



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI SERAMİK
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İÇYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Veysel ERTURUN**

**Danışman
Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ**

Doktora Tezi

**Ekim 2012
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI
SERAMİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İÇYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Veysel ERTURUN**

**Danışman
Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ**

**Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
tarafından 108M562 kodlu proje ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBD-09-668 kodlu proje ile
desteklenmiştir.**

**Ekim 2012
KAYSERİ**

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Veysel ERTURUN




“Karşıt Ekstrüzyon İşleminin Al Esaslı Seramik Takviyeli Kompozitlerin İy yapı ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Veysel ERTURUN



Danışman
Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ



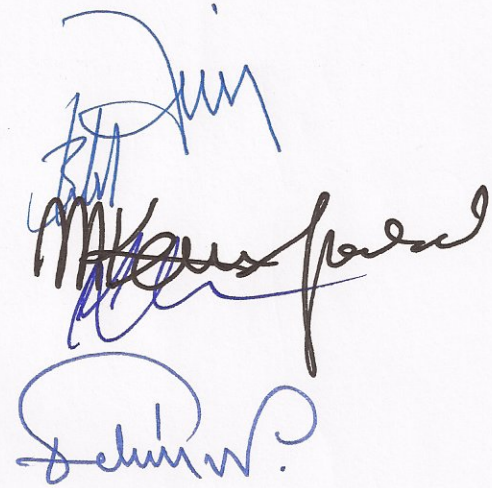
Makina Mühendisliği ABD Başkanı
Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ danışmanlığında Veysel ERTURUN tarafından hazırlanan “**Karşıt Ekstrüzyon İşleminin Al Esaslı Seramik Takviyeli Kompozitlerin İçyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

23 / 11 / 2012

JÜRİ :

- Başkan : Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN
Üye : Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ
Üye : Prof. Dr. M. Kemal APALAK
Üye : Prof. Dr. Sedat ÖZDEN
Üye : Doç. Dr. Fehmi NAİR

**ONAY :**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 25/12/2012 tarih ve 2012/60-13 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

25 / 12 / 2012



Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

TEŞEKKÜR

“Karşıt Ekstrüzyon İşleminin Al Esashı Seramik Takviyeli Kompozitlerin İıyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması” isimli tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Prof. Dr. M.Baki KARAMIŞ’a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi sırasında her zaman olduğu gibi emek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Fehmi NAİR, değerli arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIRIM’a ve Arş. Gör. F. Nazlı SARI’ya teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bana verdiği manevi destek, göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı değerli eşim Emine ERTURUN’a ve canım oğullarım Murat ve Hediyeullah’a teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar bana verdikleri her türlü destek ve hoşgörüden dolayı babama ve merhume anneme teşekkür eder saygılarımı sunarım.

KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Veysel ERTURUN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Ekim 2012

Tez Danışman : Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı yeni ve etkili bir aşırı deformasyon yöntemi ile Al esaslı kompozit malzemelerde tane küçülmesi sağlamaktır. Bu çerçevede işlem parametrelerinin tane küçülmesine ve mekanik özelliklere etkileri de araştırılmıştır.

Bu çalışmada ekstrüze edilecek Al esaslı seramik takviyeli biletler karıştırmalı döküm ve toz metalürjisi yöntemleriyle elde edilmişlerdir. Matris malzemesi olarak 2xxx ile 6xxx serisi Al alaşımı ve takviye elemanı olarak değişik yüzdelerde ve boyutlarda SiCp, B₄C ve Al₂O₃ tozları kullanılmıştır. Üretilen kompozit biletler bu proje kapsamında tasarlanan karşıt ekstrüzyon sistemi ile 200 °C işlem sıcaklıkları ve 0-5 geçiş sayılarında tekrarlı olarak ekstrüze edilmiştir. Belirtilen geçiş sayıları ile aşırı deformasyona uğratan farklı kompozit biletlerden elde edilen çubuk şeklindeki ürünler üzerinde mikro yapı, SEM, TEM ve optik mikroskop çalışmaları ile karakterizasyon, tane boyutu, sertlik ve yoğunluk değişimleri ile çekme, çentik darbe, yorulma ve aşınma gibi mekanik özellikler üzerine geçiş sayısı ve tane boyutunun etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre ekstrüzyon sıcaklığı ürünün tane boyutu ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktördür. Ekstrüzyon geçiş sayısı ile 200 °C işlem sıcaklığında tane incilmesi sağlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan incelemede, geçiş sayısının artması ile seramik partiküller matris içinde homejen olarak dağılmakta ve kırılarak daha küçük boyutlara indiği tespit edilmiştir. Buna paralel olarak geçiş sayısı arttıkça ürün sertliği başlangıçta (0-1 geçişe kadar) artmış daha sonra yeniden azalmıştır. Geçiş sayısı yani deformasyon oranı arttıkça yoğunluğu teorik yoğunluğa yaklaşan ürünlerde sertliğin azalması ve tane boyutunun artmasına rağmen dislokasyon yoğunluğu, darbe tokluğu, yorulma mukavemeti ve çekme enerjilerinde artış tespit edilmiştir. 200 °C'lik işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranı ile yapılan testler sonucu, geçiş sayısı arttıkça tane boyutları ve sertlik azalıp,

kopma uzaması hafif bir şekilde artarken, mukavemet önemli oranda etkilenmediği görülmüştür.

Tribolojik açıdan, deforme edilen ürünlerde 200 °C'lik işlem sıcaklığı sonrası oluşan tane incelmesi ve sertlik değişimiyle aşınma miktarı ve aşınma direnci arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Geçiş sayısı ve yük arttıkça malzeme kaybı da artmıştır. Bunun dışında, aşınma testine tabi tutulan takviyesiz ve MMK'ler üzerinde SEM ile yapılan incelemelerde düşük yükleme şartlarında abrasyonun etkin olduğu ve ağır yükleme şartlarında adhezyon ve oksitlenmenin hakim olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Karşıt ekstürüzyon, metal matriks kompozit, triboloji, tane inceltme, aşırı plastik deformasyon.

**AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF RECIPROCATING EXTRUSION
PROCESS ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL
PROPERTIES OF AL BASED COMPOSITES REINFORCED BY CERAMIC
PARTICLES**

Veysel ERTURUN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ph. D. Thesis, October 2012

Thesis Supervisor: Prof. Dr. M.Baki KARAMIŞ

ABSTRACT

The purpose of this study is to obtain the refined grains in Metal Matrix Composites (MMCs) by application of a new severe deformation method. The effects of the process parameters on the grain refining and on mechanical properties of the processed composites material were investigated.

In this study, the Al matrix billets are obtained by two methods as stir casting and powder metallurgy using of 2xxx and 6xxx Al series. The particulate ceramics such as SiC_p , B_4C and Al_2O_3 (1-114 μm in size) were used by mixing with matrix material in different volume fractions. The produced billets were subjected to the reciprocating extrusion process with the passes of (0-5) at process temperature of 200 °C on the system designed by project team. The characterization, SEM, TEM and optical microscopy analyses, the variations of hardness, density and grain size, mechanical tests such as ultimate strength, charpy, fatigue and wear of the rods extruded from different composite billets under different process conditions were investigated.

It is indicated that the process temperature was the main factor for the grain size and mechanical properties of the extruded samples. The grain refining was obtained by the extrusion on cycle at the process temperature of 200 °C. It was determined by SEM examination that ceramic particles were distributed homogenly in the matrix by pass number. They were also breakdown in the pieces of small particles. Parallel to this, the micro hardnesses of the samples increased initially (between 0-1 pass) and then decreased by the pass number. The dislocation density, the toughnesses, fatigue strength and elongations of the samples which increased densities increased by deformation degree (pass number), although the hardnesses and grain sizes of the samples decreased and increased by pass number respectively. The hardnesses and grain size were decreased, the strain was increased slightly and strength was

not affected considerable by pass number under the test condition carried out at the process temperature of 200 °C and extrusion ratio of 4:1.

As for the case of tribological part of wear, the weight losses or wear resistances of the samples were found systematically relation between the grain size and hardness of the samples tested at the process temperature of 200 °C. It was founded that the weight losses was increased with pass number and load. Moreover, SEM investigation showed that abrasion and adhesion mechanisms were dominant for the unreinforced and reinforced samples respectively under low and high testing condition.

Keywords: Reciprocating extrusion, metal matrix composite, tribology, grain refining, severe plastic deformation.

İÇİNDEKİLER

KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI SERAMİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Araştırması	4
--------------------------------------	---

2. BÖLÜM DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Gereç ve Yöntem	32
2.1.1. Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlama	32
2.1.2. Biletlerin Hazırlanması	33
2.1.2.1. Karıştırmalı Döküm Yöntemi ile Bilet Üretimi	33
2.1.2.2. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Bilet Üretimi	38
2.1.3. Karşit Ekstrüzyon Uygulaması ve Faktörleri	40
2.1.3.1. Karşit Ekstrüzyon Sistemi Tasarımı	45

2.1.3.2. Karşıt Ekstrüzyon Presi Çalışma Prensipleri	47
2.1.3.3. Pres Özellikleri	47
2.1.3.4. Karşıt Ekstrüzyon İşlemi	49
2.1.3.5. TEM İncelemeleri	54
2.1.4. Ön Denemeler	54

3. BÖLÜM BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Giriş	57
3.2. Bulgular	58
3.2.1. Mikroyapı	58
3.2.1.1. Tane Yapısı	58
3.2.1.1.1. Tartışma	74
3.2.1.2. Yoğunluk Değişimleri	75
3.2.1.2.1. Tartışma	77
3.2.1.3. Sertlik İncelemeleri	78
3.2.1.3.1. Tartışma	80
3.2.2. Mekanik Testler ve Değerlendirme	83
3.2.2.1. Çentik Darbe Testleri	83
3.2.2.1.1. Tartışma	88
3.2.2.2. Çekme Testleri	91
3.2.2.2.1. Tartışma	94
3.2.2.3. Yorulma Testleri	99
3.2.2.3.1. Tartışma	109
3.2.3. Tribolojik Özellikler	116
3.2.3.1. Aşınma Numunelerinin Hazırlanması	116
3.2.3.2. Aşınma Ön Denemeleri	116
3.2.3.3. Aşınma Deneyleri	116
3.2.3.4. Aşınma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	117
3.2.3.5. Aşınma Sonrası TM Numunelerin Pürüzlülük Değerleri	147

3.2.2.4.1. Tartışma	149
-------------------------------	-----

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma	158
4.1.1. Giriş	158
4.1.2. Genel Tartışma	159
4.2. Sonuçlar	168
4.3. Öneriler	171
KAYNAKLAR	172
EKLER	179
ÖZGEÇMİŞ	194

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Ekstrüze edilmiş numunenin mekanik özellikleri [37].	19
Tablo 2.1.	Etial 60 (AA 6063), Etial 21 (AA 2014), AA6061 ve AA2124'ün kimyasal içeriği (ağırlıkça %).	32
Tablo 2.2.	Pres parça isimleri.	47
Tablo 2.3.	AA 6061/SiC/%5 takviyeli numunelerin geçiş sayılarına göre uygulanan basınç değerleri.	52
Tablo 2.4.	AA 6061 numunelerin geçiş sayılarına göre gerçekleşen basınç aralıkları.	53
Tablo 3.1.	AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5 TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değerleri.	59
Tablo 3.2.	AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5 TM numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutları.	62
Tablo 3.3.	Takviyesiz ve takviyeli TM numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutlarındaki değişim	66
Tablo 3.4.	Takviyesiz ve takviyeli TM numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutlarındaki değişim	72
Tablo 3.5.	TM numunelerin gerçek yoğunluk değerleri (200 °C).	75
Tablo 3.6.	Döküm numunelerin gerçek yoğunluk değerleri.	76
Tablo 3.7.	AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5 TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değerleri.	78
Tablo 3.8.	Tüm numunelerin geçiş sayısına göre sertlik değerleri.	78
Tablo 3.9.	Geçiş sayısına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.	85
Tablo 3.10.	Geçiş sayısına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.	87
Tablo 3.11.	Yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri.	101

Tablo 3.12. Yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri.	106
Tablo 3.13. Takviyeli ve takviyesiz numunelerin kuru Şartlarda ve yağlı Şartlarda ağırlık kayıpları.	118
Tablo 3.14. Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin kuru Şartlarda ve yağlı Şartlarda ağırlık kayıpları.	135
Tablo 3.15. Yüke göre TM numunelerin toplam ağırlık kayıpları.	150
Tablo 3.16. Yüke göre numunelerin toplam ağırlık kayıpları (200 C).	155

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Hibrit kompozitlerin optik mikroskop görüntüsü [27].	10
Şekil 1.2.	Ana SPD yöntemlerinin şematik gösterimi [32].	13
Şekil 1.3.	Eşit kanal açısız basma yönteminin şematik görünümü [28].	14
Şekil 1.4.	C şekilli eşit kanallı karşıt ekstrüzyon (CECRE) şematik çizimi [34].	15
Şekil 1.5.	(a) Tek geçişte ekstrüze edilmiş Sn numune (b) Deforme olmamış kafes yapısının taslağı (c) Deforme olmuş kafes yapısının taslağı [35].	16
Şekil 1.6.	Çapraz kanallı ekstrüzyon işleminin şematik resmi [37].	18
Şekil 1.7.	Çevrimsel genişletme ekstrüzyon yönteminin şematik gösterimi [40].	21
Şekil 1.8.	Geri biriktirici ekstrüzyon yönteminin şematik gösterimi a) Başlangıç durumu, b) Birinci adım, geri ekstrüzyon, c) İkinci adım, geri basıncı d) Son işlem [41].	21
Şekil 1.9.	Karşıt ekstrüzyon metodu [34].	22
Şekil 1.10.	Şematik karşıt ekstrüzyon metodu [47].	24
Şekil 2.1.	Tozların SEM görüntüsü	34
Şekil 2.2.	Karıştırmalı döküm ünitesi a) Karıştırma prensibi b) Karıştırmalı döküm ünitesi.	35
Şekil 2.3.	Sıvı kompozitin paslanmaz çelik kaba alınması.	36
Şekil 2.4.	Sıvı kompozitin metal kalıba dökümü.	36
Şekil 2.5.	Numune üretim kalıbı.	37
Şekil 2.6.	Billet döküm kalıbı.	37
Şekil 2.7.	Billet çıkarma silindiri.	38
Şekil 2.8.	Toz karıştırma ünitesi.	39
Şekil 2.9.	Tasarlanan sinterleme sisteminin şematik gösterimi.	39
Şekil 2.10.	Üretilmiş billet resmi ve boyutları.	40

Şekil 2.11.	Karşıt ekstrüzyon kalıbı.	41
Şekil 2.12.	Farklı ekstrüzyon oranlı kalıplar a) 50:1 b) 10:1 c) 6:1 d) 4:1.	41
Şekil 2.13.	Kalıp kovanı.	42
Şekil 2.14.	Karşıt ekstrüzyon kalıbı ve kovan resmi.	43
Şekil 2.15.	Kemer taşı ısıtıcı.	43
Şekil 2.16.	Mineral izoleli termokupllar.	44
Şekil 2.17.	Kalıpların (H13) ısıl işlem prosedürü.	44
Şekil 2.18.	Karşıt ekstrüzyon sistemi detay çizimleri.	45
Şekil 2.19.	Karşıt ekstrüzyon sistemi.	46
Şekil 2.20.	Karşıt ekstrüzyon hidrolik presi ve ekipmanları.	48
Şekil 2.21.	Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi.	49
Şekil 2.22.	Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi.	50
Şekil 2.23.	Zimba tutucusu ve zimba.	50
Şekil 2.24.	Karşıt ekstrüzyon presi, ekipmanları ve kalıp sistemi.	52
Şekil 3.1.	Billet enine ve boyuna kesit yönleri.	58
Şekil 3.2.	AA 6061 %5 SiC takviyeli TM numunenin 5 geçiş sonrası optik mikroskop görüntüsü a) enine kesit b) boyuna kesit.	59
Şekil 3.3.	%5 SiC takviyeli TM billet taneleri numaralanmış görüntüsü.	60
Şekil 3.4.	%5 SiC takviyeli 1 geçişli TM numunenin numaralanmış taneleri.	60
Şekil 3.5.	%5 SiC takviyeli 3 geçişli TM numunenin numaralanmış taneleri.	61
Şekil 3.6.	%5 SiC takviyeli 5 geçişli TM numunenin numaralanmış taneleri	61
Şekil 3.7.	Dairesel kesitli TM numunenin optik mikroskop görüntüsü.	62
Şekil 3.8.	Geçiş sayısına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı	62
Şekil 3.9.	TEM numune hazırlama yeri.	63
Şekil 3.10.	5 geçişli AA 6061 %5 SiC takviyeli TM numune dış bölgesi detay görüntüsü.	64

Şekil 3.11.	% 5 SiC takviyeli AA 6061 TM numunelerin KE sonrası TEM görüntüsü a) 0 geçiş (0,6253 μm) b) 1 geçiş (0,529 μm) c) 2 geçiş (0,2664 μm) d) 3 geçiş (0,4233 μm) e) 4 geçiş (0,359 μm) f) 5 geçiş (0,4156 μm).	65
Şekil 3.12.	Geçiş sayısına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı. . .	66
Şekil 3.13.	0 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri. . .	67
Şekil 3.14.	1 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri. . .	68
Şekil 3.15.	2 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri. . .	69
Şekil 3.16.	3 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri. . .	69
Şekil 3.17.	4 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri. . .	70
Şekil 3.18.	5 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri. . .	70
Şekil 3.19.	5 geçişli TM numunenin tane içi EDX analizi.	71
Şekil 3.20.	5 geçişli TM numunenin tane sınırı EDX analizi.	71
Şekil 3.21.	% 5 SiC takviyeli AA 6063 döküm numunelerin KE sonrası TEM görüntüsü a) 0 geçiş (0,7816 μm) b) 1 geçiş (0,6318 μm) c) 2 geçiş (0,6119 μm) d) 3 geçiş (0,6567 μm) e) 4 geçiş (0,5693 μm) f) 5 geçiş (0,6352 μm)	73
Şekil 3.22.	Geçiş sayısına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı. . .	74
Şekil 3.23.	TM ve döküm numunelerinin geçiş sayılarına göre tane boyutu değişimi.	75
Şekil 3.24.	Takviyeli ve takviyesiz TM numunelerin ölçülen ve teorik yoğunluk değişimi.	76
Şekil 3.25.	Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin ölçülen ve teorik yoğunluk değişimi.	77
Şekil 3.26.	Tüm numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değişimleri.	79
Şekil 3.27.	TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değişimleri.	79
Şekil 3.28.	Döküm numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değişimleri.	80

Şekil 3.29.	TM ve döküm kompozit numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutu ve sertlik değişimi.	81
Şekil 3.30.	TM ve döküm kompozit numunelerin tane boyutuna göre sertlik değişimi.	81
Şekil 3.31.	Numunelerin geçiş sayısına göre sertlik değişimleri.	82
Şekil 3.32.	Çentik darbe test düzeneği.	83
Şekil 3.33.	a) Ekstrüze edilmiş kare kesitli çubuklar, b) V çentikli darbe deney numunesi c) Çentik darbe deney numune boyutları.	84
Şekil 3.34.	5 geçişli % 5 SiC takviyeli çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri.	85
Şekil 3.35.	5 geçişli takviyesiz çentik darbe numunesinin kırılma yüzeyleri.	85
Şekil 3.36.	Geçiş sayılarına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.	86
Şekil 3.37.	3 geçişli % 5 SiC takviyeli çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri.	86
Şekil 3.38.	3 geçişli takviyesiz çentik darbe numunesinin kırılma yüzeyleri.	87
Şekil 3.39.	Geçiş sayılarına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.	87
Şekil 3.40.	TM numunelerin tane boyutuna göre kırılma enerjisi değişimi.	88
Şekil 3.41.	Döküm ve TM numunelerin geçiş sayılarına göre çentik darbe kırılma enerji değişimleri.	89
Şekil 3.42.	Geçiş sayılarına göre çentik darbe ve çekme enerji değişimleri	89
Şekil 3.43.	Geçiş sayılarıyla kırılma enerjileri ve tane boyutu değişimi	90
Şekil 3.44.	Çekme cihazı.	91
Şekil 3.45.	Çekme deney numunesi boyutları.	92
Şekil 3.46.	Çekme deney numuneleri.	92
Şekil 3.47.	Tüm numunelerin geçiş sayılarına göre max. gerilme değerleri.	93
Şekil 3.48.	Numunelerin geçiş sayılarına göre Kopma- % Gerinim değerleri.	94
Şekil 3.49.	Numunelerin geçiş sayılarına göre enerji absorpsiyonu.	94

Şekil 3.50.	TM numunelerin tane boyutuna göre max-gerilme değişimi. . . .	96
Şekil 3.51.	TM numunelerin geçiş sayılarına göre max. gerilme değerleri. . .	96
Şekil 3.52.	Döküm numunelerin geçiş sayılarına göre max. gerilme değerleri.	97
Şekil 3.53.	TM numunelerin geçiş sayılarına göre kopma-gerinim değerleri. .	98
Şekil 3.54.	Döküm numunelerin geçiş sayılarına göre kopma-gerinim değerleri.	98
Şekil 3.55.	Yorulma test numunelerinin a) Boyutları b) Genel görünümü. . .	99
Şekil 3.56.	Yorulma test düzeneği.	100
Şekil 3.57.	Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları. . . .	101
Şekil 3.58.	Takviyeli 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi detayı c) Yorulma çatlakları.	102
Şekil 3.59.	Takviyesiz 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi A bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi B bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi C bölgesi detayı.	102
Şekil 3.60.	Takviyesiz 2 geçişli numune yorulma yüzeyi.	103
Şekil 3.61.	Takviyesiz 2 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi ve pürüzlülüğü b) Yorulma yüzeyi D bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi E bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi F bölgesi detayı. . . .	104
Şekil 3.62.	Takviyeli 3 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi A bölgesi detayı b) Yorulma yüzeyi B bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi C bölgesi detayı.	105
Şekil 3.63.	Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları. . . .	106
Şekil 3.64.	Takviyeli 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi detayı c) Yorulma çatlakları.	107
Şekil 3.65.	Takviyesiz 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi A bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi B bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi C bölgesi detayı.	107

