

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

**KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI  
SERAMİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE  
TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Fatma Nazlı SARI**

**Tezi Yöneten  
Prof. Dr. M.Baki KARAMIŞ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Aralık 2010  
KAYSERİ**



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

**KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI  
SERAMİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE  
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Fatma Nazlı SARI**

**Tezi Yöneten  
Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi FBY-09-667  
kodlu proje ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)  
108M562 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Aralık 2010  
KAYSERİ**

**Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ** danışmanlığında **Fatma Nazlı SARI** tarafından hazırlanan “**Karşıt Ekstrüzyon İşleminin Al Esaslı Seramik Takviyeli Kompozitlerde Tribolojik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

03/12/2010

**JÜRİ:**

Başkan: Prof.Dr. M.Baki KARAMIŞ

Üye : Yrd. Doç.Dr. Fehmi NAİR

Üye : Doç.Dr. Cem SİNANOĞLU

## ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 04.01.2011 tarih ve 2011/01-04 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

04/01/2011...

Prof.Dr.Necmettin MARAŞLI

**Enstitü Müdürü**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının ortaya çıkmasını sağlayan, bilimsel destek ve katkıları için hocam Prof. Dr.M.Baki KARAMIŞ'a , laboratuvar çalıŐmalarındaki destek ve yardımlarından dolayı hocam Öğrt.Görevlisi Veysel ERTURUN ve tez süresi boyunca bana zaman ayıran , yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen hocam Yrd.Doç.Dr. Fehmi NAİR ve Yrd.Doç.Dr. A.Alper CERİT'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasını maddi olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK ,Proje No:108M562) ile Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (FBY-09-667) teşekkür ederim.

Bu alıŐma boyunca her türlü destek ve sabırlarından dolayı aileme, Gülfem IŐIK ve Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI' ya teşekkür ederim.

# KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Fatma Nazlı SARI**  
**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2010**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M.Baki KARAMIŞ**

## ÖZET

Metalik malzemelerde mekanik özellikleri iyileştirmek için çok ince boyutlu tane (ultra-fine-grain) yapısına ulaşmanın iki yolu bulunmaktadır. Bunlar, düşük sıcaklıkta (yeniden kristalleşme sıcaklığının altında aşırı plastik deformasyon ve toz metalürjisi yöntemleridir. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin (Al-MMK) üretim teknolojileri üzerine dünyada ve ülkemizde çeşitli araştırmalar yapılmış ve mikro yapı, mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesinde başarı sağlanmıştır. Bu çalışmada karşıt ekstrüzyon metodu ile aşırı deforme edilen Al-matrisli kompozitlerin tribolojik özelliklerinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Ekstrüzyon, malzemelerde bulunan gözeneklerin kapanmasını sağlayan en iyi plastik deformasyon yöntemlerinden biridir. Metal matrisli kompozitlerde inceltmiş mikro yapı ve geliştirilmiş mekanik özellikler elde edebilmek için toz metalürjisi ile biletler üretilmiştir. Karşıt ekstrüzyon işlemiyle Al matris bünyesinde SiCp homojen dağıtılarak, peş peşe uygulanan sıcak deformasyon ile çok daha ince taneli kompozit malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada karşıt ekstrüzyon ile aşırı deforme edilmiş SiCp takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mikro yapı ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan denemeler sonunda ekstrüzyon geçiş sayısına bağlı olarak sertliğin azaldığı, kuru şartlarda yük ve kayma yolu ile aşınmanın arttığı, yağlı şartlarda da benzer sonuçlar tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karşıt ekstrüzyon, metal matrisli kompozitler, Triboloji

**AN INVESTIGATION OF EFFECTS OF RECIPROCATING EXTRUSION  
PROCESS ON TRIBOLOGICAL  
PROPERTIES OF AL BASED COMPOSITES REINFORCED BY CERAMIC  
PARTICLES**

**Fatma Nazlı SARI**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, December 2010**

**Thesis Supervisor: Prof. Dr. M. Baki KARAMIS**

**ABSTRACT**

There are two methods for obtaining ultra fine grain structure to increase the mechanical properties of materials. These are severe plastic deformation (SPD) under recrystallization temperatures at low temperatures and powder metallurgy. There has been many researches about aluminum based metal matrix composites (Al-MMC) in world and in our country. These researches improved microstructure, mechanical and tribological properties of Al-MMC. Extrusion is one of the best methods of plastic deformation for eliminating pores in material structures. In this study it was aimed to improve Al-MMCs tribological properties with reciprocating extrusion (RE).

To obtain fined microstructure and improved mechanical properties the billets produced by powder metallurgy were extruded by RE. A homogeneous dispersion of SiCp in Al matrix and refined microstructure were obtained by hot RE.

Tribological properties and micro structure of Al based composites reinforced by SiC were investigated. According to increasing RE cycles the hardness of composites was decreased. Mass losses were increased with load and wear sliding time under dry conditions. Under lubricated conditions it was observed resembling results.

**Keywords:** Reciprocating extrusion, metal matrix composites, Tribology

**İÇİNDEKİLER**

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
1.BÖLÜM	
GİRİŞ	
1.1.Tezin Konusu	1
1.2. Konunun Önemi	1
1.3. Tezin Amacı	2
2. BÖLÜM	
ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	
2.1.Kompozit Malzemeler	3
2.2.Matris Malzemeleri ve Takviye elemanları	4
2.2.1. Matris malzemeleri	4
2.2.2. Takviye elemanları	5
2.2.2.1. Silisyum karbürler	6
2.2.2.2. Karbon ve grafit fiberler	7
2.3. Partikül Takviyesi Seçim Kriterleri	7
2.4. Metal Matrisli Kompozitler	8
2.4.1. Alüminyum Matrisli Kompozitler	9
2.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları ve Şekillendirilmesi	10
2.5.1. Toz metalürjisi (TM) yöntemi	11
2.5.2 Metal Tozların Sinterlenmesi	11
2.5.2.1. Sinterleme teorisi	13
2.6. Toz Metalürjisi Uygulamaları	15
2.6.1.Alüminyum Toz Metalürjisi Teknolojisi	15

### 3. BÖLÜM

#### ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN EKSTRÜZYONU

3.1.Metal Matrisli Kompozitlerin Ekstrüzyonu	17
3.2.Karşıt Ekstrüzyon	18
3.3.Literatürdeki Karşıt Ekstrüzyon Çalışmaları ve İç Yapı -Malzeme Özellikleri	19

### 4. BÖLÜM

#### ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARI

4.1.Giriş	30
4.2.Yüzeylerin Sürtünme Özellikleri	30
4.3.Aşınma	31
4.3.1.Tribolojik Sistemler	32
4.3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	33
4.3.2.1.Esas sürtünme elemanına bağlı faktörler	33
4.3.2.1.1.Malzeme Cinsi	33
4.3.2.1.2. Malzemenin Mikro Yapısı	33
4.3.2.1.3. Hacimsel ve Yüzey Sertliği	33
4.3.2.1.4.Elastiklik Modülü	34
4.3.2.1.5.Yüzey Pürüzlülük Durumu	34
4.3.2.1.6.Soğuk Sekil Vermenin Etkisi	34
4.3.2.1.7. Isıl İşlem	34
4.3.2.1.8. Aşındırıcının Etkisi	34
4.3.2.2. Karşı Elemana Bağlı Faktörler (Tane Büyüklüğü, Sekli ve Dağılımı)	35
4.3.2.3. Ortama Bağlı Faktörler (Sıcaklık, Nem Atmosfer)	35
4.3.2.4. İşletme koşulları	35
4.4.Aşınma Mekanizmaları ve Çeşitleri	36
4.4.1.Adhezyon (adhesiv) aşınması	36
4.4.2.Abrasif Aşınma	37
4.4.3.Difüzyon aşınması	38
4.4.4.Oksitlenme aşınması	38
4.4.5. Yorulma ve tabakalaşma aşınması	39

4.5.Kompozitlerin Aşınma Davranışı	39
4.6.Seramik Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Aşınma Dirençleri ve Yapılan Çalışmalar	39
5. BÖLÜM	
DENEYSEL ÇALIŞMA	
5.1.Giriş	42
5.2. Karşıt Ekstrüzyon Sistemi	42
5.2.1. Kalıplar	42
5.2.2. Aşınma Deneylerinde İncelenilecek Billetlerin Hazırlanması	44
5.2.3. Tozların Karıştırılması ve Sinterlenmesi	44
5.2.4.Aşınma Numunelerinin İsimlendirilmesi	45
5.3.Aşınma Deneylerinde İncelenilecek Numunelerin Ekstrüzyonu	47
5.3.1 AA6061/SiC 20 µm /5 ve AA6061 Billetinin Karşıt Ekstrüzyonu	47
5.4.Aşınma Numunelerinin Hazırlanması	48
5.5. Aşınma Deneyleri Ön Denemeleri	54
5.6. Aşınma Deneyleri	54
5.7.Aşınma Testlerinin Değerlendirilmesi	57
5.8. AA6061/SiC20µ/5 Kompozitinin Sürtünme Davranışı	60
5.9. AA6061 Numunesinin Sürtünme Davranışı	84
BÖLÜM VI	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	
6.1.Sonuçlar	109
6.2. Öneriler	110
KAYNAKLAR	111
EKLER	118
ÖZGEÇMİŞ	119

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri	6
Tablo 3.1.	Kompozitlerin sürtünme-aşınma özellikleri	24
Tablo 5.1.	Aşınma Numunelerinin gerçek yoğunluk ve sertlik değerleri	49
Tablo 5.2.	Aşınma deney sonucu numunelerin kuru şartlarda aşınma ağırlık kayıpları	56
Tablo 5.3.	Aşınma deney sonucu numunelerin yağlı şartlarda aşınma ağırlık kayıpları	56

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Üç grup kompozit malzemenin sınıflandırılması	4
Şekil 2.2.	Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit üretim aşamaları	12
Şekil 2.3.	Sinterleme sıcaklığının toz metal parçaların özellikleri üzerine etkisi	13
Şekil 2.4.	İki küresel parçacığın sinterleme profili	14
Şekil 2.5.	Sinterleme basamaklarına göre gözenek yapısındaki değişim	14
Şekil 3.1.	Karşıt ekstrüzyon metodu	19
Şekil 3.2.	Karşıt ekstrüzyon ve ileri ekstrüzyon	19
Şekil 3.3.	Çözeltiye alınmış, yaşlandırılmış Al 6061/ %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün (dağlanmış) mikro yapısı	23
Şekil 3.4.	6061 alaşımı ve kompozitlerinin aşınma yüzeyleri	25
Şekil 4.1.	Sürtünme yüzeylerindeki tabakalar	31
Şekil 4.2.	Sürtünme öncesi temas noktaları	31
Şekil 4.3.	Bir Tribolojik sistemin şematik gösterimi	32
Şekil 4.4.	Temel aşınma mekanizmaları	36
Şekil 4.5.	Abrasif aşınma mekanizmaları	38
Şekil 5.1.	Karşıt ekstrüzyon hidrolik presi ve ekipmanları	43
Şekil 5.2.	Karşıt ekstrüzyon kalıbı	44
Şekil 5.3.	Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi	45
Şekil 5.4.	Al ve SiC toz parçacıkları	46
Şekil 5.5.	Toz Karıştırma Ünitesi	47

Şekil 5.6.	Sinterleme fırının şematik gösterimi	47
Şekil 5.7.	AA6061/SiC 20 $\mu$ m/5 numunelerin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları a) bilet b) 1 geçiş c) 5geçiş d) 9geçiş e) 15 geçiş	50
Şekil 5.8.	AA60615 numunelerin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları a) bilet b) 1 geçiş c) 5geçiş d) 9geçiş e) 15 geçiş	51
Şekil 5.9.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin sertlik değeri	52
Şekil 5.10.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri	52
Şekil 5.11	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri	53
Şekil 5.12.	AA6061 numunesinin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri	53
Şekil 5.13.	Pin-on-ring sistemi ve temel yapı elemanlarının şematik gösterimi:1	55
Şekil 5.14.	a) Numune şekli ve boyutları b) Test konfigürasyonu	55
Şekil 5.15.	Aşınma Test Düzenegi	56
Şekil 5.16.	Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre numunelerin ağırlık kayıpları a) kuru şartlarda b) yağlı şartlarda	58
Şekil 5.17.	Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre takviyeli ve takviyesiz numunelerin ağırlık kayıpları a) kuru şartlarda b) yağlı şartlarda	59
Şekil 5.18.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 /C15 geçişli numunenin 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar	60
Şekil 5.19.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 50N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	61
Şekil 5.20.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	61
Şekil 5.21.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	62
Şekil 5.22.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100N yükleri için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	64
Şekil 5.24	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	65

Şekil 5.25.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 50 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti	65
Şekil 5.26.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti	66
Şekil 5.27.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin kuru şartlarda yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) 50 N b) 75 N	67
Şekil 5.28.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	68
Şekil 5.29.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N - 100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	69
Şekil 5.30.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonucu malzeme yığılmaları	69
Şekil 5.31.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 75 N yük etkisiyle aşınan yüzey	70
Şekil 5.32.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	71
Şekil 5.33.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda aşınma sonrası yüzeyi	73
Şekil 5.34.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C5 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	73
Şekil 5.35.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C5 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	74
Şekil 5.36.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti	75
Şekil 5.37.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompozitinin yağlı şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	75
Şekil 5.38.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100N yükleri için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	76
Şekil 5.40	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	79
Şekil 5.41.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin kuru şartlarda 50N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a)Plastik deformasyon bölgesi b)Çatlaklar	80

Şekil 5.42.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	80
Şekil 5.43.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin yağlı kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	81
Şekil 5.44.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	82
Şekil 5.45.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin özgül aşınma miktarı karşıt ekstrüzyon geçiş sayısı ve yüke göre değişimi	83
Şekil 5.46.	AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin aşınma direnci karşıt ekstrüzyon geçiş sayısı ve yüke göre değişim	83
Şekil 5.47.	AA6061/C15 geçişli numunenin 100N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar c) AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 yağlı şartlar	84
Şekil 5.48.	AA6061/C0 numunesinin kuru şartlarda 50N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) numune yüzeyi b) sürtünme yüzeyi c) yığılmalar	85
Şekil 5.49.	AA6061/C0 numunesinin kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	86
Şekil 5.50.	AA6061/C0 kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	87
Şekil 5.51.	AA6061/C0 kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükleri için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	88
Şekil 5.52.	AA6061/C0 numunesi yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	89
Şekil 5.53.	AA6061/C0 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	90
Şekil 5.54.	AA6061/C0 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	90
Şekil 5.56.	AA6061/C1 numunesi kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	92
Şekil 5.57.	AA6061/C1 numunesinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	93
Şekil 5.58.	AA6061/C1 numunesi yağlı şartlarda 100 N yük ile aşınma sonucu malzeme yığılmaları	93

Şekil 5.59.	AA6061/C1 numunesinin yağlı şartlarda 50N-75N-100N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	94
Şekil 5.60.	AA6061/C5 numunenin kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	95
Şekil 5.61.	AA6061/C5 numunesi kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	96
Şekil 5.62.	AA6061/C5 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	97
Şekil 5.63.	AA6061 numunesi kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti	98
Şekil 5.64.	AA6061/C9 numunesi kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	99
Şekil 5.65.	AA6061/C9 numunesi kuru şartlarda 100N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	99
Şekil 5.66.	AA6061/C9 numunesinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	100
Şekil 5.67	AA6061/C9 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	100
Şekil 5.68.	AA6061/C9 numunesi yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	101
Şekil 5.69.	AA6061/ numunesi yağlı şartlarda tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti a) 50 N b)75 N c) 100 N	103
Şekil 5.70.	AA6061/C15 numunesi kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a)yığılma bölgesi b) plastik akma c)x1000 büyütme ile plastik akma bölgesi	103
Şekil 5.71.	AA6061/C15 numunenin kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a)numune yüzeyi b)tabakalaşma c)yığılma bölgesi	104
Şekil 5.72.	AA6061/C15 numunesi kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi	105
Şekil 5.73.	AA6061/ C15 yağlı şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	105
Şekil 5.74.	AA6061/ C15 yağlı şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi	106
Şekil 5.75.	AA6061 numunesinin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi ( kuru şartlar)	107

Şekil 5.76. AA6061 numunesinin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş 108 sayısına ve yüke göre değişimi ( kuru şartlar)

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

#### 1.1. Tezin Konusu

Triboloji bilimi, genelde makine elemanlarında oluşan aşınma türleriyle, minimum sürtünmeyle çalışabilecek mühendislik malzemeleri ve tasarımlarla, aşınma ve sürtünmeyi en aza indirecek yağlama teknolojileriyle doğrudan ilgili olsa da, özelde günlük yaşamımızda karşılaştığımız pek çok sorunla da dolaylı olarak alakalıdır. Sürtünmeden dolayı oluşan enerji kaybı hesap edilemeyecek boyutlardadır. Sürtünme sonucu makine elemanları giderek aşınır ve fonksiyonlarını sıhhatli olarak yerine getiremez hale gelir. Bu sebeple makine tasarımlarında, aşınma ve enerji kaybının önlenmesi için tribolojik özelliklerin geliştirilmesi son derece önemlidir ve üzerinde en hassasiyetle durulması gereken bir konudur. Bu tezin konusu; farklı SiC ile takviyelendirilmiş alüminyum matrisli kompozit numunelerin karşıt ekstrüzyonun aşırı deformasyonu ile karşıt ekstrüzyon ve geçiş sayısının aşınma - sürtünme davranışına, tane yapısı ve büyüklüğüne olan etkilerinin araştırılmasıdır.

#### 1.2. Konunun Önemi

Tane büyüklüğü ve gözenek miktarı gibi özellikler kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Mekanik özelliklerin yüksek olmasının istendiği durumlarda, tane yapısının küçük olması ve gözeneklerin en küçük seviyede olması gerekmektedir. Diğer yandan ekstrüzyon, malzemelerde bulunan gözeneklerin kapatılmasını sağlayan en iyi tekniklerden biridir. Bir yoğunluk işlemi de olan ekstrüzyonda yanal malzeme akışı en yüksek seviyededir. Deformasyon çevresel basınç altında gerçekleştiğinden yüzey çatlakları da oluşmaz. Sıcak ekstrüzyon ile malzemeler %99 üzeri yoğunluklara çıkarılabilir.

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler, homojenlikleri, arttırılmış mekanik ve izotropik malzeme özellikleri ve klasik metal işleme teknikleri kullanılarak şekillendirilebilme kabiliyetleri ile tercih edilen bir malzeme gurubu içerisinde yer almaktadır. Yukarıda bahsedilen avantajlara sahip olmaları ile birlikte, Alüminyum (Al) ve Silisyum karbürün (SiC) mükemmel kimyasal ve fiziksel uyumu, döküm ve ekstrüzyon gibi büyük ölçekli üretim uygulamalarındaki potansiyelinden dolayı, silisyum karbür parçacık takviyeli alüminyum matrisli (Al/SiCp) kompozitler bilinen en yaygın parçacık takviyeli kompozit sistemlerinden biridir.

Kompozitlerin ekonomik olarak elde edilebilmeleri neticesinde ticari uygulama alanları artmıştır. Bunlara örnek olarak; kısa alimüna fiberlerle takviyeli Toyota dizel motor pistonları, SiC partikülleri ile takviye edilmiş piston kol ve diğer aksesuarları gösterilebilir [1, 2]. SiC veya  $Al_2O_3$  ile takviye edilmiş alüminyum alarım matrisli kompozitlerin uzay ve otomotiv endüstrilerindeki uygulamaları; pistonlar, silindir kafaları gibi malzemelerin tribolojik özelliklerinin çok önemli olduğu yerlerde gittikçe artmaktadır [3-6]. Bu konu üzerinde gerçekleştirilen çalışmalara ilave olarak yapılan bu araştırma SiCp takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde karşıt ekstrüzyon işleminin mikro yapı ve tribolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesinde faydalı kazanımlar sağlayacaktır

### **1.3. Tezin Amacı**

Ekstrüzyon, malzemelerde bulunan gözeneklerin kapatılmasını sağlayan en iyi tekniklerden biridir. Tane boyutu ve gözenek miktarı gibi özellikler malzemelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Mekanik özelliklerin yüksek olmasının istendiği durumlarda, tane yapısının küçük olması ve gözeneklerin en az seviyede olması gerekmektedir. Ekstrüzyon işlemi, muhtemel parçacık kümelenmelerini ekstrüzyon yönünde bant şeklinde yayar. Böylece homojen bir parçacık dağılımı sağlanmış ve de bölgesel gerilmeler azaltılmış olur. Bu çalışmada karşıt ekstrüzyon işlemiyle Al matris bünyesinde SiCp homojen dağıtılarak, peş peşe uygulanan ılık deformasyon ile çok daha ince taneli kompozit malzeme elde edilerek ekstrüze olmuş ürünün tribolojik özelliklerini araştırmak amaçlanmıştır.

## BÖLÜM II

### ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

#### 2.1. Kompozit Malzemeler

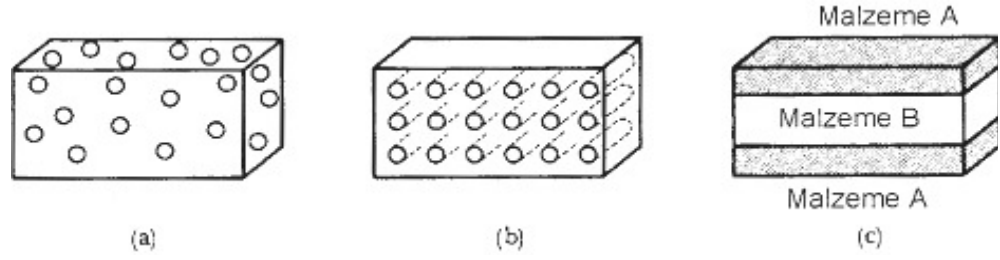
Kompozit terimi geniş ölçüde, sürekli bir faz (matris) içinde dağıtılmış farklı bir bileşimdeki yapıdan (takviye) oluşmuş bir malzeme sistemini ifade etmektedir ve bu sistem karakteristik özelliklerini bahsedilen farklı yapı taşından ve farklı yapılar arasındaki ara yüzeyden almaktadır. Kompozitlerde asıl hedef, değişik fazların karakteristik özelliklerinin birleştirilmesidir. Örneğin, malzemelerin birinin sahip olduğu özelliklerden daha yüksek özelliklere çıkarılması olarak ifade edilebilir.

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar [7]. Her bileşen kendi özelliğini korur, yani her bir malzeme tabakası bir başka tabaka ara yüzeyinde kendi yapısal özelliğini gösterir.

Kompozit malzemelerin sahip olduğu özellikler seçilen matris ve takviye malzemesi ile üretim yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Kompozit malzemeler, genellikle matris fazının fiziksel ve kimyasal özellikleri ele alınarak sınıflandırılmaktadır, örneğin; polimer-matris, metal-matris, seramik-matris gibi. Buna ilaveten intermetalik-matris ve karbon-matrisli kompozitler de sayılabilir.

Diğer bir sınıflandırma ise matrisi takviye eden fazın geometrisine göre yapılabilir; sürekli fiber, kısa fiber, partikül veya whisker takviyeli kompozitler.

Kompozitler, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi takviye malzemelerinin şekline göre parçacık, fiber ve katmanlı olmak üzere üç sınıfa ayrılabilirler. Çimento ve çakılın bir karışımı olan beton parçacık takviyeli kompozit, polimer matris içersine gömülmüş olan cam fiberler içeren cam elyafı (fiberglass) bir fiber takviyeli kompozit, ağaç kaplama katmanlarının dönüşümlü olarak yapıştırıldığı kontrplak ise katmanlı kompozittir.



Şekil 2.1. Üç grup kompozit malzemenin sınıflandırılması (a) Parçacık takviyeli, (b) Fiber takviyeli, (c) Katmanlı kompozit

Parçacık takviyeli kompozitlerde, takviye parçacıklar, matris içerisinde üniform olarak dağılırsa, özellikler izotropiktir. Fiber takviyeli kompozitler, fiberin matris içerisindeki dizilimine göre izotropik veya anizotropik özelliklere sahip olabilir, katmanlı kompozitler anizotropik davranış gösterirler.

## 2.2. Matris Malzemeleri ve Takviye Elemanları

### 2.2.1. Matris Malzemeleri

Matris, takviye elemanlarını birbirine bağlamakta, bir arada tutmakta ve bunların istenilen yönde yerleştirilmesini sağlamaktadır. Kompozite etki eden yükler matris vasıtasıyla takviye elemanlarına iletilir, aynı zamanda fiberleri birbirinden ayrı tutarak bir fiberde oluşan çatlağın diğer fiberlere yayılmasını önler.

Genellikle kompozit malzeme, yarı mamul ve çeşitli mekanik özellikleri belirlenmiş halde bulunmamakta, yapılacak her üretim için uygulamada istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matris seçimi yapılmaktadır [8]. Bu nedenle birbirinden farklı teknik özellikleri taşıyan matrisler, önemle ve hassasiyetle özellikleri belirlenip seçilmektedir.

Bunlar, alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır, kursun, vb. gibi metallerdir. Magnezyum, bakır, kursun, titanyum ve bunların alaşımları da matris olarak kullanılmakla beraber en yaygın olarak alüminyum ve alüminyum alaşımları endüstriyel uygulamalarda yer almaktadır [9, 10]. Alüminyum iyi ıslatılabilirlik kuvvetli ara yüzey bağı oluşturma gibi özelliklerinden dolayı, diğer metallere nazaran daha yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

### 2.2.2. Takviye Elemanları

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parçacıklar kullanılmakta olup, plastik ve metal esaslı malzemelerle elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelere olan talep nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Kompozit malzemedeki takviye elemanın esas fonksiyonu; yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını arttırmaktır. Yükün takviye elemanına iletilebilmesi için fazlar arasındaki fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekmektedir.

Takviye elemanları whiskerler ve fiberler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Fiberler ise sürekli ve süreksiz olarak ikiye ayrılırlar. Metal matris kompozitlerde takviye elemanı sertlik, aşınma gibi özellikleri geliştiren örneğin ikinci faz eklemeleridir. En sık karşılaşılan tipleri seramiklerdir. Seramikler sertlikleri ile karakterize edilirler.

Takviye elemanı ile matris elemanının ısı genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir. Metal matrisli kompozitlerde, en yaygın olarak kullanılan seramik takviye elemanları Tablo 2.1' de gösterilmiştir [9].

Kompozit üretilirken takviye elemanı çeşidi ve üretim tekniği kompozitin fiziksel mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle takviye elemanı seçimi ve özellikleri iyi bilinmelidir. Takviye elemanı;

- Yüksek modül ve dayanım
- Düşük yoğunluk
- Kimyasal uyumluluk
- Üretim kolaylığı
- Isıl direnç gibi kriterlere uygun seçilmelidir

Tablo 2.1. Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri [9]

Fiber tipi	Çap ( $\mu\text{m}$ )	Yoğunluk ( $\text{Kg/m}^3$ )	Elastikiyet modülü (GPa)	Çekme dayanımı (GPa)
Saffil ( $\delta$ -Alümina)	3	3300	300	2,0
FP ( $\alpha$ -Alümina)	20	3950	380	1,7
Silikon karbür	13	2500	390	2,0
Boron	100–200	2600	390	3,4
SiC kaplı boron	100–200	2600	400	2,9
Y. Modüllü karbon	8	1950	358	2,2
Y. Dayanımlı karbon	6.8	1800	235	2,6

### 2.2.2.1. Silisyum Karbürler

Silisyum karbürler yaygın olarak kullanılan seramik takviye elemanıdır. Alüminyum matrisli kompozitlerin takviyelendirilmesinde, alüminyumla güçlü bir bağlantı ara yüzeyi oluşturabilmesi sebebiyle tercih edilmektedir.

Silisyum karbür, fiberlerin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliği bor fiberlerden daha iyidir. Ergimiş alüminyum SiC fiberler üzerindeki etkisi de bor fiberlere göre çok düşüktür [12,13]. Bu nedenle alüminyum matrislerin takviyelendirilmesinde kullanılan bor filamentleri SiC ile kaplanır.

Silisyum karbürün yüzey yapısı oldukça düzgündür. En önemli avantajları, maruz kaldıkları yüksek sıcaklık şartları altında bunların özellikleri ile ilgilidir. Çünkü karbon ana malzemesi kimyasal soy gaz olduğu için SiC ile reaksiyona girmez. Dolayısı ile takviye elemanı çekme dayanımı özellikleri yüksek sıcaklık şartları altında da devam eder.

Silisyum karbür parçacık takviyeli kompozitlerde ikinci bir operasyon olarak ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi şekil verme tekniklerinin uygulanabilmesi önemli bir avantajını teşkil eder. Toz metalürji tekniği ile metal matrisler içine takviyelendirilirler.

### **2.2.2.2. Karbon ve Grafit Fiberler**

Karbon ve grafit fiberler, düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve modüllü, ısı kararlılıkları ve dirençleri yüksek olan takviye elemanlarıdır. Bu özellikleri nedeniyle çok yaygın olarak kullanılırlar. Karbon ve Grafit fiberler organik maddelerden üretildikleri için organik fiber olarak da adlandırılırlar. Hammadde olarak Rayon, poliakrilonitril (PAN) ve zift kullanılır, üretildikleri maddeye göre de anılırlar [10- 15].

### **2.3. Partikül Takviyesi Seçim Kriterleri**

Takviyelerin seçimi arzu edilen özellik/maliyet kombinasyonuna göre yapılmaktadır. Takviye hacim oranı, yönlendirme ve matris alaşımı bileşimi ile ısıl işlemler yardımıyla geniş bir malzeme kombinasyonu ve malzeme özelliği elde etmek mümkündür.

Metal matrise rijit seramik takviyelerin eklenmesiyle elastik modülde artış olmaktadır. Aynı zamanda özgül rijitlik değerini de arttırmaktadır. Birçok yapısal uygulama, öncelikle rijitliği ve bu malzemenin bulunabilirliği göz önünde tutularak tasarlanmıştır. Böylece daha ince bölümler tasarlanabilmekte ve ağırlıkta azalma sağlanabilmektedir. Titreşimin sorun olduğu uygulamalarda da yüksek rijitlik değeri bu soruna çözüm olmaktadır.

Yüksek elastik modüllü takviyelerin eklenmesi ile malzeme dayanımında artış olmaktadır. Burada takviyenin karakteristik özellikleri, morfolojisi ve matris malzemeye bağlanma özellikleri önemlidir.

Partikül takviyeli MMK'ler, matris malzemesinin özgül dayanımını, matris malzemesinin özelliğine, takviye tipine ve hacim oranına bağlı olarak iki katına çıkarabilmektedir.

Yorulma dayanımı, takviyenin morfolojisi ile takviye-matris ara yüzey bağlantısının yapısına göre değişiklik göstermektedir. Takviye edilmemiş matrise göre, seramik takviye malzemelerinin sertlikleri metal matrise etki edebilmektedir. Ancak aşınma dayanımındaki bu artış malzemenin işlenebilirliğini güçleştirebilmektedir. Tipik seramik takviyeler oldukça düşük ısıl genleşme katsayısına sahiptirler.

Böylece düşük ısı genleşme katsayılı seramik takviyelerin Al, Mg, Cu gibi yüksek genleşme katsayılı matrislere ilavesiyle ısı genleşme oranında önemli ölçüde düşüşler gözlenebilmektedir. Seramik partiküllerin imal edilmesiyle, partikül takviyeli kompozitler için geniş bir potansiyel partikül yelpazesi oluşmuştur. Ancak, takviyenin seçimi önerilen kompozitler için gelişigüzel olmayıp birçok faktör ışığında yapılmalıdır [16].

Eğer kompozit, yapısal uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanıyorsa, kompozitin elastik modül, dayanım ve yoğunluğu önemli olacak, yüksek modül ve dayanımda, düşük yoğunluklu takviye gerekecektir. Partikül şekli de önemli olabilmektedir. Köşeli partiküller bölgesel gerilme yığılmalarına sebep olurlar ve sünekliği azaltırlar [ 16].

#### **2.4. Metal Matrisli Kompozitler**

Metal matrisli kompozitler (MMK), matris, takviye tipi ve takviye geometrisi ile tanımlı oldukça geniş bir malzeme grubunu kapsamaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde genellikle Al, Mg, Zn, Cu ve Ni gibi malzemeler matris olarak kullanılırken, silisyum karbür, boron, grafit, alüminyum oksit, tungsten ve molibden gibi değişik sürekli, kılcal kristalli veya kısa elyaflar ve partiküller takviye elemanı olarak seçilmektedir.

MMK'ler sürekli veya süreksiz takviye içerirler ve monolitik malzemelerde elde edilemeyen özelliklere sahip olarak üretilebilirler. Diğerlerinden çok üstün olarak en büyük araştırma ve kullanım alüminyum matrisli kompozitler üzerine olmuştur. Metal matrisli kompozitlerin kullanımda sağladığı başlıca avantajlar:

- Yüksek elastik modül ve özgül dayanım
- Gelişmiş yüksek sıcaklık özellikleri
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini kombine edebilirler
- Düşük ısı genleşme katsayısı verirler
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri
- Daha iyi aşınma direnci
- Yüksek sönümleme kapasitesi olarak verilebilir.

Dezavantaj olarak ise maliyet ve zayıf tokluk verilebilir. Takviye perspektifinden, tipik olarak kullanılan malzemeler, arzu edilen rijitlik kombinasyonunu, dayanımı ve oldukça düşük yoğunluğu sağlayan seramiklerdir. Takviye malzemeleri olarak SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C, TiC, TiB<sub>2</sub>, grafit ve diğer seramikler sayılabilir. Takviye malzemesinin morfolojisi, metal matrisli kompozitlerde diğer bir önemli noktadır. Takviye morfolojisinde üç ana sınıf, sürekli fiber, kısa fiber veya whisker ve partikül olarak belirtilmektedir. Takviye morfolojisinin seçimini, arzu edilen özellikler/maliyet kombinasyonu belirler.

Genel olarak sürekli fiber takviyeli MMK'ler üstün özellikler sağlarlar ancak en pahalı kompozit grubunu oluştururlar. Kısa fiber ve whisker takviyeli malzemeler, mekanik özelliklerde önemli gelişimler sağlayabilirler ve oldukça düşük maliyetlidirler. Partiküller, karşılaştırıldığında diğerlerine göre daha ortaldadır fakat özelliklerde izotropik artış sağlarlar ve tipik olarak düşük maliyetlidirler.

Metalik matris, takviye malzemesi, takviye morfolojisi, takviye hacim oranı, yönlendirilmesi, matris alaşımı bileşimi ve ısıl işlem gibi parametreler üzerinde oynanarak çok geniş bir malzeme kombinasyonu ve buna bağlı olarak mekanik özellikler elde edilebilmektedir.

#### **2.4.1. Alüminyum Matrisli Kompozitler**

Alüminyum matrisli kompozitler, düşük ağırlıklı yüksek performanslı alüminyum merkezli malzeme sistemi sınıfına tekabül etmektedir. Takviye malzemesi, alüminyum matrisli kompozitlerde sürekli/süreksiz fiberler, whisker veya partiküller olarak %70'e varan hacim oranlarında bulunabilirler [17].

Alüminyum matrisli kompozitlerin özellikleri, endüstriyel uygulamalardaki pozisyonlarına göre uygun matris bileşiminin, takviye ve üretim yönteminin seçilmesi ile uygun hale getirilebilir.

Son otuz yıl yapılan yoğun araştırmalar ile seramik takviyelerin içsel ve harici etkilerinin anlaşılmasında gelişmeler kaydedilmiştir. Son yıllarda, alüminyum matrisli kompozitlerden uzay, otomotiv, savunma sanayi, termal yönetim alanları ve hatta spor ve eğlence alanlarında, yüksek teknoloji yapısal ve fonksiyonel uygulamalarında yararlanılmaktadır.

Takviye edilmemiş malzemeye oranla alüminyum matrisli kompozitlerin başlıca avantajları şunlardır:

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik (bükülmezlik)
- Düşük yoğunluk (ağırlık)
- Geliştirilmiş yüksek sıcaklık özellikleri
- Kontrol altına alınmış ısıl genleşme katsayısı
- İyileştirilmiş elektriksel performans
- Yüksek aşınma direnci
- Yığın kontrolü (piston hareketli uygulamalarda)
- Yüksek sönümlenme yeteneği.

Alüminyum matrisli kompozitler, alüminyum alaşımı içeren monolitik malzemelerin, demir alaşımlarının, titanyum alaşımlarının ve bazı uygulamalarda kullanılan polimer esaslı kompozitlerin yerini alması amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde alüminyum matrisli kompozitler mühendislik sistemlerindeki monolitik malzemelerden yapılan parçaların yerine kullanılmaktadır. Kompozit malzeme kullanılması düşünülerek yapılacak yeni tasarımlarla elde edilecek hacim ve ağırlık kazançları daha da artacaktır.

Alüminyum matrisli kompozitler takviye tiplerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler
- Whisker veya kısa fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozitler
- Sürekli fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozitler
- Monofilament takviyeli alüminyum matrisli kompozitler

Alüminyum matrisli kompozitler çeşitli mühendislik sektörlerinde birçok yapısal, yapısal olmayan ve fonksiyonel uygulamalarda denenmiş ve kullanılmıştır. Alüminyum matrisli kompozitlerin tüm bu sektörlerde kullanılmasındaki itici güç; performans, ekonomik ve çevresel avantajlardır.

## **2.5. Kompozit Malzemelerin Üretim Metotları ve Şekillendirilmesi**

Kompozit üretimi için uygulamada istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matris seçiminin yanında üretim tekniği de oldukça önemlidir.

Metal matris kompozitlerde kullanılan takviye elemanının tipi üretim yönteminin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Takviye elemanının tipi imal edilen parçanın mekanik özelliklerini ve maliyetini önemli derecede etkilemektedir. Genelde takviye elemanının partikül formundan whisker ve fibere doğru gelişmesi mekanik özelliklerin gelişmesi ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Partikül takviyeli kompozit malzemenin whisker takviyeli kompozit malzemelerden, visker takviyeli kompozitlerinde sürekli fiber takviyeli kompozitlerden daha uygun ve ucuz şekilde üretildiği bilinmektedir.

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin başlıca üretim yöntemleri şu şekilde gruplandırılabilir:

#### I. Katı-hal prosesi

› Toz metalürjisi (TM) yöntemi

#### II. Sıvı-hal prosesleri (Ergiyik metal yöntemleri)

› Karıştırma

› Yarı-katı döküm

› Basıncılı-basıncsız infiltrasyon

› Sprey çöktürme

› In-situ yöntemi

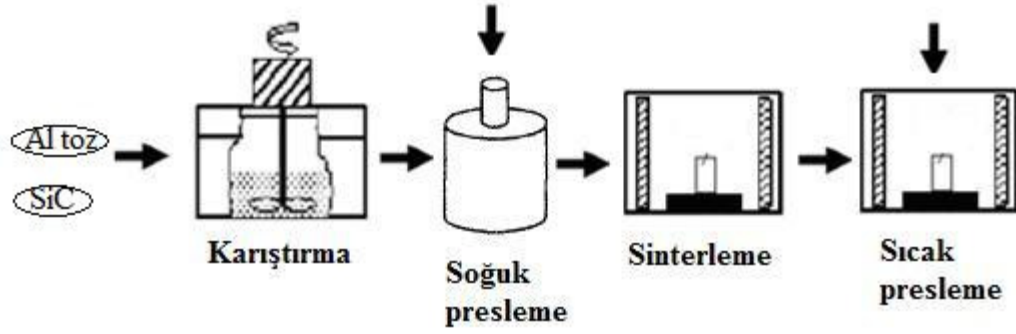
### **2.5.1. Toz Metalürjisi (TM) Yöntemi**

Toz metalürjisinin amacı, mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımların tozlarını üretmek ve tozlardan ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir. Sinterleme denilen bu ısıl işlem toz partiküllerinin birbirine bağlanmasını sağlayarak, malzemenin mekanik mukavemetini artırır. Toz metalürjisi yöntemini diğer yöntemlere göre daha avantajlı kılan özelliği, düşük sıcaklıklarda imal edilebilmesidir. Bu yöntem şematik olarak Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.

### **2.5.2. Metal Tozların Sinterlenmesi**

Kalıpta sıkıştırılmış toz kütleyi ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ısıtılarak difüzyon yolu ile kimyasal olarak tozların birbirleriyle bağlanmasını sağlamak ve böylece gözenek miktarını azaltma işlemine tozların sinterlenmesi denir [18].

Sıkıştırılarak soğuk şekillendirilmiş tozlar çok yüksek basınçlarda sıkıştırılmamışlarsa, çok kırılğan olurlar. Hatta yüksek yoğunlukta sıkıştırılmış cisimler dahi, uygulanan küçük gerilimlere dayanamazlar [19].

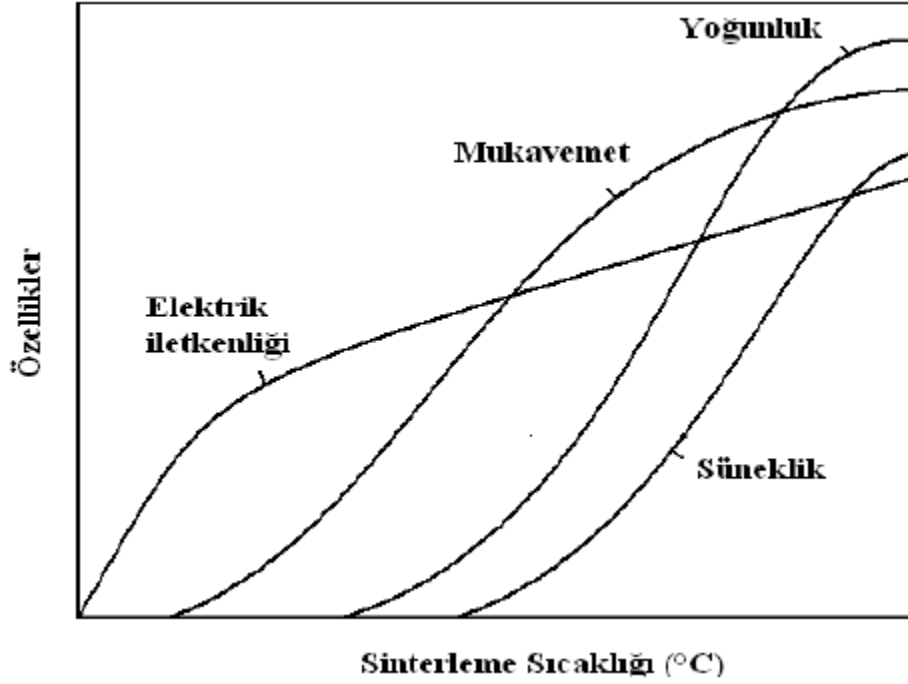


Şekil 2.2. Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit üretim aşamaları

Sinterleme sıcaklığı, tek bileşenli sistemlerde metalin ergime sıcaklığının  $2/3$ 'ü veya  $4/5$ 'i kadardır. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı ergime derecesi düşük olan metalin altında tespit edilir. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi kısalır. Sinterleme süresi uzun tutulduğunda sıcaklığı düşük tutmak gerekir [18].

Sinterleme işlemi esnasında tozlarda, kimyasal değişme, boyutsal değişme, iç gerilimlerinin giderilmesi, toz değişimleri ve alaşımlama gibi etkiler meydana gelmektedir. Şekil 2.3 mukavemetin ve diğer özelliklerin sinterleme sıcaklığı ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekildeki iletkenlik hariç, eğriler üç bölümden oluşmaktadır. Her eğrinin ilk bölümleri sinterleme sıcaklığına göre ya sabit kalmakta ya da yavaşça artmaktadır [19].

Bunu, az miktarda sinterleme sıcaklığının artmasıyla eğrilerin özelliklerinin çok hızlı değiştiği, ikinci bölge takip ediyor. Üçüncü bölgede bütün özellik değerlerinin en üst seviyesine yaklaştığı görülüyor. Özellikle ikinci sinterleme bölgesi çok önemlidir. Bu bölgede farklı sıcaklıklarda gözlenen özelliklerde çok hızlı değişimler olmaktadır. Örneğin önemli bir boyutsal değişim olmadan mukavemette hissedilebilir artış meydana gelmektedir [20].



