İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERT ELOKSAL İLE KAPLANMIŞ 6XXX SERİSİ ALUMİNYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Emre GÖKŞAHİN

Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERT ELOKSAL İLE KAPLANMIŞ 6XXX SERİSİ ALUMİNYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Emre GÖKŞAHİN
(506051405)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU (İ.T.Ü.)**
	Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince ilgi ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, tez danışmanım Sn. Prof. Dr. E. Sabri KAYALI ‘ya saygılarımla şükranlarımı sunarım.

Çalışmamla çok yakından alakadar olması ve beni sürekli yönlendirmesi sebebiyle Sn. Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU’na en içten teşekkürlerimi sunarım.
Bilgi ve tecrübelerini daima benimle paylaşan, bana yol yol gösteren ve çalışmamın her aşamasında emeği geçen Yrd. Doç.Dr. Murat BAYDOĞAN’a , Araş.Görev. Yük.Müh. Hasan GÜLERYÜZ’ e, Araş. Görev. Yük.Müh. Özgür ÇELİK’e, teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, ilgi ve yardımlarından dolayı tüm mekanik metalurji laboratuvarındaki çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiştiren, bugünlere gelmemi sağlayan maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve bu çalışma süresince beni destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

HAZİRAN 2007 Emre GÖKŞAHİN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **x**
SUMMARY **xi**

1.GİRİŞ **1**

2.ALUMİNYUM VE ALUMİNYUM ALAŞIMLARI **2**
2.1. Aluminyumun Özellikleri 2
2.2 6xxx serisi Aluminyum Alaşımları 3
2.2.1. Magnezyum ve Silisyum Etkisi 3
2.2.2. Isıl İşlem 4

3. ELOKSAL KAPLAMA **6**
3.1. Eloksal Tanımı 6
3.2. Eloksal Tabaka Özellikleri 8
3.3 Sert Eloksal Kaplama 9

4. AŞINMA **11**
4.1. Aşınmanın Tanımı 11
4.2. Tribolojik Sistem 12
4.3. Aşınma Mekanizmaları 12
4.3.1 Adhesif Aşınma 12
4.3.2 Abrasif Aşınma 13
4.3.3 Oyuklanma ve Yenme Aşınması 14
4.3.4. Kimyasal Yıpranma Aşınması 15

5. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ARAŞTIRMALAR 16

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **20**
6.1. Kaplama Prosesi 20
6.2. Sertlik Testleri 21
6.3. Çizik Testleri 22
6.4. Aşınma Testleri 23

7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ **24**
7.1.Sertlik Deney Sonuçları 24
7.2. Çizik Testi Sonuçları 25
7.3. Aşınma Deney Sonuçları 26

8. GENEL SONUÇLAR **33**

KAYNAKLAR **35**

EKLER **36**

ÖZGEÇMİŞ **62**

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Saf aluminyumun özellikleri.....	2
Tablo 2.2.	Aluminyum işlem alaşımlarının gösterimi.....	3
Tablo 5.1.	İşlem parametreleri.....	16
Tablo 6.1.	AA6061 ve AA6082 aluminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.....	20
Tablo 6.2.	Değişen işlem parametrelerine göre gruplanmış numuneler.....	21
Tablo 7.1.	AA6061 alaşımının sertlik ve kaplama kalınlığı değerleri.	25
Tablo 7.2.	AA6082 alaşımının sertlik ve kaplama kalınlığı değerleri.	25
Tablo 7.3.	AA6061 ve AA6082 için 3 farklı kaplama şartı için Lc_1 ve Lc_2 kritik yük değerleri.....	25
Talo 7.4.	AA6061 için Şekil 7.4'den her iki hız için hesaplanan aşınma hızı değerleri.....	29
Talo 7.5.	AA6082 için Şekil 7.5'denn her iki hız için hesaplanan aşınma hızı değerleri.....	29
Tablo 8.1.	Değişen işlem parametrelerine göre gruplanmış numuneler.....	33

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1.	: Eloksal işlem banyosu.....	6
Şekil 3.2.	: Eloksal kaplama yapısı.....	7
Şekil 3.3.	: Eloksal hücrenin yapısı.....	8
Şekil 3.4.	: Farklı eloksal kaplamaların kalınlık ve renkleri.....	9
Şekil 4.1.	: iki elemanlı adhesif aşınma.....	13
Şekil 4.2.	: İki elemanlı abrasif aşınma.....	14
Şekil 4.3.	: Oyuklanma ve yenme aşınması.....	15
Şekil 5.1.	: Eloksal ve sert eloksal kaplamanın sertlik farkı.....	16
Şekil 5.2.	: Farklı deney yükleri için aşınma hızı-sertlik değişimi.....	17
Şekil 5.3.	: Farklı deney yükleri için aşınma hızı-çevrim sayısı değişimi...	18
Şekil 5.4.	: Kaplanmamış ve sert eloksal ile kaplanmış iki numunenin aşınma hızı-sertlik değişimi.....	19
Şekil 6.1.	: Deneylerde kullanılan (a) AA6061 ve (b) AA6082 numuneler	20
Şekil 6.2.	: CSM mikrosertlik test cihazı.....	22
Şekil 6.3.	: Karşı yüklemeli (reciprocating) aşınma test cihazı.....	23
Şekil 7.1.	: Sertlik testi için normal yük –batma derinliği grafiği.....	24
Şekil 7.2.	: AA6061 1.gruba ait cizik testi sonucu oluşan iz görüntüleri (a) dikey çatlak başlangıcı ve (b) kaplamadan metale giriş.....	26
Şekil 7.3.	: Aşınma alanlarının hesaplanmasında kullanılan aşınma izi profil örneği.....	26
Şekil 7.4.	: AA6061 in kuru sürtünme koşullarında (a) düşük kayma hızı (0,02 m/s) ve (b) yüksek kayma hızında (0,05 m/s) yapılan aşınma deneylerinde, numunelerin yüzeyinde oluşan aşınma izlerinin alanının deney yükü ile değişimi.....	27
Şekil 7.5.	: AA6082 nin kuru sürtünme koşullarında (a) düşük kayma hızı (0,02 m/s) ve (b) yüksek kayma hızında (0,05 m/s) yapılan aşınma deneylerinde, numunelerin yüzeyinde oluşan aşınma izlerinin alanının deney yükü ile değişimi.....	28
Şekil 7.6.	: Aşınma hızının sertlik ile olan ilişkisinin (a) AA6061 ve (b) AA6082 için çizilmiş grafikleri.....	30
Şekil 7.7.	: 0,6 N deney yükü ile yapılan aşınma sonucu oluşan izin içinden 2000X de çekilmiş (a) AA6061 (b) AA6082 numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	31
Şekil A.1.	: 1.grup AA6061 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N.....	36
Şekil A.2.	: 1.grup AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N.....	37

Şekil A.3. : 2.grup AA6061 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 38
Şekil A.4. : 2.grup AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 39
Şekil A.5. : 3.grup AA6061alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 40
Şekil A.6. : 3.grup AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 41
Şekil A.7. : 1.grup AA6082 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 42
Şekil A.8. : 1.grup AA6082 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 43
Şekil A.9. : 2.grup AA6061alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 44
Şekil A.10. : 2.grup AA6061alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 45
Şekil A.11. : 3.grup AA6061alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 46
Şekil A.12. : 3.grup AA6061alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 47
Şekil A.13. : Kaplamasız AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 48
Şekil A.14. : Kaplamasız AA6061 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,2 N (b) 0,3 N (c) 0,4 N (d) 0,5 N (e) 0,6 N..... 49
Şekil A.15. : Kaplamasız AA6082 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 50
Şekil A.16. : Kaplamasız AA6082 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 51
Şekil B.1. : AA6061 alaşımının aynı numune için 100X büyütmede farklı aşınma yüklerinde çekilmiş aşınma iz fotoğrafları (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 52
Şekil B.2. : AA6082 alaşımının aynı numune için 100X büyütmede farklı aşınma yüklerinde çekilmiş aşınma iz fotoğrafları (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6..... 53

Şekil C.1. : AA6061 alaşımı aynı numune için 200X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 54
Şekil C.2. : AA6082 alaşımı aynı numune için 100X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 55
Şekil C.3. : Kaplamasız AA6061 alaşımı aynı numune için 100X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 56
Şekil C.4. : Kaplamasız AA6082 alaşımı aynı numune için 100X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N..... 57
Şekil D.1. : AA6061 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 200X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N 58
Şekil D.2. : AA6061 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 2000 X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N 59
Şekil D.3. : AA6082 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 200X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N..... 60
Şekil D.4. : AA6082 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 2000X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N 61

SEMBOLLER

F	: Sürtünme Kuvveti
μ_s	: Statik Sürtünme Katsayısı
μ_k	: Kinetik Sürtünme Katsayısı
W	: Normal Yük

SERT ELOKSAL İLE KAPLANMIŞ 6XXX SERİSİ ALUMİNYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Aluminyum alaşımları, sahip oldukları mukavemet/ağırlık oranı ile özellikle otomobil sektörü ve havacılık sektörü için çok önemlidir. Ancak aluminyum alaşımları sahip oldukları bu avantaja rağmen, aşınma özelliklerinin yeteri kadar iyi olmadığı için kullanımı kısıtlanmaktadır. Aluminyum alaşımlarının yüzeylerinin sert eloksal ile kaplanması, alaşımın sertliğinin artmasının yanı sıra aşınma direncinide çok önemli oranda arttırmaktadır.

Bu çalışmada, 6xxx serisi aluminyum alaşımı olan AA6061 ve AA6082 alaşımlarının yüzeyleri sert eloksal ile kaplanarak aşınma dirençlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda iki farklı alaşımdaki numuneler değişik akım,sıcaklık ve sürelerde yapılan sert eloksal işlemi ile 35 ±5 μm kalınlığında kaplanmış ve kuru kayma koşullarında yapılan testlerle aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma testleri karşı yüklemeli (reciprocating) aşınma test cihazında gerçekleştirilmiş olup, aşındırıcı olarak alumina top kullanılmıştır.

3 farklı işlem koşulunda kaplanan numuneler karşılaştırıldığında 2. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numuneler en yüksek sertlik ve en iyi aşınma direncini göstermiştir. 2. grup numunelerin ardından en yüksek sertlik ve en iyi aşınma direncini 1.grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numuneler sergilemiş ve 3.grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numuneler bu 3 grup arasında en kötü sonuçları vermiştir.

En son olarakta kaplamasız AA 6061 ve AA6082 numunelere aynı şartlarda sertlik ve aşınma deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlardan sert eloksal ile kaplanmış numunelerin aşınma dirençlerinin kaplamasız numunelerden 25-30 kat daha iyi olduğu görülmüştür.

INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOUR OF HARD ANODIZED COATED 6XXX SERIES ALUMINIUM ALLOYS

SUMMARY

Aluminium alloys is very important for automobile and aeronautics industries due to the their low strength/weight ratio. However, their low wear resistance restrict the use of aluminium alloys which are widely used in industry. Have been coating the aluminium alloys with hard anodising, not only increase the hardness of alloys but also increase the wear resistance.

This study aims to investigate the wear behaviour of AA6061 and AA6082 which are 6XXX series aluminium alloys. This two aluminium alloy samples have been coated about 35 ±5 μm coating thickness in different anodising process parameters (current, temperature and time) and then wear tests have been done with these samples. The wear tests have been done with reciprocating test equipment and alumina ball was used as a opposite material.

When compare this three different samples group, the samples which were coated 2.group process parameters have showed the best hardness and wear resistantance and the samples which were coated 1.group process parameters have followed the 2. group. the samples which were coated 3.group process parameters have showed the worst hardness and wear resistance.

Finally, wear and hardness tests have been done the uncoated AA 6061 and AA6082 aluminium alloys at the same condition. The results have showed that the wear resistant of coated samples 25-30 times better than uncoated samples.

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek elektrik ve termal iletkenlik ve mükemmel korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle özellikle otomobil sektörü ve havacılık sektörü için çok önemli bir malzemedir. Ancak sahip oldukları düşük sertlik ve düşük aşınma dirençleri, aluminyum alaşımlarının kullanımını kısıtlamaktadır. Elektrokaplama, fiziksel buhar biriktirme ve son dönemde ortaya çıkan mikro ark yöntemleri ile aluminyum alaşımlarının aşınma dirençleri geliştirilmektedir.

Sert eloksal kaplama yöntemi, aluminyum alaşımlarının aşınma özelliklerini geliştirmek amacıyla son 20 yıldır uygulanan bir yöntemdir. Diğer eloksal kaplama işlemleri ile karşılaştırıldığında sahip olduğu yüksek asit kosantrasyonu, yüksek akım yoğunluğu ve düşük elektrolit sıcaklığı nedeniyle, malzemeye çok iyi aşınma özellikleri kazandırmaktadır. Temel olarak asit karakterli eloktrolit bulunan banyolarda, sisteme akım verilerek anot olarak işlev gören malzemenin yüzeyinin oksiti ile kaplanmasıdır.

Bu çalışmada aluminyum 6XXX serisi aluminyum alaşımları olan AA6061 ve AA6082 alaşımlarına 3 farklı değişken parametreler ile uygulanan sert eloksal kaplamanın etkisi, kuru ortam aşınma testleri ile incelenmiştir. Son olarak da AA 6061 ve AA6082 nin kaplamasız ve sert eloksal kaplamalı numunelerin aşınma dirençleri karşılaştırılmıştır.

2. ALUMİNYUM VE 6XXX SERİSİ ALUMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Aluminyum ve Özellikleri

Alüminyum bugün yıllık 24 milyon ton ile dünyada en çok kullanılan demir dışı metaldir. Bu 24 tonun 18 tonu birincil üretimdir. Sahip olduğu iyi mukavemet/ağırlık oranı ile özellikle otomobil sektörü ve havacılık sektörü için vazgeçilmez bir metaldir [1].

Tablo 2.1. Saf Aluminyumun Özellikleri [1]

Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26.97 gr/mol
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Küp
Yoğunluğu	2.7 gr/cm^3
Ergime noktası	660 ^{0}C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150-300 ^{0}C
Buharlaşma noktası	2450 ^{0}C
Özgül ısı	0.224 cal/gr
Elastisite modülü	72x10^3
Kayma modülü	27x10^3
Çekme Mukavemeti	40-90 Mpa
Akma mukavemeti	10-30 Mpa
Kopma uzaması	% 30-40

Alüminyum alaşmları ürüne şekil verme yöntemine göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar ;

* İşlem (dövme) aluminyum alaşımları
* Döküm aluminyum alaşımları

Bu ayrım sonucunda ülkeler kendi standartlarını geliştirmişlerdir. Aluminyum işlem alaşımları için yaygın olarak kullanılan ve "Aluminyum Birliği" tarafından geliştirilen bir simgeleme methodu tabloda verilmektedir [1,2].

2.2 6XXX Serisi Aluminyum Alaşımları

Tablo 2.2. Aluminyum İşlem Alaşımlarının Gösterimi [1]

SİMGE	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ
1XXX	Saf Aluminyum (%99.00 Al)
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

Tablo 2.2. den görüldüğü gibi 1xxx serisi saf aluminyumu temsil etmektedir. 2xxx den 8xxx e kadar olan seride ise ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam alaşım kompozisyonundaki değişimi ve son iki rakam ise değişik alaşımları tanıtmak amcıyla kullanılır [3].

Bu çalışmada 6xxx serisinden olan 6061 ve 6082 aluminyum alaşımları kullanılmıştır. 6xxx serisi tablodan da görüldüğü gibi Al-Mg-Si alaşımlarıdır ve yine tablo 2.2. den görüldüğü gibi 6xxx serisini diğer serilerden ayıran özellik içinde aluminyuma katkı elementi olarak bulundurduğu Magnezyum ve Silisyumdur.

2.2.1 Magnezyum ve Silisyumun Etkisi

Magnezyum etkisi: 6xxx serisinde aluminyuma ilave edilen magnezyum alaşıma yüksek mukavemet ve süneklik ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. Ayrıca kaynak kabiliyetini arttırır. % 8 den fazla mg içeren Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri ısıl işlemle geliştirilebilir ve ayrıca dövme alaşımlarında % 1-6 Mg şekil verme kolaylığı için kullanılır.Son olarak da magnezyum Al-Si alaşımlarına da ısıl işlem yapabilme kabiliyeti kazandırmak için ilave edilir [4].

Silisyum etkisi: Silisyum bakırdan sonra aluminyuma ilave edilen en önemli alaşım elementidir. En fazla % 13 dolayında bulunabilen silisyum sıvı aluminyumun akışkanlığını arttırır. Silisyum özellikle Mg, Ni ve Cu ile birlikte ısıl işlem ile sertleştirilebilen alaşım yapar. Ancak bu alaşımların çekme mukavemeti değerlerinin yüksekliği ilave edilen silisyum miktarı ile doğru orantılıdır [4].

Si ilavesi ile ile akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliği sağlanır. Si ilave edilen alaşımlarda mekanik özellikler alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şeekil ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz yüksek mukavemet verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür [4].

6xxx serisinde daha öncede belirtildiği gibi aluminyuma silisyum ve magnezyum ilave edilmektedir. İlave edilen bu elementler fiziksel ve mekaniksel özellikleri geliştirmektedir. Bu duruma ek olarak alaşımın önemli mekanik özelliklerinden biri olan sertliğini arttırmak için uygulanan çok önemli bir işlem daha bulunmaktadır. Bu işlem ısıl işlemdir.

2.2.2 Isıl işlem

Aluminyum alaşımlarına uygulanan sertleştirme amaçlı ısıl işlemle sertlik artışı, ikinci faz partiküllerinin ince ve homojen olarak matris içinde çökelmesiyle sağlanır ve bundan dolayı bu sertleştirme işlemine çökelme sertleştirmesi denir. Çökelme sertleştirmesi demir dışı alaşımların sertliklerinin geliştirilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntem özellikle uçak endüstrisinde kullanılan aluminyum alaşımlarımın sertliklerinin arttırılmasında kullanılmaktadır. Bu işlem malzemenin sadece mekanik özelliklerini değil ayrıca manyetik ve iletkenlik özelliklerinide geliştirmektedir [5].

Çökelme sertleşmesi işlemi herhangi bir plastik deformasyona ihtiyaç duyulmaksızın malzemenin sertliğini arttırabilmesi ile endüstride önem arz etmektedir. Genel olarak bu işleme bakılacak olursa, öncelikle bir malzemenin çökelme sertleşmesi ile sertleştirilebilmesi için denge diyagramında solvüs eğrisinin bulunması gerekmektedir. Ayrıca çökelme sertleşmesi işlemi sadece solvüs eğrisinin kapsadığı katı eriyik bileşimlerinde meydana gelebilir. Bunun anlamı alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Çökelme sertleşmesi işlemi çözeltiye alma işlemi ve yaşlanma işlemi kademelerinden oluşmaktadır.

Çözeltiye alma işlemi: Bu işlemin amacı, çökelecek fazı içeren aşırı doymuş tek fazlı bir katı eriyik elde etmektir. Bunun için yaşlanabilir A-B alaşımı önce solvüs eğrisinin üzerinde bir sıcaklığa ısıtılır ve bu sıcaklıkta ikinci faz (beta fazı), alfa katı eriyiği içerisinde tamamen çözününceye kadar tutulur. Daha sonra bu sıcaklıkta yapı

tamamen alfa ya dönüştükten sonra alaşm aniden soğutulur ki bu işleme su verme adı verilmektedir. Ani soğuma sonrasında beta fazının çökelelmesi engellenmiş olur ve oda sıcaklığında aşırı doymuş alfa katı eriyiği elde edilir.

Yaşlandırma işlemi: Çözeltiye alma işlemi sonucunda elde edilen aşırı doymuş alfa katı eriyiği içinde sıcaklık ve zaman etkisiyle ikici faz çökelir.

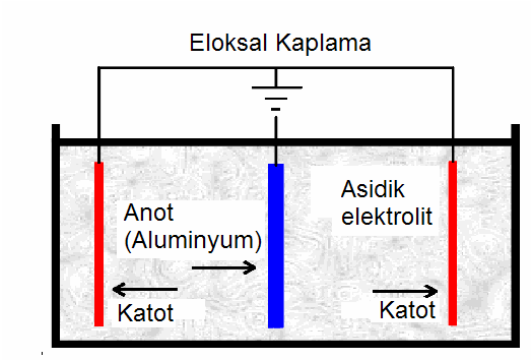
alfa (aşırı doymuş) $\longrightarrow$ alfa-beta (çökelti)

Bu dönüşümün gerçekleşmesi için önce beta fazının çekirdeklenmesi ve sonrasında yayınma ile büyümesi gerekir. Alaşım ani soğutma sonra oda sıcaklığında tutulursa yayınma hızı çok yavaş olduğundan beta çökelti fazı oluşmaz yada oluşması uzun süre alır. Çökelme oda sıcaklığında meydana gelebiliyorsa bu alaşımlara "doğal olarak yaşlanan alaşımlar" denir. Yayınma hızını arttırmak amacıyla ani soğutulmuş alaşım oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklık değerine çıkarılır ve bu sıcaklık değerinde tutulursa çökelme daha kısa bir sürede meydana gelir. Bu işleme "yapay yaşlandırma" denmektedir [5].

3. ELOKSAL (ANODİZASYON) KAPLAMA

3.1 Eloksal Tanımı

Aluminyum oksijen afinitesi yükek bir metal olmasından dolayı yüzeyinde dışarıdan hiçbir işlem uygulanmaksızın bir aluminyum oksit filmi oluşur. Bu film yüzeyi bir miktar sertleştirmekle birlikte çok ince olmasından dolayı hiçbir endüstriyel katkı sağlamamaktadır. Bu nedenle aluminyum ve alaşımlarının endüstriyel uygulamalar için çeşitli yüzey işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu yüzey işlemlerinden biride eloksal yüzey işlemidir. Eloksal, alüminyum yüzey işlem diline Almanca'dan girmiş bir terimdir. Uluslararası terminolojide "Anodik Oksidasyon" veya "Anodizasyon" olarak tanımlanır. Eloksal, alüminyum için çok özel bir yüzey kaplamadır. Eloksal işlemi yüzeyde yapay bir oksit tabakası oluşturma işlemidir ve bu işlem elektrokimyasal bir prosestir. Eloksal işleminde iki temel reaksiyon vardır. Bunlar anot ve katot reaksiyonlarıdır [6].