Şekil 3.66.	Takviyesiz 2 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi ve pürüzlülüğü b) Yorulma yüzeyi F bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi E bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi D bölgesi detayı.	108
Şekil 3.67.	Takviyeli 3 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi G bölgesi detayı b) Yorulma yüzeyi H bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi I bölgesi detayı.	109
Şekil 3.68.	TM numunelerin tane boyutuna göre çevrim sayıları değişimi.	110
Şekil 3.69.	TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları	111
Şekil 3.70.	TM ve döküm kompozit numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve tane boyutu değişimleri.	111
Şekil 3.71.	TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve sertlik değişimleri.	112
Şekil 3.72.	TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve kırılma enerjisi değişimleri.	112
Şekil 3.73.	Döküm yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları.	113
Şekil 3.74.	Döküm ve TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları.	114
Şekil 3.75.	Döküm yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve sertlik değişimleri.	115
Şekil 3.76.	Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve kırılma enerjisi değişimleri.	115
Şekil 3.77.	a) Numune şekli ve boyutları b) Test konfigürasyonu.	117
Şekil 3.78.	Aşınma test düzeneği.	117
Şekil 3.79.	Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre TM numunelerin ağırlık kayıpları a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda.	119
Şekil 3.80.	Takviyeli 5 geçişli numunenin 100 N yük altında aşınma sonrası makro görüntüsü a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar.	120
Şekil 3.81.	Takviyeli 0 geçişli kompozitinin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi.	121

- Şekil 3.82. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 50 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti. 122
- Şekil 3.83. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti. 122
- Şekil 3.84. Takviyeli kompozitin yağlı şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti. 123
- Şekil 3.85. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma sonrası termal yorulma. 125
- Şekil 3.86. 5 geçişli takviyeli kompozitin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yüzey morfolojisi a) Aşınma yüzeyi b) Yüzey detayı. 126
- Şekil 3.87. Takviyeli 5 geçişli kompozitin kuru şartlarda aşınma sonrası yüzeyi a) Plastik deformasyon bölgesi 75 N b) Çatlaklar 100 N. . 127
- Şekil 3.88. Kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 128
- Şekil 3.89. Takviyeli kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 128
- Şekil 3.90. Takviyesiz 5 geçişli numunenin 100N yük altında aşınma sonrası yüzeyi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar. 129
- Şekil 3.91. Takviyesiz 0 geçişli numunenin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası makro görüntüsü a) aşınmış yüzeyin düzlem görünümü b) Profil görünümü. 130
- Şekil 3.92. Takviyesiz 0 numunesinin kuru şartlarda 75N yük altında aşınma sonrası yüzeyi a) Tabakalaşma b)Kırılmalar. 130
- Şekil 3.93. Takviyesiz 3 numunesinin kuru şartlarda 100N yük altında aşınma sonrası yüzeyindeki tabakalaşmalar. 130
- Şekil 3.94. Takviyesiz 0 geçişli numunesinin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi a) Aşınma izleri b)Kırılmalar. 131
- Şekil 3.95. Takviyesiz numune kuru şartlarda 75 N yük ve tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti değişimi. 131
- Şekil 3.96. Takviyesiz numunenin yağlı şartlarda 75 N yük altında kayma mesafesi-sürtünme kuvveti değişimi. 132

- Şekil 3.97. Takviyesiz 5 geçişli numunenin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yığılma bölgesi tabakalaşmaları. 133
- Şekil 3.98. Takviyesiz 5 geçişli numunenin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yüzey plastik deformasyonu. 133
- Şekil 3.99. Takviyesiz 5 geçişli numunenin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yığılma bölgesinde oluşan çatlaklar. 134
- Şekil 3.100. Takviyesiz numunenin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar) 134
- Şekil 3.101. Takviyesiz numunenin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 135
- Şekil 3.102. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre döküm numunelerin ağırlık kayıpları a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda. 137
- Şekil 3.103. Takviyeli 3 geçişli numunenin 50 N yük altında aşınma sonrası görüntüsü a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar. 138
- Şekil 3.104. Takviyeli 0 geçişli kompozitinin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi. 138
- Şekil 3.105. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 50 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti. 139
- Şekil 3.106. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti. 140
- Şekil 3.107. Takviyeli kompozitin yağlı şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti. 140
- Şekil 3.108. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma sonrası yüzey morfolojisi a) 0/75 N, b) 3/75 N c) 5/100 N, d) 5/50 N. 141
- Şekil 3.109. 5 geçişli takviyeli kompozitin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yüzey morfolojisi a) Aşınma yüzeyi b) Yüzey detayı.142
- Şekil 3.110. Takviyeli kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 143
- Şekil 3.111. Takviyeli kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 143

- Şekil 3.112. Takviyesiz 5 geçişli numunenin 75N yük altında aşınma sonrası yüzeyi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar. 144
- Şekil 3.113. Takviyesiz 0 numunesinin kuru şartlarda 75N yük altında aşınma sonrası yüzey düzleşmesi. 145
- Şekil 3.114. Takviyesiz numune kuru şartlarda 75 N yük ve tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti değişimi. 145
- Şekil 3.115. Takviyesiz numunenin yağlı şartlarda 75 N yük altında kayma mesafesi-sürtünme kuvveti değişimi. 146
- Şekil 3.116. Takviyeli numunelerin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri. 148
- Şekil 3.117. Takviyesiz numunenin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri. 148
- Şekil 3.118. 3 geçişli takviyeli numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük görüntüsü. 149
- Şekil 3.119. 3 geçişli takviyesiz numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük görüntüsü. 149
- Şekil 3.120. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre TM numunelerin ağırlık kayıpları a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda. 151
- Şekil 3.121. Takviyeli TM kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). . 152
- Şekil 3.122. Takviyeli TM kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 152
- Şekil 3.123. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre döküm numunelerin ağırlık kayıpları a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda (200 °C). 154
- Şekil 3.124. Toplam aşınmanın yükle değişimi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar. 156
- Şekil 3.125. Takviyeli döküm kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar) . . 157
- Şekil 3.126. Takviyeli döküm kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar). 157
- Şekil 4.1. TM numunelerin ekstrüzyon sonrası SEM görüntüsü. 159

- Şekil 4.2. Kompozit numunelerin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları a) 1 geçiş TM b) 5 geçiş TM c) 1 geçiş döküm d) 5 geçiş döküm. 161
- Şekil 4.3. Numunelerin geçiş sayısına göre kırılma enerjileri değişim oranları. 162
- Şekil 4.4. Numunelerin geçiş sayısına göre max. gerilme değişimleri. 163
- Şekil 4.5. Numunelerin geçiş sayısına göre kopma-gerinim değişimleri. 164
- Şekil 4.6. TM numunelerin geçiş sayısı ile oluşan toplam ağırlık kayıpları ve sertlik değişimleri (kuru şartlar) 166
- Şekil 4.7. Döküm numunelerin geçiş sayısı ile oluşan toplam ağırlık kayıpları ve sertlik değişimleri (kuru şartlar) 166
- Şekil 4.8. TM ve döküm numunelerin geçiş sayısı ile oluşan toplam ağırlık kayıpları değişimleri (kuru şartlar) 167

GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak dünyada olduğu gibi ülkemizde de klasik malzemeler teknolojik ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmiştir. Özellikle askeri ve havacılık sanayinde teknolojinin hızla gelişmesi ve özel kullanım alanlarında özel malzemelere ihtiyaç duyulması kompozit malzemelere karşı ilgiyi daha da artırmıştır. Bu gelişmeler için tahrik edici güç, malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Bu nedenle de spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Havacılık ve uzay sanayi gibi pek çok ileri teknoloji uygulamalarının dışında otomotiv gibi sivil sanayi uygulamalarında da birçok alanda kendine yer bulan MMK'lerin ülkemiz sivil ve askeri sanayisine kazandırılması ve bu konudaki bilgi birikimi ile teknik alt yapının oluşturulması gerekmektedir. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parçacıklar kullanılmakta olup, bunlar plastik veya metal esaslı malzemelerle elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelere olan talep nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmeğe başlanmıştır. Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi takviye elemanını ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda yapışma için bağ oluşturmalıdır [1]. Bunun yanında Al esaslı partikül takviyeli MMK'lerin ileri teknoloji malzemeleri olmakla birlikte ülkemizdeki mevcut üretim alt yapısıyla üretilebilir olmaları ve kompoziti oluşturan matris ve takviye elemanlarının ülkemizde kolay bulunabilir ve ucuz olmaları malzeme seçilmesinde belirleyici olmuştur.

Ülkemizde ve dünyada, alüminyum esaslı metal matris kompozitlerin (Al-MMK) üretim teknolojileri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış ve faydalı görülenler endüstriyel boyuta taşınmayı başarmıştır. Fakat bu kompozitlerin üretim maliyeti hala yüksek ve problemler mevcuttur. Yüksek teknolojilere ulaşabilmek ancak çok özel kabiliyetleri olan malzemelerin bulunması ve üretilmesiyle mümkündür.

Hızlı katılaşma ve mekanik alaşımlandırma teknolojilerinin toz metalurjisi (TM) ile kombinasyonu malzemelerin özelliklerini iyileştirmek amacı ile geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde, ince tane ve ince partiküller elde edilmesiyle daha az segregasyon, daha yüksek çözünürlük limitleri ve amorf yapı içeren yeni mikro yapılar üretilebilmektedir [2]. Bu çerçevede literatürde henüz araştırılmakta olan ve bilimsel bakımdan araştırılmaya muhtaç bulunan karşıt ekstrüzyon işlemi ile çok daha ince taneli kompozit üretimi konusu özellikle ülkemizde ve dünyada bakir bir alan gözükmektedir. Metalik malzemelerde mekanik özellikleri yükseltmek amacıyla ince boyutlu tane (ultra-fine-grain) yapısına ulaşmanın iki yolu bulunmaktadır [3]. Bunlar, düşük sıcaklıkta (yeniden kristalleşme sıcaklığının altında) aşırı plastik deformasyon ve toz metalurjisi yöntemleridir. Aşırı plastik deformasyon bir diğer adıyla şiddetli plastik deformasyon, bir metalik malzemenin düşük sıcaklıklarda (erime sıcaklığının 0.3 katının altında) yüksek miktarlarda plastik genlemeye maruz bırakılarak plastik deformasyona uğraması olarak bilinir [3]. Şiddetli plastik deformasyon, kaba taneli mikro yapıların, hücre blokları ve dislokasyon hücrelerinin hiyerarşik bir sistem halinde ayrılmasına öncülük eder. Malzemenin zorlanmasıyla birlikte, mikro yapısal boyutları aynı miktarda azalır. Bu nedenle, takviye elemanı, matris türü, üretim metodu ve konsolidasyon şartlarının optimize edilmesi gerekmektedir.

Halen partikül boyut ve hacim oranlarını değiştirmek suretiyle, mukavemet ile çeşitli mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılan MM Kompozitlerin karşıt ekstrüzyon işlemiyle partikülleri homojen dağıtmak, peş peşe uygulanan sıcak ve soğuk deformasyon ile çok daha ince taneli ve dolayısıyla daha mukavemetli kompozit elde etmek suretiyle MM Kompozitlerinin mevcuttan daha ağır şartlarda kullanılabilmesini sağlamak amaçlanmıştır. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemeler gibi homojen olmadığına anlaşılması ile bu modern kompozit malzemelerin rijitlik, dayanım ve hafiflik gibi özellikler bakımından daha üstün özellikler gösterdiği açıktır. Ekstrüde olmuş ürünün mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmakta bu araştırma kapsamında yer almaktadır. Böylece daha hafif, fakat aynı mukavemeti gösteren, belki daha pahalı ama servis ömrü boyunca fazla maliyeti tolere edebilen, ince tane büyüklüğü, ince partiküller, daha az segregasyon, daha yüksek çözünürlük limitleri ve amorf yapı içeren yeni

mikro yapılar üretilebilmektedir. Bu çalışmada karşıt ekstrüzyon işlemi ile Al matrisli kompozitlerin mikro yapısını incelterek tane boyutunun mümkün olduğunca küçültülmesi ile de mümkün olan en yüksek yoğunluklu ve mukavim kompozitler elde edilebilmektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Araştırması

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı guruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, birleştirilerek oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar [1]. Metal Matrisli Kompozitler (MMK), metal matrisler içine seramik takviyeler ilave ederek ve güçlü bir şekilde birleştirilerek üretilirler. Bu birleştirme, hasara uğrayan ve çatlayabilen matriste tokluğu yükseltmeyi sağlarken, seramiğin dayanımının avantajından yararlanmak suretiyle üretilmektedirler. Takviyeler çatlak yollarını değiştirdiğinden, çatlağın ilerlemesi için daha yüksek güç gerekmekte ve malzeme daha dayanıklı olmaktadır. Bir örnek olarak SiC fiberlerin alüminyum matrisle birleştirilmesi verilebilir [4]. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına takviye elemanı katılmasının ana sebebi mukavemeti, rijitliği ve aşınma direncini yükseltmektir. Genellikle takviye elemanı olarak alümina, silisyum karbür, bor karbür, zirkonyum oksit ve silisyum nitrür gibi inorganik malzemeler kullanılır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak, matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır [1], [5].

Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak silisyum karbür katılması her şeyden önce fiziksel özellikleri, kullanılabilirliği ve uygun maliyetinin bir arada olmasındandır. Al/SiC partikül takviyeli kompozitin en önemli özellikleri şu şekildedir.

1. Takviye elemanının miktarının ayarlanması ile birleştirilmiş elemanların termal genişleme katsayısı belirlenebilir.

2. Kompozit yüksek boyutsal kararlılığa ya da sürünme olarak bilinen yük altında deformasyona karşı yüksek dirence sahiptir. Takviyenin az olması malzemeyi daha düşük mukavemetli ve sürünme dirençli yapar.

Takviyesiz malzemelerle karşılaştırıldığında şu ana avantajları vardır [6].

- Yüksek mukavemet
- Düşük yoğunluk
- İyileştirilmiş yüksek sıcaklık özellikleri
- Kontrollü ısıl genleşme katsayısı
- Isı yönetimi
- Geliştirilmiş elektriksel performans
- Geliştirilmiş abrasif aşınma direnci
- Kütle kontrolü(özellikle karşılıklı uygulamalar)
- Geliştirilmiş sönüm kapasiteleri

1920'li yılların başından günümüze, endüstride tartışılmaz üstünlüğü olan demir esaslı malzemeler, 21. yüzyılın başlarında üretim yöntemlerinin ve malzeme teknolojisinin gelişmesiyle yerlerini yavaş yavaş alüminyum, magnezyum alaşımları, fiber ve seramik takviyeli kompozitler gibi mukavemet/ağırlık oranı yüksek malzemelere bırakmaya başlamışlardır. Son on yıldır, Al-MMK üzerine yürütülen Ar-Ge faaliyetleri sayesinde, mikro yapı, mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesinde başarı sağlanmıştır. Ülkemizde ve dünyada, Al-MMK üretim teknolojileri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış ve faydalı görülenler endüstriyel boyuta taşınmayı başarmıştır. Literatür incelendiğinde, hızlı katılaşma [rapid-solidification (RS)] ve mekanik alaşımlandırma (mechanical alloying (MA)) teknolojilerinin toz metalurjisi (TM) ile kombinasyonu malzemelerin özelliklerini iyileştirmek ve ingot metalurjisinin en iyisinin üzerine çıkmak amacı ile geliştirilmiştir. İnce tane ve ince partiküller elde edilmesiyle daha az segregasyon, daha yüksek çözünürlük limitleri ve amorf yapı içeren yeni mikro yapılar üretilebilmektedir [2].

Özellikle askeri ve havacılık sanayinde teknolojinin hızla gelişmesi ve özel kullanım alanlarında özel malzemelere ihtiyaç duyulması kompozit malzemelere karşı ilgiyi

daha da artırmıştır. Bunlar yaygın olarak küçük motorlar, pistonlar, hava kompresör gövdeleri, pompalar vb. hafif parçalar için endüstride kullanım alanlarına sahiptirler [7,8]. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi, ekstrüze edilmesi ve çeşitli özelliklerinin belirlenmesi konusunda çeşitli araştırmaların yapılmış olduğu tespit edilmiş ve bu araştırma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Chan ve arkadaşlarına göre, birçok araştırmacı MMK'nın davranışlarını araştırmak için halen tek yönlü çekme testlerini kullanmışlardır. Bu nedenle, çalışmalarında kompleks gerilme durumları altında alüminyum kompozit levhanın sıcak şekillenebilirliğini araştırmak için, tamamen bilgisayar kontrollü süper plastik test cihazı geliştirmişlerdir. Kalınlığı 2-2.3 mm ve hacimce %20 SiC whisker takviyeli alüminyum kompozit levha kullanılmıştır. Kompozit, TM ile üretilmiş, ekstrüzyon ve haddeleme ile şekillendirilmiştir. MMK'nın şekil verilebilme limit diyagramları belirlenmiştir. Nihai levhanın kalınlığının artması ile şekillenebilme limitleri yükselmiştir [9].

Yamamoto ve arkadaşlarına göre, MMK'lerin uzaması dikkate alınarak şekillendirilebilirliği üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Buna rağmen daha çok araştırmalar matris ve takviye malzemeleri arasındaki ara yüzeye bağlı basma gerilmeleri altında değerlendirilmiştir. Birkaç araştırma da çekme gerilmelerini esas alarak yapılmıştır. Metal matrisli malzemeler, levha, çubuk ve blok formlarında üretilebilirler [10].

Huber ve arkadaşları ısı mekanik analiz donanımı kullanarak 500 °C de SiC takviyeli alüminyum matris kompozitlerin ısı genleşme davranışlarını araştırmışlardır. Amaç yüksek güç elektronik modülleri için taban plaka malzemeleri olarak kullanılan % 70 SiC patikül takviyeli alüminyum matris kompozitlerin ısı genleşme davranışları içindeki anormallikleri açıklanmıştır. Farklı SiC içerikleri ve değişik matris alaşımları ile üretilen kompozitler araştırılmıştır [11].

Karamış ve arkadaşları Al matrisli SiCp takviyeli kompozitlerle balistik testler yaparak oluşan hasar ve tribolojik etkileşimi incelemişlerdir. AA 6063 alüminyum alaşımı döküm metodu ile farklı boyut ve oranlarda SiC ve alümina ile takviyelendirilmiştir. Darbeden sonra hedefte ve partiküllerde gevrek çatlaklar oluşmuştur [12,13].

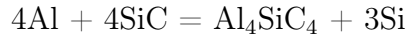
Bindumadhavan ve arkadaşlarına göre geleneksel metaller ve alaşımlarının özelliklerinin geliştirilmesi yanında partikül takviyeli MMK'ler çok ilgi uyandıran bir malzeme çeşidi olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak, bu kompozitlerin iyileştirilmiş özelliklerinin etkin biçimde ortaya çıkması, takviye partikülleri ile metal matris arasındaki iyi yapışmaya bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada hacimce % 3 ve 15 arasında SiC içeren A356-SiCp alüminyum alaşımı kompozitler eritme karıştırma metodu ile üretilmiştir. Düşük SiC hacim oranlı kompozitlerde ayrışma faktörü yüksek tespit edilmiştir [14].

Tang ve arkadaşları yüksek mukavementli ve hafif MMK'lar için, hacimce aşağı yukarı % 6.5 nano boyutlu SiC partiküllerle (25nm ölçüsünde) takviyelendirilmiş Al-5083 matrisini soğuk haddeleme ile sentezlemişlerdir. Mikro yapısal araştırmalar göstermiştir ki nano boyutlu SiC partiküller kompozitin içine homojen olarak dağıtılmıştır. Kalın taneli bölgelerin varlığı kompozitin şekillenebilirliğini artırmıştır [15]. Karamış ve Halıcı [16], AA 6063 alüminyum alaşımının düşük dereceli soğuk deformasyon özelliklerine yeniden kristalleşme ve homejenleştirmenin etkisini araştırmışlar ve soğuma hızındaki artışla kritik genleme artarken maksimum tane boyutunun düştüğünü tespit etmişlerdir.

Silisyum karbür takviyeli kompozit malzeme özel rijitliği, geliştirilmiş akma ve sürünme mukavemeti ve aşınma direnci gibi çekici özelliklerinden dolayı çok fazla çalışılmaktadır. Mitra ve arkadaşları tarafından [17], SiC partiküllerle takviyelendirilmiş alüminyum matris kompozitler değişik karıştırma döküm teknikleri kullanılarak hazırlanmıştır. AlMgSi matris malzemesinde SiC'ün oksitlenmesi, ya da SiC partiküllerin kaplanması ile ara yüzeyde kimyasal reaksiyonu sınırlamak ya da önlemek için çabalar gösterilmektedir. TM'de ara yüzey reaksiyonları kontrol altında olduğundan, birçok alaşım ve takviye malzemesinin kullanımı için uygundur. Ayrıca bu yöntem kullanılarak yüksek hacim oranında takviye malzemesi matris alaşımı içine verilebilir. Böylece termal genleşme katsayısı düşürülür ve elastik modülün geliştirilmesi sağlanır. Bu yöntem ayrıca, matris alaşımlarının bileşimlerinin ayarlanmasını ve yalnızca hızlı katılaştıran tozların kullanımı ile elde edilebilen mikro yapısal homojenitenin sağlanmasını mümkün kılar [18]. Partikül takviyeli kompozit malzemelerin mukavemeti üzerinde rol oynayan en önemli faktörlerden birisi partikül hacim oranıdır.

Chawla ve arkadaşları [19], 5 μm 'lik sabit bir partikül boyutunda AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetine partikül hacim oranının etkisini incelemişlerdir. Hacim oranının arttırılması ile birlikte maksimum akma ve çekme mukavemetlerinde artış elde etmişler ve sünekliğinde ise azalma gözlemlemişlerdir.

