiziksel Özellikler

Aşağıdaki tabloda saf alüminyumun fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Saf Alüminyumun Fiziksel Özellikleri [1]

Yoğunluk	2,8gr/cm ³
Erime noktası	660 °C
Buharlaştırma sıcaklığı	2450 °C
Özgül ısı	0,224 cal/gr
Yeniden kristallenme sıcaklığı	150-300 °C

3.2.1 Yoğunluk

Alüminyum ve alaşımlarının yoğunlukları diğer metalik malzemelere göre oldukça düşüktür. Bu alüminyum alaşımlarının otomotiv ve uçak sektöründe önemli bir yere sahip olmasının temel nedenidir. Tablo3.2 'de bazı metallerin alüminyuma göre izafi yoğunlukları verilmiştir.

Aluminyum silisyum alaşımlarının yoğunluğu saf aluminyuma göre daha düşüktür ve silisyum miktarı artışına bağlı olarak yoğunluk azalmaktadır. Al-Si12 alaşımının yoğunluğu 2,64 gr/cm³ dür [1].

Tablo 3.2 Bazı metallerin yoğunluk değerlerinin Alüminyum yoğunluk değeri ile karşılaştırılması[1].

Metal türü	İzafi yoğunluk
Çinko	2,60
Kalay	2, 66
Çelik	2,82
Pirinç	3,03
Bronz	3,14
Nikel	3,18
Bakır	3,18

3.2.2. Elektrik iletkenliği

.Ağırlık oranları dikkate alındığında aluminyum bakıra göre daha iyi bir iletkenidir. Yapılan araştırmalara göre saf aluminyumun elektrik iletkenliği alaşım elementi ilavesiyle azalmaktadır. İletkenliği azaltma kapasitesine göre ilave edilen alaşım elementleri 3 gruba ayrılırlar.Bunlar .,

- 1- Au, Be, Ni, Si, Fe ve Zn nun etkisi düşüktür.
- 2- Cu, Ag ve Mg iletkenliği daha kuvvetli biçimde düşürürler.
- 3- Ti, V ,Mn ve Cr aluminyumun iletkenliğini çok kuvvetli düşürürler [1].

Elektrik iletkenliği sadece kimyasal bileşime bağlı değildir. Isıl işlem durumu ve çökelti fazlarının büyüklüğü ve dağılımıda elektrik iletkenliğini önemli ölçüde etkiler [6]. Al-Si alaşımlarında elektrik iletkenliği silisyum miktarındaki artışa bağlı olarak

azalır. Döküm Al-Si12 ve AlSiMg5 alaşımlarının elektrik iletkenlikleri sırasıyla 16-18 ve 19-22 m/ohm.mm² (20C de) dir [1].

3.3 Korozyon Özellikleri

Aluminyum alaşımlarının çoğu genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidirler. Ötektik altı Al-Si alaşımları yapılarında nikel bulundurmamaları sürece, deniz suyuna, atmosferik değişikliklere, zayıf asitlere karşı dayanıklıdırlar. Bu alaşımlar anodik oksidasyona uygundur.

Ötektik üstü aluminyum alaşımlarında şayet bünyelerinde bakır yoksa ve çok az miktarda Fe absorbe etmişlerse, deniz suyuna, zayıf asitlere ve kötü atmosfer şartlarına dayanıklıdırlar. Bu alaşımların anodik oksidasyona karşı dirençleri düşüktür.

Aluminyum -silisyum alaşımlarında oluşan α fazı elektrolitik ayrışmayı engeller.Bu da korozyon direncinin artmasına sebep olur.Fakat silisyum ilavesiyle asit ve alkali ortamda aluminyumun korozyon mukavemeti düşer [1].

Aluminyum-mağnezyum alaşımlarında mağnezyum alaşıma mükemmel korozyon direnci kazandırır.Bilhassa % 7-8 arasındaki mağnezyum korozyon uygulamalarında tercih edilir [2].

3.4 Döküm Özellikleri

Aluminyum döküm alaşımları, genel döküm alaşımları içerisinde çok yönlü olanıdır ve yüksek döküm kabiliyetine sahiptir. Aluminyum alaşımları bir çok döküm metoduna adapte olabilirler [2].

Aluminyum döküm alaşımları,genel döküm alaşımları içerisinde çok yönlü olanıdır ve yüksek döküm kabiliyetine sahiptir.Aluminyum alaşımları bir çok döküm metoduna adapte olabilirler[7].

Aluminyum alaşımlarının iyi bir akıcılığı vardır. Bu ince kesitlerin doldurulmasında önemli bir avantajdır.Aluminyum alaşımlarının düşük ergitme ve döküm sıcaklıkları nedeniyle özellikle çelik, dökme demir gibi malzemelere göre ergitme işlemi ve dökümü kolaydır.

Saf alüminyum döküm alaşımlarına göre daha kötü bir döküm malzemesidir. Saf alüminyum dökümünde, katılaşma aralığının olmaması ve çekilme miktarının fazla olması nedeniyle problemler doğar. Bunun için alüminyum alaşımlarına göre daha büyük yolluk ve çıkıcılara ihtiyaç gösterirler. Bu ise daha fazla işleme masrafına ve metal kaybına sebep olur.

Alüminyum-silisyum alaşımlarında silisyum teknik döküm özelliklerini fevkalade düzeltir. Ötektik bileşimli AlSi12 alaşımı bütün döküm alaşımları içinde en iyi döküm özelliklerine sahip alaşımlardır [1].

Alüminyum-silisyum alaşımlarında silisyum miktarı düştükçe katılaşma aralığı büyümekte ve döküm özellikleri ötektik bileşimindeki alaşıma göre kötüleşmektedir [1]. Silisyum miktarının düşmesiyle viskozite artar. Düşük silisyum içeren alüminyum-silisyum alaşımlarında örneğin %5 Si içeren Al-Si alaşımlarında katılaşma aralığı 50 °C kadardır. Bu da çok az miktarda mikroboşluk oluşmasına sebep olur.

Alüminyum-silisyum alaşımlarında silisyum miktarı arttıkça akışkanlık ve kalıp doldurma özelliği artar. Böylece silisyum ilavesiyle çok detaylı, karmaşık parçalarda ve kalıp boşluklarının ince yüzeyleri arasında iyi bir akış sağlanır. Alüminyum - silisyum alaşımlarında silisyum miktarı arttıkça sıcak yırtılmaya karşı meyil azalır. Ötektik bileşimli alaşımlarda sıcak yırtılma tehlikesi hemen hemen hiç yoktur. Silisyum miktarının artışıyla ayrıca lineer çekilme miktarı da azalır. Hatta %12 silisyumlu alaşım için lineer çekilme, gri dökme demirin lineer çekilmesinden büyük değildir. Bu alaşımlarda lineer çekilme düşük olduğundan dolayı dökümde az boşluk yapar. Küçük besleyiciye ihtiyaç gösterirler. Alüminyum-silisyum alaşımlarının sıcak gevreklik özelliği iyidir.

Alüminyum -mağnezyum alaşımlarının akışkanlık ve dökülebilirlik özellikleri kötüdür. Boşluksuz döküm elde edilmesinde alüminyum-silisyum alaşımları ile karşılaştırıldıklarında alüminyum-mağnezyum alaşımları döküm yolluk sisteminin dizaynında daha büyük dikkat ve büyük soğutma istemektedir. Ayrıca alüminyum-mağnezyum alaşımlarının ergitilmiş durumda oksitlenme eğilimleri yüksektir [1]. Onun için denetimli ergitme ve saflaştırma uygulamasına gerek vardır. Tablo 3.3 'de AlSi5, AlSi12 , ve AlMg8 alaşımlarının döküm özellikleri karşılaştırılmıştır [1].

Tablo3.3. AlSi5, AlSi12, ve AlMg8 alaşımlarının döküm özellikleri karşılaştırılması.

Malzeme	Akıcılık	Sıcak gevreklik	Dökülebilirlik	Soğukta çekme	Yüksek sıcaklık dayanımı
% 5Si	Zayıf	İyi	Zayıf	Orta	Orta
%12 Si	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi
% 8 Mg	Kötü	Kötü	Kötü	Zayıf	Zayıf

3.5 Mekanik Özellikler

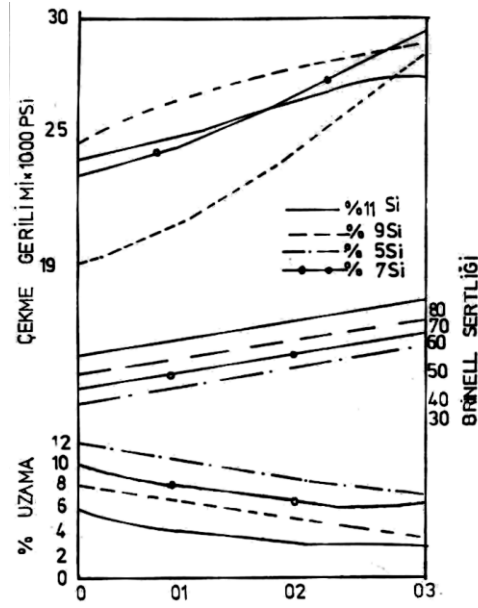
Alüminyum ve alaşımları YMK kristal yapıya sahiptirler [8].YMK kristal malzemelerin karakteristik mekanik özelliklerine sahiptirler [8].

Alüminyum ve alaşımları plastik deformasyona eşlik eden çok sayıda kayma düzlemine sahiptirler [8]. Kırılmadan önce yüksek oranlarda deforme edilebilirler. Alüminyumun darbe direnci HMK kristal yapıdaki metallere göre oldukça yüksektir [8]. Alüminyum ve alaşımlarında HMK kristallerde olduğu gibi yorulma dayanım sınırı yoktur. Alüminyum alaşımlarında magnezyum içeren alaşımlar hariç HMK metallerde görülen süreksiz akma olayı yoktur [1].

Saf alüminyum düşük mukavemet ve yüksek süneklilik özelliğine sahiptir [2]. Saf alüminyumun safiyet derecesi mukavemet ve sünekliliğe önemli ölçüde etki eder [3]. Safsızlık oranındaki artışa bağlı olarak mukavemet ve elastite modülü artarken, süneklilik ise düşmektedir [3].

Al-Si alaşımlarında silisyum içeren fazın büyüklüğü ve şekli mekanik özellikler üzerinde oldukça etkilidir. Silisyum içeren fazın küçük boyutlu ve küresel morfolojide olması mukavemet ve sünekliliği artırıcı yönde etki yapar [9]. Al-Si alaşımlarında mekanik özellikleri etkileyen en önemli çökelti fazı yapıda magnezyum miktarına bağlı olarak bulunabilecek Mg_2Si dır [10]. Mg_2Si mukavemeti arttırırken, süneklilikte düşmeye sebep olur [10]. Şekil 3-3 'de Al-Si alaşımlarında Si

ve Mg miktarına bağı olarak mekanik özelliklerin değişimi görülmektedir.%20 ye kadar Si içeren Al-Si alaşımları kolaylıkla deforme edilebilmektedirler [1].



Şekil 3.3 Si ve Mg bileşimine bağı olarak mekanik özelliklerin değişimi [1]

Al-Mg alaşımlarında deformasyon sertleşmesi yüksektir. Bilhassa %8 in üstünde Mg içeren alaşımları deforme etmek oldukça güçtür. Al-Mg alaşımlarına Mg_2Si varlığı mekanik özellikleri önemli ölçüde etkiler. Al-Mg alaşımlarında %0,01 oranında silisyum Mg_2Si oluşumu için yeterlidir [10].

BÖLÜM 4 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YAPISI ÖZELLİKLERİ

4.1.Giriş

Alüminyum alaşımlarında döküm yapısının önemi, bilhassa yapıya hassas olan özelliklerin birinci dereceden önemli olduğu mühendislik uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. Döküm yapısı başlangıç yapısı olup, alaşımların mekanik davranışlarını ve üretilen ürünlerin kalitelerini belirleyen en önemli unsurdur [10].

4.2.Makro Yapı

Alüminyum alaşımlarının bilhassa mekanik özelliklerine makro yapı önemli derecede etki etmektedir. En önemli makro yapısal parametre tane boyutudur [10].

Alüminyum alaşım ingotunun soğuması esnasında çeşitli kademelerde çok değişik ısı şartları oluşur. Bu sebeple, alüminyum ingotlarının yapısında bütünüyle bir birinden ayrı zonlar bulunabilir ve bu zonların geniş şekilde değişen karakterleri olabilir. Alüminyum alaşım ingotlarında tane boyutu ve şekli bakımından iyice belirli üç farklı bölge (zon) mevcuttur. Bunlar, Şekil 4.1 'de görülen çil, kolonsal ve eş eksenli tanelerdir [10].

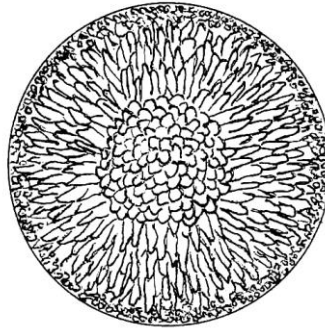
Sıvı metal kalıp içine döküldüğünde soğuk metal duvarı ile temas eden sıvı, liküdü sıcaklığının altına hızla soğur. Kalıp duvarında bir çok katı çekirdek oluşur. Bu çekirdekler sıvı içersine doğru büyümeye başlar. Çekirdeklerin büyük bir kısmı kalıp duvarından koparak uzaklaşabilirler. Geri kalan kristaller soğuma bölgesini oluşturmak için kalıp duvarının yakınında büyüyecekler ve bilet yüzeyinde geliş güzel yönlendirilmiş küçük eş eksenli tanelerden oluşan ince bir kabuk oluştururlar. Bu oluşan küçük eş eksenli tanelere çil kristalleri adı verilir. Dökümden sonra kalıp duvarındaki ısı gradyanı derhal azalacak, soğuma bölgelerindeki kristaller genellikle kalıp duvarına dik yani ısı akış yönüne uygun olan tercihlili kristalografik

yönlenmelerle dendiritik olarak büyüyerek kolonsal (sütünsal) taneleri oluşturacaklardır.

Eş eksenli tanelerin oluşum mekanizması ise, dendiritlerin kenar kollarının kalınlıkları, köklerinde genellikle azalır ve oluşumlarından sonra dendiritlerin etrafındaki sıcaklığın artması ile erimeye başlayacak ve ana gövdeden kopma ihtimalleri yüksek olacaktır. Daha sonra sıcaklık düştüğünde dendiritik kollar tamamen kaybolmadan önce yeni dendiritler için kaynak olarak rol oynayabilirler. Sıcaklık farkının sebep olduğu sıvıdaki girdaplı iletim akımları arta kalan eriyik üzerinde ergimiş kolların uzağa iletilmesi için bir kuvvet sağlar. Bu işlem kristal çoğalması olarak bilinmektedir. Sonuç olarak ingotun merkezinde eş eksenli ve üniform tanelerin meydana getirdiği bir bölge oluşur.

Ticari alaşım ingotlarında çil ve kolonsal bölgenin bulunuşu daha sonraki üretim işlemlerinde pek fazla etkili olmaz [10]. Çünkü dökümden sonra çoğunlukla talaşlı işlemlerle bu bölgeler alınır. Eş eksenli bölgenin tabiatı ve homojenitesi metal üretim proseslerinde önemlidir [10].

Alüminyum döküm ingotlarının makro yapılarına bakıldığında tane boyutu dış yüzeyden merkeze doğru gittikçe düşüş gösterir. Bunun nedeni döküm sırasında soğuma hızının dış yüzeyden merkeze doğru gittikçe düşüş göstermesidir [10].



Şekil 4.1 Alüminyum alaşımına ait makro yapının şematik görünümü [10]

Alüminyum alaşımlarının tane boyutunun mekanik özelliklere etkisi önemli olup, optimum özellikler için homojen dağılımlı ince tane yapısı tercih edilir. Alüminyum alaşımlarında tane boyutu küçüldüğünde dislokasyon hareketlerini engelleyen tane

sınırlarının miktarı artacağından dolayı akma dayanımı artacaktır. Tane boyutundaki küçülme sünekliliği ve tokluğu arttırmaktadır [8].

4.3.Mikro Yapı

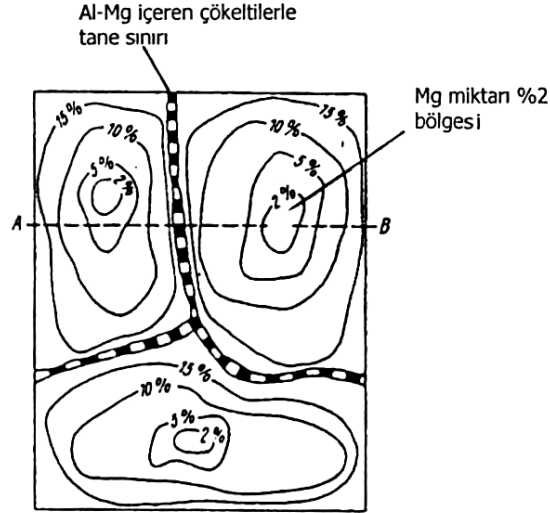
Çoğu araştırmacıya göre alüminyum döküm ürünlerinin fabrikasyon davranışları ve bunlardan imal edilen ürünlerin mekaniksel özellikleri makro yapıdan daha çok mikro yapıya bağlıdır. Tane küçültücü ilavesi ve dinamik etkenlerle makro yapı üniform hale getirilebilmektedir. Ancak tane küçültücü unsurlar mikro yapıya etki etmemektedir [10].