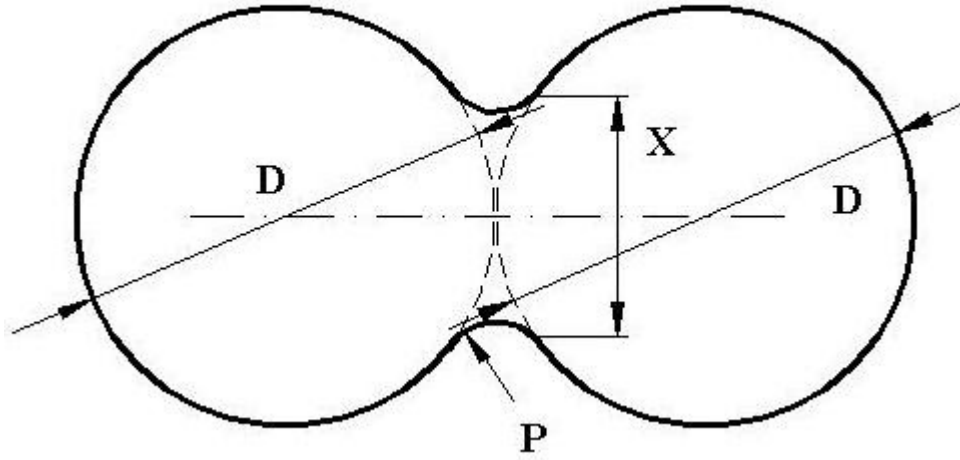
Şekil 2.3. Sinterleme sıcaklığının toz metal parçalarının özellikleri üzerine etkisi [19].

Sinterleme işleminde, toz taneciklerindeki boyutsal değişimler sonucunda toz özelliklerinde de değişimler olur. Preslenmiş toz parçalar sinterlendiğinde yüksek mukavemet kazanırlar. Mukavemette ve diğer özelliklerde sinterleme sıcaklığının artmasıyla iyileşmeler görülür [21].

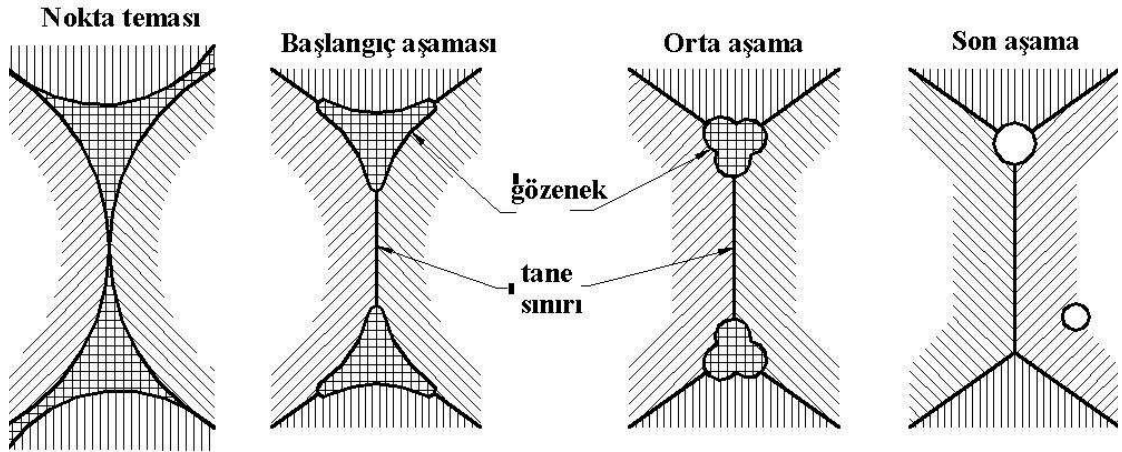
### 2.5.2.1. Sinterleme Teorisi

Presleme işleminden sonra, küresel şekilli toz parçacıkları noktasal olarak temas halindedirler. Şekil 2.4'de iki küresel parçacığın sinterleme profili verilmiştir. Sinterleme işlemi sırasında, temas eden parçacıklar arasındaki bağlar kuvvetlenir ve kaynaklanmalar oluşur. Sinterleme işleminde, parçacıklarda önce bir boyun büyümesi ve ilerleyen sinterleme zamanı ile gözeneklerde büzülme oluşur. Daha sonra, gözenek kanalları kapanarak gözenekler kapalı gözenek şekline dönüşürler.

Şekil 2.5'de sinterleme işlemi sırasında parçacıklar arasındaki bağlarda ve gözeneklerdeki değişimler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4. İki küresel parçacığın sinterleme profili  $X$ =boyun çapı, $D$ =küre/parçacık çapı,  
 $P$ =boyun yarıçapı



Şekil 2.5. Sinterleme basamaklarına göre gözenek yapısındaki değişim [51]

Sinterlemeyi etkileyen pek çok faktör vardır (Toz boyutu, sıcaklık, alaşım elementleri, ham yoğunluk, sinterleme atmosferi vb.). Sinterlenecek tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyecek tabakaların oluşmaması sinterleme işleminin istenilen şekilde gerçekleştirilmesinde en önemli etkidir. Eğer oksit tabakaları oluşmuşsa ve presleme sırasında kırılmamışsa sinterleme hiç olmaz ya da çok verimsiz gerçekleşir.

Sinterleme sonrası malzemenin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine en etkin yapı parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarıdır.

Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı da çok önemlidir. Sinterleme sırasında her ne kadar ebatlarda değişiklik istenmese de, boşlukların giderilmesi için katı transfer işlemlerinin olması gerekir. Bunlar; hacimsel difüzyon, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir [52].

Sinterlemenin ileri aşamalarında toz sınırları kalkar ve tane büyümeye devam eder. Ancak büyümenin ileri safhalarında gözenekler tamamen tane içerisine hapis olur. Bu istenmeyen bir durumdur. Eğer sinterlenen numunede taneler arasındaki gözenek şekli dairesel hal almışsa sinterlemenin son aşamasına erişildiği anlaşılabilir. Bu son aşamada, hiçbir zaman % 100 yoğunluk elde edilmez (Şekil 2.5).

Sinterleme işleminde en önemli parametrelerden biri de sinterleme atmosferidir. Sinterleme için gerekli atmosfer prensip olarak parçaların ve fırının oksitlenmesini önlemek, yüzey oksitlerini indirgemek, fırında buharlaşan yağlayıcı gazları dışarı atmak ve demir karbon alaşımlarında olduğu gibi blok parçanın bileşimini kontrol etmek için kullanılır. Endüstride, genellikle oksitlenmeyi minimuma indirmek için koruyucu atmosfer olarak Ar, H veya N gazı kullanılır [50].

## **2.6. Toz Metalürjisi Uygulamaları**

T/M uygulamaları çok çeşitlilik göstermektedir. Talaşlı imalat gerektirmeyen makine parçaları, sinterlenmiş sert mamuller, elektrik kontakları, metallografik kömürler, manyetik sinter mamuller, kaymalı yataklar, gözenekli metaller ve diş amalgamları gibi çok değişik alanlarda uygulama imkânı bulmaktadır [53].

### **2.6.1. Alüminyum Toz Metalürjisi Teknolojisi**

Hafif metallerin T/M endüstrisinde kullanım alanı açısından en çok yeri alüminyum T/M parçaları almaktadır. Hafif metallerin, (alüminyum, titanyum, berilyum) sahip oldukları bazı üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı T/M endüstrisinde kullanım alanı oldukça geniştir.

Birim ağırlıktaki yüksek mukavemet, aşınmaya karşı direnç, süper yüzey kalitesi ve başka üstün özelliklerinden dolayı alüminyum T/M parçaları, makine ve otomobil endüstrisinde ve alet teknolojisinde kullanılmaktadırlar.

Matris malzemesi olarak hafif oluşlarından dolayı tercih edilen ve önemli ölçüde mekanik ve korozif özellikli iyileşmesi sağlayan alüminyum alaşımlarına  $Al_2O_3$ , SiC,  $SiO_2$  gibi sert seramik partiküllerinin ilave edilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin özellikle abrasif aşınma dayanımı artmaktadır.

## BÖLÜM III

### ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN EKSTRÜZYONU

#### 3.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Ekstrüzyonu

Sıcak şekillendirme teknikleri yalnızca malzemeyi arzu edilen şekil ve boyuta getirmekle kalmaz, aynı zamanda mikro yapıyı mekanik özellikleri iyileştirecek tarzda yeniden düzenler. Sıcak ekstrüzyon gibi ikincil şekillendirme işlemleri döküm gibi birincil işlemle üretilmiş metal matrisli kompozitlerin (MMK) mekanik özelliklerini arttırmak yanında homojen bir parçacık dağılımını da sağlar [4-6,25].

Homojen olmayan parçacık dağılımı ve kaba taneli mikro yapı; döküm yoluyla üretilen MMK 'ların en önemli problemlerindendir. Döküm yoluyla üretilen takozlar ekstrüze edilerek aşağıda sayılan mikro yapı özellikleri de iyileştirilir:

- Ürün içerisinde üniform takviye elemanı dağılımı sağlanır
- Gözeneklilik azaltılır
- Daha ince matris malzeme tane yapısı elde edilir
- Matris-seramik ara yüzey bağı güçlenir
- Takviye elemanının matris içerisinde kümelenmelerini dağıtır

Ekstrüzyon işlemi, döküm yöntemiyle üretim sonucunda oluşan muhtemel parçacık kümelenmelerini ekstrüzyon yönünde bant şeklinde yayar. Böylece homojen bir parçacık dağılımı sağlanmış ve de bölgesel gerilmeler azaltılmış olur. Aksi takdirde bu kümelenmeler ürün içerisinde çatlak kaynağı olarak davranır ve iç çatlaklara yol açar [25,29,30].

MMK' ların ekstrüzyon gibi geleneksel bir yöntemle üretilebilmesi onların üretim maliyetini diğer kompozit türlerine göre önemli ölçüde azaltır ve rekabet şansını artırır. Ancak MMK' ların takviye edilmemiş geleneksel matris malzemesine göre şekillendirilmeleri daha zordur ve bu nedenle üretim maliyetleri onlara göre yüksektir. Ayrıca, MMK 'ların ekstrüzyonunun geniş kapasiteli presler gerektirmesi yanında, kalıp ve takımların şiddetli aşınmasına yol açması üretim maliyetini artırır [29, 31].

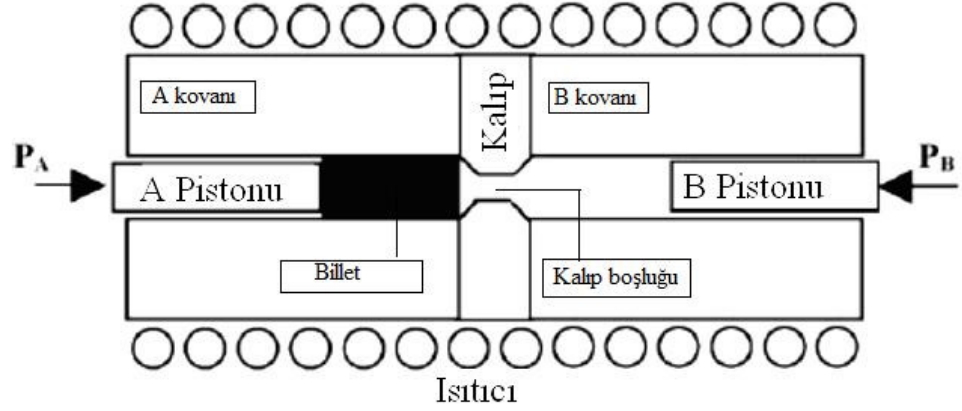
### 3.2. Karşıt Ekstrüzyon

Ekstrüzyon metal bir bloğun, bir kovan (alıcı) içine yerleştirilerek zımba (ıstampa) vasıtasıyla uygulanan basma kuvvetinin etkisi altında, ürün kesitinin şeklinde olan kalıp (matris) deliğinden geçirilmesine ekstrüzyon denir. Ekstrüzyon yöntemi ile çubuk, boru, şerit gibi ürünler elde edilebildiği gibi, ayrıca pek çok karmaşık şekiller ve çeşitli kesit şekilleri de elde edilmektedir. Elde edilen şekiller bir yarı mamul olabileceği gibi bazen de doğrudan kullanılan bitmiş mamul de olabilir.

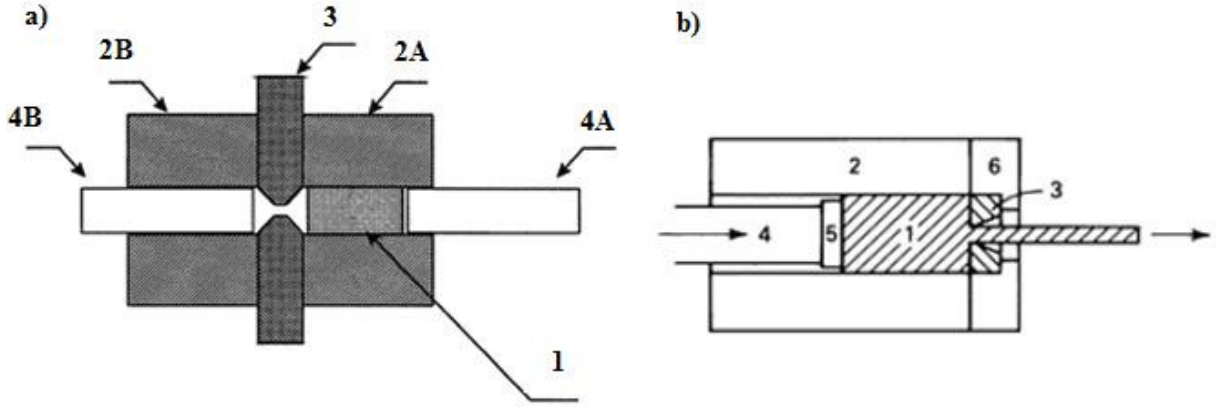
Karşıt ekstrüzyon, kovanlar arasında çevrimsel malzeme akışı prensibine dayalı aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden biridir. Deformasyon etkisi sabit kalıp ve hareketli zımba ile gerçekleştirilir. Neticede şekillendirme kuvveti yüksektir, farklı pres tasarımı gereklidir ve ekipmanlar için özel malzemeler kullanılır [32].

Karşıt ekstrüzyonda (RE) billet ilk önce kovanlardan birine yerleştirilir, örneğin A'ya ve ekstrüzyon sıcaklığına kadar ısıtılır. Sonra A kovanından B kovanına ekstrüze edilir. Aynı zamanda, B kovanının içinde billetin şeklini koruyabilmesi için, B pistonu diğerinden daha az ters basınç uygular. Bu ekstrüzyondan sonra, ters ekstrüzyon B kovanından A kovanına uygulanır bu şekilde tekrar tekrar deformasyon gerçekleştirilir (Şekil 3.1) . Kalıba doğru ekstrüze sayısı, ekstrüzyon geçiş sayısı olarak belirlenir.

Direk ekstrüzyonda ise kovan içerisindeki billet arka taraftan zımba vasıtasıyla itilerek kalıp boşluğundan dışarı çıkmaya zorlanır. Şekil 3.2'de karşıt ekstrüzyon ve direk ekstrüzyon şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Karşıt ekstrüzyon metodu [41] .



Şekil 3.2. Karşıt ekstrüzyon ve ileri ekstrüzyon a) Karşıt ekstrüzyon [33]  
b) İleri ekstrüzyon [34] 1-billet 2-kovan 3-kalıp 4-zımba 5-ara pul 6-kalıp desteği

### 3.3. Literatürdeki Karşıt Ekstrüzyon Çalışmaları ve İç Yapı - Malzeme Özellikleri

Metalik malzemelerde mekanik özellikleri yükseltmek için çok ince boyutlu tane (ultra-fine-grain) yapısına ulaşmanın iki yolu bulunmaktadır. Bunlar, düşük sıcaklıkta (yeniden kristalleşme sıcaklığının altında) aşırı plastik deformasyon ve toz metalürjisi yöntemleridir. Aşırı plastik deformasyon, bir metalik malzemenin düşük sıcaklıklarda (erime sıcaklığının 0.3 katının altında) yüksek miktarlarda plastik genlemeye maruz bırakılarak plastik deformasyona uğraması olarak bilinir.

Aşırı plastik deformasyon, kaba taneli mikro yapıların, hücre blokları ve dislokasyon hücrelerinin hiyerarşik bir sistem haline ayrılmasına öncülük eder. Malzemenin zorlanmasının artması ile birlikte, mikro yapısal boyutları aynı miktarda azalır. Geleneksel malzeme deformasyon yöntemleri, malzemenin yüksek genlemelerde hasarsız şekil değiştirmesine olanak sağlamaz. Bir numune, plastik genlemenin toplam miktarında artış için birçok defa aşırı deformasyona maruz bırakılabilir [35].

Jien-Wei Yeh [36] , ve arkadaşları ince ve düzgün mikro yapılar ve üstün özelliklerde hiper ötektik Al-20wt.% Si üretmek için Karşıt Ekstrüzyon (RE) işlemini geliştirmişlerdir. Hızlı katılaştıran katmanlar ve döküm biletler şeklinde üretilen malzemeleri başlangıç malzemesi olarak kullanmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki hızlı katılaştırmış alaşımların katmanları arasındaki ara yüzeyler tamamen kaybolur ve her ikisinde de ekstrüzyon geçişinin artmasıyla dayanıklılık ve süneklik iyileşmiştir. İngot alaşımları için, ötektik içindeki Si fazı gibi levha ve çok iri birincil Si kristalleri, daha geniş boyuta incelterek geçirilmiştir ve böylece dayanıklılık % 9 ve süneklik % 67 yükselmiştir. Oluşan daha ince Si partiküllerinden dolayı, hızlı katılaştırmış alaşımlar, İngot alaşımlarına göre mekanik özelliklerin daha iyi kombinasyonunu göstermiştir. Fraktografik incelemeler ingot işlem malzemeleri içindeki büyük Si partiküllerinin, kırılma hasar miktarını artırdığını göstermiştir.

Zhang ve arkadaşları [37], hızlı katılma ve karşıt ekstrüzyonla üretilen Mg-6.4Zn-1.1Y alaşımının mikro yapısını incelemiştir. Yüksek mukavemetli kristalimsi güçlendirilmiş magnezyum alaşımlarını hazırlanma metotlarını araştırma amacı ile hızlı katılaştırılmış Mg-6.4Zn-1.1 Y magnezyum alaşımının 50 – 60 µm kalınlığındaki ince tabakalarını, ergiterek döndürülen tekli silindir düzeneği ile gözlemlemişler ve bu ince tabakaları karşıt ekstrüzyonla ve direk ekstrüzyonla çubuklara çevirmişlerdir. Alaşımın mikro yapısını optik mikroskop ve SEM ile analiz ederken ve birleşen fazları XRD ile ortaya çıkarmışlardır.

Lee ve arkadaşları [38], karşıt ekstrüzyonla işlenmiş Mg-15Al-1Zn alaşımlarını incelterek iki fazlı Mg-15Al-1Zn alaşımının kendine has mukavemeti ve düşük sıcaklık yüksek şekil değişimi oranının süper plastikliğinin üstün kombinasyonunu, döküm kütüklerden direk olarak karşıt ekstrüzyonla elde etmişlerdir. Çekme durumunda akma mukavemeti ve son çekme mukavemeti sırasıyla 306 ve 376 MPA'dır.

Sözü edilen takviye mekanizmaları, inceltirilmiş  $\alpha$ -Mg matrislerine ince taneli sert Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> fazının hacimsel olarak yüksek oranı ile de katkıda bulunmuştur.

Guoa ve arkadaşları [39], Mg-6.0%Zn-1.0%Y-0.6%Ce-0.6%Zr magnezyum alaşımının gelişimi ve işlem esnasında mikro yapısındaki değişimleri incelemiştir. Kuvvetli ve sünek Mg-6.0%Zn-1.0%Y-0.6%Ce-0.6%Zr alaşımı geliştirilmiştir.

Alaşımın öncelikle kütük biçiminde dökümü yapılmıştır ve şerit halinde hızlıca katılaştırılmıştır, ufak parçalara ayrılmıştır ve ekstrüze edilmiştir.

Bunlardan bazıları karşıt ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuştur. Farklı işlemlerle hazırlanan alaşımın mikro yapısı optik mikroskop (OM), yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu (HRSEM) ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile analiz edilmiştir. Dökümün mikro yapısı kaba taneler içermekte olup ortalama tane boyutu tane sınırlarında intermetalik bağlar ile 45  $\mu$ m'dir. Karşıt ekstrüzyon yapılmış alaşımın mikro yapısı ortalama tane boyutu 1.3  $\mu$ m ve homojen dağılımlı 80  $\mu$ m çapta parçacıklarla takviyelenmesiyle daha üniform olmuştur.

Chu ve arkadaşları [40], karşıt ekstrüzyon prosesi kullanarak Al (grafit, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) insitu kompozit üretmişlerdir. 6061 Al alaşım tozu öncelikle vakumda 450 °C'de dehidrasyon edilmiştir ve sonra %20'ye varan çeşitli hacim oranlarında grafit tozuyla karıştırılmıştır. Karıştırılmış toz kütük olarak sıcak preslenmiş ve sonunda karşıt ekstrüzyon makinesi ile mukavemeti arttırılmıştır. Her bir kütük kalıp içinden 15 kere ekstrüzyon edilmiştir. Sonuç tüm grafit parçacıklarının büyük ölçüde incelmış ve matris içinde düzenli biçimde dağılmış olduğunu göstermiştir.

Grafit Al matris ile tepki gösterip karşıt ekstrüzyon ve sonraki çözelti işlemi boyunca ince dağılmış ve Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> parçacıkları meydana getirmiştir. Matrise eklenen grafit hacim oranı ne kadar yüksek ise ve çözelti işlemi ne kadar uzunsa kompozit o kadar sert olmuştur. 6061 Al-%20 (grafit, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) kompoziti 24 saat çözeltiye alınmıştır ve sonra maksimum yaşlandırma yapılmıştır. Kompozit 7075-T6 alaşımı sertlik seviyesine ulaşmıştır. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> uzatılan çözeltiye alma işlemi süresince kompozitin mukavemetini arttırmıştır.

Aşınma testleri göstermiştir ki %20 (grafit,  $Al_4C_3$ ) içeren, 24 saatlik çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuş kompozitin 6061 alaşımlarına göre, aşınma ve sürtünme miktarları % 50 -70 azalmıştır.

Guoa ve arkadaşları [41], Mg-6.0%Zn-1.0%Y-0.6%Ce-0.6%Zr alaşımı, hızlı katılaşmış (RS) ve parçalanmış şeritlerden karşıt ekstrüzyonla (RE) elde etmişlerdir. Çekme deneyi  $4.0 \times 10^{-4} s^{-1}$  deformasyon hızında gerçekleştirilmiştir ve mühendislik gerilme-şekil değiştirme eğrisi iki belirgin akma bölgesini kapsamıştır. Birinci akma bölgesi üst ve alt akma noktasına sahiptir. Akma mukavemeti 336 MPa ve %27 uzama gerçekleşmiştir.

Mikro yapılar optik mikroskop, SEM ve TEM ile analiz edilmiştir. Matris'in ortalama tane büyüklüğü 1.2 $\mu$ m ve matris içinde homojen yayılmış takviye partiküllerin boyutu 50  $\mu$ m'dir. Gözlemlenen çukur, çekme kırılmaları sünek kırılma özelliğindedir. Bu çalışmaların sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1- RS ve RE ile yüksek çekme dayanımlı (336MPa) yüksek süneklikte malzeme (%27) RE-x-EX (Extrusion) geliştirilmiştir.
- 2-RE-x-EX malzeme iki belirgin çekme bölgesine sahip olmuştur. Bu iki çekme bölgesindeki olgu nano takviyeli partiküller ile ince tane büyüklüklerinden meydana gelen malzemenin tek mikro yapısından dolayıdır.

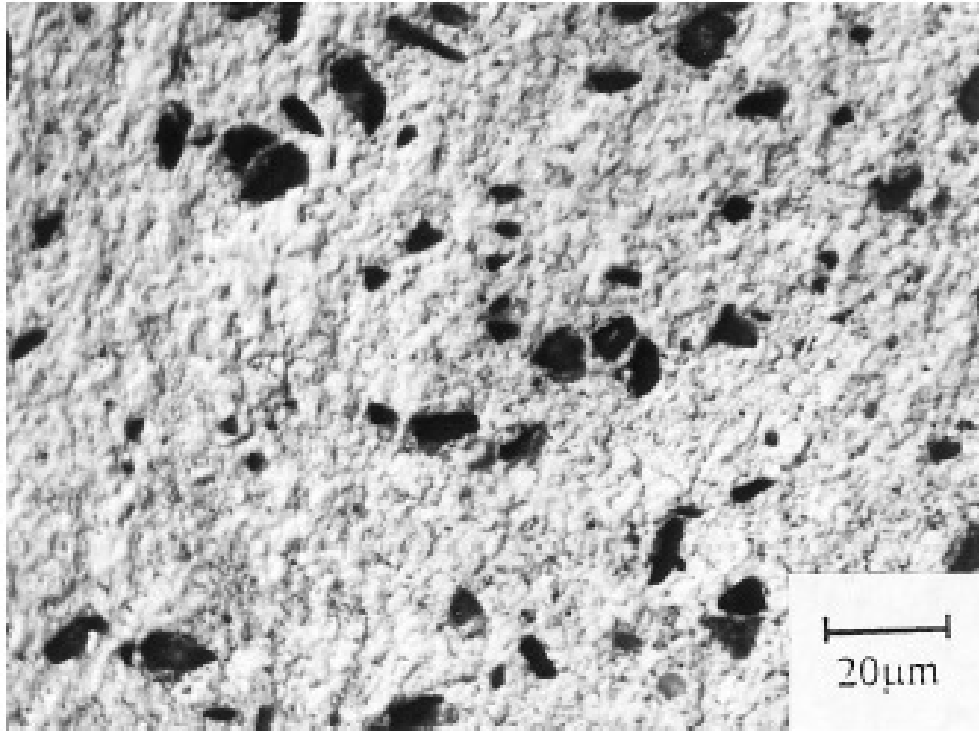
Yung ve arkadaşları [42], karşıt ekstrüzyonun üç aşamalı modellerini oluşturmuşlardır. Bu çalışmada üç aşamalı erime işlemleri süresince karşıt ekstrüzyonunda geçici matematik modelleri çalışılmıştır. Yapılan diğer çalışmalardaki karşıt makinelerde matematiksel geçici modellerin kontrol, tahmin ve plastik işlemi analiz etmek için çok kullanışlı olduğu saptanmıştır.

Chu ve arkadaşları [43], karşıt ekstrüzyonla üretilmiş 6061- $Al_2O_3p$  kompozitleri çalışmışlardır. Karıştırılmış tozlardan oluşturulmuş 6061- $Al_2O_3p$  kompozitlerin mukavemetini arttırmak için karşıt ekstrüzyon işlemi geliştirilmiştir. İlk önce 6061 alaşım tozlar 450 °C de vakum odasında kurutulmuştur ve sonra değişik hacim oranlarında yüzde 0, 5, 10, 20 ve 30, 12.5  $\mu$ m  $Al_2O_3$  tozlar ile karıştırılmıştır. Karıştırılmış tozlar 300 MPa basınç altında 300 °C de sıcak preslenmiş ve son olarak 460 °C'de 14 defa karşıt ekstrüzyon yapılmıştır.

Sonuçlar göstermiştir ki kompozitler tamamen yoğunlaşmıştır. Bu nedenle optik mikroskopta gözlenebilir gözenek ve oksit tabakası izine rastlanmamıştır.  $Al_2O_3$  partikülleri matris içine üniform olarak dağılmıştır (Şekil 2.3).

6061 alaşımları ile AA 6061/  $Al_2O_3$  kompozitler karşılaştırıldığında, kompozitlerin daha az çökelme sertleşmesi ve uzama gösterdikleri, fakat elastikiyet katsayısı (Young's modulus) yüksek ve pekleşme kapasitesi daha geniştir. Kompozitler çelik disk yüzeyine karşı 6061 alaşımından daha yüksek sürtünme katsayısına ve daha büyük aşınma direncine sahiptirler.

Tablo 3.1'de kompozitlerin aşınma özellikleri karşılaştırılmıştır. Tabloda görüldüğü üzere  $Al_2O_3$  partikülleri sürtünme katsayısını arttırmış ve aşınma miktarını düşürmüştür.



Şekil 3.3.Çözeltiye alınmış, yaşlandırılmış Al 6061/ %5  $Al_2O_3$ 'ün (dağlanmış) mikro yapısı [43]

Tablo 3.1.Kompozitlerin sürtünme-aşınma özellikleri [43]

Malzeme	Aşınma miktarı ( $\times 10^{-5}$ mm <sup>3</sup> /m)	Sürtünme katsayısı
6061 alaşımı	353	0.25-0.28
6061-%5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	75.2	0.38-0.42
6061-%10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.1	0.40-0.44
6061-%20Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.9	0.42-0.45
6061-%30Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.1	0.50-0.60

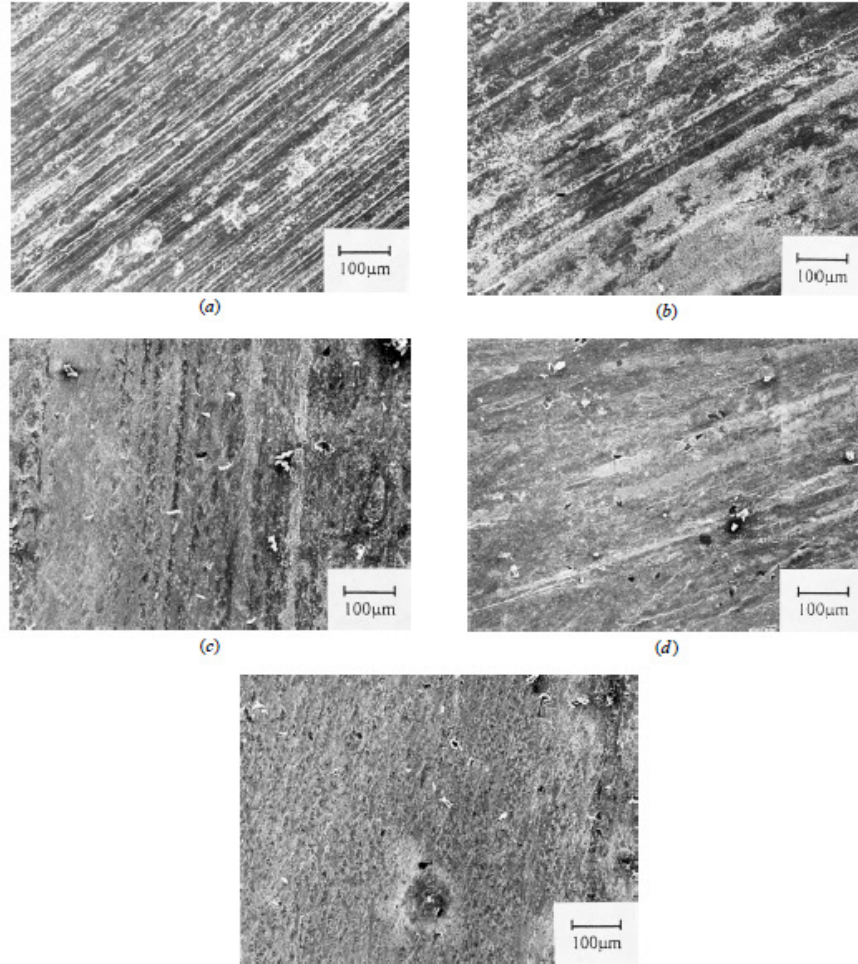
Şekil 3.4'te 6061 alaşımı ve kompozitlerinin aşınma yüzeyleri gösterilmiştir. İlk denemelerdeki aynı kompozitlerle karşılaştırıldığında, bu kompozitler aynı dayanım seviyesinde daha yüksek uzamaya sahiptirler. Bütün bu özelliklerin elde edilmesi için, karşıt ekstrüzyonla yığının tamamen yoğunlaşması, matris içinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının uniform olarak dağılması ve matris ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları arasında güçlü bağ oluşturması gereklidir.

Chen ve arkadaşları [44], karşıt ekstrüzyon ile elektrik iletim SnO<sub>2</sub>/Ag kompozitlerin üretimini yapmışlardır. Ag ve SnO<sub>2</sub> tozlarından elektrik iletken SnO<sub>2</sub>/Ag kompozitleri üretmek için karşıt ekstrüzyon kullanılmıştır. Ekstrüzyonun 20 geçişinden sonra, SnO<sub>2</sub> partikülleri Ag matris içinde uniform olarak yayılmıştır. Kompozitin sertliğini ekstrüzyonun geçişi oldukça yükseltmiştir. Kalıplar arası 10 geçişten sonra sertlik sabit kalırken elektrik iletkenliği 5 geçişten sonra yavaş yavaş artmıştır.

Ekstrüzyon geçişi ile SnO<sub>2</sub>/Ag ara yüzey dayanımı yükselmiştir ve 20 geçişten sonra en yüksek seviyede olmuştur. 20 geçişten sonra SnO<sub>2</sub>/Ag kompozitleri hem düşük hem de yüksek akım şartlarında erozyon testi süresince katottan anoda kütle transferinde kütle kaybı olmayan iyi elektrik iletim özellikleri göstermiştir. Bu metotla üretilen elektrik iletken kompozitleri, fiyat ve performans düşünüldüğünde elektrik bağlantılarında uygulama için ümit verici bulunmuştur.

Lee ve Yeh [45], karşıt ekstrüzyon işlemi uygulanan Al-5.8Mg- 0.23Mn alaşımlarının mikro yapısal gelişimini ve süper plastisitesini incelemişlerdir. Karşıt ekstrüzyon metodunun geliştirilmesi, homojenleştirme önceliğinin dışında, dayanımı ve süper plastikliğini artırmak için Al-5.8Mg-0.23Mn alaşımlarının inklüzyon ve tane yapısını inceltmek için yapılmıştır.

Alaşımli döküm biletler 1, 5 ve 10 geçiş için 450 °C’de 10:1 ekstrüzyon oranında ekstrüze edilmiştir. On geçişten sonra, tane yapısı 4.6µm ye düşmüştür ve kaba inklüzyonlar 2µm ‘ye incelmıştır. Aynı çalışmada, biletin içindeki dinamik rekristalizasyon tane ölçüsü limiti elde edilene kadar ekstrüzyonun geçiş sayısı artırılmıştır. Bu işlem sonrasında, dinamik rekristalizasyonun etkilenmediği görülmüştür. Bunun sebebi ise, dislokasyonun yerine tane sınırı kayması, ekstrüzyon için gerekli deformasyon uzamasıyla uyum sağlamıştır. Ekstrüzyonla on geçişle yapılan alaşımlar ticari Al-Mg alaşımlarından daha kuvvetli ve daha sünek bulunmuşlardır. Buna ek olarak süper plastiklik davranışının da geliştiği görülmüştür. Bu avantajlar ispat etmiştir ki, karşıt ekstrüzyon yöntemi kullanılarak mekanik özellikleri geliştirilmiş Al-Mg üretilebilir.



Şekil 3.4.6061 alaşımı ve kompozitlerinin aşınma yüzeyleri a) 6061 alaşımı  
 b) 6061- %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> c) 6061-%10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> d) 6061-%20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 e) 6061-%30 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [43]

Yeh ve arkadaşları [46], karışık ekstrüzyonla üretilen Al-12 Wt Pct Si alaşımının mikro yapısı ve çekme özelliklerini incelemiştir. Karışık ekstrüzyon işlemi ince ve düzgün mikro yapılar ve üstün özelliklerde Al-12 wt pct Si alaşımları üretmek için geliştirilmiştir. Ekstrüzyondan belirli defa geçirilen biletlerin geçme sayısı ile mikro yapı ve özelliklerinin gelişimi araştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, her iki durumda da Si partikülleri düzgün bir şekilde dağılmıştır.

Chu ve arkadaşları [47], 6061 Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3p</sub> kompozitleri karışık ekstrüzyon ile kompakt (sıkı) tozdan tamamen yoğunlaştırmışlardır. Al<sub>2</sub>O<sub>3p</sub> partiküller matris içine düzgün şekilde dağıtılmıştır. Kompozitler karışık ekstrüzyonun mekanik olarak yoğurması ile mükemmel süneklik göstermişlerdir. Numunelerde 6061 Al tozları ve 0.3 µm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kullanılmıştır. 6061 Al tozları Al<sub>2</sub>O<sub>3p</sub> ile karıştırılmadan önce 3 saat 450 °C de 0.1 tor vakum altında kurutulmuştur.

Farklı hacim oranlarında (% 0, 10, 20) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile toz karışımları manüel olarak şişe içerisinde sallanmıştır. Karıştıktan sonra tozlar 300 °C de 300 Mpa basınçta 40 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda dairesel bilet olarak sıcak preslenmiştir.

Biletler 460 °C'de 30 defa karışık ekstrüzyonla deforme edilmiştir. Ekstrüzyon oranı 9.5:1 dir. Son geçişte bilet karşı pistonu doğru 13 mm çapında uzun çubuk şeklide direk ekstrüze edilmiştir. Numuneler 530 °C de 1 saat çözeltiye alınıp, suda soğutulmuş ve yaşlandırılmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin ekstrüze edilmiş kompozitteki dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiştir. Yaşlandırılan numunelerin sertliği 5 kg yük altında Vicker sertlik testi (HV<sub>5</sub>) ile ölçülmüştür. T6 temperlenmiş numuneler MTS 810 test makinesi ile 10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup> gerinim hızında test edilmiştir. Çekme gerilmesi, numunelerin üzerine sabitlenmiş ekstensometre ile ölçülmüştür. DSC (Differential scanning calorimetry ) çökme kinetik enerjileri için kullanılmıştır. DSC analizinde numuneler 25 °C den 500 °C ye dakikada 10 °C artarak ısıtılmıştır.

Lee ve Yeh [48], çalışmalarında 5083 alüminyum alaşımı % 0,25 ZR ve % 0,46 Mn ile takviyelendirilerek yüksek akma gerilim oranlı süper plastiklik için -400 °C'de ve oda sıcaklığında karışık ekstrüzyon ile imal edilmiştir. Daha önce homojenleştirme işlemi yapılamadan, 10 ekstrüzyon geçişinden sonra yaklaşık tane boyutu 4,5 µm ve ikincil tane boyutu 0,2 µm olmuştur.

İnce inklüzyonların ve matris içindeki bileşiklerin düzgün dağılımını eşekslenli tane yapılı döküm biletler vermiştir. İnce taneli yapı 525 °C ye kadar kararlıdır. Alaşım 400 - 500 °C'de geniş bir çalışma sıcaklığı aralığında yüksek gerilim oranı ve düşük gerilim süper plastikliği vermiştir. Çekme deneyi 500 °C de, maksimum uzama % 1013 ve  $5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  de düşük akma gerilmesi 7,7 MPa olarak meydana gelmiştir.

Düşük sıcaklıklarda (300–400 °C) yüksek gerilim oranı süper plastiklik olmaksızın gerçek aktivasyon enerjileri sırasıyla 220.6 ve 208 kJ/mol, buna karşın yüksek sıcaklıklarda (400 °C – 500 °C) sırasıyla 88.4 ve 98.7 kJ/mol dür. İlave olarak analizler tane sınırı kaymalarını 500 °C de  $1 \times 10^{-2}$  den  $5 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$  ye yüksek gerilim oran bölgesi üzerinde baskın mekanizma olarak doğrulamıştır ve güç-kuralı bozulma mekanizması 300 °C 'de  $5 \times 10^{-4}$  den  $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  gerilme hızı üzerinde olmuştur.

Yüksek - gerilme - hız süper plastikliğini Zr ilavesi, Cr ve Mn ilavesinden daha güçlü bir şekilde geliştirmiştir. Maksimum süper plastiklik uzaması ve optimum gerilme oranı, iki geliştirme mekanizması olarak amaçlanmıştır. Bu çalışma, Zr'nin etkinliğine, matris içindeki zengin Zr dağılımlarının ince ve uygunluğu tespit edilmiştir. Kullanılan 5083 alaşımı, laboratuvar şartlarında eritilmiş ve küçük biletler şeklinde paslanmaz çelik kalıba dökülmüştür. Biletler 34 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda işlenmiş, oksit tabakası kaldırılıp, ekstrüzyon kalıbının içine yerleştirilmiştir. Karşıt ekstrüzyonla istenen bu malzeme için kalıp ve iki piston RC55 sertlikte SKD-51 çelikten yapılmışlardır. Karşıt ekstrüzyon 450 °C de 10:1 ekstrüzyon oranında 10 geçiş yapılmıştır. Onuncu geçişte biletler çubuk şeklinde ekstrüzyon edilmiştir.

Zhang ve arkadaşları [49],  $\text{Mg}_2\text{Si}$  ile güçlendirilmiş yüksek silikon miktarlı Mg-Al esaslı kompozit malzemeyi döküm kalıbına dökerek hazırlamışlardır. Kompozit malzemeye homojenleştirme işlemi uyguladıktan sonra karşıt ekstrüzyon ile ekstrüze etmişlerdir. Karşıt ekstrüzyon işleminin  $\text{Mg}_2\text{Si}$ 'nin boyutuna etkisi, kompozitin mekanik özellikleri ve  $\text{Mg}_2\text{Si}$  fazını inceltmek için kompozitin özelliklerini geliştirmek için yeni bir yöntem olarak araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre karşıt ekstrüzyonunu  $\text{Mg}_2\text{Si}$  fazını inceltmede çok kullanışlı olduğu görülmüştür.. Daha fazla karşıt ekstrüzyon işleminden geçirme malzeme içyapısında daha çok inceltme etkisi yapmıştır.

Mg<sub>2</sub>Si fazının dağılımı kompozitin içinde daha düzgün olmuştur. Kompozit malzemeye karşıt ekstrüzyonla 12 geçiş işlemi yapıldıktan sonra, Mg<sub>2</sub>Si fazlarının ortalama 20 µm 'nin altında olduğu ve kompozitin matris içinde düzgün olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Kompozitin mekanik özellikleri karşıt ekstrüzyon ile belirgin olarak yükselmiştir ve dökümle üretildiği durumundakinden çok daha yüksektir.

Sıcaklık yükselirken, gerilme dayanımı düşmektedir. Karşıt ekstrüzyonla 12 geçiş tabii tutulan kompozitin oda sıcaklığında, çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve uzaması sırasıyla 325.9 MPa, 211.4 MPa, ve %3.3'tür, buna karşın 150 °C de sırasıyla 288.2 MPa, 207.7 MPa , ve % 7.8'dir. Oda sıcaklığındaki çekme gerilmesi, akma gerilmesi özellikleri ile karşılaştırıldığında 150 °C'de yalnızca %11.6 ve % 1.8 azalmıştır. Mg<sub>2</sub>Si takviyeli Mg-Al esaslı kompozit 150 °C'de iyi ısıl dayanıma sahiptir. Deney sonrasında ısıya karşı mükemmel dayanım, yüksek ergime derecesi ve kompozit içinde düzgün dağılım elde edilmiştir.

Shih-Wei ve arkadaşları [50], karşıt ekstrüzyonu 7075 Al alaşımının tane yapısını ve inklüzyonları incelemek için yeni bir metot olarak kullanmışlardır. Mikro yapı içindeki mekanizmalar ve özellikler incelenmiştir. 5 geçişten sonra tane yapılarının incelendiği ve inklüzyonlarda 20 geçişten sonra incelendiği görülmüştür.

Dayanım seviyesi yaklaşık % 10 düşmesine rağmen, süneklik ve tokluk ekstrüzyon geçiş sayısının artması ile önemli derecede artmıştır. Karşıt ekstrüzyonla ekstrüze edilmiş 7075 T6 alaşımları, klasik 7xxx seri alaşımların yüksek dayanım-tokluk kombinasyonlarını gösterirler.

Shih-Wei ve arkadaşları [51], Magnezyum alaşımı hafif, tekrar kullanılabilir, iyi fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı ılımlı olduğundan ve bundan dolayı otomobil, bisiklet ve el aletlerinde kullanımının artmakta olduğundan Mg - 15Al - 1Zn alaşımını kullanmışlardır. Karşıt Ekstrüzyon işlemi Mg - 15Al - 1Zn alaşımının yüksek kullanım potansiyeli, üstün mekanik özellikleri sergilenmesi ve süper plastikliği için, hızlı katılaşma (rapid-solidification) + toz metalurjisi (Powder metallurgy) yöntemlerindeki pahalı ve karmaşıklığı bertaraf etmek için kullanılmıştır. Bazı ince alaşımlar 325 °C'de yüksek şekil değiştirme özelliği sergilemiştir ve maksimum uzama  $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  de %1610'dan daha büyüktür. Ayrıca 7075-T736 alaşımından daha fazla mukavemet/yoğunluk oranına sahiptir.

K. Mueller ve S. Mueller [52], AZ31 magnezyumun aşırı plastik deformasyonunu incelemişlerdir. Hafif malzemelerin otomobil ve uzay endüstrisinde kullanımı önemli olmasına rağmen, ekstrüze edilmiş magnezyum profiller seri üretim otomobillerde kullanılmamaktadır. Bunun başlıca sebebi magnezyum profillerin basma yükü altındaki indüklenmiş akma mukavemeti çekme yükü altındakinden daha düşüktür. Bu etkiye ekstrüzyon işlemi görmüş doku bileşimi sebep olmaktadır. Ekstrüzyon işleminin geliştirilmesi ile bu sorun ortadan kaldırılabılır. Çalışmada iki metot kullanılmıştır, birincisi eşit kanallı ekstrüzyon işlemi, diğeri ise karşıt ekstrüzyondur. Bu metotlarla elde edilen numunelerin mekanik özellikleri test edilmiştir. Uygulanan yükler için mekanik özellikler optimize edilmiştir.