Üretim yöntemiyle ilgili intermetalik kalıntı formundaki kusurlar veya partikül kümeleşmeleri de matris mikro yapısının bir parçasıdır ve özellikle TM ile üretilen malzemelerin yorulma davranışında önemli bir rol oynar. Stres yoğunlaştırıcı etki yaratan bu kusurlar, malzemedeki bölgesel gerilme yoğunluğunu arttırır ve çatlak oluşum etkisini kolaylaştırır. Yorulma esnasında çatlak oluşumunun, tipik olarak numunenin yüzeyinde bulunan bu kusurlarla meydana geldiği görülmüştür [19,20]. SiC ile takviyelendirilmiş alüminyum esaslı MMK' lerde SiC ile Al etkileşimi sonucu aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir:



Bu reaksiyonlar sonucu Al-Si ara yüzeyinde oluşan Al_4C_3 ve Al_4SiC_4 fazları sürekli bir tabaka veya izole çökeltiler oluşturup kırılabilirliği artırırlar ve kompozitin Young modülünü ve dayanımını düşürürler. Ayrıca bu fazlar, alkol, metanol, su, HCl, vb. ortamlarda kararlı değildirler [21]. Homojen olmayan parçacık dağılımı ve kaba taneli mikro yapı; döküm yoluyla üretilen MMK' lerin en önemli problemlerindendir. Döküm yoluyla üretilen takozlar ekstrüze edilerek mikro yapı özellikleri de iyileştirilir. Ekstrüzyon işlemi, döküm yöntemiyle üretim sonucunda oluşan muhtemel parçacık kümelenmelerini ekstrüzyon yönünde bant şeklinde yayar. Böylece homojen bir parçacık dağılımı sağlanmış ve de yerel gerilmeler azaltılmış olur. Aksi takdirde bu kümelenmeler ürün içerisinde çatlak kaynağı olarak davranır ve iç çatlaklara yol açar [20, 22].

Tham ve diğerleri Al-SiC kompozitlerin ekstrüzyonu süresince takviye elemanının hacim oranını incelemişlerdir. Katı halde yapılan plastik deformasyon işlemi esnasında sert parçacıklar kırılır ve bu durum şiddetli takım aşınmasına ve ekstrüzyon kuvvetinin artmasına neden olur. Bu nedenle, yarı katı halde şekillendirme işlemleri MMK'lerin üretimi için alternatif olarak düşünülebilir.

Takviye elemanı tane boyutundaki küçülme, takviye elemanının ergimiş matris alaşımına karıştırılmasını güçleştirir. Çünkü küçülen tane boyutuyla ergimiş matris alaşımının vizkozitesi artar ve karıştırma ile tanelerin homojen dağılımı zorlaşır. Ekstrüzyon sırasında kaba taneli takviye elemanı yüksek ekstrüzyon oranlarında parçalanır ve tane boyutu küçülür. Böylece ürünün tane boyut dağılımı değişir. Bu durum bir üretim kusuru olması yanında tane boyutunun küçültülerek küçük taneli takviye elemanlarının homojen dağılımını sağlaması bakımından bir yöntem olarak da düşünülebilir [23].

Chien ve diğerlerine göre seramik parçaların ilavesiyle matris alaşımı ve seramik takviye elemanı arasında, daha yüksek kayma ve basma direncine sahip ve daha yüksek işletme sıcaklıklarında çalışabilen kullanışlı malzeme özelliklerinin bileşimi elde edilir. Bu malzemeler; yüksek dayanım, yüksek ısı direnci ve dövülebilirlik gibi özelliklere de sahiptir. Kompozitdeki bileşenlerin birbirlerine göre miktarı, dağılımı ve üretim şartları dikkatlice kontrol edilerek bu özellikler daha da iyileştirilebilir veya takviye elemanının tane boyutu ve hacim oranı ayarlanılarak arzu edilen doğrultuda değiştirilebilir. Fakat seramikler sert ve rijit olmalarına rağmen bu kompozitler bazen düşük rijitlikte olabilirler [24].

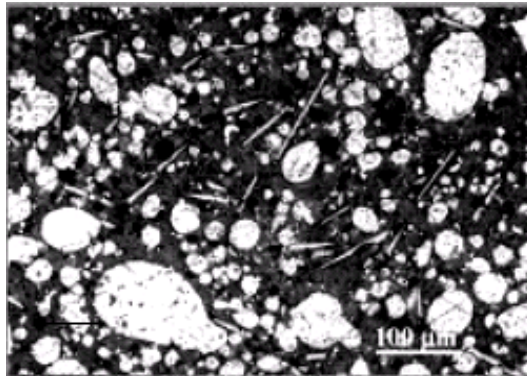
Hashim ve diğerleri ıslanabilirliği bir sıvının katı yüzeyine yayılabilme yeteneği olarak tanımlamışlar ve katı ile sıvı arasındaki yakın temasın varlığı ile temsil etmişlerdir. Ergimiş metalin yüksek yüzey geriliminden dolayı, metal-seramik sisteminde ıslanabilirliği sağlamak oldukça güçtür. Alüminyum oksijene karşı yüksek duyarlılığa sahiptir. Bu nedenle, alüminyum esaslı sistemlerde oksit oluşumundan kaçınmak güçtür. Ergimiş metal yüzeyinde oksit filminin varlığı takviye elemanının eriyik tarafından ıslatılabilmesini engeller. Çünkü bu oksit filmi, özellikle parçacıkların eriyik yüzeyinden ilave edildiği sistemlerde, parçacıkların sıvı metale girişine mani olur. Öte yandan seramik parçacıkların yüzeyleri bir gaz filmiyle kaplıdır. Bu tabaka seramik parçacıklarının kötü ıslanabilirliğinin sebeplerinden biridir. Bu gaz filmi sıvı metalin seramik parçacık yüzeyine temasını engeller. Bu nedenle parçacıkların sıvı metale ilave edilmesinden önce yüzeydeki bu gazlar kusturulmalıdır veya mekanik yolla karıştırma esnasında kırılmalıdır. Yüzey gerilmesinin aşılmasında ve ıslanabilirliğin arttırılmasında mekanik kuvvet de uygulanmaktadır. Yapılan araştırmalar, Al-Mg, Al-Si alaşımlarında matris

alaşımının tamamen sıvı olduğu durumlarda mekanik karıştırma ile zayıf bir ıslanmanın sağlanabildiğini, karıştırmanın yarı-katı halde yapıldığında ıslanmanın iyileştiğini göstermiştir [20,25].

Aynı kompozit yapıda iki, ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunduğu kompozitlere hibrit kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Farklı tiplerdeki hibrit kompozitler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir. 1. Matris içinde iki ya da daha fazla tabaka içerirler. Her tabaka belirli bir yöndeki takviyeleri içerir ve her bir tabakada belirli bir tip elyaf kullanılmıştır. Tabakalar amaca göre istenilen şekilde yerleştirilirler. 2. İki ya da daha fazla elyaf karışım halinde aynı tabakada yer alır ve tabakalar istenilen şekilde birleştirilerek hibrit kompozit elde edilir. 3. Reçine matrisli tabakalar ve metal matrisli tabakalar gibi farklı kompozit yapıları içeren süper hibritler elde edilebilir. Süper hibritlerde tabakalar bir yapışkan malzeme ile birleştirilirler. Şekil 1.1'de hibrit bir kompozitin optik mikroskop görüntüsü görülmektedir [26,27].

Metalsel malzemeler katı fazda iken belirli, bir düzen gösteren kristal yapıya sahiptir. Metalin sıvı durumdan katı faza geçişi esnasında atomlar malzemenin iç yapı özelliğine göre sıralanmaktadır. Burada, en küçük yapı elemanı olan birim kafes tekrarlanmak suretiyle kristal yapısı oluşmaktadır. Geleneksel olarak metallere plastik şekil verme yöntemleri; yığma, dövme, haddeleme, ekstrüzyon, soğuk çekme, boru imali, sac malzemelere şekil verme şeklinde sınıflandırılabilir.

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



Şekil 1.1. Hibrit kompozitlerin optik mikroskop görüntüsü [27].

metalurjisi 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 [28]. Azushima ve arkadaşları da metaller için aşırı plastik deformasyon (APD) işlemlerini incelemişlerdir. Aşırı plastik deformasyon çok ince tane yapıları yapmak için çok büyük plastik zorlanmayla yapılan metal şekillendirme işlemleri olarak tanımlanmaktadır. APD işleminin amacı çok ince tane yapısı elde ederek daha güvenli, çok mukavemetli ve çok hafif malzemeler üretmektir [3].

Öte yandan, Elsayen ve arkadaşları sıcak ekstrüze edilmiş Mg–Al–Mn–Ca'nın mikro yapı ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Ekstrüzyon işlemi 300, 350 ve 400 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ekstrüze edilmiş alaşımın tane yapısı incelmekte ve mekanik özellikleri iyileşmektedir [29].

Su ve arkadaşları döküm ve sıcak haddeleme ile üretilmiş Mg-6Al-0.3Mn-xY alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. AM60 magnezyum alaşımının mikro yapı ve mekanik özelliklerine itriyumun etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki itriyum içeriği ile Al_2Y çözültü şekli ve tane büyüklüğü azalmaktadır. Oda sıcaklığında döküm Mg-6Al-0.3Mn-0.9Y alaşımı için kopma direnci, akma direnci ve uzama sırasıyla 192 MPa, 62 MPa ve % 12.6'dır. Tüm bu özellikler sıcak haddeleme ile geliştirilmiştir. Kopma direnci, akma direnci ve uzama sırasıyla 303 MPa, 255 MPa ve % 17.1 olmuştur [30].

Mazahery ve Ostadshabani, Al_2O_3 takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapmışlardır. Hacimce % 0.75, 1.5, 2.5, 3.5 ve 5 oranındaki alüminyum oksit nano partiküllerini A356 alüminyum içinde mekanik karıştırıcı ile karıştırılarak, döküm işlemi 800-900 °C de gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikro yapı karakterizasyonu sonucunda, takviye elemanlarında düzgün

dağılım, alüminyum matraste tane incelmesi ve minimum porozite gözlemlenmiştir. Mekanik özellikler göstermiştir ki Nano partiküllerin varlığı basma ve çekme gerilmelerini her iki sıcaklıkta da belirgin olarak artırmıştır [31].

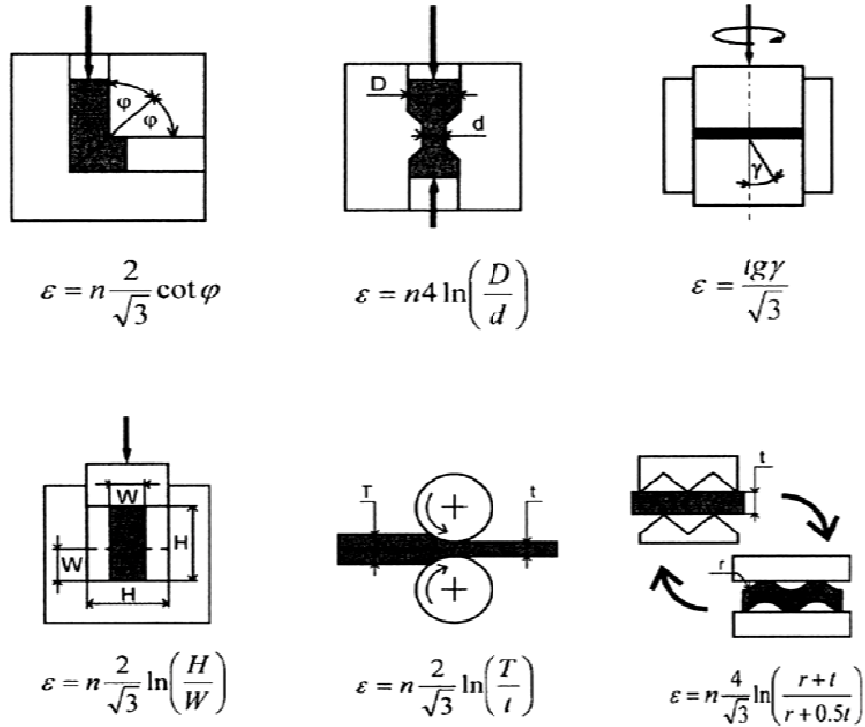
Metal biçimlendirme işlemleri içinde en fazla plastik deformasyon ya malzeme ya da takım hasarlanması ile limitlendiğinden dolayı, aşırı plastik deformasyon [Severe plastic deformation (SPD)] elde edilmesi zor gerçekleşir. Birkaç işlem, kontrollü haddeleme (accumulative rolling), çoklu çekme (multi-pass drawing) geniş plastik deformasyonu gerçekleştirmeyi mümkün kılar. Buna rağmen bu yöntemlerle üretilen metal folyolar ve mikro kablolar istenen formlar için yeterli değildir. Bu nedenle kesitlerdeki büyük değişimlerin dışında, SPD için uygun özel metal biçimlendirme işlemleri uygulanmalıdır. Bunlar ard arda takip eden temel SPD yöntemleri ile yapılabilir (Şekil 1.2).

Çok yeni olan bu tip temel işlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Eşit kanal açılı presleme işlemi (Equal channel angular pressing (ECAP, Segal, 1977);)
- Yüksek basınçlı burma işlemi (High pressure torsion (HPT, Valiev at al., 1989);)
- Kontrollü haddeleme (Accumulatibe roll bonding (ARB, Saito, Tsuji, Utsunomiya, Sakai, 1998))
- Karşıt ekstrüzyon işlemi (Reciprocating extrusion-compression (REC, J. and M. Richert, Zasadzinski, Korbel, 1979);)
- Döngüsel kapalı kalıpta dövme (Cyclic close die forging (CCDF, Ghosh, 1988);)
- Tekrarlanan buruşturma ve düzeltme (Repetitive corrugation and straightening (RCS, Zhu, Lowe, Jiang, Huang, 2001)).

Zrnik ve arkadaşları aşırı plastik deformasyon ile işlenen metallerin yapı ve mekanik özelliklerinin tepkisini araştırmışlardır. SPD metotları iri taneli metalleri ve alaşımları aşırı ince taneli (ultrafine grained (UFG)) malzemelere çevirmek için kullanmışlardır. Elde edilen UFG malzemelerin geniş ticari kullanımlar için, mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirilmiştir [32].

Bu konuda uygulanan yüksek basınç burulması, 196 ve 500 °C, arasında uygulanabilen bir SPD yöntemidir. Bu yöntem disk tipli parçaların üretiminde

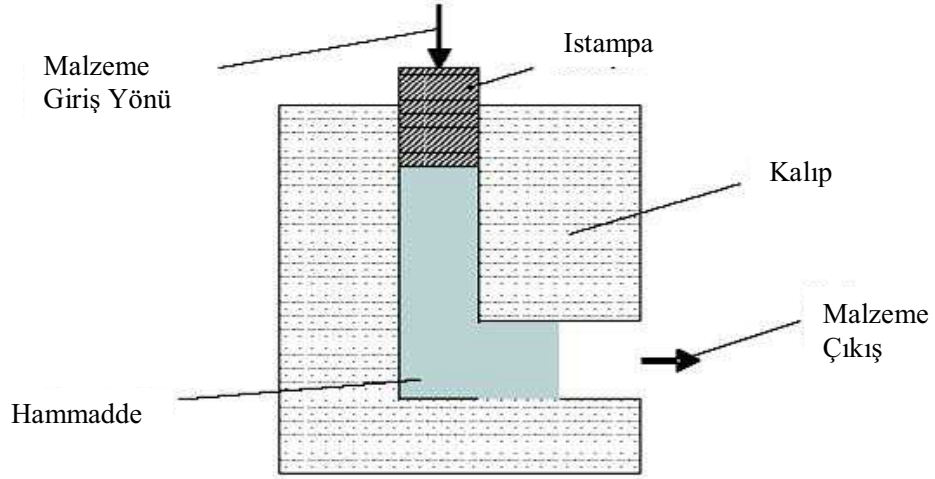


Şekil 1.2. Ana SPD yöntemlerinin şematik gösterimi [32].

kullanılabilir. Hidrostatik basınç altında çalışan iki ıstampadan alt ıstampaya döner ve parça deformasyona uğrar. Çoklu eğme ve düzeltme işlemi de bir başka SPD metotlarından ve tekrarlanan kırıştırma ve düzeltme işlemidir. Bu işlemde düz yüzey oluklu takımlarla belirli yerlerinden eğilir ve tekrar düzeltilir. Malzeme oluklara asimetrik olarak yerleştirilir ve işlem tekrarlanır [33].

Bir başka SPD işlemi olan eşit kanal açılı basma yönteminde ise Şekil 1.3'de görüldüğü gibi birbirini 90° açı ile kesen iki eşit boyutlu kanal vardır. Burada hammadde istenen kanalın bir tarafından bir ıstampaya ile basınç uygulanarak bastırılıp boyutları değişmeden diğer ucundan çıkartılır. Bu sırada malzeme kayma deformasyonuna uğramaktadır. Genleme miktarını dolayısı ile plastik deformasyonu artırmak için proses birkaç kez tekrarlanabilir.

Eşit dik kesitli yanal ekstrüzyon ise eşit kanal açılı basmanın özel bir halidir. Bu yöntemde birbirini 90° açıdan daha büyük açıda kesen iki kanal vardır. Bu kanalın bir S harfi şeklinde olup açısının kanalın her iki ucunda aynı olması hali ise S tipi eşit dik kesitli yanal ekstrüzyon olarak adlandırılır. Burada da malzeme kanalın bir ucundan ıstampaya vasıtası ile bastırılıp diğer ucundan deforme edilmiş ancak boyutları değişmemiş olarak çıkartılır. Toplam genleme miktarını artırmak için



Şekil 1.3. Eşit kanal açılmal basma yönteminin şematik görünümü [28].

proses bir kaç kez tekrarlanabilir [28].

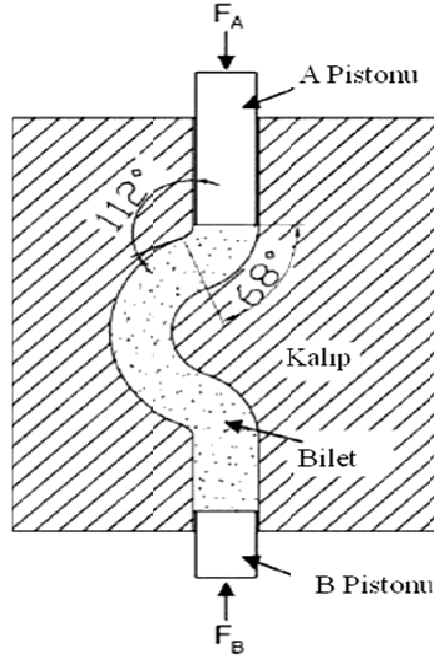
Eşit kanal açılmal işlem düşük güç gerektirir ve düşük zımba basıncı oluşur. Kesme gerilmesi $tg\gamma$ için ifade, P =işlem basıncı olmak üzere

$$tg\gamma = \sqrt{3}\frac{P}{Y} \text{ eşitliği ile gösterilir.}$$

ECAP metodunun yüksek basınç içermemesi makine ve kullanılan aletler için avantajlıdır. İşlem gevrek malzemelere uyguladığı zaman bu dezavantaja dönebilir. Hatta sünek malzemelerde hasar oluşumundan kaçınmak için biraz daha yüksek basınç gerekli olabilir ve sünekliğide büyük ölçüde düşürebilir. Sıcaklık yeterince yüksek olursa düşük basınçlarda kırılmal malzemeleri işlemek mümkün olabilir. Yinede bu durum uygun olmayan akış ve kırılma sebebiyle malzeme davranışlarını değiştirebilir [32].

Wang ve arkadaşları SPD metodu ile işlem görmüş Magnezyum alaşımının mikro yapı ve özelliklerini incelemiştir. Yeni bir metot olan SPD metodu C şekilli eşit kanallı karşıt ekstrüzyon olarak adlandırılan (CECRE) ince taneli AZ31 Mg alaşımlarının üretimi için geliştirilmiştir (Şekil 1.4). Sonuçlar göstermiştir ki ortalama tane boyutu $3.6 \mu m$ olan homojen mikro yapı elde edilmiştir. CECRE işlemi süresince dinamik rekristalleşme (DRX) oluşumuna yol açan belirleyici şekil değişimi tane incelmesinin başlıca nedeni olmuştur. Aynı zamanda AZ31 alaşımının sertliği ekstrüzyon ile imal edilmiş olanınkine (62.6'dan artarak 74.6'ya) CECRE ile

4 geçişte ulaşmıştır.



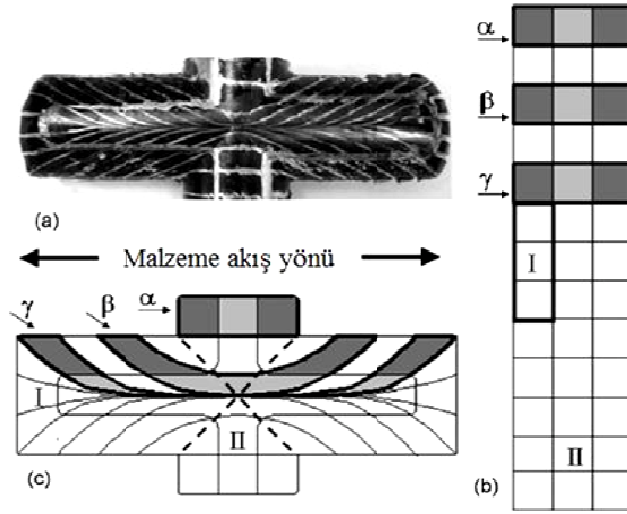
Şekil 1.4. C şekilli eşit kanallı karşıt ekstrüzyon (CECRE) şematik çizimi [34].

Sonuç olarak yeni SPD metodundan CECRE olarak isimlendirilen işlem, Mg alaşımına döngüsel deformasyon biçiminde başarılı bir şekilde uygulanmıştır ve hiçbir tehlikeli çatlak oluşmadan şekil değişimi 11 defa uygulanmıştır. Homojen, ince, ortalama tane boyutu $3.6 \mu\text{m}$ olan mikro yapı CECRE işlemi ile şekillendirilmiştir. Sadece 4 geçişten sonra çok ince taneler 500nm 'den daha küçük boyutlarda tüm numunede görülmüştür. AZ31 alaşımının sertliğindeki artışın ekstrüzyon geçişlerinin artışından olduğu açıkça görülmüştür [34].