Şekil 3.1: Eloksal İşlem Banyosu

Anot Reaksiyonu :

Anot (Aluminyum) yüzeyinde meydana gelen oksidasyon reaksiyonudur.

$2Al$ (metal) + $3H_2O \rightarrow Al_2O_3$ (oksit kaplama) + $6H_2$ + 6e

Bu proseste aluminyum su ile reaksiyona girerek anodik oksit kaplama oluşturur.

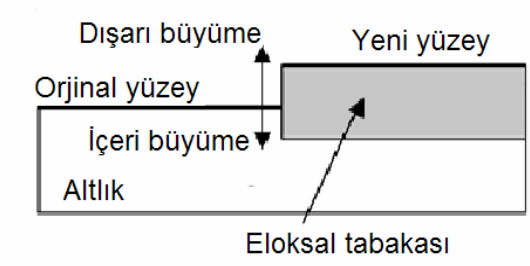
Katot Reaksiyonu: Katot yüzeyinde meydana gelen indirgenme reaksiyonudur.

$6H + 6e \rightarrow 3H_2$ (gaz)

Hidrojen gazı katotda toplanır ve anodizasyon prosesi boyunca baloncuk şeklinde çıkar.

Sonuç olarak aluminyum okside olur ve buna anodize denir ve hidrojen gazı katotda toplanır.

Eloksal işlemi anodizasyon tankında gerçekleşmektedir. Eloksal tankında, anot ve katot reaksiyonlarının gerçekleşmesini sağlayan **elektrolit** adı verilen kimyasal bir çözelti bulunmaktadır. Bu çözeltinin görevi akımın (DA) daha kolay akmasını sağlamaktır.Akım uygulandığı zaman elektrolit içindeki su parçalanır ve oksijen anotta toplanır. Daha sonra bu oksijen aluminyumla birleşerek yüzeyde aluminyum oksit filmi oluşur. Elektrolit genelde sülfirik asit ve az miktarda oxalik asit içerir. Elektrolit içindeki asit yüzeyde oluşan oksit filmi parçalamaya çalışır ve bunun sonucunda aluminyum yüzeyinde porlu bir oksit film oluşur [6].



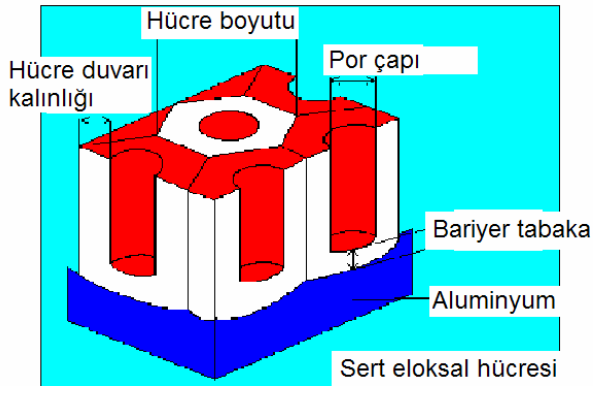
Şekil 3.2: Eloksal Kaplama Yapısı

3.2 Eloksal Tabakasının Özellikleri

Eloksal tabakasının alüminyuma tutunması, alüminyum ile bütünleşerek oluşmasından dolayı mükemmel sonuç verir. Eloksal tabakası çok sert (Al_2O_3=Korundum) ve böylece aşınmaya karşı çok dayanıklı olduğundan, alüminyuma üstün özellikler kazandırır. Tespit işlemi tamamlanmış bir eloksal tabakası çeşitli asit ve diğer kimyasallara karşı dayanıklı olduğundan, birçok ortamda alüminyumu korozyona karşı korur. Eloksal tabakasının şeffaf yapısı, alüminyumun metalik görünümünü ortaya çıkarır, ve bu özellik sayesinde alüminyum yüzeyine parlak veya mat görünüm verecek çeşitli mekanik veya kimyasal işlemler uygulanabilir.

Eloksal kaplama 2 tabaka içerir. Bunlar; içerdeki ince ve yoğun tabaka ki buna bariyer tabaka denmektedir, ve bu tabakanın üzerinde gelişen kalın ve porlu bir yapıya sahip olan dış tabaka. İçteki tabaka oldukça incedir ve oluşan filmin kalınlığının % 0.1- 2 si bu içteki tabakaya aittir ve bu tabakanın kalınlığı elektrolitin kompozisyonu ve çalışma koşullarına bağlıdır. Dış tabaka ise elektrolitin etkisinden dolayı porlu bir yapıya sahiptir.

Aşağıdaki şekilde tipik bir eloksal kaplama hücresinin yapısı görülmektedir.Hücre boyutu iki adet hücre duvarı kalınlığı ve por çapının toplamına eşittir [7].



Şekil 3.3: Eloksal Hücresinin Yapısı

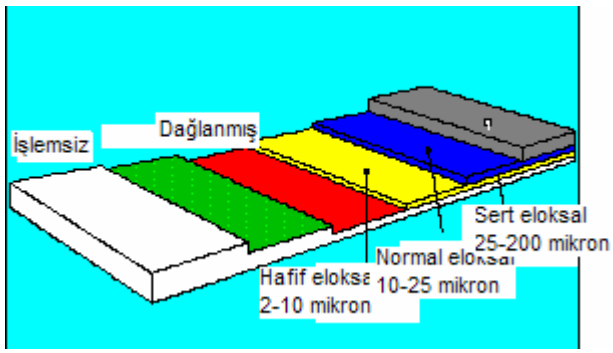
Eloksal tabakası, elektrik yalıtkanıdır. Elektrik geçirgenliği için, tabaka kalınlığının her mikronu için 40V gerekir. Bununla birlikte, gerçek değer, alüminyum alaşımına bağlıdır, Al-Si5% alaşımında, eloksal tabakasının geçirgen olması için 25V yeterli olur.

Daha önceden belirtildiği gibi oluşan oksitin yapısı elektrolit ve anodizasyon koşulları tarafından kontrol edilmektedir. Eğer anodik oksit elektrolitte çözünmez ise, sonuçta oluşan oksit ince, porsuz ve yalıtkan bir yapıya sahip olmaktadır. Eğer anodik oksit elektrolitte çözünebilir ise oluşan yapı porlu bir yapı olmaktadır. Oksit doğru akım etkisi altında büyürken, öte yandan çözünür ve porlar gelişir. Temel olarak porozite 4 ana parametreye bağlıdır. Bunlar elektrolitin tipi ve konsantrasyonu, elektrolit sıcaklığı ve etki boyutu, anodizasyon tankında geçen süre, akım yoğunluğudur.

Porozite kontrolü bu proseste oldukça önemli bir parametredir. Çünkü porozite miktarı incelenerek yapılan anodik oksit kaplamanın kalitesi hakkında bir fikir edinilebilir. Yüksek porozite düşük kalite ve düşük porozite yüksek kalite anlamına gelmektedir. Ayrıca yüzeyin renklendirilmesi işlemide porlarla bağlantılı bir işlemdir.

3.3. Sert Eloksal

Sert eloksal temel karakteristiği yüksek aşınma dayanımı olan anodik kaplamayı ifade etmektedir. Bu kaplama diğer anodik kaplamalara göre daha kalındır.Bu işlemle üretilen kaplamalar özel anodizasyon koşullarında üretilmektedir. Kalınlık genellikle 25 ile 250 µm arasında olmaktadır ve eloksal kaplama işlemi süresi yaklaşık olarak 240 dakikadır.



Şekil 3.4: Farklı Eloksal Kaplamaların Kalınlık Ve Renkleri

Görüldüğü gibi sert eloksal (hard anodising) kaplamanın kalınlığı diğer eloksal kaplama çeşitleri ile karşılaştırıldığında en fazla olan eloksal kaplamadır.

Sert eloksal işleminin temel parametreleri; elektrolit konsantrasyonu : 5-15 % (hacimce) sülfirik asit, akım yoğunluğu : 2-5 A/dm2 (Doğru akım), voltaj : 23-120

volt ve sıcaklık -5 ile 5 C arası olmalıdır.

Sert eloksal işlemi ile elde edilen kaplamanın bu denli yüksek bir aşınma direncine sahip olmasının sebebi düşük anodizasyon sıcaklığı, düşük elektrolit konsantrasyonu ve yüksek akım yoğunluğudur [8].

4. AŞINMA

4.1 Aşınmanın Tanımı

Aşınma nın anlaşılabilmesi için öncelikle sürtünme ve sürtünme kuvvetinin anlaşılması gereklidir. Birbiri üzerinde kayan katı cisimlerin hareketlerine karşı gösterilen teğetsel direnç sürtünme olarak ifade edilir [9].

Bilindiği gibi, iki malzeme birbirine temas edecek şekilde yerleştirilirse, bu malzemelerden birini diğeri üzerinde kaydırmak için uygulanan kuvvete sürtünme kuvveti direnç gösterir. Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile, temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (W) arasında ;

$$F_s = \mu_s \cdot W \qquad \textbf{(4.1)}$$

bağıntısı mevcuttur. Burada μ_s statik sürtünme katsayısıdır.

Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda

$$F_k = \mu_k \cdot W \qquad \textbf{(4.2)}$$

bağıntısı yazılabilir. burada $\mu_k < (\mu_s)$ kinetik sürtünme katsayısıdır [8].

Kayma temasında sürtünme, yüzeylerin karşılıklı etkileşimi ile açıklanmıştır. İki yüzey temas noktasında yük uygulandığında yüzeyler arasında adhezyon gerçekleşir. Bu iki yüzeyden biri diğerine göre göreceli olarak hareket ettiğinde, cisimlerin kayma mukavemeti harekete karşı direnç gösterir. Kayma süresince yüzeyler arasında oluşan mikro kaynak bağlantıları bu noktalarda sürekli olarak kırılmayı gündeme getirebilir.

Ayrıca çizik oluşum mekanızmasının da sürtünmeye etkisinin olduğu bilinmektedir. Sert partiküllerin yumuşak malzeme yüzeyine batması ve yumuşak malzeme yüzeyinde plastik akışla oyuk oluşturmasıyla harekete karşı direnç meydana gelmektedir.

Sürtünmeye, plastik deformasyon hasarlarının etkiside çok önemlidir. Birbiri üzerinde kayarken yüzey pürüzlülükleri plastik olarak deforme olan iki malzemenin

birbirlerine göre hareketlerine karşı bir direncin ortaya çıktığı görülmektedir. Ayrıca ara yüzey sıcaklığı yükselmeksizin kayma meydana geldiğinde kimyasal özelliklerden çok mekanik özelliklerin sürtünme davranışını etkilediği görülmüş ve sürtünmeye pürüzlerin deformasyonu, yapışma ve çizilme olmak üzere üç temel mekanizmanın etki ettiği görülmüştür [10].

Bilindiği gibi malzeme yüzeyleri hernekadar pürüzsüz hale getirilmeye çalışılsada bu durum pratikte mümkün değildir. Bu nedenle iki yüzey birbiri ile temas ettiğinde, gerçek temas bir takım pürüzlülüklerin birbirine temas ettiği noktada olur. Bu durumda yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlülüklerin birbirine değdiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Başlangıçta çok düşük yük seviyelerinde pürüzler temas ettikleri noktalarda elastik deformasyona uğrarlar. Fakat daha büyük yüklerde pürüzlerin uçlarında büyük miktarda plastik deformasyon olur.

4.2 Tribolojik Sistem

Aşınma, genellikle temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanır. Bir aşınma sisteminde;

1- Ana malzeme (aşınan)

2- Karşı malzeme (aşındıran)

3- Ara malzeme

4- Yük

5- Hareket

aşınmanın temel unsurlarıdır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem tribolojik sistem olarak adlandırılmaktadır [11].

4.3 Aşınma mekanizmaları

Temel olarak bakıldığında aşınma mekanizmalarını adhezif aşınma, abrazif aşınma, oyuklanma ve yenme aşınması ve kimyasal veya yıpranma aşınması olamak üzere 4 ana grupta toplanabilir [11].

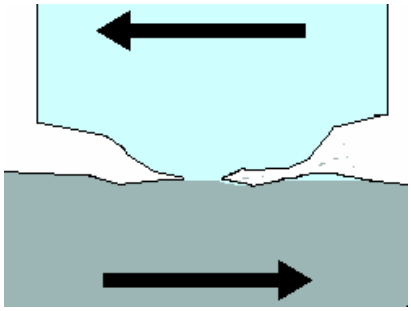
4.3.1 Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması):

En sık rastlanan aşınma türü olan adhezif aşınma genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma en genel olarak karşılıklı etkileşim içinde

birbirlerine göre hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir.

İki ayrı metal yüzeyi belli bir basınç altında birbirleri ile temas ettiğinde, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı pürüzler gerek sürtünme neticesinde oluşan ısı, gerekse de soğuk kaynak etkisi sonucu birbirleriyle bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, yüzeyin diğer bölgelerindeki pürüzlerde oluşan bağdan daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirlerine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki pürüz, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopar. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında bir çok kez tekrarlanması ile adhesif aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır.

Adhesif aşınma, özellikle birbiri ile kayma sürtünmesi yapan malzeme çiftinde meydana gelen kaynak olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerin, yüzey pürüzleri nedeniyle, ancak küçük bir kısmı birbirleriyle temas halindedir. Bu küçük temas yüzeylerindeki gerilmeler çok küçük yüklemelerde dahi malzemenin akma mukavemetinden daha büyük değerlere ulaşabilirler. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi, birbirine bağlanan pürüzlerde ve küçük parçacıkların kesilmesi ile meydana gelir [11].

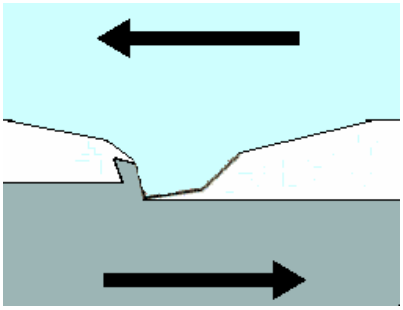


Şekil 4.1: İki Elemanlı Adhesive Aşınma

4.3.2 Abrazif Aşınma:

Yırtılma ve çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrazif aşınma, biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerin birbirleriyle temas halindeyken kayması

sonucu meydana gelir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması sonucu da abrazif aşınmaya neden olabilmektedir [11].



Şekil 4.2: İki Elemanlı Abrasif Aşınma

Abrasif aşınmayı oymalı sürtünme aşınması, koparmalı sürtünme aşınması ve erozyon aşınması olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

Oymalı sürtünme aşınması; yüzeyin kütlesel ve fiziksel deformasyonu sonucudur ve aşırı yüklemeler etkisi ile meydana gelir. Koparmalı sürtünme aşınması; yüksek yükler altında aşınma parçalarının kırılarak, küçük keskin köşeli parçacıklar oluşturup yüzeyi delerek ve çizerek malzeme kaybına sebep olması sonucu meydana gelir. Erozyon aşınması ise, gaz ve sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye teması sonucu meydana gelen aşınmadır.

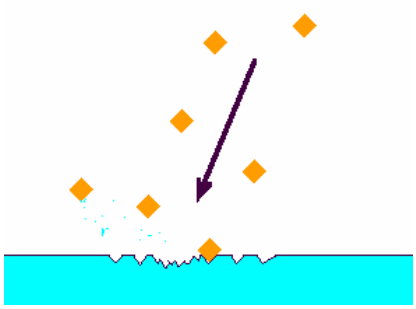
Abrazif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Yükün azaltılması ile aşınma parçacıklarının yüzeye daha az batması ve çapak sırasında daha az iz bırakması sağlanır. Malzeme açısından bakıldığında, daha sert alaşım kullanmak veya yüzeyin sert bir tabaka ile kaplanması abrasif aşınma hızını düşüren temel etkenler olmaktadır [11].

4.3.3 Oyuklanma ve Yenme Aşınması:

Aşınma açısından oyuklanma, yüzey metalinin yorulma hasarına uğraması sonucu ortaya çıkar. Tekrarlı düşük gerilmeler etkisiyle metal yüzeyinde oluşan oyuklar genellikle üçgene benzer olup, yüzeyin dönme yönüne göre yönlenmiştir.

Yenme oyuklanmanın özel bir türü olup, çok sayıda oyukların birleşmesi ve çatlakların yüzeye paralel olarak ilerlemesi ile ortaya çıkmaktadır. Çatlak ilerlemesi, yüzeyi sertleştirilen malzemelerde, sert yüzey tabakası ile yumuşak bölge ara yüzeyi civarında olur. Bu tür aşınma, yüzey altı malzemesinin kayma gerilmesine yeteri

kadar dirençli olmaması nedeniyle ortaya çıktığı için genellikle sertleştirme derinliğinin arttırılması ile azaltılabilir [11].



Şekil 4.3: Oyuklanma Ve Yenme Aşınması

4.3.4 Kimyasal ve Yıpranma Aşınması:

Kimyasal reaksiyonla meydana gelen kimyasal aşınma, mekanik mekanizmalarla birlikte çevrenin etkisi ile başlamaktadır. Kimyasal reaksiyonla sürtünmenin bileşimi, aşınma ürününün oluşumuna ve malzemenin ayrılmasına neden olur. Sürtünme, yüzeyde sıcaklık artışına neden olur ve oluşan kimyasal reaksiyonla birlikte daha çok yüzey çatlakları meydana gelir. Bunun anlamı yüzeyde oluşan kimyasal reaksiyon yüzeyi zayıflatır ve bunun sonucunda yüzeyin yeni çatlak oluşumuna karşı olan direnci azalır.

Yıpranma da korozyon etkisi ile meydana gelen bir aşınma türü olup, metal yüzeyinde oyuk şeklinde görülür. Sürtünen iki yüzey arasında meydana gelen aşınma ürünlerinin yüksek sürtünme sıcaklığı etkisiyle oksitlenmesi ve bunun sonucunda abrazif karakterli metal oksitler meydana getirmesi aşınma hızını arttırmaktadır [11].

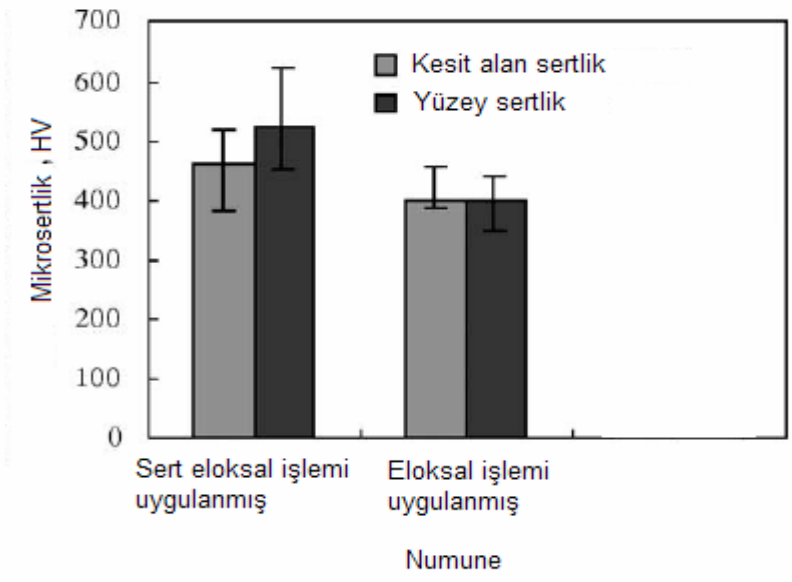
5. KONUYLA İLGİLİ YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR

Li ve arkadaşları bir Al-Si alaşımı numunenin iki farklı yüzey işlemi olan eloksal işlemi ve sert eloksal işlemi ile kaplanması sonucu oluşan kaplamaların sertliğini incelemiştir[12]. Şekil 5.1. de her iki kaplama işlemininde şartları verilmiştir.

Tablo 5.1: İşlem Parametreleri [12].

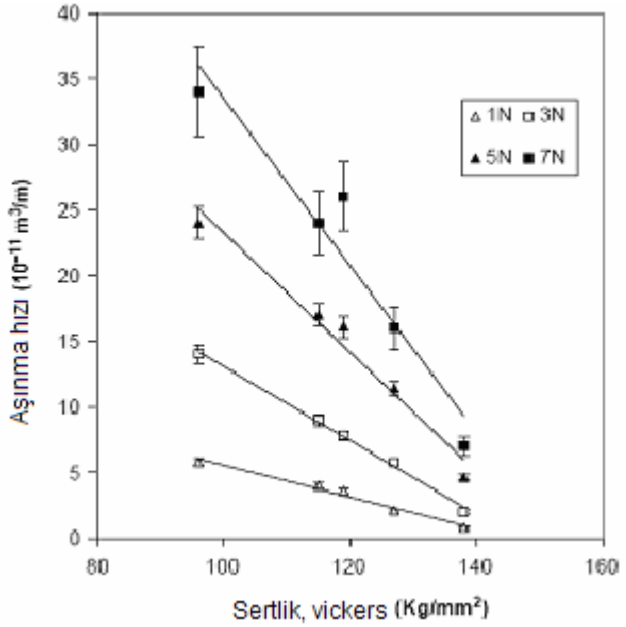
Numuneler	Sıcaklık (°C)	Akım yoğunluğu (A/cm^2)	İşlem süresi (dak)	Kaplama kalınlığı (μm)	Kaplama sertliği ($HV_{0.1}$)	Yüzey sertliği ($HV_{0.1}$)
Sert eloksal	0–4	0.016	15	20	462.3	524.7
Eloksal	25±1	0.016	15	13	399.1	400.3

Tablo 5.1 den de görüldüğü gibi sert eloksal işleminin gerçekleştirildiği banyo sıcaklığı eloksal işleminin gerçekleştirildiği banyo sıcaklığına göre çok daha düşüktür. Bu durum sert eloksal işlemini diğer eloksal işlemilerinden ayıran temel bir noktadır. Sert eloksal işlemi sonucunda oluşan kaplama, eloksal işlemi sonucunda oluşan kaplamadan daha kalın ve daha serttir. Bu sertlik farkı şekil 5.1. de görülmektedir.