İnceltmiş mikro yapı ve geliştirilmiş mekanik özellikler elde edebilmek için Yuan ve arkadaşları [53] 2024 Alüminyum alaşım ingotları ile 723 °K'de karşıt ekstrüzyon işleminin özelliklerini incelemişlerdir. Ekstrüzyon geçiş sayısının mikro yapı ve özellikler üzerinde olan etkilerini incelemişlerdir. Ekstrüzyon geçiş sayısı arttığı zaman tanelerde incelmeye başlamış fakat 5 geçişten sonra yaklaşık 2 µm tane boyutlarına ulaşabilmiştir. Diğer taraftan dispersoid ve inklüzyonlarda küçülme başlayarak eşeksiz bir yapı durumuna gelmişlerdir. 20 geçiş sonrasında matris daha üniform hale gelmiştir.

Karşıt ekstrüzyon süresince tane inceltmesi tekrar eden kısmi yeniden kristalleşmelerden ve yeniden kristalleşmenin iyileştirmesi inklüzyon sayısı ve dispersoid sayısındaki artıştan ileri gelmiştir. Partiküllerin yeniden dağıtılması, ekstrüzyonun silindirik plastik akışı ve karşıt ekstrüzyon esnasında basma işlemi ile sağlanır. İlk 5 geçişte akma mukavemeti ve son çekme mukavemetinde çok küçük oranlarda düşüş görülmekle birlikte uzama miktarında daha fazla artış olmuştur. Daha çok geçişten sonra bu değerlerin değişiminde azalma olmuştur. Toplamda meydana gelen mukavemet kaybı yaklaşık %10 ve uzamadaki artış yaklaşık %54'dür. Mukavemet ve uzama değerleri toplamda değerlendirilecek olursa büyük gelişme olduğu gözlemlenmiştir. Mukavemetteki başlıca düşüş S (kükürt) çökeltilerinin irileşmesinden kaynaklanmıştır. Uzama için en kayda değer iyileşme inklüzyonların üretim süreciyle birlikte azaltılmasından kaynaklanmaktadır.

## BÖLÜM IV

### ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARI

#### 4.1. Giriş

Triboloji, birbirleriyle temasta olan ve karşılıklı olarak hareket eden yüzeylerle ilgilenen bilim ve teknoloji dalıdır. Genel olarak sürtünme, aşınma ve yağlama konularını kapsayan triboloji, sürtünme anlamına gelen tribo kelimesinden türetilmiştir ve sürtünme bilimi anlamına gelmektedir.

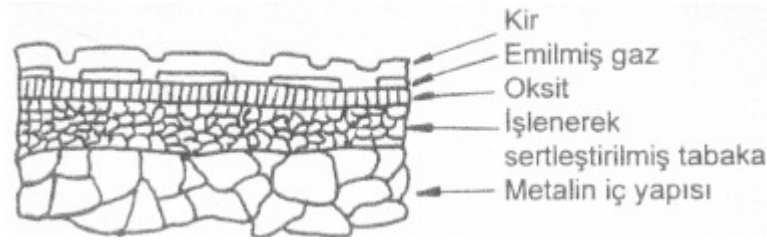
#### 4.2. Yüzeylerin Sürtünme Özellikleri

Genel anlamda sürtünme, temasta olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirençtir. Birbirlerine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma veya kayma–yuvarlanma mevcut olabilir. İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir.

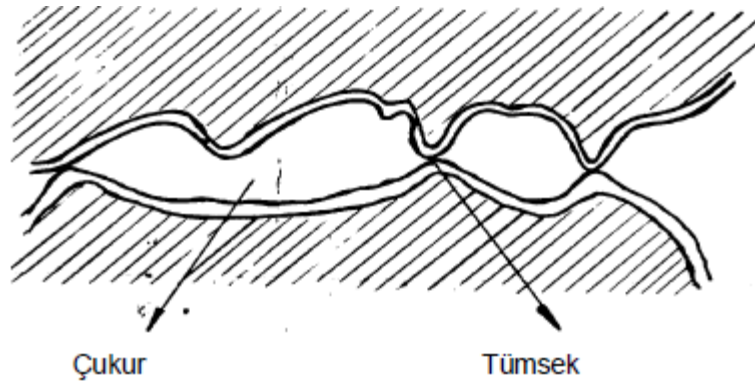
Sürtünme özelliklerine en büyük etki; sürtünen yüzeylerin tabaka yapılarıdır. Kuru sürtünen bir yüzey Şekil 4.1’de görüldüğü gibi bir dizi tabaka ile örtülüdür. Sürtünmeyi yüksek sürtünme ve küçük sürtünme olarak tanımlamak mümkündür. Yüksek sürtünmeden sonra yüzeyler incelendiğinde, sürtünen yüzeylerden birinden diğerine malzeme transferi ile bir yüzeydeki çıkıntıların diğer yüzey üzerinde geniş ve genellikle düzensiz izler bıraktığı görülür. Küçük sürtünme olayında, sürtünme katsayısı düşüktür. Sürtünen yüzeylerden çok ince çizgiler meydana gelir.

Birbiri üzerinde kayan malzemelerden birisi sert, diğeri yumuşaksa (örneğin, kalay, kursun) yumuşak olan malzeme diğeri malzemeyi kendi parçacıklarından oluşan bir tabaka ile kaplar ve bu şekilde iki yumuşak malzeme birbiri üzerinde kaymış olur. Yani yumuşak malzeme yağlayıcı görevi yapar, bunun etkisiyle sürtünme katsayısı azalır. Sürtünme başlamadan önce Şekil 4.2’de görüldüğü gibi yüzeyler arasında temas oluşur.

Hareketin başlamasıyla ve yükünde etkisiyle bu temas noktalarında karşılıklı yüzeyler metalik olarak kaynar. Bu madeni kaynak bağlarının kesilmesi için gereken kuvvet sürtünme kuvveti olarak tanımlanır.



Şekil 4.1. Sürtünme yüzeylerindeki tabakalar [54]



Şekil 4.2. Sürtünme öncesi temas noktaları [54]

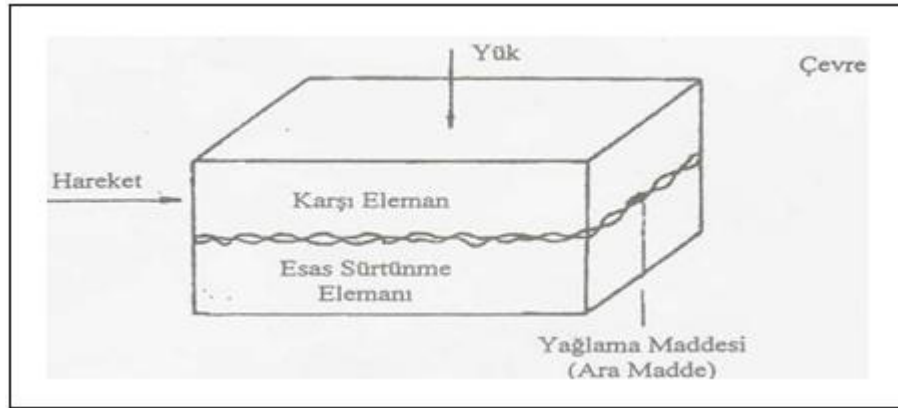
### 4.3. Aşınma

Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin, mekanik etkilerle istenmeyen bir şekilde kopması ve ana parçalardan ayrılması şeklinde tanımlanır. Böylece yüzeyler ilk şekillerini koruyamazlar, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve istenilen fonksiyonu yerine getiremezler.

### 4.3.1. Tribolojik Sistemler

Aşınma olayını, olaya etki eden faktörlerin bileşik etkilerini dikkate alarak incelemek gerekir. Yani aşınma bir sistem bütünlüğü içinde ele alınmalıdır. Aşınma özelliği veya mukavemeti; sertlik veya çekme mukavemeti gibi mekanik özellikler değil, bir sistem özelliğidir. Bu sisteme “tribolojik sistem” denilmektedir.

Bir aşınma sisteminde; 1. ana malzeme (aşınan), 2. karşı malzeme (aşındıran), 3. ara malzeme, 4. yük ve 5. hareket aşınmanın temel unsurlarıdır. Bu unsurlar bir arada değerlendirildiği zaman ortaya tribolojik sistem çıkmaktadır (Şekil 4.3) .



Şekil 4.3. Bir Tribolojik sistemin şematik gösterimi [55]

- 1- Esas sürtünme elemanı: Fiziki ve kimyasal özellikleri, durumu yüzey yapısı, şekli tamamen belirli ve aşınma durumu bizi ilgilendiren parçadır.
- 2- Karşı sürtünme elemanı: Karşı sürtünme elemanı gaz, sıvı ve katı olabilir.
- 3- Ara madde: Temel sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında sıvı, gaz, katı, buhar veya bunların karışımı şeklinde bir madde bulunabilir. Aşınma esnasında yüzeyden kopan parçacıklar yüzeyler arasında kalıyorsa ara madde olarak düşünülebilir.
- 4- Çevre: Çevrenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.
- 5- Yükleme: Tesir eden yükün (kuvvetin) büyüklüğü, şekli (statik titreşimli darbeli v.s.), doğrultulu ve zamana göre değişimi yükleme hususunu meydana getirir.
- 6- Hareket: Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma, çarpma v.s.), büyüklüğü, doğrultusu ve süresi ile belirlidir.

### **4.3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

Aşınma, birçok faktörün meydana getirdiği bir sorundur. Aşınmayı meydana getiren faktörleri bir bütün içinde incelemek gerekir. Bu faktörlerin tek başına etkilerini incelenmesi gerçek sonuçtan uzaklaşılmasına sebep olur. Bu yüzden faktörleri bir bütün için incelemek gerekir. Aşağıda yapılan sınıflandırma abrasif aşınma göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

A- Tribolojik sistemin elemanlarına bağlı faktörler

1- Esas sürtünme elemanına bağlı faktörler

2- Karsı elemana bağlı faktörler

3- Ortama bağlı faktörler

B- İşletmeye bağlı faktörler

#### **4.3.2.1. Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Faktörler**

##### **4.3.2.1.1. Malzeme Cinsi**

Bir malzeme belli şartlarda yüksek aşınma direnci gösterirken, farklı şartlarda düşük aşınma direnci gösterebilir. Bu nedenle aşınmanın meydana geldiği koşullar göz önünde bulundurularak aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi yapmak gerekir.

##### **4.3.2.1.2. Malzemenin Mikro Yapısı**

Mikro yapıda bulunan fazlar ve tane boyutu mekanik özellikleri önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Lamelli perlitik yapıda lameller arası sertliğin fazla olması, tanecikli perlitik yapıya göre aşınma direncini artırır [56].

##### **4.3.2.1.3. Hacimsel ve Yüzey Sertliği**

Malzemenin sertliği ile aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artması ile aşınma direncide artar Ancak belli bir değerden sonra sertlik artışı aşınmaya karşı direnç artışı getirmez [56].

#### **4.3.2.1.4. Elastiklik Modülü**

Malzemelerin elastiklik modülü arttıkça aşınmaya direnci de artar. Bunun nedeni elastiklik ve akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalır. Elastiklik modülü farklı iki malzemenin aşınmasında, düşük elastiklik modülüne sahip malzemenin, gerçek temas alanı biraz daha fazla olduğu için izafi hareket sırasında bu malzemede soğuk kaynak olma ihtimali artar ve neticede daha çabuk aşınır.

#### **4.3.2.1.5. Yüzey Pürüzlülük Durumu**

Metallerin yüzeylerinin pürüzlülüğü gerçek temas alanını dolayısıyla sürtünme ve aşınma olaylarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemelerin yüzeylerinin kaba işlenmesi sonucunda gerçek temas alanı azalır. Yüzeyde temas alanının azalmasıyla tek bir pürüze gelen yük artar bu noktalarda gerilme yığılmaları meydana gelir ve temas noktaları şekil değiştirerek aşınmanın artmasına sebep olur [57].

#### **4.3.2.1.6. Soğuk Şekil Vermenin Etkisi**

Soğuk şekil vermenin aşınma direnci etkisine geçmeden önce sertliğin aşınma direncine etkisi incelenmiş ve sertliğin artışıyla aşınmanın azaldığı tespit edilmiştir. Soğuk şekil değiştirme sırasında meydana gelen pekleşme malzemenin sertliğinin artmasına neden olur. Böylece artan sertlik ile malzemenin aşınmaya direnci artar.

#### **4.3.2.1.7. Isıl İşlem**

Isıl işlem, aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle çeliklerde ısıl işlem sonucu sertlik artarak aşınmaya karşı direnci yükseltir. Sertleştirme işleminden sonra malzemenin içyapısında gerilme yığılmaları meydana gelir. Bu gerilme yığılmalarını gidermek için temperleme işlemi yapılmalıdır.

#### **4.3.2.1.8. Aşındırıcının Etkisi**

Aşınma deneylerinde çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır.  $Al_2O_3$  aşındırıcı taneleri sert ve keskin köşelidir. SiC aşındırıcı taneleri ise daha sert ve keskin köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılara göre daha kırılıgandır.

Bazı araştırmacılar artan tane büyüklüğüne bağlı olarak aşınma miktarlarının arttığını ve köseli tanelerin yuvarlak tanelere kıyasla daha fazla aşındırıcı etki yaptığını ispatlamışlardır [58]. Date ve Malkin çeşitli aşındırıcılar ile deneyler yapmışlar ve aşınmanın, abrasif tane boyutlarının artması ile 100 µm tane boyutuna kadar hemen hemen doğrusal olan bu artışı, bu boyuttan sonra sabit kaldığını göstermişlerdir [59].

#### **4.3.2.2. Karşı Elemana Bağlı Faktörler (Tane Büyüklüğü, Şekli ve Dağılımı)**

Yapılan araştırmalar sonucunda tane büyüklüğü arttıkça, malzemenin aşınma miktarının azaldığı ve aşındırıcı tanenin parabolik şekilli olması, keskin köseli tanelere göre aşınmayı azalttığı görülmüştür. Aynı aşındırıcı maddenin çeşitli tane büyüklüğü ile yapılan araştırmalar sonucunda, artan tane büyüklüğü ile aşınma miktarının arttığı, yuvarlak taneler ile aşınma miktarının oldukça az ve keskin kenarlı tanelere göre aşınan yüzeyin oldukça düzgün olduğu ve pürüzlerde ezilmelerin görülmemektedir. Aşındırıcı tane boyutu arttıkça aşınma miktarı da artar [55].

#### **4.3.2.3. Ortama Bağlı Faktörler (Sıcaklık, Nem Atmosfer)**

Aşınmayı etkileyen önemli faktörlerin biride aşınma ortamının atmosferi, nemi ve sıcaklığıdır. Temas halinde bulunan yüzeylerin sürtünmeden dolayı yüzeylerde bölgesel olarak sıcaklık artışına sebep olur. Yüzeylerde meydana gelen sıcaklık artışı, malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirerek malzemenin aşınmaya karşı direncini etkiler [40]. Sıcaklığın belli bir sınıra kadar artmasıyla sürtünme katsayısı sabit kalırken daha sonra yine artmaktadır. Metal/Metal bağ enerjisi yükseldikçe aşınma direnci de artar. Öte yandan Metal/Metal temasında kaynak bağlarının oluşma ihtimali sıcaklığa, özellikle metalin ergime sıcaklığına bağlı olduğundan, ergime derecesi yüksek olan metallerin aşınma direnci de yüksektir [55].

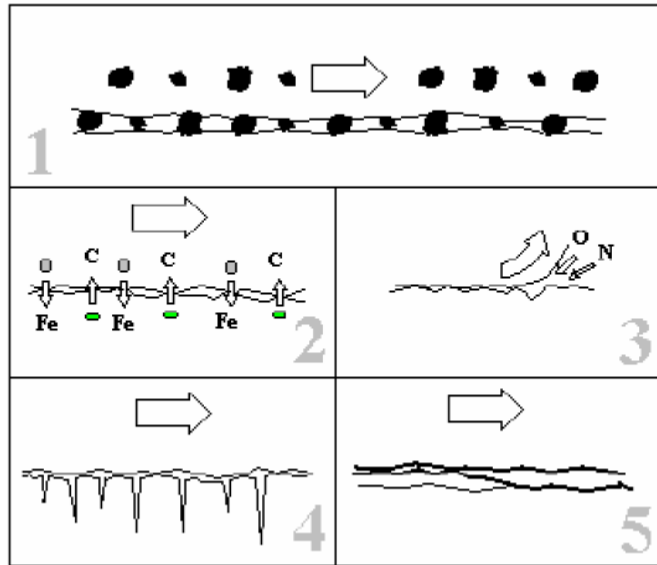
#### **4.3.2.4. İşletme Koşulları**

Aşınma sistemi içerisinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin büyümesini sağlayacağından, aşınmayı arttırmıştır. Araştırmaların birçoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini açığa çıkarmıştır.

Kritik yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla, sertliğin belli bir oranda arttığı değer olarak belirlenmiştir. Richardson hacimsel aşınmanın yük ile doğrusal olarak arttığını, fakat yükün daha fazla artmasıyla birim yük başına düşen aşınma miktarının belli bir kayma (aşınma) yolundan sonra dengeye geldiğini tespit etmiştir [57].

#### 4.4. Aşınma Mekanizmaları ve Çeşitleri

Genel olarak aşınma, dış etkiler altında, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur. Aşınma olayının mikro yapısı yani moleküller arasındaki fiziki gelişimi incelenirse aşınmanın meydana gelişinin aşağıda tanımlanan belirli birkaç tipte olduğu görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Temel aşınma mekanizmaları; 1-Abrazyon, 2-Difüzyon, 3-Oksitlenme, 4-Yorulma, 5-Adhezyon

##### 4.4.1. Adhezyon (adhesiv) Aşınması

En önemli aşınma türlerinden biri olup, sürtünme elemanlarının temas yüzeylerinde yüksek mekanik gerilme sonucu "mikro kaynak" bölgelerin oluşması esasına dayanır. Birbirleriyle temas halinde ve bağlı harekete sahip parçalarda birinin diğerine malzeme transferi olarak tanımlanır.

Yüzey pürüzlülüğü dolayısıyla gerçek temas yüzeyi geometrik sürtünme yüzeyinin çok küçük bir parçasıdır. Normal gerilimlerle izafi hareket sırasında oluşan teğetsel gerilimlerin süper pozisyonuyla; bir mikro temas yüzeylerinde mekanik gerilmeler büyük ölçülere ulaşır. Bu ölçüler çoğu zaman sürtünme elemanı malzemesinin akma sınırını aşarak yüzey bölgesinde plastik deformasyona sebep olur, absorpsiyon veya reaksiyon tabakalarını kırarak doğrudan doğruya metalik teması sağlar. Yüksek bölgesel basınç altındaki bu temas ise atomsal bağlantılar ve "mikro soğuk kaynak" bölgeleri oluşturur. Bu bölgeler izafi hareket durumunda, sürtünme kuvvetinin etkisiyle kırılarak yüzeyler arasında taşınır. Bu şekilde meydana gelen malzeme kaybına adhesiv aşınma denir. Ortamın ısısı, yüzeyin pürüzlülüğü, hareket hızı ve ortamın basıncı aşınmanın şiddetini artıran temel faktörlerdir. Adhesiv aşınma miktarı uygulanan yük ile sürtünme yolu ve aşınma yolu ile doğru orantılı olup aşındırılmış yüzeyin sertliği ile ters orantılıdır.

Adhesiv aşınma, bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyi üzerindeki hareketi sırasında daha yumuşak olan metalin yüzeyindeki pürüzlerin kopması sonucu ortaya çıkar. Adhesiv aşınma genellikle yataklarda, dişlilerde, kam mekanizmalarında ve demiryollarında çalışan teker ray sistemlerinde görülür.

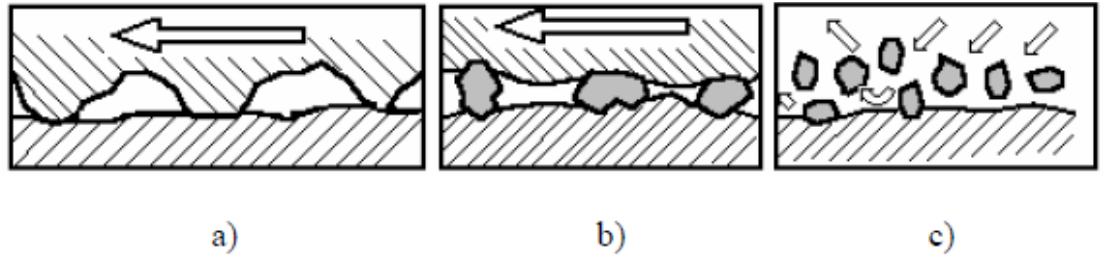
Yüksek yükleme ve hız durumlarında yağlama aşınmanın azaltılmasını sağlar. Yüzeyler arasında bulunan oksit, CO<sub>2</sub>, nem ve N gibi maddeler adhesiv aşınma miktarının azalmasını sağlar.

#### **4.4.2. Abrasif Aşınma**

Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da, iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. Bu sert maddeler yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi, bir malzemedan parça kopartılması olayı ile benzer işlem yaparlar (Şekil 4.5).İki elemanlı abrasif aşınmaya, sürtünen yüzey üzerindeki sert tümsekler sebep olur. Fakat üç elemanlı aşınmada kayan yüzeyler arasında serbestçe yuvarlanan ve kayan sert partiküller bulunur. Abrasif aşınmayı izah etmek için bazen kullanılan terimler ise "yüksek gerilim abrazyonu" ve "düşük gerilim abrazyonu" dur.

Yüksek gerilim abrazyonunda abrasif partiküllerin kırılma dayanımı aşılr, dolayısıyla aşınma sırasında bu partiküller kırılır. Düşük gerilim abrazyonunda partiküller kırılmadan kalır.

Bazı durumlarda sert partiküllerin yüzeye çarpması aşınmaya sebep olur. Bu tür aşınmada sert partiküller yüzey üzerine ya bir gaz akışı veya bir sıvı akışı ile taşınır. Bu tip aşınmaya erozyon denir.



Şekil 4.5. Abrasif aşınma mekanizmaları; a) iki elemanlı abrazyon, b) üç elemanlı abrazyon, c) Erozyon [54]

#### 4.4.3. Difüzyon Aşınması

Difüzyon aşınmasında, yüzeylerin karşılıklı temas ve hareketi sırasında oluşan kimyasal olaylar daha etkili olmaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karşı malzemeye olan birleşme eğilimleri difüzyon aşınması mekanizmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır.

#### 4.4.4. Oksitlenme Aşınması

Pek çok malzemede oksitlenme özelliği oldukça farklı olmakla beraber, metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon anlamına gelmektedir. Sürtünme etkisi, yüzeyde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine neden olur ve bu sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonların sebep olduğu çatlak oluşumunu artırır.

Hava, çalışan iki yüzey kenarlarından ve abrasif aşınmanın neden olduğu kanallardan

içeri girme imkânı bulur. Oksitlenme aşınması yüksek sıcaklık ve dış havayla temas gerektirdiğinden daha çok kuru kayma aşınmasında meydana gelir.

#### **4.4.5. Yorulma ve Tabakalaşma Aşınması**

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve karşılıklı kaymanın sık sık durup başlaması neticesinde çalışan yüzeylerin kenarlarına düşen yüklerdeki değişimden dolayı kenarlarda çatlaklar ve kırılmalar oluşur. Yorulma büyük bir çatlağın orijinini başlatabilir ve malzeme yüzeyinden taneciklerin kopmasını sağlayabilir. Tabakalaşma aşınması; yüzey pürüzlülüklerinin birbiri üzerinde kayması sırasında mikroskobik ölçekte meydana gelen bir yorulma aşınmasıdır. Küçük çatlaklar yüzeyin altında çekirdeklenir.

#### **4.5. Kompozitlerin Aşınma Davranışı**

Ana matris malzemesi ile kompozitlerin aşınma miktarları farklılık gösterir. Metal matrisli kompozitlerde parçacık içeriğinin artması ile sertlik önemli derecede artar. Bunun yanında parçacık boyutu küçüldüğü zaman da sertliğin arttığı görülmektedir.

#### **4.6. Seramik takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Dirençleri ve Yapılan Çalışmalar**

Araştırmacılar MMK malzemelerin sahip oldukları özellikleri iyileştirmek ve üretim safhalarında karşılaşılan problemleri en aza indirmek için çalışmalarını sürdürmektedir. Özellikle, MMK malzemelerin üretimi ve aşınma direncinin artırılması üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Elyaf takviyeli metal-plastik kompozitlerin yüksek özgül dayanımı, modülleri ve yüksek sıcaklık özellikleri nedeniyle son yıllarda kullanım alanları genişlemektedir. Bunun yanında, yüksek performans gerektiren sürtünme ve aşınmaya dirençli malzemelere olan ilgi ve istek de destekleyici unsur olmuştur. Grafit, alümina, SiC takviyeli metal epoksi kompozitler üzerine birçok çalışmalar yapılmış ve aşınma özellikleri araştırılmıştır [62, 63].

Bu malzemelerin aşınma davranışlarında ana matrise göre büyük iyileşmeler grafit elyafli kompozitlerin yağlayıcı özellikleri nedeni ile elde edilmiştir. Burada sürekli boron elyaf takviyeli alüminyum matrisli kompozitler sıvı metal emdirilmesi metodu ile maksimum %32'e kadar elyaf içerikli olarak üretilmiştir [62]. Aşınma davranışları pin-on-disk türü standart bir deney aparatında değişik şartlarda gerçekleştirilmiş ve ana malzeme ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Değişik yükleme şartlarında yapılan hacimsel aşınma miktarı ölçülmüş olup, sürekli elyafli kompozitlerde hacimsel aşınma miktarının takviyesiz matris malzemesinden oldukça büyük oranda azalmaların olduğunu göstermiştir. Örneğin, %32 elyafli kompozit için matrise göre % 84'lük bir azalma elde edilmiştir. Ancak % 16 elyaf içerikli kompozitlerde diğerlerine göre daha fazla aşınma miktarı olduğu gözlenmiştir. Bunun da üretim esnasında mikro yapıdan da gözlenebileceği gibi elyafların düzgün dağılmadığından ileri gelmektedir. Benzer düşüşler diğer takviyeli kompozitlerde de görülmektedir. Bunun esas kaynağı ise, elyaf içeriğine bağlı olarak kompozitin sertliğinde sürekli doğrusal bir artış meydana gelmesinden ileri gelmektedir.

Cerit[64], sıkıştırılmalı toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş farklı seramik takviyeli Al kompozit kam numuneleri karşılaştırmıştır. Alümina takviyeli kompozitlerin aşınma dirençleri diğerlerine göre daha düşük olurken, SiC 2 µm tane boyutunda %30 takviye içeren kompozitin, yağlı ortamda, en iyi direnci verdiğini gözlemlemiştir. %10.20.30 oranlarında B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozit kam profillerinin 70 N yük altında 150 dakika yağlı ortamda aşınma testleri sonrasında ise, aşınma ve aşınma direnci (W<sub>R</sub>) dikkate alındığında en yüksek değer AA2124/SiC20 µm/30 kompozit kamda elde edildiğini gözlemlemiştir.

Şahin ve Özdin[65], SiCp ile takviyelendirilmiş kompozit numuneleri, farklı tane boyutlarındaki aşındırıcılar kullanılarak abrasif aşınma deneyine tabi tutmuşlardır. Abrasif aşınma deneyi pin-on-disk cihazında yapılmıştır. Kompozitin aşınma davranışları esnasında; uygulanan yük, kayma mesafesi ve parçacık boyutu dikkate alınmıştır. Elde edilen aşınma miktarlarına, faktöriyel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Bu yapılan tasarım sonucunda, uygulanan yük ve aşındırıcı tane boyutunun artırılmasıyla aşınma miktarında artış gözlenmiştir.

Ayrıca tüm kayma hızları için kompozitlerin tane boyutu arttıkça aşınma miktarları azalmıştır. Aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yükün alasım matrisi üzerinde daha baskın olduğu gözlenmiştir

Arsenault ve Wu[66],toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş SiC/Al kompozitlerle, sıvı metal karıştırma yöntemi ile üretilmiş SiC/Al kompozitleri karşılaştırmışlardır. Her iki yöntemde de takviye elemanlarının boyutu ve dağılımı aynı tutulmaya çalışılmıştır. Sıvı metal karıştırma yöntemi ile homojen bir parçacık dağılımı için gayret edilmişse de toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozitlerdeki kadar homojen bir parçacık dağılımı elde edilememiştir. Dolayısı ile sıvı karıştırma döküm yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, toz metalürjisi ile üretilenler kadar iyi olmamıştır. Takviye elemanlarının boyutlarının küçük olduğu durumlarda her iki kompozitin mekanik özellikleri arasındaki fark %3 düzeyinde olmuştur. Parçacık boyutu büyüdüğünde bu fark % 15'e kadar çıkmıştır.

## **BÖLÜM V**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **5.1. Giriş**

Bu çalışmada kompozit imalatı için tasarlanan karşıt ekstrüzyon sistemi için gerekli verileri elde etmek amacıyla ön denemeler yapılmıştır. Bu denemelerden sonra karşıt ekstrüzyon presi imalatı gerçekleştirilmiş ve kompozitlerin ekstrüzyonuna bu sistemde devam edilmiştir (Şekil 5.1).

Karşıt ekstrüzyon işleminde, SiC seramik parçacıkları 6xxx serisi alüminyum tozu içerisine %5 oranında takviyelendirilerek, SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit ve takviyesiz biletlerle çalışılmıştır. Bu malzemelerde karşıt ekstrüzyon işleminin sıcaklık ve geçiş sayısına bağlı olarak kompozitin içyapısını, sertliğini nasıl etkilediği ve aşınma davranışlarına olan etkileri araştırılmıştır.

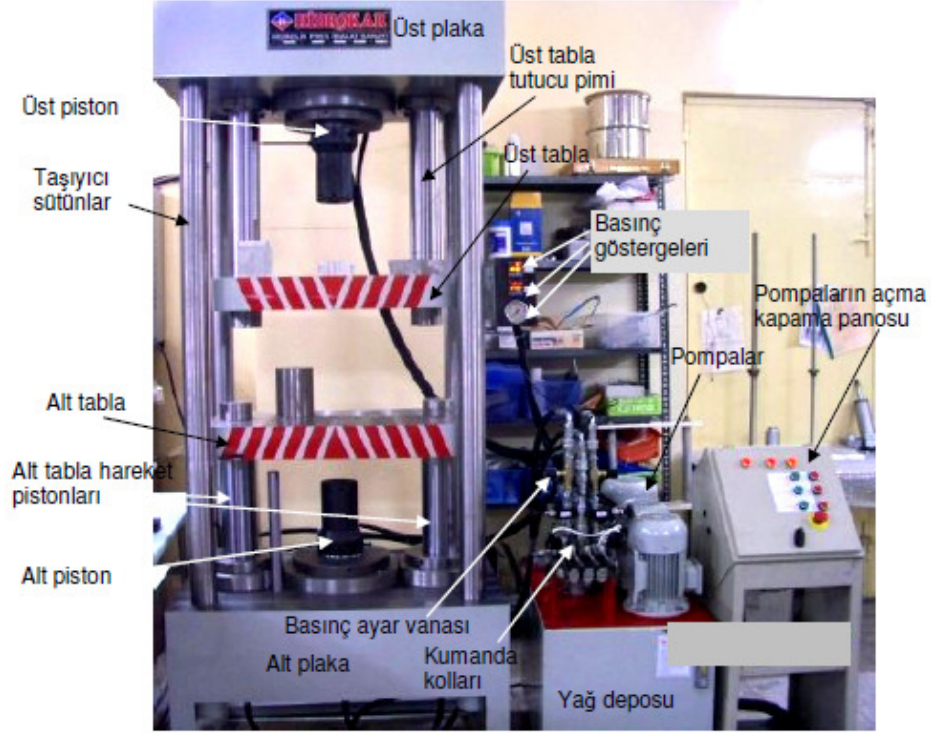
Kompozit malzemenin içyapı görüntüleri elektron taramalı mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Deneylerde takviyeli ve takviyesiz numuneler kullanılarak aşınma dayanımlarının mukayesesi yapılmıştır. Aşınan yüzeylerden SEM görüntüleri alınmış ve aşınma mekanizmalarının yorumlanmasında, deney parametreleriyle birlikte bu görüntülerden faydalanılmıştır.

#### **5.2. Karşıt Ekstrüzyon Sistemi**

##### **5.2.1. Kalıplar**

Toz metalürjisi yöntemi kullanarak üretim yapmak için gerekli olan kalıplar AISI H13 (2344)çelik malzemeden imal ettirilmiştir. Sertleştirme işlemi max. 1300 °C ısıtma kapasiteli, direnç ısıtmalı atmosfer kontrollü fırında, argon koruyucu gaz atmosferinde 3 lt/dk gaz debisi altında, 1030 °C'de östenit dönüşümü gerçekleştirilmiştir

Östenit dönüşümü sonrası tüm parçalar havada soğutulmuştur.



Şekil 5.1. Karşıt ekstrüzyon hidrolik presi ve ekipmanları

Ekstrüzyon Oranı: 10 olarak alınmış ve kalıp ölçüleri hesap edilmiştir.

R: Ekstrüzyon oranı

Ao: Malzemenin kesit alanı

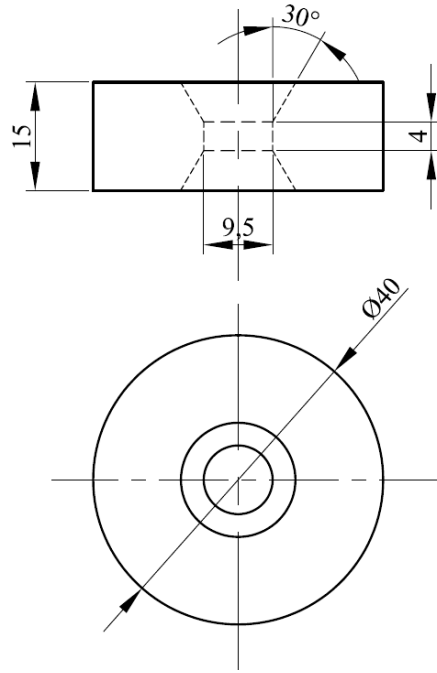
Af: Mamulün kesit alanı

$$R = \frac{A_o}{A_f} = \frac{\Pi r_1^2}{\Pi r_2^2} = \frac{\Pi 30^2}{\Pi r_2^2} = 10$$

$$r_2 = \sqrt{90} = 9.48 = 9,5mm$$

Yapılan hesaplamalardan sonra kalıp boyutlandırılmış ve teknik resimleri çizilmiştir.

Karşıt ekstrüzyon kalıbı Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Karşıt ekstrüzyon kalıbı

Yapılan çizimler doğrultusunda 10:1 oranında ekstrüzyona uygun kalıp sistem imalatı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3'te karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi gösterilmiştir. Kovanlar, kalıp ve zımba AISIH13 çelikten yapılmıştır. Her iki kovan için iki adet 800 watt gücünde, malzemeyi ısıtmak için kemer taşlı ısıtıcı yapılmıştır.

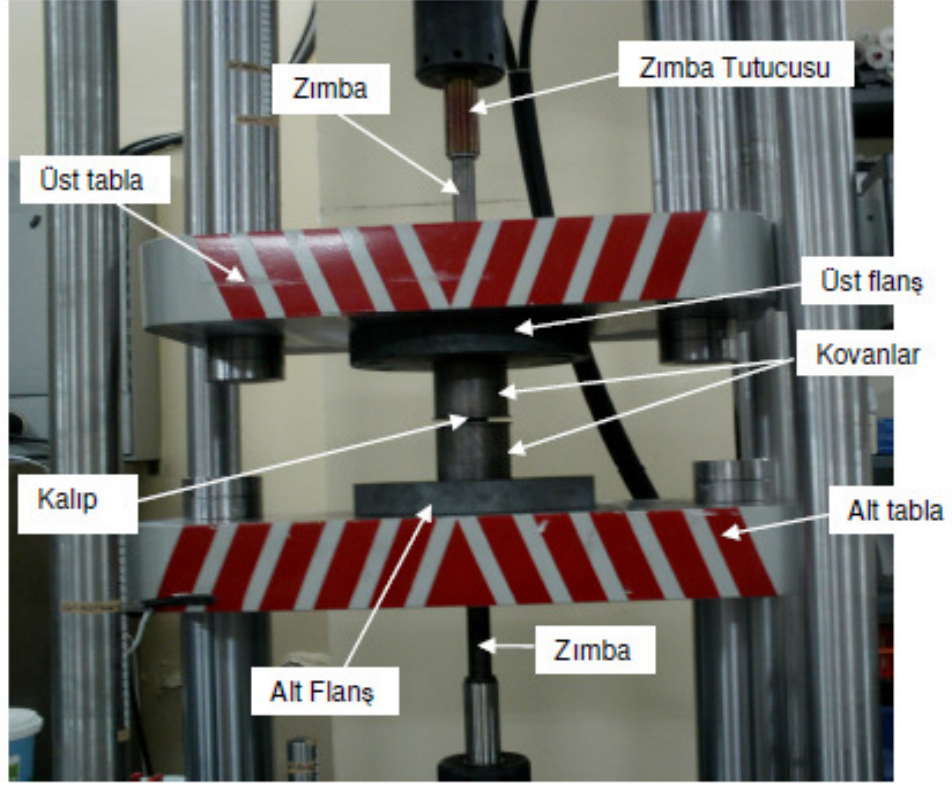
### 5.2.2. Aşınma Deneylelerinde İncelenilecek Biletlerin Hazırlanması

Al 6061serisi toz 0+90 mesh aralığında temin edilmiş ve kompozit laboratuvarında titreşimli toz eleme cihazı ile dört farklı boyutta elenmiştir. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde elenen tozların boyut analizi yaptırılmıştır (Tablo EK 1.1). Taramalı elektron mikroskobu ile kullanılan tozların SEM incelemeleri yapılmıştır (Şekil 5.4).

### 5.2.3. Tozların Karıştırılması ve Sinterlenmesi

Kompozit imalatı için kullanılan tozlar önce cam beher içerisinde %5 oranında elle karıştırılmış daha sonra eşit miktarlarda cam şişeler içerisinde bilyeli mekanik karıştırıcı [64] ile 1 saat süreyle karıştırılmıştır (Şekil 5.5).Tozların homojen karışması için şişelerin içlerine 5 mm çaplı rulman bilyeleri konulmuştur.

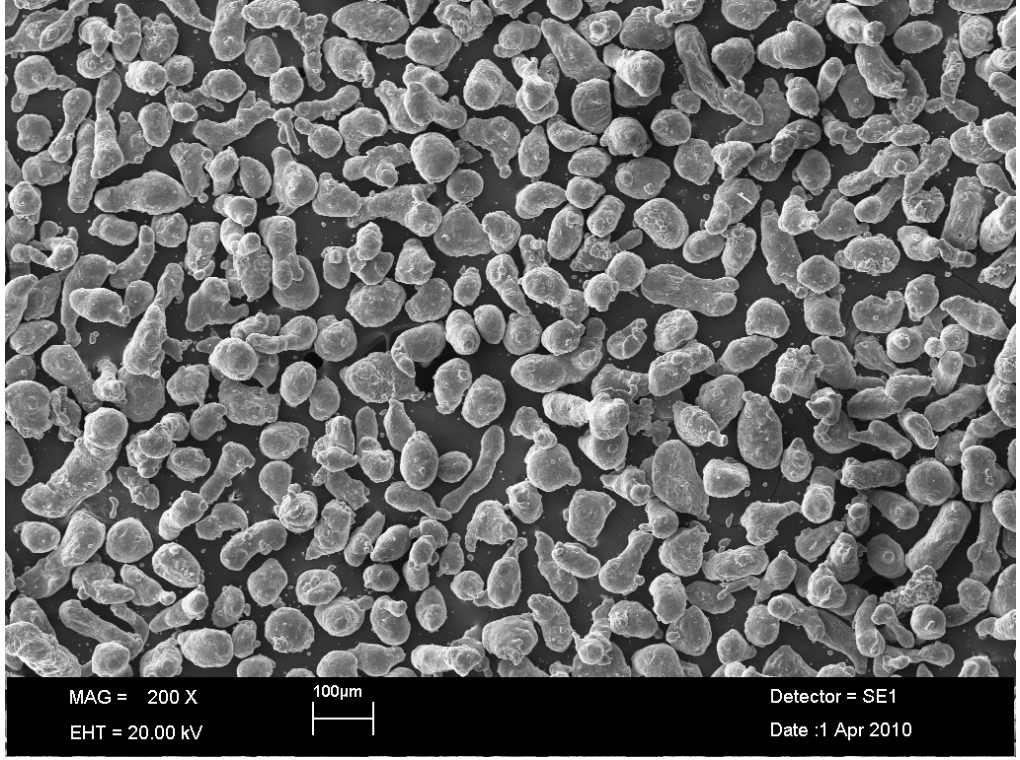
Hazırlanan toz karışımı 10 bar basınçta soğuk preslenmiştir. 615 °C 'de 1saat argon atmosferli fırında sinterlenerek 5 bar basınçta sıcak preslenmiştir. Şekil 5.6'da sinterleme fırını şematik olarak gösterilmiştir [64].



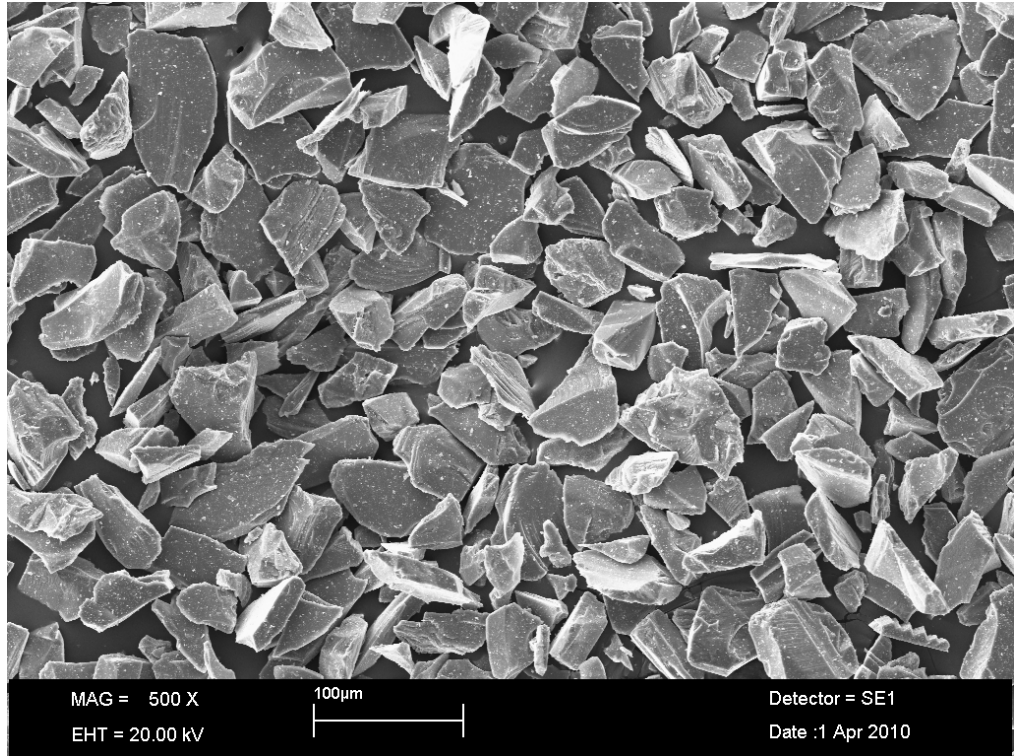
Şekil 5.3. Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi

#### 5.2.4. Aşınma Numunelerinin İsimlendirilmesi

Kompozitlerin isimlendirilmesinde kullanılan alüminyumun serisi, takviye malzemesinin parçacık boyutu ve hacim oranını belirten bir kısaltma yapılmıştır. Örnek verilecek olursa 6000 serisi alüminyum toz matris, 20µm SiC hacimce %5 oranında karıştırılarak hazırlanan kompozit şu şekilde isimlendirilmiştir: AA6061/SiC 20 µm/ 5 Takviyesiz numuneler AA6061 şeklinde isimlendirilmiştir.