Chou ve arkadaşları [35], Sn (kalay) örneği ve A356 alüminyum alaşımı ile çapraz kanallı ekstrüzyon işleminde deformasyon karakteristiğini incelemişlerdir. Çalışmalarında A356 numunesinin mikro yapıları gözlemlenmiş ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Tek geçişte kesme gerilmesi ya da ters yönde presleme ile deforme edilen numuneler elde edilmiştir. Bununla birlikte ekstrüzyon geçişleri 10'a yükseltilecek A356 numunesinin tüm alanı iyi bir şekilde deformasyona uğratılmıştır.

Çapraz kanallı ekstrüzyon yöntemi çok ince taneli hacme sahip malzemeler üretmek için geliştirilmiştir. Metal akışı ve deformasyon karakteristiğini göstermek için saf Sn numune yüzeyinde kafes yapısı oluşturularak ekstrüzyon yapılmıştır.

Deforme olmuş kafes yapıları simetrik kısımlar şeklinde açığa çıkmıştır (Şekil 1.5 a).



Şekil 1.5. (a) Tek geçişte ekstrüze edilmiş Sn numune (b) Deforme olmamış kafes yapısının taslağı (c) Deforme olmuş kafes yapısının taslağı [35].

Deforme olmuş ve olmamış kısımlar Şekil 1.5 b ve 1.5 c'de işlemin deformasyon karakteristiğini göstermektedir. Merkez kısmın deformasyonu ve dış kısımdaki deformasyon karakteristiği farklılık gösterir. Ekstrüzyon geçiş sayısı çift olduğu zaman makro yapı kuşak yapısı hariç deforme olmuş yapıdan yeniden elde edilen bir yapı olduğu gözlemlenmiştir. Kuşak yapı ekstrüzyon geçişleri arttığı zaman daha geniş ve daha karmaşık bir karakteristik sergiler. Ekstrüzyon geçiş sayısı 10 olunca makro yapı iyi deforme edilmiş bir yapı haline gelmiştir. Pres alanı hariç tüm yapı iyi deforme edilmiştir [35].

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların bazıları aşağıda özetlenmiştir.

1. Numune merkezinde meydana gelen deformasyon ters yönde uygulanan presleme ile elde edilmiştir.
2. Mikro yapı ve sertlik ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, 10 ekstrüzyon geçiş sayısı sonrasında iyi deforme olmuş bir yapı elde edilebileceğini göstermiştir.
3. İnce taneli A356 alaşımı $0.5-3 \mu\text{m}$ tane boyutlarında 2 ekstrüzyon geçişi sonrası 623 K'de elde edilmiştir.

Balog ve arkadaşları [36] eş kanallı açısız presleme yöntemi ile Al (%99.7 saflıkta, 1,3 micron) tozunun çok ince mikro boyutlara takviye edilerek, bu yöntemin mikro

yapı ve mekanik özelliklere etkilerini incelemişlerdir.

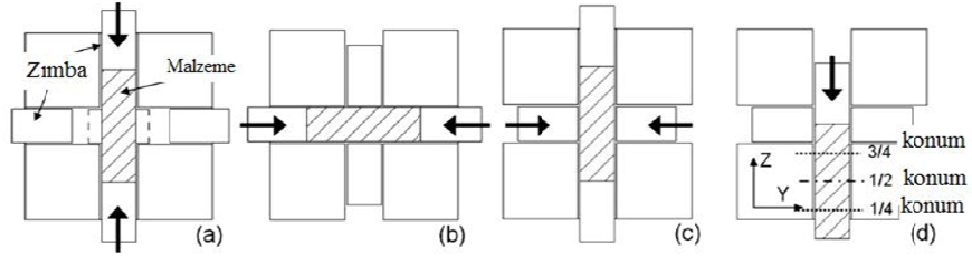
Direk ekstrüzyona alternatif olan eş kanallı açısız presleme (ECAP) inceltmiş atomik boyutta Al tozunu takviyelendirme için farklı bir yöntem olmuştur. ECAP prensip olarak basit yırtılma durumunda gereksiz normal kuvveti en aza indirerek baskı yüklerinden dolayı oluşan akmayı azaltmaktır. Direk ekstrüzyona kıyasla ECAP ile yeni yüzey alanına sahip sıkıştırılmış hacimler elde etmek daha kolaydır.

Numune üretimi farklı ekstrüzyon sıcaklıklarında ve farklı ekstrüzyon oranlarında (R=11:1,20:1,44:1) gerçekleştirilmiştir. SEM görüntüleri 1 μm atomik boyuttaki tozun kaba ve düzensiz bir yüzey morfolojisine sahip olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan çok fazla miktarda küresel parçacık olduğu tespit edilmiştir. TEM analizleri ise 1 μm boyutlu tozun mono kristalli yapıda olduğunu ve küçük bölgesel dislokasyonlar olduğunu gösterir.

Ekstrüze edilerek sıkıştırılan numunelerin incelenmesi sonucu çok ince taneli mikroyapı olduğu görülmüştür ve tanelerin ekstrüzyon yönünde uzama göstererek nanometrik boyutta Al yüzey oksit dağılımlarının kararlı yapıda olduğu tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında en büyük çekme kuvveti olan 310 MPa değerine ulaşılmıştır. Charpy darbe deneylerinde 45 Jcm^{-2} kırılma tokluğu değerine ulaşılmış ve süneklik özelliğinde %10' a varan iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda geri preslemenin ECAP işlemi boyunca çatlakların oluşumu engellemek için kaçınılmaz olduğu kanısına varılmıştır [36].

Chou ve arkadaşları [37] yaptıkları çalışmalarında AA6061 Al alaşımını çapraz kanallı ekstrüzyon işlemi ile şiddetli deformasyona uğratarak, çapraz kanallı ekstrüzyonun mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın başlangıcında AA6061 alaşımının tane boyutu yaklaşık 700 μm olup, 473 K'den 573 K sıcaklığa kadar 8 geçişli ekstrüzyon sonrası ince taneli yapı 0.2-4 μm tane boyutlarında gözlemlenmiştir. Daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti düşük sıcaklıkta elde edilen numunelerde gözlemlenmiştir. Bununla beraber artan ekstrüzyon geçişleri ile gittikçe incelen dağılıma ve uzama özelliğinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada AA6061 alüminyum alaşımı 99,9 wt % saf alüminyumdan üretilmiş olup Al-75 wt% Cr , Al-50 wt %Cu kimyasal içeriğindedir ve saf magnezyum ilave edilmiştir.

Şekil 1.6'da 2 geçişli ekstrüzyon işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Numunenin koordinatı (d)'de tanımlanmıştır.



Şekil 1.6. Çapraz kanallı ekstrüzyon işleminin şematik resmi [37].

Ekstrüzyon sıcaklıkları ve geçiş sayılarının mikroyapı üzerindeki etkileri şu şekilde tanımlanmıştır. TEM görüntülerinden elde edilen sonuçlar, 2 geçiş yapılmış numunede tane yapısında artan ekstrüzyon sıcaklığı ile tanelerde irileşme eğilimi olduğunu göstermiştir. 473 K sıcaklıkta ekstrüze edilmiş numunenin tane yapısı büyüklüğünün $0.2 \mu\text{m}$ ve $0.5 \mu\text{m}$ arasında olurken 523 K ve 573 K sıcaklıklarındaki ekstrüzyonda ortalama tane büyüklüğü $0.6 \mu\text{m}$ 'den $1 \mu\text{m}$ yükselmiştir.

Döküm numunedeki dentritik yapı homojenleştirmeden sonra yok edilmiştir. Ortalama tane büyüklüğü $700 \mu\text{m}$ 'dir. Dentritik yapı, 803 K sıcaklıkta 8 saat süre ile homojenleştirme yapıldıktan sonra, fırın ortamında yavaşça soğutulularak yok edilmiştir. Homojenleştirilmiş malzeme demek 0 geçişli numune anlamına gelip ortalama tane büyüklüğü $700 \mu\text{m}$ 'dir. Çapraz kanallı ekstrüzyon işlemi homojenleştirmeden sonra yapılmıştır. Bu çalışmada AA6061 alaşımı 473 K, 523 K ve 573 K sıcaklıklarında sırasıyla 2, 4 ve 8 geçişte çapraz kanallı ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuştur. Ekstrüzyon sıcaklıkları en iyi deforme olmuş çatlak olmayan iş parçasını elde etmek için seçilmiştir. Ekstrüzyon hızı 0.2 mm s^{-1} değerinde sabitlenmiştir.

Tane büyüklüğünün artan ekstrüzyon sıcaklığı ile artmasında olduğu gibi ekstrüzyon geçişleri 8'e çıkınca, 8 geçişli numune ile 2 geçişli numunenin aynı eğilimi gösterdiği anlaşılmıştır. 473 K sıcaklıkta 8 geçişte ekstrüze olmuş numunenin tane yapısı büyüklüğünün $0.5-1 \mu\text{m}$ olduğu, ekstrüzyon sıcaklığı 523 K'e ve 573 K'e çıkınca ortalama tane yapısı büyüklüğünün sırasıyla $1,2 \mu\text{m}$ ve $3 \mu\text{m}$ olduğu anlaşılmaktadır. Bununla beraber tane yapısının şeklide artan ekstrüzyon geçiş sayısı ile eşeksenli yapıya daha çok benzemiştir. Bu çalışmada tane sınırlarındaki göçün malzemenin

kanalların kesişim bölgesinden geçtikten sonra olduğu düşünülmektedir.

Ekstrüze edilmiş numunelerin sertlik eğrileri artan ekstrüzyon sıcaklığı ile düşmüştür. Çünkü dislokasyonların yok olması daha çok yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarında ortaya çıkar. Bununla birlikte çalışma sertlik değerinde azalma olmuştur. İnce tane yapısı düşük ekstrüzyon sıcaklığında elde edilmiş ve ince taneyi kuvvetlendirme işlemi yüksek sertlik değerine ulaşılması ile sonuçlanmıştır. Bunlara ek olarak sertlik değeri artan ekstrüzyon geçişleri ile azalmıştır, çünkü tane yapısı irileşmiştir.

En büyük çekme gerilmesi ve akma gerilmesi azalan ekstrüzyon sıcaklığı ile artmıştır. Sonuçlar sertlik eğrileri içinde benzer olup yüksek çalışma sertlik değeri ve ince tane boyutu ile uyum gösterir. Ek olarak 2 ekstrüzyon geçişi sonrası gözenekler ve büzülmeler gibi kusurların ortadan kaldırılması vasıtasıyla uzama oranı artmıştır. 473 K sıcaklıkta 2 geçiş ile elde edilen ekstrüzyon numunesinin ise uzama değeri azalmıştır. Çünkü çalışma sertlik değerinin etkisi kusurların yok oluşunun avantajını engeller. Detaylı mekanik özellik değerleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

AA2024 Al alaşımında geniş dağılımın çatlak başlangıcı gibi davrandığını ve süneklik için zararlı etkisi olduğuna karar vermişlerdir. AA2024 Al alaşımının uzama değeri karşıt ekstrüzyon yöntemi ile elde edilen numunelerde artış göstermiştir. Çünkü Ekstrüzyon geçişlerinin arttırılması ile yapıdaki dağılım kademeli olarak inceltirilmiştir.

Choua ve arkadaşları bir başka çalışmada, katkısız Sn ve Al-7Si-0.3Mg alaşımı üzerine EKE işleminin etkileri ve deformasyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Deformasyon ile silisyum parçacıklarının Al matrisinin her tarafına dağıldığı görülmektedir. Birinci geçişten sonra büyük silisyum parçacıkları kırılarak daha küçük parçacıklar haline gelmiştir. Silisyum parçacıklar daha küçük ve küresel şekli

Tablo 1.1. Ekstrüze edilmiş numunenin mekanik özellikleri [37].

Ekstrüzyon geçiş sayısı	En büyük çekme mukavemeti (MPa)			Akma Mukavemeti (MPa)			Uzama (%)			Sertlik (HRF)		
	473K	523K	573K	473K	523K	573K	473K	523K	573K	473K	523K	573K
2	206	155	131	182	107	79	11.5	20.0	23.1	71	50	21
4	200	161	118	175	115	71	12.1	19.7	32.3	68	52	14
8	183	145	127	154	102	74	18.5	28.2	34.2	60	37	15
0		103			49			12.6			10	

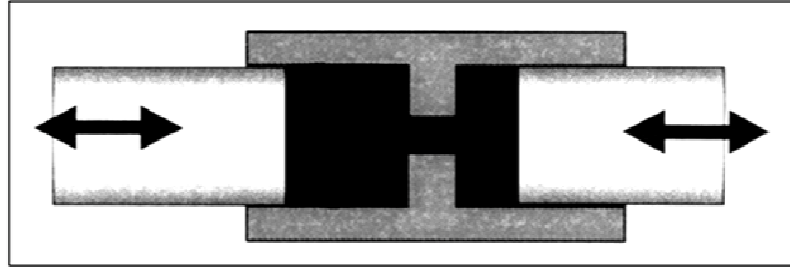
aldığından 10 geçişten sonra kolayca kırılmamaktadır. Numunelerin tane yapısının gözlemlenmesi için TEM kullanılmıştır. EKE ile ince tane yapılı malzemelerin üretilebileceği belirtilmektedir [36].

Zheng ve arkadaşları oda sıcaklığında EKE ile üretilen 7050 Al alaşımının mikro yapı ve mukavemetini ısıtma işlemiyle geliştirmişlerdir. Tane yapılarının ölçümü direk olarak geçirimli elektron mikroskobundan (TEM) lineer kesişim metodu kullanılarak yapılmıştır [38].

Wang ve arkadaşları da EKE aşırı plastik deformasyon metodu ile işleme tabi tutulmuş magnezyum alaşımının mikro yapı ve özelliklerini araştırmışlardır. EKE işleminden sonra AZ31 Mg alaşımının mikro yapısına dair detaylandırılmış bilgileri elde etmek için TEM kullanılmıştır. 4 geçişten sonra ince mikro yapı elde edilmektedir. Düşük sıcaklıklarda yeterli geçiş sayısı ile çok ince tane yapı elde edilmiştir [34].

Son on yılda aşırı plastik deformasyon ile çok ince tane/nano yapılı malzemeler elde etmek için birçok araştırma yapılmıştır. Fu ve arkadaşları EKE işlemi ile döküm Al-6061'in tane küçülmesini araştırmışlar, döküm malzemelerin tane yapılarını inceltmenin en iyi yöntemini, farklı işlem parametrelerini karşılaştırarak ve simülasyonunu yaparak belirlemişlerdir. EKE'nin 16 geçişini, deneysel ve sonlu elemanlar simülasyonu ile desteklenerek araştırmışlardır. Deney sürecinde Al-6061 için EKE ile 16 geçişe kadar nano yapı elde edilmemiştir. En ince tane boyutu $71 \mu\text{m}$ seviyelerinde olmuştur. EKE işleminin geçiş sayısı ve mekanik özellikleri arasındaki ilişki karşılaştırılmıştır [39].

Pardis ve arkadaşları aşırı deformasyon yöntemlerinden, çevrimsel sıkıştırma ekstrüzyon yönteminin yeni geliştirilmiş bir çeşidi olan çevrimsel genişletme ekstrüzyon yöntemini [Cyclic expansion-extrusion (CEE)] geliştirmişler (Şekil 1.7). Bu yöntemin avantajı istenilen geçiş sayısında işlem yapılana kadar numunenin kalıp içerisinden çıkarılmasına ihtiyaç duyulmamasıdır. Ayrıca, diğer yöntemlerin çoğunun ihtiyaç duyulduğu gibi ters yönde hiçbir basınca ihtiyaç yoktur. Geliştirilen bu yöntemle AA 1050 alaşımı aşırı deformasyona uğratılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki çevrimsel genişletme ekstrüzyon yöntemi malzemenin sertliğinde homojenlik sağlarken gerinimide artırmıştır [40].



Şekil 1.9. Karşıt ekstrüzyon metodu [34].

Piston basıncına ilaveten şekillendirme kuvveti daha çok sürtünmeye bağlıdır. Şekil 1.9'da düşük karbonlu çelikler için aktif kuvvet ve kalıp basıncı verilmiştir ve sürtünmeli ve sürtünmesiz elde edilen simülasyon gösterilmiştir. Neticede şekillendirme kuvveti yüksektir, daha pahalı pres gereklidir ve aletler için özel malzemeler kullanılır [32].

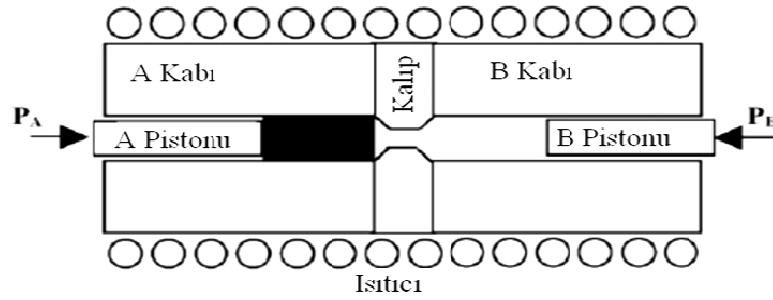
Yeh ve arkadaşları ince ve düzgün mikro yapılar ve üstün özelliklerde hiperötektik Al-20wt.% Si üretmek için Karşıt Ekstrüzyon işlemini geliştirmişlerdir. Hızlı katılaştıran katmanlar ve döküm biletler şeklinde üretilen malzemeleri başlangıç malzemesi olarak kullanmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki hızlı katılaştırmış alaşımların katmanları arasındaki ara yüzeyler tamamen kaybolmuştur 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. Oluşturulan daha ince Si partiküllerinden dolayı, hızlı katılaştırmış alaşımlar, İngot işlem alaşımlarına göre mekanik özelliklerin daha iyi kombinasyonunu göstermiştir. Kırılma yüzey incelemeleri ingot işlem malzemeleri içindeki büyük Si partiküllerinin, kırılma hasar miktarını artırdığını göstermiştir [2].

Zhang ve arkadaşları hızlı katılma ve karşıt ekstrüzyonla üretilen Mg-6.4Zn-1.1Y alaşımının mikro yapısını incelemiştir. Yüksek mukavemetli kristalimsi güçlendirilmiş magnezyum alaşımlarını hazırlanma metodlarını 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 etmişlerdir ve birleşen fazları XRD ile ortaya çıkarmışlardır [42].

Lee ve arkadaşları 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 karşıt ekstrüzyonla elde etmişlerdir. Çekme durumunda akma mukavemeti ve son çekme mukavemeti sırasıyla 306 ve 376 MPa'dır. Sözü edilen takviye mekanizmaları, inceltirilmiş α -Mg matrislerine ince taneli sert Mg₁₇Al₁₂ fazının hacimsel olarak yüksek oranı ile de katkıda bulunmuştur [43].

Guoa ve arkadaşları 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 ağlar ile 45 μ m olduğu rapor edilmiştir. Karşıt ekstrüzyon yapılmış alaşımın mikro yapısı ortalama tane boyutu 1.3 μ m ve homojen dağılımlı 80nm çapta parçacıklarla takviyelenmesiyle daha üniform olmuştur [44].

Chu ve arkadaşları, karşıt ekstrüzyon prosesi kullanarak Al (grafit, Al₄C₃) insitu kompozit üretmişlerdir. 6061 Al alaşım tozu öncelikle vakumda 450 °C'de kurutma yapılmıştır ve sonra %20'ye varan çeşitli hacim oranlarında grafit tozuyla karıştırılmıştır. Karıştırılmış toz kütük olarak sıcak preslenmiş ve sonunda karşıt ekstrüzyon makinası 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. İn situ grafit Al matris ile tepki gösterip karşıt ekstrüzyon ve sonraki çözelti işlemi boyunca ince dağılmış ve Al₄C₃ 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, Al₄C₃) kompoziti 24 saat çözeltiye alınmıştır ve sonra maksimum yaşlandırma yapılmıştır. Kompozit 7075-T6 alaşımı sertlik seviyesine ulaşmıştır. Al₄C₃ uzatılan çözeltiye alma işlemi süresince kompoziti



Şekil 1.10. Şematik karşıt ekstrüzyon metodu [47].

mukavemetlendirmiştir. Aşınma testleri göstermiştir ki 20% (grafit, Al_4C_3) içeren, 24 saatlik çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuş kompozitin 6061 alaşımlarına göre, aşınma ve sürtünme oranları % 50 -70 azalmıştır [45].

Guoa ve arkadaşları, Mg-6.0%Zn-1.0%Y-0.6%Ce-0.6%Zr alaşımı, hızlı katılaşmış ve parçalanmış şeritlerden karşıt ekstrüzyonla elde etmişlerdir (Şekil 1.10). 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 nm dir. Gözlemlenen çukur, çekme kırılmaları sünek kırılma özelliğindedir [46].

RS ve RE ile yüksek çekme dayanımlı (336 MPa) yüksek süneklikte malzeme (%27) RE-x-EX (Extrusion) geliştirilmiştir. 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 dolayı olmuştur [37].

Yung ve arkadaşları karşıt ekstrüzyonun üç aşamalı modellerini oluşturmuşlardır. Bu çalışmada üç aşamalı erime işlemleri süresince karşıt ekstrüzyonunda geçici matematik modelleri çalışılmıştır. Önceki çalışmalarda karşıt makinelerde matematiksel geçici modellerin kontrol, tahmin ve plastik işlemi analiz etmek için çok kullanışlı olduğu saptanmıştır [47].