Şekil 5.1: Eloksal Ve Sert Eloksal Kaplamanın Sertlik Farkı [12].

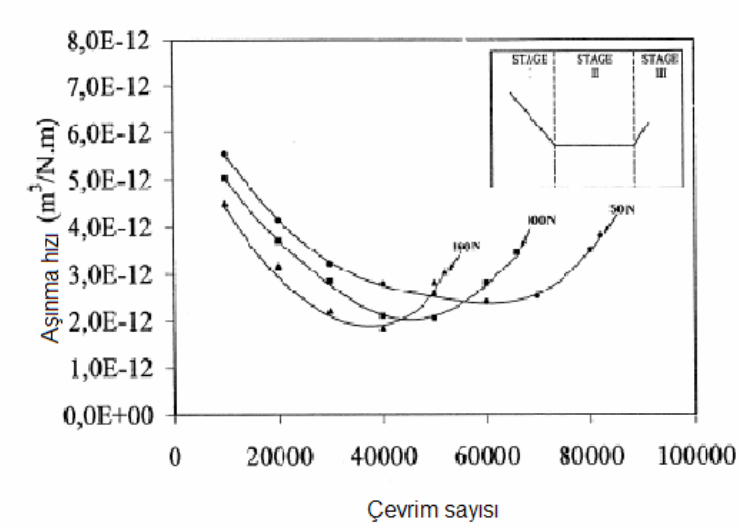
Mondal ve Das, SiC ile güçlendirilmiş aluminyum alaşımlarının artan yükle değişen aşınma davranışlarını incelemiştir[13]. Şekil 5.2. de 4 farklı oranda SiC içeriğinden dolayı farklı sertlikteki numunelerin, 4 farklı deney yükünde yapılmış aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınma hızı- sertlik grafiği verilmektedir.



Şekil 5.2: Farklı Deney Yükleri İçin Aşınma Hızı-Sertlik Değişimi [13].

Grafikten elde edilecek ilk sonuç sertlik arttıkça aşınma hızının düşmesidir. Bu sonuçdan daha sert malzemelerin aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Grafikten çıkarılabilecek diğer bir sonuç ise artan deney yükü ile aşınma hızının artmasıdır.

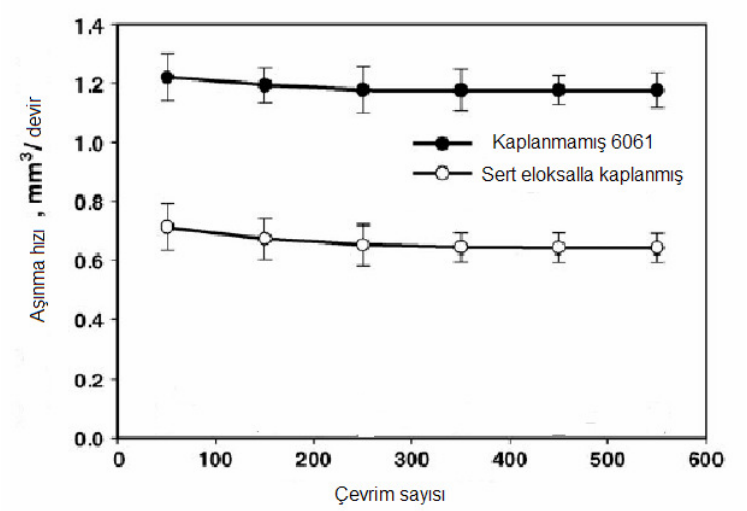
Pantelis ve arkadaşları , plazma-sprey yöntemiyle kaplanmış bir alumina kaplamanın aşınma davranışını incelemiştir [14]. Yapılan çalışmada 3 farklı yükün ve artan çevrim sayısının aşınma hızına etkisi incelenmiş ve şekil 5.3. de verilmiştir.



Şekil 5.3: Farklı Deney Yükleri İçin Aşınma Hızı-Çevrim Sayısı Değişimi [14].

Şekil 5.3. incelendiğinde ilk olarak aşınma hızının ve yüzey pürüzlülüğünün giderek düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak uygulanan yük neticesinde oluşabilecek deformasyon sertleşmesini gösterebilir. Aşınmanın bu ilk aşamasında, aşınan yüzeylerin sahip olduğu yüksek pürüzlülük sonucu oluşan kayma gerilmesinden dolayı aşınma adhezyon mekanizması şeklinde meydana gelmektedir. Aşınma deneyinin ilerleyen aşamalarında aşınma hızı kararlı bir hal almakta ve bu bölümde aşınma hızı değişmemektedir. Aşınma kendini abrezyon aşınma şeklinde göstermekte ve yorulma çatlakları oluşmaktadır. En son aşamada ise bütün kaplamanın aşınma sonucu ortadan kalkması ile aşınma hızı hızla artmaktadır. Ayrıca artan deney yükünün etkiside grafikten görülmektedir.

Krishna ve arkadaşları, günümüzde en çok kullanılan yüzey işlemlerinden biri olan sert eloksal işleminin etkisini incelemek amacıyla yüzeyi sert eloksal işlemi ile kaplnmış AA 6061 aluminyum alaşımı ile yüzeyi kaplanmamış AA 6061 alaşımını aynı şartlarda aşınma deneylerine tabi tutmuştur [15]. Şekil 5.4' deki grafikte bu iki deney numunesinin aşınma hızı-çevrim sayısı değişimleri görülmektedir.



Şekil 5.4: Kaplanmamış Ve Sert Eloksal İle Kaplanmış İki Numunenin Aşınma Hızı- Sertlik Değişimi[15].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Kaplama Prosesi

Bu çalışmadaki 2 farklı 6xxx serisi aluminyum alaşımı AA6061 ve AA6082 kullanılmıştır.

Tablo 6.1: AA6061 ve AA6082 Aluminyum Alaşımlarının Kimyasal Kompozisyonu

% ağırlık	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Ti	Cu	Zn	Fe
6061	95.8-98.6	0.8-1.2	0.4-0.8	0.04-0.35	Max 0.15	Max 0.15	0.15-0.4	Max 0.25	Max 0.7
6082	95.2-98.3	0.6-1.2	0.7-1.3	Max 0.25	0.4-1	Max 0.1	Max 0.1	Max 0.2	Max 0.5

Her bir alaşımdan hazırlanan numuneler % 16 lık H_2SO_4 içeren banyolarda, değişen akım, sıcaklık ve süre olmak üzere 3 farklı işlem koşulunda kaplanmıştır.

Daha sonra sert eloksal ile kaplanan bu numunelere ilk olarak sertlik testi daha sonra da çizik ve aşınma testleri yapılmıştır.

6061 ve 6082 alşımlarından numuneler öncelikle 152x300 ekstrüzyon ve uygulanan ısıl işlemler sonrası 70x35x5(h) mm boyutlarında kesilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.1: Deneylerde Kullanılan (a) AA6061 ve (b) AA6082 Numuneler

Daha sonra ön işlem aşamasında malzemelerin yüzeyleri perkloretilen ile yağdan arındırıldıktan sonra 70 g/lt NaOH çözeltisi içinde 60-65 C de 3-4 dakika yüzey

oksidasyon parçalama işlemine tabii tutulmuş ve su ile yıkanıp sonrasında 1-3 dakika % 12 lik HNO3 çözeltisi içine daldırılmıştır. Sert eloksal kaplama işleminde ise ön işlemden geçirilen numuneler sert eloksal işlemine hazır hale gelmiş olur. Numuneler ilk olarak su ile yıkanır. Eloksal kaplama işlemi 1000 litrelik % 16 lık H_2SO_4 içeren banyolarda yapılmaktadır.

Tablo 6.2: Değişen İşlem Parametrelerine Göre Gruplanmış Numuneler

	Akım, amper	Sıcaklık, ^{0}C	Zaman, dak
AA 6061-1. GRUP	2.55	0-2	50
AA 6061-2. GRUP	3.43	-4	32
AA 6061-3. GRUP	3.42	8	32
AA 6082-1. GRUP	2.17	0-2	50
AA 6082-2. GRUP	3.43	-4	32
AA 6082-3. GRUP	3.42	8	32

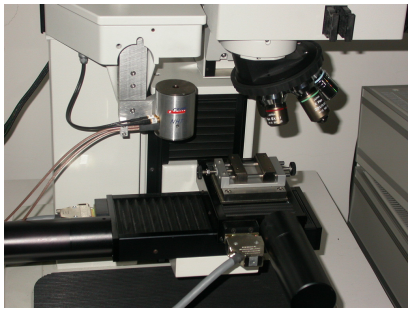
Daha öncede belirtildiği gibi bu çalışmada kullanılan 3 farklı akım, sıcaklık ve zaman değerine göre sert eloksal kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama işlemi sonucunda 35-40 mikron kalınlığında bir sert eloksal kaplama tabakası elde edilmiştir.

6.2 Sertlik Testleri

Çalışmanın ilk aşamasında aşınma testlerinden önce ilk olarak sertlik testi yapılmıştır. Sertlik testleri CSM microsertlik test cihazı ile yapılmıştır. Sertlik testi sayesinde kaplama hakkında temel ancak çok önemli bir fikir elde edilmektedir. Çünkü bir kaplamanın sertliği arttıkça buna paralel olarak kaplamanın aşınma özellikleride gelişmektedir. Bunun anlamı sert bir kaplama aşınma miktarı az olan kaplamadır denilebilir.

İlk olarak kaplamanın sertliğinin doğru belirlenebilmesi için dikkate alınması gereken önemli bir husus bulunmaktadır. Bu husus sertlik değerinin ölçüleceği kaplama derinliğidir. Eğer çok fazla derine inilir ve altlığa çok fazla yakın bir noktadan sertlik ölçümü alınır ise bu durumda elde edilen sonuç üzerinde altlık malzemesinin de bir etkisi olur. Eğer sertlik ölçümü kaplamanın yüzeyine çok yakın bir noktadan alınırsa, elde edilecek sertlik değeri kaplamanın gerçek sertlik değerini temsil edemeyecektir. Bu nedenle sertlik ölçümünde kaplama kalınlığının 1/7 si ile 1/10 u arasında kalan derinlikten ölçümler yapılmalıdır. Bu çalışmada kullanılan numunelerin kaplama kalınlığı ortalama 35 ile 40 mikron arası olduğu için yapılan

sertlik ölçümlerinde kaplama kalınlığı olarak 3,5-5 mikron arası derinlik uygun batma derinliği olarak belirlenmiştir. Sertlik testlerinde 2000 mN yük uygulanmış ortalama 4,5-5,5 mikron civarında bir derinliğe girilmiştir.



Şekil 6.2: CSM Mikrosertlik Cihazı

6.3 Çizik Testleri

Çizik testi, kaplama ile altlık arasındaki uyumu karakterize etmek için yapılan bir testtir. Yani bu test ile kaplamanın altlıkla ne kadar uyumlu olduğu belirlenebilir. Çizik testi sonucunda elde edilen grafikten Lc değerleri olarak bilinen değerler belirlenir. Lc değerleri kaplama da ilk çatlağın oluşması, ilk yanal çatlağın oluşması ve kaplamanın delinip metale girilmesi gibi kritik yük değerlerini ifade eder. Lc değerlerinin grafikten belirlenmesinde, grafikten belirlenecek iki değer önemli rol oynamaktadır. Bunlar sürtünme katsayısı ve akustik emisyon katsayısıdır. Sürtünme katsayısı, bilindiği gibi sürtünme kuvvetinin uygulanan dikey yüke bölünmesi ile elde edilir. Bilindiği gibi çatlak meydana geldiğinde bu aynı zamanda bir ses olarak ortaya çıkar. Çatlak oluşumu sırasında meydana gelen bu ses çizik testi içinde çok önemlidir. Akustik emisyon katsayısı, çizik testi esnasında çatlak oluştuğunda oluşan sesi algılar ve bunu grafikte belirtir. Sürtünme katsayısı ile akustik emisyon katsayısının birlikte pik verdiği noktalar çatlak oluştuğu yani kaplamanın altlıktan ayrıldığı noktalardır.

Yapılan çizik testlerinde minimum 1 N ve maximum 30 N yük aralığı belirlenmiştir. Test 1-30 N arası sürekli yani artan yükleme şartlarında yapılmıştır. Bunun anlamı test 1 N yükleme ile başlayıp yavaş yavaş artarak 30 N değerinde bitmesidir. Test bittikten sonra cihazın kamerası ile oluşan iz üzerinde sadece yatay hareket ederek Lc değerleri belirlenmiştir.

6.4 Aşınma Testleri

Yapılan sert eloksal kaplamanın aşınma davranışının incelenmesi, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Aşınma testleri karşı yüklemeli (reciprocating) aşınma cihazı ile yapılmıştır. Aşınma testinde aşındırıcı top olarak alumina top kullanılmıştır. Alumina top sertliği yaklaşık 1500 Vickers olan çok sert bir malzemedir. Bu aşındırıcı top, numune yüzeyinde ileri geri hareketler yaparak yüzeyde bir aşınma izi oluşturmaktadır.

Hazırlanan deney programı çerçevesinde sırasıyla 150, 200, 300, 400, 500 ve 600 gram lık dikey yükler kullanılmıştır. Diğer bir değişken olarak da test cihazının hızı, düşük hız ve yüksek hız olarak değiştirilmiş ve bu iki farklı hız, belirlenen 6 yük değeri için kullanılmıştır. Aşınma süresi tüm testler için sabit tutulmuş ve 5000 çevrim olarak belirlenmiştir. 5000 çevrimin süre olarak karşılığı düşük hız için 83 dakika ve yüksek hız için 33 dakikadır. Aşınma testlerinde kontrol edilen diğer önemli parametreler ise nem ve sıcaklık kontrolüdür. Aşınma testlerinin yapıldığı ortam nem ve sıcaklık kontrollü bir ortamdır ve nem % 35 ± 5, sıcaklık 20 ± 5 derece aralığında değişmektedir. Aşınma testleri tamamlandıktan sonra, testde kullanılan top yüzeyinin fotoğrafı çekilmiş ve topda aşınmanın olup olmadığı incelenmiştir.

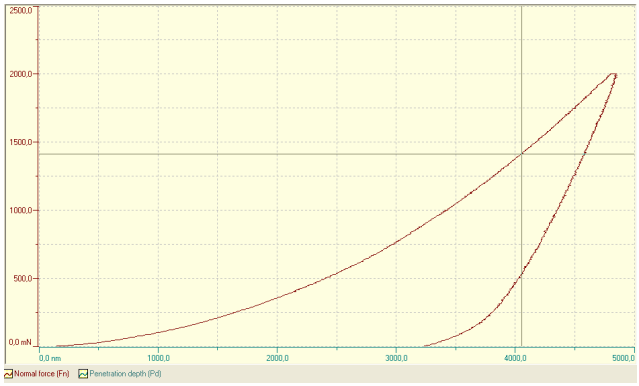


Şekil 6.3: Karşı Yüklemeli (Reciprocating) Test Cihazı

7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

7.1. Sertlik Deney Sonuçları:

Yapılan sertlik deneylerinin sonuçları tablo 7.1. ve tablo 7.2. de verilmiştir. Sertlik testi sonuçları kaplama hakkında oldukça önemli fikirler edinmemizi sağlamaktadır.



Şekil 7.1: Sertlik Testi İçin Dikey Yük-Batma Derinliği Grafiği

Şekil 7.1 deki grafiktende görüldüğü gibi dikey eksen uygulanan yük ve yatay eksen de batma derinliğidir. Deneyde kullanılan numunelerin yüzeyindeki kaplamalar 35 ± 5 µm kalınlığında olduğu için ortalama olarak 3,5-5 µm batma derinliği sertlik deneyleri için uygun derinlik olarak belirlendi. Grafikten batma derinliğinin 3,5-5 µm değer aralığında olduğu görülebilmektedir. Deney sonucunda her iki alaşım grubu (AA6061 ve AA 6082) için sonuçlar incelendiğinde 475-480 Vickers ile 2. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numunelerin en yüksek sertlik değerini gösterdiği görülmüştür. Bu grubu sırasıyla 440-460 Vickers ile 1. ve 380-420 Vickers ile 3. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numuneler izlemiştir. Bulunan sertlik değerleri, Li ve arkadaşlarının [12] bulduğu değerlerle uyumluluk göstermektedir.

Tablo 7.1: AA6061 Alaşımının Sertlik Ve Kaplama Kalınlığı Değerleri

Numune No	Sertlik ($HV_{0,2}$)	Kalınlık (µm)
6061-Kaplanmamış	140 ± 15	--------
6061-1.grup	454 ± 15	35 ± 5
6061-2.grup	480 ± 15	35 ± 5
6061-3.grup	417 ± 15	35 ± 5

Tablo 7.2: AA6082 Alaşımının Sertlik Ve Kaplama Kalınlığı Değerleri

Numune No	Sertlik ($HV_{0,2}$)	Kalınlık (µm)
6082-Kaplamasız	120 ± 15	--------
6082-1.grup	439 ± 15	35 ± 5
6082-2.grup	474 ± 15	35 ± 5
6082-3.grup	385 ± 15	35 ± 5

7.2 Çizik Deney Sonuçları

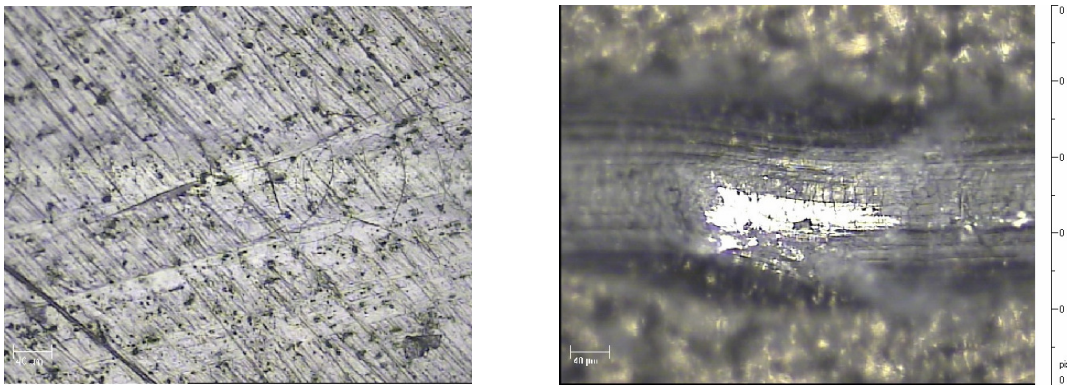
AA 6061 ve AA 6082 alaşımları için 3 değişik işlem parametresini ifade eden 1.grup, 2.grup ve 3.grup numunelere yapılan çizik testi sonuçları Tablo 7.3 de verilmektedir. Tablodaki Lc_1 ve Lc_2 değerleri kritik yüklerdir. Lc_1 değeri ilk dikey çatlağın meydana geldiği kritik yükü ve Lc_2 değeri de kaplamadan metale geçişin meydana geldiği kritik yükü vermektedir.

Tablo 7.3: AA6061 ve AA6082 için 3 Farklı Kaplama Şartı İçin Kritik Lc_1 ve Lc_2 Kritik Yük Değerleri

Numune No	Lc_1 (N)	Lc_2 (N)
6061-1.grup	5,62	9,87
6061-2.grup	7,44	10,46
6061-3.grup	4,96	9,45
6082-1.grup	4,87	8,10
6082-2.grup	6,84	9,54
6082-3.grup	4,14	7,65

Daha öncede belirtildiği gibi çizik testi kaplama ile altlık arasındaki uyumun karakterize edilmesini sağlayan bir testdir ve çizik testi, sonuçlar biribiriyle karşılaştırıldığında anlam kazanmaktadır.Bu karşılaştırmada kullanılacak verilerde Lc değerlerdir. Lc_1 değeri olarak verilen kritik yük değeri ilk dikey çatlağın meydana geldiği değerdir yani kaplamanın altlıktan ilk ayrıldığı yük değeridir. Bu değer ne kadar büyük olursa kaplama ile altlık arasındaki bağlanma o kadar iyi ve kaplama-altlık uyumu o denli yüksektir. Çizik sonuçları incelendiğinde tespit edilen yanal çatlaklar, altlığın plastik deformasyona uğradığının bir kanıtıdır.

Sertlik deneylerinden elde edilen veriler ışığında çizik test sonuçlarını incelediğimizde sertliği en yüksek olan 2.grup olarak nitelendirilen işlem koşulunda kaplanmış numunelerin Lc değerleri en yüksek çıkmaktadır. Bunun anlamı 2.grup en iyi kapalama-altlık uyumunu göstermektedir. 2. grubu sırasıyla 1. ve 3. grup takip etmektedir. Elde edilen bu sonuç beklentilerlede örtüşmektedir. Çünkü 2.grup olarak nitelendirilen işlem koşulunda kaplanmış numuneler aynı zamanda en sert numunelerdir.