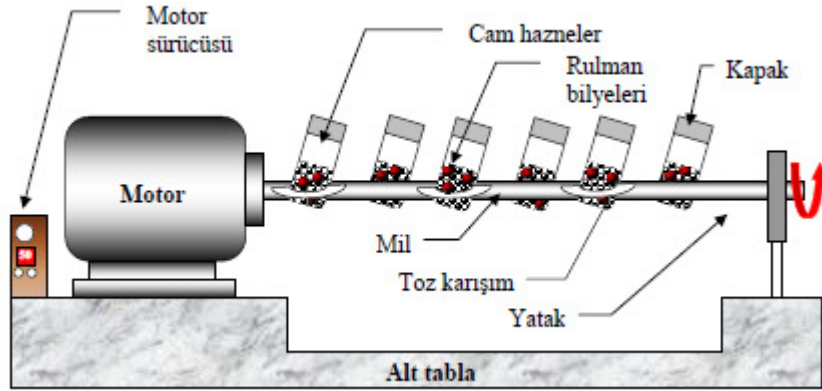


(a)

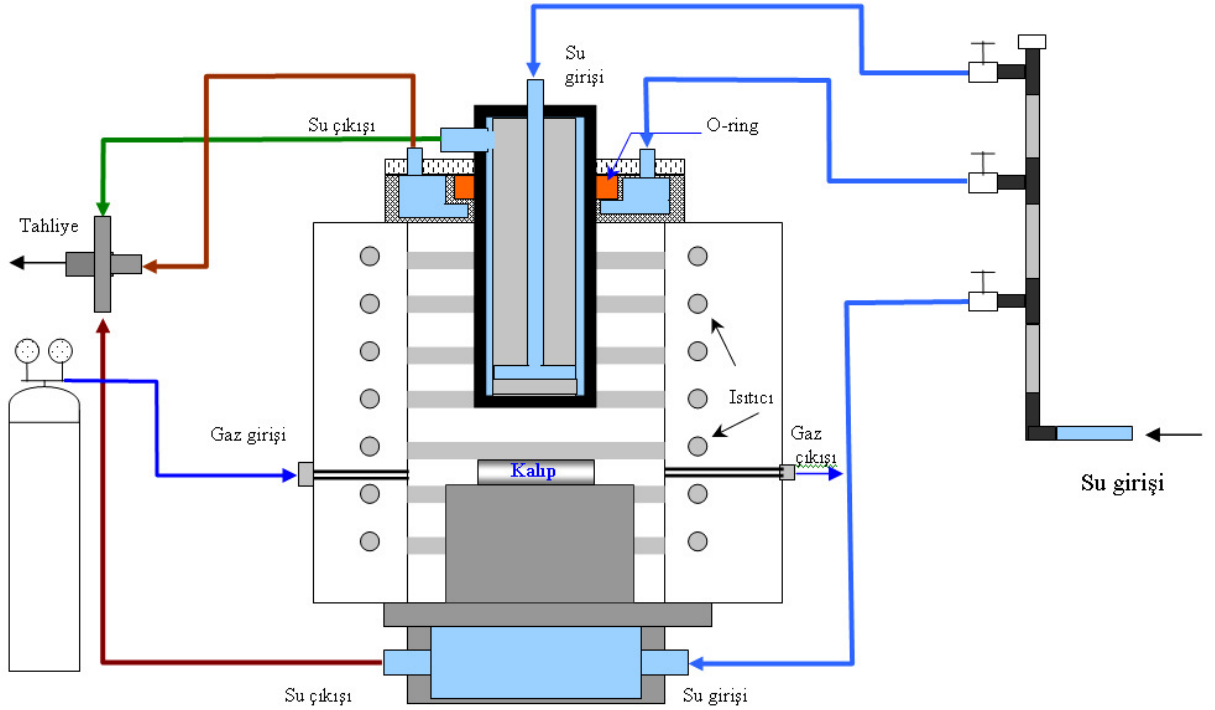


(b)

Şekil 5.4. Al ve SiC toz parçacıkları a) 6061 serisi Alüminyum toz (72  $\mu\text{m}$ )  
b) SiC parçacıkları (20 $\mu\text{m}$ )



Şekil 5.5.Toz Karıştırma Ünitesi [64]



Şekil 5.6. Sinterleme fırınının şematik gösterimi [64]

### 5.3.Aşınma Deneğinde İncelenilecek Numunelerin Ekstrüzyonu

#### 5.3.1. AA6061/SiC 20 µm /5 ve AA6061 Biletinin Karşı Ekstrüzyonu

6061 serisi alüminyum tozdan %5 SiC takviyeli ve takviyesiz tozdan 615 °C'de sinterlenerek elde edilen biletlerin C<sub>0</sub>,C<sub>1</sub>,C<sub>5</sub>,C<sub>9</sub> ve C<sub>15</sub> geçiş sayılarında 300 °C, 175 bar basınçta karşı ekstrüzyonu yapılmıştır.

$C_0$  geçiş sayılı kompozit billet doğrudan çubuk olarak ekstrüze edilmiştir. Diğer biletlerden ekstrüzyonu tamamlananlar son çevrimden sonra çubuk formunda şekillendirilerek aşınma deneyi numuneleri hazırlanmıştır. ubuklardan kesitler alınarak tüm geçiş sayıları için SEM’de içyapı görüntüleri alınmıştır.

Şekil 5.7’de AA6061/SiC 20 $\mu$ m/5 billetin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları gösterilmektedir. Şekil 5.7. a)’da görüldüğü gibi matris tozları birbirleri ve SiC partikülleri ile kompakt hale gelmiştir. Yani sinterleme sonrası tozların kendi aralarında ve tozlar ile partiküller arasında boşluk kalmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 5.7 a-e’den de görüldüğü gibi toz tane sınırları (şekil 5.7 a) 1 geiştten sonra tamamen olmasa da ortadan kalkmış ve matris yekpare hal gelmeye başlamıştır. Geçiş sayısı arttırıldıkça matrisin toz tanelerinin deformasyonu ile bütünleşeceği anlaşılmaktadır.

Şekil 5.8’de AA6061 iç yapı görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 5.8’den izlenebileceği gibi billet halindeki takviyesiz malzemedede toz tane sınırları açıkça görülmesine rağmen, 1 geçiş uygulandıktan sonra toz tane sınırları kaybolmuş ve matris bir bütün haline gelmiştir. Daha ileri ve fazla sayıdaki deformasyondan sonra matris malzemesi tane sınırlarını izlemek mümkün olamamış, dolayısıyla geçiş sayısının taneleri inceltip inceltmediği konusunda bir yorum yapılamamıştır.

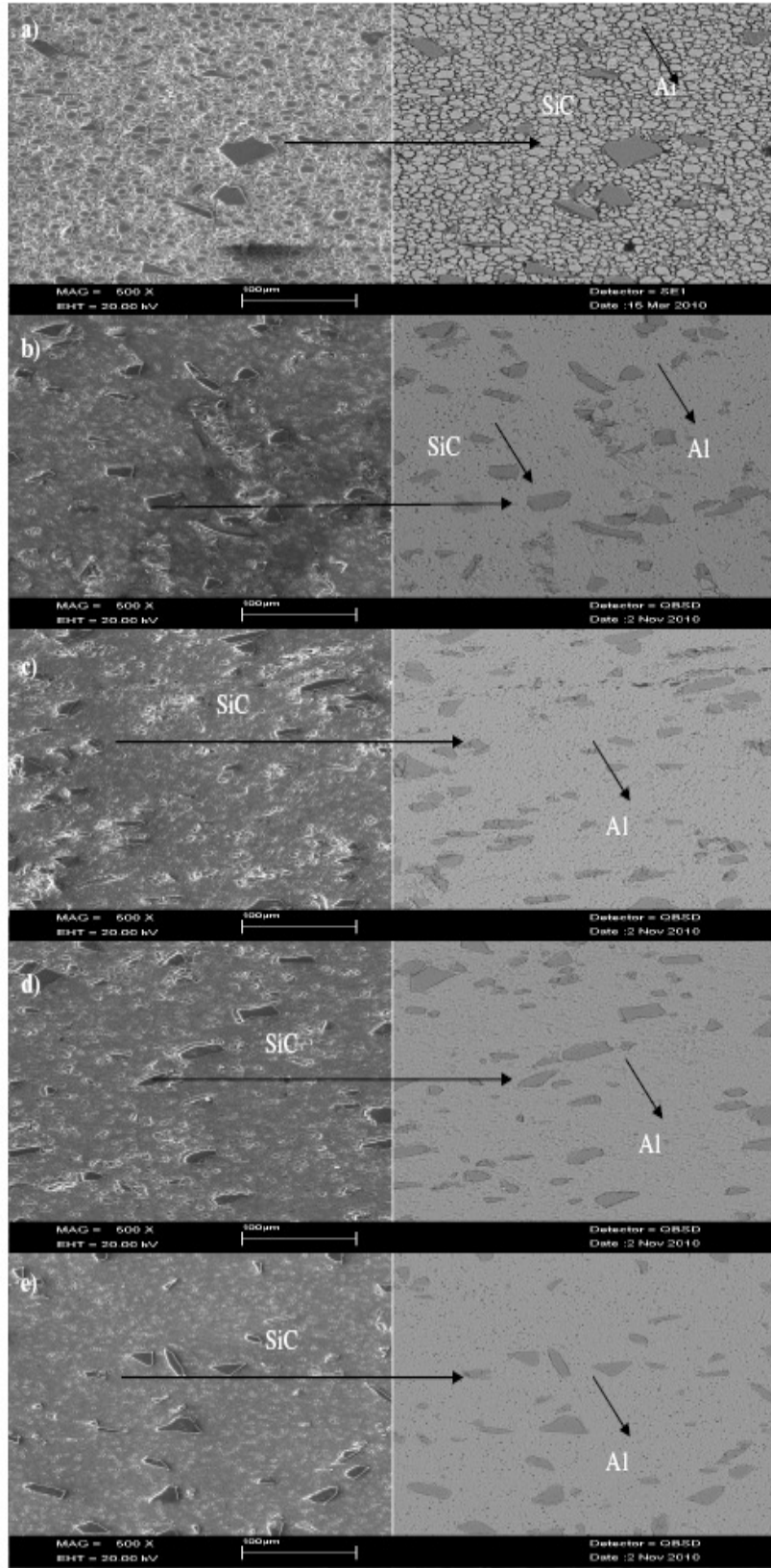
#### **5.4.Aşınma Numunelerinin Hazırlanması**

Aşınma testlerine tabi tutulmadan önce kompozit numunelerin yüzeyleri suda ince zımparalar kullanılarak temizlenmiş ve parlatılmıştır. Yüzey işlemleri tamamlandıktan sonra hassas terazide ağırlıkları tartılmış, yüzey pürüzlülükleri, sertlikleri ve yoğunlukları ölçülmüştür. AA6061 ve AA6061/SiC 20  $\mu$ m /5 kompozit numunelerin sertlik ve gerçek yoğunluk değerleri Tablo 5.1.’de gösterilmiştir. Numuneler yumuşak olduğu için sertlik ölçümü 15 N yük altında konik uç Rockwell superficial N skalasında yapılabilmektedir. Şekil 5.9’da takviyeli ve takviyesiz numunelerin geçiş sayısına göre değişen sertlik eğrisi, Sertlik değerleri takviyeli malzemeler için artan geçiş sayısında çok az artış göstermiştir. Fakat takviyesiz numunelerde artan geçiş sayısı ile sertlik düşmüştür. Şekil 5.10’da. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri gösterilmektedir. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 numunesinin teorik yoğunluğu 2,802 gr/cm<sup>3</sup>, AA6061 numunesinin teorik yoğunluğu 2,78 gr/cm<sup>3</sup> ‘dür.

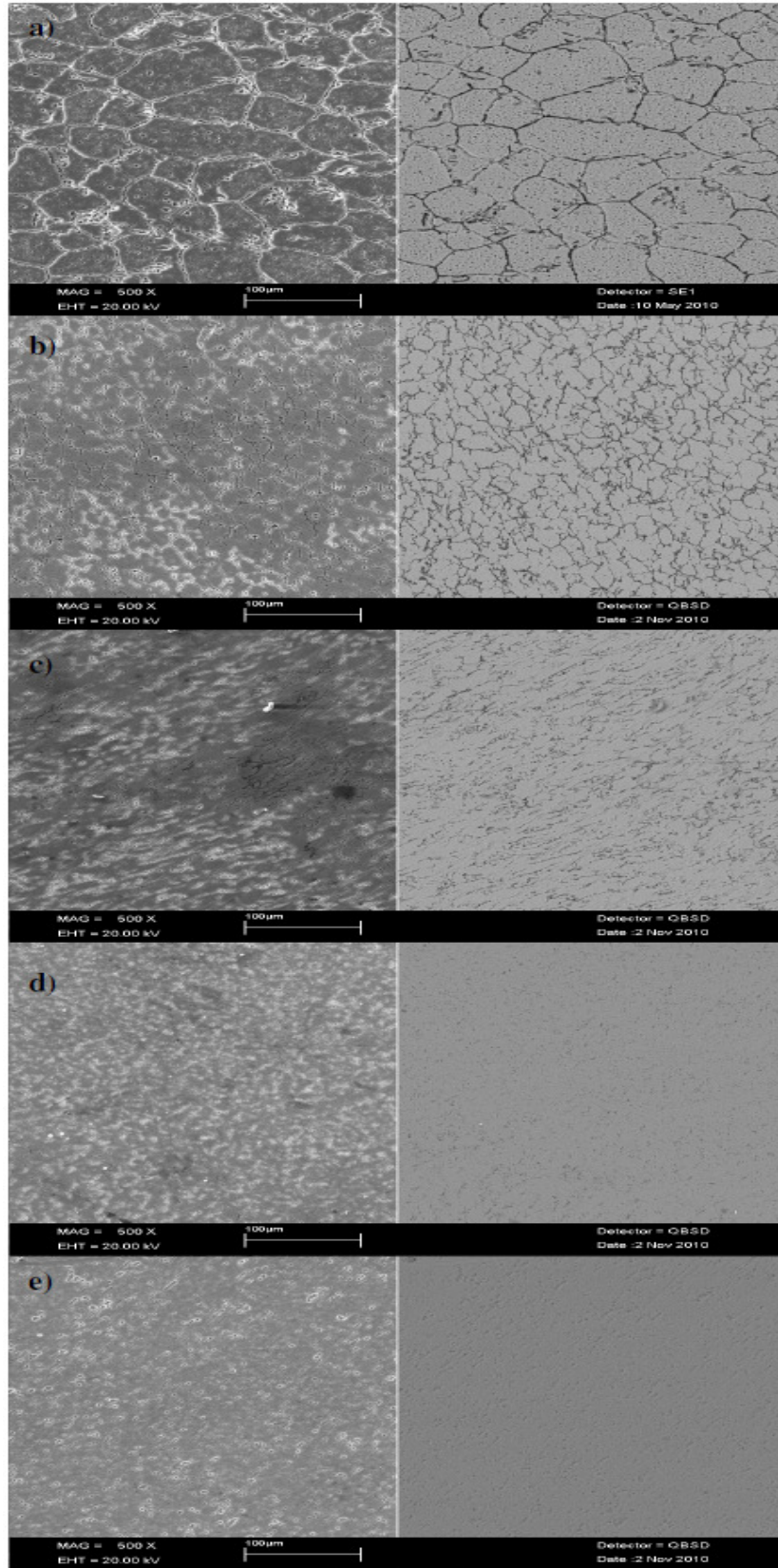
Takviyesiz ve takviyeli numunelerin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri oldukça birbirine yakın olduğundan malzeme içerisinde gözenekliliğin en az seviyede olduğu anlaşılmıştır. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin kuru şartlarda aşınma sonrası ölçülen pürüzlülük değerleri Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 'de gösterilmiştir. Yağlı şartlarda yapılan deneyler sonrası ölçümler yapılmamıştır. Takviyesiz numunelerin takviyeli numunelere göre pürüzlülük değerindeki artış daha fazladır. Bunun sebebi olarak karşı elemana yapışmanın meydana gelmesi ve içerisinde SiC gibi sert ve aşındırıcı partiküllerin olmamasıdır. Yani takviye malzemesi yüzeydeki partiküllerin karşı elemana temas oranını arttırarak metal/metal temasını azaltır.

Tablo 5.1. Aşınma Numunelerinin gerçek yoğunluk ve sertlik, değerleri

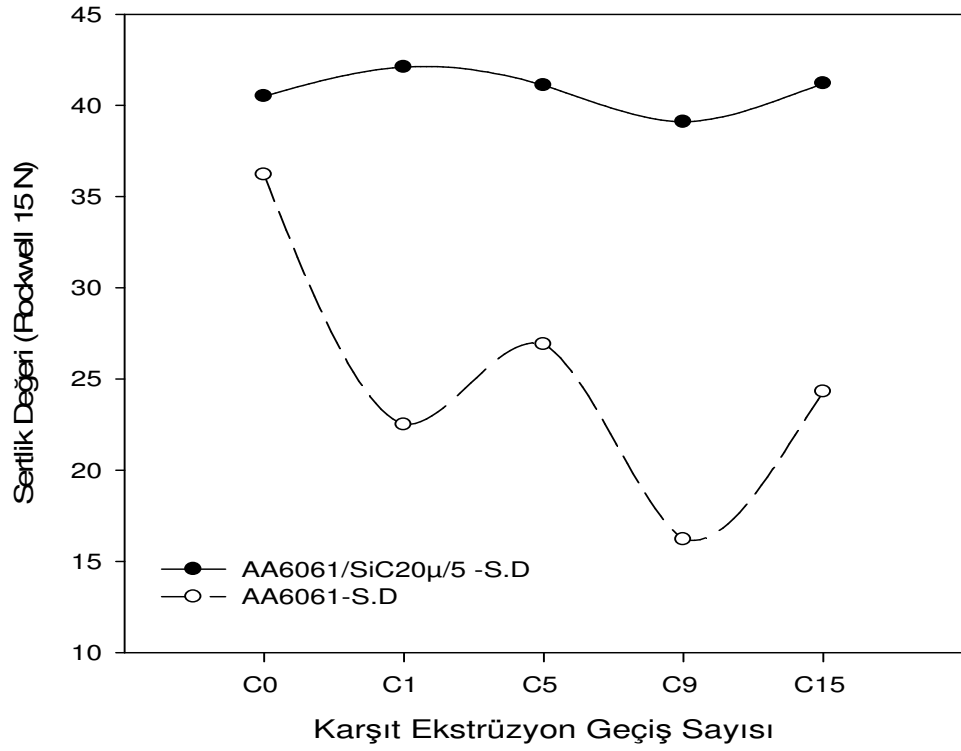
GERÇEK YOĞUNLUK DEĞERLERİ (g/cm <sup>3</sup> )		
K.E.Geçiş Sayısı	AA6061/SiC20 $\mu$ /5	AA6061
Billet	2,44	2,59
Co	2,71	2,69
C1	2,72	2,67
C5	2,73	2,62
C9	2,72	2,68
C15	2,74	2,72
SERTLİK DEĞERLERİ (HR15 N)		
K.E.Geçiş Sayısı	AA6061/SiC20 $\mu$ /5	AA6061
Billet	23	23
Co	40,5	36,2
C1	42,1	22,5
C5	41,1	26,9
C9	39,1	16,2
C15	41,2	24,3



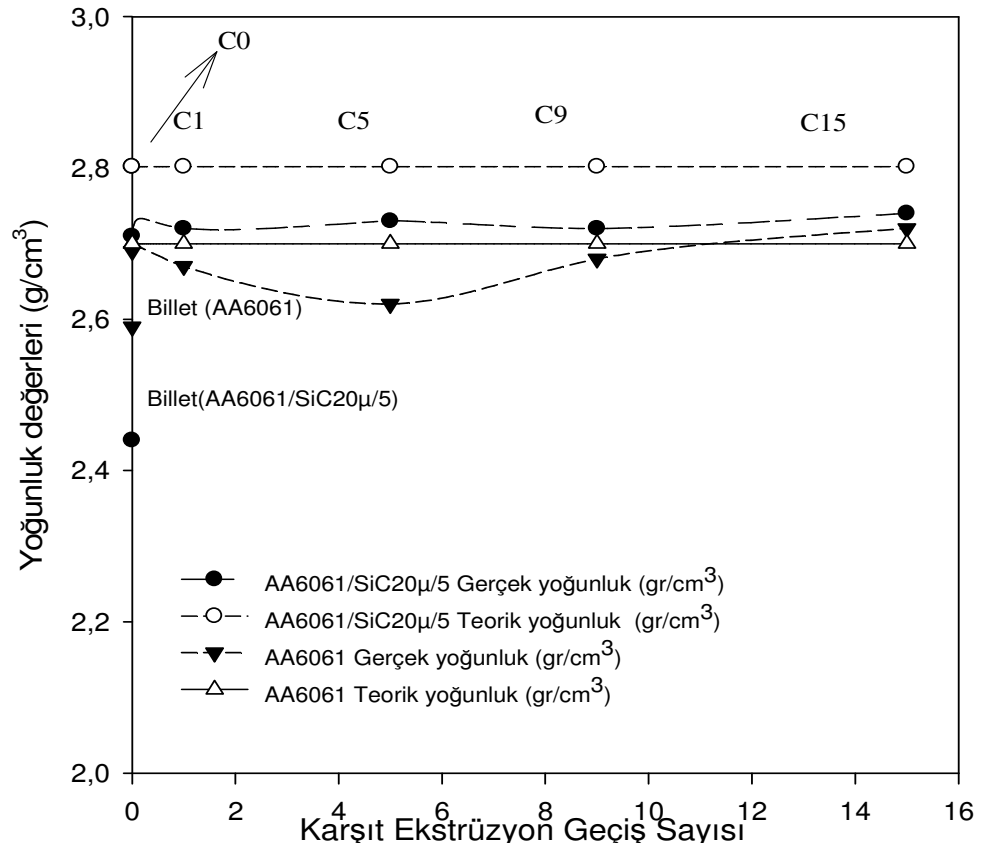
Şekil 5.7. AA6061/SiC 20µm/5 billetin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları a) bilet b) 1 geçiş c) 5geçiş d) 9geçiş e) 15 geçiş



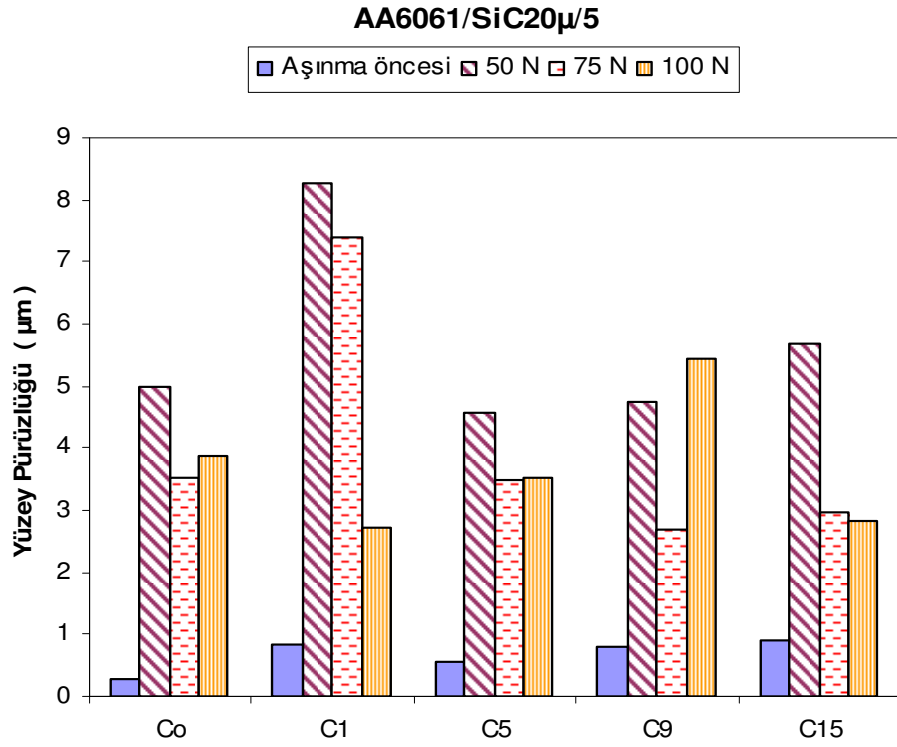
Şekil 5.8. AA6061 biletinin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları  
a) bilet b) 1 geçiş c) 5geçiş d) 9geçiş e) 15 geçiş



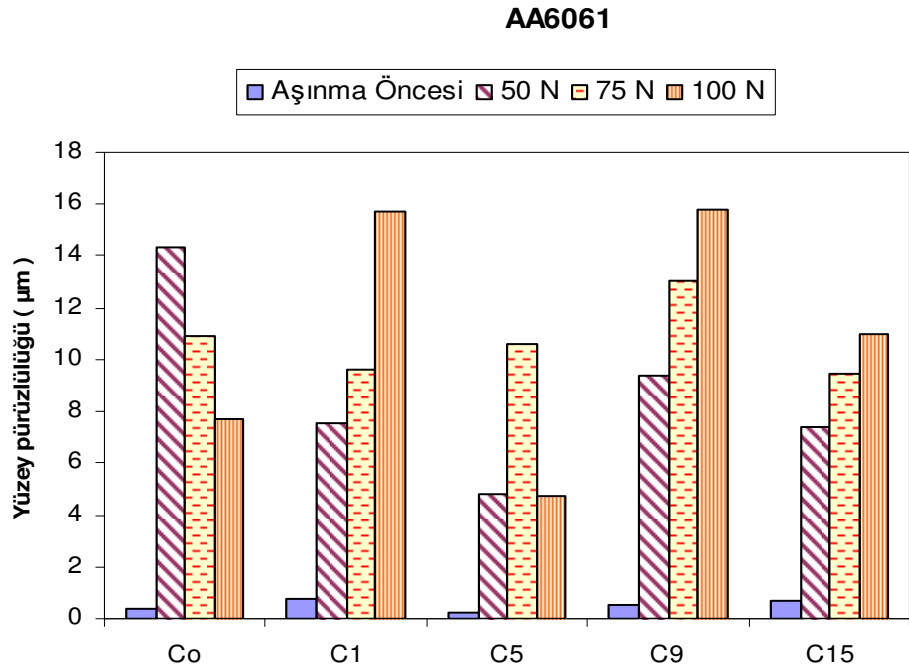
Şekil 5.9. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin sertlik değeri



Şekil 5.10. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 ve AA6061 numunelerinin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri



Şekil 5.11. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 numunesinin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri



Şekil 5.12. AA6061 numunesinin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri

### 5.5. Aşınma Deneyleri Ön Denemeleri

Pin-on-ring test konfigürasyonu ile kuru şartlarda 500 dev/dak sabit devirde, 15 dk süre 1225 m kayma mesafesinde, 30 dk süre 2450 m kayma mesafesinde ve 45 dakika süre 3675 m kayma mesafesinde 50,100 ve 150 N yük altında, takviyesiz ve % 5 SiC takviyeli numuneler kullanılarak aşınma ön testleri yapılmıştır. 45 dakikalık deneylerde sıcaklık ölçümleri yapılarak yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

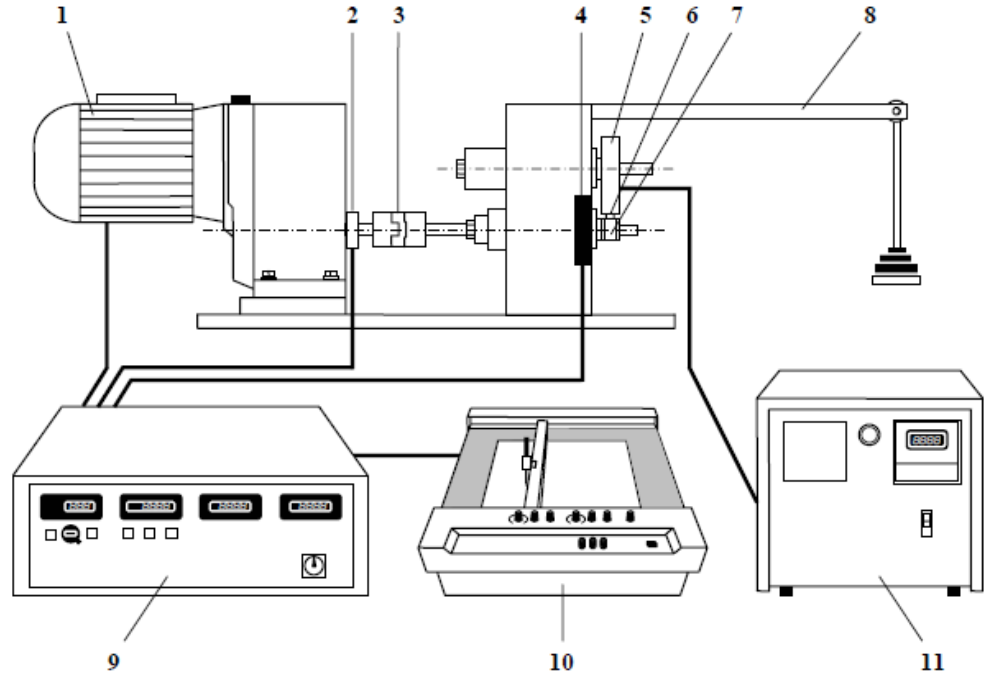
Fakat numunelerde 150 N yüklemeli deneyler esnasında karşı diskte alüminyum sıvanması meydana gelmiş ve bazı numunelerde parçalanmalar gözlemlenmiştir. Bu sebeple aşınma testlerinin daha düşük yüklerde ve sabit sürelerde yapılması planlanmıştır. Bu sonuçlara göre aşınma deneylerinin 50, 75 ve 100N'luk yüklerde ve 15 dk'lık sabit sürede tamamlanmasına karar verilmiştir.

### 5.6. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri Şekil 5.13'de görülen PLINT marka çok amaçlı sürtünme ve aşınma cihazı ile pin-on-ring [pin (numune) üzerine ring (aşındırıcı) teması] test konfigürasyonu kuru ve yağlı şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Yağlı şartlarda 0,35 mg/300 sn'lik debide DEW marka SAE10W40 yağ ile yağlama gerçekleştirilmiştir. Karşı disk (aşındırıcı disk), 500 d/dak sabit devirde, 15 dakika döndürülerek servo elektrik motoru ile tahrik edilmiştir.

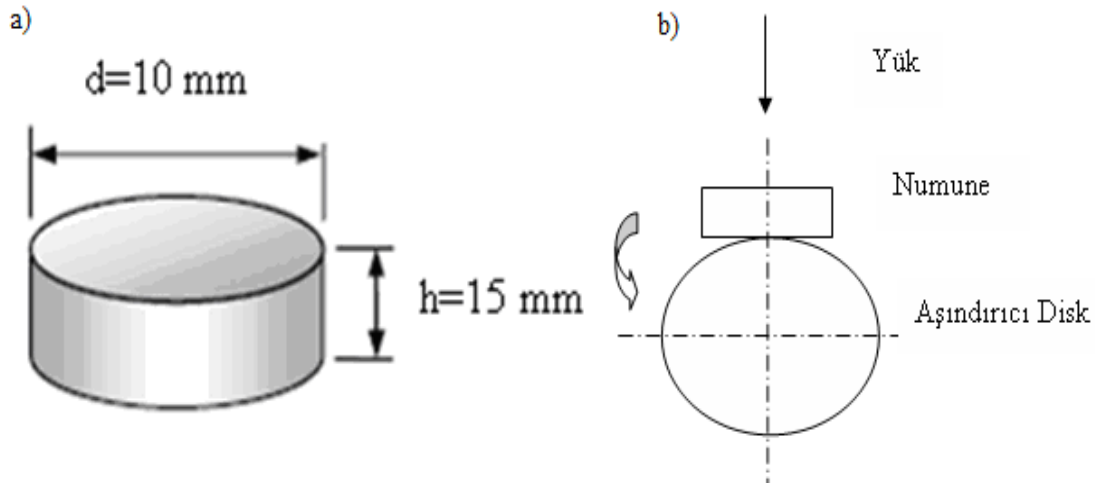
Deneyler 50, 75 ve 100N dik yükleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kayma mesafesi 1225 m olarak hesaplanmıştır. Deneylerde karşı disk olarak 62 HRC sertliğinde ORS6304 çelik rulman kullanılmıştır.

%5 SiC takviyeli ve takviyesiz C<sub>0</sub>,C<sub>1</sub>,C<sub>5</sub>,C<sub>9</sub> ve C<sub>15</sub> çubuklardan silindirik numuneler kesilerek aşınma deneylerinde kullanılmıştır. Deneylerde 10 mm çap ve 15 mm yüksekliğe sahip silindirik numuneler kullanılmıştır. Numune şekli ve boyutları, Şekil 5.14'de gösterilmektedir. Tüm deneyler Şekil 5.15'de gösterilen aşınma düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.13.a) Pin-on-ring sistemi ve temel yapı elemanlarının şematik gösterimi:

- 1.Motor,2. Takometre, 3. Kavrama, 4. Kuvvetölçer, 5. Numune tutucu  
6. Numune, 7.Aşındırma elemanı, 8. Ağırlık askısı, 9. Kontrol ünitesi  
10. Grafik çizici, 11. Yüksek sıcaklık cihazı.



Şekil 5.14. a) Numune şekli ve boyutları b) Test konfigürasyonu



Şekil 5.15. Aşınma Test Düzenegi

Deney öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülerek kütle kayıpları tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları Tablo 5.2 ve Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Aşınma deney sonucu numunelerin kuru şartlarda aşınma ağırlık kayıpları

KURU ŞARTLAR										
ÖZELLİK	TM 6061/ SiC 20 $\mu$ /5					TM 6061				
	AŞINMA AĞIRLIK KAYIPLARI (mg)					AŞINMA AĞIRLIK KAYIPLARI (mg)				
YÜK (N)	K.E GEÇİŞ SAYISI					K.E GEÇİŞ SAYISI				
	0	1	5	9	15	0	1	5	9	15
50	5,1	7	5,1	5,33	3,2	49,3	19,6	22,2	12,5	4,3
75	37,5	15	11,9	7	14,5	24,57	37,79	24,85	43,79	10,6
100	10,2	33	12,6	74,3	46,2	12,6	52,78	43,1	49,3	50,5

Tablo 5.3. Aşınma deney sonucu numunelerin yağlı şartlarda aşınma ağırlık kayıpları

YAĞLI ŞARTLAR										
ÖZELLİK	TM AA 6061/SiC20 $\mu$ /5					TM 6061				
	AŞINMA AĞIRLIK KAYIPLARI (mg)					AŞINMA AĞIRLIK KAYIPLARI (mg)				
YÜK (N)	K.E GEÇİŞ SAYISI					K.E GEÇİŞ SAYISI				
	0	1	5	9	15	0	1	5	9	15
50	0,3	0,9	0,8	0,5	0,9	0,6	2,8	2,7	1,5	2
75	1,3	0,4	0,9	0,6	1,2	10	8,7	0,17	1,6	1,8
100	0,6	1,1	1,6	1,9	0,4	1,8	0,2	12,3	3,4	8,8

Geçiş sayısı ve yüke göre değişen ağırlık kaybı sütun grafikleri Şekil 5.16'da gösterilmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kuru şartlarda 50 N yük altında en fazla kütle kaybı AA6061 takviyesiz numune için C0 geçişli numunede görülmüştür. 50 N için geçiş sayısı arttıkça kütle kaybında azalma görülmüştür. 75 N yük altında AA6061 takviyesiz numune için C9 geçiş sayısında, 100 N yük için kuru şartlarda AA6061 takviyesiz numune için C1 geçiş sayısında görülmüştür.

Yağlı şartlarda ise kuru şartlara göre ağırlık kayıplarında azalmalar olup 50 N yük için en fazla kütle kaybı AA6061 takviyesiz numune için C1 geçiş sayısında, 75 N için C0 geçiş sayısında, 100N için C5 geçiş sayısında görülmüştür. Sertlik grafikleri incelenilecek olursa geçiş sayısı arttıkça sertliğin düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla geçiş sayısı arttıkça ağırlık kaybının artmasının sebebi sertlikte meydana gelen düşüştür.

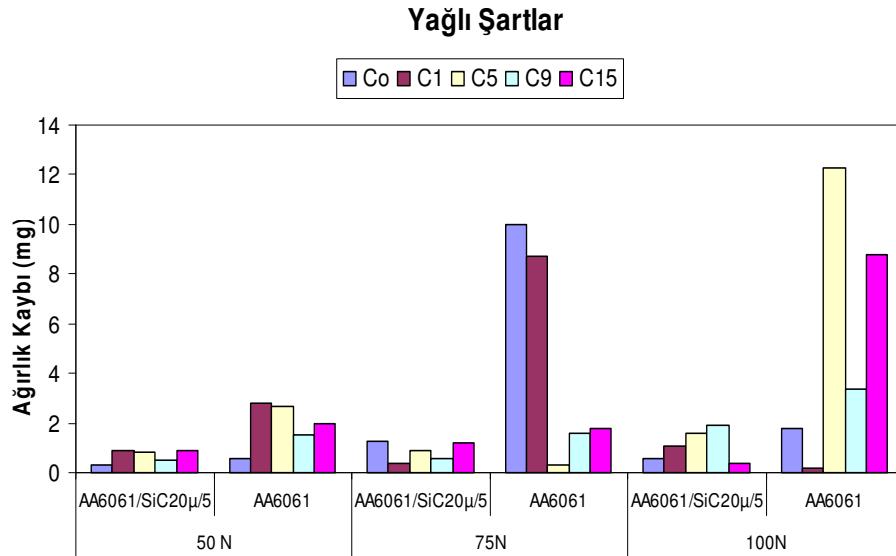
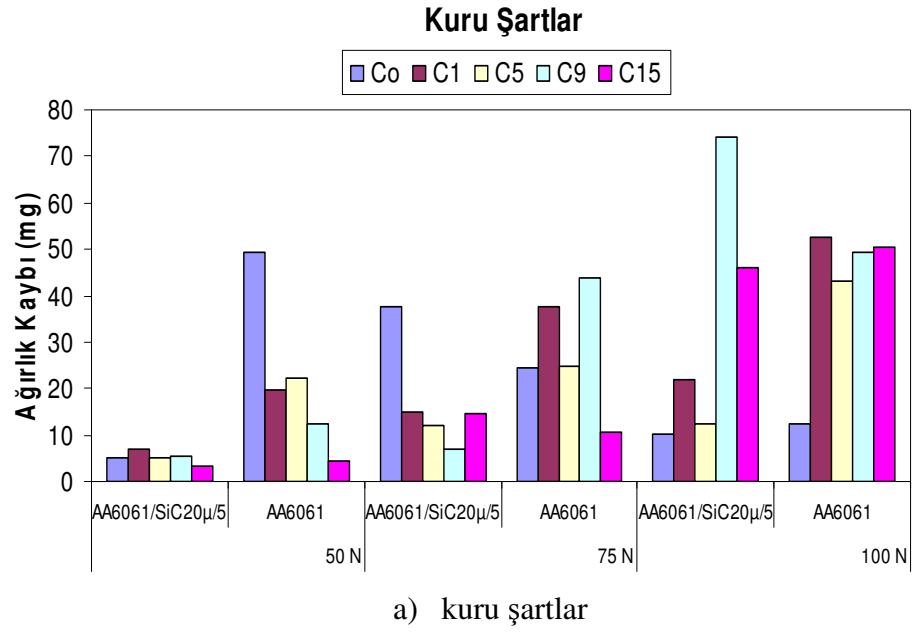
AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozit numuneler takviyesiz numunelerle kıyaslandığında daha az kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir. Kuru şartlarda takviyeli numuneler için 50 N yük altında en fazla kütle kaybı C1 geçiş sayısında, 75 N için C0 geçiş sayısında, 100 N için C9 geçiş sayısında görülmüştür. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için kütle aşınmaları yağlamanın etkisiyle azalmıştır. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için 50 N yük altında en fazla kütle kaybı C1 ve C15 geçiş sayısında, 75 N için C0 geçiş sayısında, 100 N için C9 geçiş sayısında görülmüştür.

AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozit numuneler için C1,C0 ve C9 geçiş sayıları yağlı ve kuru şartlarda sırasıyla 50 N, 75 N ve 100 N yükler için her iki durumda da benzer özellikler göstermiştir. AA6061 takviyesiz numuneler ise daha değişken özellikler göstermiştir. Geçiş sayısı ve yüke göre değişen takviyeli ve takviyesiz numunelerin kuru ve yağlı şartlar için ağırlık kaybı grafiklerini Şekil 5.17'de gösterilmektedir. Yağlı şartlar ve yük ağırlık kaybı için önemli bir etkidir. Geçiş sayısı ve yük arttıkça malzeme kaybı da artmıştır.

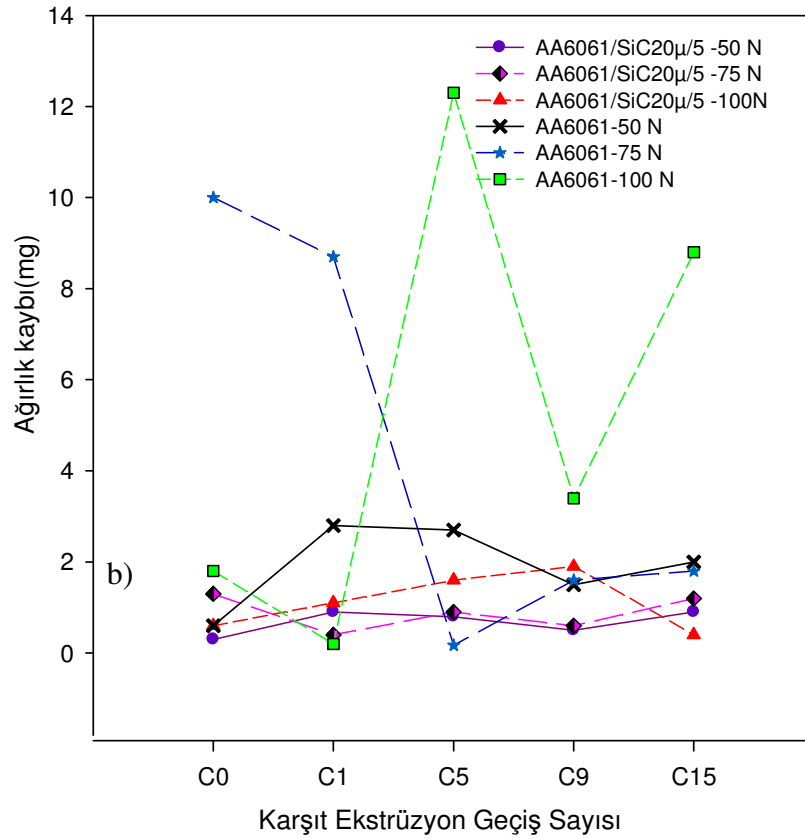
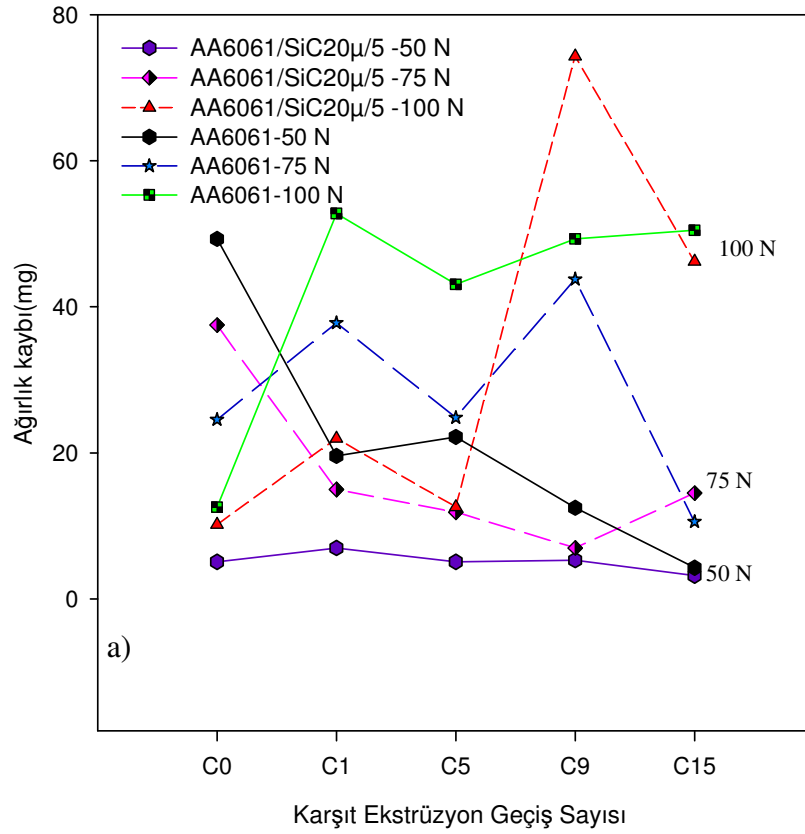
### **5.7.Aşınma Testlerinin Değerlendirilmesi**

Aşınmış yüzeylerin makro ve SEM görüntü incelemeleri yapılmıştır. SEM görüntüleri Leo 440 WDX taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

Deneysel olarak kullanılan numunelerin sayısı 60 adet olup C0, C1, C5, C9 ve C15 ekstrüzyon geçiş sayılarındaki numuneler 50 N, 75 N ve 100 N yük altında kuru ve yağlı şartlarda aşındırılmıştır. Aşınma testlerinden alınan veriler ile takviyeli ve takviyesiz numunelerin her bir geçiş sayısının sürtünme kuvveti-aşınma yolu eğrileri ayrı ayrı çizilmiştir.