Chu ve arkadaşları, karşıt ekstrüzyonla üretilmiş 6061- Al_2O_3p kompozitleri

çalışmışlardır. Karıştırılmış tozlardan oluşturulmuş 6061- Al_2O_3 p kompozitlerin mukavemetini arttırmak için karşıt ekstrüzyon işlemi geliştirilmiştir. İlk önce 6061 alaşım tozlar $450\text{ }^\circ\text{C}$ de vakum odasında kurutulmuştur ve sonra değişik hacim oranlarında yüzde 0, 5, 10, 20 ve 30, $12.5\text{ }\mu\text{m}$ Al_2O_3 tozlar ile karıştırılmıştır. Karıştırılmış tozlar 300 MPa basınç altında $300\text{ }^\circ\text{C}$ de sıcak preslenmiştir ve son olarak $460\text{ }^\circ\text{C}$ de 14 defa karşıt ekstrüzyon yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki kompozitler tamamen yoğunlaşmıştır, optik mikroskopta gözlenebilir gözenek ve oksit tabakası izine rastlanmamıştır. Al_2O_3 partikülleri matrix içine uniform olarak dağılmıştır. 6061 alaşımları ile karşılaştırıldığında, kompozitlerin daha az çökme sertleşmesi ve uzama gösterdikleri, fakat elastikiyet katsayısı (Young's modulus) yüksek ve pekleşme kapasitesi daha geniş oluşmuştur. Kompozitler çelik disk yüzeyine karşı 6061 alaşımından daha yüksek sürtünme katsayısına ve daha büyük aşınma direncine sahip olduğu rapor edilmiştir [48].

Chen ve arkadaşları karşıt ekstrüzyon ile elektrik iletim SnO_2/Ag kompozitlerin üretimini yapmışlardır. Basit toz parçalarını birleştirmede kullanılan karşıt ekstrüzyon geliştirilmiş, özelliklerle Ag ve SnO_2 tozlarından elektriki iletken SnO_2/Ag kompozitleri üretmek için kullanılmıştır. Ekstrüzyonun 20 geçişinden sonra, SnO_2 partikülleri Ag matrix içinde uniform olarak yayılmıştır. Kompozitin sertliğini ekstrüzyonun geçişi oldukça yükseltmiştir ve 10 geçişten sonra sabit kalmıştır. Buna karşın elektrik iletkenliği 5 geçişten sonra yavaş yavaş artmıştır. Sıcaklık ile ısıl genleşme katsayısındaki değişim şu şekilde belirtilmiştir. Ekstrüzyon geçişi ile SnO_2/Ag ara yüzey dayanımı yükselmiştir ve 20 geçişten sonra en yüksek seviyede olmuştur. SnO_2/Ag kompozitleri 20 geçişten sonra hem düşük hemde yüksek akım şartlarında erozyon testi süresince katottan anota kütle transferinde kütle kaybı olmayan en iyi elektrik iletim özellikleri göstermiştir. Bu metotla üretilen elektrik iletken kompozitleri fiyat ve performans düşünüldüğünde elektrik bağlantılarında uygulama için ümit verici bulunmuştur [49].

Lee ve Yeh karşıt ekstrüzyon işlemi uygulanan Al-5.8Mg- 0.23Mn alaşımlarının mikro yapısal gelişimini ve süper plastisitesini incelemiştir. Karşıt ekstrüzyon metodunun geliştirilmesi, homejenleştirme önceliğinin dışında, dayanımı ve süper plastikliğini artırmak için Al-5.8Mg-0.23Mn alaşımlarının inklüzyon ve tane yapısını incelemek için yapılmıştır. Alaşımli döküm biletler 1, 5 ve 10 geçiş için $450\text{ }^\circ\text{C}$ 'de

10:1 ekstrüzyon oranında ekstrüze edilmiştir. On geçişten sonra, tane yapısı $4.6 \mu\text{m}$ ye düşmüştür ve kaba inklüzyonlar $2 \mu\text{m}$ ye incelmıştır. Bu çalışmada, billetin içindeki dinamik rekristalizasyon tane ölçüsü limiti elde edilene kadar ekstrüzyonun geçiş sayısı artırılmıştır. Sonra, dinamik rekristalizasyon artık etkilenmemiştir. Çünkü dislokasyonun yerine tane sınırı kayması ekstrüzyon için gerekli deformasyon uzaması (gerinim-strain) uyum sağlamıştır. Ekstrüzyonla on geçişle yapılan alaşımlar ticari Al-Mg alaşımlarından daha kuvvetli ve daha sünek bulunmuşlardır ve süperplastiklik davranışının da geliştiği görülmüştür. Bu avantajlar ispat etmiştir ki, karşıt ekstrüzyon mekanik özelliklerini geliştirerek Al-Mg üretebilir ve onları yüksek uzama oranlı süperplastikli formda yapabilir [50].

Yeh ve arkadaşları karşıt ekstrüzyonla üretilen Al-12 Wt Pct Si alaşımının mikro yapısı ve çekme özelliklerini incelemiştir. Karşıt ekstrüzyon işlemi ince ve düzgün mikro yapılar ve üstün özelliklerde Al-12 wt pct Si alaşımları üretmek için geliştirilmiştir. Al-20wt.% Si nin iki başlangıç formu kullanılmıştır. Biri diskten yapılmış çekiç ve örs (hammer-and-anvil) metodu, diğeri döküm tekniği ile üretilmiştir. İki formda ekstrüzyondan belirli defa geçirilmiştir ve geçme sayısı ile mikro yapı ve özelliklerin gelişimi araştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, her iki durumda da Si faz partikülleri düzgün bir şekilde dağılmıştır [51].

Chu ve arkadaşları 6061 AL- Al_2O_3 p kompozitleri karşıt ekstrüzyon ile kompakt (sıkı) tozdan tamamen yoğunlaştırmışlardır. Al_2O_3 p partiküller matris içine düzgün şekilde dağıtılmıştır. Kompozitler karşıt ekstrüzyonun mekanik olarak yoğurması ile mükemmel süneklik göstermişlerdir. Deney numunelerinde ticari 6061 Al tozları ve $0.3 \mu\text{m}$ Al_2O_3 tozları kullanılmıştır. 6061 Al tozları Al_2O_3 p tozları ile karıştırılmadan önce 3 saat $450 \text{ }^\circ\text{C}$ de 0.1 tor vakum altında kurutulmuştur. Farklı hacim oranlarında (% 0, % 10, % 20) Al_2O_3 p ile toz karışımları manual olarak şişe içerisinde sallanmıştır. Karışıktan sonra tozlar $300 \text{ }^\circ\text{C}$ de 300 MPa basınçta 40 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda dairesel billet olarak sıcak preslenmiştir. Billetler $460 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 defa karşıt ekstrüzyonla deforme edilmiştir ve ekstrüzyon oranı 9.5:1 olduğu ifade edilmiştir. Son geçişte billet karşı pistona doğru 13 mm çapında uzun çubuk şekilde direk ekstrüze edilmiştir. Numuneler $530 \text{ }^\circ\text{C}$ de 1 saat çözeltiye alınıp, suda soğutulmuş ve yaşlandırılmıştır. Al_2O_3 p partiküllerinin ekstrüze edilmiş kompozitteki dağılımı SEM kullanılarak belirlenmiştir. Yaşlandırılan numunelerin

sertliği 5 kg yük altında Vicker sertlik testi ile ölçülmüştür. T6 temperlenmiş numuneler MTS 810 test makinesi ile 10⁻³ s⁻¹ gerinim hızında test edilmiştir. Çekme gerinimi numunelerin üzerine sabitlenmiş ekstensometre (genleşme ölçer) ile ölçülmüştür. DSC (Differential scanning calorimetry) çökme kinetik enerjileri için kullanılmıştır. DSC numuneler 25 °C den 500 °C ye dakika da 10 °C artarak ısıtılmıştır [52].

Lee ve Yeh çalışmalarında, 5083 alüminyum alaşımlar tane arıtıcı ile ayarlanarak, % 0,25 Zr ve % 0,46 Mn, yüksek akma gerilim oranlı süper plastikliği için -400 °C'de ve oda sıcaklığında mekanik özellikleri iyileştirmek için karşıt ekstrüzyon ile işlenmiştir. Önceden homojenleştirme işlemi olmadan, 10 ekstrüzyon geçişinden sonra yaklaşık tane boyutu 4,5 µm ve ikincil tane boyutu 0,2 µm olmuştur. İnce inklüzyonların ve matris içindeki bileşiklerin (dispersoids) düzgün dağılımını eşeksenli tane yapılı döküm biletler vermiştir. İnce taneli yapı 525 °C ye kadar kararlıdır. Alaşım 400 - 500 °C'de geniş bir çalışma sıcaklığı aralığında yüksek gerinim (highstrain) oranı ve düşük gerilim süper plastikliği vermiştir. Çekme deneyi 500 °C de, maksimum uzama % 1013 ve 5×10⁻² s⁻¹ de düşük akma gerilmesi 7,7 MPa olarak meydana gelmiştir. Düşük sıcaklıklarda (300–400 °C) yüksek gerilim oran süper plastikliği 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 1×10⁻² den 5×10⁻¹ s⁻¹ ye yüksek gerilim oran bölgesi üzerinde baskın mekanizma olarak doğrulamıştır ve güç-kuralı bozulma mekanizması 300 °C de 5×10⁻⁴ den 1×10⁻² 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 araştırılmıştır.

Kullanılan 5083 alaşımı, çevre şartlarında eritilmiş ve küçük biletler şeklinde pazlanmaz çelik kalıba dökülmüştür. Biletler 34 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda işlenmiştir, oksit tabakası kaldırılıp, ekstrüzyon kalıbının içine yerleştirilmiştir. 5083 alaşımının kimyasal bileşimi ICP-AES (inductively coupled plasma atomic emission spectrometer) ile analiz edilmiştir. Karşıt ekstrüzyonla istenen bu malzeme için kalıp ve iki piston RC55 sertlikte SKD-51 çelikten

yapılmışlardır. Karşıt ekstrüzyonda 450 °C de 10:1 ekstrüzyon oranında 10 geçiş yapılmıştır. 10. geçişte billetler çubuk şeklinde ekstrüzyon edilmiştir [53].

Zhang ve arkadaşları, Mg₂Si ile güçlendirilmiş yüksek silikon miktarlı Mg-Al esaslı kompozit malzemeyi sürekli döküm kalıbında dökerek hazırlamışlardır. Kompozit malzemeye homojenleştirme ısıl işlemi uyguladıktan sonra karşıt ekstrüzyon ile ekstrüde etmişlerdir. Karşıt ekstrüzyon işleminin yapı (morfoloji) üzerine ve Mg₂Si'nin boyutuna etkisi, kompozitin mekanik özellikleri Mg₂Si fazını inceltmek için ve kompozitin şeklini geliştirmek için yeni bir yol olarak araştırılmıştır. Sonuç göstermiştir ki karşıt ekstrüzyon Mg₂Si fazını inceltmede çok kullanışlı olmuştur. Daha fazla karşıt ekstrüzyon işleminden geçirme daha iyi inceltme etkisi yapmıştır. Mg₂Si fazının dağılımı kompozitin içinde daha düzgün olmuştur. Kompozit malzemeye karşıt ekstrüzyonla 12 geçiş işlemi yapıldıktan sonra, Mg₂Si fazlarının çoğu 20 µm nin altındadır ve kompozitin matrisi içinde düzgün dağılım oluşmuştur. Kompozitin mekanik özellikleri karşıt ekstrüzyon ile belirgin olarak yükselmiştir ve döküm durumundakinden çok daha yüksektir. Sıcaklık yükselirken, gerilme dayanımı düşmektedir. Karşıt ekstrüzyonla 12 geçişe tabi 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. Mg₂Si takviyeli Mg-Al esaslı kompozit 150 °C'de iyi ısıl dirence sahiptir. Isıya karşı mükemmel direnç, yüksek ergime derecesi ve kompozit içinde düzgün dağılım elde edilmiştir. İnce Mg₂Si fazlarının iyi ısıl kararlılığı, etkili olarak geride olan tane sınırı kaymasına ve dislokasyon hareketine bağlanmıştır [54].

Lee ve arkadaşları, karşıt ekstrüzyonu 7075 Al alaşımının tane yapısını ve inklüzyonları inceltmek için yeni bir metod olarak kullanmışlardır. Mikro yapı içindeki mekanizmalar ve özellikler tartışılmıştır. 5 geçişten sonra tane yapıları incelmıştır ve inklüzyonlarda 20 geçişten sonra incelmıştır. Dayanım seviyesi yaklaşık % 10 düşmesine rağmen, süneklik ve tokluk ekstrüzyon geçişinin artması ile önemli derecede artmıştır. Karşıt ekstrüzyonla ekstrüde edilmiş 7075 T6 alaşımları, klasik 7000 seri alaşımların yüksek dayanım-tokluk kombinasyonlarını göstermişlerdir. Onların kararsız çatlak büyüme durumunda kullanılan akma

mukavemeti 550 MPa'a kadar ulaşabilir [55].

Lee ve arkadaşları, Magnezyum alaşımları 21. yüzyılda yaşamımızı önemle etkileyen malzeme olarak göz önünde bulundurmışlardır. Hafif, tekrar kullanılabilir, fiziksel ve mekanik özellikleri ılımlı olduğundan ve bundan dolayı otomobil, bisiklet ve el aletlerinde kullanımının artmakta olduğundan Mg - 15Al - 1Zn alaşımını kullanmışlardır. Karşıt Ekstrüzyon işlemini Mg - 15Al - 1Zn alaşımının yüksek kullanım potansiyeli, üstün mekanik özellikleri sergilenmesi ve süper plastikliği için, RS (rapid-solidification)+PM(Powder metallurgy) yöntemlerindeki pahalı ve karmaşıklığı bertaraf etmek için kullanılmıştır. Bazı ince alaşımlar 325 °C'de yüksek şekil değiştirme süper plastikliği sergilemiştir ve maksimum uzama $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ de %1610'dan daha büyük ortaya çıkmıştır. Ayrıca 7075 - T736 alaşımından daha fazla mukavemet/yoğunluk oranına sahiptir [56].

K. Mueller ve S. Mueller AZ31 magnezyumun aşırı plastik deformasyonunu incelemişlerdir. Hafif malzemelerin otomobil ve uzay endüstrisinde kullanımı önemli olmasına rağmen, extrüde 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. Bu yüzden, ekstrüzyon işleminin geliştirilmesi ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. Bu çalışmada iki metod kullanılmıştır, birisi eşit kanallı ekstrüzyon işlemi, diğeri ise karşıt ekstrüzyondur. Bu metodlarla elde edilen numunelerin mekanik özellikleri test edilmiştir. Uygulanan yükler için mekanik özellikler optimize edilmiştir [57].

İnceltmiş mikro yapı ve geliştirilmiş mekanik özellikler elde edebilmek için Shi-Ying Yuan ve arkadaşları [58] 2024 Al alaşım ingotları ile 723 K'de karşıt ekstrüzyon işlemini 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. Diğeri taraftan dispersoid(dağınık) ve inklüzyonlarda küçülme başlayarak eşeksenli bir yapı durumuna gelmişlerdir. 20 geçiş sonrasında matris daha uniform hale gelmiştir. Karşıt ekstrüzyon süresince tane inceltmesi tekrar eden kısmi yeniden kristalleşmelerden ve yeniden kristalleşmenin iyileştirmesi inklüzyon

sayısı ve dispersoidlerin sayısındaki artıştan ileri gelmiştir. Partiküllerin yeniden dağıtılması ekstrüzyonun silindirik plastik akışı ve karşıt ekstrüzyon esnasında basma işlemi ile sağlanmıştır.

İlk 5 geçişte akma mukavemeti ve son çekme mukavemeti çok küçük oranlarda düşüş göstermiş fakat uzama miktarı daha fazla artmıştır. Daha çok geçişten sonra 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 kaynaklandığı belirlenmiştir. Uzama için en kayda değer iyileşme başlıca inklüzyonların azaltılmasından kaynaklanmaktadır.

Jin-bao ve arkadaşları karşıt ekstrüzyonla(KE) işlenmiş ZK60 Mg alaşımının mikro yapı ve kristalografik tekstür (doku) karakteristiklerini incelemişlerdir. Ekstrüzyon oranı 2.25, 230 °C de ve 8 geçişe kadar karşıt ekstrüzyon işlemi uygulanmıştır. Lokal kristalografik tane yapısı, tane boyutu ve dağılımı ve tane sınır karakteristikleri yüksek çözünürlüklü elektron mikroskobu geri saçılmalı demet kırınımı kullanılarak analiz edilmiştir. KE işlemiyle mikro yapıda belirgin bir inceltme olmaktadır. KE işleminde geçiş sayısının artması ile tane yapısı ölçüleri daha çok bir birine benzer şekilde olma eğilimindedir. KE'den sonra küçük açılı tane sınırlarının kırılması düşmektedir ve 8 geçişten sonra büyük açılı tane kırılması ortaya çıkarmaktadır. Üstelik başlangıçtaki lif tane yapısı rasgeledir ve KE süresince yeni tane yapısı gelişmektedir.

ZK60'ın mikro yapısı KE ile etkin olarak inceltilmektedir. Üstelik kristalografik yönelim KE deformasyonu ile düzenli dağılmaktadır. Başlangıçtaki lif tane yapısı dağınıktır ve KE deformasyonu süresince yeni tane yapısı değişmiştir. KE geçiş sayısının artması ile tekstür tipi sabit kalırken kutup yoğunluğu düşmektedir [59].

Wen-peng ve arkadaşları karşıt ekstrüzyon ile ince taneli ZK60 alaşımını üretmişler ve sıcaklığı 350 °C'den 450 °C'ye çıkararak düşük sıcaklık süperplastikliği elde etmişlerdir. Sonuçta alaşım, ortalama boyutu 5 μ m olan eş eksenli tanelere sahip yapı olmadığı ortaya çıkmıştır [60].

Literatür taramalarından anlaşılacağı gibi MMK'ların Karşıt ekstrüzyonu ile

davranışları konusunda yeterli çalışmaya rastlanamamaktadır. Eşit kanallı presleme üzerinde birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen karşıt ekstrüzyon üzerinde dünyada çok az, ülkemizde ise hiç bir çalışma yapılmadığı bir kere daha anlaşılmaktadır.

Yukarıdaki çalışmalardan da takip edileceği üzere, aşırı deformasyon işleminin tane inceltmesinde en etken metot, ancak işlem sıcaklığının önemli bir faktör olduğu anlaşılmaktadır. Bir birine zıtlıkta teşkil etse bazı çalışmalarda işlem sıcaklığı ile tane kabalaşması, bazılarında ise incelme olduğu belirtilmektedir.

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Gereç ve Yöntem

2.1.1. Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlama

Kompozit üretiminde kullanılan malzemeler, karıştırmalı dökümde Etial 60 (AA 6063) ve Etial 21 (AA 2014) ile TM'de kullanılan AA6061 ve AA2124 alüminyum alaşımlarının kimyasal içeriği Tablo 2.1'de verilmiştir. Karıştırmalı döküm ile TM yöntemlerini kıyaslayabilmek için bu tozlarla aynı içerikli döküm alınmaya çalışılmıştır. Ancak aynı içerikli döküm alüminyum alaşımları bulmak mümkün olmamış, aynı seriden içerikleri toz alüminyumlara yakın olan Etial 60 (AA 6063) ve Etial 21 (AA 2014) malzemeler kullanılmıştır. Kovanlar, kalıp ve pistonlar H13 (AISI 2344) çelikten yapılmıştır.

AA2124 ve AA6061 alüminyum alaşımı tozlar ortalama tane boyutu 30, 72 ve 114 μm olacak şekilde elenerek billet üretimine hazır hale getirilmiştir.

Tablo 2.1. Etial 60 (AA 6063), Etial 21 (AA 2014), AA6061 ve AA2124'ün kimyasal içeriği (ağırlıkça %).

	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
6061	95.8 - 98.6	0.040 - 0.35	0.15 - 0.40	<= 0.70	0.80 - 1.20	<= 0.15	0.40 - 0.80	<= 0.15	<= 0.25	<= 0.15
2124	91.2 - 94.7	<= 0.10	3.80 - 4.90	<= 0.30	1.20 - 1.80	0.30 - 0.90	<= 0.20	<= 0.15	<= 0.25	<= 0.15
Etial60 (6063)	98.566	0.007	0.028	0.258	0.538	0.017	0.516	-	0.030	0.041
Etial21 (2014)	86.580	0.059	9.196	0.779	0.683	0.777	1.607	-	0.220	0.099

Kompozit üretiminde kullanılan seramik tozlar;

SiC toz tane boyutu, 20 μm ,

Al_2O_3 toz tane boyutu, 20-50 μm ,

B_4C toz tane boyutu, 22-59 μm , olarak belirlenmiştir.