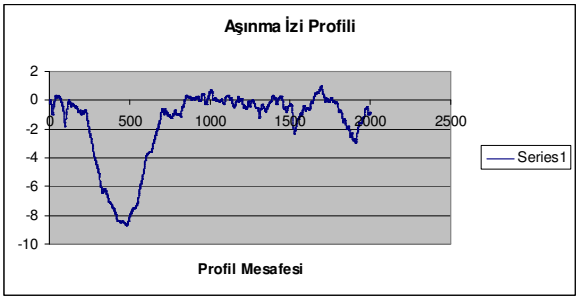


(a) (b)

Şekil 7.2: AA 6061 1.gruba ait Çizik Testi Sonucu Oluşan İz Görüntüleri (a) Dikey Çatlak Başlangıcı (b) Kaplamadan Metale Geçiş

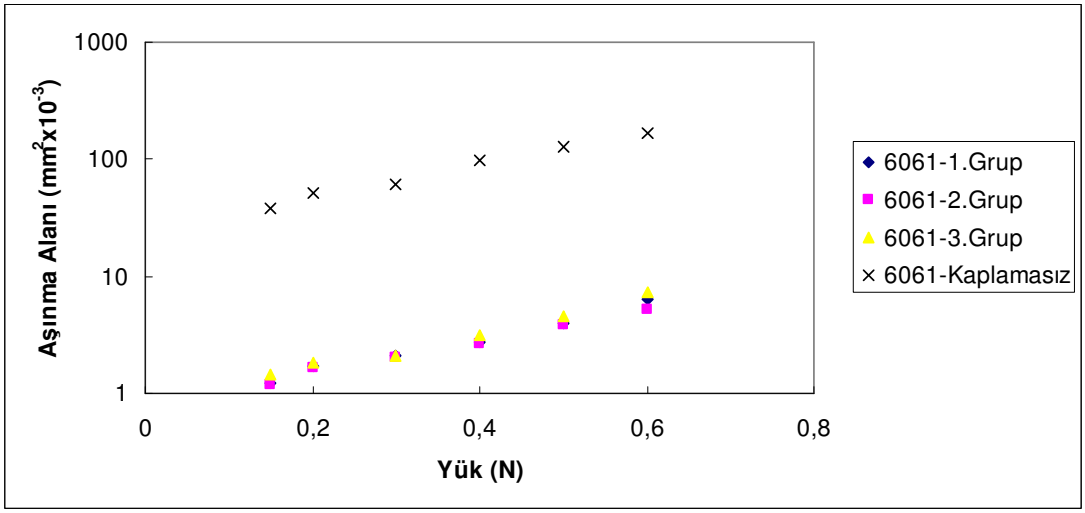
7.3 Aşınma Deneyleri Sonuçları

Kaplamanın ve altlık malzemenin, Al_2O_3 top kullanılarak yapılan aşınma deneyleri sonrası oluşan aşınma izlerine ait iki boyutlu yüzey profilleri şekil 7.3 de görülmektedir.

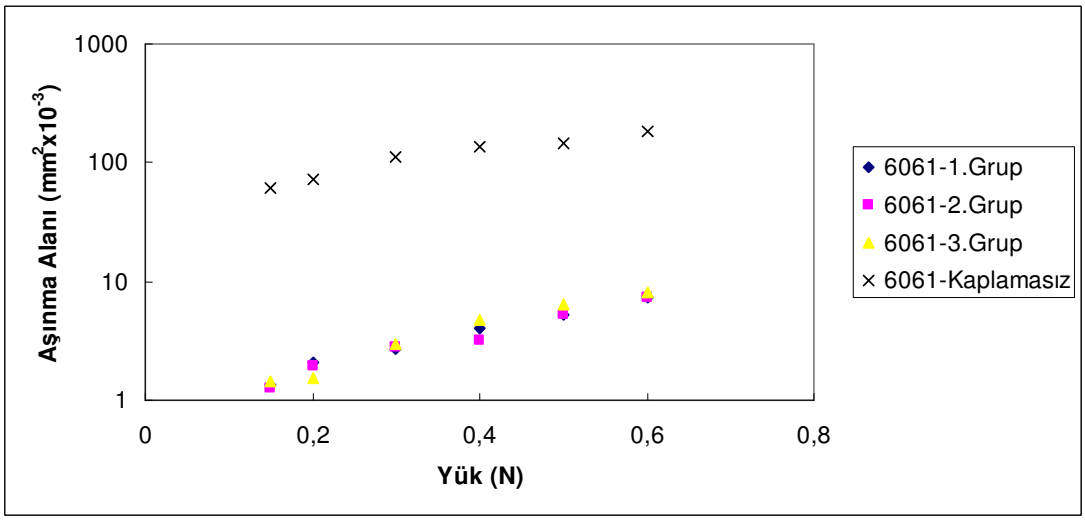


Şekil 7.3: Aşınma Alanlarının Hesaplanmasında Kullanılan Aşınma İzinin Profili

İki boyutlu yüzey profillerinden hesaplanan iz alanlarının da deney yüklerine göre değişimi AA6061 ve AA6082 alaşımları için kullanılan iki farklı kayma hızı için Şekil 7.4 ve 7.5 de çizilmiştir.

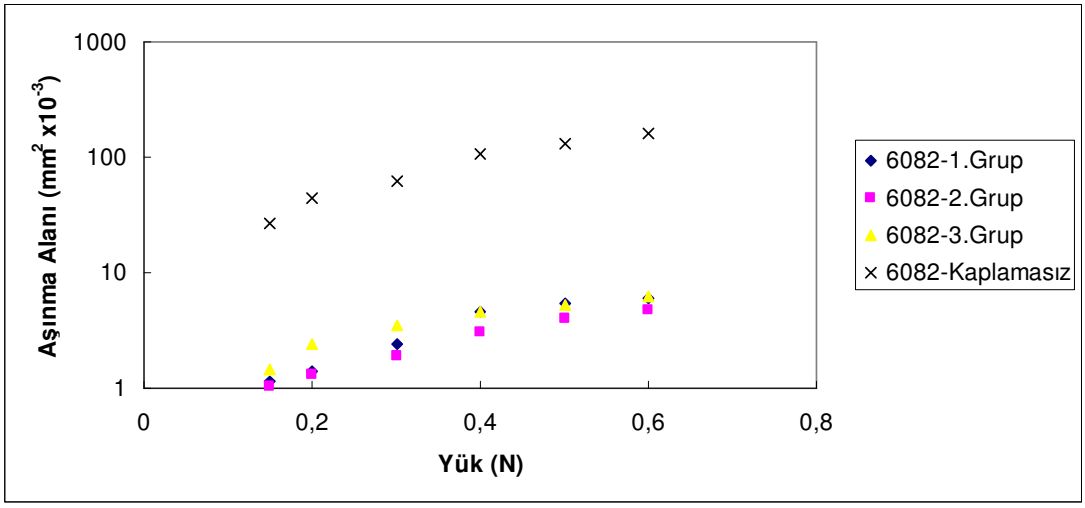


(a)

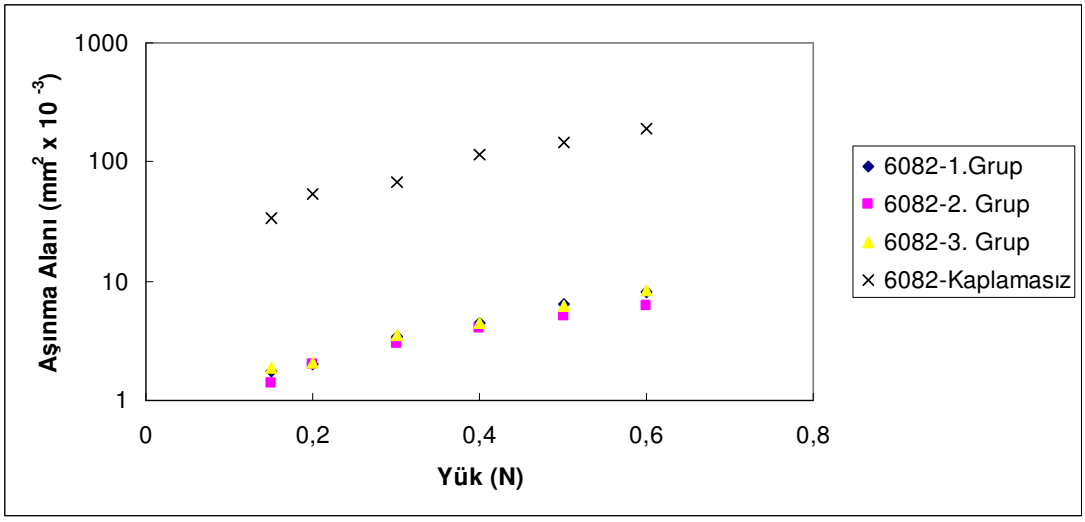


(b)

Şekil 7.4: AA6061'in kuru sürtünme koşullarında (a) Düşük Kayma Hızı (0,02 m/s) ve (b) Yüksek Kayma Hızında (0,05 m/s) Yapılan Aşınma Deneylerinde Numunelerin Yüzeyinde Oluşan Aşınma İzlerinin Alanının Deney Yükü İle Değişimi



(a)



(b)

Şekil 7.5: AA6082 nin Kuru Sürtünme Koşullarında (a) Düşük Kayma Hızı (0,02 m/s) ve (b) Yüksek Kayma Hızında (0,05 m/s) Yapılan Aşınma Deneylerinde, Numunelerin Yüzeyinde Oluşan Aşınma İzlerinin Alanının Deney Yükü İle Değişimi

Gerek AA6061 alaşımında yapılan aşınma deneylerinde gerekse AA6082 alaşımında yapılan aşınma deneylerinde artan deney yükü ile aşınma miktarı (aşınma alanı) artmıştır. Şekil 7.4 ve 7.5 deki grafiklerin eğiminden (mm^2/N) her iki alaşım için ayrı ayrı hesaplanan aşınma hızı değerleri Tablo 7.4. ve Tablo 7.5. de görülmektedir. Bu aşınma hızı değerleri 0,15 N - 0,5N arası için geçerli olmakta 0,6 N için bu aşınma hızı değerleri geçerli olmamaktadır. Bunun nedeni 0,5 N dan sonra grafiğin eğiminde ani artış olması bu da 0,5 N dan sonra aşınmanın karakterinin değiştiğinin bir göstergesidir.

Tablo 7.4: AA6061 için Şekil 7.4 den her iki hız için hesaplanan aşınma hızı değerleri

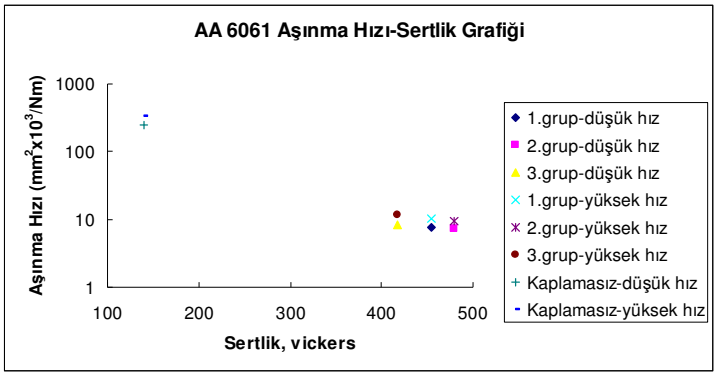
Numune No	Sertlik ($HV_{0,2}$)	Kalınlık (μm)	Aşınma Hızı ($mm^2 \times 10^3/N$)
6061-1.grup-Düşük Hız	454 ± 15	35 ± 5	7,52
6061-2.grup-Düşük Hız	480 ± 15	35 ± 5	7,35
6061-3.grup-Düşük Hız	417 ± 15	35 ± 5	8,40
6061-Kaplamsız-Düşük hız	140 ± 15	------	243
6061-1.grup-Yüksek Hız	454 ± 15	35 ± 5	10,15
6061-2.grup-Yüksek Hız	480 ± 15	35 ± 5	9,44
6061-3.grup-Yüksek Hız	417 ± 15	35 ± 5	11,58
6061-Kaplamsız-Yüksek hız	140 ± 15	-------	328

Tablo 7.5: AA6082 için Şekil 7.5 den her iki hız için hesaplanan aşınma hızı değerleri

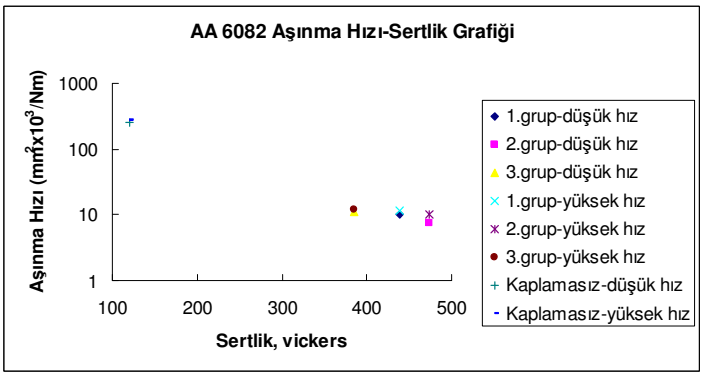
Numune No	Sertlik ($HV_{0,2}$)	Kalınlık (μm)	Aşınma Hızı ($mm^2 \times 10^3/N$)
6082-1.grup-Düşük Hız	439 ± 15	35 ± 5	10,17
6082-2.grup-Düşük Hız	474 ± 15	35 ± 5	7,46
6082-3.grup-Düşük Hız	385 ± 15	35 ± 5	10,98
6082-Kaplamsız-Düşük hız	120 ± 15	------	250
6082-1.grup-Yüksek Hız	439 ± 15	35 ± 5	11,76
6082-2.grup-Yüksek Hız	474 ± 15	35 ± 5	10,11
6082-3.grup-Yüksek Hız	385 ± 15	35 ± 5	11,98
6082-Kaplamsız-Yüksek hız	120 ± 15	-------	273

Tablodan görüldüğü gibi artan sertlik ile aşınma hızı düşmektedir. Bu durum Mondal ve Das'ın [13] kendi çalışmalarında buldukları sonuç ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca Pantelis ve arkadaşlarının [14] yaptığı çalışmayla karşılaştırılacak olursa, artan deney yükü ile aşınma miktarı artmaktadır.

Tablo 7.4 ve 7.5 de verilen aşınma hızları göstermektedirki bu çalışmada kullanılan 3 grup numune arasında en fazla aşınma 3. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numunelerde meydana gelmektedir. 1. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarındaki numuneler aşınma miktarı olarak 3.grubu takip etmekte ve en az aşınma 2. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numunelerde meydana gelmektedir. Tablo 7.4 ve 7.5 deki verilerden aşınma hızı ile sertlik arasındaki doğru orantı olduğu görülmektedirki bu durum Mondal ve Das' ın [13] sonuçları ile karşılaştırıldığında uyumluluk göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.6: Aşınma Hızının Sertlik İle Olan İlişkisinin (a) AA 6061 ve (b) AA6082 İçin Çizilmiş Grafikleri

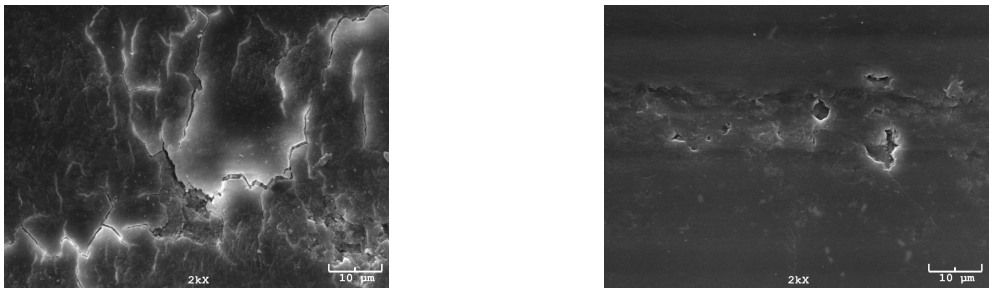
Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi kaplanmamış numune ile kaplanmış numuneler karşılaştırıldığında aşınma hızlarını oranlayarak kaplanmış numunelerin kaplanmamış numunelere oranla yaklaşık olarak 25-30 kat daha iyi bir aşınma direncine sahip olduğu görülmektedir. Krishna ve arkadaşlarının [15] çalışmalarında bulduğu gibi sert eloksal kaplama yapılmış numunenin aşınma direnci kaplanmamış numunenin aşınma direnci ile karşılaştırıldığında çok daha yüksektir.

Deneysel çalışmalarının ilk bölümünde belirtildiği gibi bu üç grup numunenin farkları eloksal kaplama işlem parametreleridir. Yani her bir grubun uygulanan akım,sıcaklık ve tatbik edilen zaman değerleri farklıdır. Bilindiği gibi sert eloksal kaplama prosesinde değiştirilen bu parametreler kaplamanın yapısını tamamen değiştirmekte ve her değişken için sonuçlar farklı olmaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan sert elosal kaplamanın bu denli iyi aşınma direnci göstermesinin sebebi düşük işlem sıcaklığı, yüksek akım yoğunluğu ve düşük elektrolit konsantrasyonudur. Bu çalışmada kullanılan 3 grup için, bu parametreleri göz

önünde bulundurarak bir değerlendirme yapılacak olursa 2. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarındaki numunelerin en iyi aşınma direncine sahip olması beklenmektedir. 2. grubun ardından 1.grup olarak nitelendirilen işlem koşullarındaki numuneler ve son olarakta 3. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarındaki numunelerin gelmesi beklenmektedir. Yapılan aşınma deney sonuçları incelendiğinde beklentiler yönünde sonuçlar alınmıştır yani en iyi aşınma direncini 2. grup olarak nitelendirilen işlem koşullarında kaplanan numuneler göstermekte ve bu grubu sırasıyla 1 ve 3. grup izlemektedir.

Deney sonuçlarından çıkarılan bir başka sonuç ise aşınma hızının aşınma direncine etkisidir. Sonuçlar incelendiğinde aynı numune (altlık, kaplama kalınlığı ve kaplama şartları ve karakteristiği aynı) için yüksek aşınma hızında yapılan deneylerde meydana gelen aşınma miktarı, düşük aşınma hızında yapılan deneylerdeki aşınma miktarından daha fazladır. Meydana gelen bu durumda bizim beklentilerimiz ile örtüşmektedir. Çünkü bilindiği gibi artan kayma hızı ile aşınma miktarı artmaktadır.

Son olarak artan yükün aşınma miktarını arttırdığı da elde edilen sonuçlardan görülmektedir. Ek B de verilen aşınma izi görüntüleri ve Ek D de verilen taramalı elektron mikroskobu görüntüleri hem artan yükün etkisini hemde aşınma izinin karakteristiğinin nasıl değiştiğini göstermektedir. İzin içinden alınan taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde aşınma sonucunda kaplamada meydana gelen kopmalar çok açık bir şekilde görülmekte ve bu durum bize aşınma mekanizmasının abrasif aşınma oluğunu göstermektedir. Şekil 7.7 de bu durum açıkca görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 7.7: 0,6 N Deney Yükü İle Yapılan Aşınma Sonucu Oluşan İzin İçinden 2000X de Çekilmiş (a) AA6061 (b) AA6082 Numunelerine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Aşınma deneylerinde kullanılan karşıt malzeme olan alumina topun aşınma izi görüntüleri Ek C de verilmektedir. Resimler incelendiğinde top yüzeyinde az miktarda hasar görülmüş fakat topun aşınması şeklinde bir yorum yapılacak kadar aşınmanın meydana gelmediği görülmüştür.

Aşınma deneyleri sırasında sürtünme katsayısının değişimi Ek A de verilmiştir.

8. GENEL SONUÇLAR

3 farklı kaplama koşulunda (akım, sıcaklık ve zaman) kaplanan AA6061 ve AA6082 alaşımlarının farklı kayma hızı ve farklı yüklerde yapılan aşınma deneyleri sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir

Tablo 8.1: Değişen işlem parametrelerine göre gruplanmış numuneler

	Akım, amper	Sıcaklık, ^{0}C	Zaman, dak
AA 6061-1. GRUP	2.55	0-2	50
AA 6061-2. GRUP	3.43	-4	32
AA 6061-3. GRUP	3.42	8	32
AA 6082-1. GRUP	2.17	0-2	50
AA 6082-2. GRUP	3.43	-4	32
AA 6082-3. GRUP	3.42	8	32

1- İşlem parametresi olarak daha yüksek akım yoğunluğuna sahip ve daha düşük işlem sıcaklığına sahip 2.grup olarak nitelendirilen işlem koşulunda kaplanmış numunelerin aşınma dirençlerinin en iyi olduğu görülmüştür. 2. grup numuneleri sırasıyla 1.grup ve 3.grup numuneler izlemiştir.

2- 2.grup olarak nitelendirilen işlem koşulunda kaplanmış numuneler ayrıca yapılan sertlik testlerinde en yüksek değerleri vermiştir. Aşınma sonuçlarında olduğu gibi 2. grup numuneleri sırasıyla 1. grup ve 3. grup numuneler izlemiştir.

3- Beklenildiği gibi kayma hızının artmasıyla bütün numunelerde aşınma miktarı artmıştır.

4- Artan deney yükü ile sürtünme katsayıları da artma eğilimindedir.

5- Çizik testi sonuçlarında da 2.grup olarak nitelendirilen işlem koşulunda kaplanmış numuneler en iyi sonucu vermiş ve en yüksek kaplama-altlık uyumunu göstermiştir. 2. grup numuneleri sırasıyla 1.grup ve 3.grup numuneler izlemiştir.

6- Çizik testlerinde numunede meydana gelen yanal çatlaklar altlıkta bir plastik deformasyonun meydana geldiğini göstermektedir.

7- Her iki alaşım grubunu karşılaştırıldığında AA6061 alaşımının aşınma davranışının AA6082 alaşımına göre bir miktar daha iyi olduğu söylenebilir.
8- Kaplanmamış numunelerle karşılaştırıldığında kaplanmış numunelerin aşınma direnci 25-30 kat geliştirilmiştir.
9- Kaplanmasız numunelerin aşınma deneylerinde kullanılan aşındırıcı top incelendiğinde, kaplanmış numunelerin aşınma deneylerinde kullanılan topa göre çok daha ciddi bir aşınma olduğu görülmektedir. Aşındırıcı toplar incelendiğinde, aşınma deneyi esnasında oldukça yüksek bir plastik deformasyon meydana geldiği ve ayrıca aşınan iki yüzeyin arasında ısınma sonucu sıcaklığın olukça yükseldiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Karakışlak, M.,** Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri, İ.T.Ü Makine Fakültesi, (1980).

[2] **Metals Handbook,** 9th Edition, Vol.2, Non Ferrous Metals, ASM, (1985).

[3] **Askelend, R.D.,** The Sicience And Engineering Matrials, PWS Publisher, U.S.A, , sf. 239-244 , (1985).