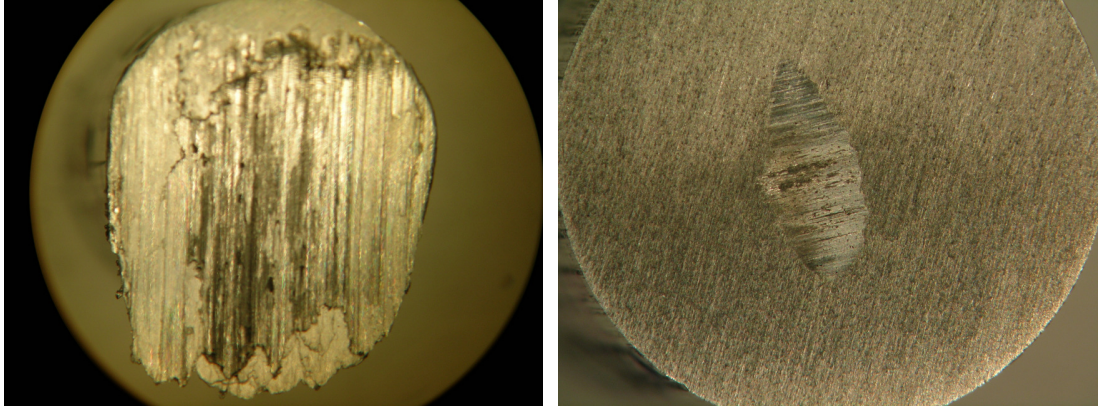
Şekil 5.16. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre numunelerin ağırlık kayıpları  
a) kuru şartlarda b) yağlı şartlarda



Şekil 5.17. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre takviyeli ve takviyesiz numunelerin ağırlık kayıpları a) kuru şartlarda b) yağlı şartlarda

### 5.8. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 Kompozitinin Sürtünme Davranışı

Kuru ve yağlı şartlarda aşınan yüzeylerin makro görüntüleri incelenmiştir. Yağlı şartlardaki aşınma yüzeyi kuru şartlardaki çiftiyle karşılaştırıldığında aşınma miktarı ve yüzey izleri oldukça azdır. 100 N yükleme şartında aşınma yüzeylerinde sürtünme sıcaklığı sebebiyle 50N ve 75 N'luk şartlara kıyasla malzeme yığılmalarının daha fazla olduğu görülmüştür. Kuru ve yağlı şartlarda aşınan C15 geçişli numunelerin aşınma yüzeylerinin makro görüntüleri Şekil 5.18'de görülmektedir.



a)

b)

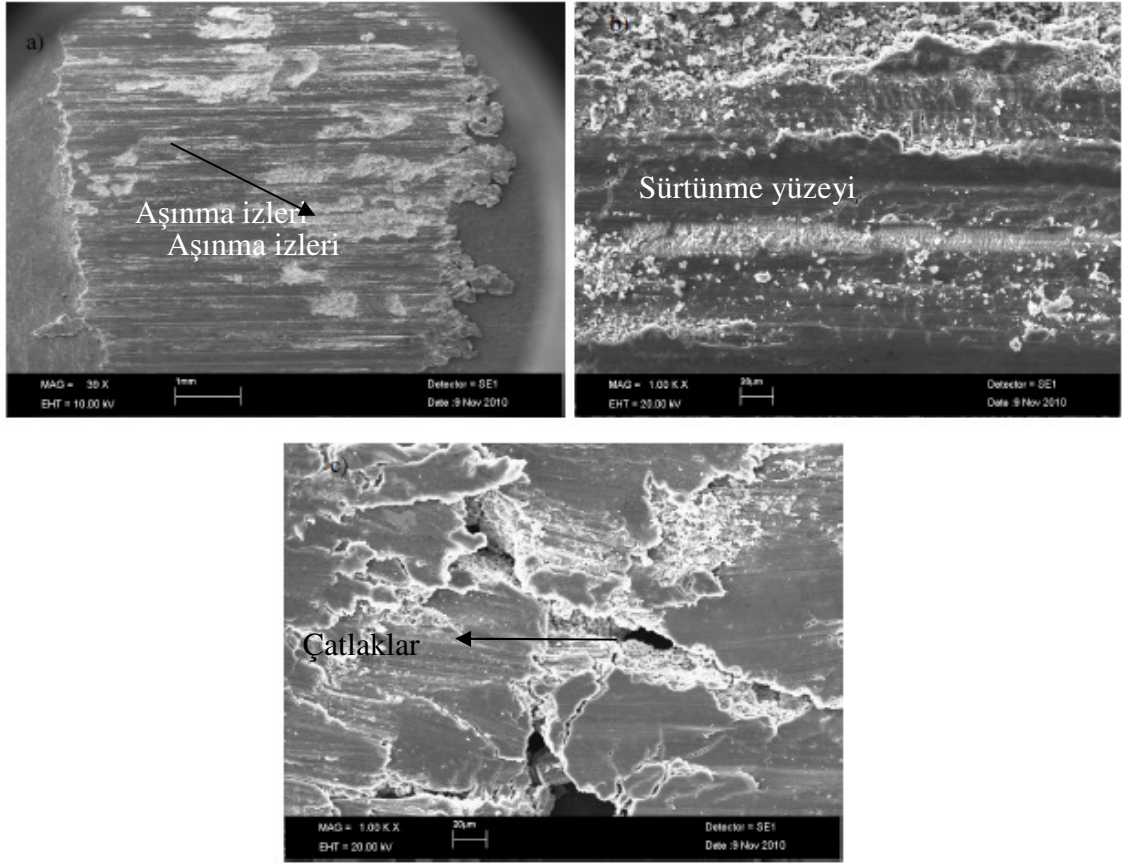
Şekil 5.18. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 /C15 geçişli numunenin 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar

Şekil 5.19'da C0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 50 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numunelerin yüzeyinde aşınma izleri ve çatlakların olduğu görülmektedir.

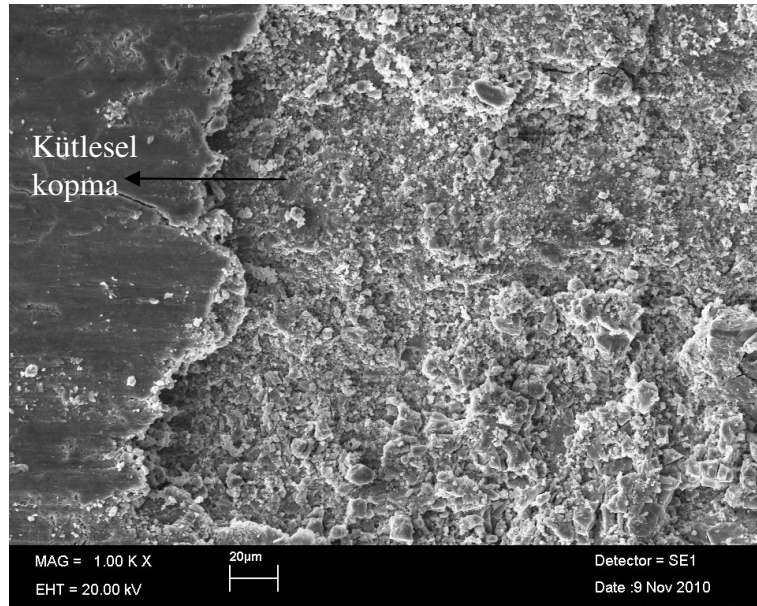
İçerisinde seramik gibi sert ve aşındırıcı partiküllerin olması sebebiyle karşı elemanla metal/metal teması azalarak aşınma daha çok abrasif modda oluşmuştur.

Şekil 5.20'de C0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde kütleli kopmalar olduğu gözlemlenmiştir.

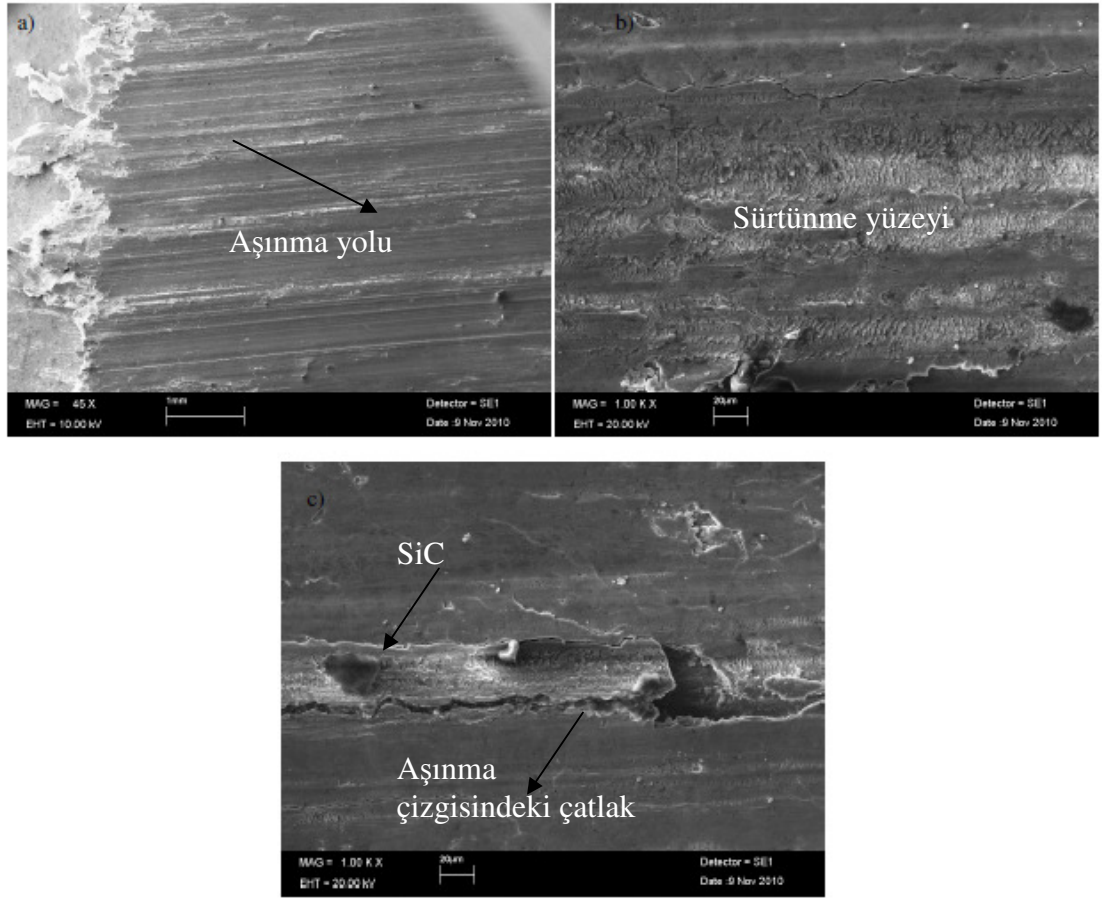
Şekil 5.21'de C0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 100 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir.



Şekil 5.19. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 50N yük ile aşınma sonrası yüzeyi



Şekil 5.20. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi



Şekil 5.21. AA6061/SiC20µ/5/C0 kompozitinin kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

Sürtünme kuvveti–aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20µ/5/C0 kompoziti için Şekil 5.22’de gösterilmektedir. Toplam kayma mesafesi 1225 m olarak hesaplanmıştır. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında meydana gelirken, 75 N altında sürtünme kuvveti değerlerinde sıçramalar oluşmuş ve sürekli artan bir eğilim göstermiştir.

Ortalama değerlere bakılacak olursa 100 N yük altında büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuş, önce artan daha sonra azalan bir eğilim sergilemiştir. Bunun sebebi kayma mesafesi eşik noktasına geldikten sonra yüzeylerin düzgünleşmesidir. Takviyeli numunelerde takviye partikülleri karşı elaman yüzeyine temas etmekte dolayısıyla sürtünmeyle oluşan kuvveti de arttırmaktadır (partikül –metal teması).

Fakat takviyesiz numunelerin ortalama sürtünme kuvveti değerlerine bakılacak olursa (Şekil 5.51) yüzey direk olarak karşı disk ile temasa geçtiğinden (metal-metal teması) sürtünme kuvveti düşük çıkmaktadır.

AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin yağlı şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 5.23'de gösterilmektedir. Şekil 5.23'de görüldüğü gibi aşınma izi boyunca kayan SiC taneciğinin kayma sonucu kuru şartlara göre oldukça az miktarda kütle yığılmasına sebep olmuştur. Sert partiküllerin yüzeyde yırtılmalar oluşturduğu görülmektedir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompoziti yağlı şartlar için Şekil 5.24'de gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 75 N yük altında meydana gelmiştir. 50 N altında sürtünme kuvveti değerlerinde sıçramalar oluşmuş ve sabit bir eğilim göstermiştir. 100 N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuş, önce artan daha sonra ani artış gösteren bir eğilimdedir.

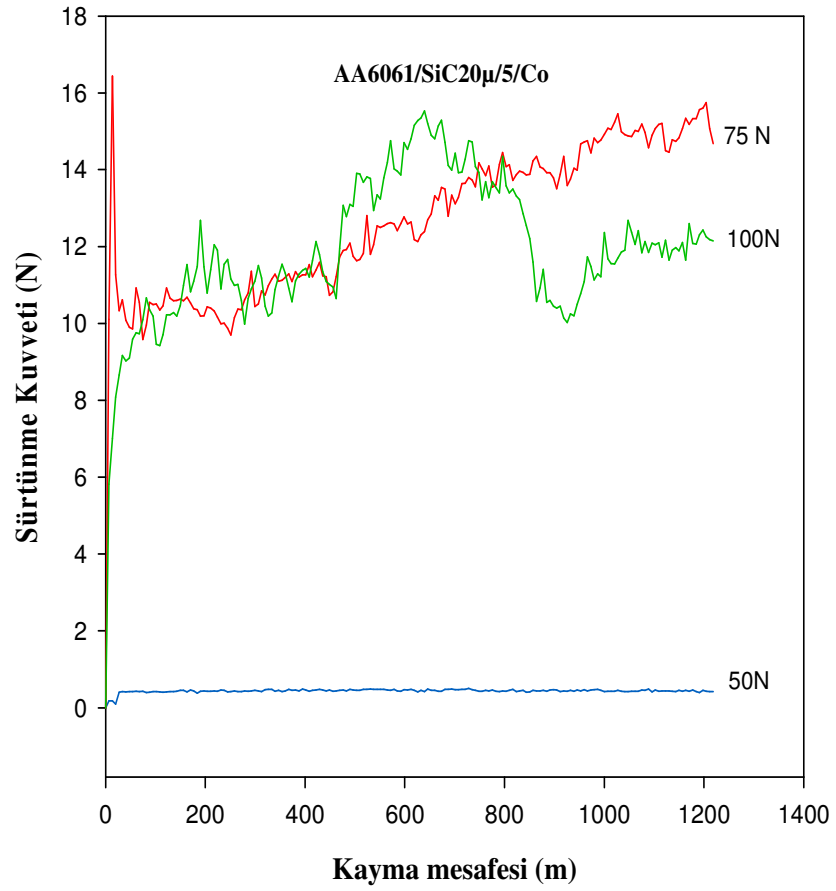
Kuru şartlar ile kıyaslandığında oldukça düşük sürtünme kuvvetleri meydana gelmiştir. Bunun sebebi de deney süresince yağlama yapılmasıdır.

Sürtünme kuvveti doğal olarak hareketin başlangıcında ani olarak yükselir. Çünkü ilk hareketi sağlamak sürtünme yüzeylerinin adhezyonu nedeniyle zordur. Dolayısıyla oluşan sürtünme kuvveti de yüzeylerin şekil olarak alışmalarına kadar yükselir ve nihayet rejime girerek hemen hemen sabit bir seyir (steady –seated regime) izler.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi tüm geçiş sayıları için 50 N yük altında AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompoziti için Şekil 5.25'de gösterilmektedir. Şekilden de izlenebildiği gibi geçiş sayısı arttıkça sürtünme kuvveti de artmıştır.

Ortalama değerlere bakıldığında geçiş sayısı artan numunenin sertliğinde artış meydana gelmesi sürtünme kuvvetlerinin artışına neden olmuştur.

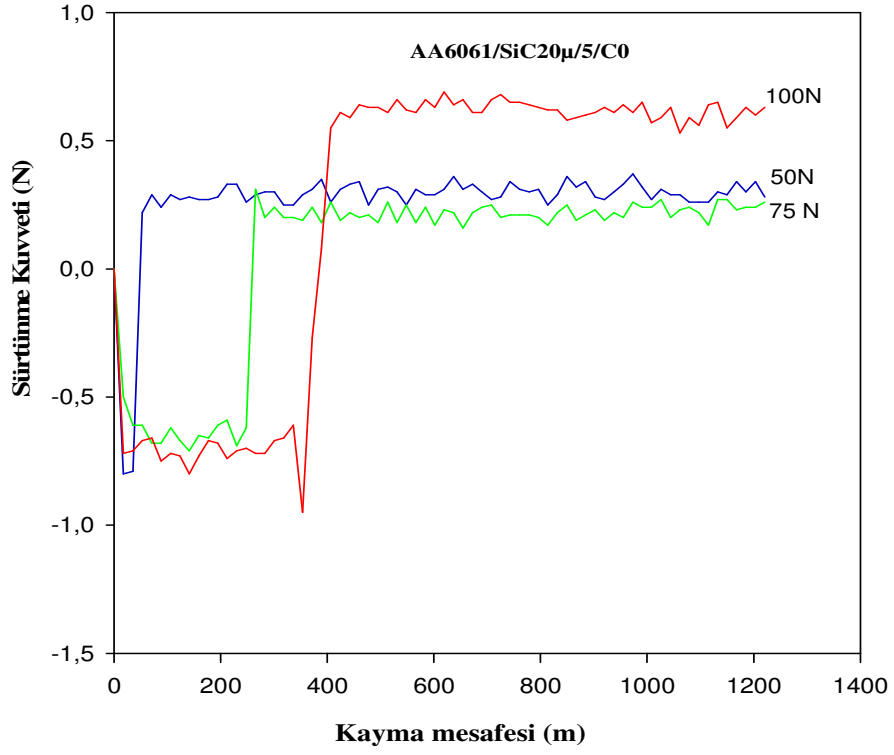
Şekil 5.26 AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvvetleri gösterilmektedir. En büyük sürtünme kuvvetinin Co geçişli numunede oluşmuştur.



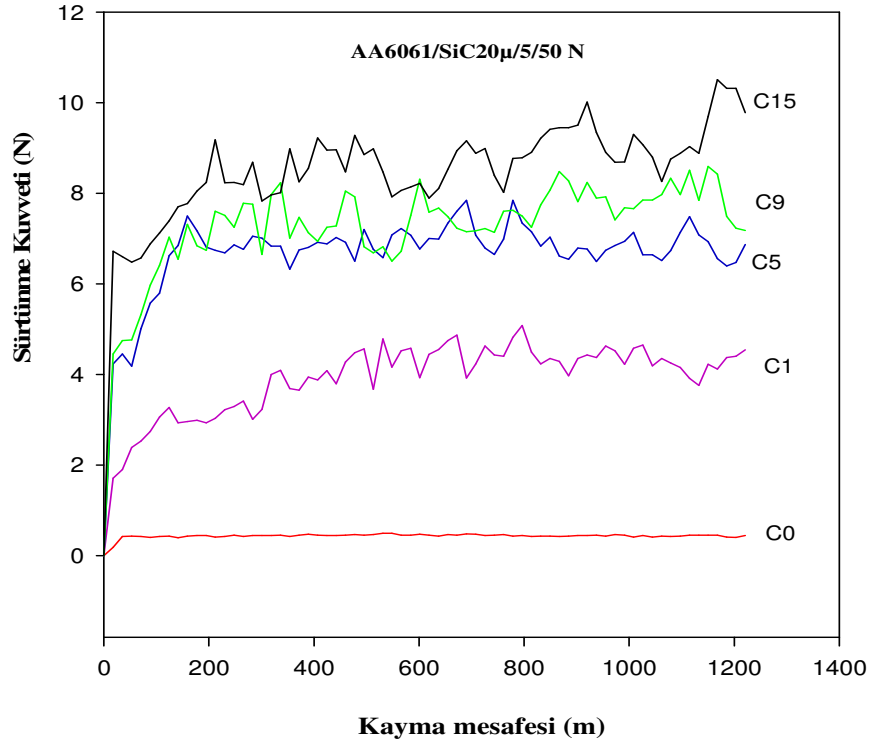
Şekil 5.22. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/Co kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükleri için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



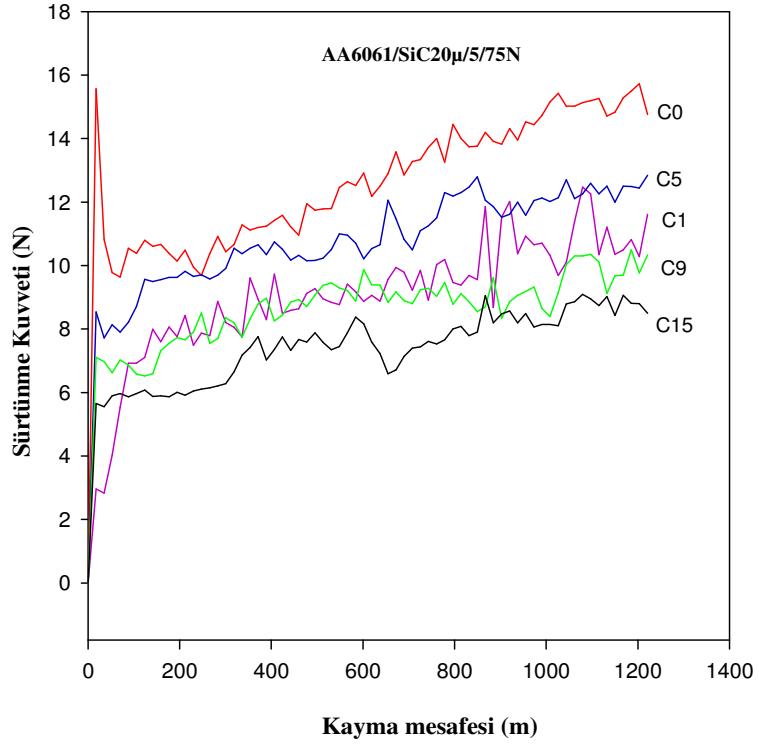
Şekil 5.23. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/Co kompozitinin yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi



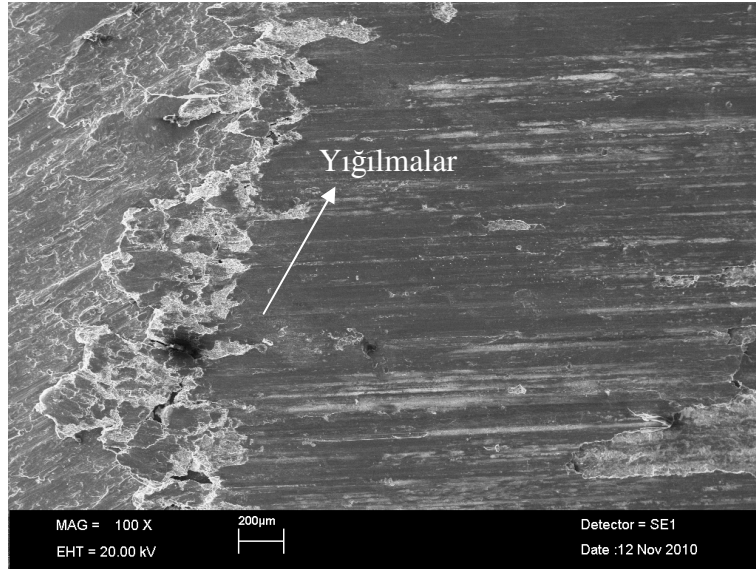
Şekil 5.24. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C0 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



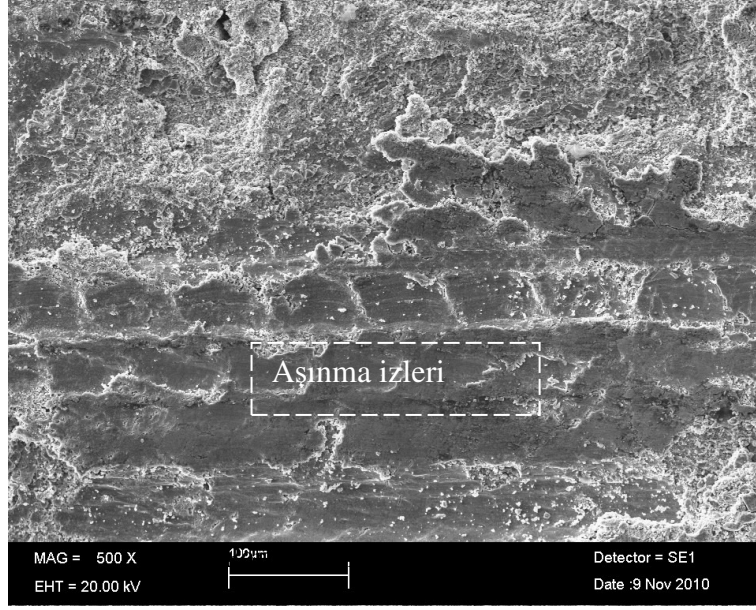
Şekil 5.25. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 50 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti



Şekil 5.26. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti



a) yığılmalar



b) aşınma izleri

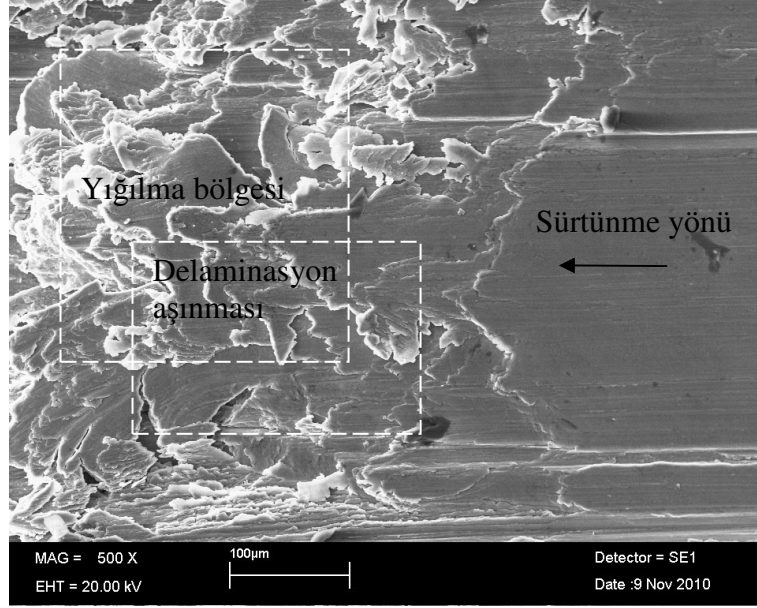
Şekil 5.27. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin kuru şartlarda yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) 50 N b) 75 N

Şekil 5.27’de C1 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 50 N ve 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde yığılmaların olduğu, aşınma izlerinin belirginleştiği görülmektedir.

Şekil 5.28’de C1 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 100 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde yığılma bölgelerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Kompozitin bu aşınma özelliği yükün artmasıyla beklenen bir özelliktir. Oluşan sürtünme sıcaklığı ile yumuşayan yüzey kuru şartlarda daha fazla olmak kaydıyla plastik deformasyonla sürtünme yönünde malzeme yığılmalarına yani plastik akmaya sebep olmaktadır.

Bu plastik akmalar tabaka ayrılmasına sebep olmaktadır. Aşınma yüzeyindeki izler ise takviye partiküllerinin yüzeyi çizmesi ile oluşan abrazyon oluklarıdır. Bu durum aşınma mekanizmasının adhesiv ,abrasiv ve plastik akma karışımı olduğu göstermektedir.



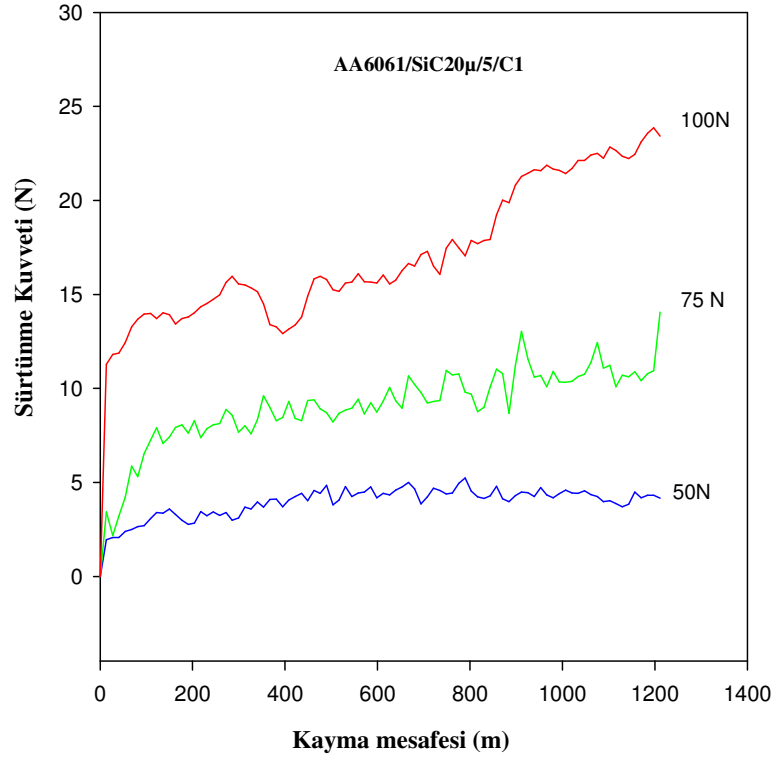
Şekil 5.28. AA6061/SiC20µ/5/C1 kompozitinin kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20µ/5/C1 kompoziti kuru şartlar için Şekil 5.29’da gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında oluşmuştur. 100 N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuş, sürekli artan bir eğilim sergilemiştir.

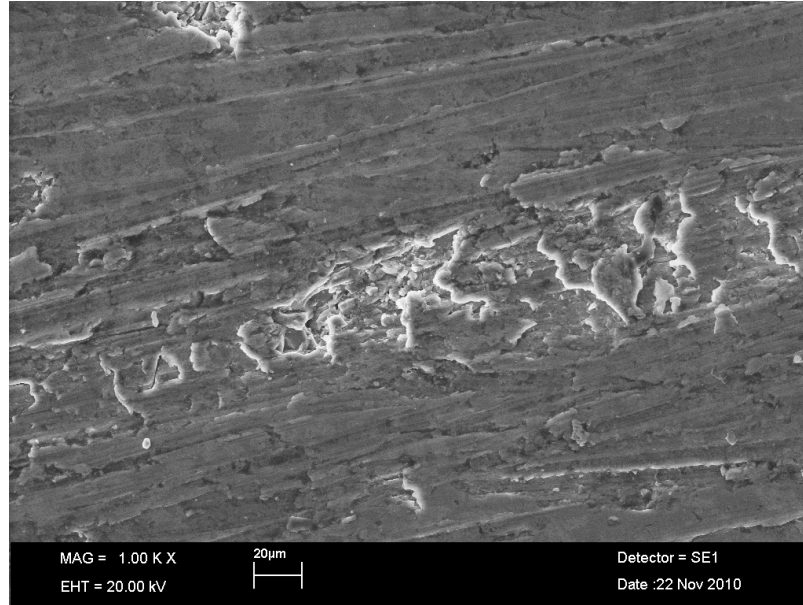
Şekil 5.30’da AA6061/SiC20µ/5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 50N yük altında aşınma yüzeyinde malzeme yığılmalarının plastik deformasyon nedeniyle olduğu görülmektedir.

75 N yük etkisiyle matris içerisinde gömülü SiC parçacıklarının yüzeye çıktığı görülmüştür. Oluşan sürtünme kuvveti yüzeyde yırtılmalar oluşturarak SiC parçacıklarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

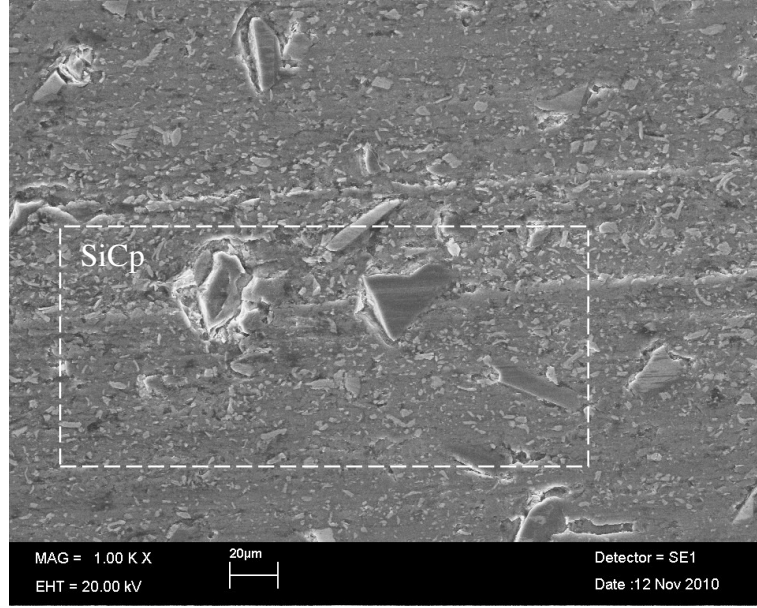
Şekil 5.30 ve 5.31 incelendiği takdirde yağlamanın etkisiyle sürtünme kuvveti azaldığından aşınan alanlarda küçülmeler görülmüştür. Bazı aşınma çizgileri boyunca açığa çıkan SiC tanecikleri görülmektedir.



Şekil 5.29. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



Şekil 5.30. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonucu malzeme yığılmaları



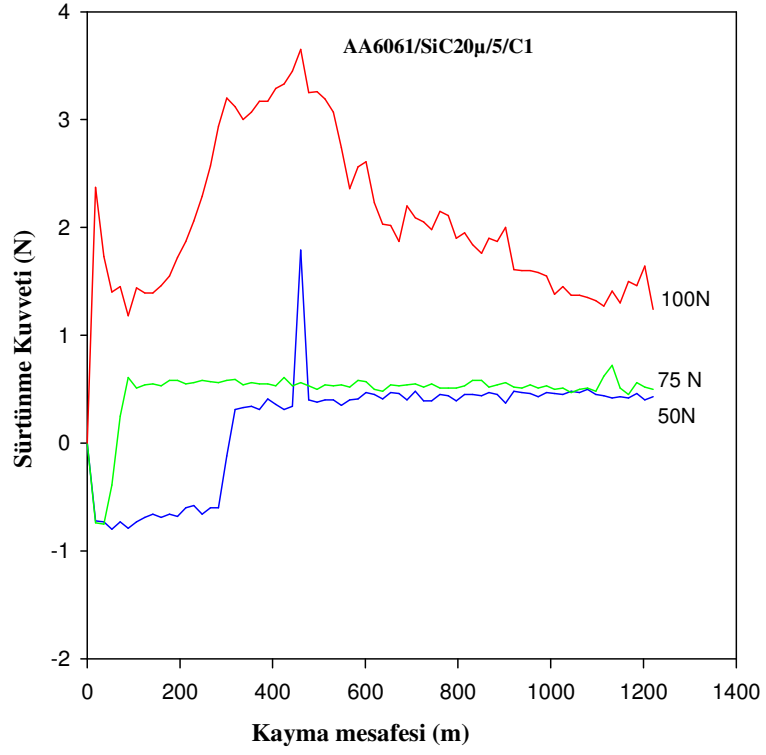
Şekil 5.31. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 75 N yük etkisiyle aşınan yüzey

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompoziti yağlı şartlar için Şekil 5.32’de gösterilmektedir.

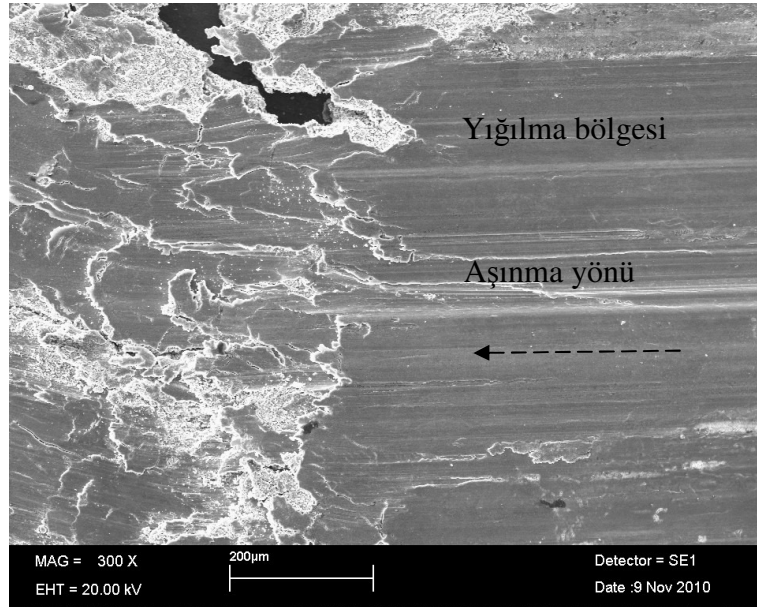
En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında, 75 N altında sürtünme kuvveti değerlerinde sıçramalar oluşmuş ve daha sonra yaklaşık olarak sabit bir değerde sürtünme kuvveti oluşmuştur. 100 N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuştur. Artan yükün etkisiyle sürtünme kuvveti de artmıştır.

Aşınma bölgesi yüzey yapıları incelendiğinde derin çizikler yığılma bölgeleri, numunenin köşe kısımlarında yapraklaşma ve kopmalar görülmektedir (Şekil 5.33 a-b-c).Sürtünme kuvvetinin etkisiyle oluşan sıcaklık yüzeyde plastik deformasyonlara matriste akmaya sebep olmuştur (Şekil 5.33 .d ). Bu durum aşınma mekanizmasını adhesiv, abrasiv ve plastik akma karışımı olduğu göstermektedir.

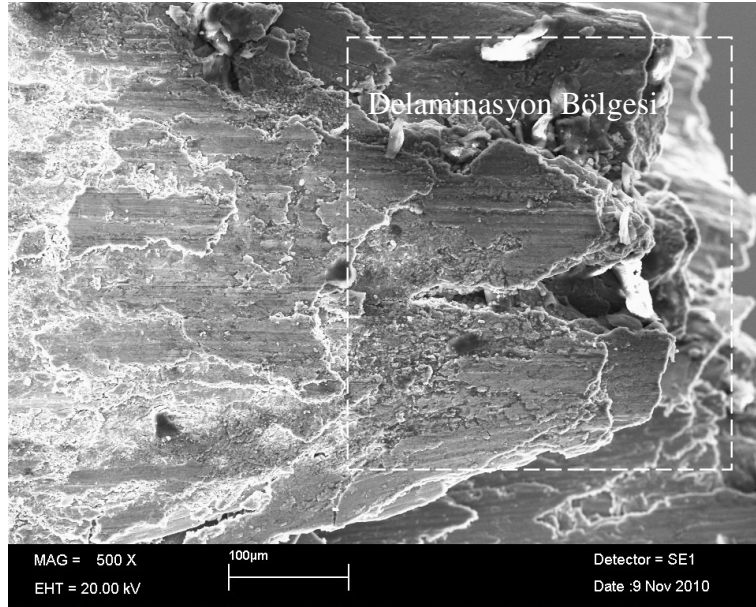
Şekil 5.34’de kuru şartlarda C5 geçişli numunenin aşınma eğrisi gösterilmiştir.C1 geçişli kompozite göre daha yüksek sürtünme kuvvetleri oluştuğu görülmektedir. En büyük sürtünme kuvveti artan yükün etkisiyle 100N ‘luk yükleme için oluşmuştur.