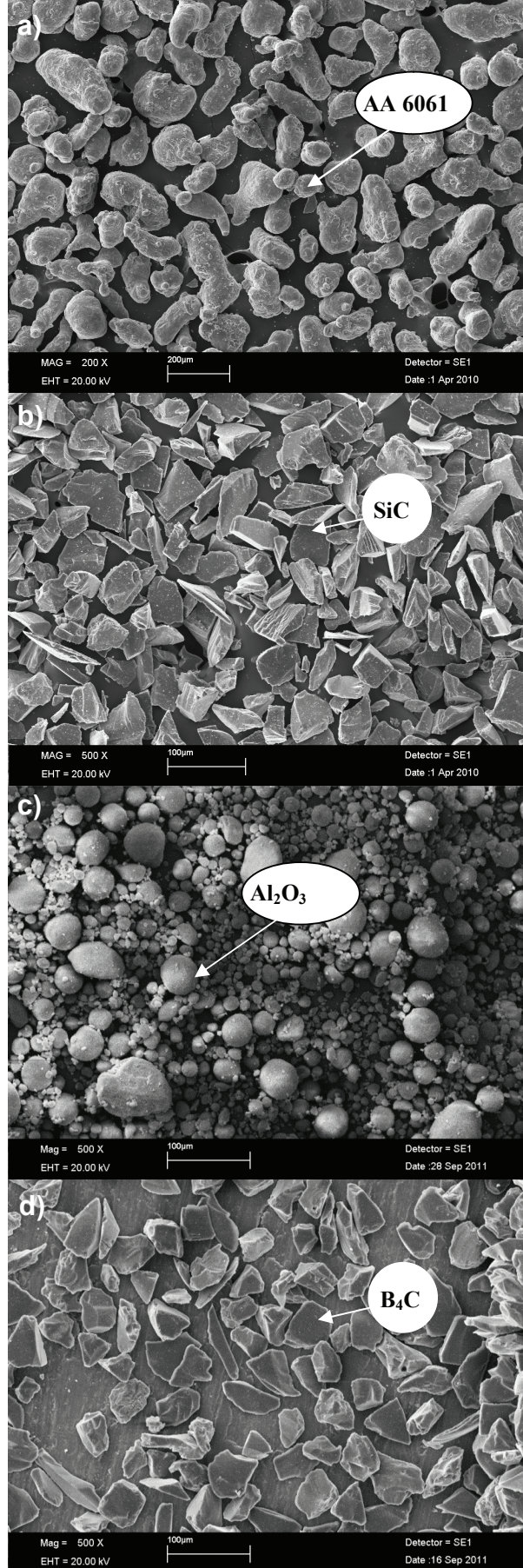
Kullanılan AA 6061, SiC, B_4C ve Al_2O_3 tozların SEM görüntüsü Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.1.2. Biletlerin Hazırlanması

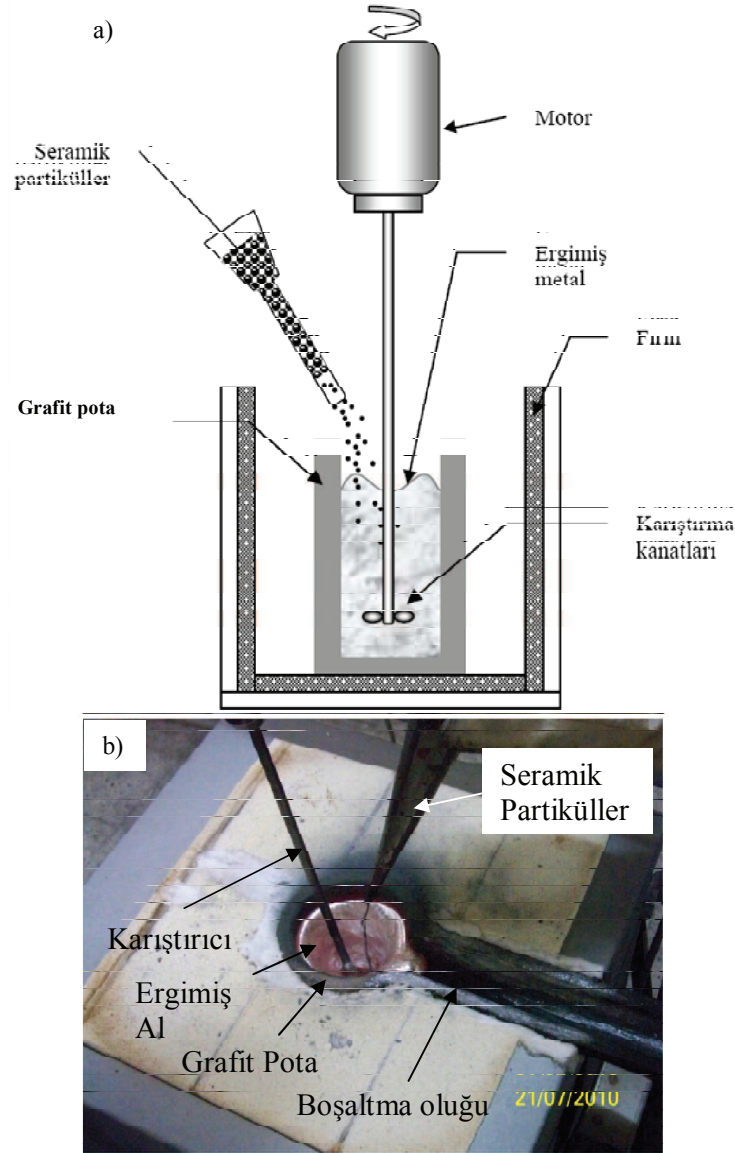
MMK biletlerin üretimlerinin de, hem karıştırmalı döküm (KD) hem de toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanılmıştır. Her iki yöntemle de ekstrüzyon sonrası tane değişimini gözleyebilmek ve seramik partiküllerin davranışını anlayabilmek için % 30, 20, 10 ve 5 hacim oranında takviye içeren takviyeli ve takviyesiz biletler üretilmiştir. TM yöntemiyle, stoğumuzda mevcut tozlar ve takviye malzemeleri dikkate alınarak, takviyesiz AA 6061 (72 μm) ve AA 6061 (114 μm) tozlardan biletler üretilmiştir. Bu yöntemle ayrıca %5 hacim oranlarında AA6061(72 μm)/SiC(20 μm), AA6061(114 μm)/SiC(20 μm), AA6061(114 μm)/ Al_2O_3 (20-50 μm), AA6061(72 μm)/ B_4C (22-59 μm) ve AA2124(24 μm)/SiC(20 μm) takviyeli biletler üretilmiştir. AA 6063 sarf malzemelerin eritilmesi suretiyle karıştırmalı döküm yöntemi ile de takviyesiz ve %5 SiC (20 μm) takviyeli biletler imal edilmiştir. AA 2124 (24 μm) biletlerde 275 °C'de KE yapılarak numuneler hazırlanmıştır.

2.1.2.1. Karıştırmalı Döküm Yöntemi ile Bilet Üretimi

MMK biletlerin karıştırmalı döküm (KD) ile üretilmesi; eritme, karıştırma ve döküm aşamalarından oluşmaktadır. İngot çubuk olarak temin edilen 6063 Al matris alaşımı, elektrik direnç ısıtmalı bir fırın içerisine yerleştirilen grafit potada eritilmiş ve eriyik sıcaklığı 850 °C'ye çıkarılmıştır. SiC tozları eriyik üzerine metal huni ile ilave edilirken, sıvı metal içerisine daldırılan karıştırıcı vasıtasıyla SiC parçacıklarının matris alaşımı içerisine düzgün dağılması sağlanmıştır (Şekil 2.2). Karıştırmalı döküm yöntemiyle takviyesiz alüminyum ve %5, %10, %20 hacim oranlarında 20 μm SiC takviyeli kompozit ekstrüzyon biletleri üretilmiştir. Üretilen biletler



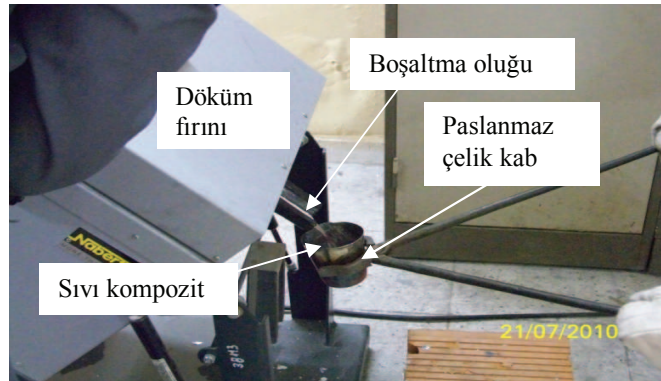
Şekil 2.1. Tozların SEM görüntüsü



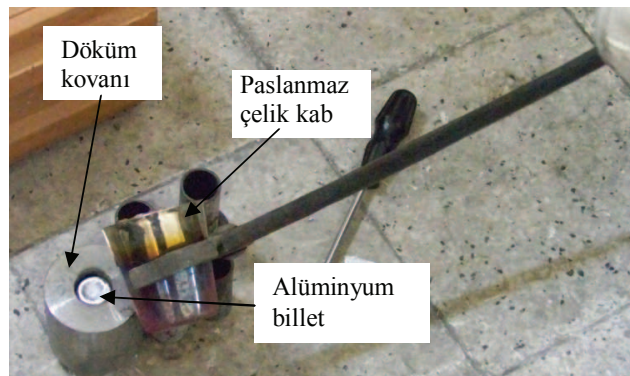
Şekil 2.2. Karıştırmalı döküm ünitesi a) Karıştırma prensibi b) Karıştırmalı döküm ünitesi.

KD AA6063/SiC(20 μm)/%5, KD AA6063/SiC(20 μm)/%10, KD AA6063/SiC(20 μm)/%20 şeklinde gruplanmışlardır.

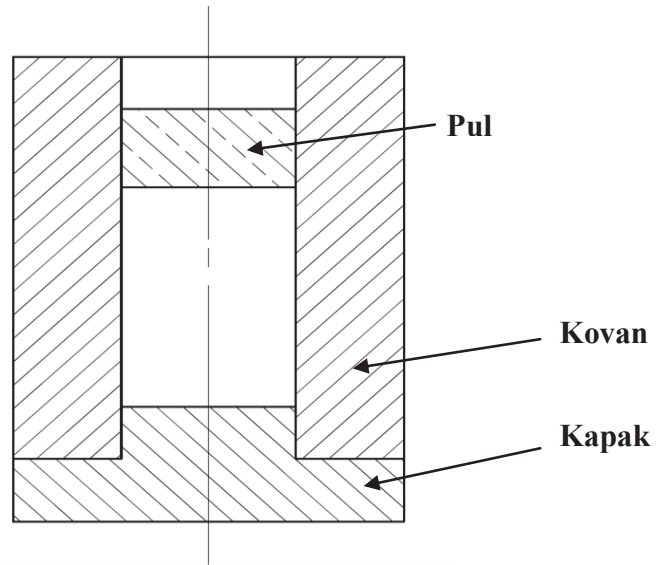
Seramik partiküller ilave edilip karıştırma işlemi bittikten sonra sıvı kompozit paslanmaz çelik kaba alınıp hazırlanan billet metal kalıbına dökülmüştür (Şekil 2.3-2.4). Dökümden sonra billetler suda soğutulularak kalıptan çıkarılmıştır. Döküm kalıbının üst kısmı 30 ve alt kısmı 29 mm çapında yapılarak konikleştirilmiş ve billetlerin kolayca çıkması sağlanmıştır. KD ve TM ile üretilecek billetler aynı kovanda ekstrüze edileceğinden aynı boyutlarda olması gerekir. Bu yüzden billet üretimi için kullanılan kalıplar aynı boyutlarda yapılmıştır.



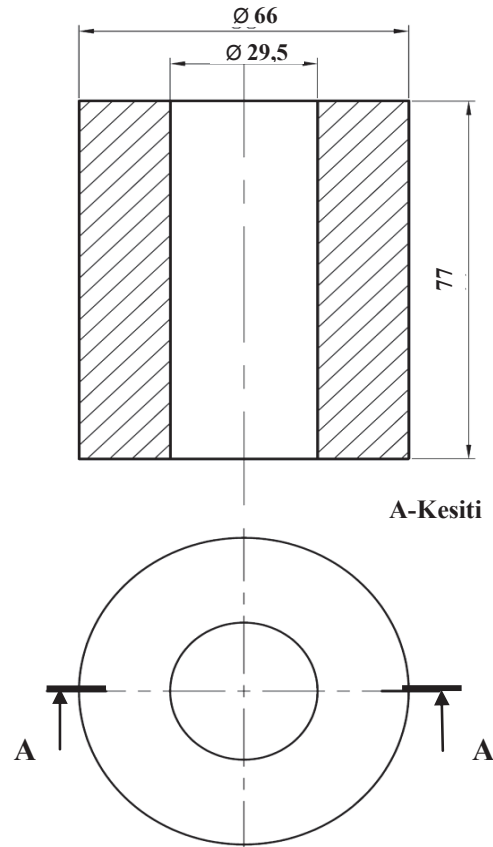
Şekil 2.3. Sıvı kompozitin paslanmaz çelik kaba alınması.



Şekil 2.4. Sıvı kompozitin metal kalıba dökümü.

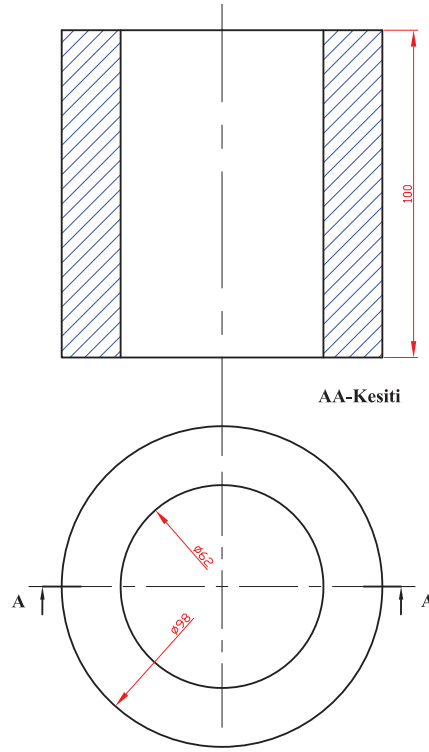


Şekil 2.5. Numune üretim kalıbı.



Şekil 2.6. Billet döküm kalıbı.

Döküm kalıbı ve kapağının şematik gösterilimi Şekil 2.5-2.7'de verilmiştir.

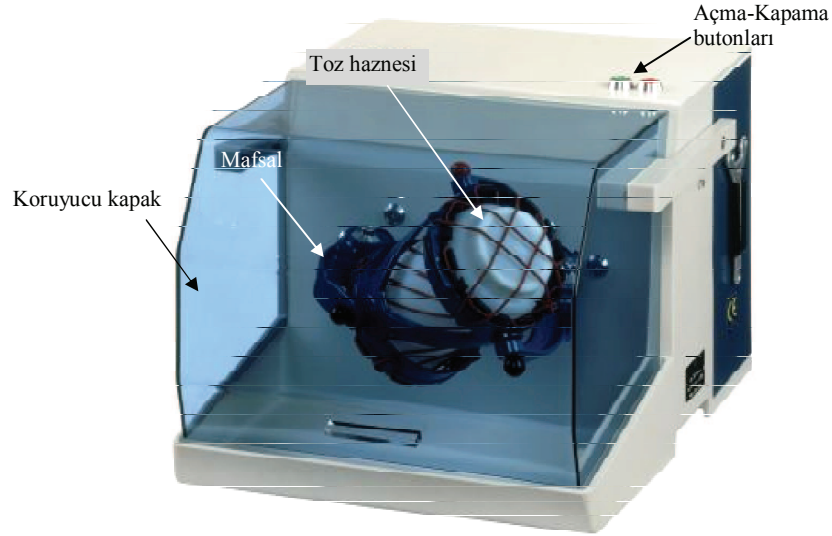


Şekil 2.7. Billet çıkarma silindiri.

2.1.2.2. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Billet Üretimi

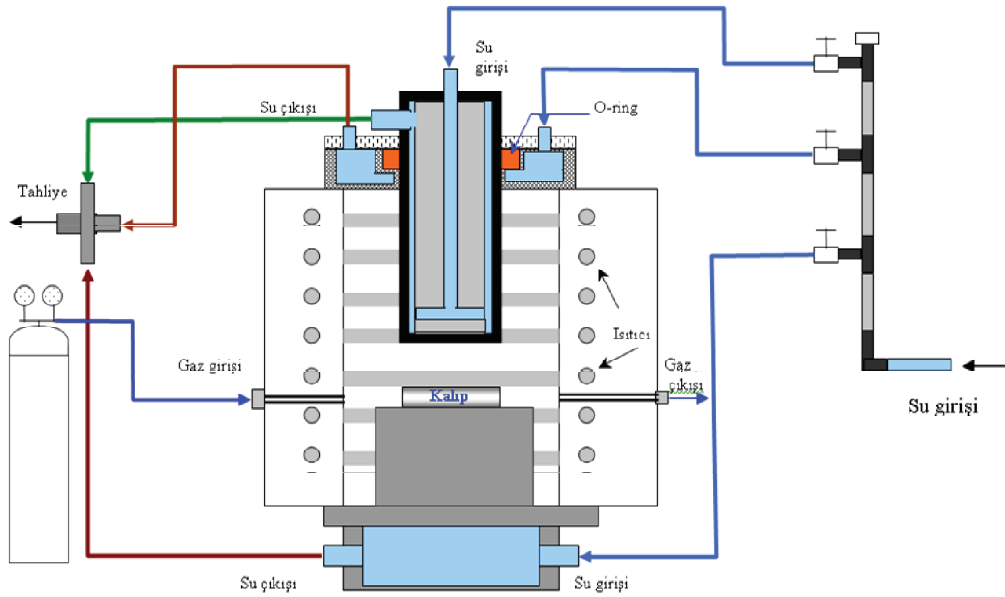
KD yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de ekstrüzyon sonrası tane değişimini izleyebilmek ve seramik partiküllerin etkisini anlayabilmek için toz metalürjisi ile de takviyesiz numuneler üretilmiştir. Kompozit billetler için farklı boyutlardaki seramik tozlar ile AA 6061 ve AA 2124 tozları elle karıştırıldıktan sonra 1 saat süreyle cam hazneli toz karıştırıcı ünite (atritör) ile de karıştırılmıştır (Şekil 2.8). Bu karışım soğuk olarak 20 bar basınçta preslenerek sinterlemeye hazır hale getirilmiştir. Bu numuneler daha sonra Ar atmosferinde, 600 °C sıcaklıkta, 30 dk. süreyle 10 bar basınç altında sinterlenmiştir (Şekil 2.9). Sinterlenen numuneler havada soğutulmaya bırakılmış, 29.5 mm çap ve 42 mm yüksekliğinde silindirik billetler elde edilmiştir. TM billetleri elde etmek için döküm billetlerde kullanılan aynı kalıplar kullanılmıştır (Şekil 2.6-2.7).

Billetleri kalıptan çıkartmak içinde billet çıkartma silindiri hazırlanmıştır. Kalıplar presin altında çıkartma silindirlerinin üstüne yerleştirilip zımba vasıtasıyla kuvvet uygulanmakta ve billetler çıkarılmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.8. Toz karıştırma ünitesi.

Sinterleme fırınının şematığı Şekil 2.9’da görülmektedir. Billet üretimi sırasında hidrolik pres kolanları, tabla ve zımbanın ısınmaması için alt kovan, orta kapak ve üst zimba su soğutmalı olarak tasarlanmıştır. Su üst zimba, kapak ve alt tabla içerisinde dolaştıktan sonra tahliye kanallarıyla dışarı atılmaktadır. Üst zimba, kapakta sızdırmazlığı sağlayan o-ring içerinden geçerek orta kapak içerisinde hareket edebilmekte, o-ring ısıdan zarar görmemesi için soğutulmaktadır.



Şekil 2.9. Tasarlanan sinterleme sisteminin şematik gösterimi.

Karıştırmalı döküm ve TM yöntemiyle imal edilen ve sistemimize uygun billet ve boyutları Şekil 2.10’da görülmektedir.



Şekil 2.10. Üretilmiş billet resmi ve boyutları.

2.1.3. Karşıt Ekstrüzyon Uygulaması ve Faktörleri

Ekstrüzyon kalıp sistemi için tasarım, kalıp malzemesinin seçimi, şekil ve boyut özellikleri üzerinde çalışılmalar yapılarak, kalıp imalatı gerçekleştirilmiştir ve modifiye çalışmalarına ışık tutmuştur. Kalıp ölçüleri ekstrüzyon oranı 10:1 olacak şekilde, tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır. Ekstrüzyon Oranı: 10:1 olarak alınmıştır.

R: Ekstrüzyon oranı

A_o: Billet kesit alanı

A_f: Mamülün kesit alanı

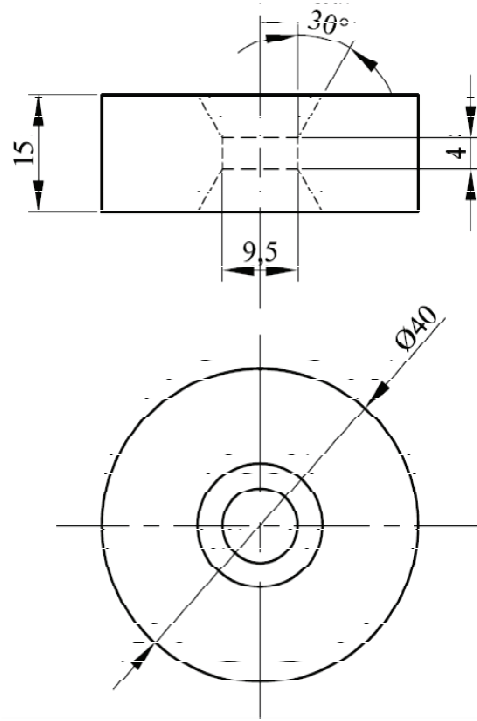
$$R = \frac{A_o}{A_f} = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} = \frac{\pi 30^2}{\pi 2^2} = 10$$

$$r_2 = \sqrt{90} = 9.48 = 9.5mm \text{ olarak alınmıştır.}$$

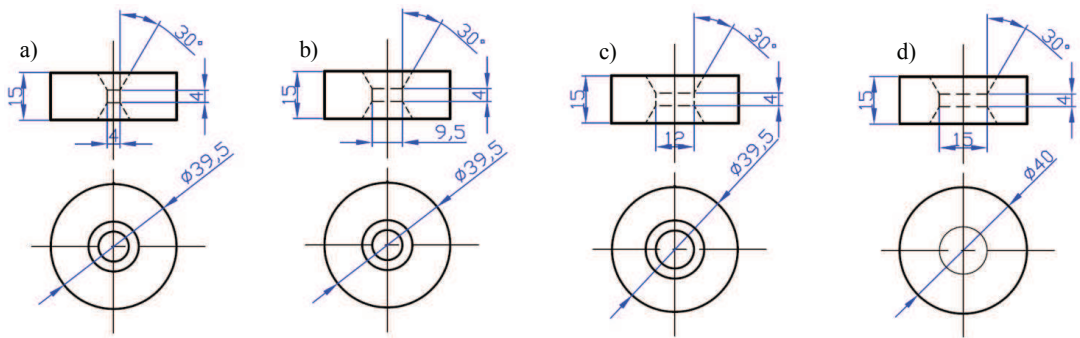
Yapılan hesaplamalardan sonra kalıp boyutları belirlenmiş ve teknik resimleri çizilmiştir (Şekil 2.11).

Ekstrüzyon oranları 50:1, 10:1, 6:1 ve 4:1 olacak şekilde farklı oranlarda ekstrüzyon yapabilecek çok sayıda kalıp tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.12).