Dendiritik yapı bütün alüminyum alaşımlarının döküm yapılarında yer almaktadır. Alüminyum alaşımlarının katılaşması sırasında yapısal aşırı soğumanın yüksek olması nedeniyle sıvı katı ara yüzeyi düz halde kalmaz.. Ara yüzey dallanmaya meyil gösterecektir. Böylece dendiritik yapı ortaya çıkar [10].

İşlem alaşımlarında tane boyutu önemlidir, fakat daha önemli bir metalurjik karakteristik ikinci dendirit kolları arasındaki mesafedir. İkinci dendirit kolları arasındaki mesafe malzemenin en önemli mikroyapısal uzunluk ölçüsüdür. Alaşımın mekanik özellikleri ikinci dendirit kolları arası mesafeye bağlıdır. Bu mesafe azaldıkça alaşımın maksimum çekme dayanımı, sünekliliği ve uzama miktarı artar. Dendirit kolları arasındaki mesafe, katılaşma hızının artması ile azalmaktadır. Bunun yanı sıra alaşım elementi miktarında dendiritler arası mesafeye etki ettiği saptanmıştır. Sabit katılaşma hızlarında bu etki genellikle ötektik bileşime doğru, dendiritler arası mesafenin azalması şeklindedir. İnce dendiritik yapı ,ince çökelti fazlarının üniform dağılması sonucu meydana gelir ve bu yapı arzu edilir [10].

4.4.Segregasyon

Alaşımlama elamanlarının yapıdaki üniform dağılımından sapma segregasyon olarak tanımlanır [11]. Alaşım elemanlarının dağılımındaki bu düzensizlik, dendirit kol aralıklarında veya tanelerde olduğu gibi mikro mesafelerde 'de söz konusu olabilir. Bu mikrosegregasyon olarak adlandırılır [12]. Şekil 4.2'de Al-%5Mg alaşımında tane segregasyonu olan döküm yapısının şematik kesiti görülmektedir.



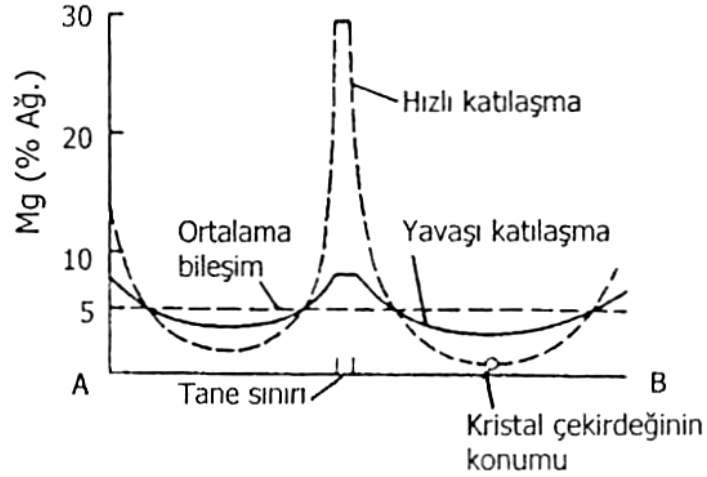
Şekil 4.2. Al-%5Mg alaşımlarında tane segregasyonu olan döküm yapısının şematik kesiti [12].

Alaşım elamanlarının konsantrasyonu genellikle dökümlerin dendiritik yapısındaki hücrelerin merkezinden kenarına doğru artar. Tane segregasyonlarında ise segregasyonlar katılaşmanın doğal sonucu olarak hücre sınırlarında toplanmışlardır. Segregasyon miktarı esasen katılaşma hızına bağlıdır. Bir alaşım ne kadar yavaş katılaşırsa segregasyon miktarı o kadar az olur [12].

4.5.Homojenizasyon

Homojenizasyon, döküm yapılarının yeniden düzenlenmesi için yapılan bir ısı işlemidir. Homojenizasyon genellikle döküm sonrası prosesin ilk kademesidir. Daha sonra gelecek olan sıcak şekillendirme, tavlama, soğuk şekillendirme gibi işlemlere kuvvetli bir etkisi vardır [10].Haddeme, ekstrüzyon, dövme gibi şekillendirme işlemlerini kolaylaştırır. Ayrıca malzemenin çalışabilirliğini yükseltir. Nihai mamüllerin özelliklerini etkilerler [10].

Homojenizasyonun ana amacı, dendirit kolları arasındaki konsantrasyon farklılıklarının dengelenmesidir [13].Dolayısıyla da homojenizasyonla alaşım ve empürite elementlerinin dağılımının dengelenmesi, segregasyon ve mikro segregasyonun azaltılması sağlanır. Şekil 4.3'de Al-%5Mg alaşımında katılaşma hızının ve homojenizasyonun tane segregasyonuna etkisi görülmektedir.



Şekil 4.3. Al-%5Mg alaşımında katılaşma hızının ve homojenizasyonun tane sınırı segregasyonuna etkisi [12]

Alüminyumdaki Mg, Cu, Zn, Si, Ni gibi çabuk yayılan elementlerin homojenizasyon ile dengelenmesi kolaydır. Fe, Mn ve Cr gibi yavaş yayılan elementlerin homojenizasyon ile dengelenmesi oldukça zordur [14]. Homojenizasyon işlemleri ile ilgili homojenite derecesi, dendirit kol aralığına bağlıdır. Dendirit hücre boyutu ve ya ikinci dendirit kolları arasındaki mesafe kısa olduğunda alaşım elementlerinin göç etmeleri kolay olacağından homojenizasyon kolaylaşır ve gerekli süre azalır [14].

Yapısal dengeleşmeyle mikrosegregasyonun azaltılmasına ilaveten homojenizasyon esnasında yayınma ile ilişkili bazı olaylar meydana gelebilir. Bu olaylar şunlardır.,

- a-) Tane kabalaşması,
- b-) Aşırı doymuş alaşım elementlerinin çökmesi,
- c-) Kararsız fazların çökmesi veya kararlı faza dönüşmesi,
- d-) Metaller arası kararlı yüksek sıcaklık fazlarının kabalaşması,
- e-) Yüzey oksitlenmesi,
- f-) Hidrojen gazı giderme,
- g-) Gözenek çoğalması ve yığılması,
- h-) Bölgesel erime (aşırı ısınma).

Homojenleştirilme ile katılaşma sırasında olşan kararsız fazların çözünmesi ve deformasyon kabiliyetini olumlu yönde etkileyen kararlı çökeltilerin oluşturulması sağlanır. Ayrıca karmaşık alaşım sistemlerinde kararsız bileşiklerin yanında malzemenin sünekliliğini azaltan ve çözünmeyen kararlı fazlar (iğnesel formda ve kırılğan) bulunur.Homojenizasyon ile bu fazların en boy oranları düzenlenir [10].

BÖLÜM 5. AŞINMA VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA ÖZELLİKLERİ

5.1 Giriş

Aşınma, makine ve techizatın kullanılmasında çok büyük ekonemik kayıplara (enerji, iş gücü, malzeme v.s) sebep olmaktadır. Bu nedenle makine ve techizat dizaynında aşınmanın çok iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir [15].

Aşınmayı meydana getiren temel unsur, çalışma koşullarında malzemelerin birbirleriyle teması sonucunda oluşan sürtünmedir. Sürtünme birbirleri üzerinde kayan katı cisimlerin hareketlerine karşı gösterilen teğetsel direnç olarak tanımlanmaktadır [15].

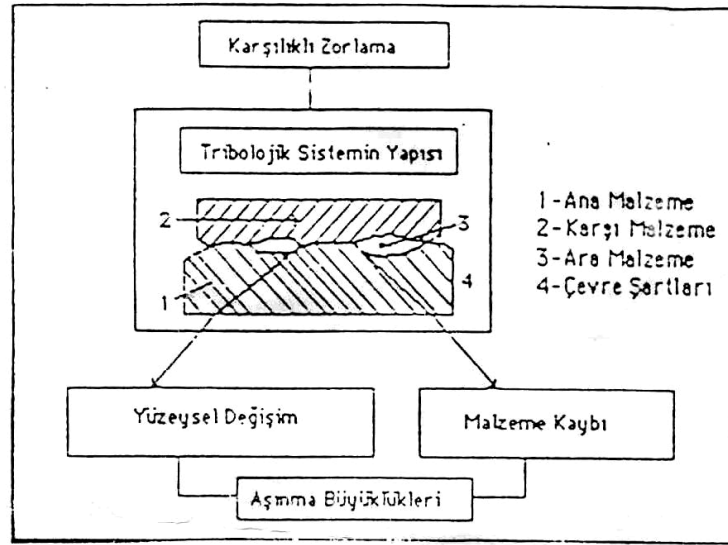
Sürtünmeyi meydana getiren ve arttıran mekanizmalardan birincisi ana ve karşıt malzemenin yüzeyinde bulunan girinti çıkıntı ve pürüzlerdir. Hassas olarak işlenmiş bir malzemenin yüzeyi mikroskopla incelenecek olursa yüzeyde çok sayıda girinti, çıkıntı ve pürüzlerin olduğu görülür. Kayma sırasında iki yüzeyin temas noktasına yük uygulandığında bu pürüzler arasında oluşacak mikro kaynak bağlantıları sürtünmeyi meydana getirebilir. Ayrıcada uygulanan küçük yüklerde pürüzler temas ettikleri noktalarda elastik deformasyona uğrarken, büyük yüklerde ise pürüzlerin uçlarında büyük oranda plastik deformasyon görülür. Yüzey pürüzlülüklerinde meydana gelen plastik deformasyon kayma esnasında sürtünmeyi arttırıcı yönde etki yapar. Sürtünmeye etki eden diğer bir mekanizma ise çizik oluşum mekanizmasıdır. Sert parteküllerin yumuşak malzeme yüzeyine batması ve yumuşak malzeme yüzeyinde plastik akışla oyuk oluşturmasıyla harekete karşı sürtünme direnci artar.

Genel olarak aşınma temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanır. Alman DIN 50320 normuna göre aşınma "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey hasarı olarak tanımlanmaktadır [16].Aşınma bu tanımlardan

anlaşılabacağı gibi temelde bir yüzey hasarı ve bir yüzey olayıdır. Yüzeyi etkileyen her durum aşınma davranışını etkiler [16].

Bir aşınma sisteminde;

- 1- Ana malzeme
- 2- Karşı malzeme
- 3- Ara malzeme
- 4- Yük ve hareket aşınmayı meydana getiren temel unsurlar sayılabilir. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte tribolojik sistem olarak isimlendirilmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Tribolojik sistemin şematik gösterimi [16]

5.2. AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Aşınmaya etki eden faktörler 4 grupta toplanabilir. Bunlar sırasıyla,

- Ana malzemeye bağı faktörler
- Karşıt malzemeye bağı faktörler
- Çalışma koşullarına bağı faktörler
- Ortam koşullarına bağı faktörler

5.2.1. Ana Malzemeye Bağı Faktörler

Alüminyum alaşımlarında alaşım elementinin miktarının artışına bağı olarak sertlik artışı meydana geldiği durumlarda adhesive aşınma direncinin bir miktar artması beklenebilir. Ancak bu durum her koşul için geçerli değildir. Zira sertliğin adhesive aşınmaya etkisi azdır. Abrasive aşınmada ise sertlik artışının abrasive aşınma direncini artırma etkisi oldukça fazladır [9].

Uğuz ve Bayram %5-11 Si içeren Al-Si döküm alaşımlarına SiC aşındırıcı kağıt üzerinde 50 devir/dakika disk dönüm hızında $0,1\text{N/mm}^2$ basınç kuvvetiyle abrasive aşınma deneyi uygulamışlardır. Deney sonucunda %5 den %11 e silisyum miktarındaki artışa bağı olarak mikro sertlikte 87HV den 109 HV 'e sertlik artışı elde edilmiş buna paralel olarakta rölatif aşınma direncinde %300 e varan bir artış sağlanmıştır [9].

Alüminyum alaşımına eklenen elementler, katı eriyik sertleşmesi ve çökeltme sertleşmesi mekanizmasının etkisiyle alaşımların aşınma özelliğini değiştirebilir. Seryum içeren Al-Si alaşımlarının Al_2Ce , Al_4Ce , SiCe ve SiCe bileşiklerinin çökeltmesinin aşınmaya etkisi Sharan tarafından incelenmiştir [20].

Yapılan çalışmalar sonucu Al-Si alaşımları içine Zr, Mg, Ce, Pb ve Zn gibi alaşım elementleri ilave edildiğinde aşınma direncinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeni, Mg, Zr, Zn, Ce ve Pb gibi alaşım elementlerinin çökelmeye sebep olmasıdır [21]. Ayrıca Al-Si alaşımlarında ısıt işlem ve modifikasyon işlemleri aşınma direncini arttırmaktadır. Modifikasyon işlemi ile tanelerde meydana gelen küreselleşme aşınmadan dolayı oluşacak çatlak oluşum riskini azaltmaktadır [9].

Hutchings ve Rabinowicz ve arkadaşlar aşınma ile ilgili yaptıkları çalışmalar sonucu metal-abrasive aşınmasında malzemenin sertliğinin en etkili parametre olduğunu vurgulamışlardır [18].

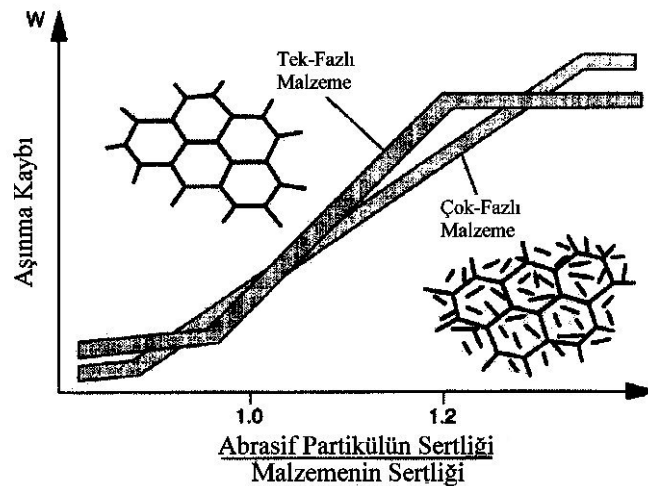
5.2.2. Karşıt Malzemeye Bağlı Faktörler

(a) Abrasive Sertliği nin Etkisi:

Zum Gahr, homojen malzemeler için düşük aşınma seviyelerinden yüksek aşınma seviyelerine artışın, abrasif partikülün sertliğinin aşınan malzemenin sertliğine eşit olduğu her durumda oluşabileceğini belirtmiştir [19]. Şekil 5.2’de abrasive sertliğinin aşınan malzemenin sertliğine oranının aşınma kaybına etkisi görülmektedir.

(b) Abrasive Boyutunu Etkisi:

Yapılan çalışmalarda aşındırıcı partekül boyutlarının aşınmada oluşan hasar miktarı hasarın karakteristiği üzerinde önemli etkisinin olduğu belirtilmiştir. Çok küçük parteküller aşınmayı hızlandırıcı yönde etkide bulunmaz iken yüksek boyutlu tanelerde ise tane büyümesine bağlı olarak tanelerin aşındırma etkisi artar.



Şekil 5.2. Abrasive sertliğinin aşınan malzemenin sertliğine oranının aşınma kaybına etkisi.[19]

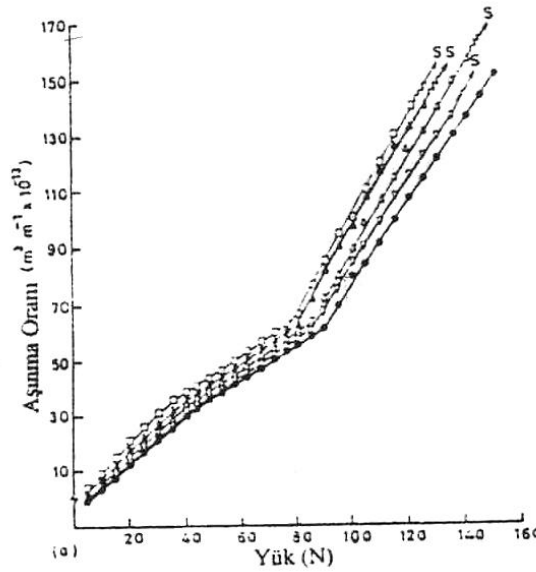
5.2.3. Çalışma Koşullarına Bağlı Faktörler

Çalışma koşullarına bağlı faktörler, normal yükün etkisi, kayma mesafesinin etkisi ve kayma hızının etkisi olmak üzere 3 grupta toplanabilir.

(a) Normal Yükün Etkisi

Torabian ve arkadaşları çeşitli bileşimlerde kurşun içeren Al-Si alaşımlarının aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı alaşım bileşimleri için aşınma oranı artan yükün fonksiyonu olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Şekil5.3’de aşınma oranının uygulanan yüke bağlı olduğu ve yükün artması ile aşınma oranında arttığı görülmektedir [4].

Aşınma sırasında yük artışına bağlı olarak aşınma yüzeylerindeki pürüzlerde meydana gelen plastik deformasyon miktarı artar. Bu da sürtünmeyi artırıcı yönde etki yapar. Ayrıca yük artışına bağlı olarak aşınma sırasında meydana gelen ısı artışı miktarı, alaşımın yumuşamasına ve dolayısıyla aşınma miktarının artmasına sebep olur.