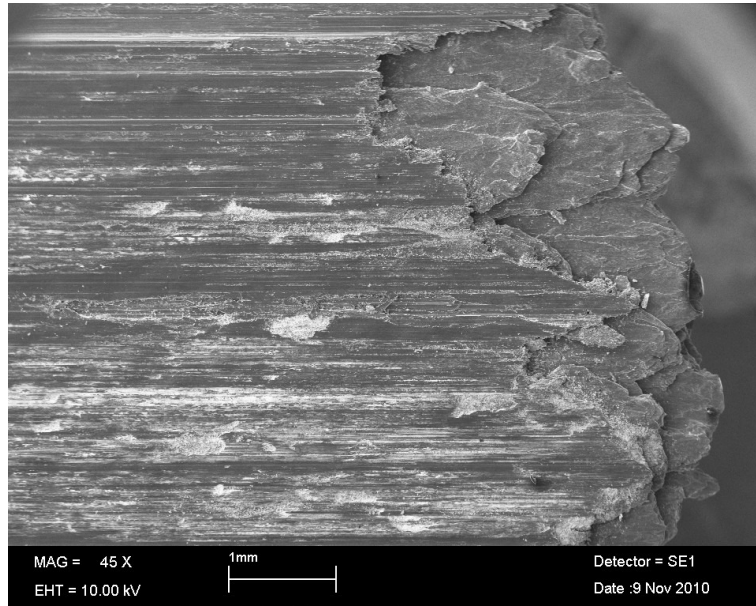
Şekil 5.32. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



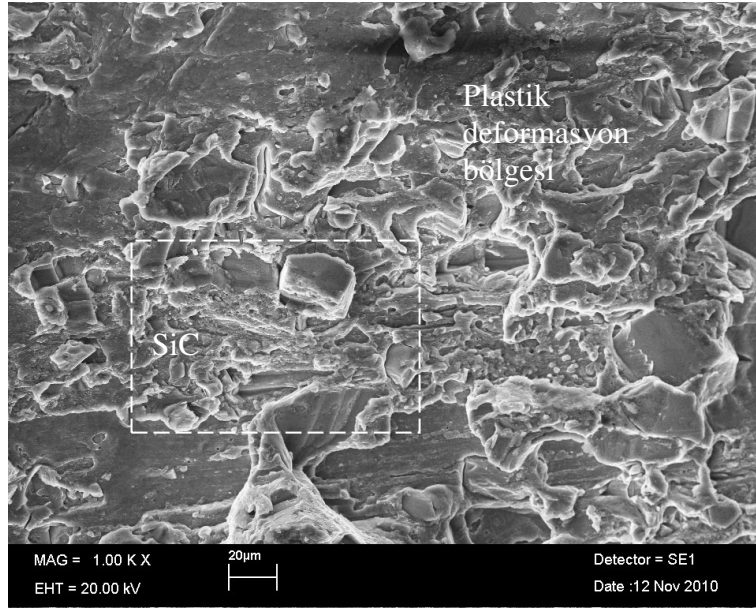
a) C5/75 N



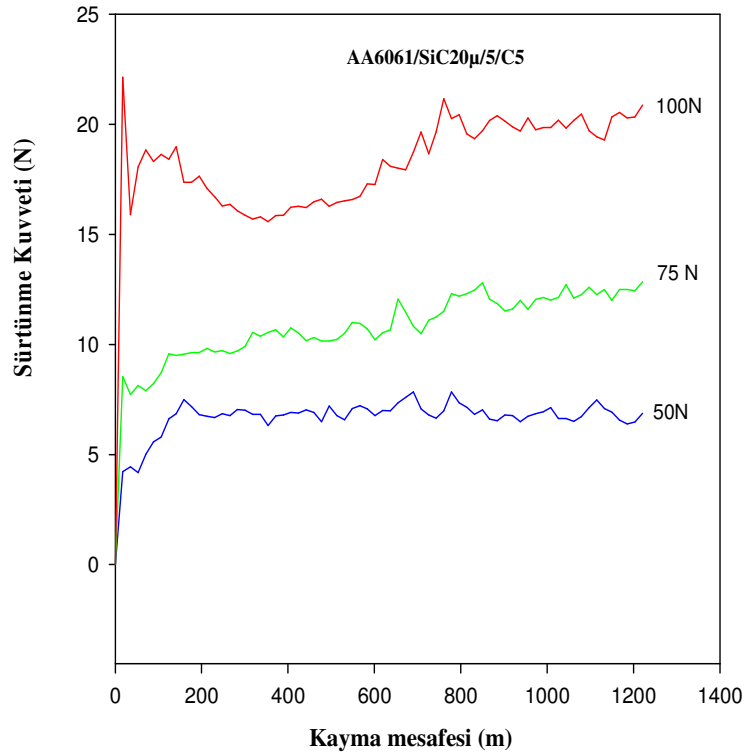
b) C9/75 N

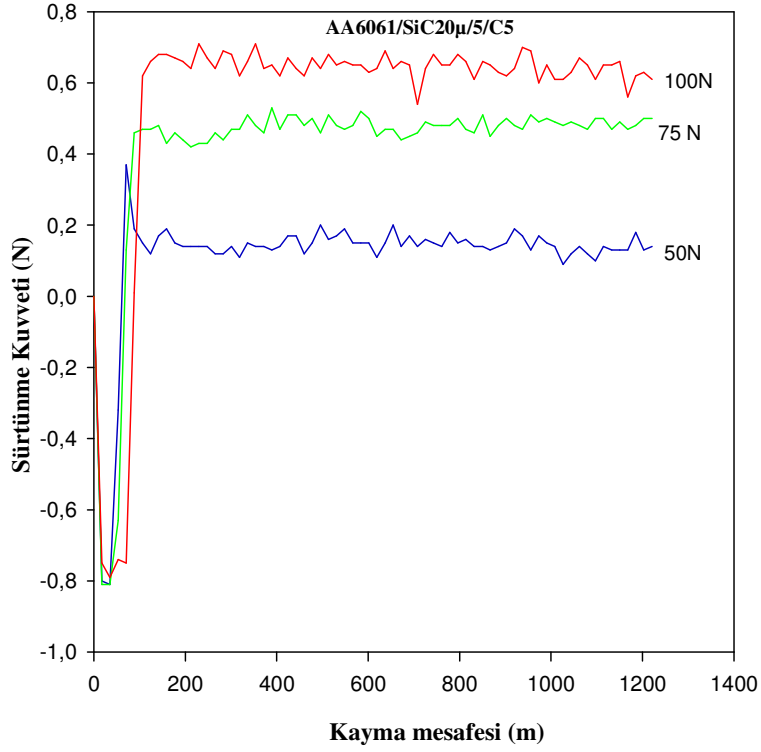


c) C15/100 N



d) C9/100 N

Şekil 5.33. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda aşınma sonrası yüzeyŞekil5.34.AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C5 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

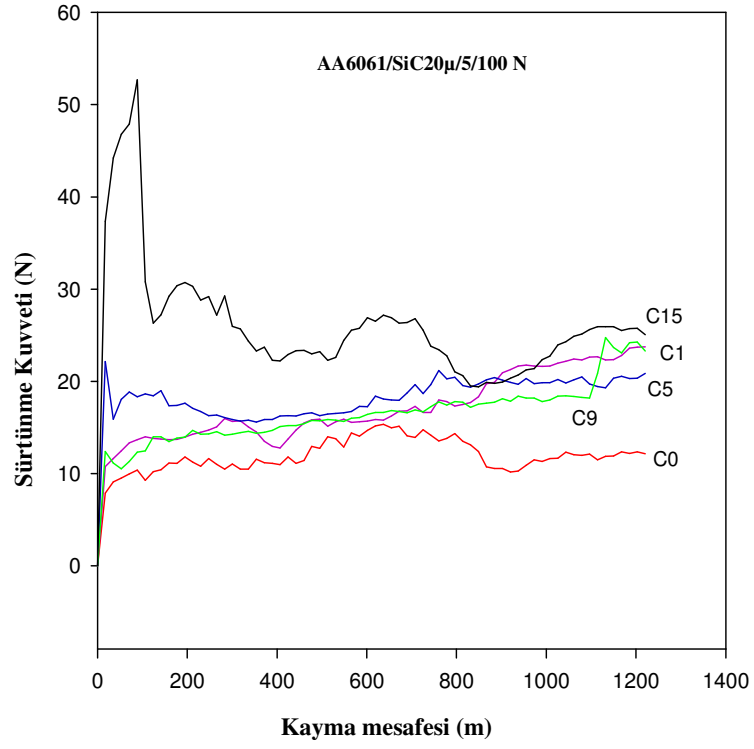


Şekil 5.35. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C5 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

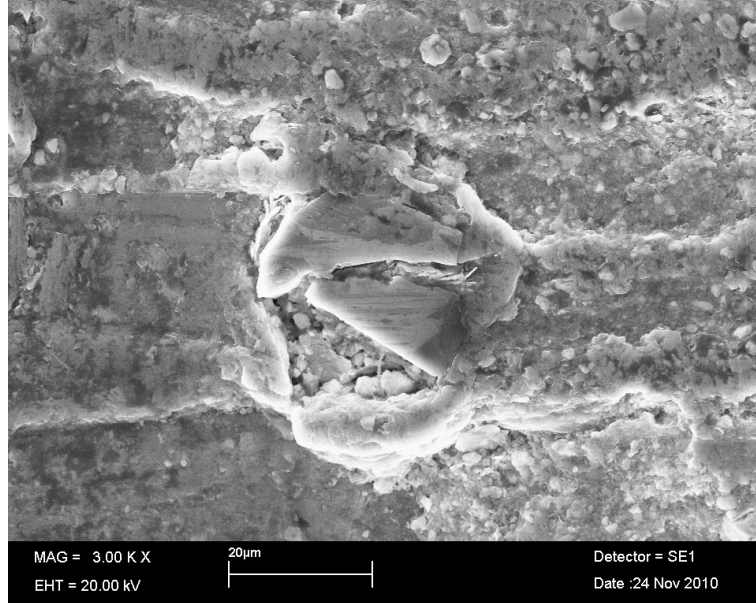
Şekil 5.35’de yağlı şartlarda C5 geçişli numunenin aşınma eğrisi gösterilmiştir. En büyük sürtünme kuvveti artan yükün etkisiyle ortalama değerlere bakılarak 100N ‘luk yükleme için oluşmuştur. Oluşan sürtünme kuvvetinin etkisiyle yüzeyler şekil alarak yüzeyler arası alışma meydana gelmiştir. Bu durumdan sonra aşınma yolu boyunca sürtünme kuvvetleri yaklaşık olarak aynı değerlerdedir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompoziti kuru şartlar için Şekil 5.36’da gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında, 100 N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuştur.C5 geçişli numunedeki kuvvetlere kıyasla daha düşük değerlerde sürtünme kuvvetleri oluştuğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.37 incelenilecek olursa aşınma çizgileri meydana gelmiş ve bu çizgiler boyunca sürüklenen SiC taneleri görülmüştür. Sürüklenen SiC taneleri yüzeyde yırtılmalara sebep olmuştur.

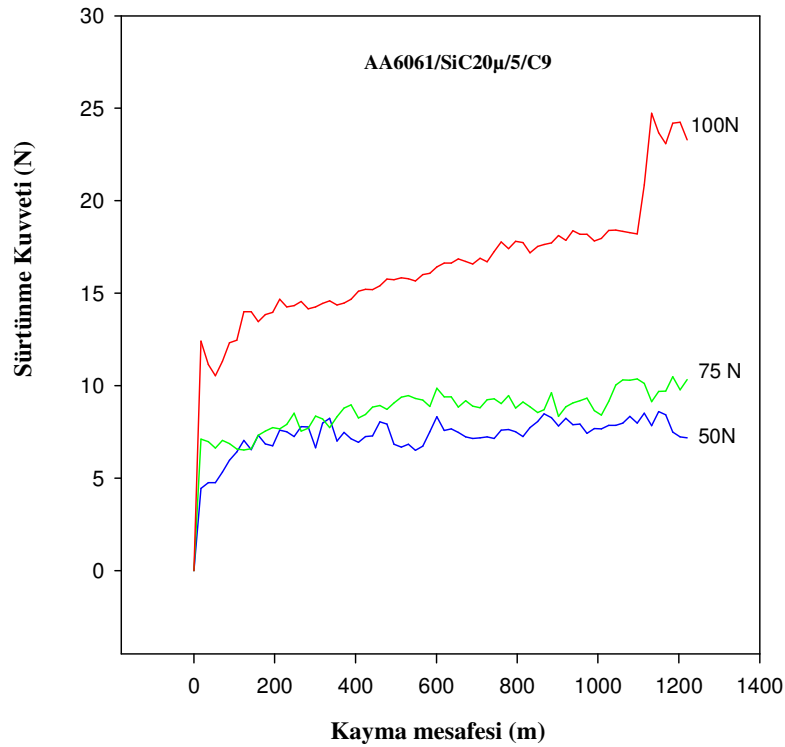


Şekil 5.36. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti



Şekil 5.37. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompozitinin yağlı şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

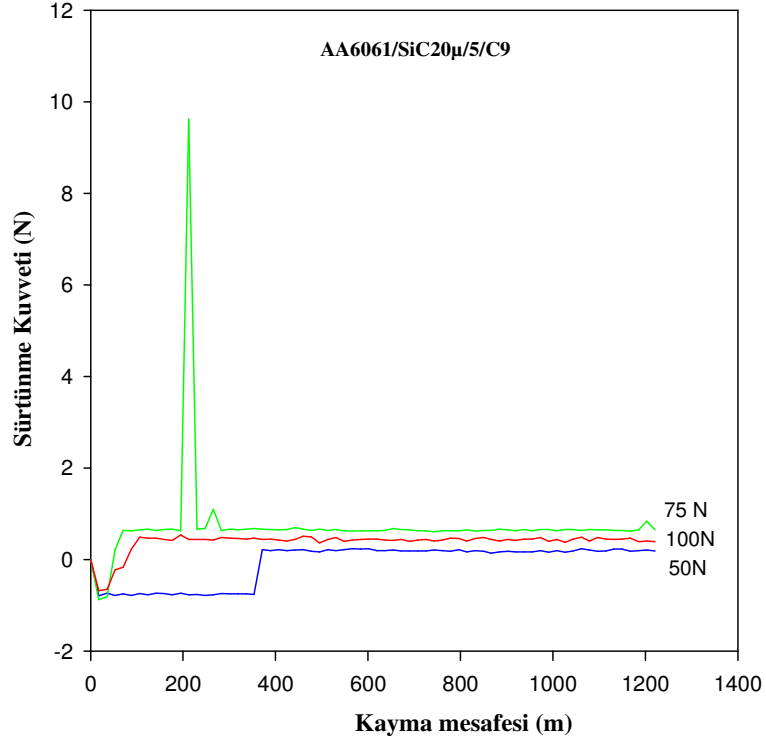
Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompoziti kuru şartlar için Şekil 5.38’da gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında, 100 N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuştur. C5 geçişli numunedeki kuvvetlere kıyasla daha düşük değerlerde sürtünme kuvvetleri oluştuğu tespit edilmiştir. C5 geçişli numune C9 geçişli numuneye göre daha serttir. Dolayısıyla C9 geçişli numunenin sürtünme kuvvetleri daha küçüktür.



Şekil 5.38. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükleri için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 kompoziti yağlı şartlar için Şekil 5.39’da gösterilmektedir.

En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında oluşmuştur. 75 N yük değeri için ani sıçramalar olmuş en büyük sürtünme kuvveti değerleri oluşmuştur. Yüzeyler arasında şekil olarak alışma meydana geldikten sonra sabit değerde devam eden kuvvetler oluşmuştur.



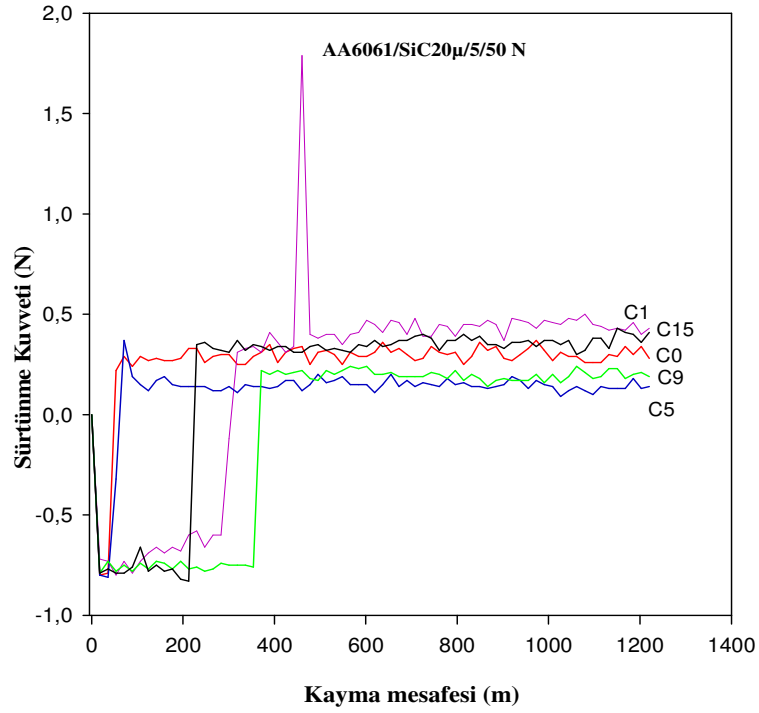
Şekil 5.39. AA6061/SiC20µ/5/C9 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

Şekil 5.40'da AA6061/SiC20µ/5 kompozitinin yağlı şartlar altında 50 -75 -100 N yükler altında değişimi gösterilmiştir. Kuru şartlar altında 50 N yük altında geçiş sayısı arttıkça kayma yolu boyunca sürtünme kuvvetinin arttığı görülmektedir. 50 N ve 100 N yükleri altında C15 geçiş sayılı kompozitin en yüksek sürtünme kuvveti değerine çıktığı görülmüş 75 N altında kompozitlerin geçiş sayıları farklı sürtünme kuvvetlerine çıkmıştır. Sürtünme kuvvetlerinin yüke göre değişimi sertlik değerlerindeki farklılardan kaynaklanmıştır.

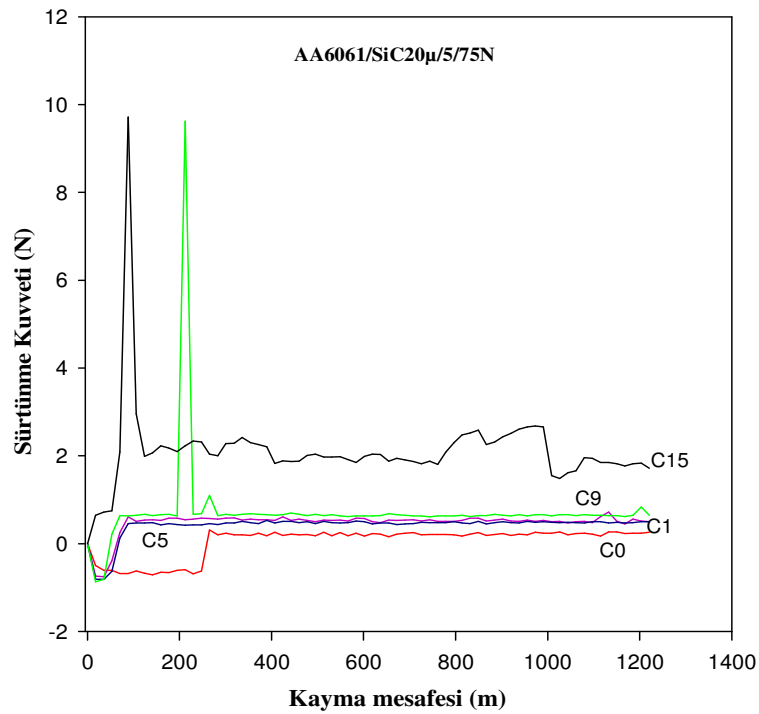
Şekil 5.41'de C15 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 50 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune sürtünme yüzeyinde çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan sürtünme sıcaklığının etkisiyle yüzeyde yeniden şekillenmeler meydana gelmiştir. Şekillenen yüzeylerde çatlama olmuştur.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20µ/5/C15 kompoziti kuru şartlar için Şekil 5.42'de gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 75 N yük altında oluşmuştur.

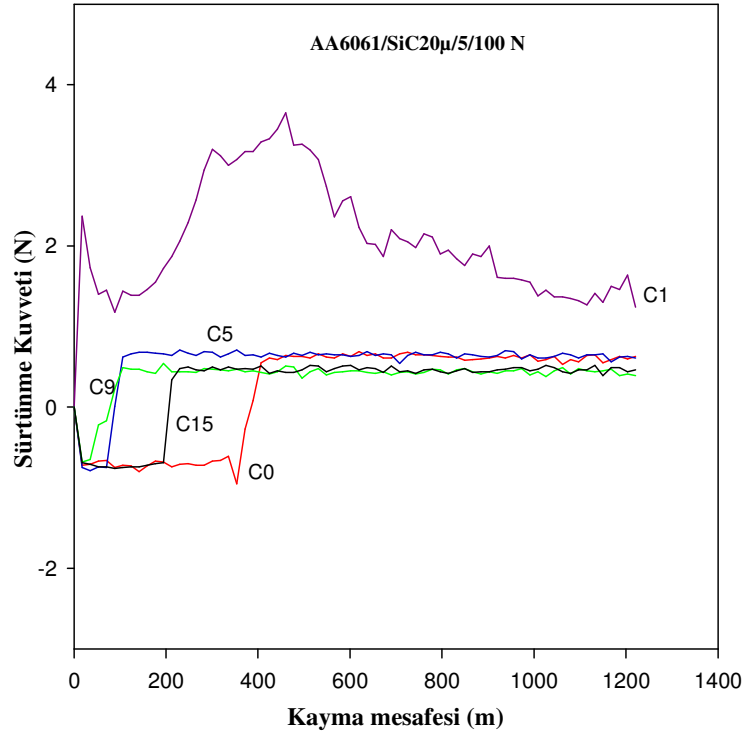
50 N altında ise oluşan sürtünme kuvvetleriyle değer olarak fazla fark olmadığı görülmektedir. Artan yükün etkisiyle 100 N altında en büyük sürtünme kuvveti meydana gelmiştir.



a) 50 N

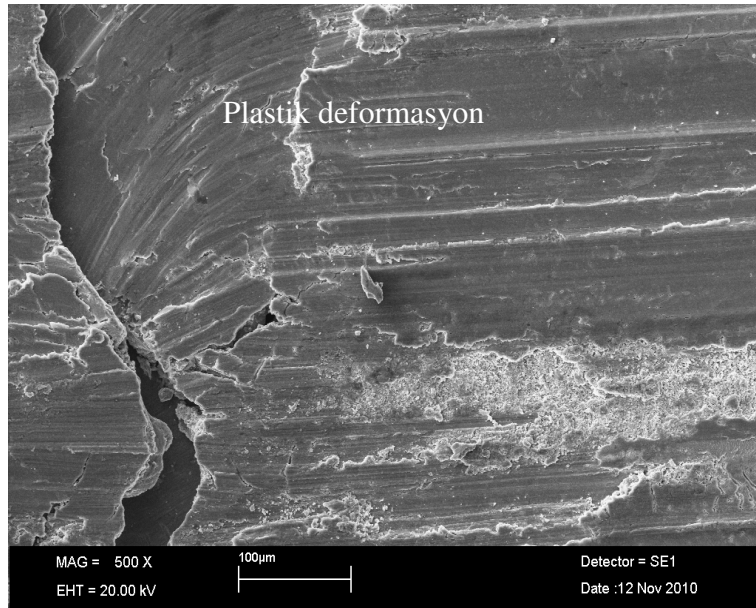


b) 75

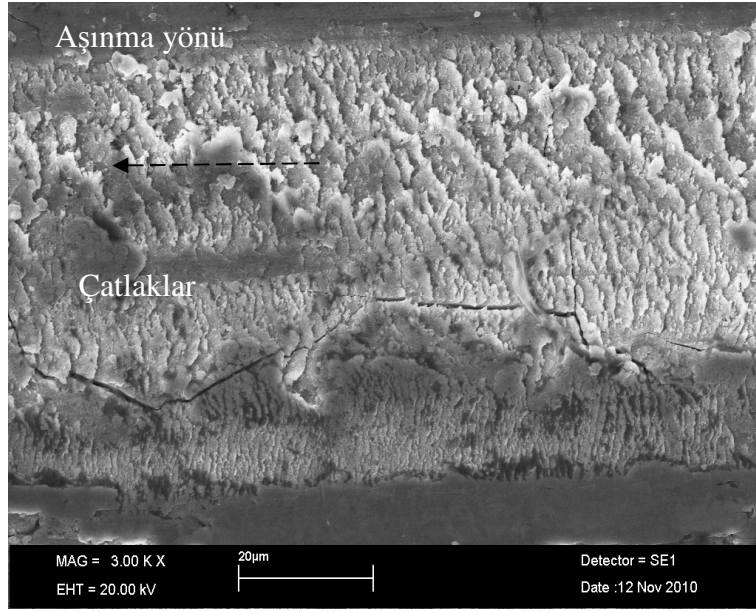


c) 100 N

Şekil 5.40. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin yağlı şartlarda 50 N -75 N- 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti a)50 N b)75 N c)100N

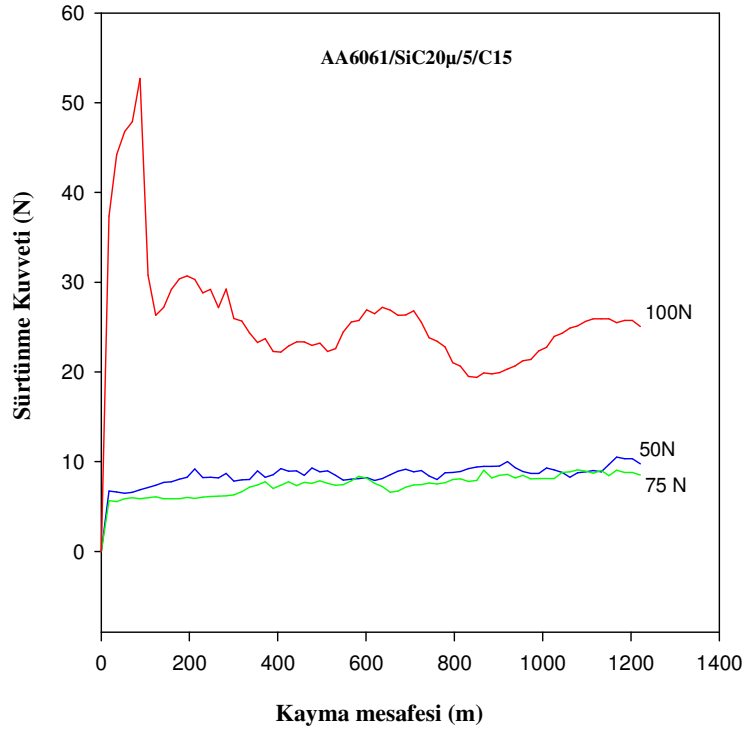


a) plastik deformasyon



b) çatlaklar

Şekil 5.41. AA6061/SiC20μ/5/C15 kompozitinin kuru şartlarda 50N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) Plastik deformasyon bölgesi b) Çatlaklar

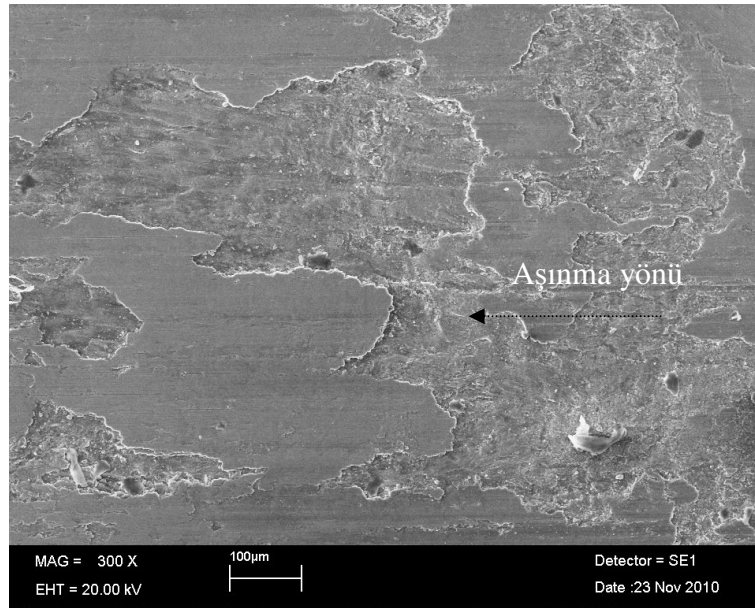


Şekil 5.42. AA6061/SiC20μ/5/C15 kompozitinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin yağlı şartlarda 75N yük için aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil5.43'de gösterilmektedir. Aşınma yönünün tersi yönünde sürtünme kuvvetiyle matriste akma meydana gelerek ve yeniden şekillenen yüzeyde düzleşme meydana gelmiştir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompoziti yağlı şartlar için Şekil 5.44'de gösterilmektedir.

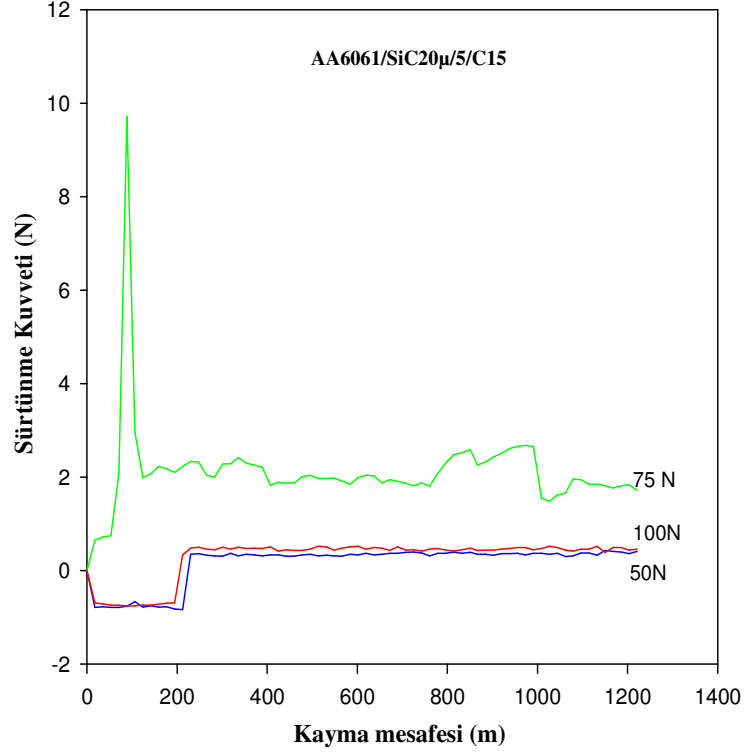
En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında oluşmuştur.100N 'luk yük altındaki kuvvetler 50 N'a benzer davranış göstermiştir.200m'lik kayma mesafesinden sonra 75 N yük değerinde ani artış göstermiş ve artan-azalan sürtünme kuvvetleri meydana getirmiştir. Genel olarak numuneler 50 ve 100 N altında benzer davranış göstermiştir.



Şekil 5.43. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin yağlı şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

Yoğunlukları ölçülen numuneler için özgül aşınma miktarı hesaplanarak karşıt ekstrüzyon geçiş sayısının yüklere göre kuru şartlarda değişimi AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompoziti için Şekil 5.45'de gösterilmektedir. Ağırlık kaybı malzemenin gerçek yoğunluğuna bölünerek kayıp malzeme hacmi bulunmuştur. Kayıp malzeme hacminin yük ve aşınma yoluna bölünmesiyle özgül aşınma miktarı ( $\text{mm}^3/\text{N.m}$ ) hesaplanmıştır.

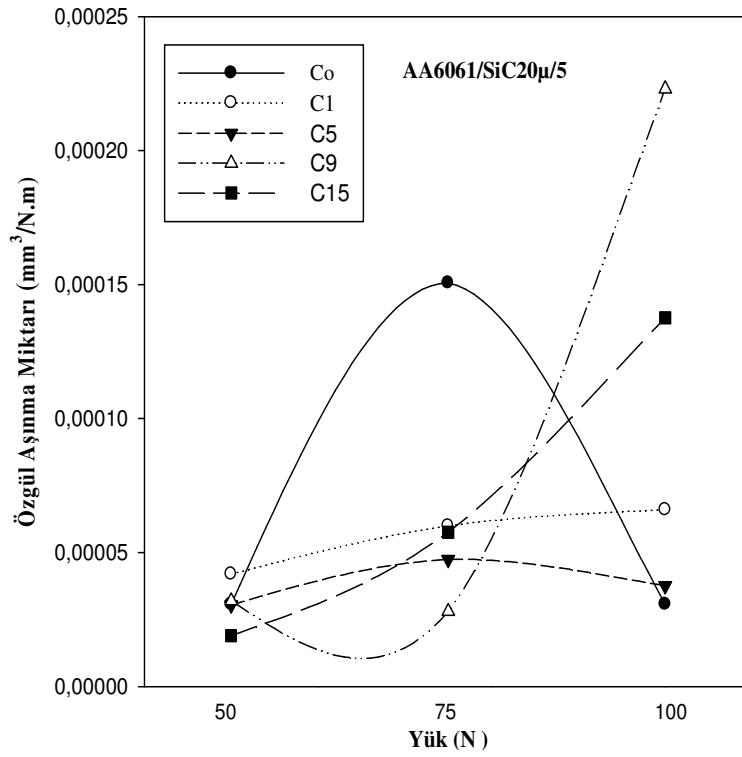
AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 geçişli numune 50 N için, 75 N için AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C1 ve 100 N için AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C9 geçişli numune en yüksek özgül aşınma miktarı değerindedir.



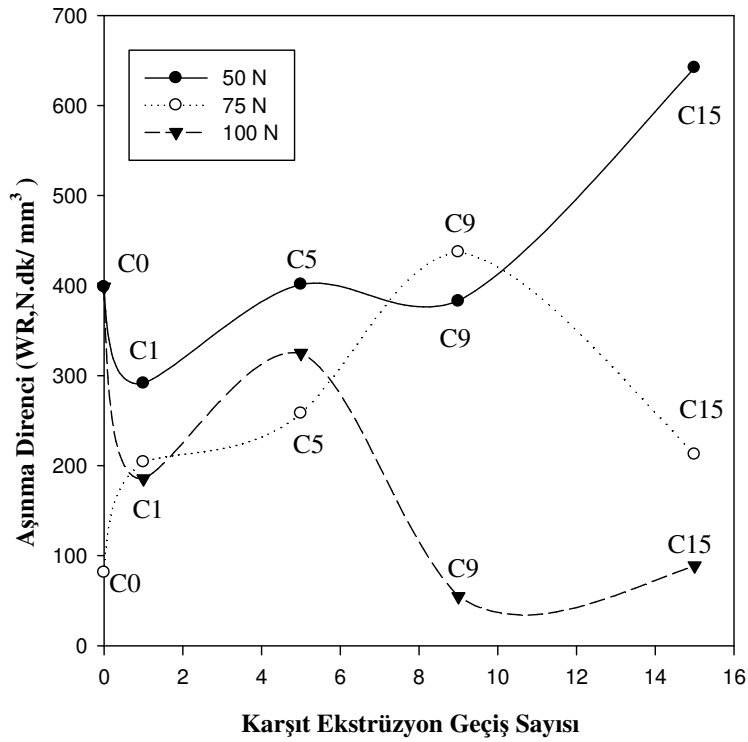
Şekil 5.44. AA6061/SiC20 $\mu$ /5/C15 kompozitinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

Numunelerdeki ağırlık kayıpları hesaba katılarak, aşınan miktarın hacmi uygulanan yük ve aşınma süresine bölünerek Aşınma oranı ( $W$ , mm<sup>3</sup>/ N.dk ) hesaplanmıştır. Aşınma oranının tersi alınarak aşınma direnci ( $W_R$ , N.dk/ mm<sup>3</sup>) hesaplanmıştır

Şekil 5.46'da AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. Uygulanan yük arttıkça kompozit numunelerdeki aşınma direnci ( $W_R$ ) artmaktadır. Geçiş sayılarına bakıldığında ise artan ve azalan bir eğilim görülür.



Şekil 5.45. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar)



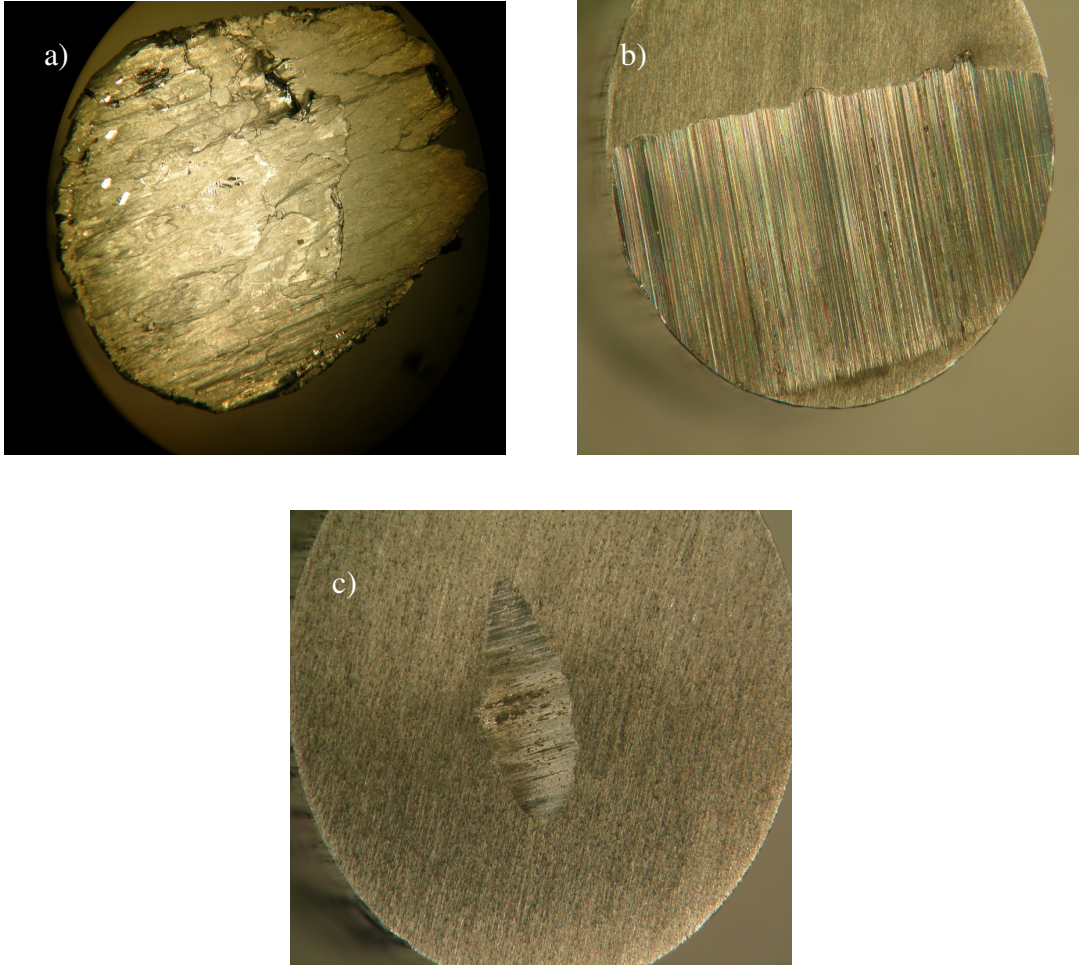
Şekil 5.46. AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozitinin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar)

### 5.9. AA6061 Numunesinin Sürtünme Davranışı

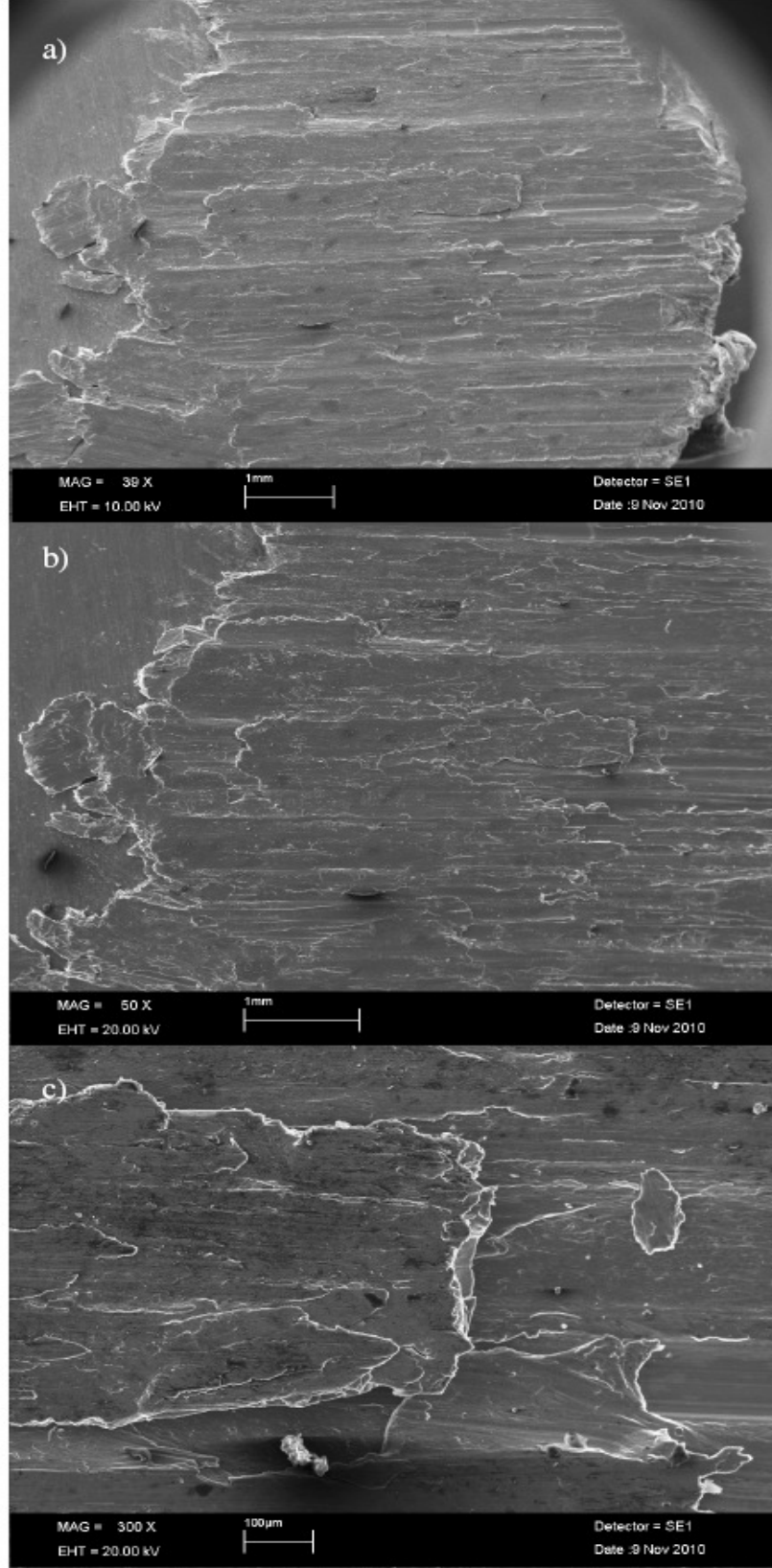
Yağlı şartlardaki aşınma kuru şartlardaki çiftiyle karşılaştırıldığında aşınma miktarı ve yüzey izleri oldukça azdır. Kuru ve yağlı şartlarda aşınan C15 geçişli numunelerin aşınma yüzeylerinin makro görüntüleri Şekil 5.47'de görülmektedir.

Kuru şartlarda yüzeyde aşırı plastik deformasyonla kaymalar ve tabakalaşmalar oluşmuştur.

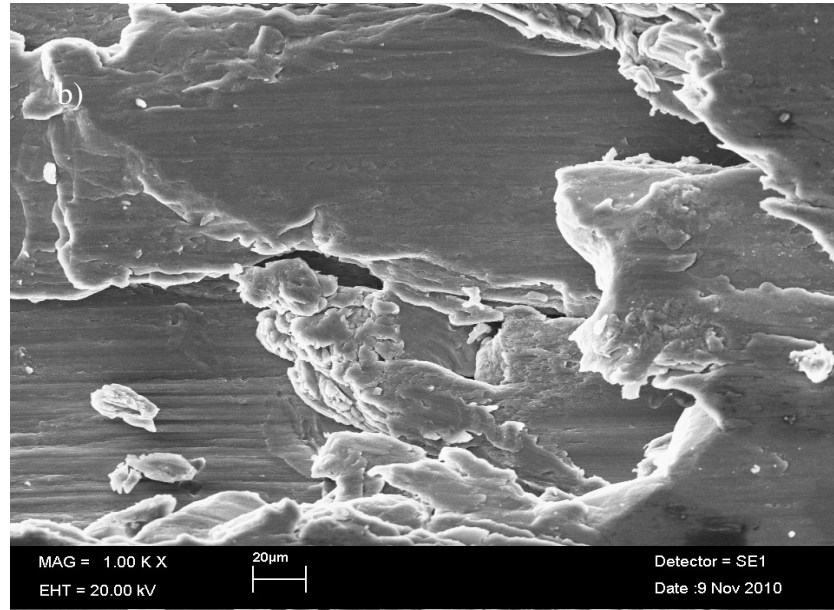
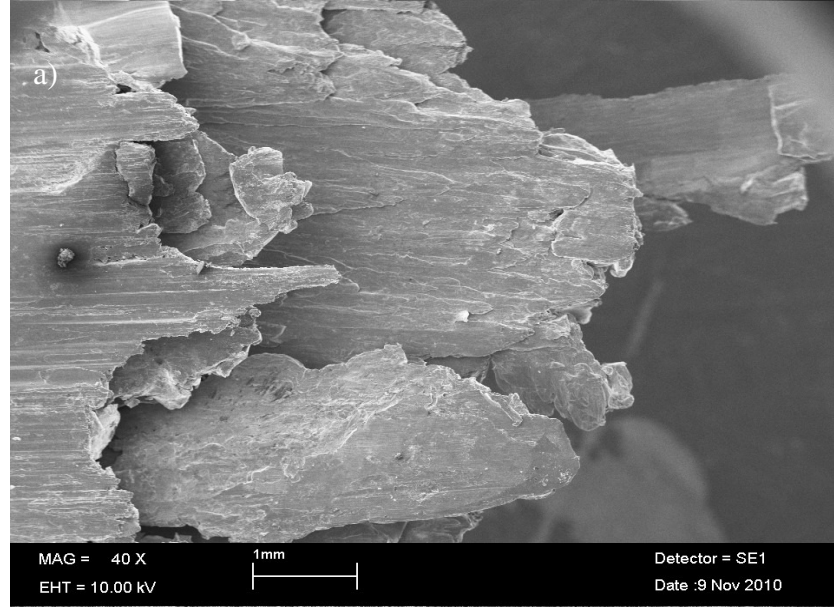
Takviyesiz numune yüzeyi takviyeli numuneye göre aynı şartlarda takviye partikülleri olmaması sebebiyle karşı elemanda sıvanmalar meydana getirerek (metal-metal teması) ve geniş aşınma yüzeyleri oluşturmaktadır (Şekil 5.47).



Şekil 5.47. AA6061/C15 geçişli numunenin 100N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar c) AA6061/SiC20µ/5/C0 yağlı şartlar



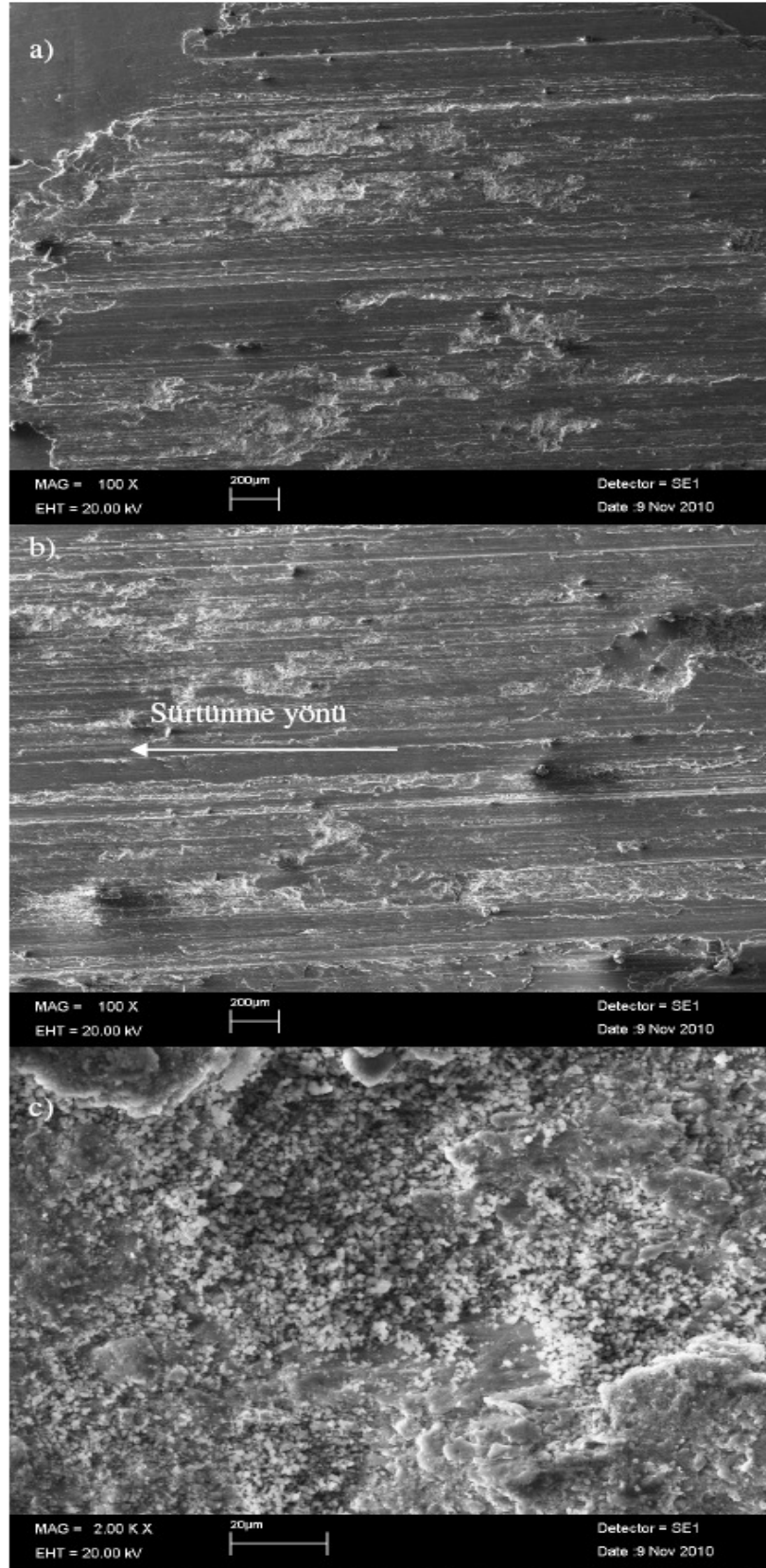
Şekil 5.48. AA6061/C0 numunesinin kuru şartlarda 50N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) numune yüzeyi b) sürtünme yüzeyi c) yığılmalar



Şekil 5.49. AA6061/C0 numunesinin kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) tabakalaşma b)kırılmalar

Şekil 5.48'de C0 geçişli takviyesiz numunenin 50 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde sürtünme kuvvetinin etkisiyle plastik yığılmalar olduğu gözlemlenmiştir.