[4] **Eruslu, N., Altmışoğlu ,A., Taptık, Y.,**Alaşımlar Ders Notları, İ.T.Ü Kimya- Metalurji Fakültesi , sf.86-97,(1990).

[5] **Brooks,C.R.,** Heat Treatment Strusture And Properties of Nonferrous Alloys, American Socienty for Metals, Ohio, Sf. 115-130, (1982).

[6] http://www.coatfab.com/anodising.htm

[7] **Charles A, Grubbs.** Houghton Metal Finishing, Alpharetta, Ga, Anodizing of aluminum, 2001,

[8] **Hard Coat Aluminum Anodizing**, Mark Jozefowicz, 2001

[9] **Grister, W., JEHN, H.A.,** Advenced Techniques for Surface Engineering, vol.1,(1982).

[10] **Yılmaz, F.,** Sürtünme ve Aşınma, Ukuslararası Metal ve Malzeme Kongresi, (1997).

[11] **Kayalı, E.S.,** Aşıma ve aşınma hasarı, Metalurji Müh. Odası, (1997).

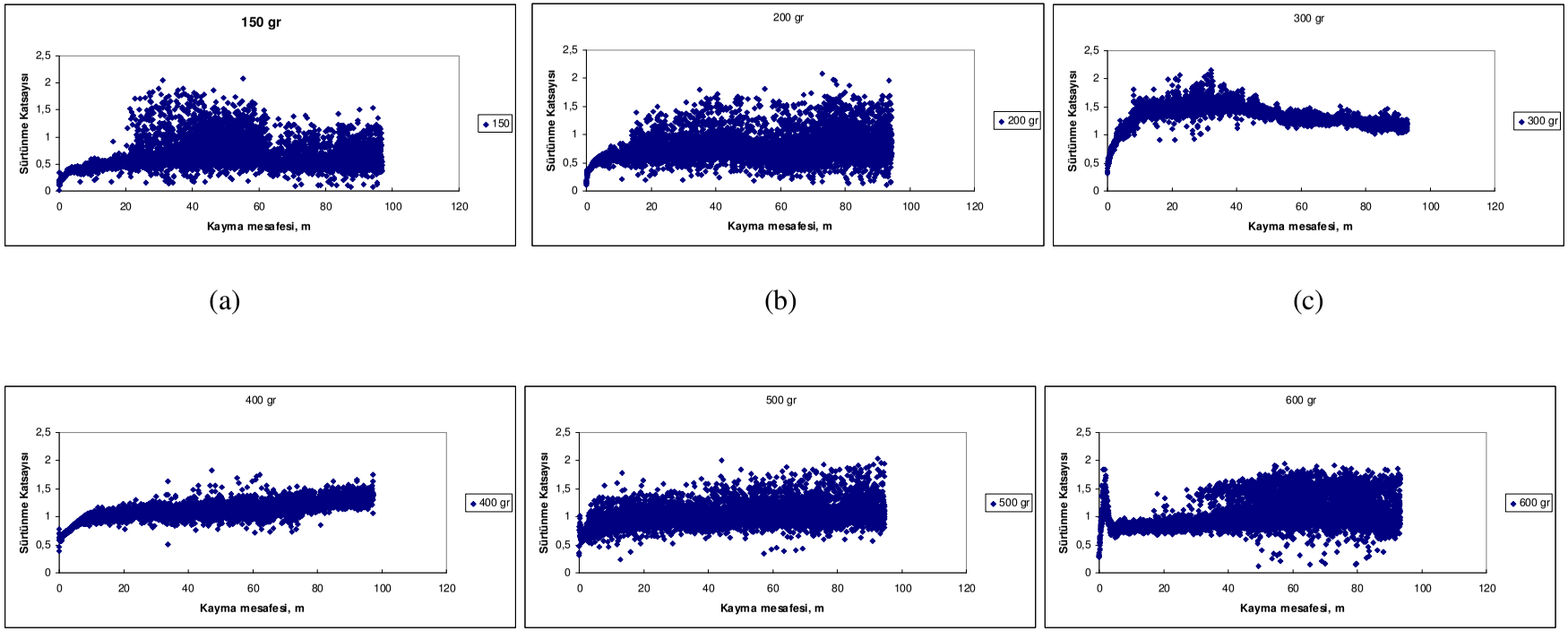
[12] **Li, X., Nie, X., Wang, L., Northwood, D.O.,** 2005, Corrosion protection properties of anodic oxide coatings on an Al-Si alloy, *Surface Coatings & Technology,* **200**, 1994-2000

[13] **Mondal D.P., Das S.,** 2005, High stress abrasive wear behaviour of aluminium hard particlecomposites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction, *Tribology,* 2006, 470-478

[14] **Pantelis D.I., Psyllaki P., Alexopoulos N.,** 1999, Tribological behaviour of plasma-sprayed Al_2O_3 coatings under severe wear conditions, *Wear,* **2000,** 197-204

[15] **Krishna L. Rama., Purnima A. Sudha., Sundararajan G.,** 2006, A comparative study of tribological behavior of microarcoxidation and hard-anodized coatings, *Wear,* (in press)

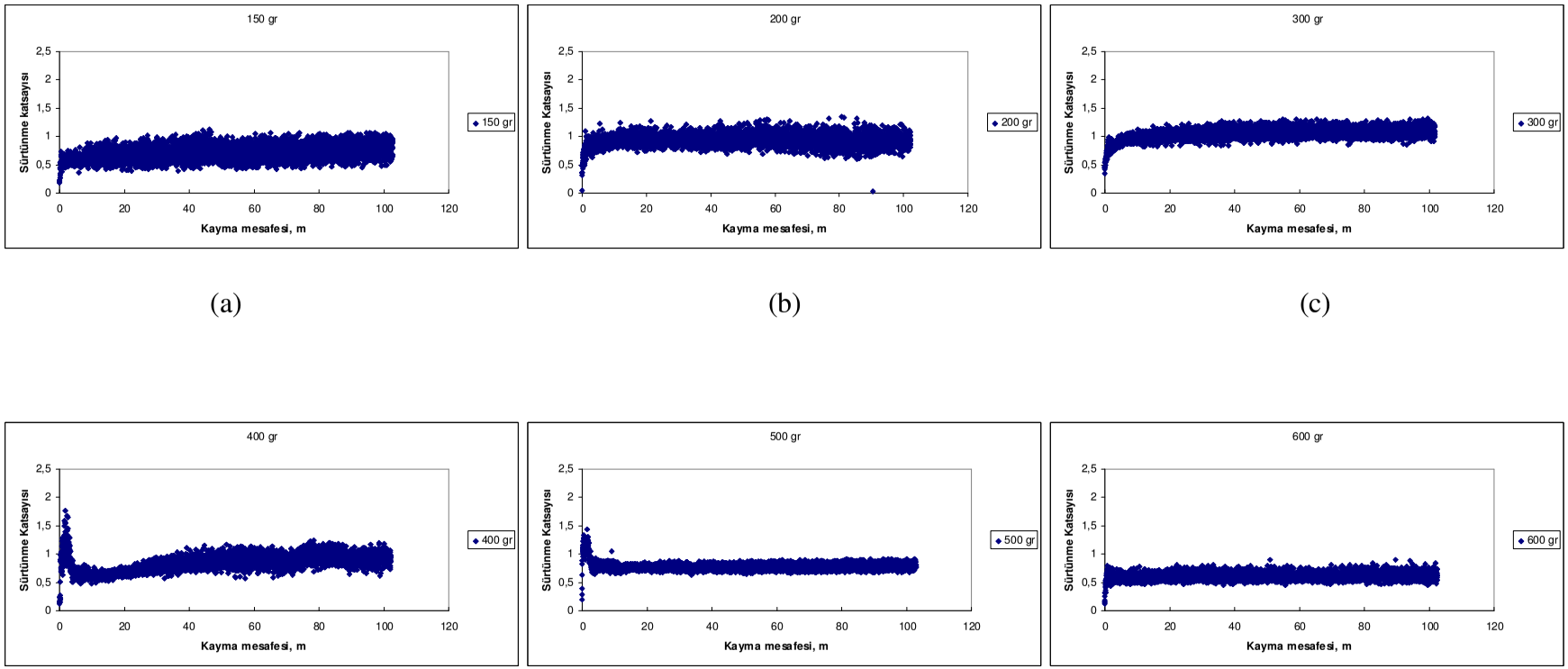
EK A



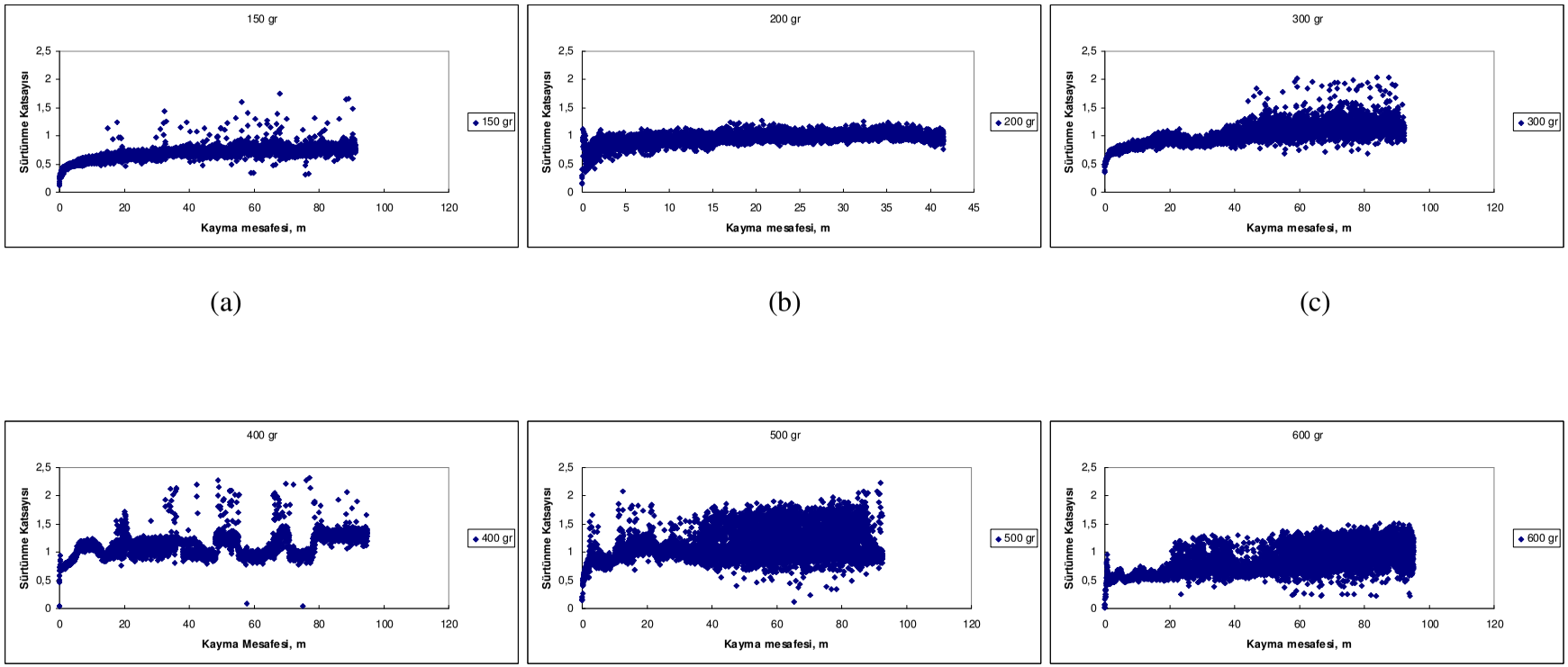
(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Şekil A.1: 1.grup AA6061 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d)0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



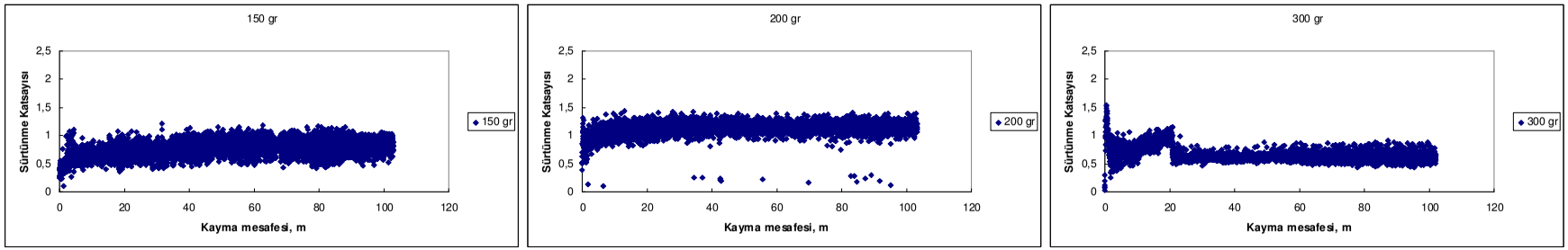
Şekil A.2: 1.grup AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



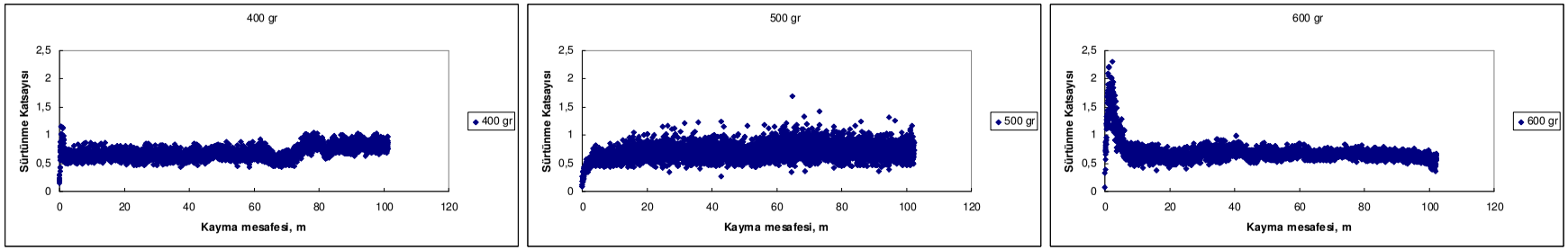
(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Şekil A.3: 2.grup AA6061 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N

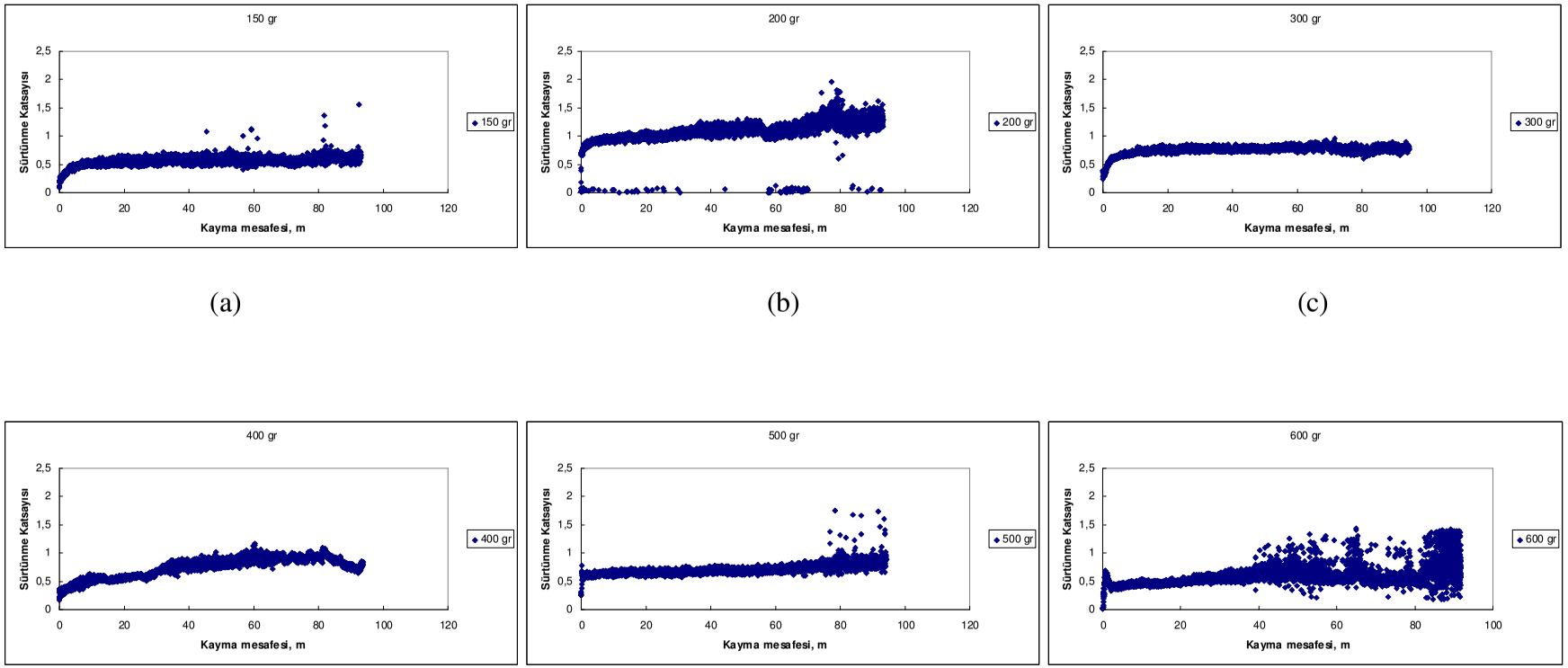


(a) (b) (c)

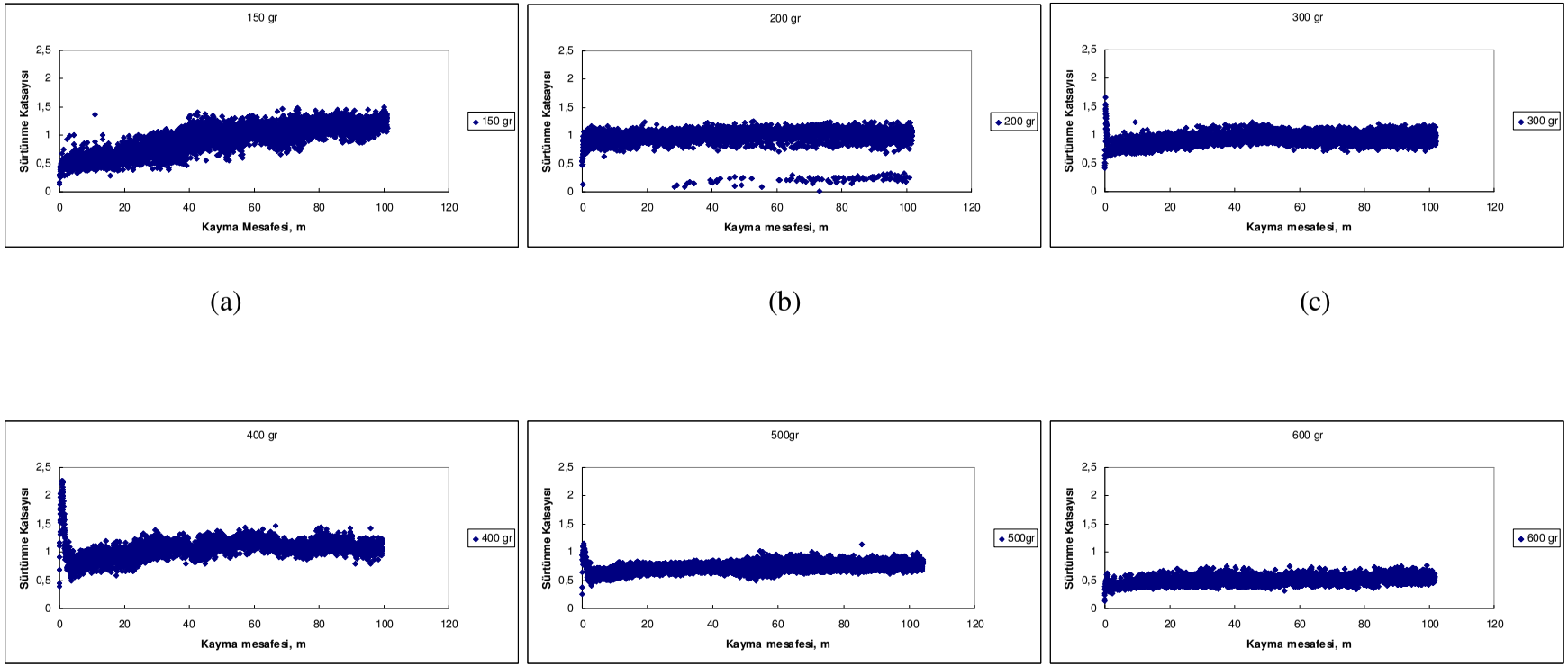


(d) (e) (f)