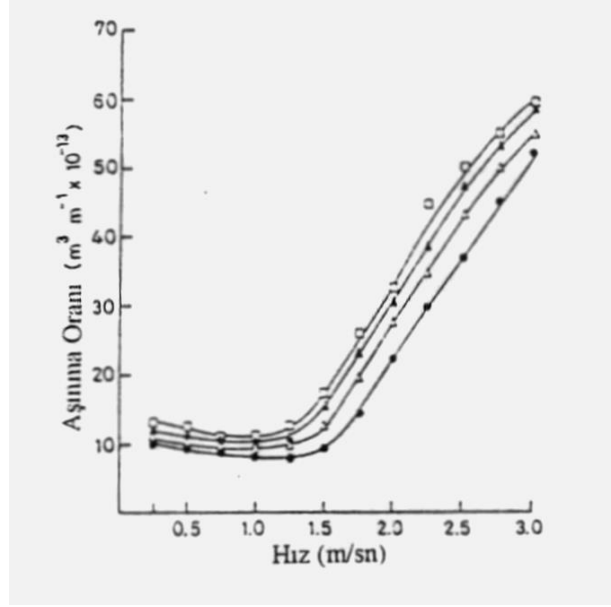


Şekil 5.3 3600 m kayma mesafesi ve 1m/sn kayma hızında çalışan Al-Si-Pb alaşımlarının yük aşınma oranı ilişkisi [4].

(b) Kayma Hızının Etkisi

H.Torabian ve arkadaşları Al-Si alaşımlarında kayma hızının aşınmaya olan etkisini incelemişlerdir. Şekil 5.4’de 20N yük altında çalışan, çelik disk üzerinde kayan Al-Si

ve Al-Si-Pb alaşımlarının kayma hızına bağlı olarak aşınma davranışları görülmektedir. Başlangıçta kayma hızının artmasıyla aşınma oranı bir miktar azalır. Hız belirli bir kritik değere ulaştıktan sonra kayma hızının artması ile aşınma oranı hızla artmaya başlar. Benzer sonuçlar diğer alaşımlar ve özellikle kurşunlu alaşımlar içinde gözlenmiştir. Kritik hız, farklı alaşımlar için farklıdır ve alaşımın kurşun miktarının artmasıyla artmıştır [4].



şekil5.4 3600 metre kayma mesafesi ve 20N yük altında  alışan Al-Si-Pb alaşımlarının aşınma oranına kayma hızının etkisi [4]

H.Torabian ve arkadaşları yaptıkları çalışma sonucunda aşınmayı uygulanan yüke ve kayma hızına bağlı olarak 3 farklı bölgeye ayırmışlardır. Bunlar zayıf aşınma, orta aşınma ve kuvvetli aşınmadır [4].

Zayıf aşınma alaşımlarda düşük yükler ve kayma hızlarında görülür. Zayıf aşınmada aşınmayı meydana getiren temel mekanizma kayma ile meydana gelen sürtünme ısınması ve çalışma ortamında temas yüzeylerinde oluşan oksidasyondur. Yüzeyde oluşan oksit tabakası aşınma sırasında parçalanır ve kopar. Kaymanın ilerlemesi ile bereber oksit partek lleri test numunesinden uzaklaşır ve temas yüzeylerinde oluşan boşlukları doldurabilir. Sonunda yüzey düz hale gelir [4].

Orta aşınma orta seviyedeki y k ve kayma hızlarında meydana gelir. Yük veya kayma hızının artmasıyla meydana gelen ince taneli aşınma partek lleri yüze

.batarak belirli bölgelerin çizilmesine neden olur. Orta aşınmada aşınmayı meydana getiren temel mekanizmalar yüzeylerde oluşan oksidasyon ve silisyum kırılmasıdır [4].

Şiddetli aşınma yüksek yük ve kayma hızlarında oluşan büyük metalik parteküllerin deformasyonu ile karakterize edilir. Burada yüzey deformasyonu oldukça yüksek değerdedir. Pürüzler şiddetle deforme olurlar ve kırılarak yüzeyden uzaklaşırlar. Şiddetli aşınmada ortaya çıkan gerilme, test parçasının yüzeyinin akma gerilmesini geçer ve bundan sonra yüzey hasarı meydana gelir [4].

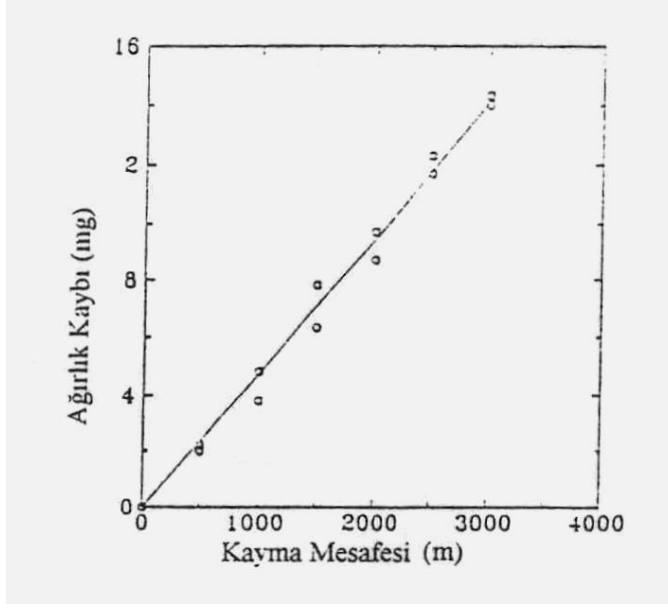
(c) Kayma Mesafesinin Etkisi

Zang ve Alpas 600 °C de 4 saat bekletilip su verilmiş, T6 şartlarında (155 °C de 6 saat) yaşlandırılmış A356 Al-Si alaşımlarının kayma mesafesi-ağırlık kaybı ilişkisi ni incelemişlerdir. Şekil 5.5’de kayma mesafesi ile ağırlık değişimi görülmektedir. Buradan görüldüğü gibi kayma mesafesinin artması ile ağırlık kaybıda lineer olarak artmıştır [22].

Harun ve arkadaşları ötektik Al-Si alaşımlarının aşınma miktarının kayma mesafesiyle değişimini incelemişlerdir[] Benzer bir çalışma Y.Iwai ve arkadaşları tarafından 2000 ve 7000serisi Al alaşımlarına uygulanmıştır. Her iki çalışmada da kayma mesafesiyle ağırlık kaybının arttığı gözlenmiştir [22].

5.2.4.Ortam Koşullarına Bağlı Faktörler

Aşınmayı etkileyen aşınma ortamına bağlı en önemli faktör aşınma ortamının nem miktarıdır. Bir metal-metal aşınma sisteminde aşınma direnci genel olarak nem miktarındaki artışa bağlı olarak artmaktadır.



Şekil5.5 . 600 °C de 4 saat bekletilip su verilmiş ,T6 şartlarında (155 °C de 6 saat) yaşlandırılmış A356 Al-Si alaşımlarının kayma mesafesi -ağırlık kaybı ilişkisi [20]

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler Ve Uygulanan İşlemler

Bu çalışmada homojenleştirilmiş ve bunu takiben sıcak basma uygulanmış %99,78 safiyetteki Saf Alüminyum,%1-8 oranları arasında Mağnezyum veya Silisyum içeren Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada deney numunesi olarak saf Alüminyum ile silisyum ve mağnezyum oranları Tablo 6.1’de verilen Al-Si ve Al-Mg alaşımları kullanılmıştır. Deney numuneleri metalik kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Numunelere döküm yapısında bulunabilecek bileşim homojensizliklerinin azaltılması ve daha sonra uygulanak olan sıcak basma işlemine kolaylık sağlamak amacıyla 400 °C de 24 saat homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Homojenleştirme sonrası döküm yapısından kaynaklanabilecek hataların azaltılması amacıyla numuneler 400 °C de. % 40 oranında basma işlemine tabi tutulmuştur. Homojenize edilmiş ve sıcak deforme edilmiş Saf Alüminyum, Al-Mg ve Al-Si alaşımlarına mikro sertlik, çekme, metal-metal (adhesive) aşınma ve metal-aşındırıcı (abrasive) aşınma mekanik deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 6.1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri.

Numune	Si	Mg	Al
Saf Al	0,092	-	99,78
Al-%1Si	1,54	0,0065	98,45
Al-%2Si	1,97	0,011	98,01
Al-%4Si	3,91	0,011	96,07
Al-%8Si	7,60	0,0125	92,38
Al-%1Mg	-	1,04	98,96
Al-%2Mg	0,013	1,97	98,01
Al-%4Mg	0,042	3,98	95,97
Al-%8Mg	0,01	7,60	92,39

6.2. Metalografik Çalışmalar

Metalografik inceleme her malzeme grubu için döküm, homojenize edilmiş ve sıcak basma uygulanmış numunelerin makro ve mikro yapılarının incelenmesi ve bunlardan gerekli görünenlerin fotoğrafının çekilmesi şeklinde yapılmıştır.

Makro yapı incelenmesi yapılacak numuneler 400-600 meş lik SiC zımpara kademelerinden geçirilerek zımparalanmış ve alümina ile kaba olarak parlatılmıştır. Daha sonra numunelere (%50 HCl-%45 HNO₃-%5 H₂O) bileşimindeki solüsyonla makro dağlama işlemi uygulanmıştır [9]. Makro yapı incelemelerinde Stero optikmikroskobu kullanılmıştır.

Mikro yapı incelenmesi yapılacak numuneler sırasıyla 400,600,800,1000 ve 1200 meş'lik SiC zımpara kademelerinden geçirilerek zımparalanmış ve alümina ile parlatılmıştır. Alkol ile temizlenen numune yüzeyleri (%1HF+%99 H₂O) bileşimindeki solüsyonla dağlanmış ve su ile yıkanıp ılık hava ile kurutulduktan sonra mikro yapı incelemelerine hazır hale getirilmiştir [9]. Mikro yapı incelemelerinde ZEİZZ marka optik mikroskop kullanılmıştır.

6.3. Mekanik Deneyler

6.3.1. Mikro Sertlik Deneyi

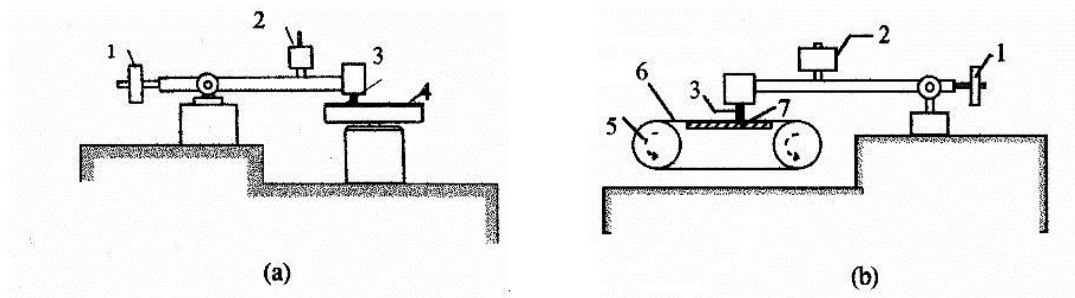
Saf Alüminyum, Al-Mg ve Al-Si alaşımlarının orijinal döküm ,homojenleştirilmiş ve homojenleştirilmiş-sıcak basılmış yapılarının ayrı ayrı mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde Tukon Tester marka mikro sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. 200gr lık yük kullanılmış ve mikro sertlik değerleri HV cinsinden bulunmuştur.

6.3.2. Çekme Deneyi

Çekme deneyleri ASTM E8 standartındaki küçük boyutlu dairesel kesitli numunelerle yapılmıştır. Çekme deneyi İnstron Universal deney cihazında 0,5mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle alaşım gruplarının mukavemetle ilgili olan çekme mukavemeti, akma mukavemeti, süneklilikle ilgili olan %uzama ve % kesit daralması değerleri belirlenmiş, toklukla ilgili kaba bir yaklaşım getirilmiştir.

6.4. Metal-Metal Aşınma Deneyi

Saf Alüminyum, Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının alaşım bileşimine bağlı olarak metal - metal aşınma davranışının belirlenmesi amacıyla adhesive aşınma deneyleri yapılmıştır (Şekil 6.1.b). Metal-Metal aşınma deneyleri disk üzerinde pim yöntemine göre çalışan deney düzeneğiyle gerçekleştirilmiştir. Aşınan numune olarak 7mm çapında yuvarlak uçlu silindirik küçük numuneler kullanılmıştır..Aşındırıcı disk 63 HRC sertliğinde olan takım çeliğinden imal edilmiştir. Bu çalışmada diskin kayma hızı 0,48 m/s olarak sabit tutulmuştur.Deneyler oda sıcaklığında ve %36-40 ortam neminde yapılmıştır. Numunelerin diskin üzerinde kayma mesafesi 12000 m'dir. Aşınma deneylerinde 28N luk yük kullanılmıştır.Bu deneylerde ölçüm yöntemi olarak ağırlık kaybı esas alınmıştır. Her 2000 m kayma mesafesi sonunda ağırlık kaybı ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda deney gruplarının aşınma hızları alaşım bileşimine bağlı olarak bulunmuştur. Metal-Metal aşınma yüzeyleri Stereo mikroskopunda incelenmiş ve gerekli görülen görüntülerin fotoğrafları 10X ve 60X'lik büyütmelede çekilmiştir.



Şekil 6.1. (a) Metal –Metal ve (b) Metal-Abrasif aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü. (1) dengeleyici yük, (2) uygulanan yük, (3) numune, (4) metal disk, (5) iletici silindir, (6) abrasiv bant ve (7) çelik destek plakası.

6.5. Metal-Abrasif Aşınma Deneyi

Saf Alüminyum, Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının gerek alaşım bileşiminin gerekse de sıcaklığın abrasive aşınma davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla metal-aşındırıcı (abrasive) aşınma deneyleri yapılmıştır (Şekil 6.1.b). Deneyler sonsuz zımpara bandı üzerinde pimin sürtünmesi yöntemine göre çalışan deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 7 mm çapıda dairesel kesitli küçük numuneler kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığı,100-200-300-400 °C'lerde ve %36-40 ortam neminde gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 180 meş lik (85 µm) Al₂O₃

zımpara kullanılmıştır. Aşınan numune olarak 7 mm çapında küçük silindirik numuneler kullanılmıştır. Zımpara bandının kayma hızı 0,27 m/s'dir. Tüm deneylerde numunelerin aşındırıcı band üzerindeki kayma mesafesi 5,5 metredir. Aşınma deneyleri 28N luk yük altında yapılmıştır. Bu deneylerde ölçme yöntemi olarak ağırlık kaybı yöntemi kullanılmıştır. Deney sonucunda deney numunelerinin ağırlık kaybı miktarı alaşım bileşimi ve sıcaklığa bağlı olarak bulunmuştur.

7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Makro ve Mikroyapı Karakterizasyonu

Bu çalışmada kullanılan ve kimyasal bileşimleri Tablo 6.1’de verilen Saf Alüminyum, Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının döküm ve sıcak basma sonrası makro yapılarının 10x büyütmedeki görünüşleri Şekil A.1-A.3’de verilmiştir. Şekil A.4–A.12 ’de saf Al, Al-%1-8Mg ve Al-%1-8Si alaşımlarına ait döküm, homojeneleştirme ve homojenleştirme+sıcak basma mikroyapıları gösterilmiştir.

7.2.Mekanik Deneyler

7.2.1.Mikro Sertlik Deneyi

Bu deneyde Saf Alüminyum,%1-8 Mg içeren Al-Mg ve %1-8 oranlarında Si içeren Al-Si numunelerinin orijinal döküm, homojenleştirilmiş, homojenleştirme + sıcak basılmış yapılarına 200gr yük altında mikro sertlik deneyi uygulanmıştır. Bulunan HV cinsinden mikro sertlik değerleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

7.2.2.Çekme Deneyi

Saf Alüminyum döküm ve homojenleştirilip sıcak basılmış Saf Alüminyum ,Al-Mg ve Al-Si alaşım numuneleri çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyler sonucunda elde edilen çekme mukavemeti, akma mukavemeti,% uzama ,% kesit daralması ve tokluk değerleri Tablo 7.2’de verilmiştir. Tokluk, çekme mukavemet ile kopma uzamasının çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

7.3.AŞINMA DENEYLERİ

7.3.1.Metal-Metal Aşınma Deneyleri

Saf Alüminyum döküm hali ve homojenleştirilip sıcak basılmış Al-Mg ve Al-Si numunelerine oda sıcaklığında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar

ağırlık kayıpları kayma mesafesine bağlı olarak Tablo 7.3’de verilmiştir. Şekil A.6’da ise metal-metal aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir.

Tablo 7.1. Mikro Sertlik Deney Sonuçları.