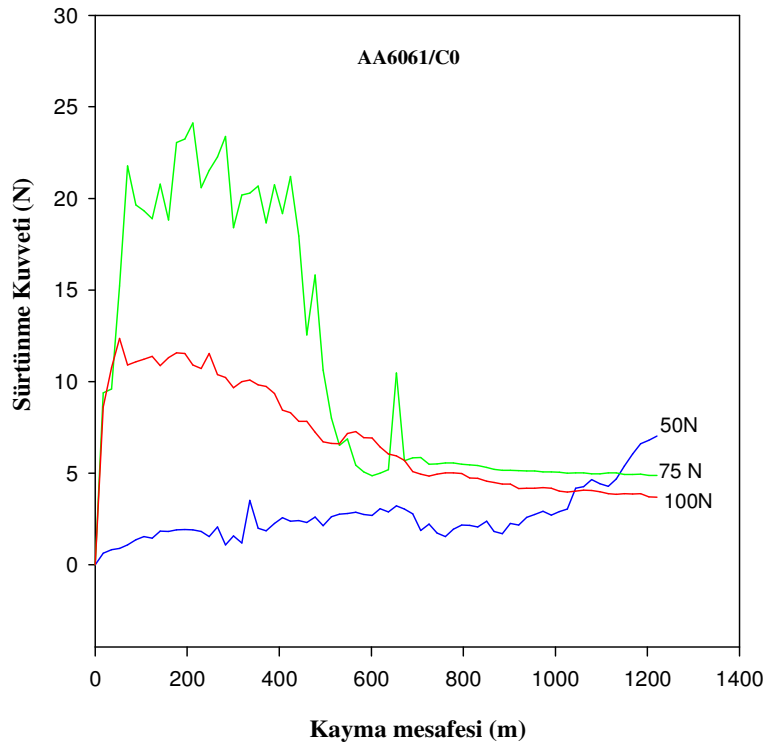
Şekil 5.49'da C0 geçişli numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyinde yığılmaların sürtünme kuvvetinin etkiyle alüminyumun yeniden şekillenip tabakalaştığı görülmektedir.



Şekil 5.50. AA6061/C0 kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi  
a) numune yüzeyi b) sürtünme yönü c) numune yüzeyi

Şekil 5.50’de C0 geçişli 100 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Oluşan sürtünme sıcaklığı ile yumuşayan yüzey kuru şartlarda plastik deformasyonla sürtünme yönünde malzeme yığılmalarına yani plastik akmaya sebep olmaktadır. Bu plastik akmalar delaminasyona (plastik akma ile üst üste sıvanma) sebep olmaktadır. Bu durum aşınma mekanizmasını adhesiv ve plastik akma karışımı olduğunu göstermektedir. 75 N yük altındaki yüzeyi ile karşılaştırıldığında meydana gelen yüzeyde yığılmaların 50 N yüke göre oldukça arttığı görülmektedir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi kuru şartlarda AA6061/C0 numunesi için Şekil 5.51’de gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında ve sürekli artan bir eğilim göstermiştir. 100 N altında sürtünme kuvveti değerlerinde önce artan daha sonra azalan bir eğilim göstermiştir. 75 N yük altında büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuş sürekli artan aniden azalan daha sonra artarak sabit değerlerde kayma mesafesini tamamlanmıştır. 100 N altında diğer yüklere göre yüksek sürtünme kuvvetleri artan yük etkisindedir.



Şekil 5.51. AA6061/C0 kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükleri için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

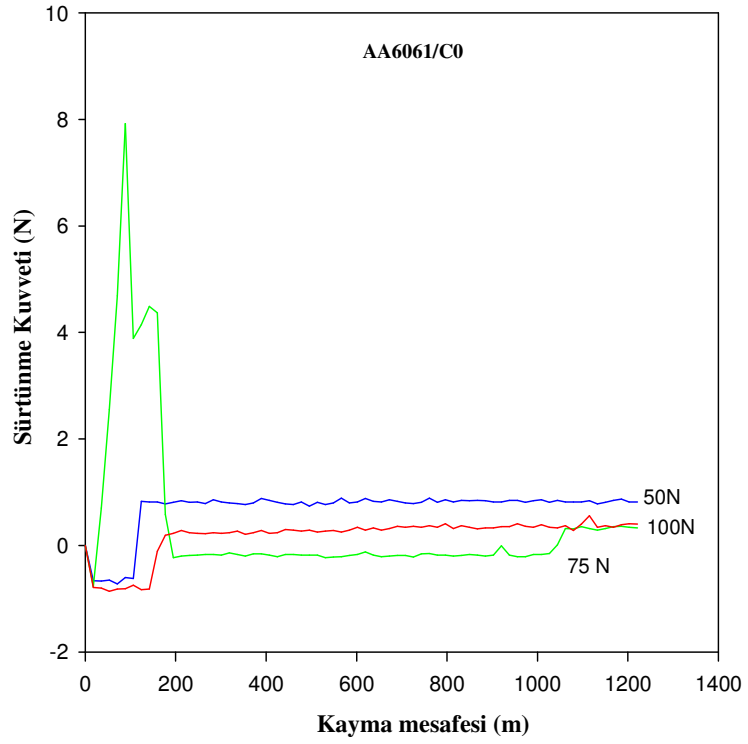


Şekil 5.52. AA6061/C0 numunesi yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

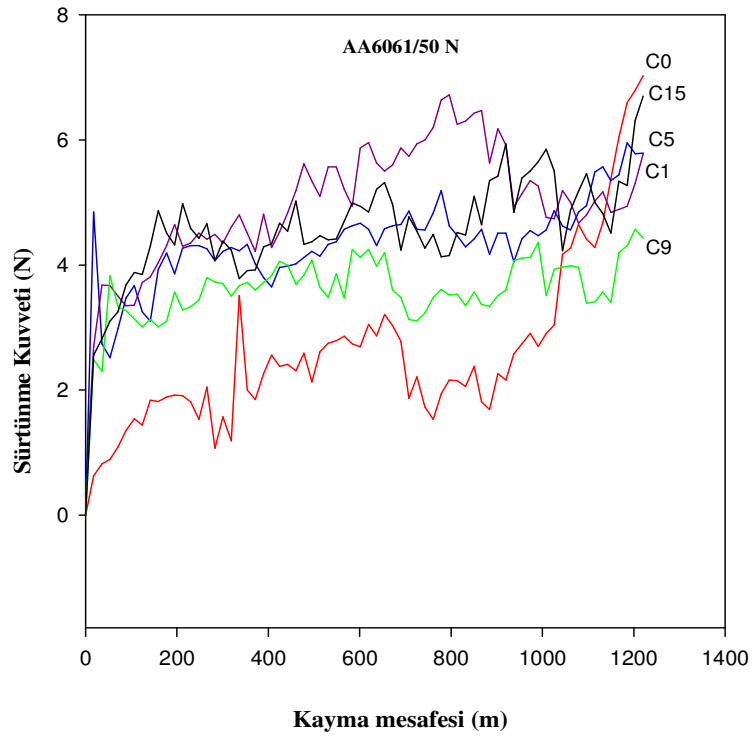
AA6061/ C0 numunesi yağlı şartlarda 50 N yük altında aşınma sonrası yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 5.52’de gösterilmektedir. Şekil 5.52’de görüldüğü gibi yüzeydeki yırtılmalar sürtünme kuvvetinden dolayı oluşan sıcaklık etkisinin plastik deformasyona sebebiyet vermesinden oluşmuştur.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C0 numunesi yağlı şartlar için Şekil 5.53’de gösterilmektedir. 75 N yük altındaki sürtünme kuvvetinde ani artan değerler olup daha sonra azalmıştır. 50 N ve 100N yükler altındaki kuvvetler düşük ve sabit değerlerde kayma mesafesi boyunca devam etmiştir.

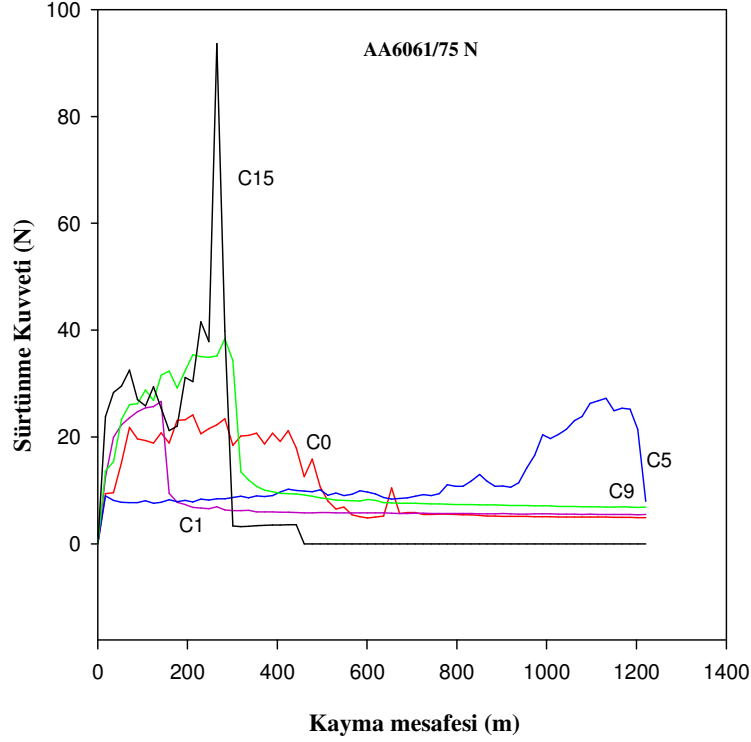
Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi tüm geçiş sayıları için 50 N yük altında AA6061 numunesi için Şekil 5.54’de gösterilmektedir. En yüksek sürtünme kuvvetleri C1 geçişli numune oluşturmuştur. C0’ dan yumuşak fakat diğerlerine göre sert ve çekme gerilmesi diğer geçiş sayılarına göre yüksektir.



Şekil 5.53. AA6061/C0 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



Şekil 5.54. AA6061/C0 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

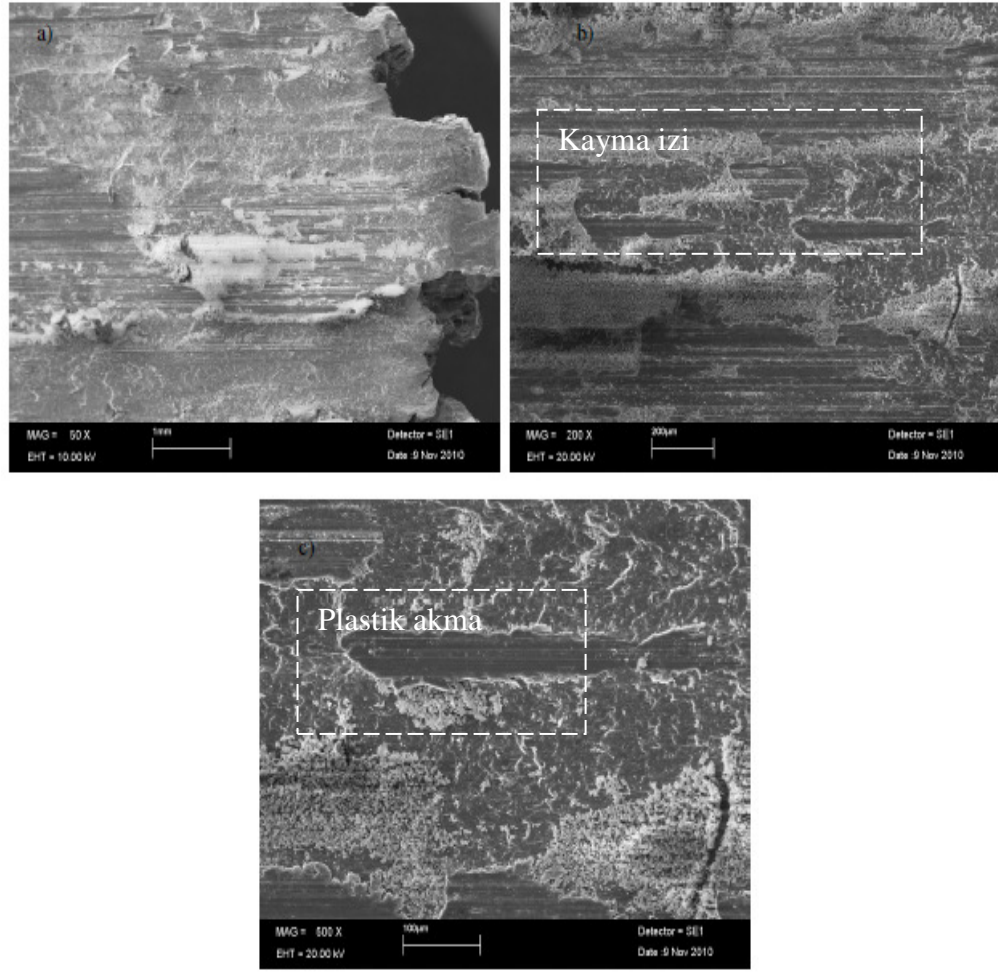


Şekil 5.55. AA6061 numunesi kuru şartlarda 75 N yük için tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti

Şekil 5.55 AA6061 numunesi kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvvetleri gösterilmektedir. En büyük sürtünme kuvvetleri C9 ve C15 geçişli numunelerde oluşmuştur. Numune yüzeylerinin aşınarak alışıması sonucu birbirine yakın değerde sürtünme kuvvetleri oluşmuştur.

Şekil 5.56'da C1 geçişli takviyesiz numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde kayma izleri, kütleli yığılmalar ve yığılmaların çatladığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetinin oluşturduğu sıcaklıktan dolayı şekillenen alüminyum çatlamıştır.

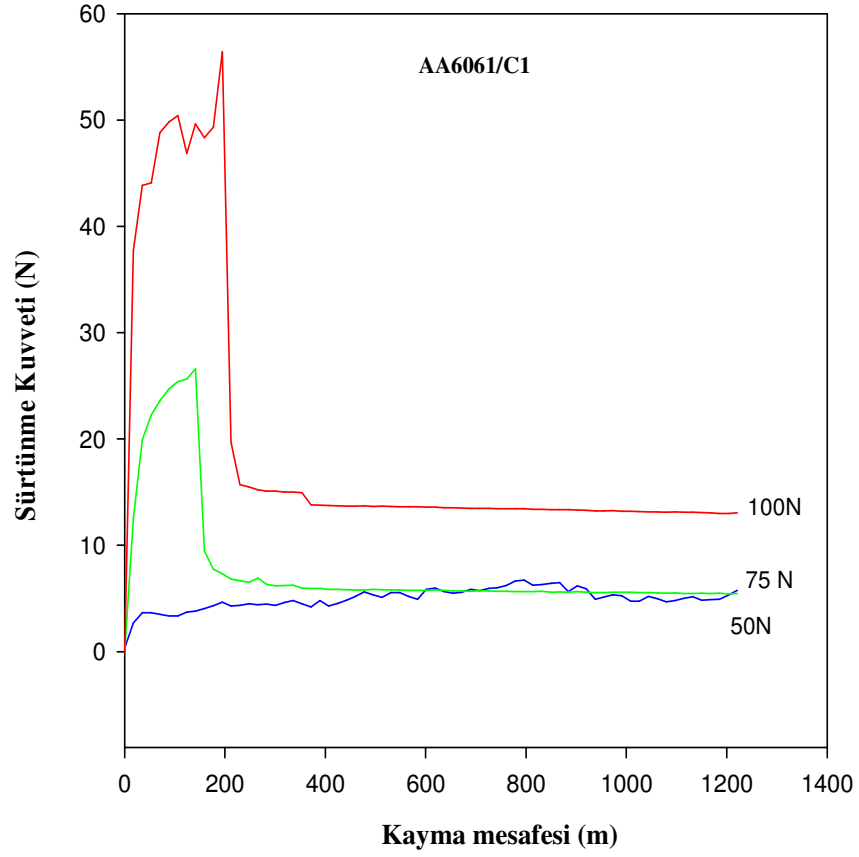
Numune yüzeyinde yığılma bölgesi ve plastik akmanın var oluşu aşınma mekanizmasının adhesiv ve plastik akma karışımı olduğu göstermektedir. Takviye elemanın olmayışı malzemenin aşınmasını artırmıştır.



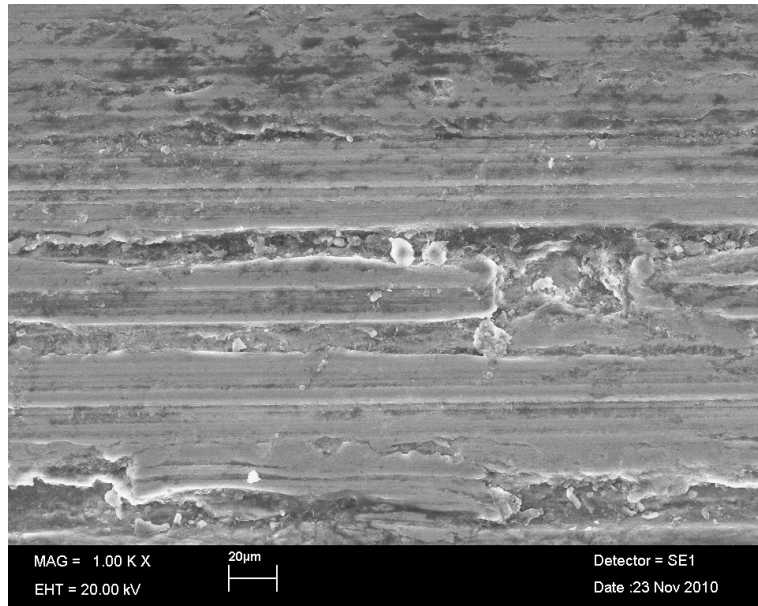
Şekil 5.56. AA6061/C1 numunesi kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C1 numunesi kuru şartlar için Şekil 5.57’de gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında, 75 N ve 100 N yük altında önce artan daha sonra 200 m’lik kayma mesafesinden sonra ani düşüş gösterip sabit değerde kayma yolunu tamamlayan sürtünme kuvvetleri oluşmuştur. Bu durum yüzeylerin adhezyonu yenip alışmasından kaynaklanır.

AA6061/C1 numunesinin yağlı şartlarda 100 N yük için aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 5.58’de gösterilmektedir. Artan yük etkisiyle plastik deformasyonda artarak kopan parçalar yumuşayan yüzeyde yırtılma bölgeleri oluşturmuştur.



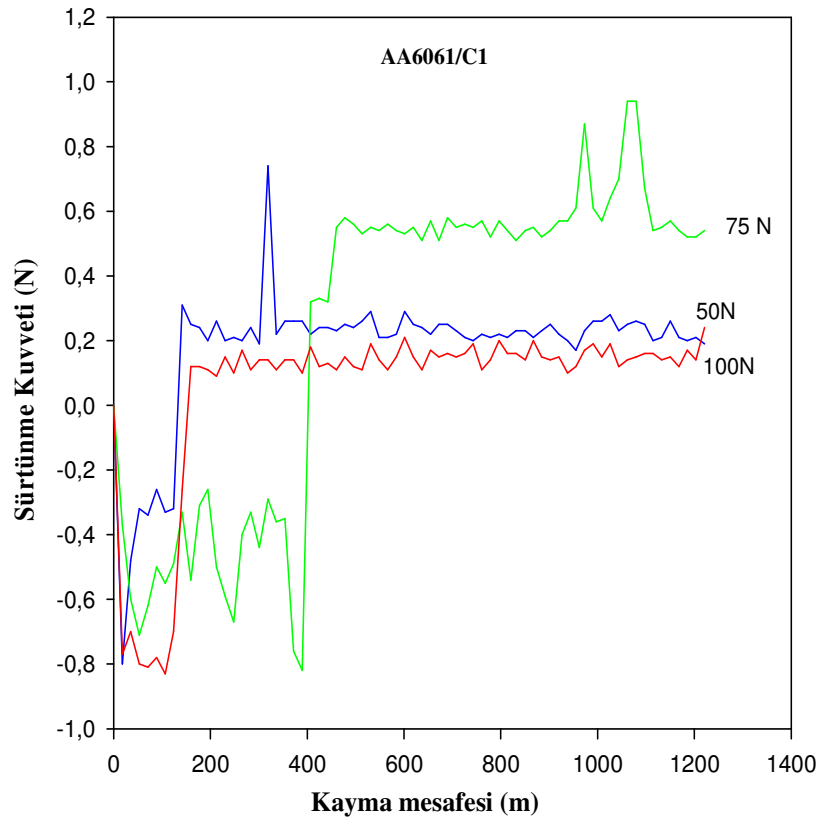
Şekil 5.57. AA6061/C1 numunesinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



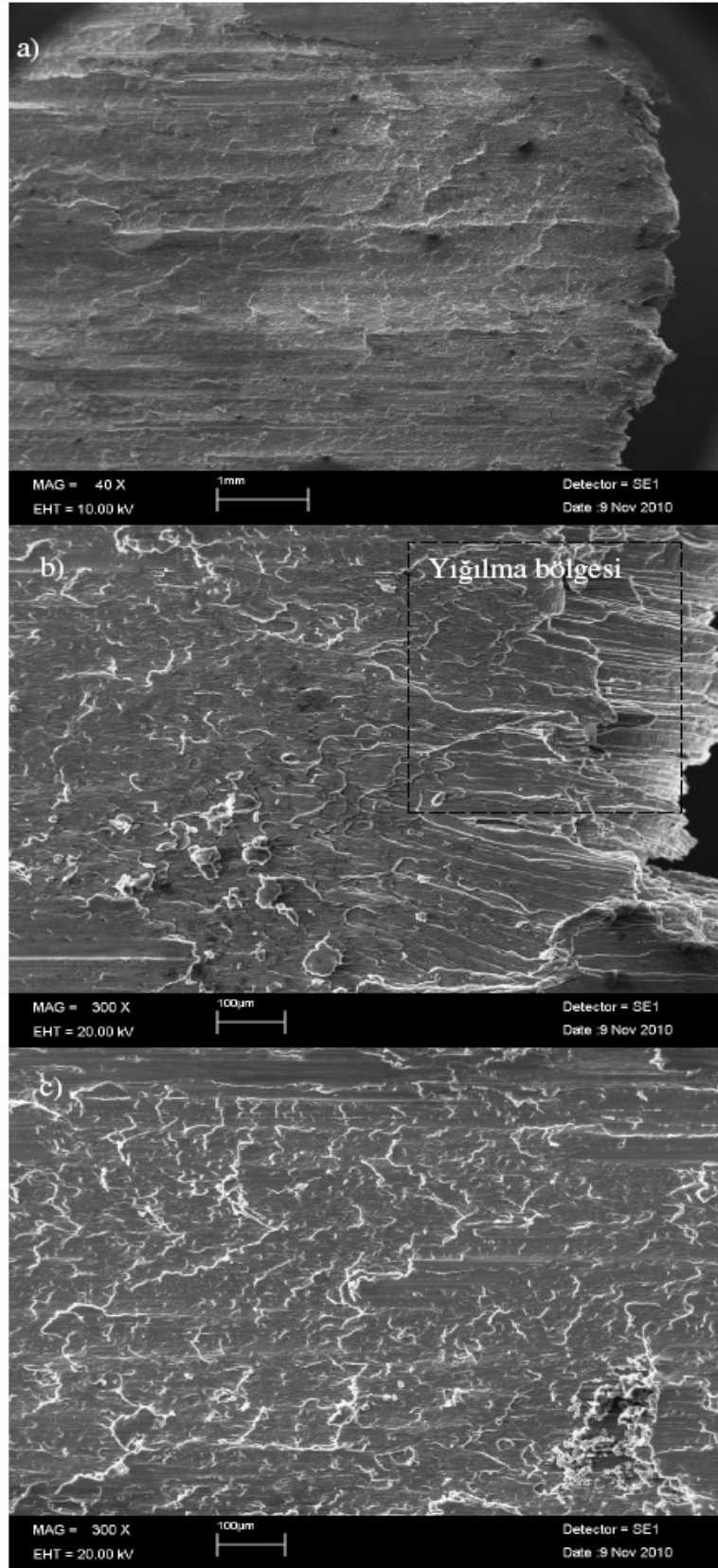
Şekil 5.58. AA6061/C1 numunesi yağlı şartlarda 100 N yük ile aşınma sonucu malzeme yığılmaları

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C1 numunesi yağlı şartlar için Şekil 5.59’da gösterilmektedir. Oluşan sürtünme kuvvetleri ortalama değer alındığında en düşük yük 50 N için en yüksek, en büyük yük için en düşük değerde çıkmıştır.

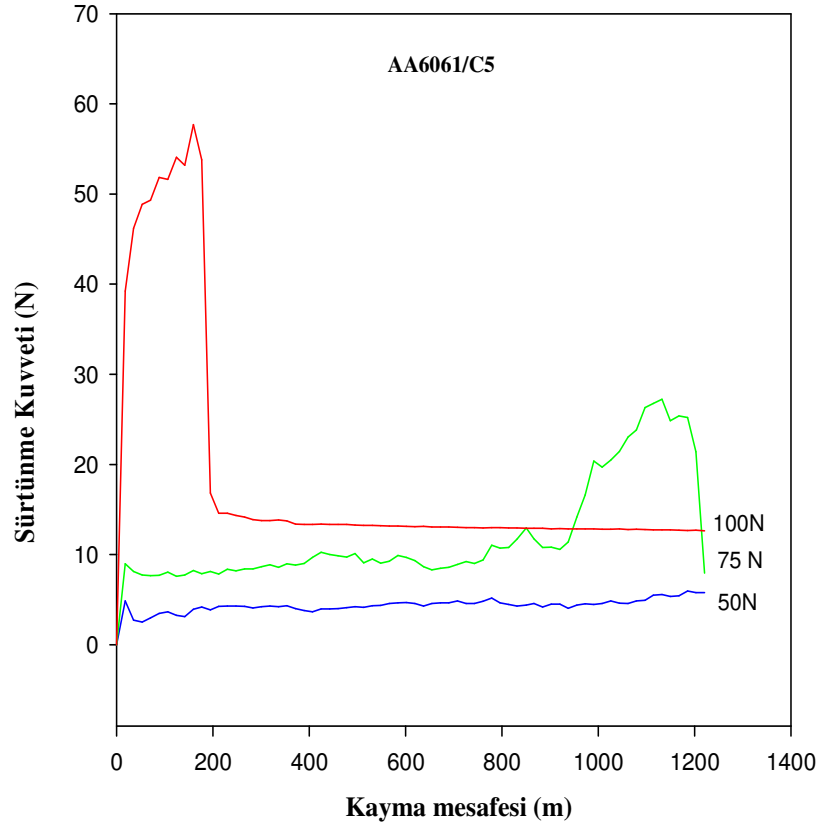
Şekil 5.60’da C5 geçişli takviyesiz numunenin 50 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti sıcaklığı arttırarak malzemenin erimesine sebep olmuştur. Yumuşayan malzeme katmanlar halinde yeniden şekillenmiştir. Yani yük artıka sürtünme kuvveti de (Şekil 5.61) artarak sıcaklığı yükseltmiş aşınmanın türünün adhezyon şeklinde olmasına sebebiyet vermiştir.



Şekil 5.59. AA6061/C1 numunesinin yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



Şekil 5.60. AA6061/C5 numunenin kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

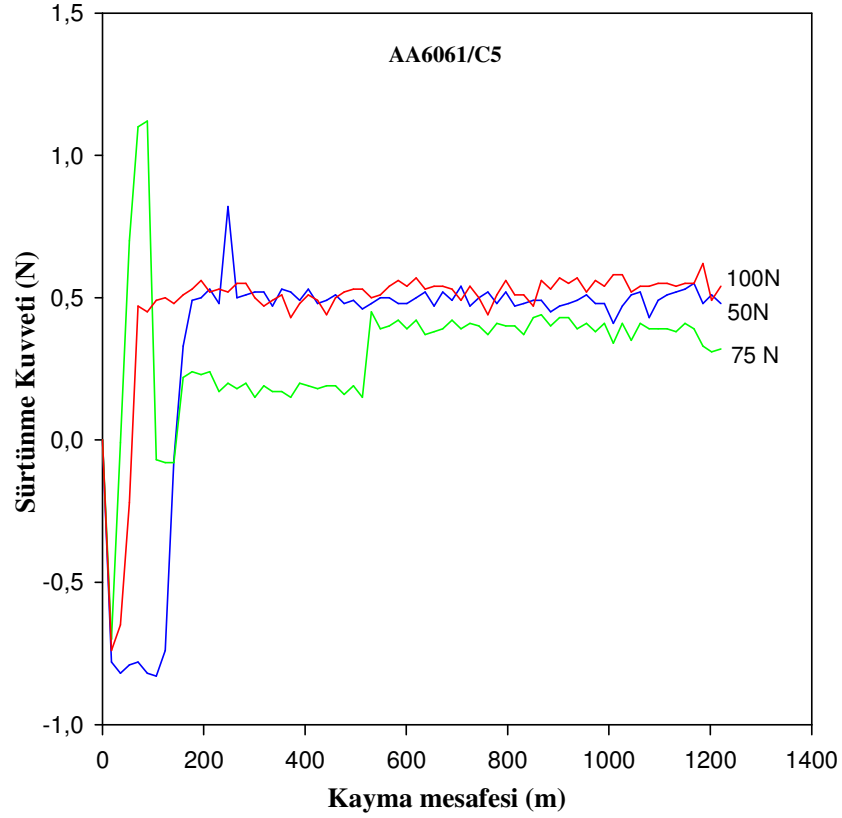


Şekil5.61.AA6061/C5 numunesi kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C5 numunesi kuru şartlar için Şekil 5.61’de gösterilmektedir. 50N yüklemede oluşan sürtünme kuvveti sabit bir değerde devam etmiştir.

75 N’da oluşan sürtünme kuvveti sabit değerlerde devam edip ani artış gösterip daha sonra düşüşler olmuştur. En büyük sürtünme kuvveti değerleri 100N yük altında ani artışlar ve sonra sabitleşen değerlerde devam etmiştir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C5 numunesi yağlı şartlar için Şekil 5.62’de gösterilmektedir.50 ve 100 N yaklaşık olarak aynı değerde sürtünme kuvvetleri meydana getirmiştir. 75 N altında daha düşük sürtünme kuvvetleri oluşmuştur.

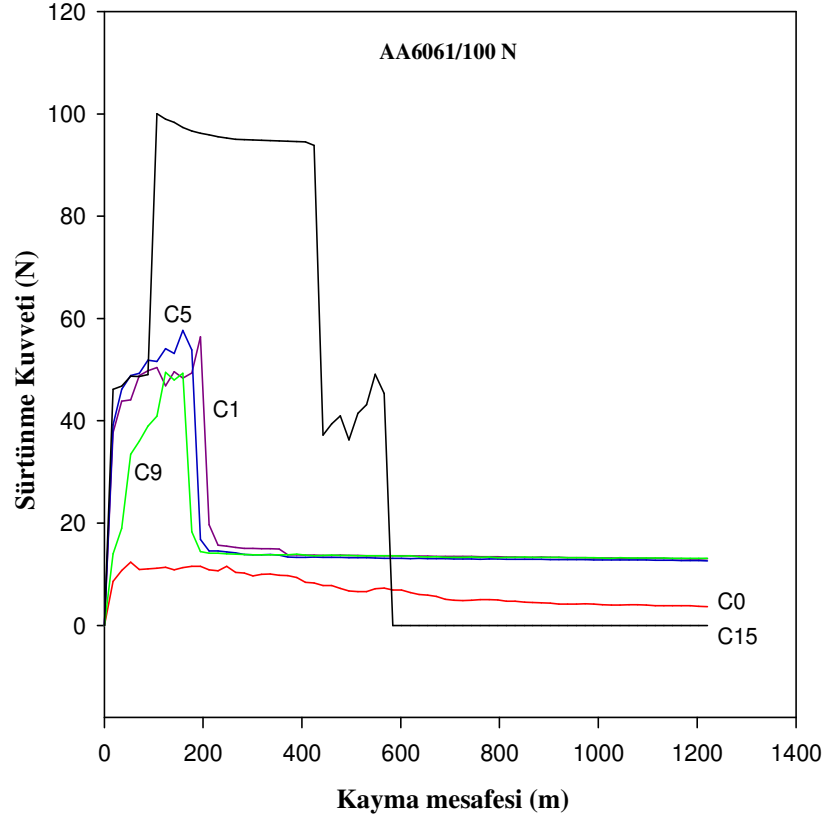


Şekil 5.62. AA6061/C5 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061 numunesi için kuru şartlarda 100 N yük etkisiyle tüm geçiş sayıları için Şekil 5.63’de gösterilmektedir. C1, C5 ve C9 geçiş sayılarının oluşturduğu sürtünme kuvvetleri birbirine benzer değerdedir. Mukavemet değerlerinin birbirine yakın olması bu durumun sebebi olabilir.

Şekil 5.64 ve 5.65’de C9 geçişli takviyesiz numunenin 75 N ve 100 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde yığılma bölgeleri ve bu bölgelerde oluşan çatlaklar görülmüştür.

Plastik deformasyon etkisiyle yeniden şekillenen yüzeyde malzemenin yığıldığı yüzeyde çatlaklar oluşmuştur. Bu durum adhezyon aşınmasına sebebiyet vermiştir.

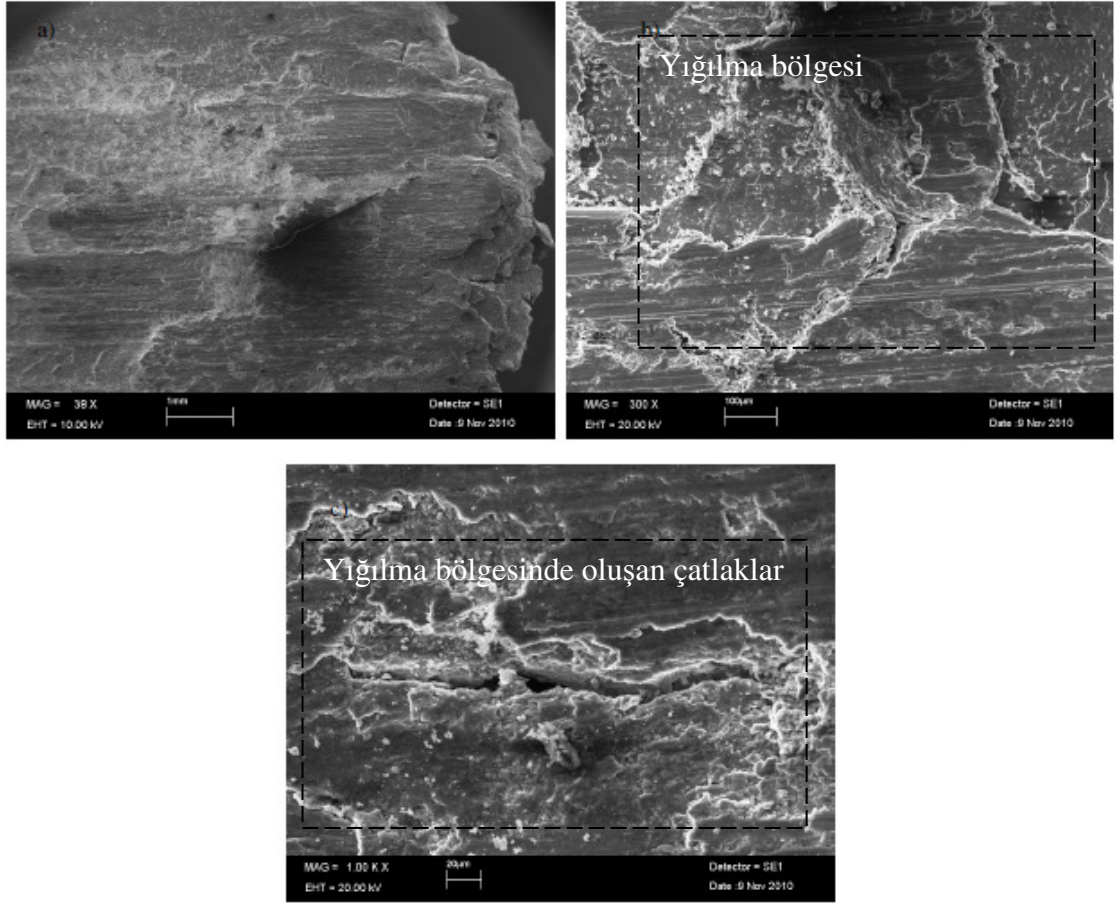


Şekil 5.63. AA6061 numunesi kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti

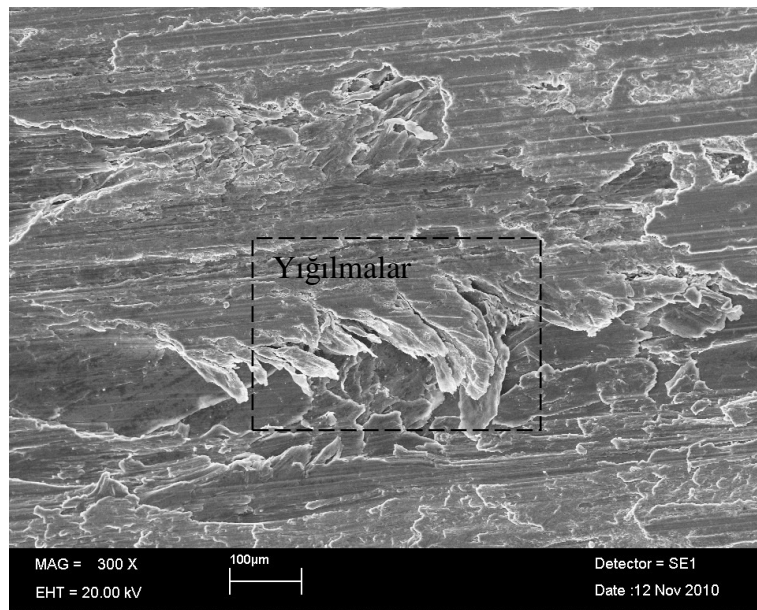
Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C9 numunesi kuru şartlar için Şekil 5.66’da gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında ve düzgün rejimli, 75 N altında sürtünme kuvveti sürekli artan 400m’den sonra azalan değerlerdedir.

100 N altında en büyük sürtünme kuvvetleri artan yük etkisiyle meydana gelmiş önce artmış sonra azalmıştır.

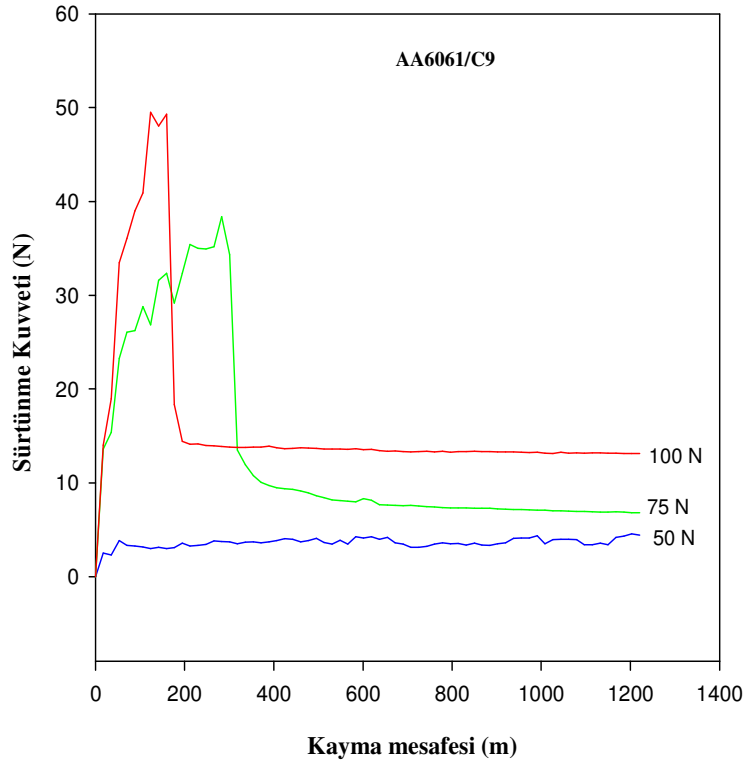
Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C9 numunesi yağlı şartlar için Şekil 5.67’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 50 N yük altında oluşan sürtünme kuvvetleri 100 ve 75 N yükler altında oluşan sürtünme kuvvetlerinden daha büyüktür.