Şekil A.4: 2.grup AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



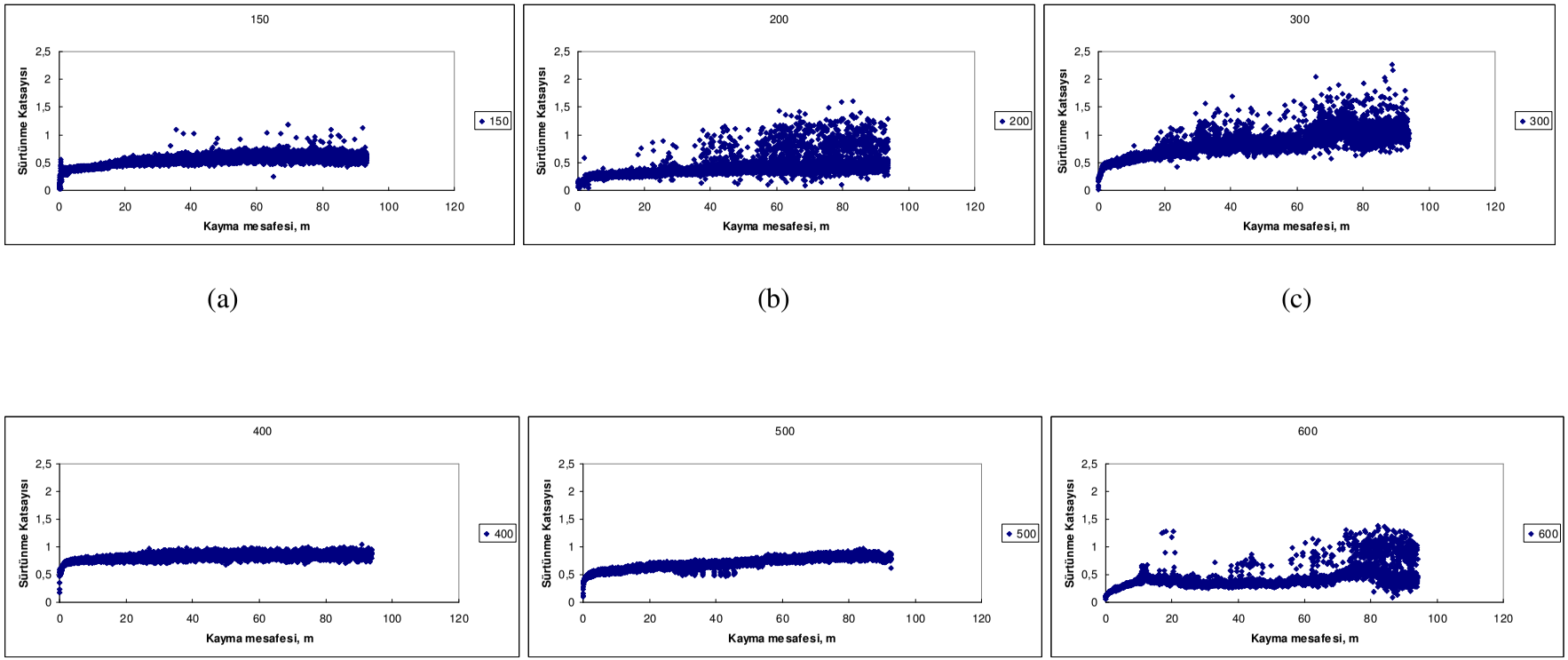
Şekil A.5: 3.grup AA6061 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



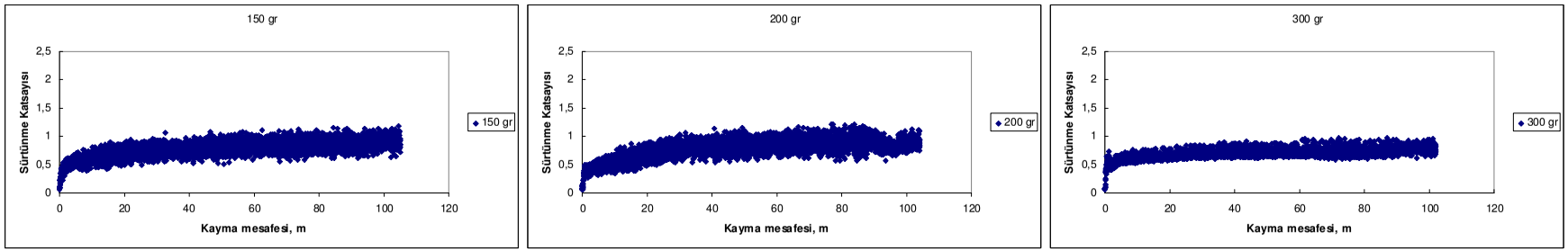
(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

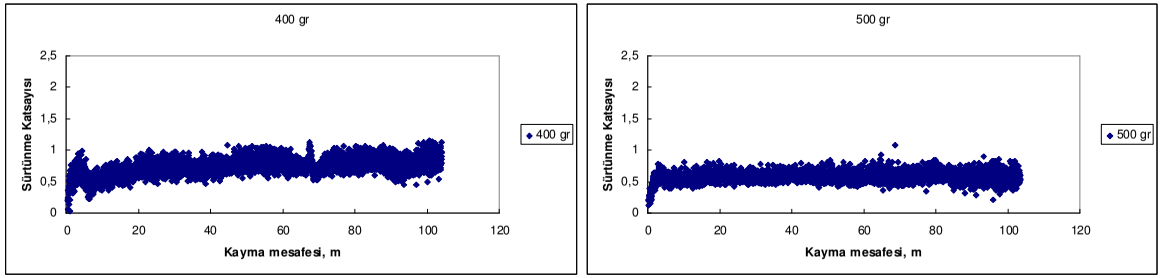
Şekil A.6: 3.grup AA6061 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



Şekil A.7: 1.grup AA6082 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N

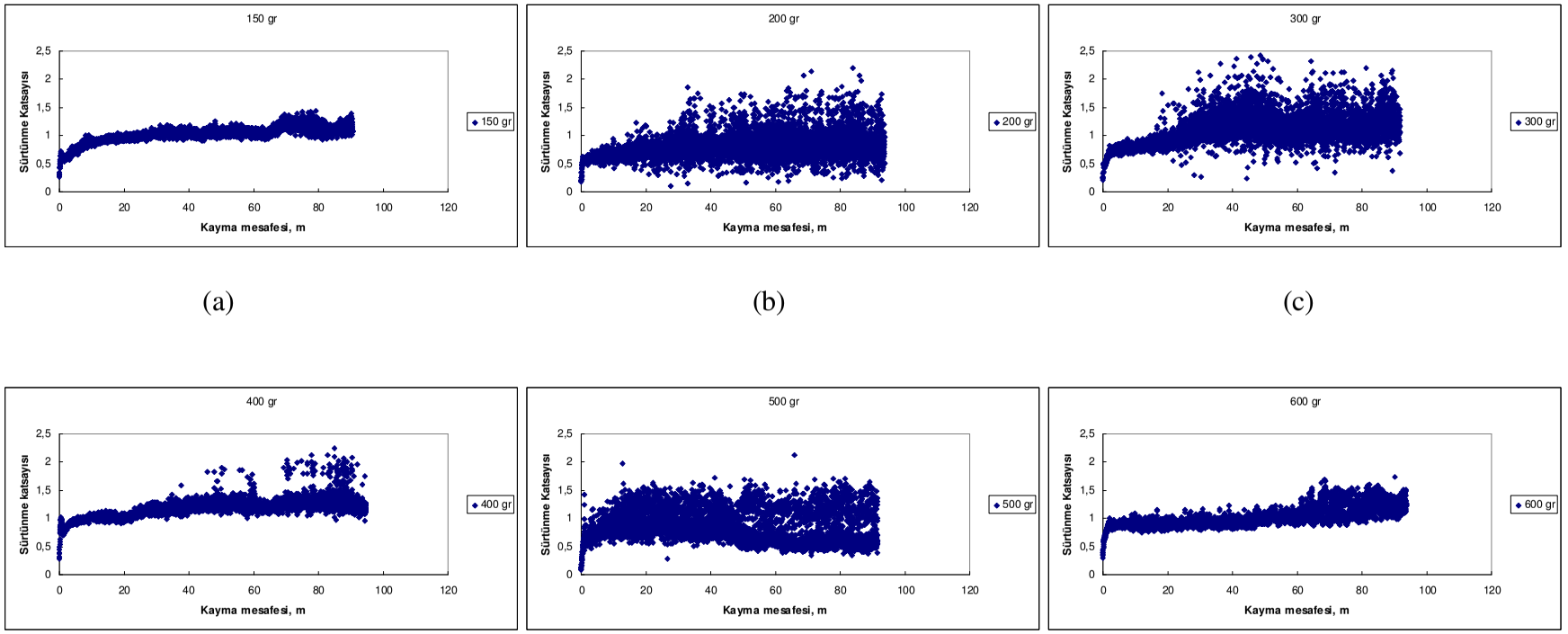


(a) (b) (c)

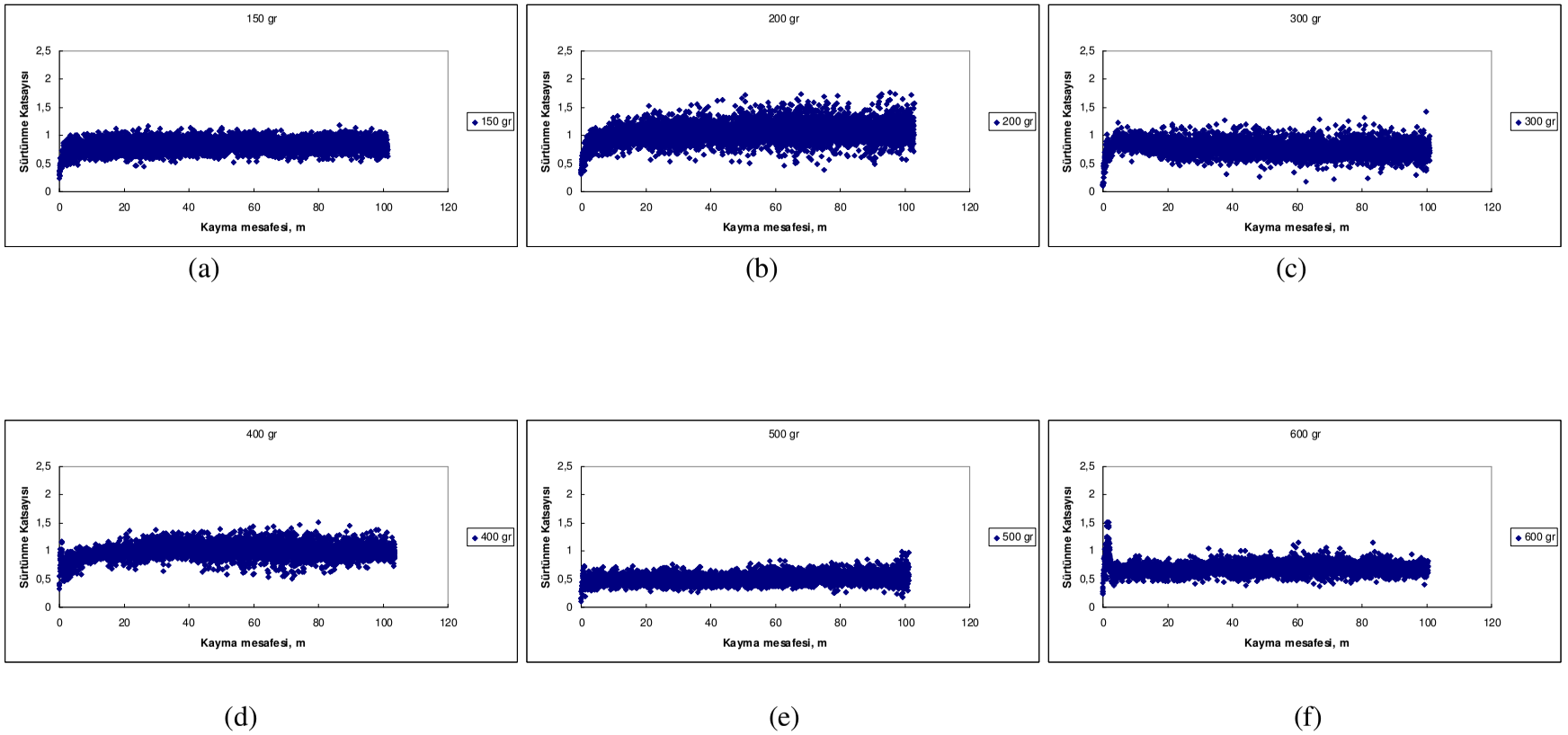


(d) (e)

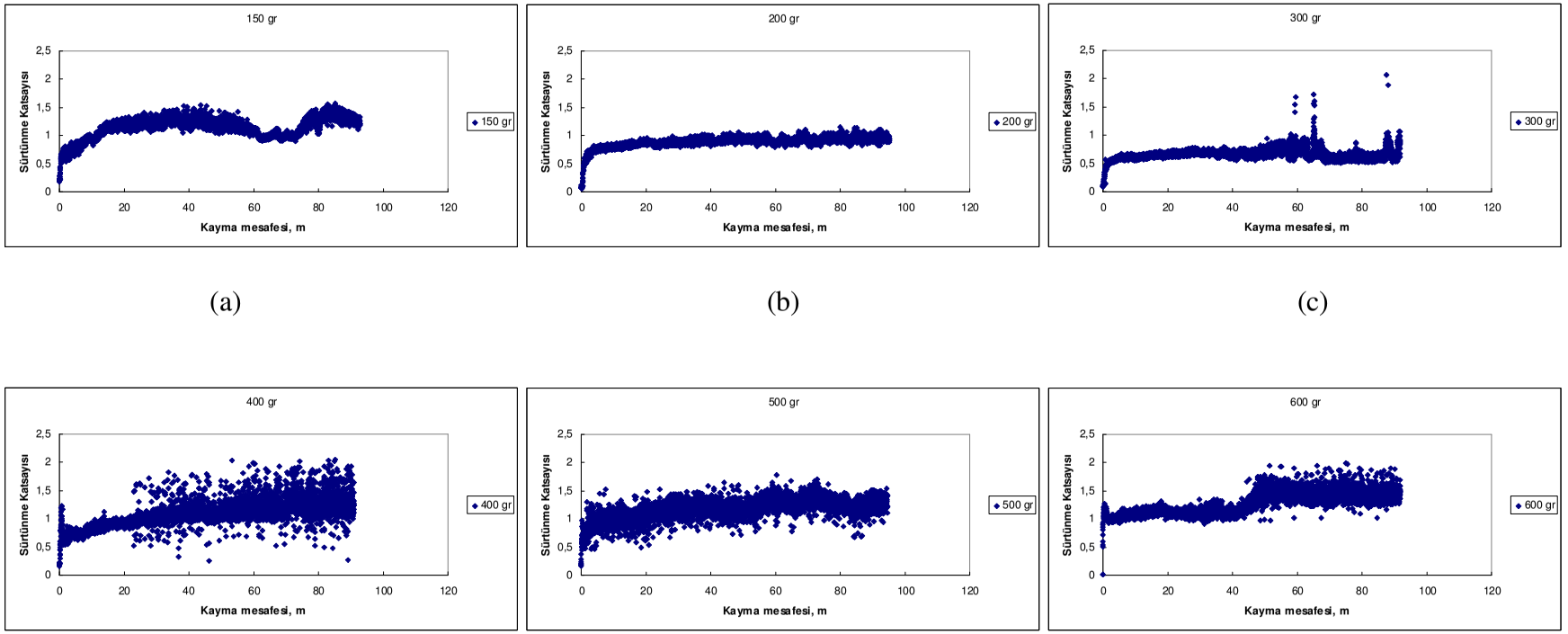
Şekil A.8: 1.grup AA6082 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



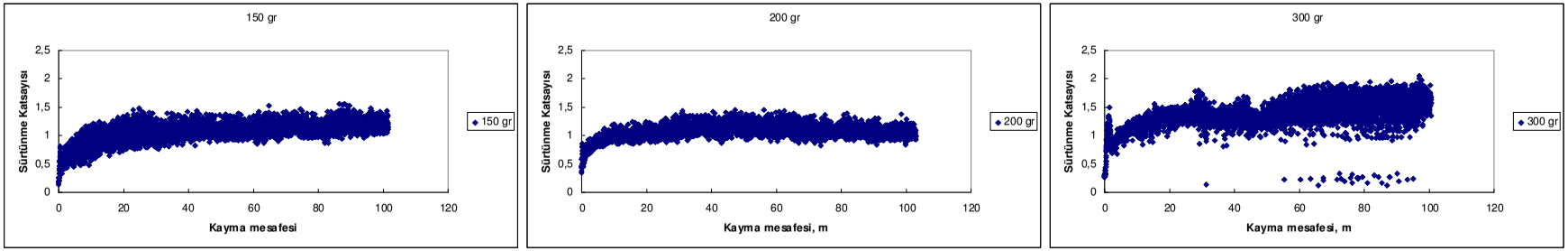
Şekil A.9: 2.grup AA6082 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



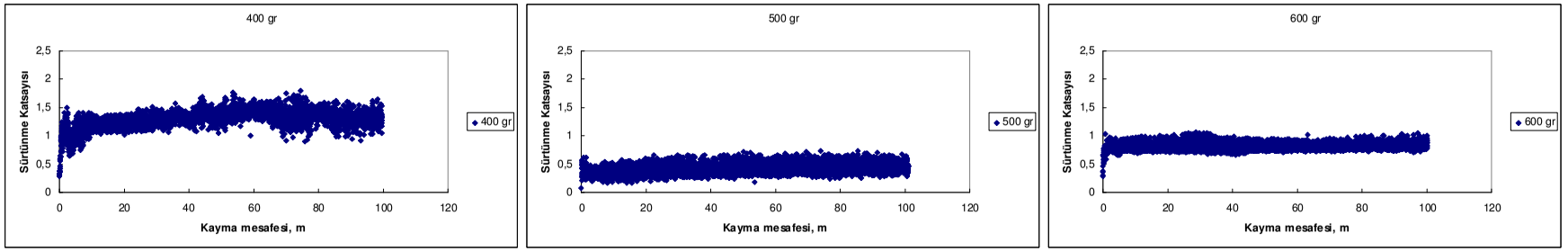
Şekil A.10: 2.grup AA6082 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



Şekil A.11: 3.grup AA6082 alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N

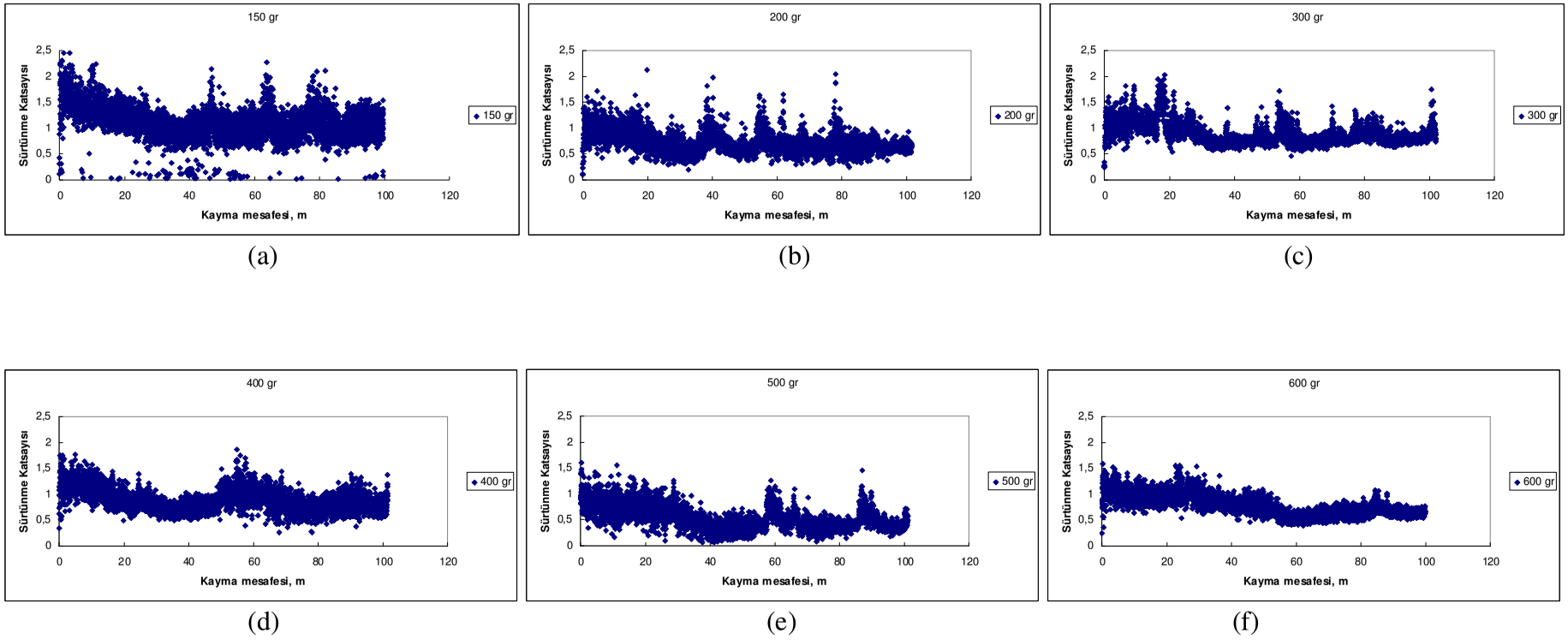


(a) (b) (c)

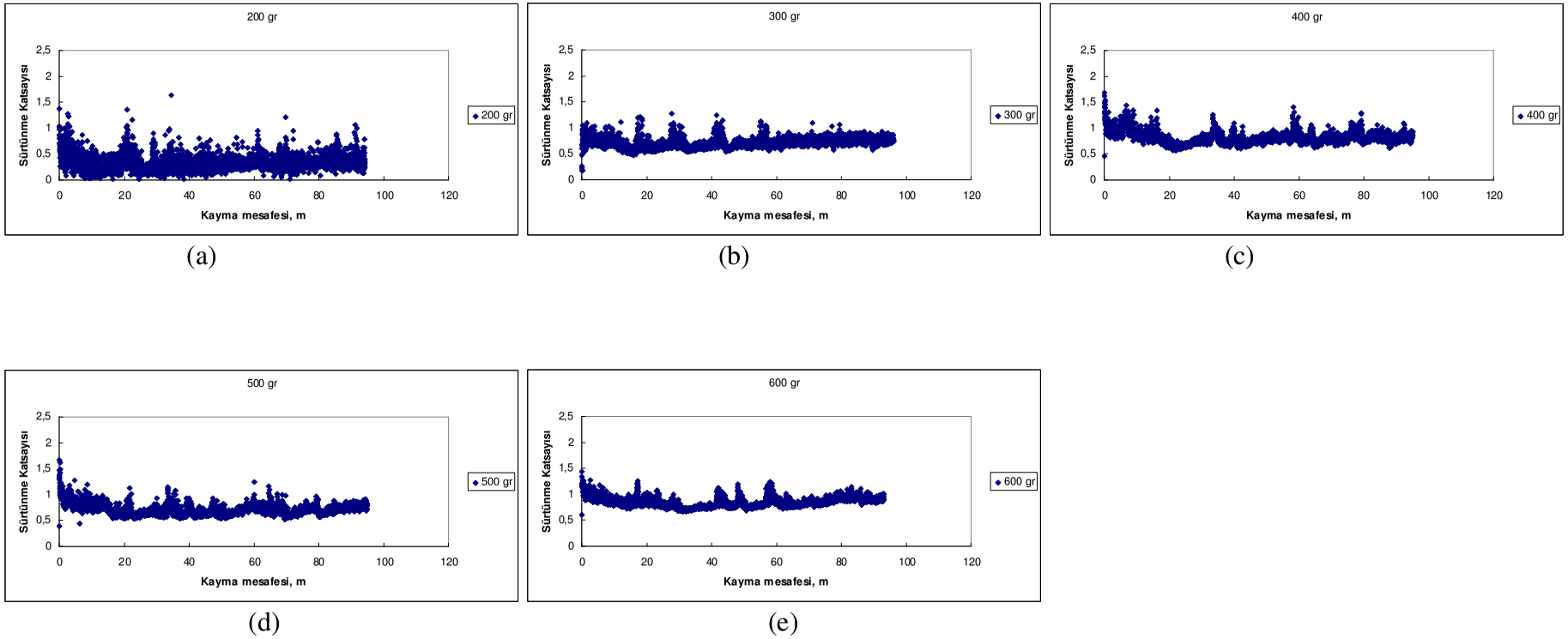


(d) (e) (f)