	Mikro Sertlik (200gr yük)		
Alaşım	Döküm	Homojenleştirilmiş	Sıcak deforme edilmiş
Saf Al	32,2±0,5	33,5±1,5	41,4±2,6
Al-%1Si	36,8±0,3	42,4±1,6	50,1±2,6
Al-%2Si	49,8±2,7	51,1±0,3	61,7±4,4
Al-%4Si	53,6±3,1	52,8±2,3	65,9±0,8
Al-%8Si	61,7±2,6	62,4±0,7	75,2±0,7
Al-%1Mg	52,1±3,6	52,1±3,6	65,3±2,9
Al-%2Mg	62,2±1,6	65,9±1,9	81,4±3,2
Al-%4Mg	68,1±3,1	73,8±1,1	92,1±3,9
Al-%8Mg	91,8±4	92,1±1,9	116,4±1,2

7.3.2. Metal-Abrasiv Aşınma Deneyleri

Metal-abrasiv aşınma deneyleri 180 mesh’lik Al_2O_3 zımpara üzerinde oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda (100-200-300-400 °C) yapılmış olup deneylerde elde edilen ağırlık kayıpları değerleri Tablo 7.4’de verilmiştir. Şekil A.7 ve A.8’de oda sıcaklığı ve 400 °C ’de oluşan aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir.

Tablo7.2 Çekme Deneyi Sonuçları.

Özellik	Saf orj	Saf bas	%1Si	%2Si	%4Si	%8Si	%1Mg	%2Mg	%4Mg	%8Mg
Çekme muk. (kg/mm ²)	6±0,4	9,9±0,8	9,8±0,4	11,2±0,7	11,8±0,2	13,6±0,2	14,7±0,4	18,5±0,4	26,3±0,3	28,3±0,9
Akma muk. (kg/mm ²)	3,3±0,3	7,27±0,2	8,2±0,3	8,9±0,3	9,3±0,2	9,9±0,4	11,2±0,4	14,3±0,5	20±0,5	24,4±0,7
% Kopma uzaması değeri	48±0,8	41±0,5	25±1,7	22,3±2,2	21±2,2	15,8±0,7	14,7±0,5	13,6±1,8	11,5±1,2	8,4±2
% Kesit daralması değeri	80±3,4	78,3±1,2	72,2±4,6	55,6±5	49,8±0,9	31,9±4,4	47,5±5,7	37,6±4,3	14,1±1,2	12±2,2
Tokluk değeri (x10 ⁻³) (j/mm ³)	28,25	39,8	24,03	24,5	24,3,	21,1	21,2	24,7	29,67	23,3

Tablo7.3 Metal-metal aşınma deneyinde kayma mesafesine bağlı olarak ağırlık kaybı sonuçları

Numune	Ağırlık kaybı (mg)					
	2000 m	4000 m	6000 m	8000 m	10000 m	12000 m
Saf orj	11	23,2	33,2	44,2	51,2	60,6
Saf bas	9,2	17,5	25,8	34,4	42,6	52,3
Al-%1Si	7,7	16,4	25,5	34,4	42,7	52,8
Al-%2Si	7,7	16,5	24,6	33,5	42,8	52,2
Al-%4Si	9,3	18,7	27,7	36,9	46,8	56,1
Al-%8Si	9,6	19,4	29,6	39,7	49,7	59,7
Al-%1Mg	7,1	14,4	22	29,8	37,4	45,6
Al-%2Mg	7,5	14,5	22	29,5	38	45,5
Al-%4Mg	7,1	15	22,9	30,1	38,8	46,5
Al-%8Mg	5,8	12,7	21	28,6	35,8	42,9

Tablo7.4 Sıcaklığa bağlı olarak metal-abrasive aşınma deneyi ağırlık kaybı değerleri.

Malzeme	Ağırlık Kaybı (mg)				
	25 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
Saf orj	116,8	109,1	110	100	111,5
Saf bas	111,3	107,5	104	96,1	100,2
Al-%1Si	106,1	98,8	109,2	93,2	100,8
Al-%2Si	101,9	90,9	100,6	84	100,7
Al-%4Si	87,8	93,2	94,5	82,44	100,4
Al-%8Si	87,4	91,6	88,1	80,3	100,2
Al-%1Mg	81	68,2	78,6	74,8	84,5
Al-%2Mg	72,6	65,2	73,2	71,5	74,7
Al-%4Mg	52,6	56,4	63,4	63,6	60,1
Al-%8Mg	42,7	49	51	50,6	49

8.DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ

8.1. Makro ve Mikroyapı İncelemeleri

Şekil A.1-A.3’de gösterilen orijinal döküm makro yapısıyla % 40 oranında sıcak deforme edilmiş makro yapılar incelendiğinde, sıcak deformasyon sonucu tane boyutunda belirgin miktarda küçülme olduğu görülmektedir. Bu durum makro dağlanmış numunelerde çıplak gözle dahi kolaylıkla belirlenebilmektedir. Mg içeren alaşımlarda bileşiminde bulunan Mg miktarının artmasıyla gerek döküm halinde gereksede sıcak deforme edilmiş durumda tane boyutunda belirgin bir azalma görülmüştür. Si içeren alaşımlarda ise, Si miktarının artmasıyla tane boyutunda bir miktar artış olmuştur.

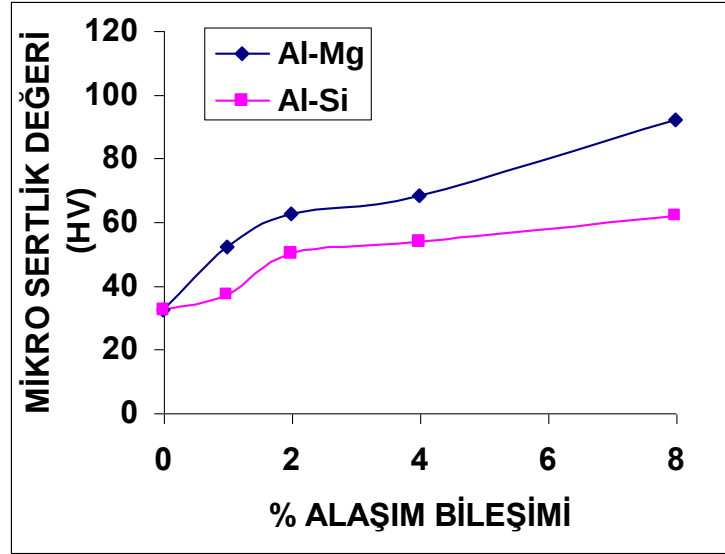
Şekil A.4-A.12’de verilen saf Al, %1-8 Mg içeren Al-Mg ve %1-8 Si içeren Al-Si alaşımlarının mikro yapıları incelendiğinde, sıcak deformasyonla döküm yapısının tamamen bozulduğu, homojen mikro yapının oluştuğu ve yapıda bulunan ikinci fazların incelendiği görülmüştür. Bu durum Al-Mg alaşımlarında Al-Si alaşımlarına göre daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Gerek döküm halinde ve gerekse sıcak deforme edilmiş durumda Si serisi alaşımlarda dendiritik yapı mevcuttur.

8.2. Mekanik Deneyler

8.2.1. Mikro Sertlik Deney Sonuçları

Tablo 7.1’de verilen değerler kullanılarak, alaşım bileşimine bağlı olarak Al-Mg ve Al-Si alaşımlarının mikro sertlik değişimlerini gösteren grafik Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de verilmiştir. Şekil 8.1’de görüldüğü gibi Saf Alüminyuma ilave edilen Si ve Mg’un bileşim artışına bağlı olarak alaşımın sertliği artmaktadır. Sertlik artışının temel nedenleri katı eriyik sertleşmesi ve oluşan sert çökelti fazı ve bileşikleridir [8]. Alüminyuma ilave edilen Mg ’un sertlik arttırma yeteneği Si’a göre yüksektir. %8

oranında Mg'un meydana getirdiği sertlik artışı, aynı oranda Si meydana getirdiği sertlik artışının yaklaşık olarak iki katıdır.

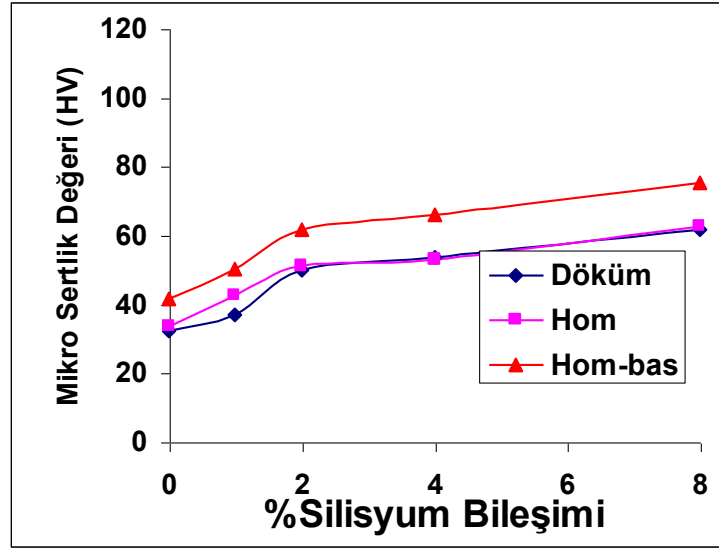


Şekil 8.1 Al-Si ve Al-Mg döküm yapılarının alaşım bileşimine bağlı olarak mikro sertlik değişimi.

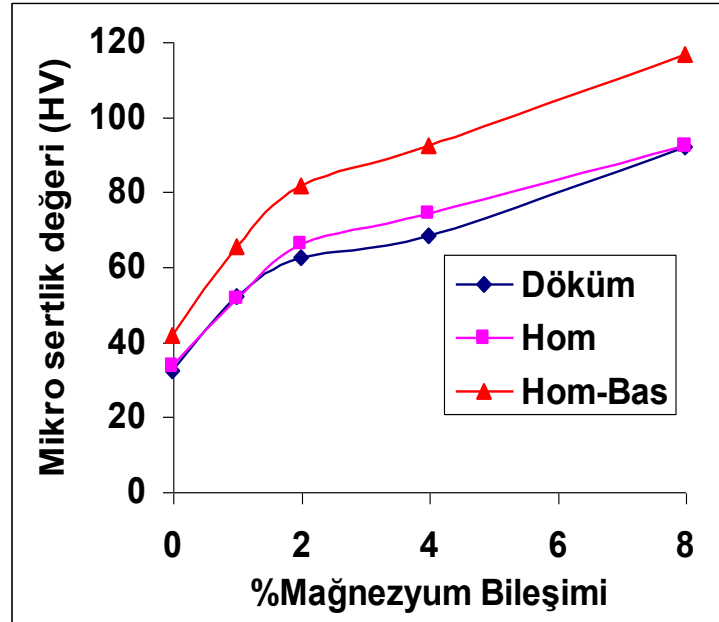
Şekil 8.2’de ise Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının döküm, homojenleştirilmiş ve homojenleştirmeyi takiben sıcak deforme edilmiş yapıların alaşım bileşimlerine bağlı olarak mikro sertlikdeğişimleri gösterilmiştir. Döküm ve homojenleştirilmiş yapılar arasında belirgin bir sertlik farkı görülmemiştir. Sıcak deformasyon sonucu belirgin bir sertlik artışı olmuştur. Sıcak deformasyon sonrası sertlik artışının temel nedeni deformasyon sonucu meydana gelen tane boyutundaki küçülmedir. Sıcak deformasyon sonrası döküm yapılarına göre sertlik artışı saf Al ’da %28, %8Si içeren Al-Si alaşımında %21, %8 Mg içeren Al-Mg alaşımında ise %26 mertebesinde.

8.2.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 8.3. Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında alaşım bileşimine bağlı olarak mukavemet değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekil 8.3’de görüldüğü gibi Si ve Mg bileşim artışlarına bağlı olarak mukavemet değerleri artmaktadır. Mg serisi alaşımlar Si serisi alaşımlara göre çok daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Saf Alüminyuma ilave edilen Si ve Mg’un meydana getirdikleri katı eriyik yapıları ve Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında çökelen faz veya bileşikler mukavemet artışına sebep olmaktadır. Mg serisi alaşımlar Si serisi alaşımlara göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler.



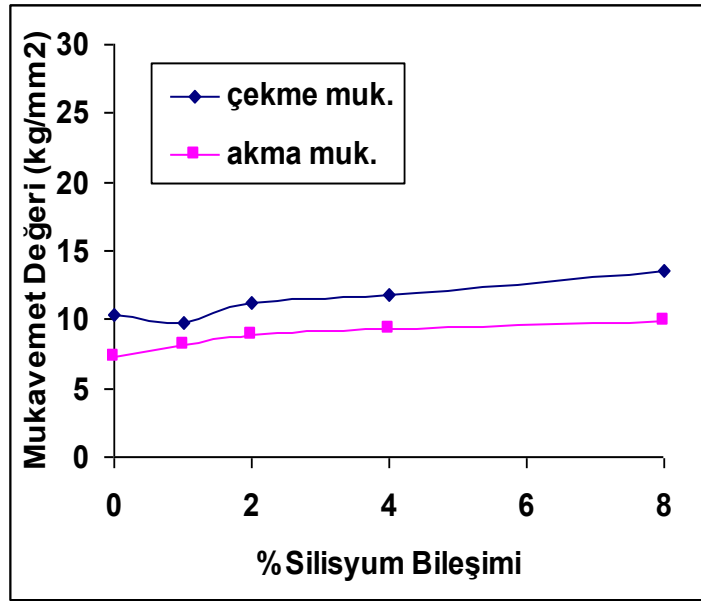
(a)



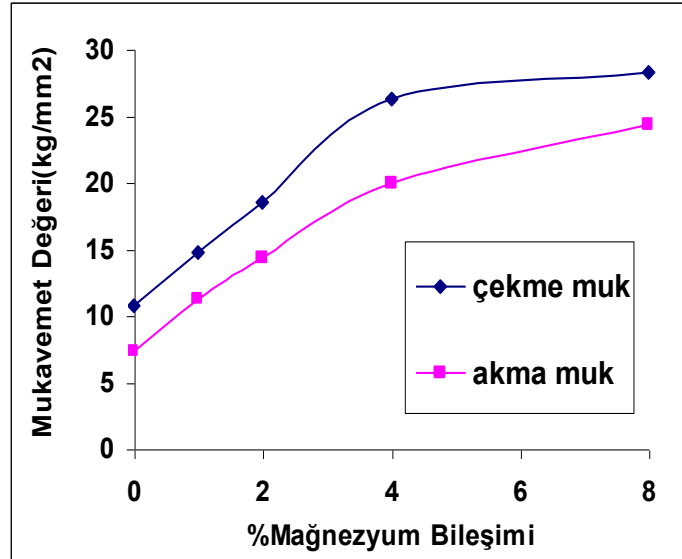
(b)

Şekil 8.2 (a) % Si ve (b) %Mg bileşimine bağlı olarak Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının mikro sertlik değişimleri.

Şekil 8.4 saf alüminyumun döküm yapısıyla, deforme edilmiş yapısının çekme ve akma mukavemetleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Saf Al un döküm yapısı ile sıcak deforme yapılarının mukavemet değerleri karşılaştırıldığında sıcak deformasyon sonucu saf Al da' % 65'lik bir çekme ve %120'luk akma mukavemeti artışı sağlanmıştır Sıcak deformasyon sonucu oluşan mukavemet artışları, tane boyutundaki küçülmeden ileri gelmektedir [8].

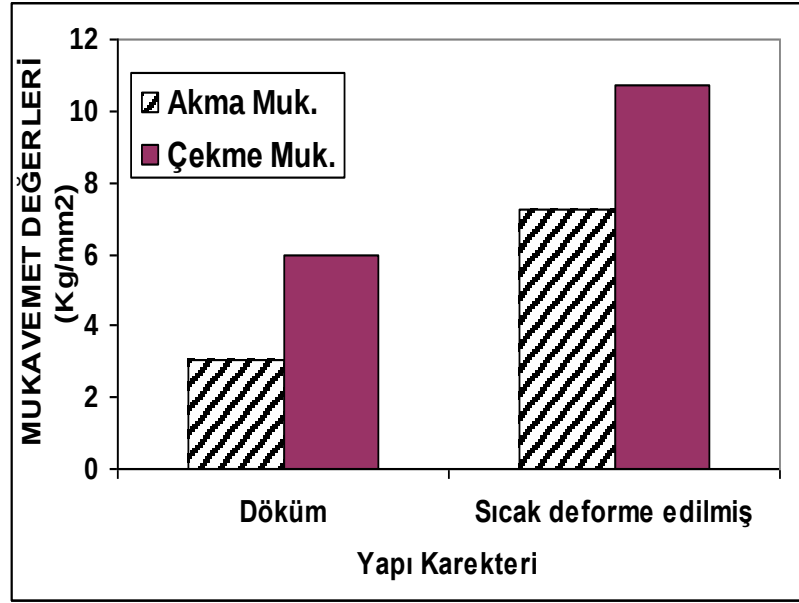


(a)



(b)

Şekil 8.3. (a) Si ve (b) Mg bileşimine bağlı olarak Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının mukavemet değerlerinin değişimi.