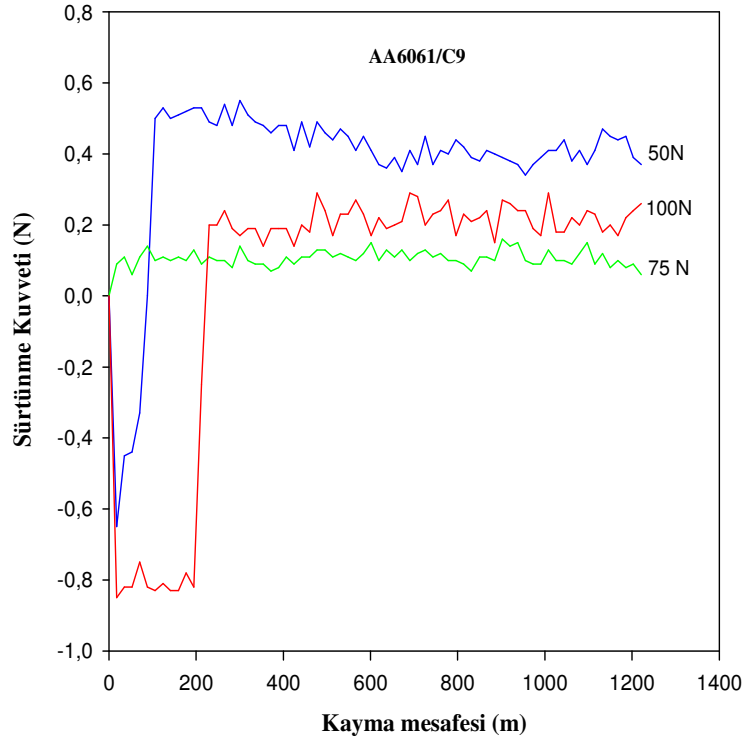
Şekil 5.64. AA6061/C9 numunesi kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi



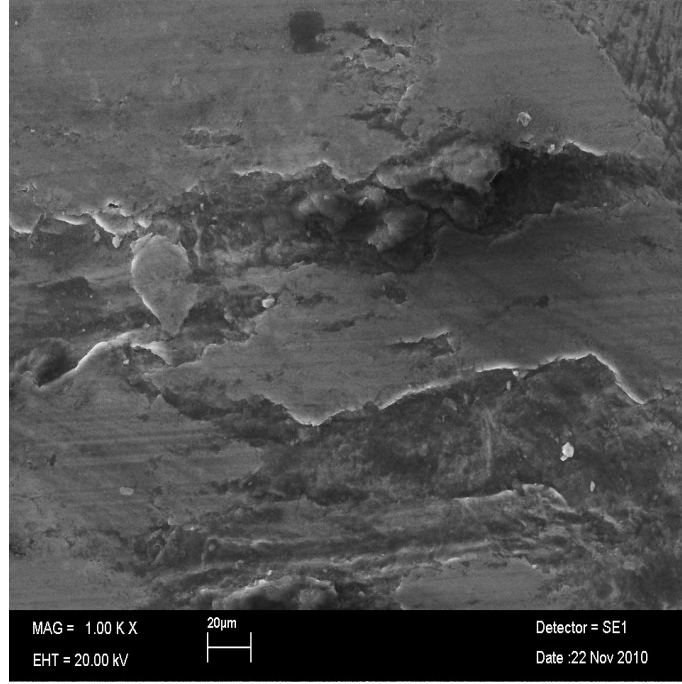
Şekil 5.65. AA6061/C9 numunesi kuru şartlarda 100N yük ile aşınma sonrası yüzeyi



Şekil 5.66. AA6061/C9 numunesinin kuru şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



Şekil 5.67. AA6061/C9 numunesi yağlı şartlarda 50N-75N-100 N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



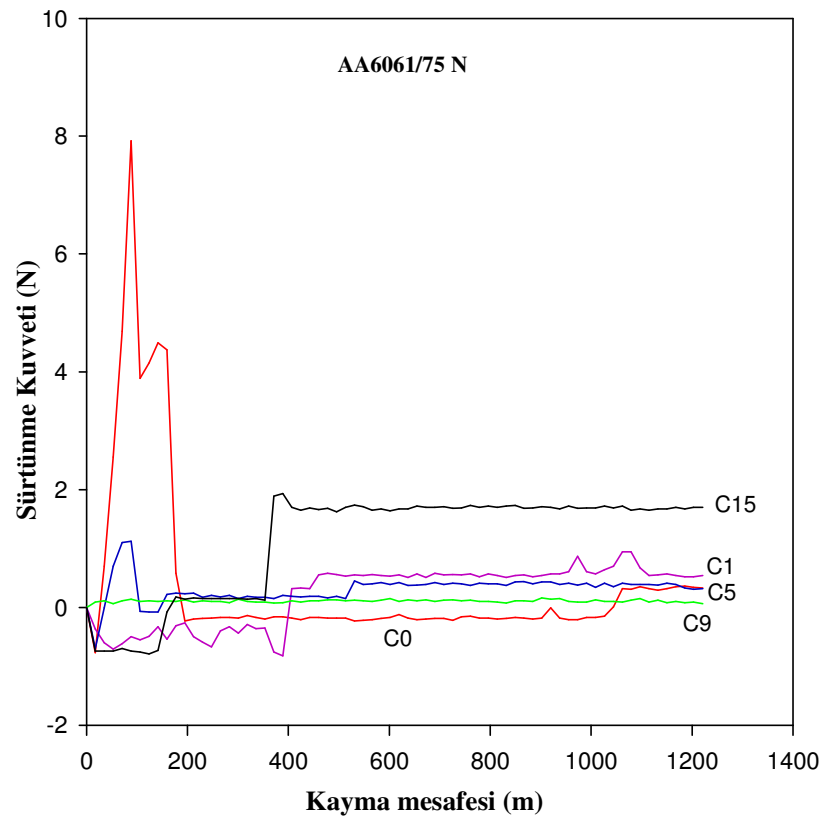
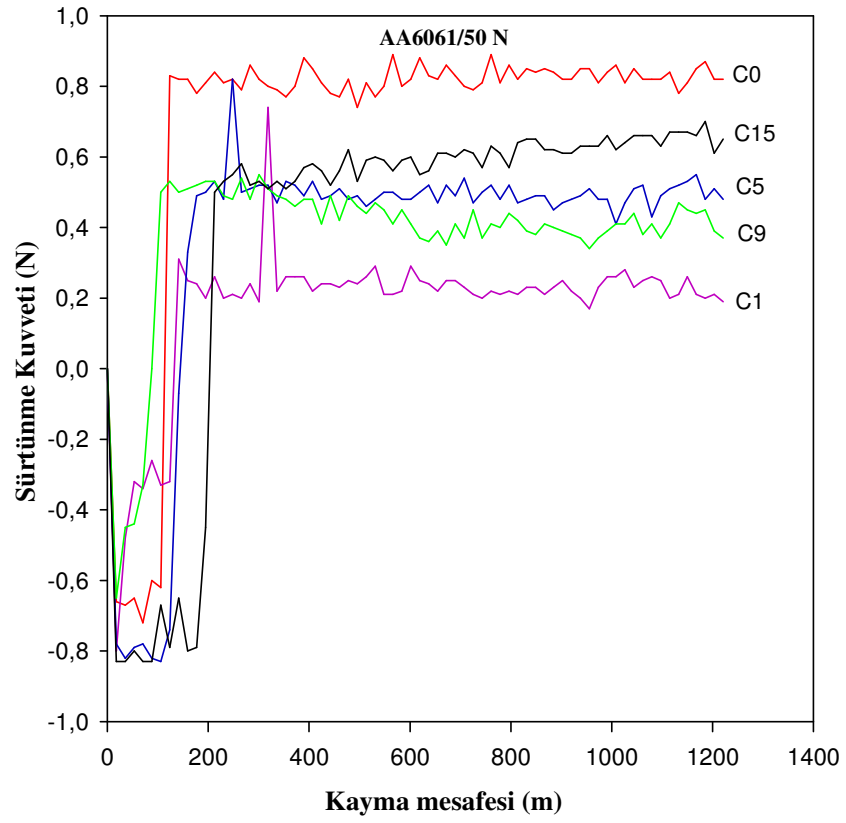
Şekil 5.68. AA6061/C9 numunesi yağlı şartlarda 50 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

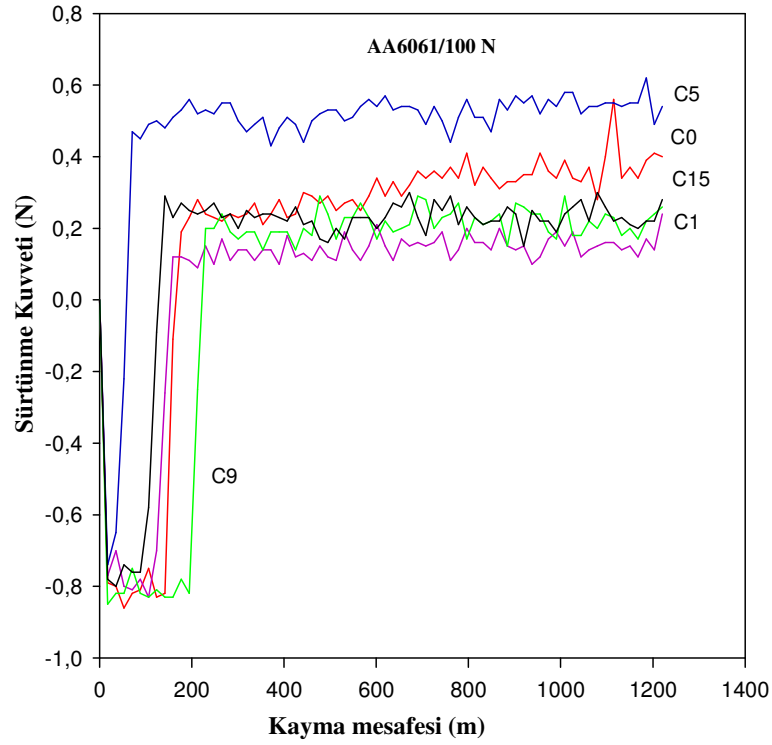
AA6061/C9 numunesinin yağlı şartlarda 50N yük için aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 5.68’de gösterilmektedir. Plastik deformasyon sonrası yırtılan yüzeye rastlanmaktadır.

Şekil 5.69’da AA6061/SiC20µ/5 kompozitinin yağlı şartlar altında 50 -75 -100 N yükler altında değişimi gösterilmiştir.

C0 geçişli numunenin üç eğride de yüksek sürtünme kuvvetlerini oluşturduğu görülmektedir. Sertlik değerleri incelenecek olursa en sert numunenin C0 olduğu görülür.

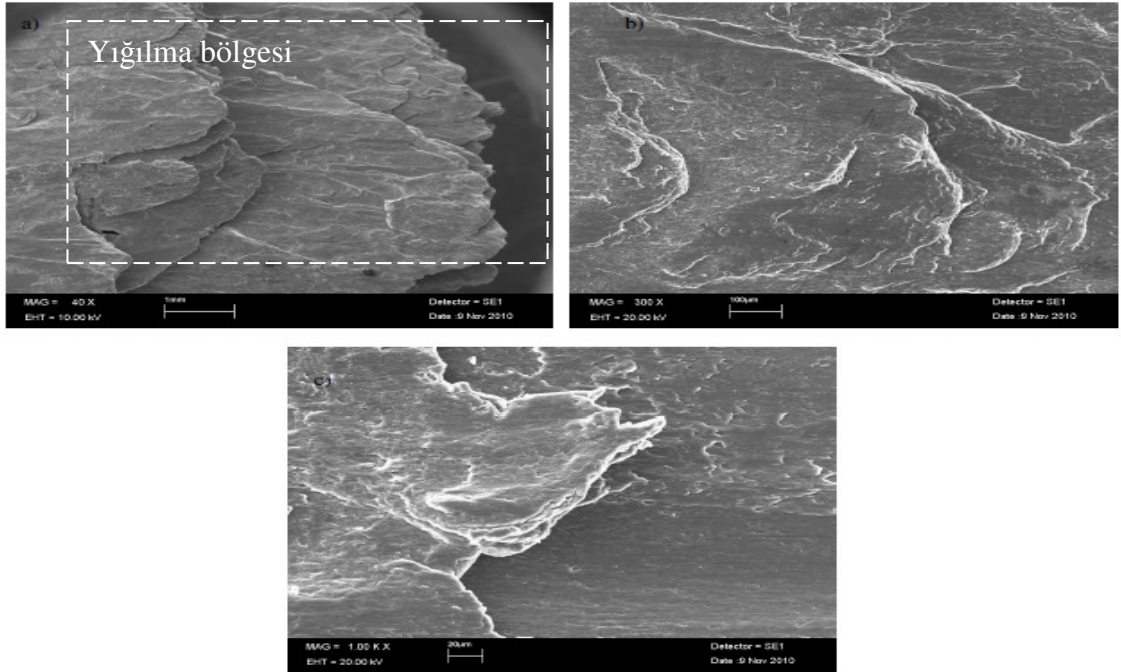
Şekil 5.70’de C15 geçişli takviyesiz numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde sürtünme kuvvetinin sebebiyet verdiği plastik deformasyon sonrası yeniden şekillenmeler olduğu ve bu yüzeylerin üst üste yapışarak tabakalaştığı görülmektedir.





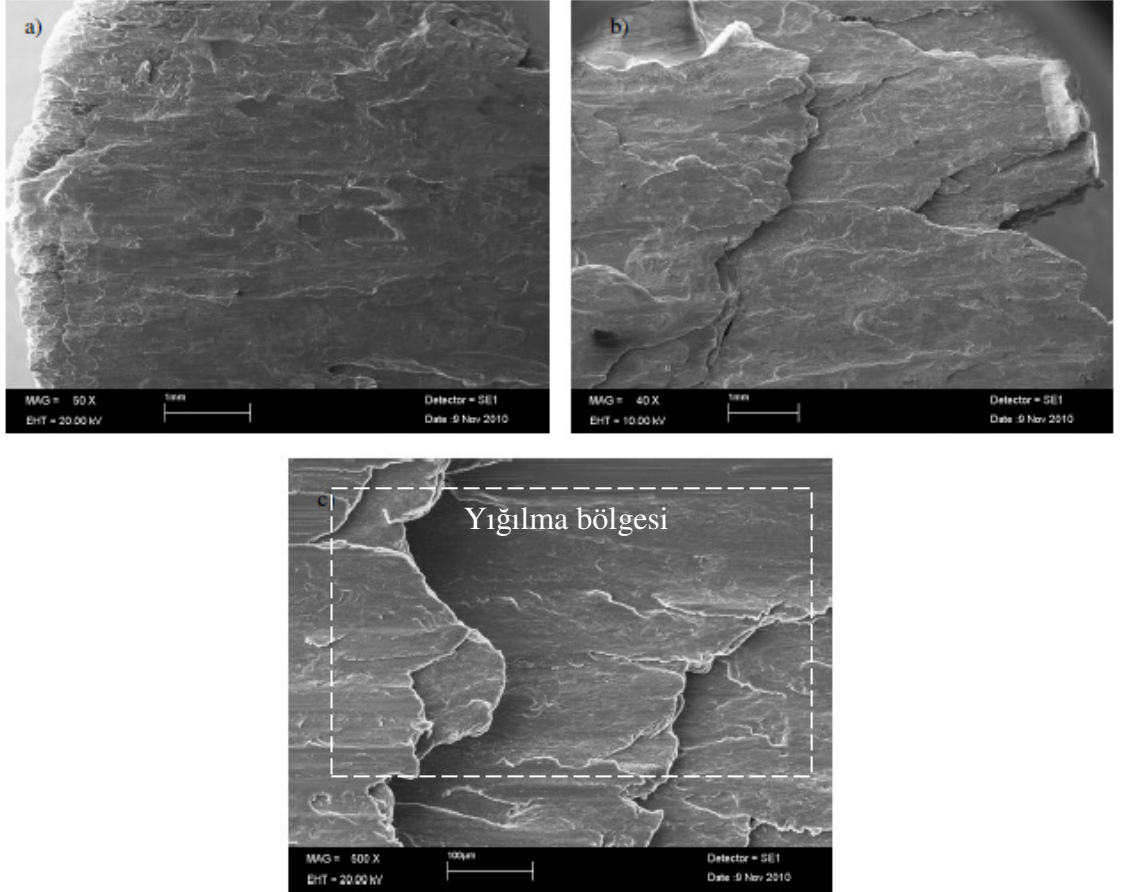
c)

Şekil 5.69. AA6061/ numunesi yağlı şartlarda tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti  
a) 50 N b) 75 N c) 100 N



Şekil 5.70. AA6061/C15 numunesi kuru şartlarda 75N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) yığılma bölgesi b) plastik akma c) x1000 büyütme ile plastik akma bölgesi

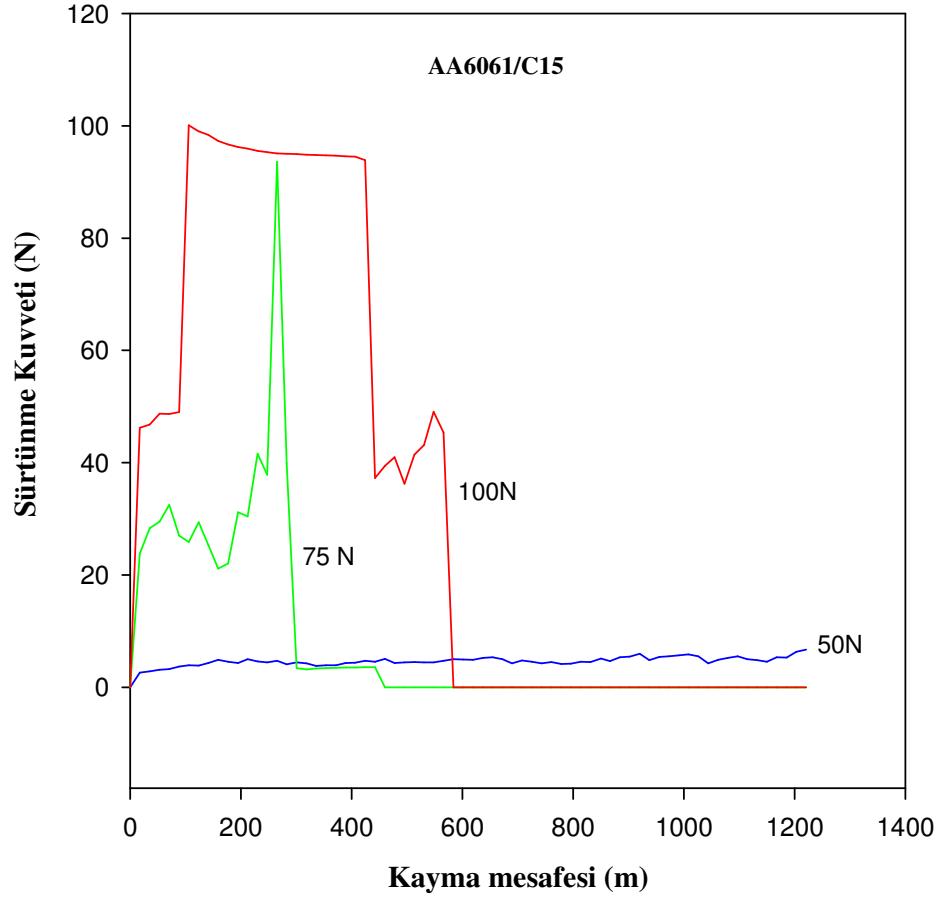
Şekil 5.71 C15 geçişli takviyesiz numunenin 100 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyi gösterilmektedir. Numune yüzeyinde ki üst üste sıvanan tabakalar adhezif aşınmanın olduğunu göstermektedir.



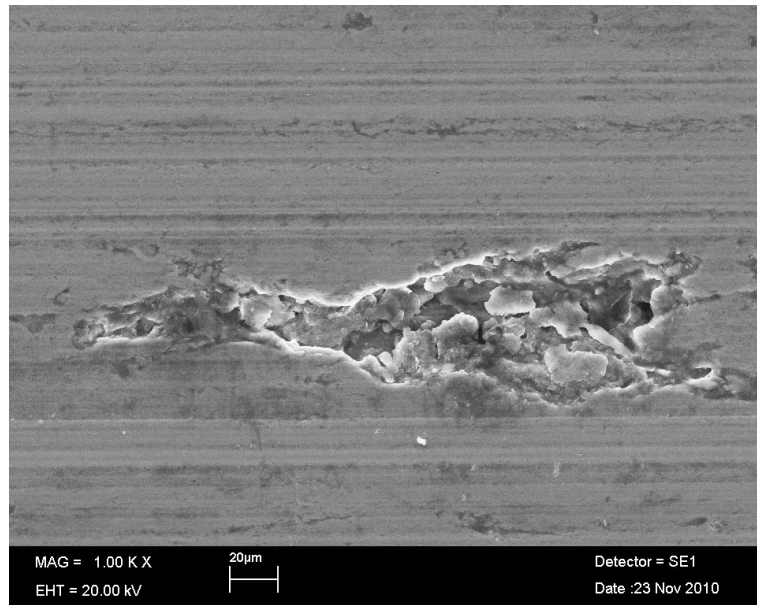
Şekil 5.71. AA6061/C15 numunenin kuru şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi a) numune yüzeyi b) tabakalaşma c) yığılma bölgesi

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C15 numunesi kuru şartlar için Şekil 5.72’de gösterilmektedir. En düşük sürtünme kuvveti 50 N yük altında ve sabit değerlerde devam etmiştir.

75 ve 100 N altında oluşan sürtünme kuvvetleri ani artışlar gösterip daha sonra sabit değerlerde kayma yolu boyunca devam etmiştir. Artan yük etkisi yüksek sürtünme kuvvetlerinin nedenidir.



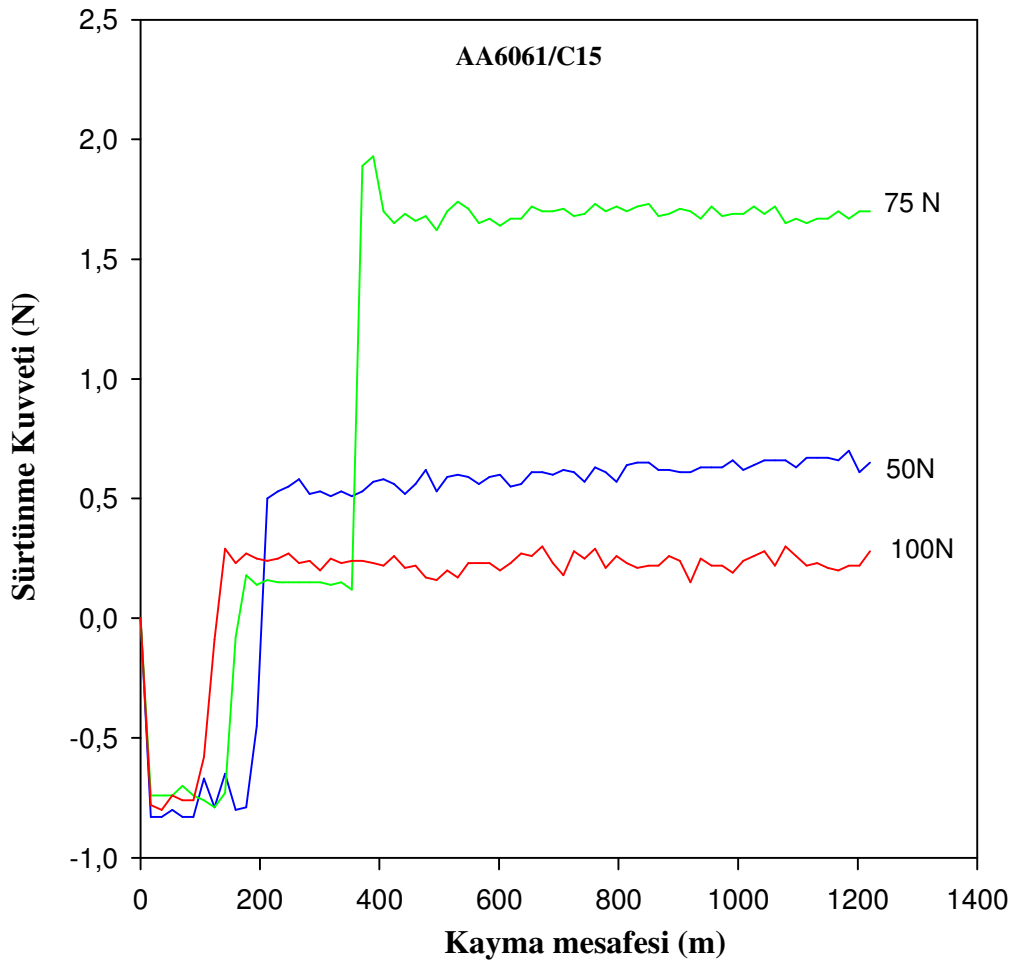
Şekil 5.72. AA6061/C15 numunesi kuru şartlarda 50N-75N-100N yükler için sürtünme kuvveti- aşınma yolu eğrisi



Şekil 5.73. AA6061/ C15 yağlı şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

AA6061/ C15 numunesi yağlı şartlarda 100 N yükler için aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 5.73'de gösterilmektedir. Plastik deformasyon etkisiyle kopan alüminyumun meydana getirdiği yırtılmalar görülmektedir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi AA6061/C15 numunesi yağlı şartlar için Şekil 5.74'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 75 N yük altında oluşan sürtünme kuvvetleri 100 ve 50 N yükler altında oluşan sürtünme kuvvetlerinden daha büyüktür.

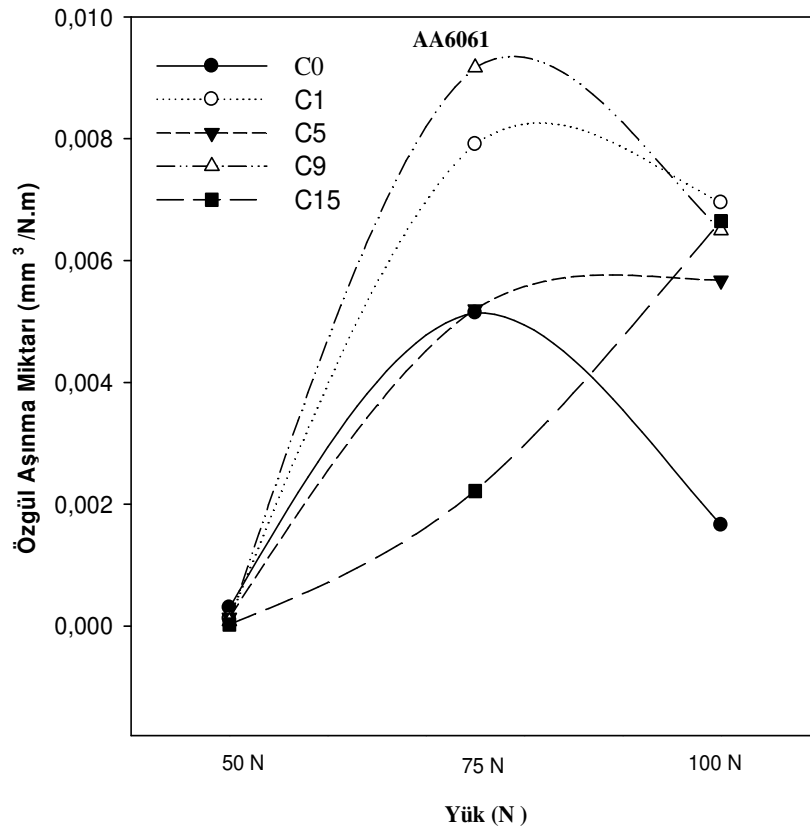


Şekil 5.74. AA6061/ C15 yağlı şartlarda 100 N yük ile aşınma sonrası yüzeyi

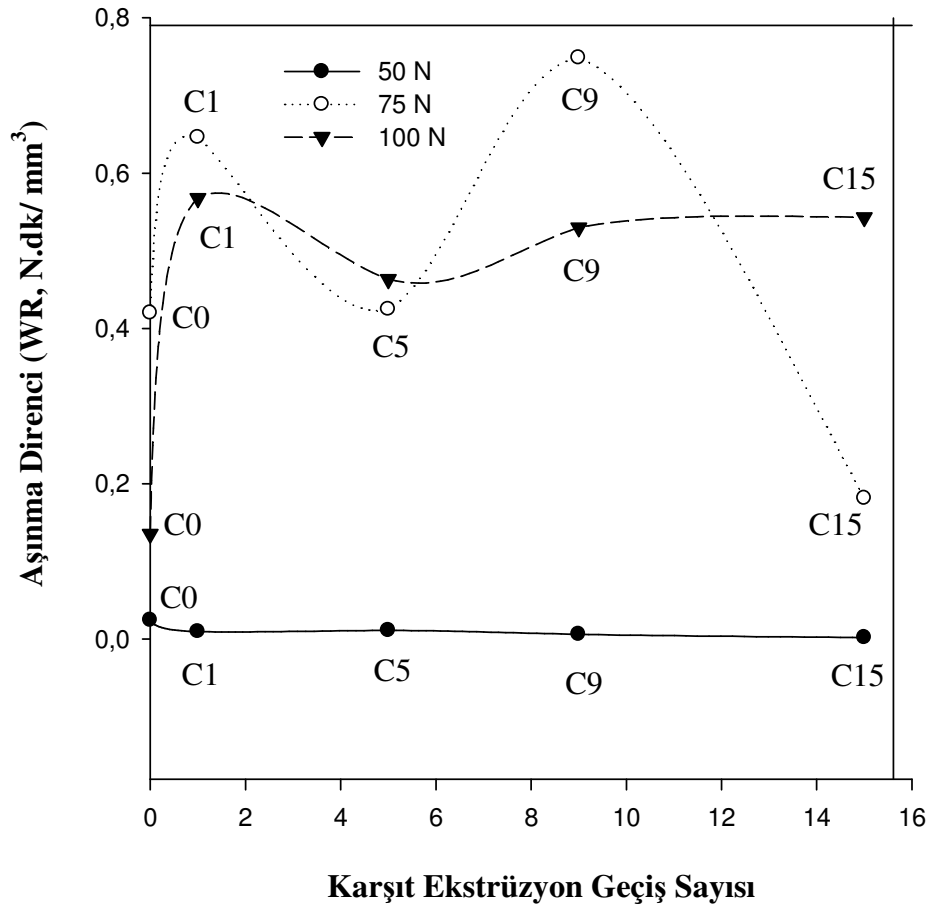
Yoğunlukları ölçülen numuneler için özgül aşınma miktarı hesaplanarak karşıt ekstrüzyon geçiş sayısının yüklere göre kuru şartlarda değişimi AA6061 kompoziti için Şekil 5.75'de gösterilmektedir.

Takviyesiz numunelerin gerçek yoğunluk değerleri oldukça birbirine oldukça yakın değerlerdedir Şekil 5.76'da AA6061 numunesinin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri gösterilmiştir.

Uygulanan yük arttıkça kompozit numunelerdeki aşınma direnci (WR) 75 ve 100 N yük değerleri için artmaktadır. Geçiş sayılarına bakıldığında ise geçiş sayısı artıkça farklı eğilimler görülmektedir.



Şekil 5.75. AA6061 numunesinin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi ( kuru şartlar)



Şekil 5.76. AA6061 numunesinin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar)

## BÖLÜM VI

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karşıt ekstrüzyon işleminin alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozitlere etkilerini araştırmak amacıyla toz metalürjisi yöntemiyle takviyeli ve takviyesiz biletler üretilmiştir.

Numunelerin imalatı için optimum şartlar belirlenmiştir. Şartlar belirlendikten sonra AA6061 alüminyum matrisli % 5 oranında SiC takviyeli kompozit numuneler ve takviyesiz numuneler 0,1,5,9 ve 15 geçiş sayılarında ekstrüze edilmiştir.İmal edilen numunelerin sertlik yoğunluk ,pürüzlülük ve aşınma gibi özellikleri belirlenmiştir.Aşınma deneyleri farklı yüklerde kuru ve yağlı şartlarda gerçekleştirilmiştir.Ayrıca numune yüzeylerinin ,mikro yapıları ve aşınma bölgeleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

#### **6.1.Sonuçlar**

Karşıt ekstrüzyon yöntemiyle imal edilen 30 adet % 5 SiC takviyeli numune ve 30 adet takviyesiz numunenin aşınma davranışlarını incelemek için yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1.Matris tozları birbirleri ve SiC partikülleri ile kompakt hale gelmiştir. Yani sinterleme sonrası tozların kendi aralarında ve tozlar ile partiküller arasında boşluk kalmadığı görülmüştür.
- 2.Takviyeli numunelerde ekstrüzyon geçiş sayısı sertliği arttırmış takviyesiz numunelerde ekstrüzyon geçiş sayısı sertliği düşürmüştür.
- 3.Numunelerin gerçek yoğunluk değerleri teorik yoğunluk değerinden daha küçüktür.

4.Kuru şartlarda yapılan aşınma deneyleri sonrası tüm numunelerin yüzey pürüzlülükleri önemli ölçüde artmıştır. Aşınma modu takviyeli elemanlarda genel olarak abrasif takviyesizlerde ise adhesiv şeklinde oluşmuştur.

5.Aşınma deneylerinde yük arttıkça ağırlık kaybı miktarı artmıştır50 N yük altında en fazla ağırlık kaybı AA6061 takviyesiz numune için C0 geçiş sayısında görülmüştür. 50 N için geçiş sayısı artıkça ağırlık kaybında azalma görülmüştür

6.Yağlı şartlarda ise kuru şartlara göre ağırlık kayıplarında azalmalar olup 50 N yük için en fazla kütle kaybı AA6061 takviyesiz numune için C1 geçiş sayısında, 75 N için C0 geçiş sayısında, 100N için C5 geçiş sayısında görülmüştür.

7.Takviyesiz numunelerle kıyaslandığında AA6061/SiC20 $\mu$ /5 kompozit numunelerde daha çok kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir. Kuru şartlarda takviyeli numuneler için 50 N yük altında en fazla kütle kaybı C1 geçiş sayısında, 75 N için C0 geçiş sayısında 100 N için C9 geçiş sayısında görülmüştür. Aşınma deneylerinde yük artıkça sürtünme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

## 6.2. Öneriler

1.Karşıt ekstrüzyon yöntemiyle imal edilen kompozitlerin ekstrüzyon sıcaklığı azaltılarak sertlik artışı sağlanabilir.

2.Farklı matris ve takviye elemanlarıyla benzer çalışmalar yaparak karşılaştırma imkânı elde edilebilir ve diğer malzemelerde davranışları hakkında bilgi sahibi olunmalıdır.

3.Farklı boyutlardaki takviye malzemeleri kullanılarak partikül boyutunun karşıt ekstrüzyon işleminde aşınmaya etkileri incelenebilir.

4.Yaşlandırma sertleştirmesinin kompozitlerin sertlik özelliğine etkileri araştırılabilir.

5.Aşınma deneyleri sabit süre ve zaman şartlarında gerçekleştirilmiştir. Farklı aşınma sürelerinde kompozitlerin aşınma davranışları inceleyebilir. Aşınma esnasında kompozitlerin sıcaklık değişimi tespit edilebilir.

**KAYNAKLAR**

1. Donomoto, T., Funatani, K., Miura, N. And Miyake, N., “Ceramic fiber reinforced piston for high performance diesel engines”, *Journal of Composite Materials*, 9-10 (1983).
2. Dinwoodie, J., “Automotive applications for MMC's based on short Staple alumina fibres”, *Journal of Composite Materials*, 23-27 (1987).
3. Mondal, D.P. and Das, S., “High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction”, *Tribology International.*, xx:1-9 (2005).
4. Rohatgi, P.K., “Cast aluminum matrix composites for automotive applications”, *Journal of Metals*, 43 (4): 10-15 (1991).
5. Sahin, Y. and Murphy, S., “The effect of sliding speed and microstructure on the dry wear properties of metal-matrix composites”, *Wear*, 214: 98-106 (1998).
6. Sahin, Y. and Murphy, S., “Dry sliding wear and friction properties of fibereinforced composites and metal matrix”, *2nd International Conference on Tribology*, Atina 299306 (1996).
7. Şahin, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2000.
8. Topçu, M., Tarakçılar, A.R., Tasgetiren, S., ” Mühendislik Malzemesi Olarak Kompozitler ve Özelliklerini Belirleyen Faktörler”, *Mühendis ve Makina*, 1: 420 (1991).
9. Sahin, Y., “The Mechanical and Wear Behavior of (SiC) Fibre-Reinforced Composite Materials”, *Ph. D. Thesis*, The University of Aston in Birmingham Institute of Science Technology, U.K, 28-31 (1994).
10. Demirkesen, E., ”Kompozit Malzemeler”, *İTÜ. Kimya - Metalürji Fakültesi*, 11-12 (1991).

11. Oral, S., Kaftanoğlu, B., "Bilesik Malzemelerin Endüstriyel Kullanımı", Makina Tasarım ve imalat Dergisi, ODTÜ, Ankara, 1: 5 (1987).
12. Holister, G.S., Thomas, C., "Fibre Reinforced Materials", University of Wales, Press, England, 18-19 (1996).
13. Flinn, R.A., Trojan, P.K., Engineering Materials and Their Application, 15-23 (1990).
14. Fiedrich, K., "Friction and Wear of Polymer Composites, Composite Materials Series1", University of Delaware, New York, USA, 25-28 (1986).
15. Savage, G., "Carbon - Carbon Composites", Great Britain University Press, London, 14-15 (1993).
16. Lloyd, D.J. ve Jin, I., (2000), "Melt Processed Aluminum Matrix Particle Reinforced Composites", Comprehensive Composite Materials, Vol.3, Metal Matrix Composites, Elsevier, New York, 555-575.
17. Surappa, M.K., (2003), "Aluminum Matrix Composites: Challenges and Opportunities", Sadhana, vol.28, Parts 1 & 2, pp.319-334.
18. Sümer, M., "Mekanik Alasımlama \_le Üretilen Fe-Fe<sub>3</sub> Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-21 (2003).
19. Sands, R. L., Shakspeare, C. R., "Powder Metallurgy" Georgw Newnes Ltd., London, 40-95 (1966).
20. Göktas, T., "Mekanik alasımlama süresinin Al-Cu karışımı toz metal parçaların kırılma dayanımına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 42 (2005).
21. Akoral, E., " Toz Metalürjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi", Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 43-48 (2003).

22. German, R. M., Powder Metallurgy Science, 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, U.S.A., 58-64 (1994).
23. Bostan, B., "Alüminyum-Karbon Tozlarından Mekanik Alasımlama ve Sonrasislemlerle Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Sentezlenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-35 (2003).
24. Saritas, S., "Toz Metalurjisi - Bilesik Gereçler - Seramikler", Makine Mühendisliği El Kitabı, MMO, I: 63-115 (1994).
25. Seo Y.H.,Kang, C.G.,Effects of hot Extrusion through a curved die on the mechanical properties of SiCp/Al composites fabricated by melt-stirring,Composites Science and Technology ,59 (5),643-654,1999.
26. Carvalho M.H.,Marcelo T.,Carvalhinhos H.,Sellars C.,Extrusion and mechanical properties of mixed powder and spray co-deposited Al 2014/SiC metal matrix composite ,Journal of Materials Science ,27,2101-2109,1992.
27. Dutta B.,Samajdar I.,Surappa M.K.,Particle redistribution and matrix microstructure evolution during hot extrusion of cast SiCp reinforced aluminium alloy matrix composites,Materials Science and Technology ,14,36-46,1998.
28. Vaidya R.U.,Zurek A.K.,Effect of matrix ageing conditions on the low strain rate response of a B<sub>4</sub>C particle reinforced 6061 aluminium matrix composite ,Journal of Materials Science letters,15,385-387,1996.
29. Chen W.C., Davies C.H.J.,Samarasekera I.V.,Brimacombe J.K.,Hawbolt E.B., Mathematical modelling of the extrusion of 6061/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/20p composites,Metallurgical and materials Transactions A,27A,4095-4110,1996.
30. Lawrence C.W.,Mummery P.M.,Tweed J.H.,Observations of extrusion-induced damage of metal-matrix composites,Journal of Materials Science Letters,12,647-649,1993.

31. Turenne S., Legros N., Laplante S., Ajersch F., Mechanical behaviour of aluminium matrix composite during extrusion in the semisolid state, *Metallurgical and materials Transactions A*, 30A, 1137-1142, 1999.
32. J. Zrnfk, Processing of Metals By Severe Plastic Deformation (Spd) – Structure And Mechanical Properties Respond, 47 (2008) 211-216.
33. Hsu-Shen Chu., Kuo-Shung Liu., and Jien-Wei Yeh. ,Study of 6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p Composites Produced By Reciprocating Extrusion, , *Metallurgical and Materials Transactions* ,Volume 31A, October 2000.
34. Semiatin S.L., Davis J.R., *Forming and Forging* ,ASM International , Volume 14, USA, 1996.
35. M. Sahin, ve arkadaşları, Soğuk Sekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, *Mühendis ve Makina* , Cilt : 48 Sayı: 573.
36. Jien-Wei Yeh, et al., A reciprocating extrusion process for producing hypereutectic Al–20wt.% Si wrought alloys , *Materials Science and Engineering A* 252 (1998) 212–221.
37. Z.M. Zhang, et al., Microstructure of Mg–6.4Zn–1.1Y alloy fabricated by rapid solidification and reciprocating extrusion, *Acta Metallurgica Sinica*, (2008) 30-36 .
38. Shih-Wei Lee a, et al., On mechanical properties and superplasticity of Mg–15Al–1Zn alloys processed by reciprocating extrusion, *Materials Science and Engineering A* 464 (2007) 76–84.
39. Xuefeng Guoa, et al., Development of Mg–6.0%Zn–1.0%Y–0.6%Ce–0.6%Zr magnesium alloy and its microstructural evolution during processing, *Materials Science and Engineering A* 473 (2008) 266–273.
40. Hsu-Shen Chu, et al., An in situ composite of Al (graphite, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) produced by reciprocating extrusion, *Materials Science and Engineering A* 277 (2000) 25–32.

41. X.F. Guoa, et al., Reciprocating extrusion of rapidly solidified Mg–6Zn–1Y–0.6Ce–0.6Zr alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 187–188 (2007) 640–644.
42. K.L. Yung, et al., Transient melting models for the three stages of reciprocating extrusion, *Journal of Materials Processing Technology* 139 (2003) 170–177.
43. Hsu-Shen Chu, et al., Study of 6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p Composites Produced by Reciprocating Extrusion, *Metallurgical And Materials Transactions A*, 31 (2000) 2587-2596.
44. Yu-Liang Chen, et al., A Novel Process for Fabricating Electrical Contact SnO<sub>2</sub>/Ag Composites by Reciprocating Extrusion *Metallurgical And Materials Transactions A*, 36 (2005) 2441-2447.
45. Shih-Wei Lee and Jien-Wei Yeh, Microstructural Evolution and Superplasticity of Al-5.8Mg-0.23Mn Alloys Processed by Reciprocating Extrusion, *Metallurgical And Materials Transactions A*, 36 (2005) 2225- 2234.
46. Jien-Wei Yeh, , et al., Microstructures and Tensile Properties of an Al-12 Wt Pct Si Alloy Produced by Reciprocating Extrusion, *Metallurgical And Materials Transactions A*, 30 (1999) 2503-2512.
47. H. S. Chu et al., Aging behavior and tensile properties of 6061Al–0.3 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p particle composites produced by reciprocating extrusion, *Scripta Materialia*, 45(2001) 541-546.
48. S. W. Lee, J. W. Yeh, Superplasticity of 5083 alloys with Zr and Mn additions produced by reciprocating extrusion, *Materials Science and Engineering, A* 460–461 (2007) 409–419.
49. Z.M. Zhang, et al., Reciprocating extrusion of in situ Mg<sub>2</sub>Si reinforced Mg-Al based composite, *Acta Metall.*, 21 (2008) 169-177.

50. L. Shih-Wei; Y. Jien-Wei; L. Yong-Shun, Premium 7075 Aluminium Alloys Produced by Reciprocating Extrusion, *Advanced engineering materials*, 6 (2004), 936-943.
51. L. Shih-Wei et al., An Mg-Al-Zn alloy with very high specific strength and superior high-strain-rate superplasticity processed by reciprocating extrusion, *Advanced engineering materials*, 6 (2004) 948-952.
52. K. Mueller, S. Mueller, Severe plastic deformation of the magnesium alloy AZ31 *Journal of Materials Processing Technology* 187–188 (2007) 775–779.
53. Shi-Ying Yuan, Jien-Wei Yeh and Chun-Huei Tsau, Improved Microstructures and Mechanical Properties of 2024 Aluminum Alloy Produced by a Reciprocating Extrusion Method, *Materials Transactions JIM (Jpn Inst Met)*, 40 (1999), 233-241.
54. Halling, J., “Principles of Tribology”, MacMillan Press, London 214-219, 1975.
55. Karamış.M.B., “ Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü “ ,Doktora Tezi,Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Kayseri,1985.
56. Çelik, H., “ Kaynak edilebilen kobalt ve demir esaslı alaşımlarının yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışları”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 33-41,1991.
57. Richardson, E.R.C.D., “ The wear of metal shores in agricultural soils” Ph.D. Thesis, Great Britain University Press, London, 13-18, 1969.
58. Moore, M.A. , Revisw, A., ‘Of Two-Body Abrasive Wear’, *Wear*, 27:1–17, 1974.
59. Date, S.W., Malkin, S., ‘Effect of Grid Size on Abrasion With Contact Abresives’, *Wear*, 40: 252-264 ,1976.
60. Abhok, K.V. , ‘ Comparative Tendencies for Metal Loss by Abrasive Wear’’, *Impact Erosion and Arc Erosion Wear*, 40: 305–314, 1978.

61. Şahin ,Y.,Wear of planar-random oriented metal matrix composites,Wear , 216 (1998) 112.
62. Şahin ,Y., Murphy S.,Friction and wear behaviour of Saffil reinforced Zinc-Aluminium alloy composites,7<sup>th</sup> Int.Machine Design and Production Conf.,Sept. 11-13, 996, METU ,Ankara .
63. Şahin ,Y.,Ph.D. The University of Aston in Birmingham,1994.
64. Cerit A.A., ‘‘Metal Matrisli Kompozitlerin Kam Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması ‘’, Doktora Tezi,Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Kayseri, 2010.
65. Sahin, Y., Özdin, K., ‘‘A model for the abrasive wear behaviour of aluminium based composites’’, Materials and Design, 1-6 ,2007.
66. Arsenault, R. J. and ve Wu, S. B., ‘‘A comparison of PM vs. Melted SiC/Al composites’’, Scripta Metallurgica et Materialia, 22: 767-772 ,1998.



## ÖZGEÇMİŞ

Fatma Nazlı SARI 1981 yılında Kayseri’de doğdu.1999 yılında Kayseri Fatma Kemal Timuçin Anadolu Lisesi’nden mezun oldu.2006 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olan SARI, 2007 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 yılında yüksek lisans ders dönemini tamamlayan SARI, TÜBİTAK 108M562 nolu projede görev alarak, tez çalışmasını tamamlamıştır.

**Adres:**Vali İhsan Aras Mahallesi

Göknar Caddesi Ata Sitesi A

Blok 2/2 38560 İncesu/KAYSERİ

**e-posta:**fnsari@gmail.com