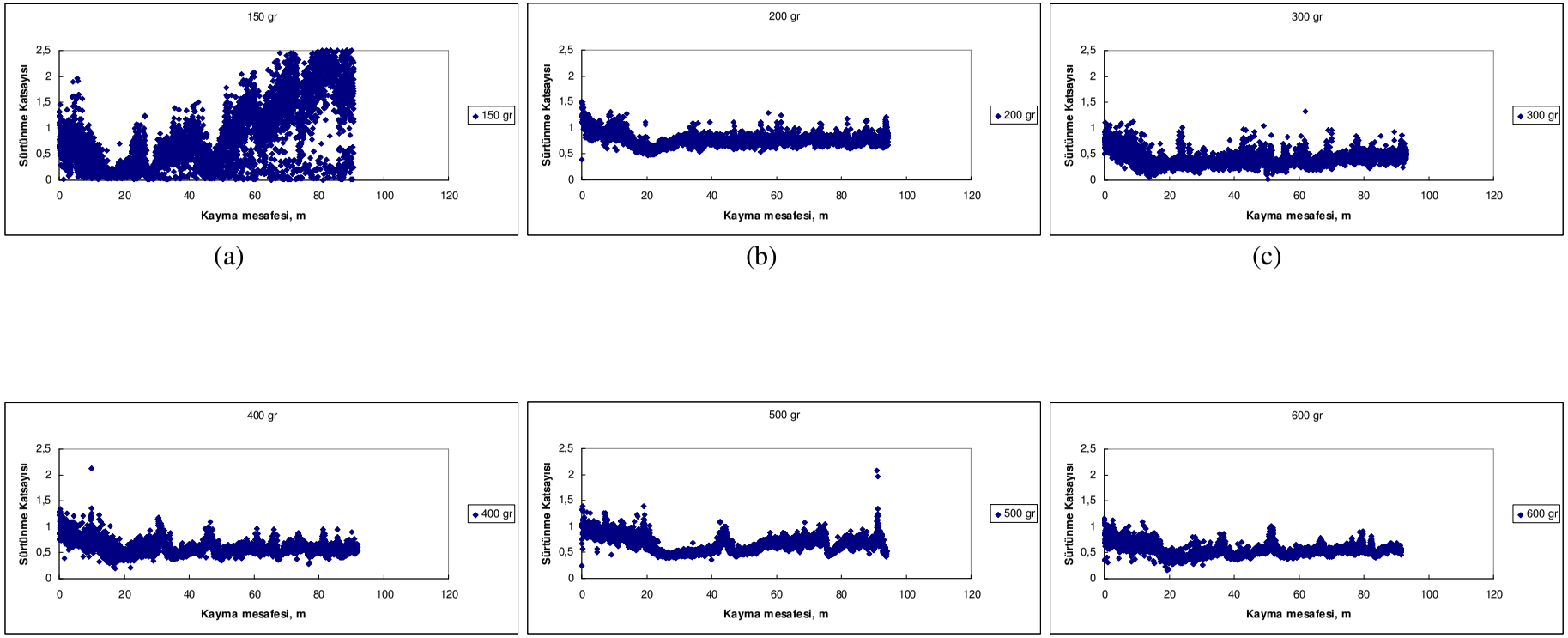
Şekil A.12: 3.grup AA6082 alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



Şekil A.13: Kaplanmasız AA6061alaşımının yüksek kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



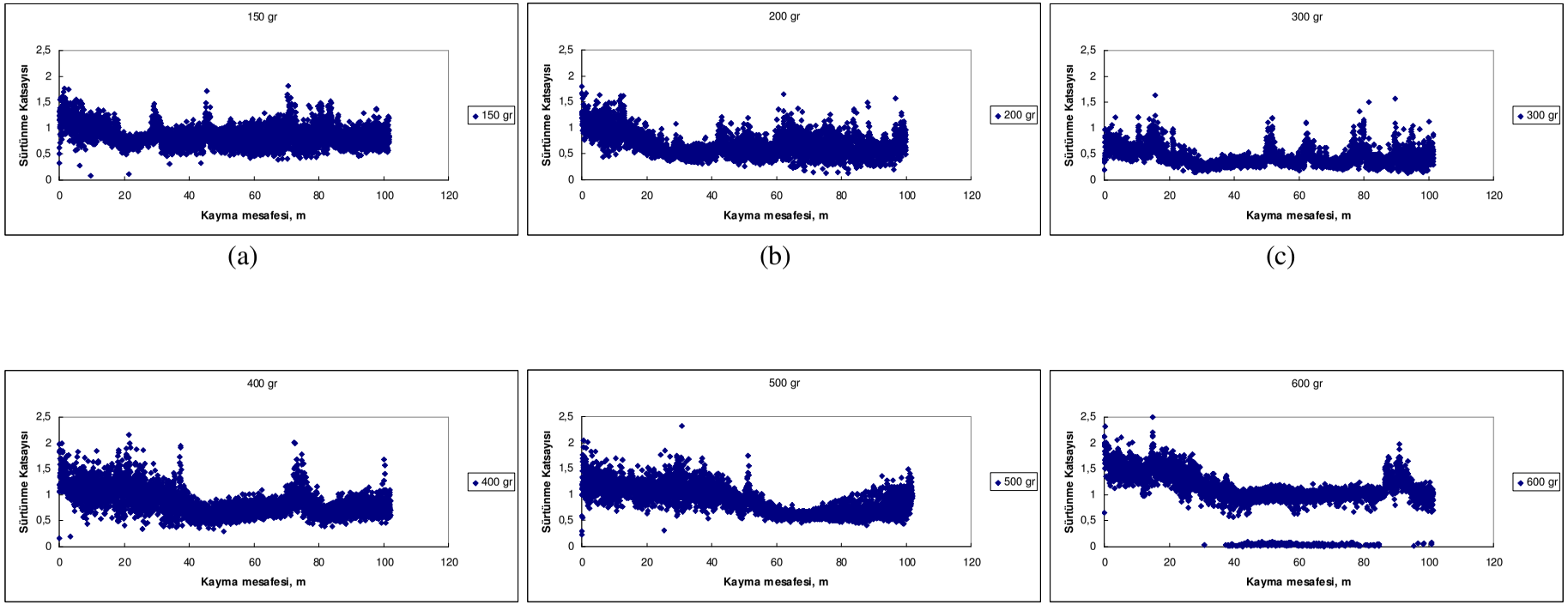
Şekil A.14: Kaplanmasız AA6061alaşımının düşük kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,2 N (b) 0,3 N (c)0,4 N (d) 0,5 N (e) 0,6 N



(a) (b) (c)

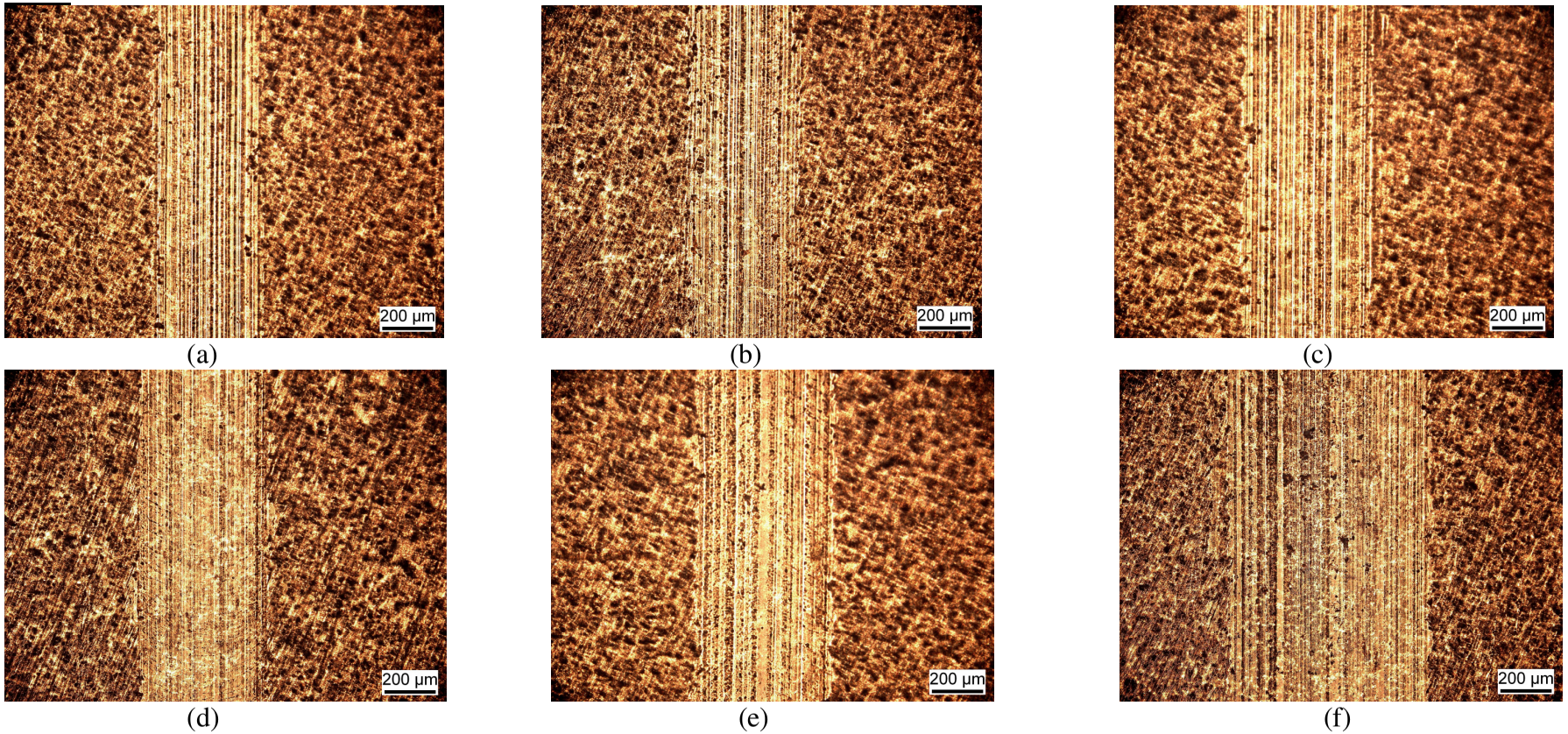
(d) (e) (f)

Şekil A.15: Kaplamasız AA6082 alaşımının yavaş kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c)0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



Şekil A.16: Kaplamasız AA6082 alaşımının hızlı kayma hızındaki sürtünme katsayısının deney süresince değişimi (a) 0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6

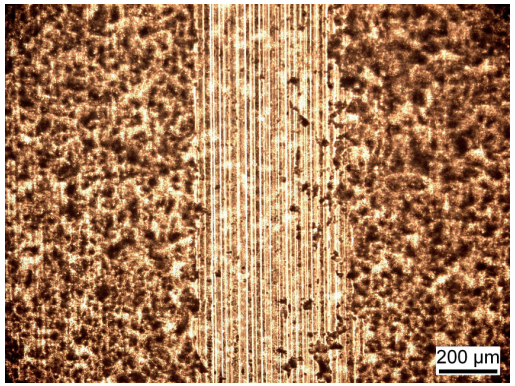
EK B



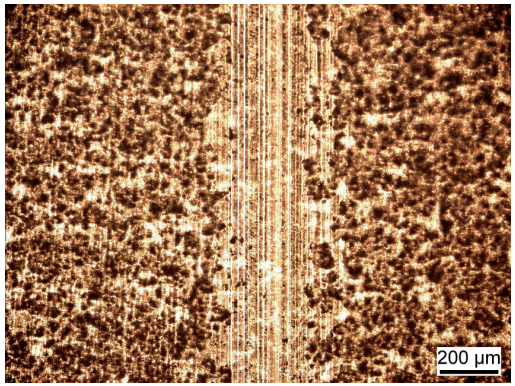
(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

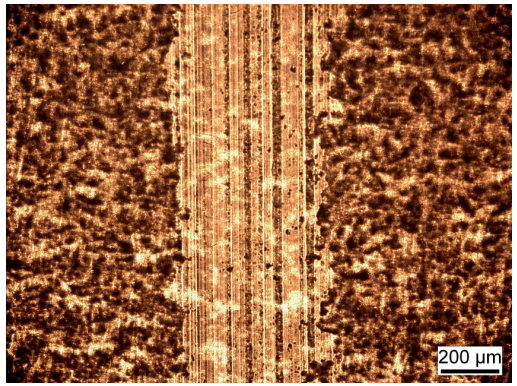
Şekil B.1: AA6061 alaşımının aynı numune için 100X büyütmede farklı aşınma yüklerinde çekilmiş aşınma iz fotoğrafları (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



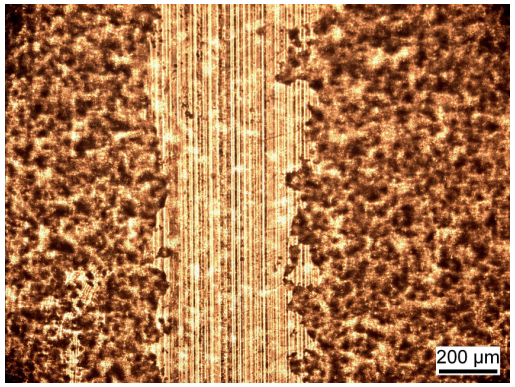
(a)



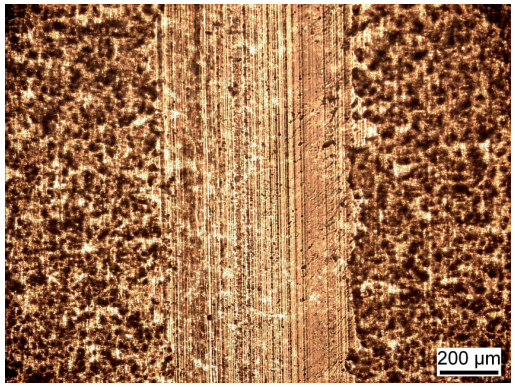
(b)



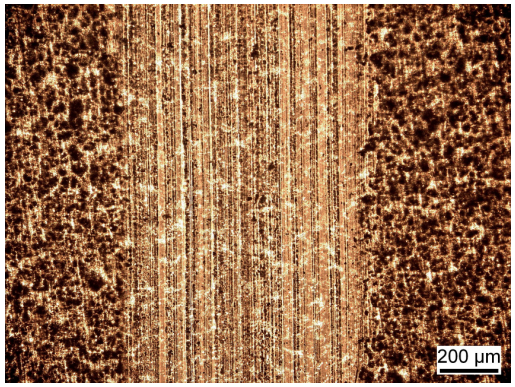
(c)



(e)



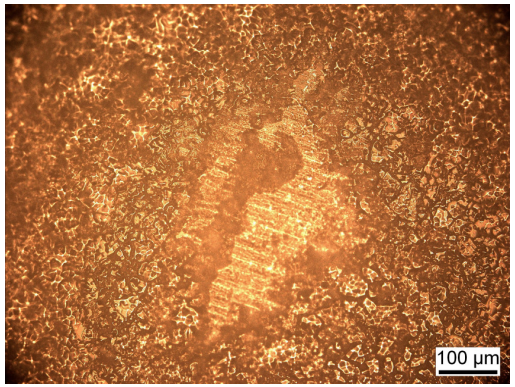
(f)



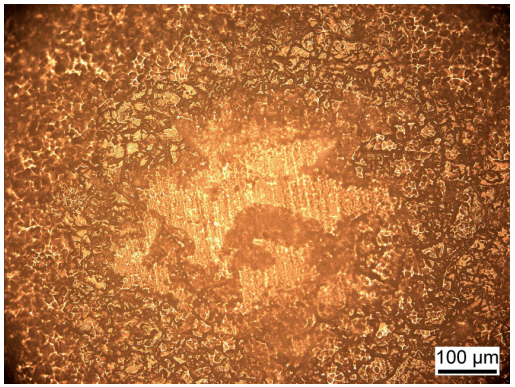
(e)

Şekil B.2: AA6082 alaşımının aynı numune için 100X büyütmede farklı aşınma yüklerinde çekilmiş aşınma iz fotoğrafları (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N

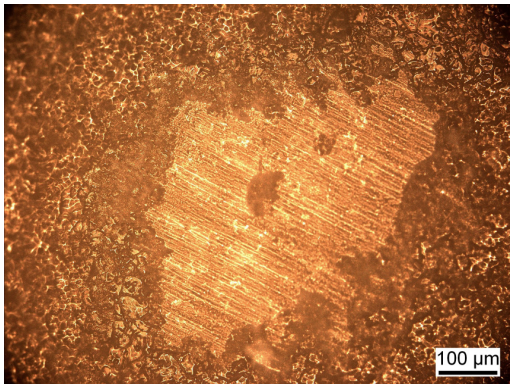
EK C



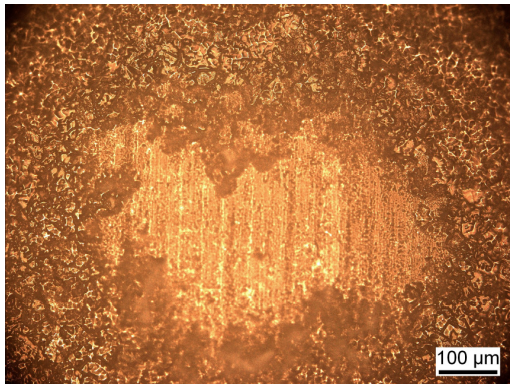
(a)



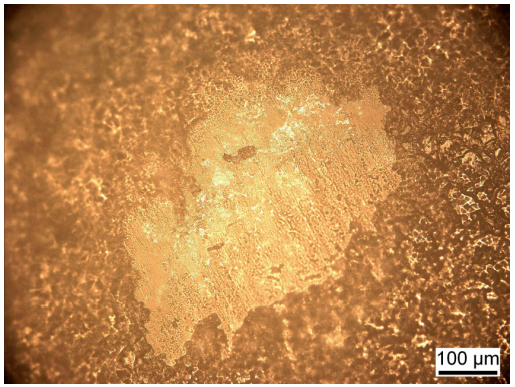
(b)



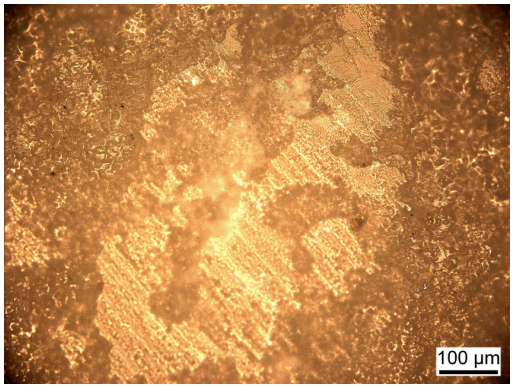
(c)



(d)

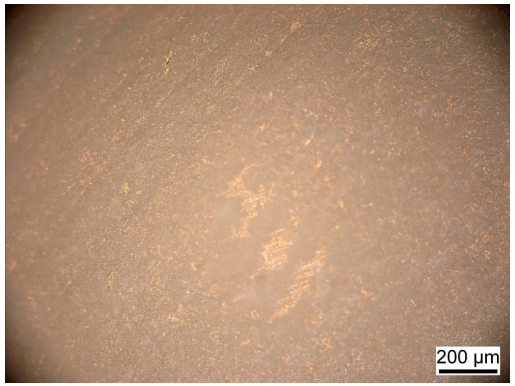


(e)



(f)

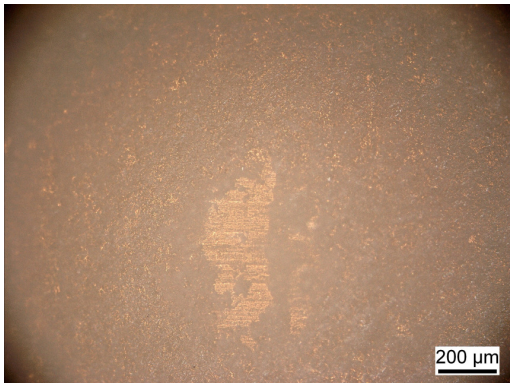
Şekil C.1: AA6061 alaşımı aynı numune için 200X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



(a)



(b)



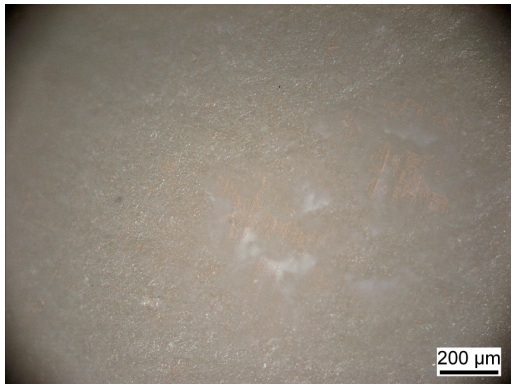
(c)