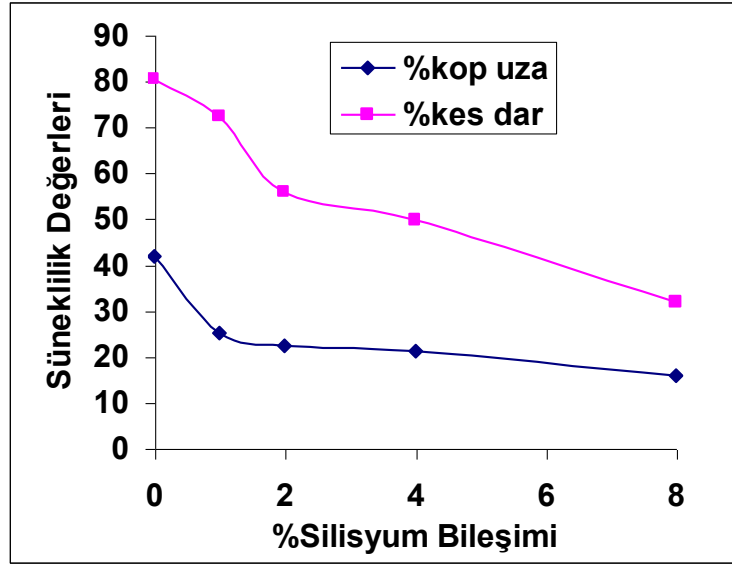
Şekil 8.4. Saf Al'un döküm yapısıyla homojenleştirilip sıcak deforme edilmiş yapılarının çekme ve akma mukavemetlerinin karşılaştırılması.

Şekil 8.5'de Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının sırasıyla Si ve Mg bileşimine bağlı olarak süneklik değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekil 8.5'de görüldüğü gibi Si ve Mg bileşimindeki artışla süneklik değerleri azalmaktadır Mg serisi alaşımlarda Si serisi alaşımlara nazaran bir miktar daha düşük süneklik değerleri elde edilmiştir.

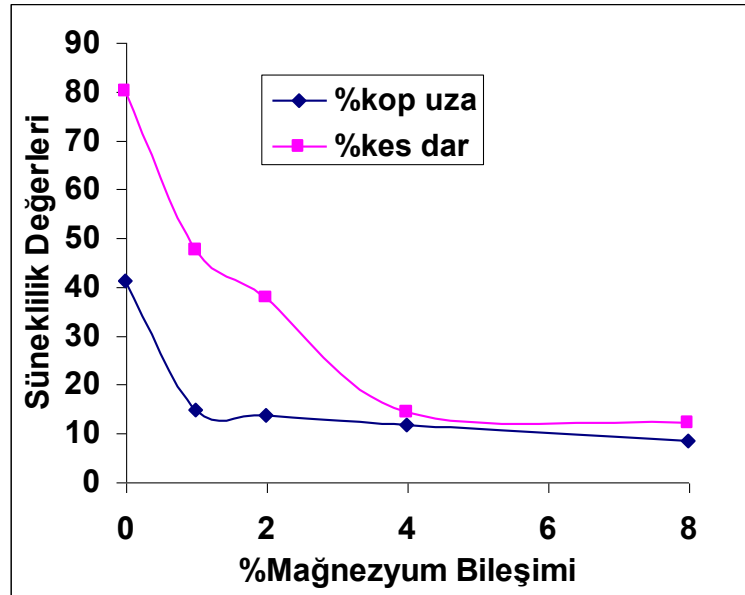
Şekil 8.6'de döküm ve homojenleştirme-sıcak basılmış saf Al'un süneklik değerleri karşılaştırılmıştır. Uygulanan sıcak basma işlemi, döküm yapısına nazaran % kopma uzaması ve % kesit daralması değerlerini düşürmüştür.

Şekil 8.7.'de görüldüğü gibi saf Al'ye Si ve Mg ilavesi ile tokluk değeri düşmüştür. Ancak Al-Si alaşımlarında Si bileşimindeki artışa bağlı olarak belirgin bir tokluk değişimi olmamıştır. Al-Mg alaşımlarında ise magnezyum bileşimindeki artışa bağlı olarak %4 Mg'a kadar tokluk artarken, daha yüksek Mg değerlerinde ise tokluk düşmektedir.

Şekil 8.8'de görüldüğü gibi Saf Al'a uygulanan homojenleştirme ve sıcak basma işlemi sonucunda tokluk değerleri $28,25 \cdot 10^{-3} \text{ j/mm}^3$ 'den $39,8 \cdot 10^{-3} \text{ j/mm}^3$ değerine artmıştır.

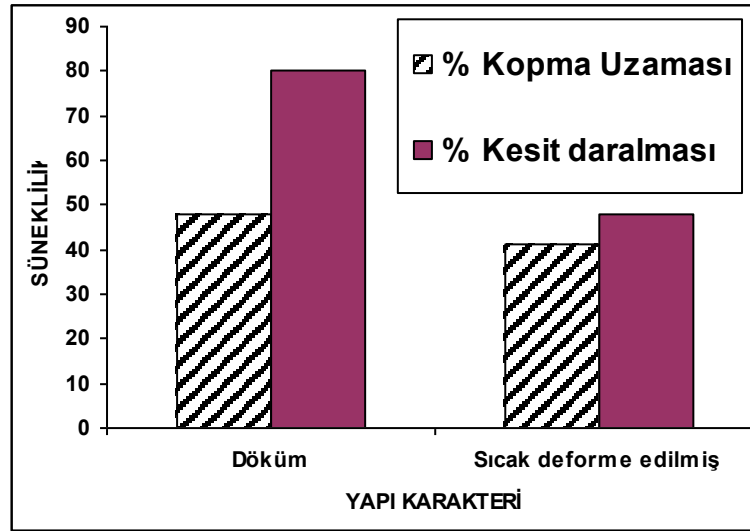


(a)

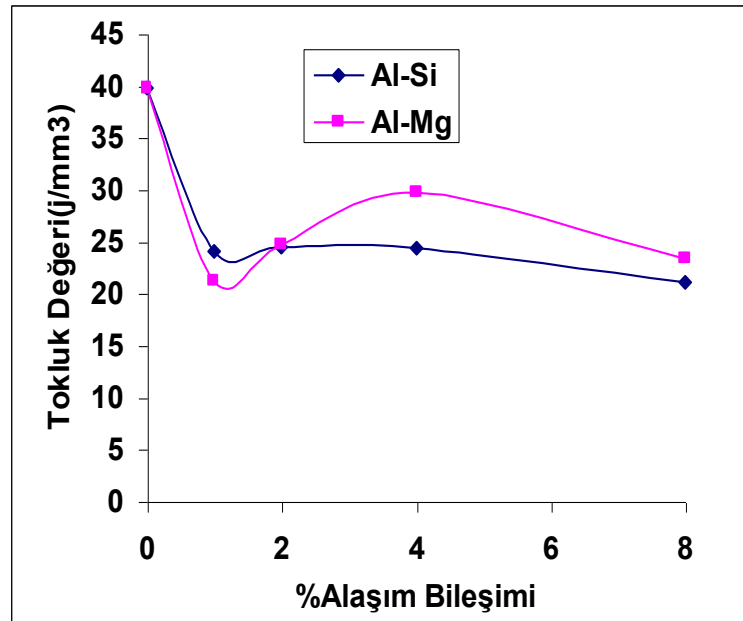


(b)

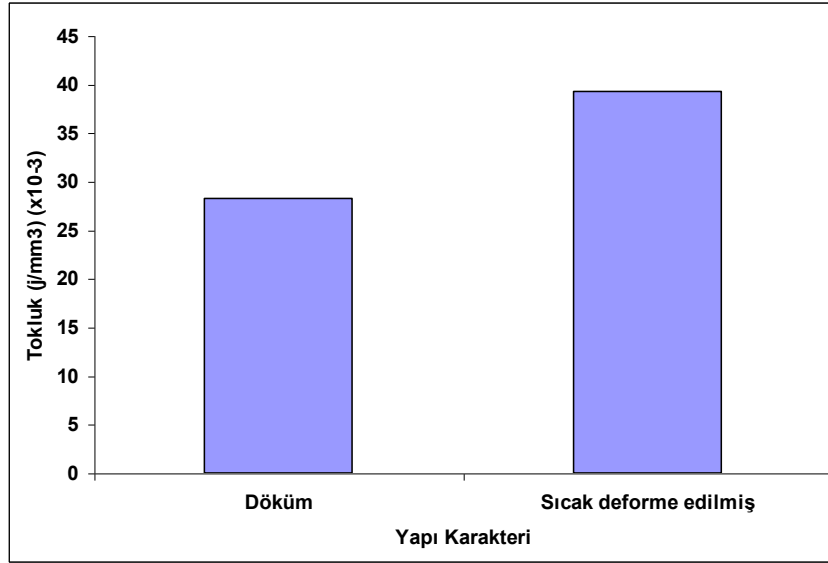
Şekil 8.5. (a) Si ve (b) Mg içeriğine bağlı olarak Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının sünelklik değerlerinin değişimi.



Şekil 8.6. Saf Al'un döküm yapısıyla homojenleştirilip sıcak deforme edilmiş yapılarının sünekliliklerinin karşılaştırılması.



Şekil 8.7 Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında bileşime bağlı olarak tokluk değerlerinin değişimi.



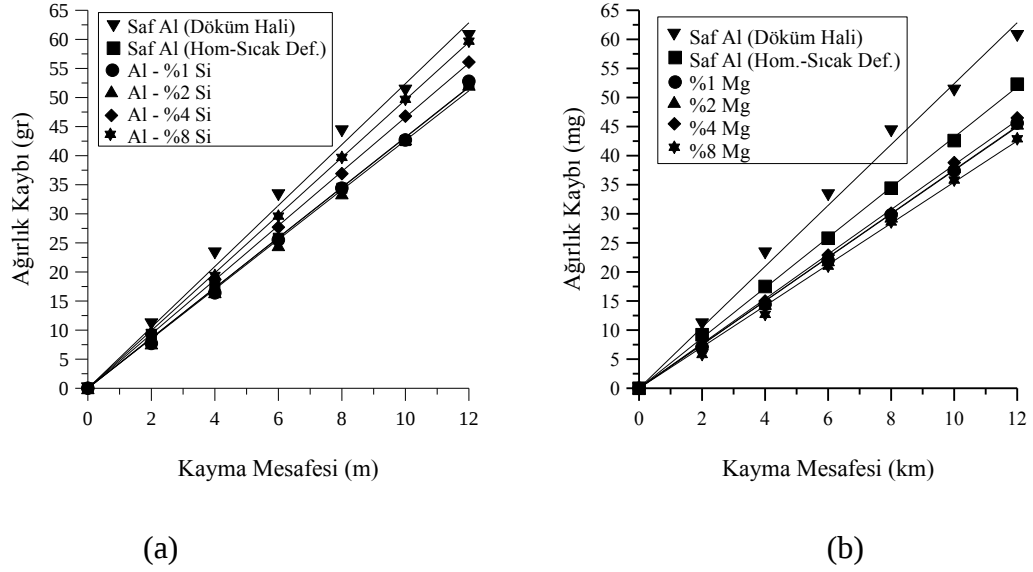
Şekil 8.8. Saf Al'un döküm yapısıyla homojenleştirilip sıcak deforme edilmiş yapılarının tokluk değerlerinin karşılaştırılması.

8.3. Aşınma Deneyleri

8.3.1. Metal-Metal Aşınma Deneyi

Şekil 8.9'de Tablo 7.3'de verilen değerler kullanılarak çizilen Saf Al, Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının kayma mesafesine bağlı olarak ağırlık kayıplarının değişim grafikleri verilmiştir.

Şekil 8.9'de incelenen malzeme gruplarında Metal-Metal aşınması sonucu ağırlık kaybı değerleri kayma mesafesindeki artışa bağlı olarak lineer olarak artmaktadır. Bu sonuç alüminyum alaşımlarında Metal-Metal aşınması ile oluşan ağırlık kayıplarının kayma mesafesine bağlı olarak lineer olarak değiştiğini belirten literatür çalışmalarıyla uygunluk göstermektedir [20].

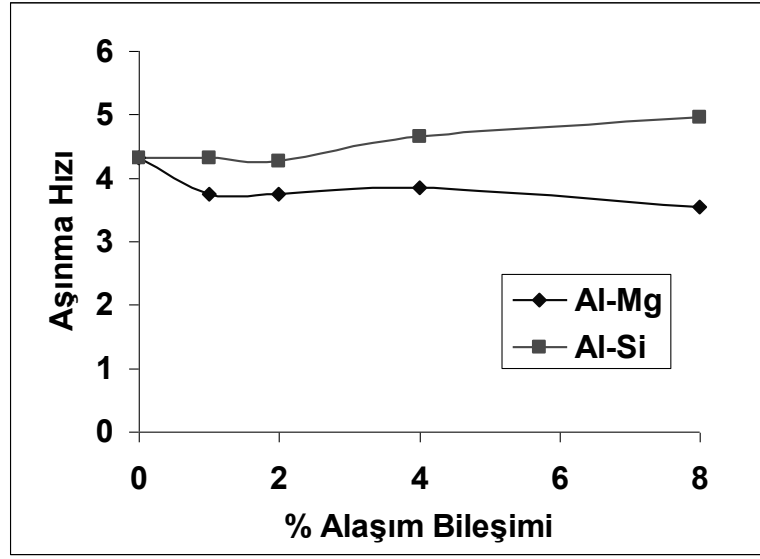


Şekil 8.9. (a) Al-Si ve (b) Al-Mg alaşımlarında alaşım bileşimine bağlı olarak ağırlık kaybı (mg) miktarlarının değişimi görülmektedir.

Tablo 8.1’de Metal-Metal aşınma deneyleri sonucu Şekil 8.9’deki doğruların eğiminden elde edilen Metal-Metal aşınma hızları verilmiştir. Şekil 8.10’da Tablo 8.1’de verilen Metal-Metal aşınma hızı değerleri kullanılarak çizilmiş olan Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında alaşım bileşimine bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi gösterilmiştir. Al-Si alaşımlarında Si miktarındaki artışa bağlı olarak aşınma hızı bir miktar artmaktadır. Al-Si alaşımlarına yüksek yük altında uygulanan Metal-Metal aşınmalarında Si kırılması aşınmayı oluşturan önemli bir mekanizmadır [4]. Burada bileşim artışına bağlı olarak görülen Si kırılabilirliği aşınma hızının artmasına sebep olmuştur. Al-Mg alaşımlarında ise Mg bileşimindeki artışa bağlı olarak aşınma hızı azalmaktadır. Bu durum Al-Mg alaşımlarında Mg bileşimindeki artışa bağlı olarak meydana gelen sertlik artışının sonucu olup literatür çalışmalarıyla uygunluk göstermektedir [9].

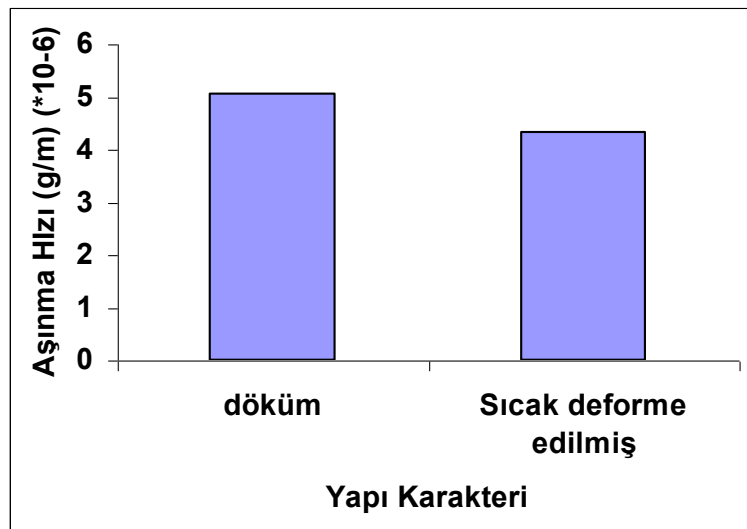
Tablo 8.1. Metal-metal aşınma hızı değerleri.

Malzeme	Aşınma Hızı (gr/m) ($\cdot 10^{-6}$)
Saf orjinal	5,05
Saf deforme edilmiş	4,32
Al-%1Si	4,31
Al-%2Si	4,26
Al-%4Si	4,65
Al-%8Si	4,96
Al-%1Mg	3,74
Al-%2Mg	3,75
Al-%4Mg	3,84
Al-%8Mg	3,54



Şekil 8.10. Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında bileşime bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi.

Şekil 8.11’de saf Alüminyumun döküm ve homojenleştirme ısıtma işlemi sonrası sıcak basılmış yapılarının Metal-Metal aşınma deneyleri sonucu elde edilen aşınma hızı değerleri gösterilmiştir. Homojenleştirilmiş ve sıcak deforme edilmiş yapının daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülmektedir. Burada aşınma hızının artması sıcak deformasyon sonucu malzemede oluşan sertlik artışından ileri gelmektedir.



Şekil 8.11. Döküm hali ve homojenleştirilip sıcak deforme edilmiş Saf Al’un metal-metal aşınma hızlarının karşılaştırılması.

Stereo mikroskopta çekilen metal-metal aşınma yüzeyleri Şekil A.13’de verilmiştir. Metal-metal aşınma deneyleri sonrasında elde edilen aşınma yüzeyleri yüzeyleri karakteristik adhesif aşınma görünümüne sahiptir. Metal-Metal aşınma yüzeylerinin incelenmesinde meydana gelen aşınmanın orta tip aşınma karakteristiği gösterdiği belirlenmiştir. Aşınma yüzeylerinde düz bölgelerin yanında çizikli bölgelerde görülmektedir. Bu çizikli bölgeler aşınma sonucu yüzeyden kopan partiküllerin yüzeyi çizmesi ile oluşmuştur. Ayrıca aşınma sırasında yüzeyden kopan partiküllerin yüzey üzerine yapıştığı görülmektedir. Aşınma yüzeylerinin belirli bölgelerinde plastik deformasyona uğramış ve oyuklanmış bölgeler mevcuttur.