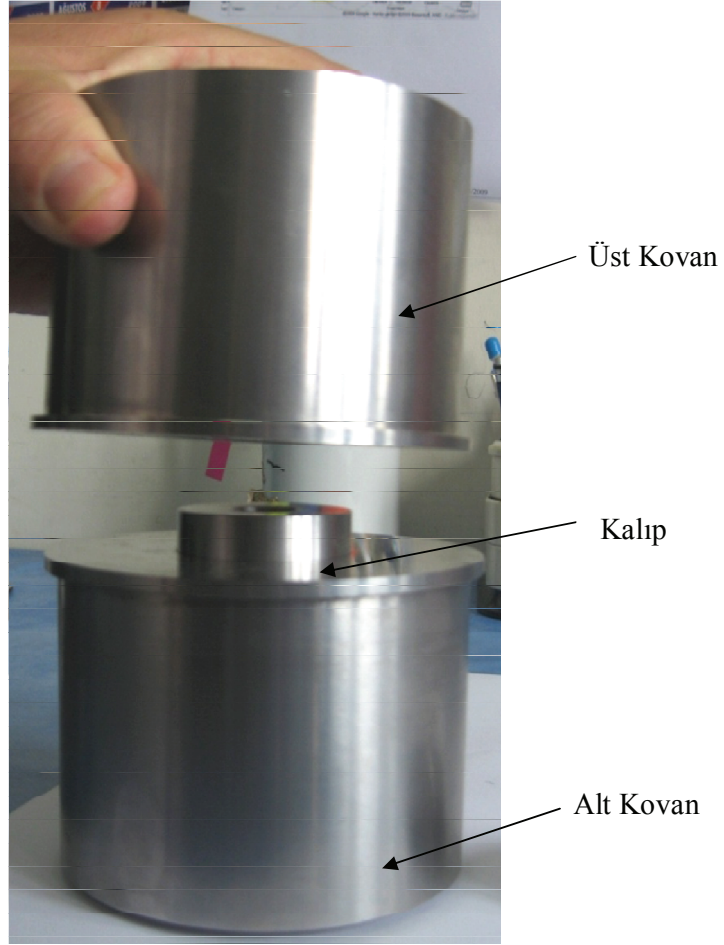
Kalıba uygun kovan boyutlandırma ve çizimleri yapılmıştır (Şekil 2.13). Kovanın üst kısmında flanşa bağlamak için 4 adet M8 civata deliği bulunmaktadır. Kovanın yan tarafında da sıcaklık ölçümü yapmak için 4,5 mm çapında termokupl deliği açılmıştır. Yapılan çizimler doğrultusunda 10:1 oranında ekstrüzyona uygun kalıp



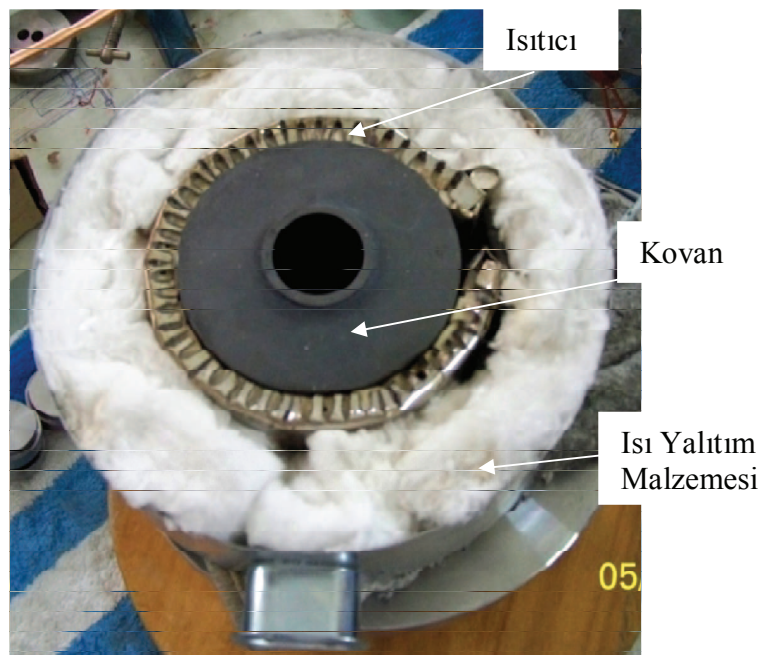
Şekil 2.11. Karşıt ekstrüzyon kalıbı.



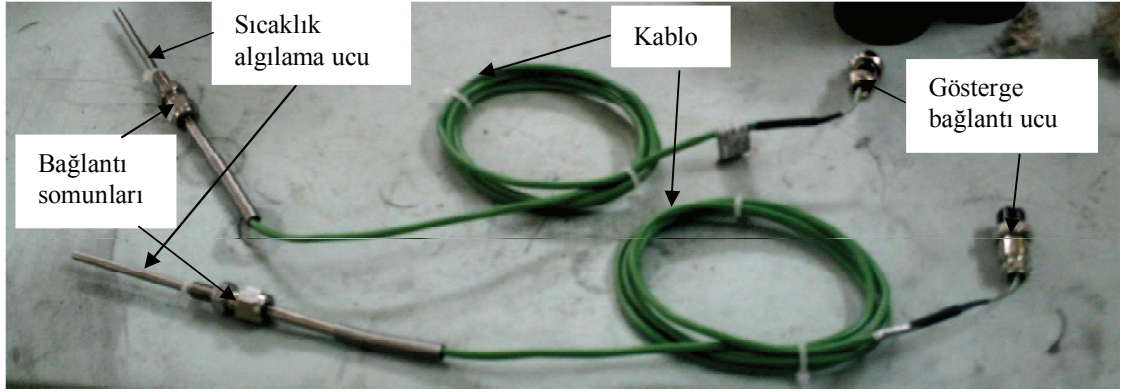
Şekil 2.12. Farklı ekstrüzyon oranlı kalıplar a) 50:1 b) 10:1 c) 6:1 d) 4:1.



Şekil 2.14. Karşıt ekstrüzyon kalıbı ve kovan resmi.

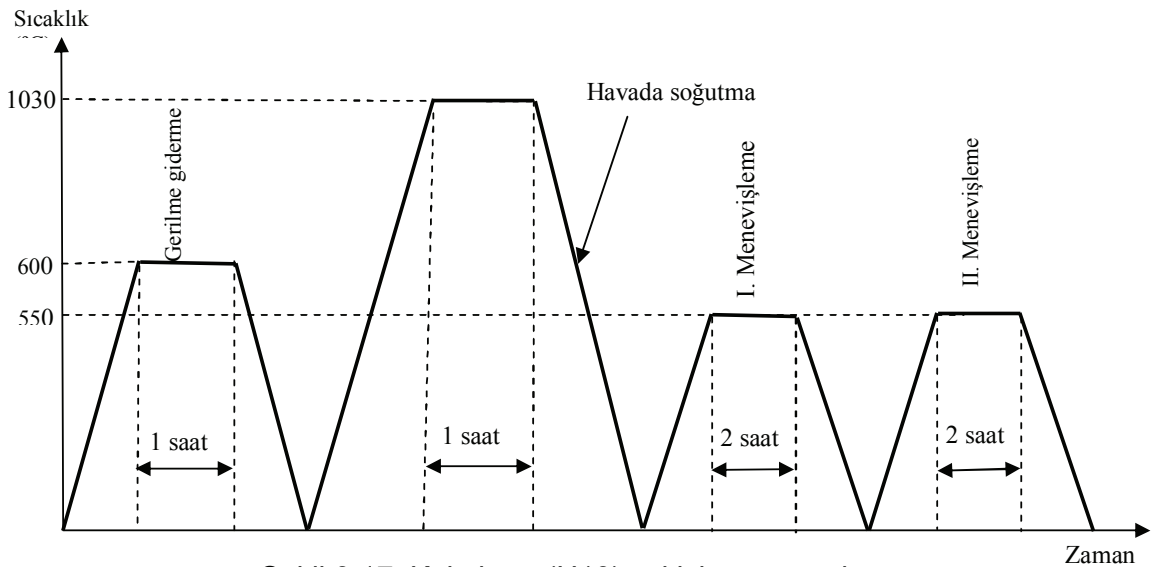


Şekil 2.15. Kemer taşlı ısıtıcı.



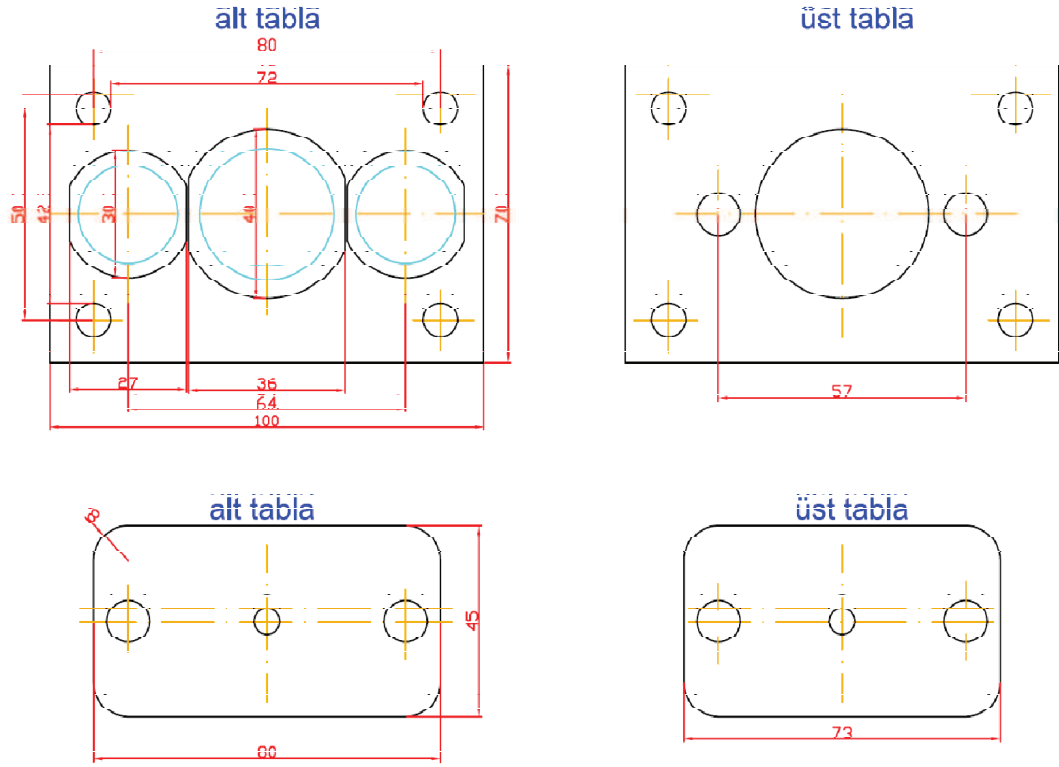
Şekil 2.16. Mineral izoleli termokupllar.

H13 malzemeden imal edilmiş 4 adet kalıp, kovan ve zımbaların sertleştirme işlemi bölümümüz laboratuvarında, 1300 °C ısıtma kapasiteli direnç ısıtmalı atmosfer kontrollü fırında yapılmıştır. Çeliklere uygulanan argon koruyucu gaz atmosferinde, 3lt/dk gaz debisi altında, 600°C'de gerilme giderme işleminden sonra 1030 °C'de östenit dönüşümü yapılmıştır. Östenit dönüşümü sonrası tüm parçalar havada soğutulmuştur. Daha sonra 550 °C'de iki saat süreyle peş peşe iki adet menevişleme yapılmıştır (Şekil 2.17). Isıl işlemle sertleştirilen kalıp parçalarının sertlikleri Rockwell Sertlik Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır. Kalıp parçaları ve sertlik değerleri ortalama 50 HRC dir.



Şekil 2.17. Kalıpların (H13) ısıl işlem prosedürü.

Isıl işlemden sonra taşlanan, kalıp kovan ve zımbalar eşleştirilerek kullanılabilir duruma getirilmiştir.



Şekil 2.18. Karşıt ekstrüzyon sistemi detay çizimleri.

2.1.3.1. Karşıt Ekstrüzyon Sistemi Tasarımı

Yukarıda açıklanan denemeler, aynı zamanda, karşıt ekstrüzyon sistemi tasarım ve imalatı için gerekli basınç değerlerini belirlemek ve detayları netleştirmek amacıyla yapılmıştır. Yukarıda verilen denemeler sırasında çok sayıda deformasyon yapabilmek için maksimum 120 ton gerekli olmuş ancak bu yüklemde zimbalar eğilmiştir. Bu tecrübelerin ışığı altında karşıt ekstrüzyon sisteminin maksimum 150 tonluk basınç uygulayabilmesi ve bu basıncı karşılayabilecek boyutlarda kalıp ve zimba tasarlanması kararlaştırılmıştır. Tasarlanan presin imalatı için Ankara Ostim'den birçok pres imalatçısı ile görüşmeler yapılmış, PLC kontrollü presin imalat maliyeti konuya ayrılan bütçenin çok üzerinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle presin manuel olarak imal edilmesine karar verilmiştir. Manuel pres imalatı için ise istenilen nitelikleri sağlayacak şekilde en uygun fiyatı Konya'dan Hidrokar firması vermiştir. Bu nedenle Karşıt ekstrüzyon sistem imalatı Hidrokar firmasına yaptırılmıştır. Karşıt ekstrüzyon sisteminin imalat çizimleri ve pres ölçüleri Şekil 2.18-2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. Karşıt ekstrüzyon sistemi.

Tablo 2.2. Pres parça isimleri.

Parça No	Parça Adı	Adet
1	Üst Silindir	1
2	Üst Plaka	1
3	Üst Piston	1
4	Tutucu Kolon	2
5	Taşıyıcı Sütun	4
6	Üst Tabla	1
7	Alt Tabla	1
8	Üst Plaka	2
9	Üst Piston	1
10	Alt Tabla silindiri	2
11	Alt silindir	1
12	Alt plaka	1
13	Taşıyıcı Alt Plaka	1

2.1.3.2. Karşıt Ekstrüzyon Presi Çalışma Prensibi

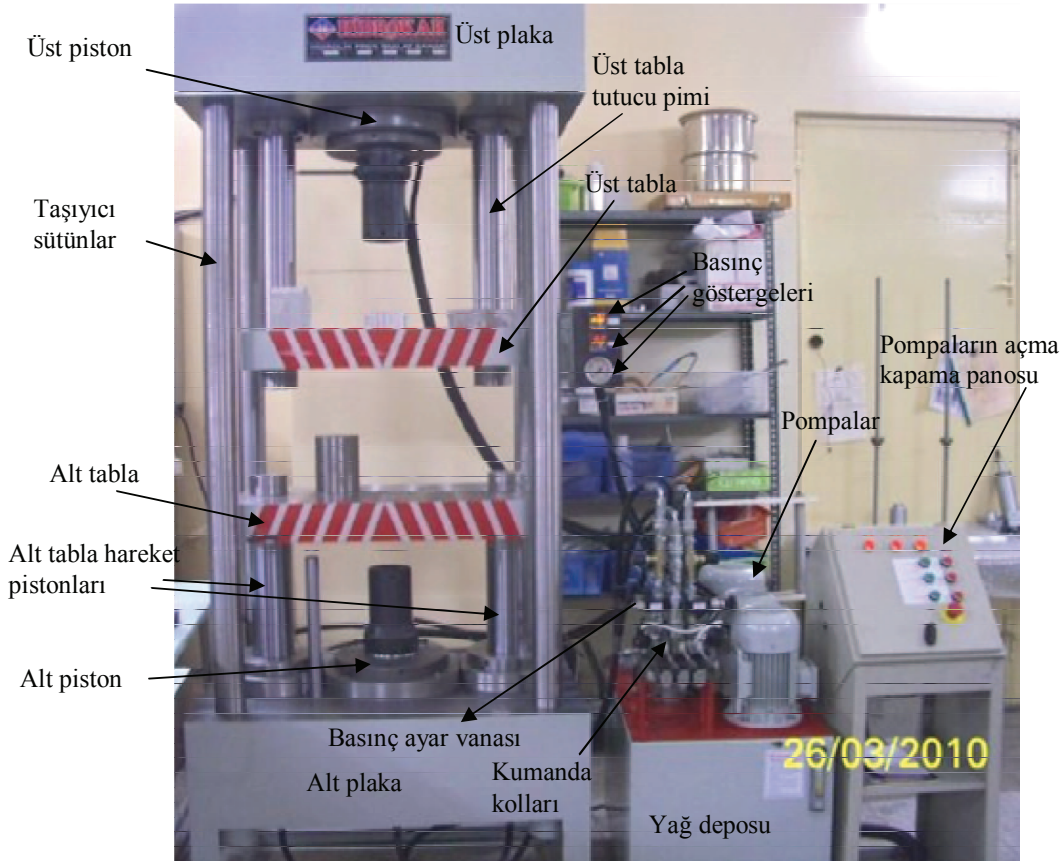
Tasarlanan sisteme kalıp yerleştirildikten sonra 8 nolu pistonlar 7 nolu alt tablayı yukarı hareket ettirerek kalıbı birleştirir. Kalıp birleştirildikten sonra 3 nolu silindir istenilen hızda hareket ettirilerek numune aşağı doğru ekstrüze edilir. Aynı zamanda 9 nolu piston da aşağı doğru aynı hızda hareket ettirilir (İstenildiğinde piston hızları değiştirilebilecektir). Aşağı yönlü hareket tamamlandıca, 9 nolu piston yukarı doğru hareket ettirilir. Bu sırada 3 nolu piston da yukarı doğru hareket eder ve bu işlemler istenilen sayıda tekrarlanır. İşlem tamamlandıca 7 nolu alt tabla, 8 nolu pistonların aşağı hareketi ile indirilerek kalıp ayrılır ve numune çıkarılır. Böylece işlem tamamlanmış olacaktır.

2.1.3.3. Pres Özellikleri

- 1- Piston hızları manuel olarak ayarlanabilir,
- 2- Piston konumları ayarlanabilir ve ölçü cetvelinden okunabilir,
- 3- Piston basınç değerleri dijital olarak okunabilir ve kontrol edilebilir,
- 4- Güç ve elektiriki kontrol panoları ile kontrol edilebilir,
- 5- Hidrolik Güç Ünitesi ile çalışır (3 adet motor ve 3 adet pompa),
- 6- Elle kumanda edilebilir,

- 7- Alt tabla hareket edebilir,
8- Aşırı yüklemeye karşı emniyet ventillidir,

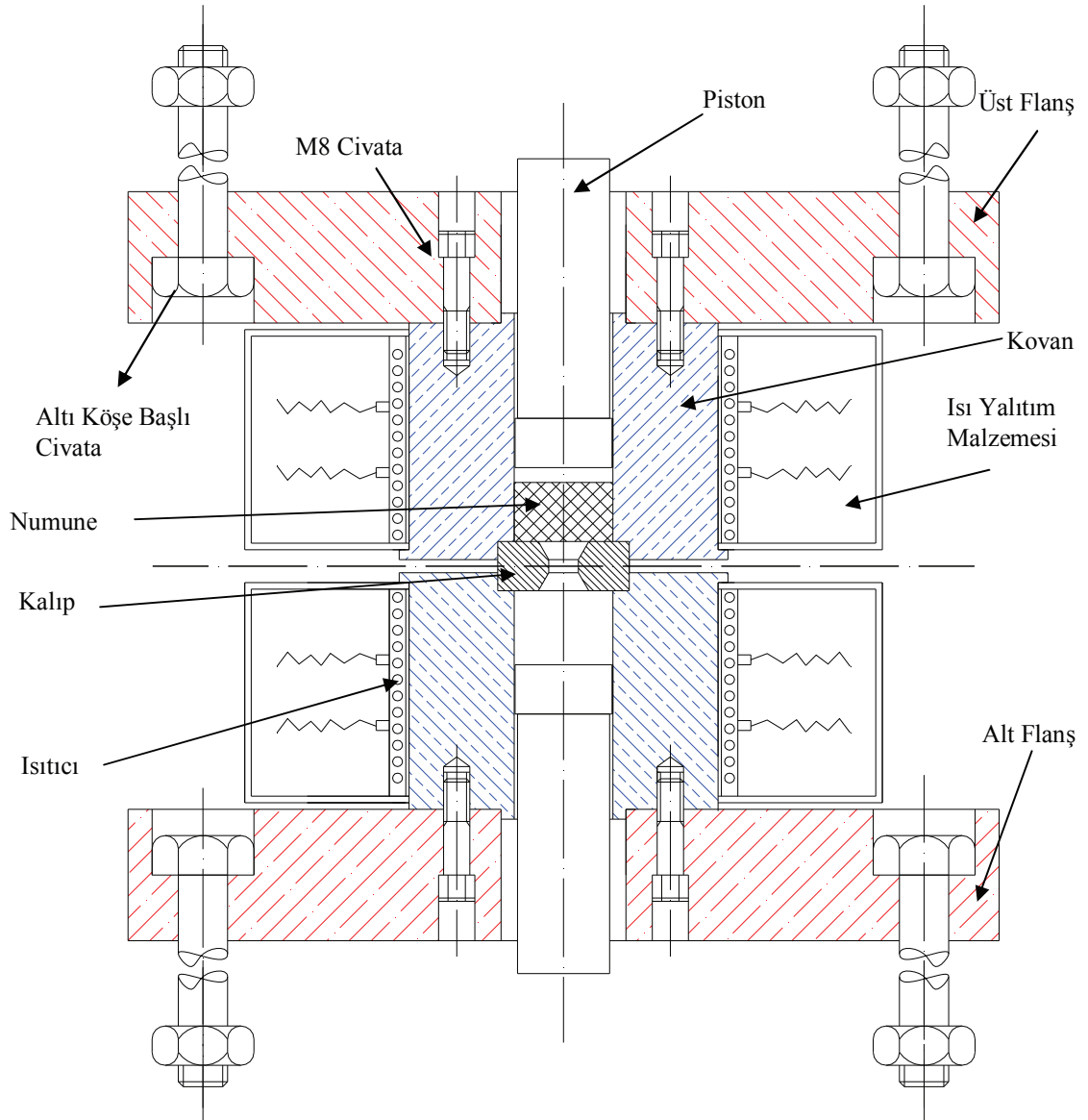
Yukarıda belirtilen özelliklere göre tasarlanıp imal ettirilen karşıt ekstrüzyon sistemi Şekil 2.20’de görüldüğü gibi teslim alınarak laboratuara yerleştirilmiştir. Karşıt ekstrüzyon sistemi hidrolik pres ve ekipmanları Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Karşıt ekstrüzyon hidrolik presi ve ekipmanları.