(d)

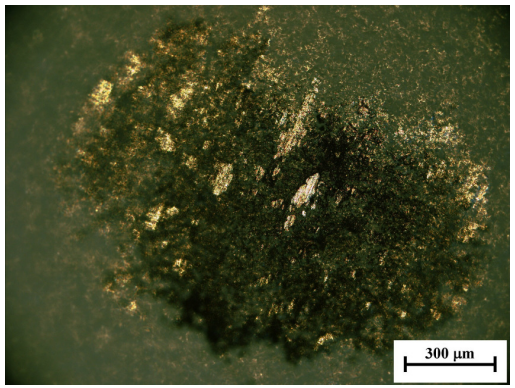


(e)

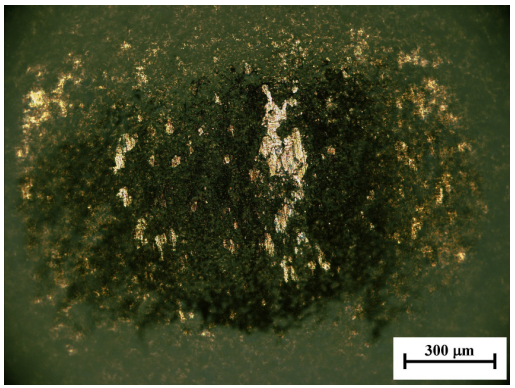


(f)

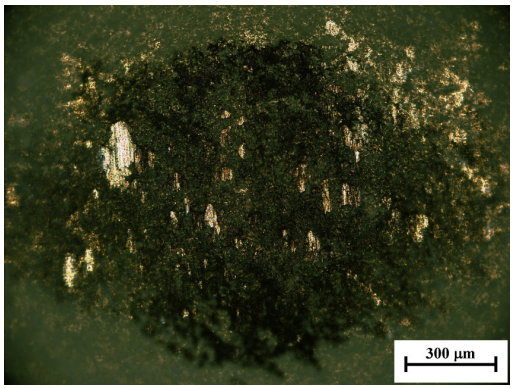
Şekil C.2: AA6082 alaşımı aynı numune için 100X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



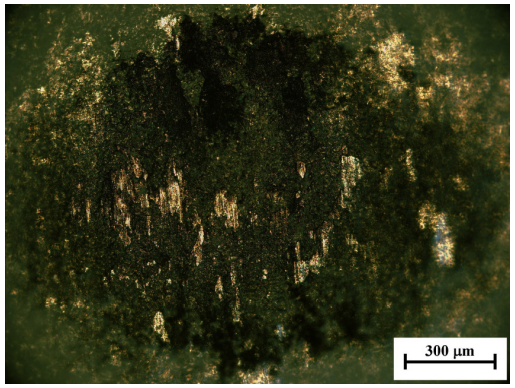
(a)



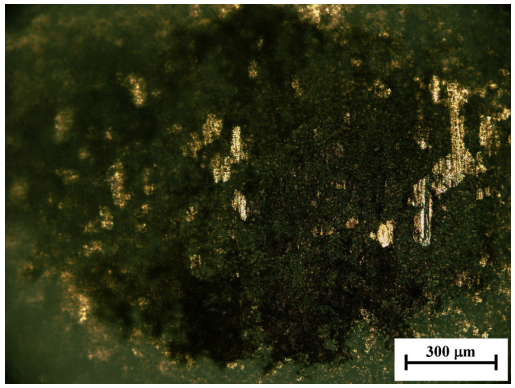
(b)



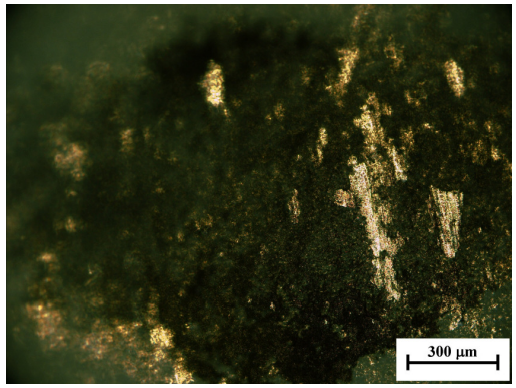
(c)



(d)

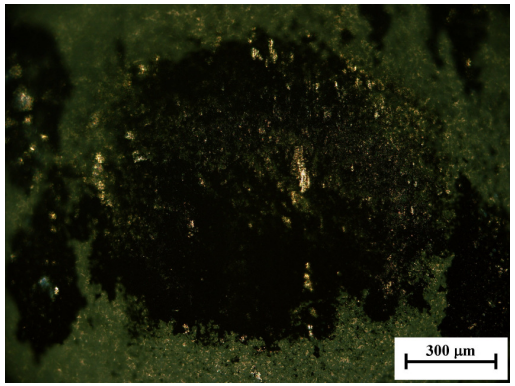


(e)

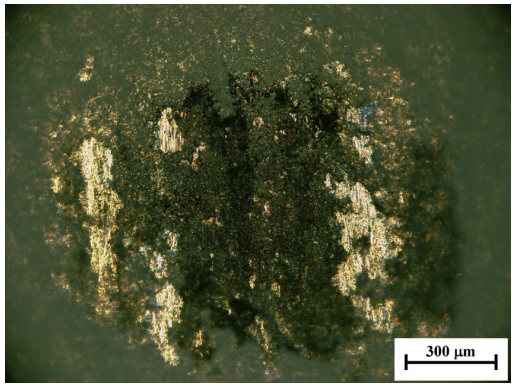


(f)

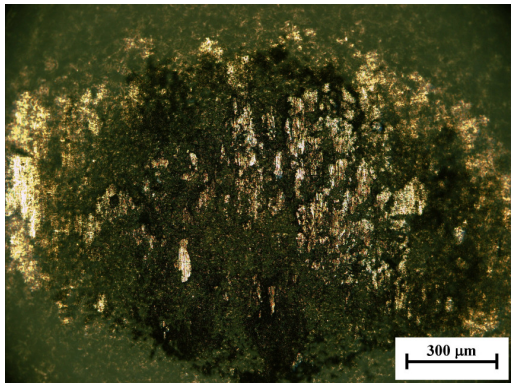
Şekil C.3: Kaplamasız AA6061 alaşımı aynı numune için 100X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N



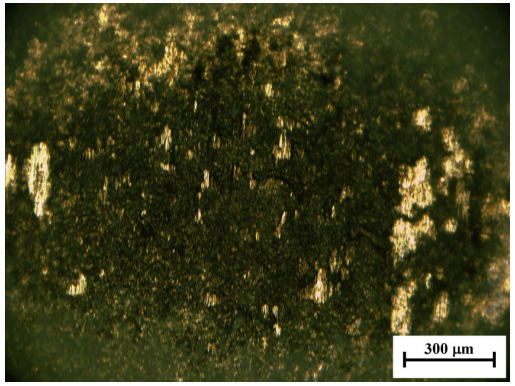
(a)



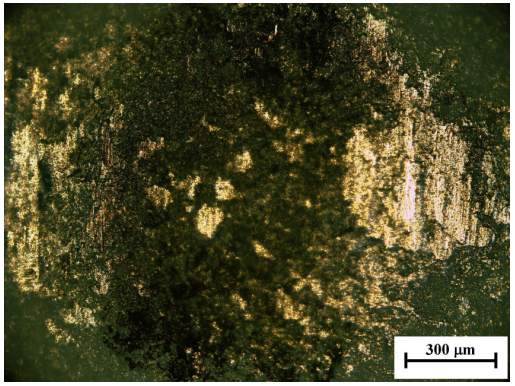
(b)



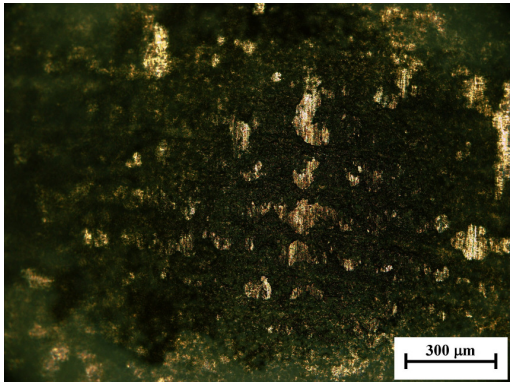
(c)



(d)



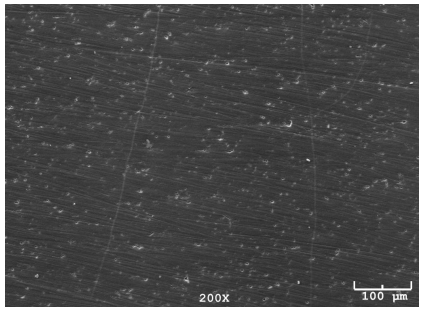
(e)



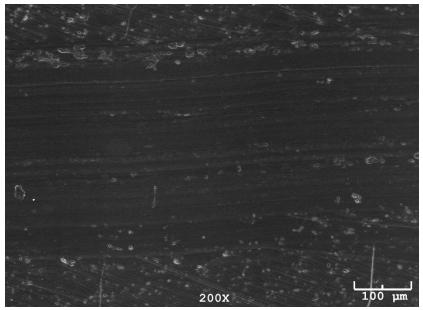
(f)

Şekil C.4: Kaplamasız AA6082 alaşımı aynı numune için 100X büyütmede farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kullanılan Al_2O_3 bilyelerin aşınma yüzey görüntüleri (a)0,15 N (b) 0,2 N (c) 0,3 N (d) 0,4 N (e) 0,5 N (f) 0,6 N

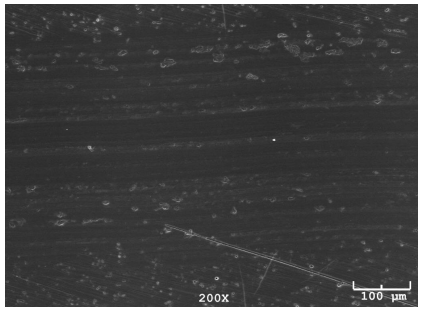
EK D



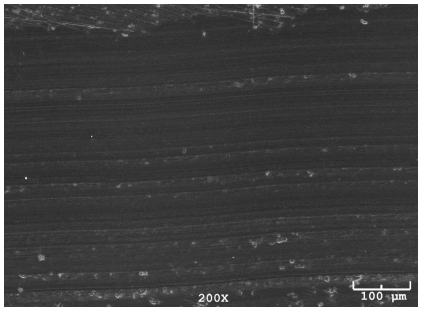
(a)



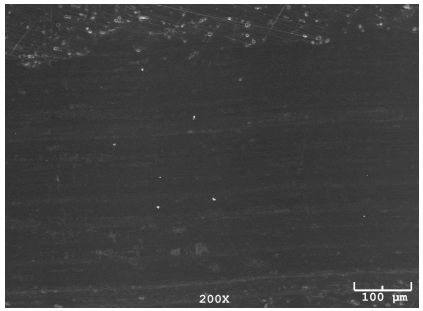
(b)



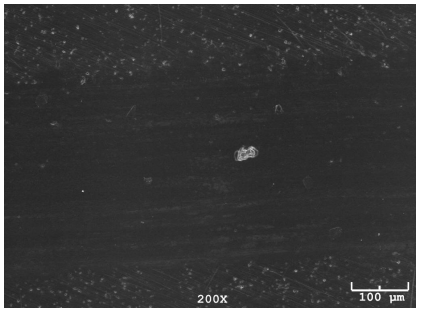
(c)



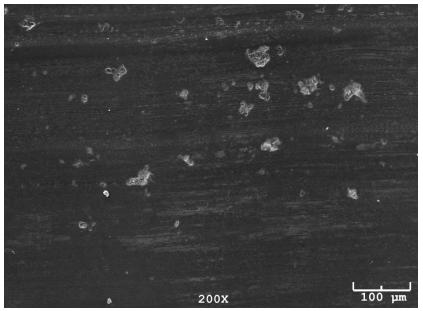
(d)



(e)

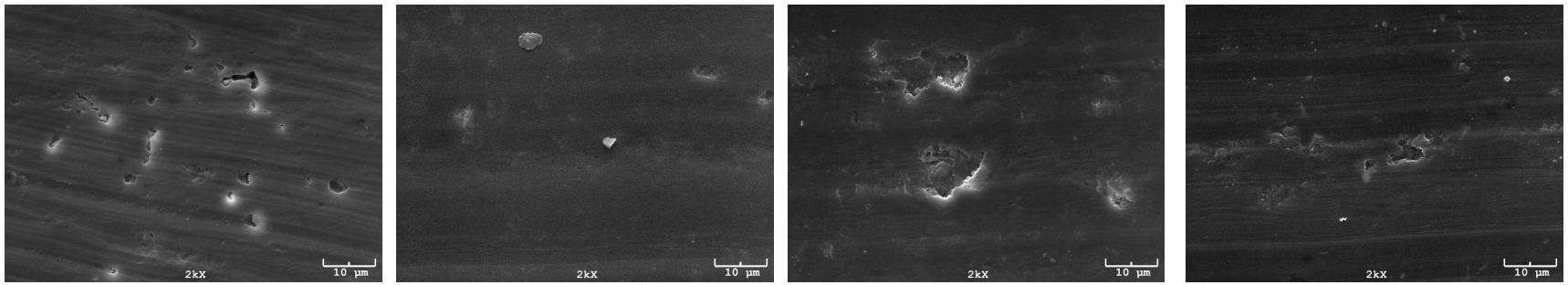


(f)

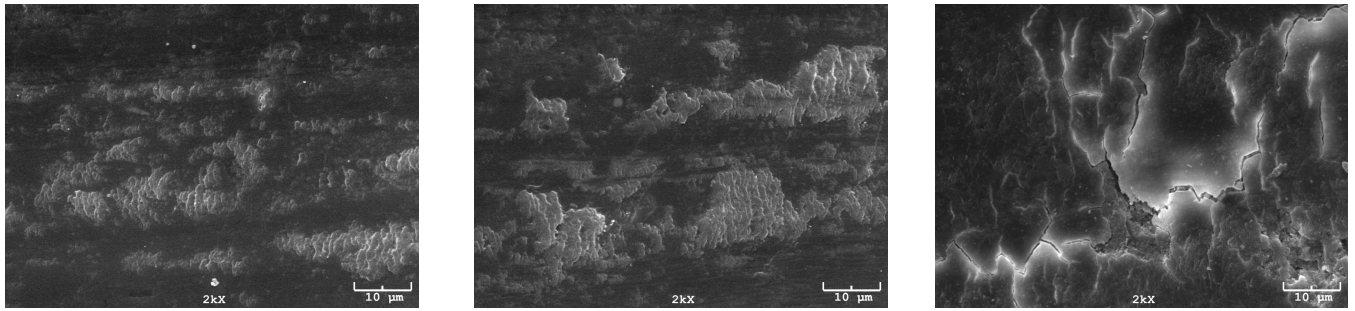


(g)

Şekil D.1: AA6061 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 200X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N

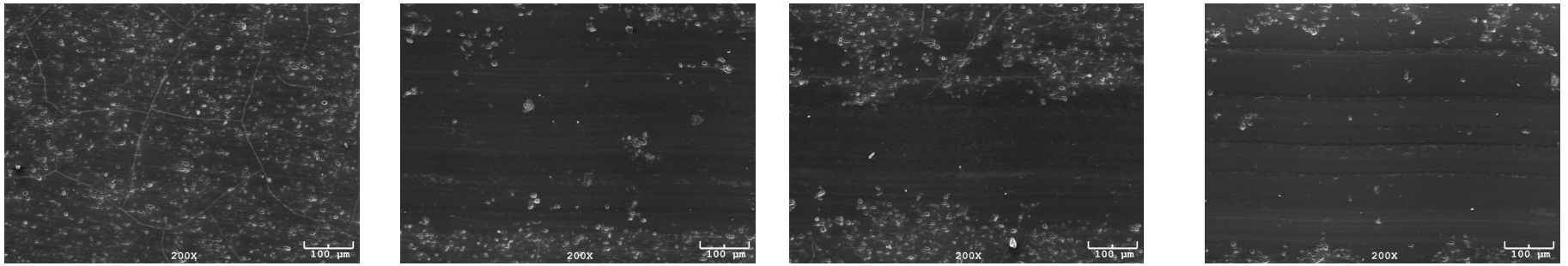


(a) (b) (c) (d)

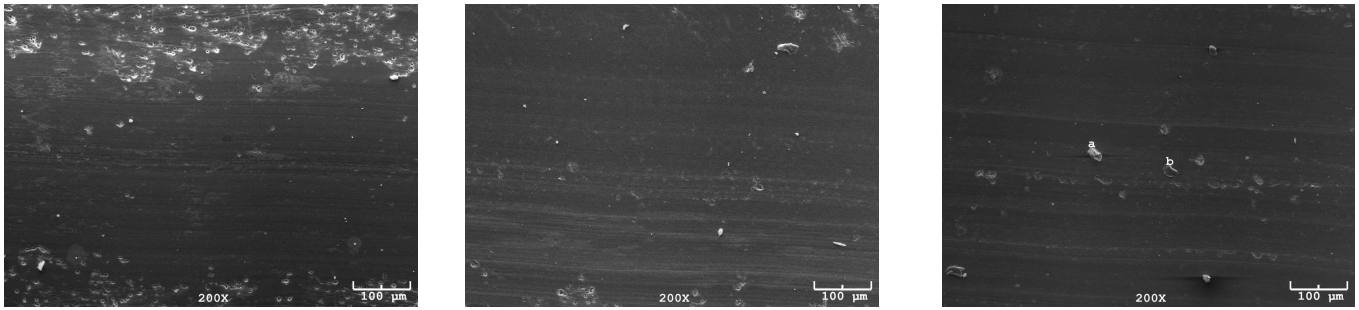


(e) (f) (g)

Şekil D.2: AA6061 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 2000X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N

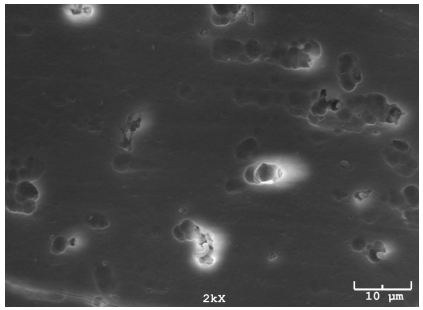


(a) (b) (c) (d)

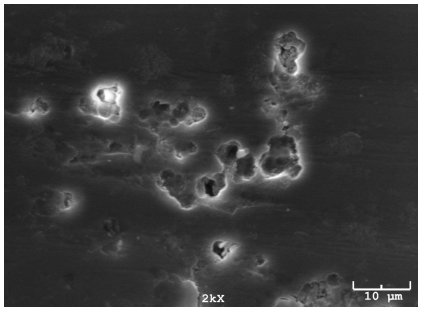


(e) (f) (g)

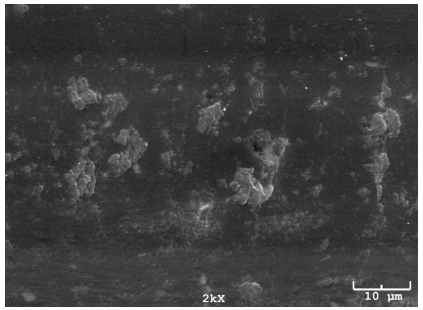
Şekil D.3: AA6082 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 200X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N



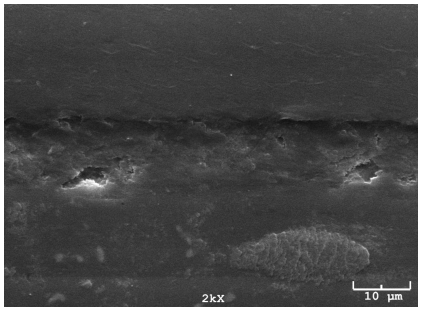
(a)



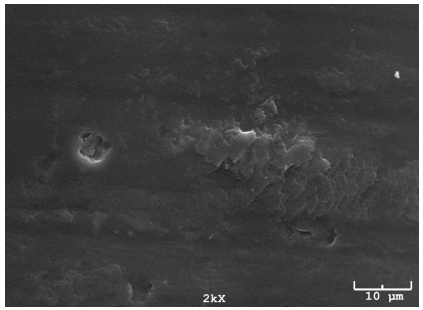
(b)



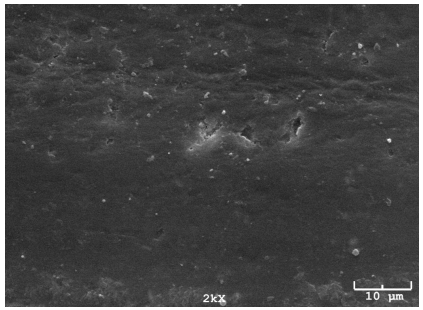
(c)



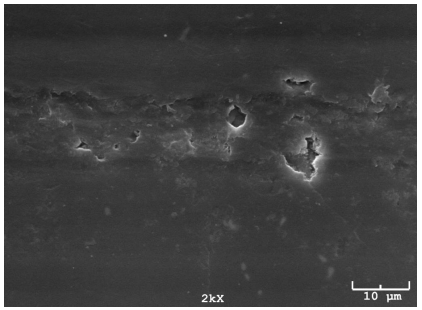
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil D.4: AA6082 alaşımı aynı numune için taramalı elektron mikroskobunda 2000X de çekilmiş farklı yüklerdeki aşınma deneyleri sonucu oluşan aşınma izlerinin görüntüleri (a) aşınmamış yüzey (b) 0,15 N (c) 0,2 N (d) 0,3 N (e) 0,4 N (f) 0,5 N (g) 0,6 N

ÖZGEÇMİŞ

Emre Gökşahin, 1982 yılında Konya'nın Çumra ilçesinde doğdu. 2001 yılında Hasan Şadoğlu Lisesin'nde ortaöğrenimini tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek öğrenimine başladı. 2005 yılında bu bölümden mezun olup aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans programnda eğitimine başladı.