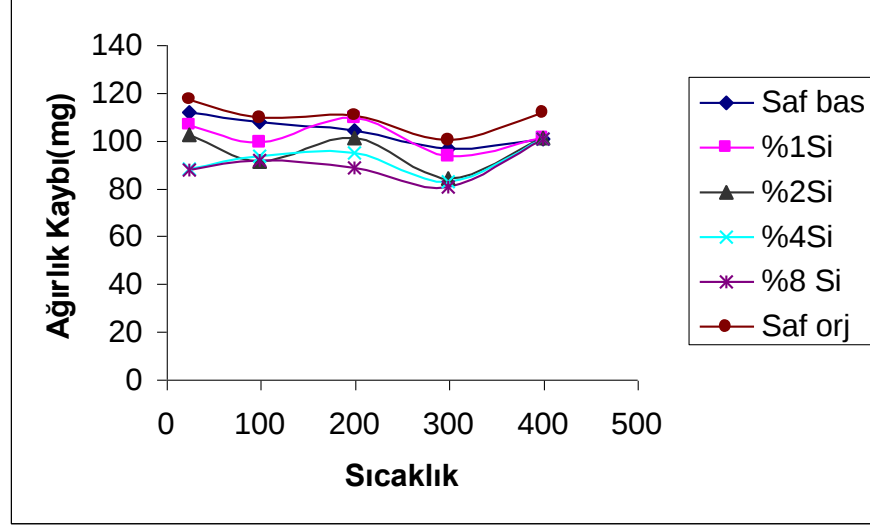
8.3.2. Metal-Abrasive Aşınma Deneyleri

Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında oda sıcaklığında yapılan aşınma deneylerinde alaşım bileşimindeki artışa bağlı olarak ağırlık kaybı miktarları azalmaktadır. Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında bileşim artışına bağlı olarak ortaya çıkan sertlik artışı aşınmaya karşı dayanımın artmasına sebep olmuştur. Bu durum metal abrasive aşınmasında sertliğe bağlı olarak aşınma dayanımının arttığını belirten literatür çalışmalarıyla uyumludur [9]. Ayrıca Al-Mg alaşımlarının aşınma dirençleri Al-Si alaşımlarına göre yüksektir.

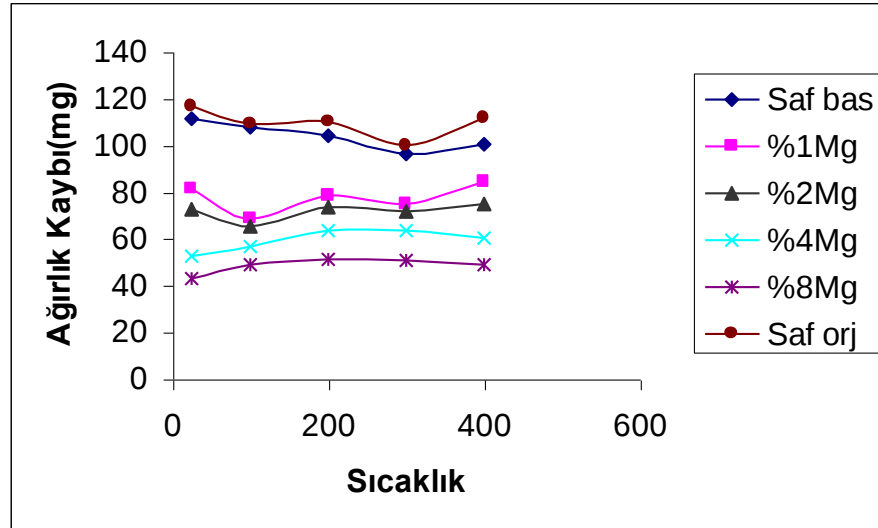
Saf Alüminyum Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen ağırlık kayıplarının alaşım bileşimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 8.12’de verilmiştir. Al-Si alaşımlarında ağırlık kaybı değerleri sıcaklığa bağlı olarak dalgalı bir değişim göstermiştir. %1 ve %2 Si bileşiminde oda sıcaklığından 400 °C ye çıkışta rölatif aşınma direncinde önemli bir değişim görülmemiştir. %4 ve %8 Mg değerlerinde oda sıcaklığa çıkıldığında aşınma direncinde %13 oranında bir azalma görülmüştür. Al-Mg alaşımlarında da Al-Si alaşımlarında olduğu gibi sıcaklık değişimine bağlı olarak ağırlık kaybı ve aşınma değerleri dalgalı bir değişim göstermektedir. %1 ve %2 Mg içeren alaşımlarda oda sıcaklığından 400°C ye çıkıldığında aşınma direncinde önemli bir değişim görülmezken %4 Mg ve %8 Mg içeren alaşımlarda ise bu sıcaklık aralığında aşınma direncinde yaklaşık %15 lik bir azalma belirlenmiştir...

Oda sıcaklığında ve 400°C’ de aşındırılan ve bileşiminde %8Si ve %8 Mg içeren alaşımların aşınma yüzeyleri karakteristik abrazif aşınma yüzey özelliğine

sahiptir.Şekil A.14 'de yüzeyde Al_2O_3 etkisi ile oluşan çizikler mevcuttur.Bileşiminde%8 Mg bulunan alaşımın aşınma yüzeyindeki çizikler Al-Si alaşımlarına nazaran daha incedir.



(a)



(b)

Şekil 8.12. (a) Al-Si (b) Al-Mg alaşımlarında metal-abrasive aşınması sonucu sıcaklık ve bileşime bağlı olarak ağırlık kaybı değerleri

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada homojenleştirme ve bunu takiben sıcak deformasyon uygulanmış Saf Al, Al-Si ve Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri ve aşınma davranışları incelenmiş ve sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1 Gerek Saf Al ve gerekse Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında % 40 oranında deformasyon sonucu tane boyutunda önemli ölçüde küçülme elde edilmiştir. Mg serisi alaşımlarda daha küçük tane boyutu görülmüştür.

2. Saf Al'a ilave edilen Mg ve Si'un bileşim artışına bağlı olarak sertlik değerleri artmıştır. Mg'un sertlik arttırma yeteneğinin Si'a göre yüksektir..

3. Saf Al'a ilave edilen Mg ve Si bileşimindeki artışa bağlı olarak alaşımların çekme ve akma mukavemetleri artarken, süneklilikve toklukta ise düşme görülmüştür.

4- Al-Mg alaşımlarında Mg bileşimindeki artışa bağlı olarak Metal-Metal aşınma direnci artmıştır.Al-Si alaşımlarında ise %2 Si bileşimine kadar Metal-Metal aşınma direncinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.Bunun üstündeki Si değerlerinde ise bileşim artışına bağlı olarak aşınma direnci azalmıştır.

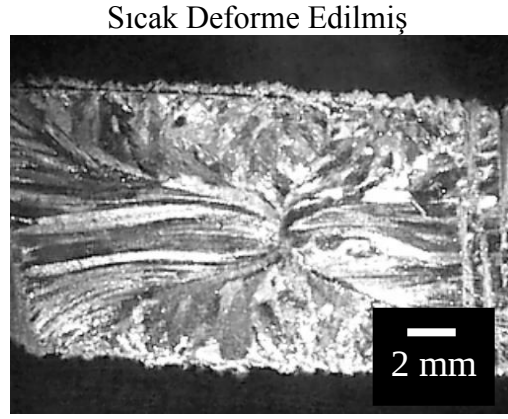
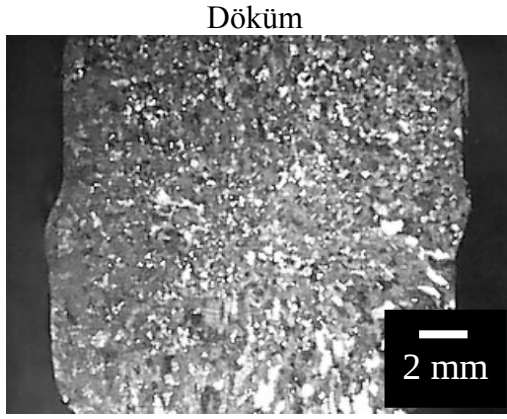
5-Al-Si ve Al-Mg alaşımlarında oda sıcaklığında yapılan Metal-Abrasive aşınma deneylerinde Si ve Mg bileşimindeki artışa bağlı olarak aşınma direnci artmıştır.Yüksek sıcaklıkta yapılan aşınma deneylerinde ise 400C ye kadar ki sıcaklık aralıklarında aşınma direçlerinde dalgalı bir değişim gözlenmektedir. Oda sıcaklığından 400 °C'ye çıkıldığında %2'ye kadar olan Si ve Mg bileşimlerinde, aşınma direncinde önemli bir değişiklik olmazken, yüksek bileşimlerde ise aşınma direncinde bir miktar azalma görülmüştür.

KAYNAKLAR

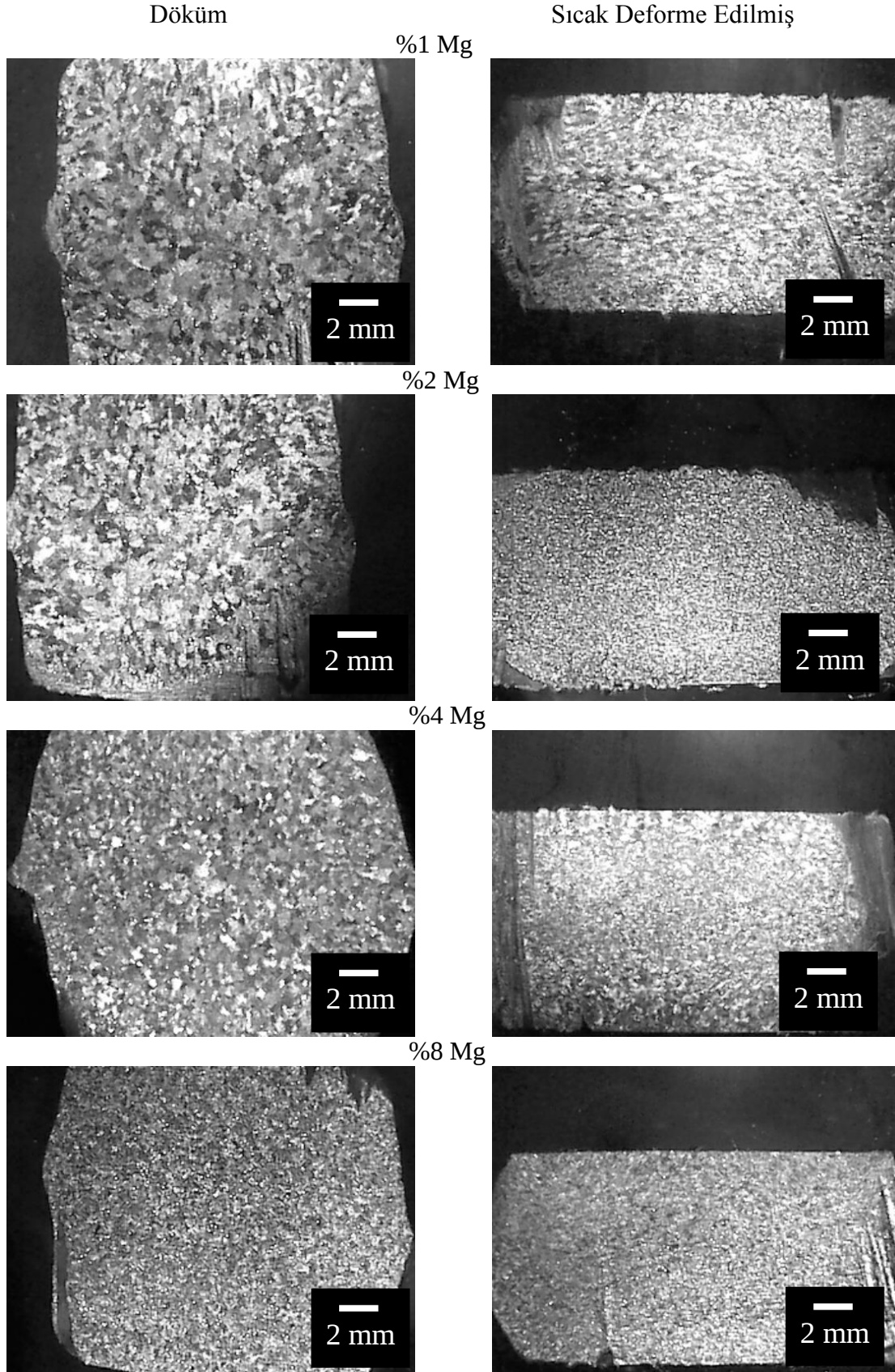
- [1] **Metin, O.**, 1973. Alüminyum-Silisyum Alaşımlarında Silisyumun Malzeme Mukavemetine Etkisi, *Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul
- [2] **Eruslu, N., Altmışoğlu, TAPTIK, Y.**, Alaşımlar Ders Notları, İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fak., sf. 86-97, (1990).
- [3] **Ünal, N.**, 1987. Alüminyum Alaşımları ve Isıl işlemleri, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul
- [4] **Torabian, H., Pathal, J.P.**, 1994. On Wear Characteristics of Loaded Al-Si Alloys, *Wear* Vol. 177, 47-54
- [5] **Metals Handbook, A.**, 9 th Edition, Vol.2, Non Ferrous Metals, ASM (1985).
- [6] **Avner, H.S.**, Nonferrous Metals And Alloys, Mc Graw Hill Comp., ,sf. 54-60,(1983)
- [7] **Karakışlak, M.**, Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri, İ.T.Ü Makine Fakültesi,(1980)
- [8] **Hayden, H.W, Moffat, W.G and Wulff.**,1993. Malzemelerin Yapı ve Özellikleri, Cilt 3, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul
- [9] **Uğuz, A., Bayram, A.**, 2001. Effect of Si content and microstructure on the wear Behaviour of Al-Si alloys, *Metall-Forschung*, 758-761
- [10] **Erarslan, Y.**, 1999. Etial-60 Alaşımında Döküm ve Homojenizasyon Uygulamalarının Ekstrüzyon Kabiliyetine Etkileri, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] **Campbell, J.**, 1991. Casting, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, England.
- [12] **Altenpohl, D.**, 1982. Aluminium Viewed from within an Introduction into the Metallurgy of Aluminium Fabrication, Dusseldorf, Germany
- [13] **Kamio, A, Tezuka, H, Choi and Takaheshi, M.**, 1985. J. Japan Society Light Metals, 35, 6, 255
- [14] **Merchant, H.D, Kattamis, T.Z and Scharf, G.**, 1987. Homogenization of Aluminium Alloys, Proceedings of a Symposium the Non-Ferrous Metals, Ohio
- [15] **Kayalı, E.S.**, 1995. Hasar Analizi Seminer Notları ,Metalurji Müh Odası
- [16] **Kayalı, E.S.**, 1987. Aşınma ve Aşınma Hasarları, Metalurji Müh Odası
- [17] **Song, W.Q., Krauklis, P., Mourits, A.P.**, 1995. The effect of thermal aging on the abrasive wear behaviour of age hardening 2014 Al-SiC and 6061 Al/SiC composites, *Wear* 185, 125-130
- [18] **Hutchings, I.M.**, 1992. Tribology friction and wear of engineering Materials, Great Britain, 134-150

- [19] **Föhl,J., Weissenberg, T. and Weidemeyer, J.,** 1989 General aspects for tribological applications of hard particle coatings *Wear*, 275-288
- [20] **Zhang, J., Alpas, A.T.,** 1993. Delamination Wear in Ductile
- [21] **Harun, M., Talib, I.A.,** 1994. Effect of element additions on wear property of eutectic Al-Si alloy, *Wear*, Vol. 194, 54-59
- [22] **Iwai, Y., Hou, W.,** 1995. Wear behaviour of high tensile strength al alloys under dry and lubricated conditions, *Wear*, 186, 46-57

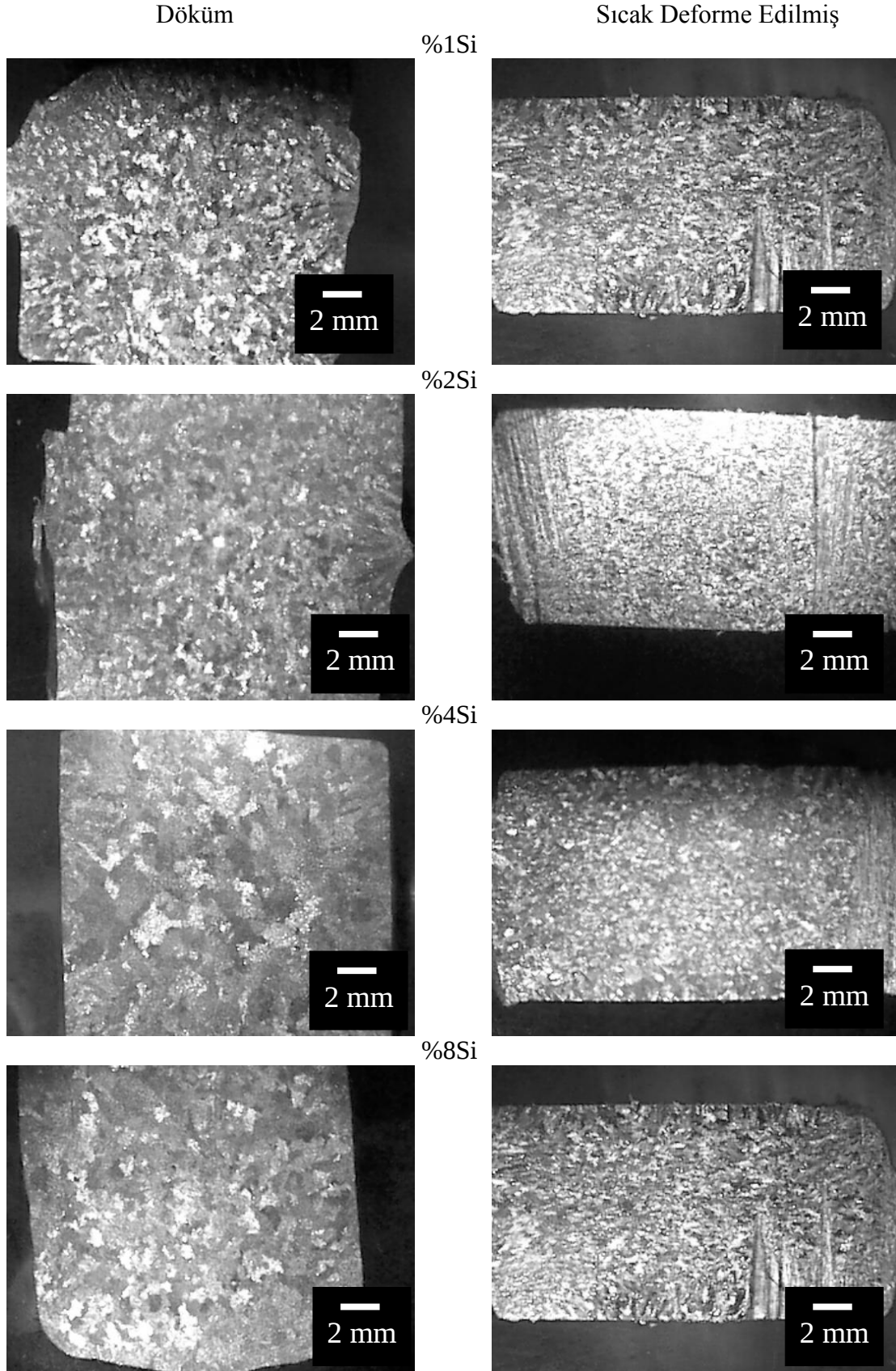
EKLER



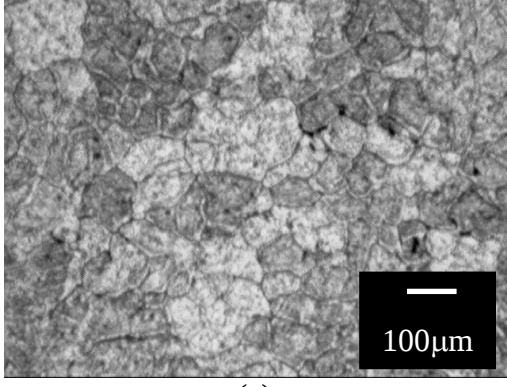
Şekil A.1 Döküm ve homojenleştirme ısıl işlemi-sıcak deformasyon uygulanmış saf Al'un makroyapı görüntüleri.



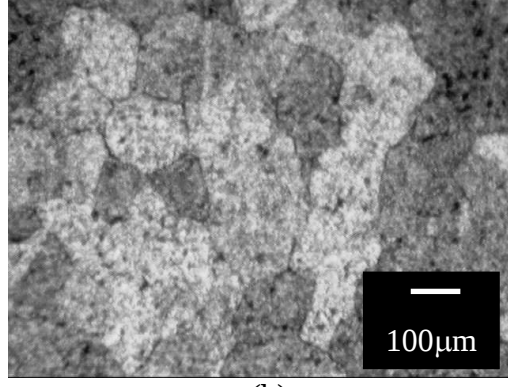
Şekil A.2. Al - %1-2-4-8 Mg alaşımlarının döküm ve homojenleştirme ısı işleme-sıcak deformasyon uygulanmış yapılarına ait makro yapı görüntüleri



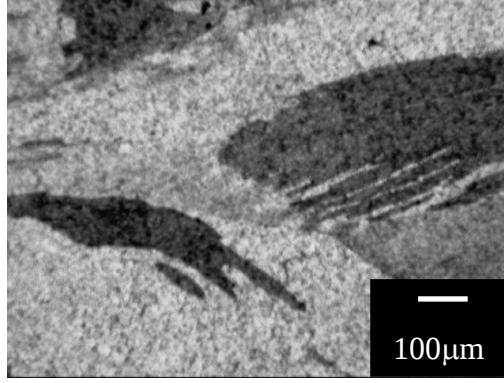
Şekil A.3. Al - %1-2-4-8 Si alaşımlarının döküm ve homojenleştirme ısı işlemi–sıcak deformasyon uygulanmış yapılarına ait makro yapı görüntüleri



(a)

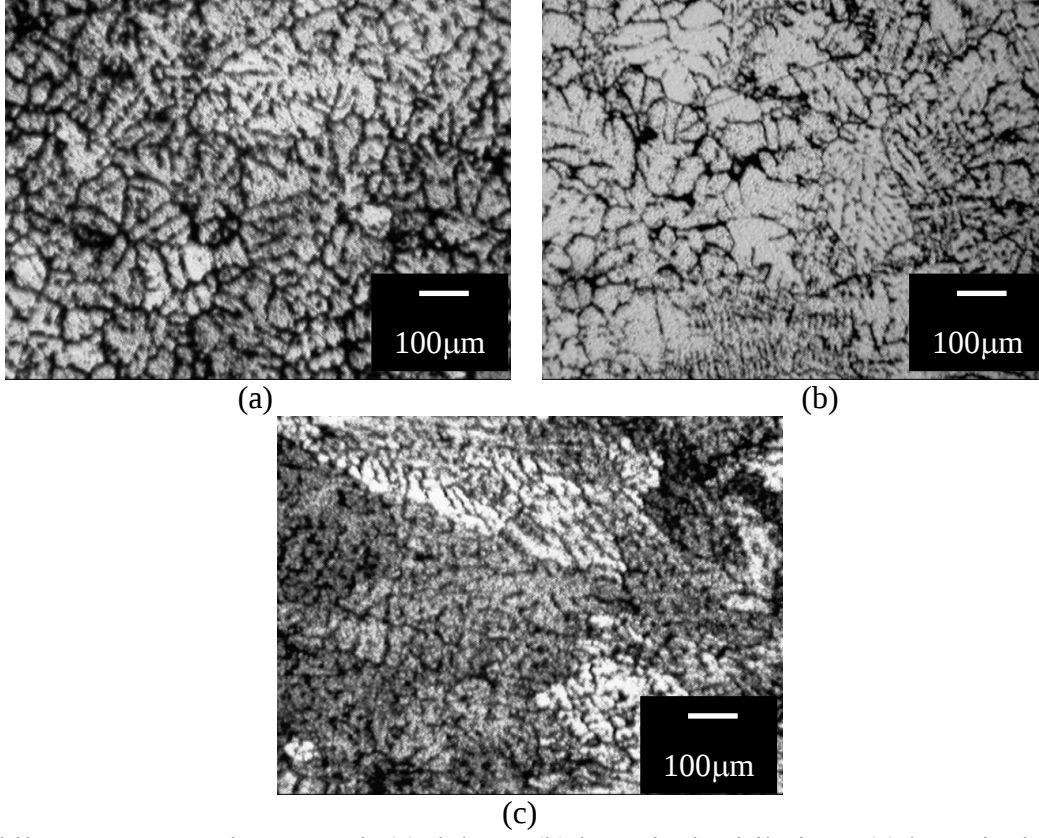


(b)

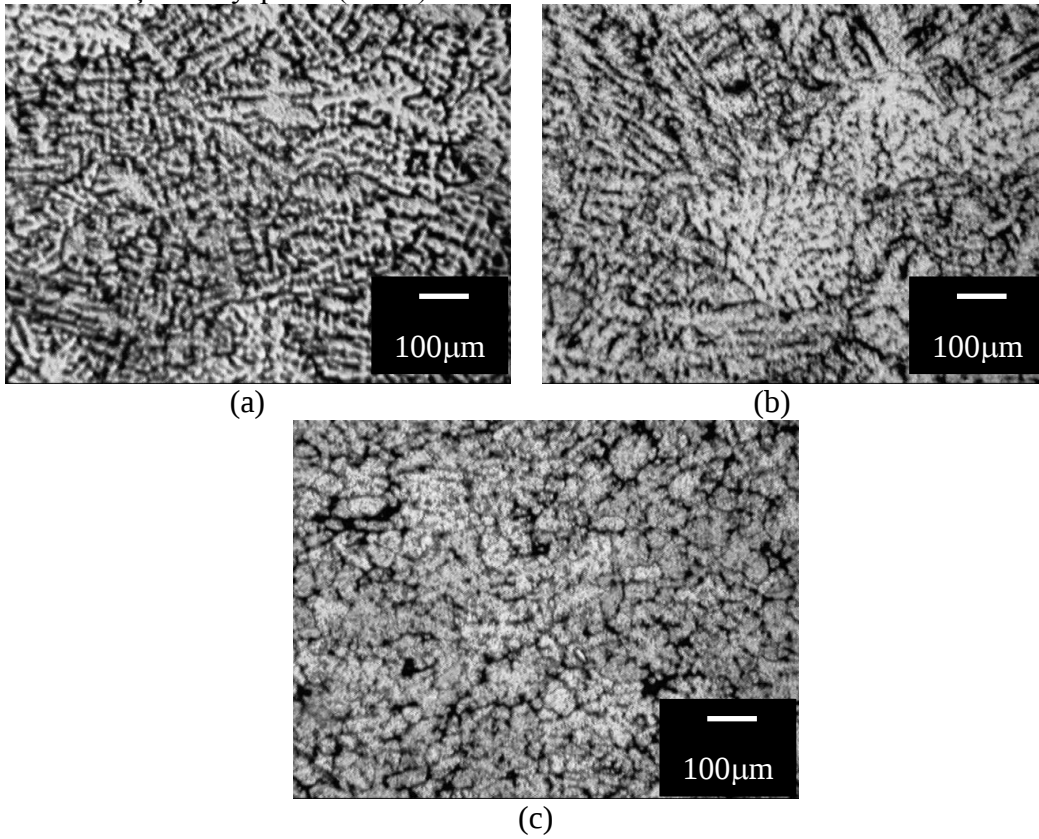


(c)

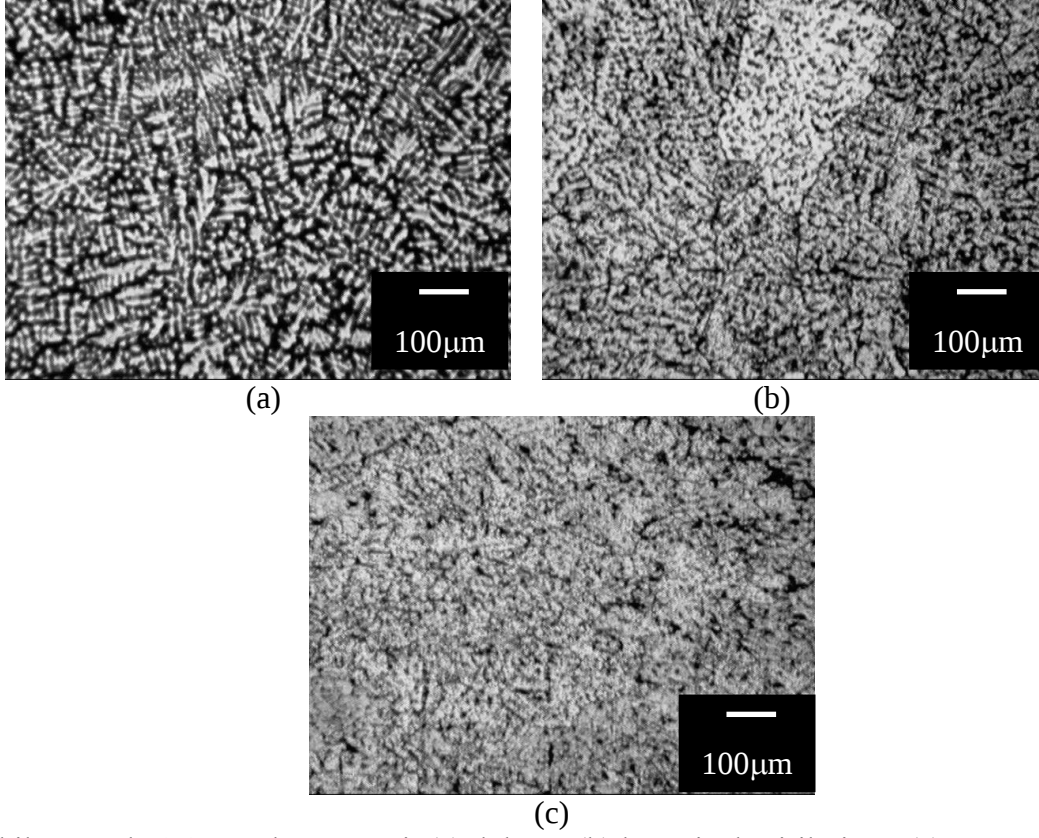
Şekil A.4. Saf Al'a ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



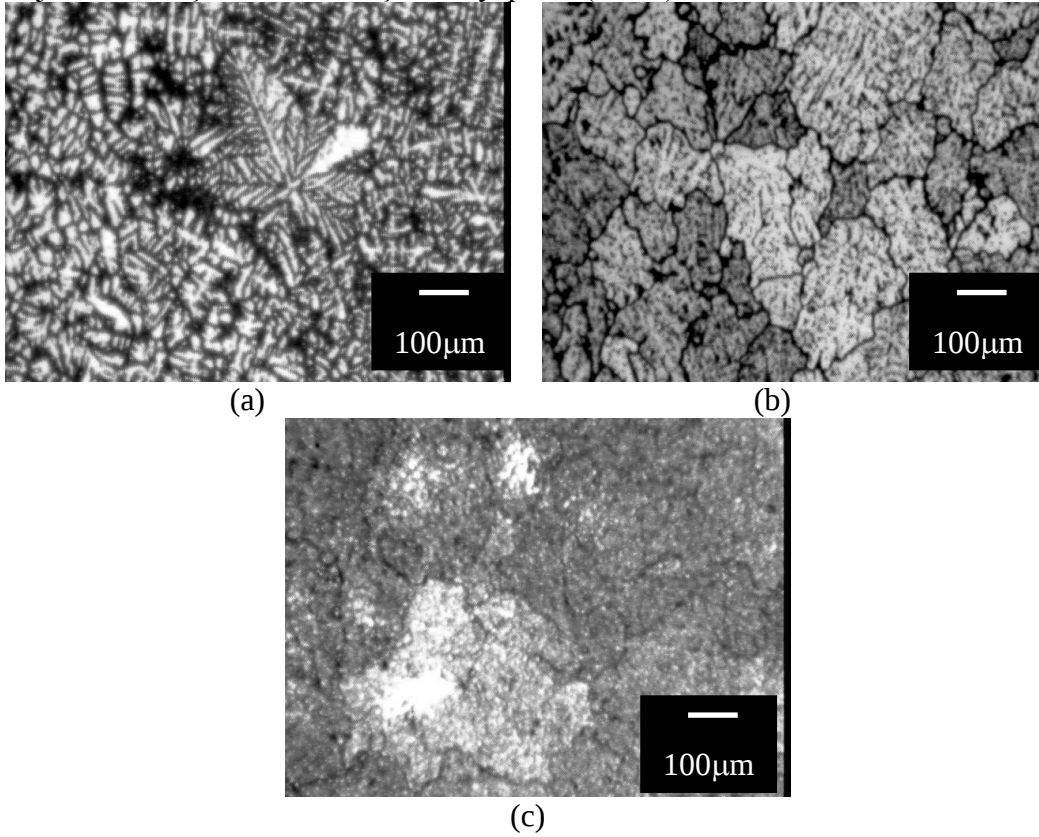
Şekil A.5. % 1 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



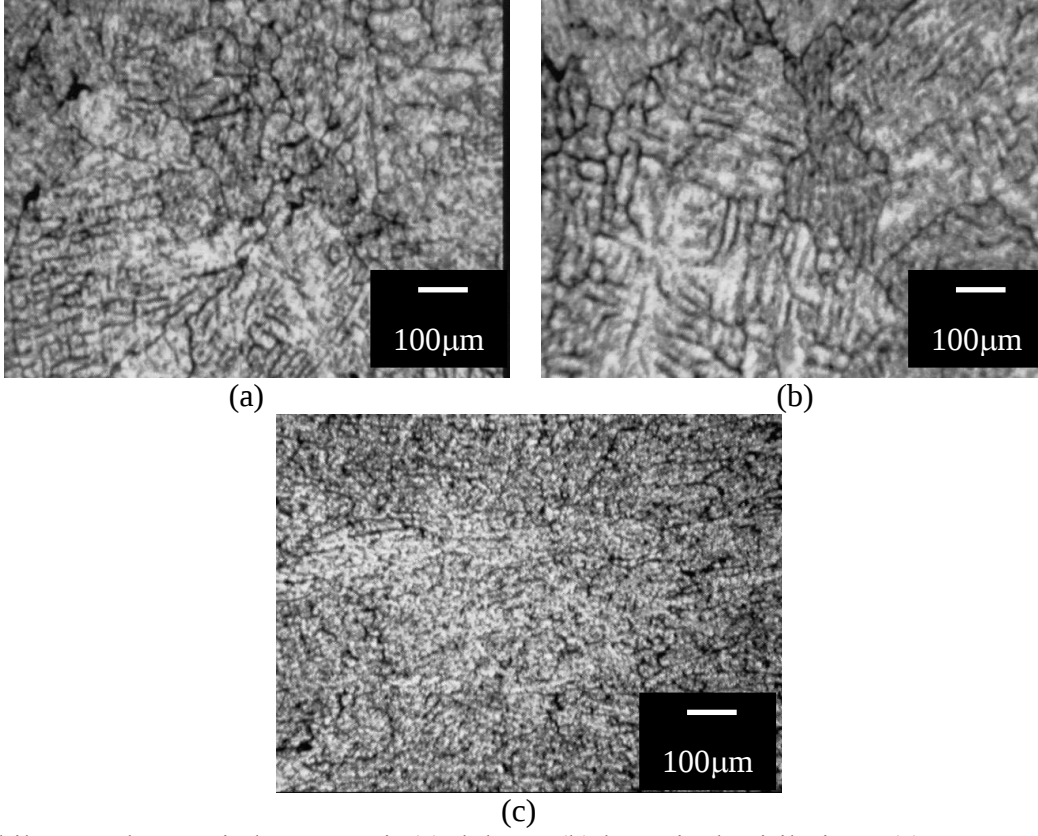
Şekil A.6. % 2 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



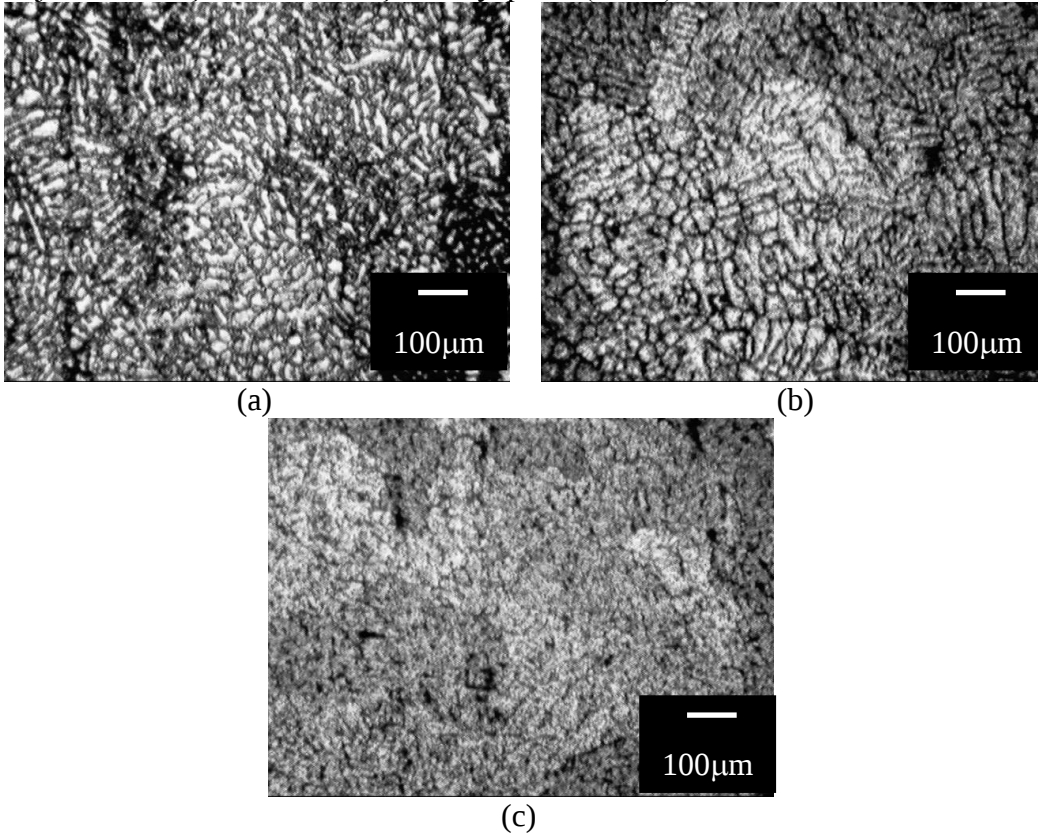
Şekil A.7. Al-% 4 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



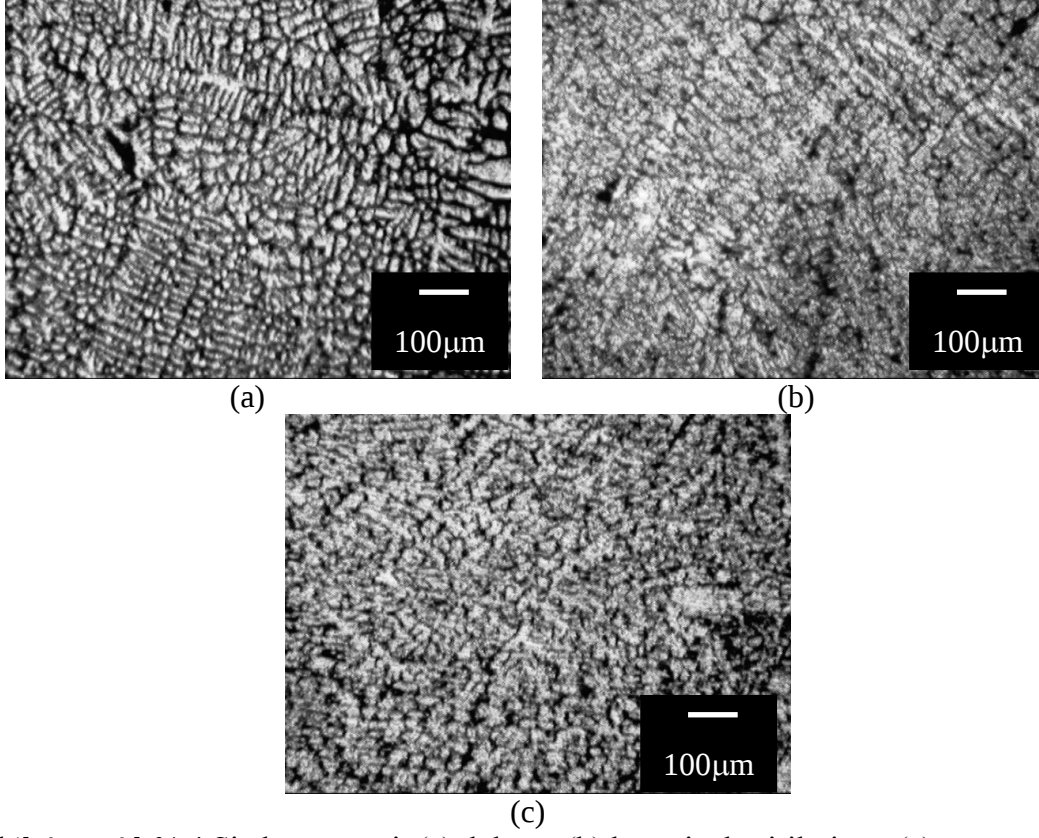
Şekil A.8. Al-% 8 Mg alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları.(100X)



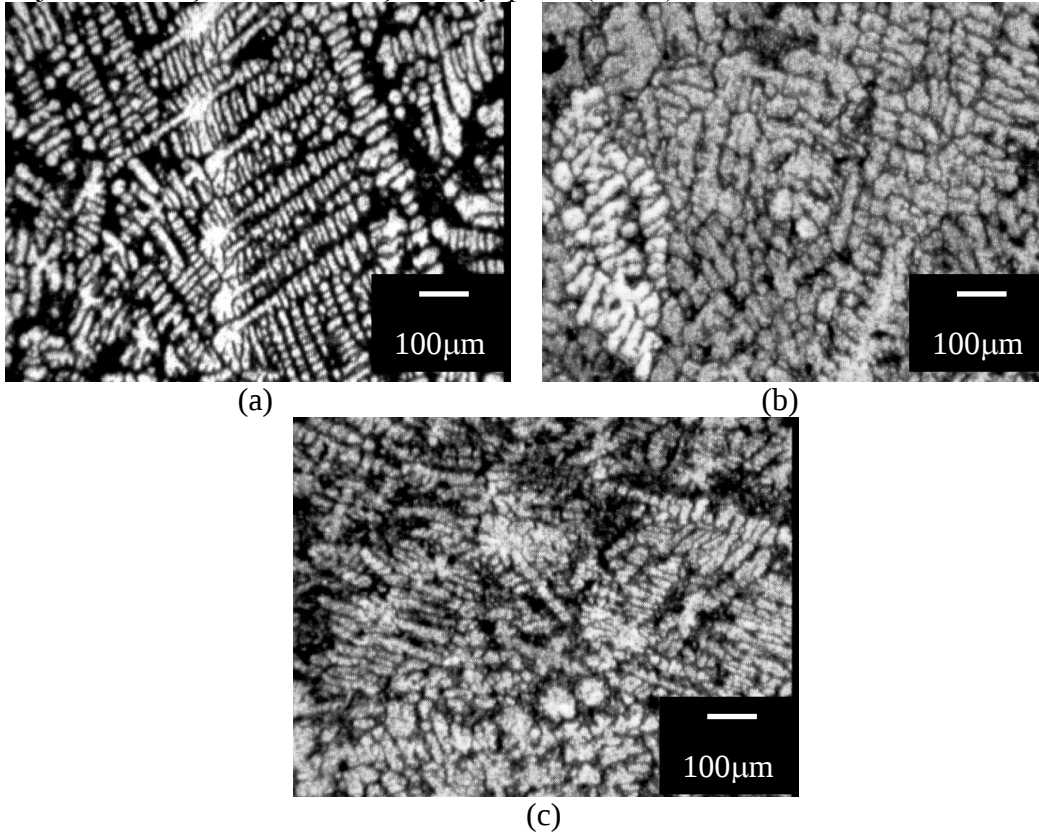
Şekil.A.9. Al-% 1 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



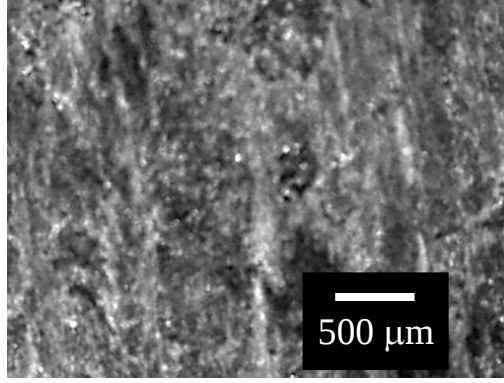
Şekil.A.10. Al-% 2 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



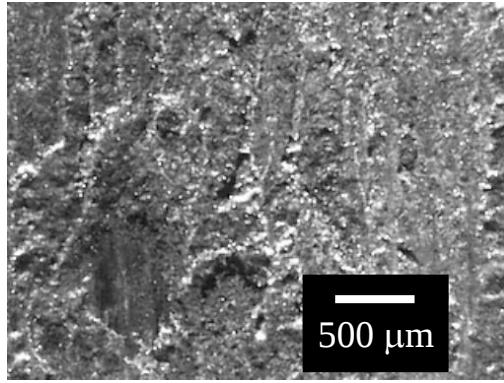
Şekil.A 11.Al-% 4 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları (100X)



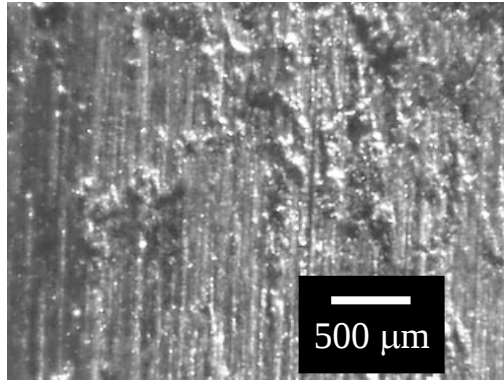
Şekil A.12. Al-% 8 Si alaşımına ait (a) döküm, (b) homojenleştirilmiş ve (c) homojenleştirilmiş-sıcak basılmış mikroyapıları. (100X)



(a)

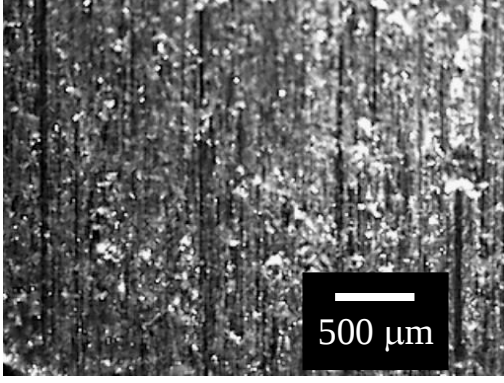


(b)

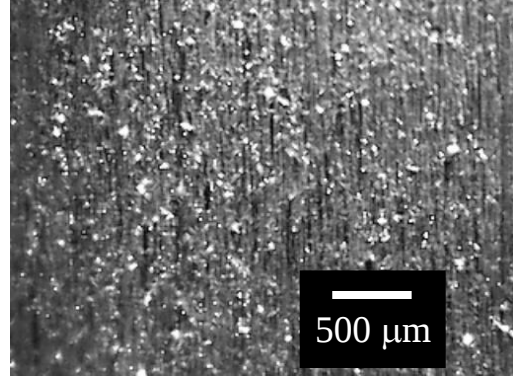


(c)

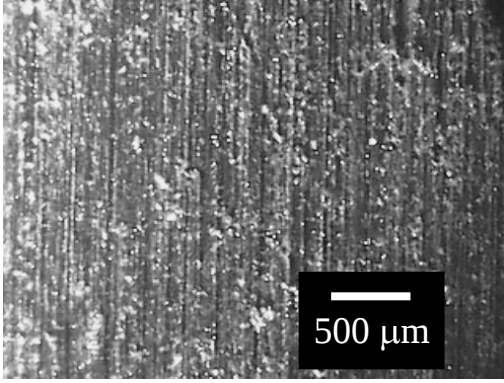
Şekil A.13. (a) Saf Al (döküm hali), (b) % 8 Si ve (c) % 8 Mg alaşımlarının metal-metal aşınma yüzeylerinin görünümü.



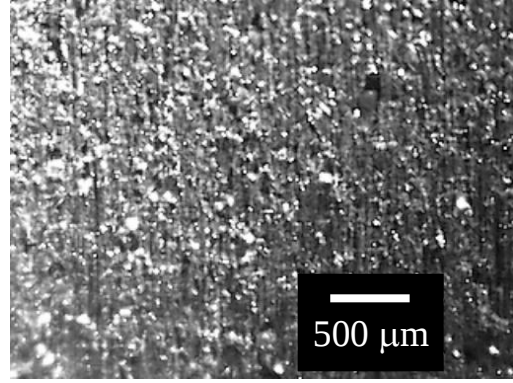
(a)



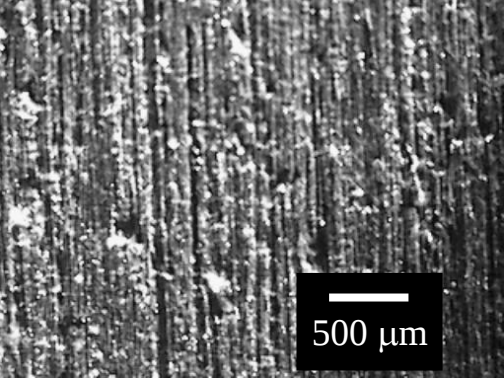
(b)



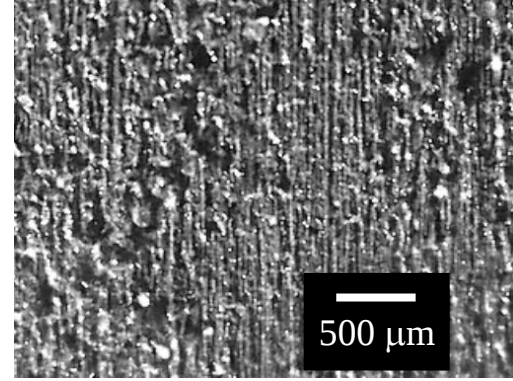
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil A.7. Abrasif band üzerinde aşındırılmış homojenleştirme ve sıcak deformasyon uygulanmış saf Al, Al-% 8Si ve Al-%8 Mg alaşımının (a), (c), (e) oda sıcaklığı ve (b), (d) ve (f) 400 °C'deki aşınma yüzeylerinin görünümü.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında İstanbul’ da doğdu.İlk ve orta öğrenimini İstanbul ’tamamladı.1991 yılında İstanbul Fenerbahçe lisesi’nden mezun oldu.1992-94 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümünde öğrenim gördü.1994 yılında İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümüne girdi.1998 yılında Lisans öğrenimini tamamlayarak ,İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne girmeye hak kazandı.İ.T.Ü. Dil ve İnkılap Tarihi Bölümünde bir yıl süreli İngilizce öğreniminden sonra Enstitünün Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı ,Malzeme programında yüksek lisans öğrenimine başladı. .