Karşıt ekstrüzyon sistemine uyumlu olacak şekilde ekstrüzyon kalıp malzemesinin seçimi (H13) yapılmış, malzeme temin edilmiş, şekil ve boyutları belirlenerek tasarım tamamlanmıştır (Şekil 2.21). Yapılan tasarıma uygun olarak kalıp imalatı gerçekleştirilmiştir. Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi Şekil 2.21’de gösterilmiştir.

Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi pres üzerinde Şekil 2.22’de gösterilmiştir. Şekilde görülen üst flanş M14 cıvatalarla presin üst tablasına, alt flanş ta presin alt tablasına tutturulmaktadır. Zimba tutucuları presin üst ve alt pistonlarına bağlanarak presin zımbaları tahrik etmesi sağlanmaktadır. Kovanlar üzerine yerleştirilmiş ısıtıcılar sayesinde de istenilen ekstrüzyon sıcaklıkları sağlanmaktadır.



Şekil 2.21. Karşıt ekstrüzyon kalıp sistemi.

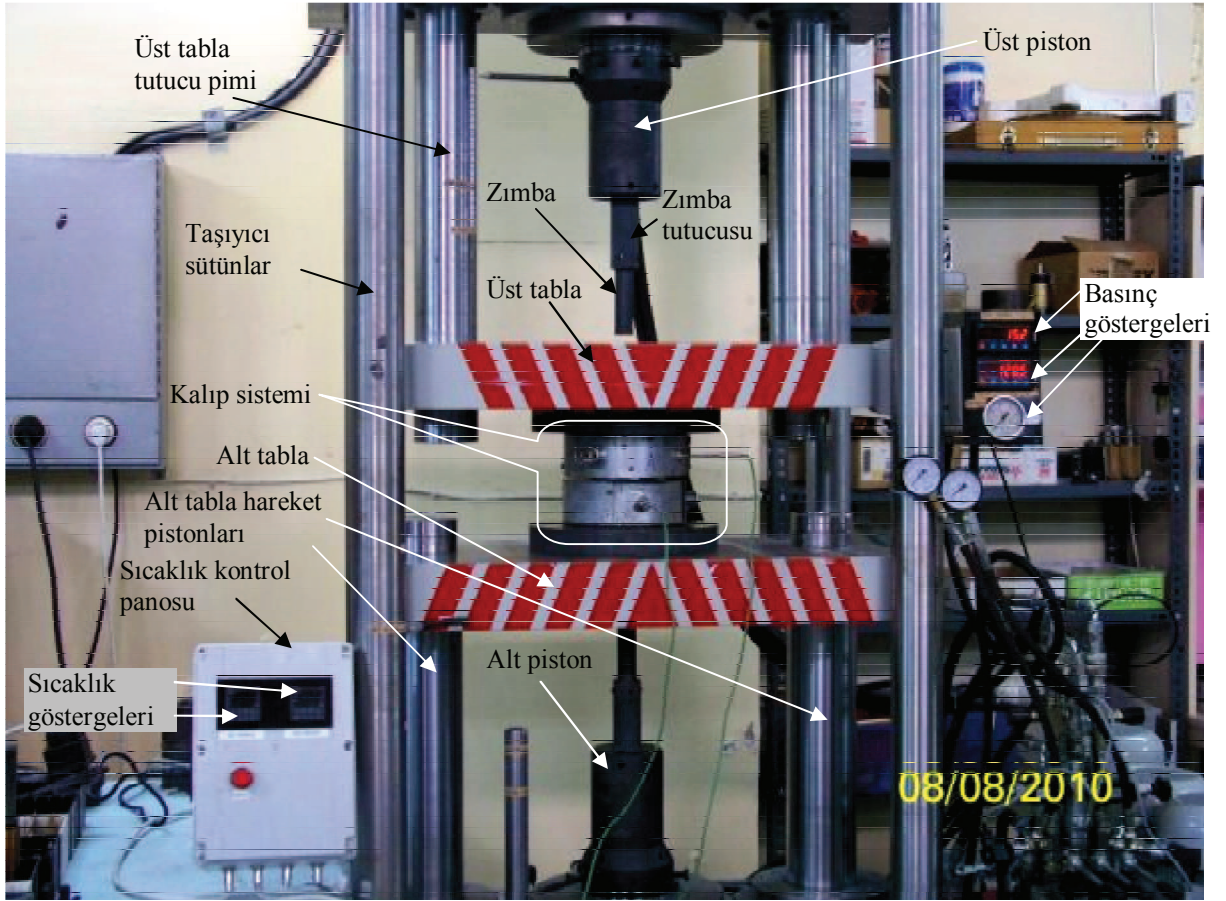
Zımbalar ve zımba tutucuları Şekil 2.23'de gösterilmiştir. Zımbalar ve zımba tutucuları birbirlerine M20 civata ile bağlanacak şekilde yapılmıştır. Zımba vidası tam sıkılarak basınç esnasında yükün 5 mm'lik zımba faturası tarafından taşınması sağlanmaktadır.

2.1.3.4. Karşıt Ekstrüzyon İşlemi

Karşıt ekstrüzyon işlemi hazırlanan döküm ve toz biletlere 400, 300 ve 200 °C'lik işlem sıcaklıklarında uygulanmıştır. Ortalama işlem süresi uygulanan geçiş sayısı ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 15-25 dakika sürmüştür. İşlem sıcaklığına göre değişmek kaydıyla numunelerin ekstrüze olmaları için gerekli basınç 10-15

MPa aralığında değişmiştir. Ekstrüzyon oranı 400 ve 300 °C işlem sıcaklığında 10:1 olarak uygulanırken 200 °C’de ekstrüzyon takımlarının mukavemetide dikkate alınarak 4:1’e düşmüştür. Kovan ve billet arasındaki sürtünmeyi azaltmak amacıyla yağlayıcı olarak grafit esaslı sprey kullanılmıştır. Ekstrüzyon işleminde değişken faktör geçiş sayısı olup billetler 0-15 geçiş sayılarında ekstrüze edilmişlerdir. 400 °C de sürdürülen ön deneme çalışmalarında ekstrüze edilen numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanamamıştır. Bunun sebebi 400 °C’lik işlem sıcaklığının alüminyumun yeniden kristalleşme sıcaklığının (~ 190 °C) üzerinde olmasıdır. Bu nedenle ekstrüzyon sıcaklığı 300 °C’ye indirilmiş ve bu sıcaklıkta sürdürülmüştür. Hem karıştırmalı döküm yöntemi ile hem de TM ile elde edilen billetler karşıt ekstrüzyon işlemi ile aşırı deformasyona tabi tutulmuşlardır. Karşıt ekstrüzyon işlemi için imal edilen kalıplar, 150 tonluk ekstrüzyon presine Şekil 2.24’de görüldüğü gibi monte edilmiştir. Sistemde ekstrüzyon işleminin gerçekleştirilmesi şu faaliyetleri kapsamaktadır. İlk önce numunelerin kalıplara yapışmaması için zımbalara ve kovanlara grafit sürülür. Numune alt kovana yerleştirildikten sonra 10:1 ekstrüzyon oranındaki kalıp alt kovana yerleştirilir. Alt tabla yukarı hareket ettirilerek kalıp tablalar arasına sıkıştırılır ve alt tabla kilitlenir. Şekil 2.24’de gösterildiği gibi her iki kovan üzerinde bulunan ısıtıcıyla kovanlar 300 °C ekstrüzyon sıcaklığına kadar ısıtılır. Kovanın flanşa bağlandığı yüzeyi ile flanş arasına ısı yalıtımı sağlasın diye asbestli kumaş konmuştur. Aksi halde kovanları ekstrüzyon sıcaklığına ısıtmak ve o sıcaklıkta tutmak çok uzun zaman almaktadır. Çünkü ısı trasferi ile üst ve alt tablalar ısınıp termodinamik dengeye gelinceye kadar beklemek gerekecektir. Alt zımba hareket ettirilip kovanı merkezlemesi sağlanır ve billete temas edene kadar hareket ettirilir. Üst zimbada aşağıya doğru hareket ettirilip kovanı merkezlemesi sağlanarak kovanın alt noktasına kadar indirilir. Alt zımba yukarı hareket ettirilerek basınç yükseldiğinde üst zımba yukarı doğru çekilirken, aynı zamanda alt zimbada yukarı doğru hareket etmektedir. Alt zımba üstte maksimum noktaya gelince işlem durdurulur. Sonra bu işlem üstten alta doğru tekrarlanır. Kaç geçiş yapılması isteniyorsa işlem bir yukarı bir aşağı tekrarlanarak karşıt ekstrüzyon işlemi tamamlanır. Tüm numuneler belirtilen KE geçiş sayısına ilaveten çubuk olarak ekstrüze edilmişlerdir.

% 30, 20 ve 10 seramik takviyeli billetlerin ekstrüzyonu yüksek işlem sıcaklığına



Şekil 2.24. Karşıt ekstrüzyon presi, ekipmanları ve kalıp sistemi.

Tablo 2.3. AA 6061/SiC/%5 takviyeli numunelerin geçiş sayılarına göre uygulanan basınç değerleri.

Geçiş Sayısı	0	1	2	3	4	5	10	15
Uygulanan basınç (MPa)	4.8	5.2	5.6	5.8	5.5	7	7	7

rağmen zorluk çıkarmış ve ekstrüzyon işlemlerine % 5 lik takviyeli biletlerle devam edilmiştir.

%5 SiC takviyeli kompozit döküm biletler ile Takviyesiz 6063 Al biletler 1, 2 ve 5 geçiş sayılarında ekstrüze edilmişlerdir. Ekstrüzyon 300 °C'de ve 15 MPa basınçta gerçekleştirilmiştir.

TM ile elde edilen biletlere 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 ve 15 geçiş ekstrüzyon işlemi uygulanmıştır. AA 6061/SiC/%5 toz karışımından 600 °C'de sinterlenerek elde edilen biletler 400 °C sıcaklıkta, 3 ile 7 MPa basınç aralığında farklı geçiş sayılarında ekstrüzyon gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.3). 0 geçişli numune hiç işlem uygulanmadan tabloda verilen şartlarda doğrudan çubuk olarak ekstrüze edilmiştir.

Tablo 2.4. AA 6061 numunelerin geçiş sayılarına göre gerçekleşen basınç aralıkları.

Geçiş Sayısı	Uygulanan basınç (bar)			
1	3	-	-	-
2	4-7	1.4 -4.4	-	-
3	2.6 -4,7	2.5- 4	2.5- 4.5	-
4	2.6 -4.7	2.5- 4.7	2.9- 4.3	1.8- 4.7

%5 SiC oranlı biletlerle kıyaslamak için, 10 μ m boyutlu AA 6061 tozundan, takviyesiz numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin geçiş sayılarına göre oluşan basınç aralıkları Tablo 2.4'de verilmiştir. 400 $^{\circ}$ C'de numuneler sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 geçişli ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuşlardır.

Karşıt ekstrüzyon 300 $^{\circ}$ C ve 10 -15 MPa basınç aralığında da yapılmıştır. Belirlenen geçiş sayılarında işlem tekrarlanarak karşıt ekstrüzyon işlemi tamamlanmaktadır. Bu sıcaklıkta ise karşıt ekstrüzyon geçiş sayısı en çok 17 geçişe kadar yapılabilmiştir. Bu yüzden Karşıt ekstrüzyon geçiş sayıları 1, 5, 9, 13 ve 15 olarak belirlenmiştir. Karşıt ekstrüzyon işlemi takviyesiz ve AA6061 tozu (72 μ m)+%5 SiC (20 μ m) hacim oranında üretilen biletlerin 1, 5, 9, 13 ve 15 geçiş sayılarında ekstrüzyon ile gerçekleştirilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda da karşıt ekstrüzyon denemeleri yapılmış, ancak zımba ve kalıp kırılmaları nedeniyle işlem gerçekleştirilememiştir. Bilet boyu büyüdükçe yan sürtünmeler arttığında daha fazla yük uygulamak gerekmektedir. Yük artırıldığında da zımbalar eğilmektedir.

Yukarıda verilen sonuçlardan da anlaşıldığı gibi 300 $^{\circ}$ C'lik işlem sıcaklığının da yüksek olduğu ve yeniden kristalleşmeye sebep olduğu anlaşılmıştır. Bu işlem sıcaklıklarının tane küçülmesine yeterince etkili olmadığı düşünülerek (herhangi bir tane ölçüm yöntemine dayalı delil olmadan) yanlış öngörüde bulunulduğu TEM ile tane inceleme neticesinde anlaşılmıştır. Ancak 300 $^{\circ}$ C'de tane küçülmesi tespit edilmesine rağmen mukavemet artışı görülmemiştir. Bu sebeple 200 $^{\circ}$ C'lik işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranıyla çalışmalar yapılmış ve 200 $^{\circ}$ C de çalışmaların sürdürülmesine karar verilmiştir. Sıcaklık 200 $^{\circ}$ C'ye düşürüldüğünde 10:1'lik ekstrüzyon oranıyla ekstrüzyon işleminin gerçekleştirilmesi mümkün olamamış ve yapılamamıştır. Bu nedenle ekstrüzyon oranı 4:1 olarak alınmıştır. Dolayısıyla bu orana uygun yeni kalıp tasarımına gidilmiştir.

2.1.3.5. TEM İncelemeleri

300 °C'de karşıt ekstrüzyona tabi tutulan numunelere Tübitak'ta TEM analizleri yapılmıştır. TUBİTAK MAM da gerçekleştirilen incelemeler için numuneler Struers Minitom düşük hızlı elmaslı testere ile kesilmişlerdir. 3 mm çapında diskler, zımbalanmış ve yaklaşık 150 μ m kalınlığa taşlanarak ince yapraklar hazırlanmıştır. Daha sonra zımba deliği Struers-Tenupol-5 Double Jet Electropolisher içinde 12 volt, 25 °C de %20 nitrik asit + %80 metil alkol solüsyonlu elektrolitle elektriksel parlatma gerçekleştirilmiştir. Numuneler 200 kV de Oxford EDS sistemi ile donatılmış JEOL 2100 TEM ile araştırılmışlardır. Görüntüler Gatan Model 694 düşük taramalı CCD Kamera ile dijital olarak alınmıştır. A JEOL kenar giriş basit eğim açısı ölçeri kullanılmıştır. Mikroyapı araştırmaları için parlak alan [Bright Field (BF)] ve seçilmiş alan elektron kırılma [Selected Area Electron Diffraction (SAED)] teknikleri kullanılmıştır. Dijital görüntüler için Gatan Digital Micrograph yazılımı kullanılmıştır.

200 °C'de ekstrüzyon gerçekleştirilen numunelerin TEM analizleride Fırat Üniversitesinde yapılmıştır. Fırat Üniversitesi Elektron Mikroskopi (FÜEM) laboratuvarında TEM numuneleri için inceltme ve parlatma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde GATAN 656 mekanik inceltici ve GATAN 691 Argon iyon inceltici (PIPS) cihazı kullanılmıştır. Numuneler 200 kV EDS sistemi ile donatılmış JEOL JEM 2100F FE-TEM yüksek ayırma güçlü geçirmeli elektron mikroskobu (HRTEM) ile ve buna bağlı elektron enerji dağılım x-ışını (EDX) spektrometresi ile malzemelerin mikro yapılarının atomik boyutta incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı araştırmaları için parlak alan [Bright Field (BF)], karanlık alan [Dark Field (DF)] ve seçilmiş alan elektron kırılma [Selected Area Electron Diffraction (SAED)] teknikleri kullanılmıştır.

2.1.4. Ön Denemeler

400 °C de geçiş sayısı arttırıldıkça, ekstrüze edilmeden önce gözlenen alüminyum toz parçacıkları, 15 geçişten sonra birbirine çok iyi bir şekilde bütünleşmiştir, aşırı büyütmeyle dahi görülememektedir. Böylece tane büyüklüğü (grain) mukayesesi için bu ön denemelerin yetersiz olduğu, toz biletlerin aşırı deformasyon sonrası tane

sınırlarının kolay kolay tespit edilemeyeceği anlaşılmıştır. Geçiş sayısı arttığında çekme gerilmesinde çok az azalma gözlenirken, uzamada artış olmaktadır. En çok uzama 15 geçişte elde edilirken minimum çekme gerilmesi 5 geçişte olmuştur. Numunelerinin sertlik değerlerinde hemen hemen değişim görülmemektedir.

400 °C de sürdürülen ön deneme çalışmalarında ekstrüze edilen numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanamamıştır. Bunun sebebi 400 °C'lik işlem sıcaklığının alüminyumun yeniden kristalleşme sıcaklığının (~ 190 °C) üzerinde olmasıdır. Bu nedenle ekstrüzyon sıcaklığı 300 °C'ye indirilmiş ve bu sıcaklıkta sürdürülmüştür.

AA6061 tozu %5 hacim oranında SiC takviyeli üretilen billet 1, 5 ve 9 geçiş sayılarında karşıt ekstrüze edilmişlerdir. Billet halindeki takviyesiz malzemede toz tane sınırları açıkça görülmesine rağmen, 1 geçiş uygulandıktan sonra toz tane sınırları kaybolmuş ve matris bir bütün haline gelmiştir. Billet içinde herhangi bir inklüzyon ya da boşlukta bulunmamaktadır. Daha ileri ve fazla sayıdaki deformasyondan sonra matris malzemesi tane sınırlarını izlemek mümkün olamamış, dolayısıyla geçiş sayısının taneleri inceltip inceltmediği konusunda bir yorum yapılamamıştır. SiC'lerin homejen olarak dağıldığı izlenebilmiştir.

SEM incelemeleriyle tespit edilemeyen tane boyutu değişimini izleyebilmek maksadıyla deformasyona tabi tutulmuş takviyesiz ve %5 SiC takviyeli alüminyum çubuklardan hazırlanan numunelerle TEM analizi gerçekleştirilmiştir. TEM analizleri ile takviyesiz ve takviye oranı %5 SiC olan billetlerden, 1, 5, 9 ve 13 geçişli olanların görüntüleri elde edilmiştir. Takviyesiz numunelerin geçiş sayılarına göre sırasıyla ortalama tane boyutları 1,069, 1,273 1,333 ve 1,6 μm olarak tespit edilmiştir. Aynı numunelerin sertlik değerleri sırasıyla yaklaşık 49, 41, 39 ve 33 HR 15N olarak ölçülmüştür. Bu duruma göre, verilen işlem parametreleri için (yani 300 °C'lik işlem sıcaklığı ve 10:1 ekstrüzyon oranında ve belirtilen malzemelerle, belirtilen geçiş sayılarında) geçiş sayısının artması ile tane yapılarının kabalaştığı ve sertlik değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Yani sertlik azalmasının sebebi tanelerin kabalaşmasıdır. Böylece belirtilen işlem şartlarında aşırı deformasyonun tane boyutuna etkisi, sıcaklığın etkisinden daha az olmaktadır. Her bir tersinir ekstrüzyon işleminin uygulanma süresi dikkate alındığında geçiş sayısı arttıkça işlem süresinde, dolayısıyla numunelerin 300 °C'lik sıcaklıkta maruz bırakılma süresinin

de, arttığı görülür. (1, 5, 9 ve 13 geçiş sayısına göre işlemin gerçekleşme süreleri sırasıyla yaklaşık olarak 5, 30, 60 ve 100 dakikadır.) Bu sebepten numune tane boyutu işlem sıcaklığının tavlama etkisi ve işlem süresiyle artar. İyi bilinir ki tane boyutunun artması ile sertlik değeri de azalır. Dolayısıyla gözlenen sonuçlar bilimsel açıdan beklenen şekildedir. Yani KE işlemlili takviyeli ve takviyesiz numunelerin tane boyutlarının artmasında ekstrüzyon sıcaklığının önemli rol oynadığı anlaşılmaktadır. Çekme deneyleri sonucunda yumuşamaya paralel olarak geçiş sayısı artması ile max gerilme azalırken gerinim artmaktadır.

Numunelerin görmüş oldukları şiddetli deformasyona rağmen dislokasyon yoğunlukları hiçbir numunede çok yüksek değildir. Bu da deformasyonlar sırasındaki sıcaklığın yüksek olmasından dolayı numunelerin tavlandığının delilidir. Böylece sıcaklığın etkisiyle farklı deformasyona uğrayan numuneler arasındaki farklar ortadan kalkmıştır.

Yukarıda verilen sonuçlardan da anlaşıldığı gibi 300 °C'lik işlem sıcaklığının da yüksek olduğu ve yeniden kristalleşmeye sebep olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple 200 °C'lik işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranıyla çalışmalar yapılmış ve 200 °C de çalışmaların sürdürülmesine karar verilmiştir. Sıcaklık 200 °C'ye düşürüldüğünde 10:1'lik ekstrüzyon oranıyla ekstrüzyon işleminin gerçekleştirilmesi mümkün olamamış ve yapılamamıştır. Bu nedenle ekstrüzyon oranı 4:1 olarak alınmıştır. 400 ve 300 °C işlem sıcaklığında ekstrüzyon işleminde billetler 0-15 geçiş sayılarında ekstrüze edilirken 200 °C'de 0-5 geçiş sayılarında ekstrüzyon yapılabilmektedir.

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Giriş

MMK'lerin malzemelerde mekanik özellikleri yükseltmek amacıyla ince boyutlu tane yapısına ulaşmak için aşırı plastik deformasyon metalik malzemenin düşük sıcaklıklarda (erime sıcaklığının 0.3 katının altında) yüksek miktarlarda plastik genlemeye maruz bırakılması gerekmektedir.

Mukavemet ile çeşitli mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılan MM Kompozitlerin karşıt ekstrüzyon işlemiyle partikülleri homojen dağıtmak, peş peşe uygulanan soğuk deformasyon ile çok daha ince taneli ve dolayısıyla daha mukavemetli kompozit elde etmek suretiyle MM Kompozitlerinin mevcuttan daha ağır şartlarda kullanılabilmesini sağlanabilecektir.

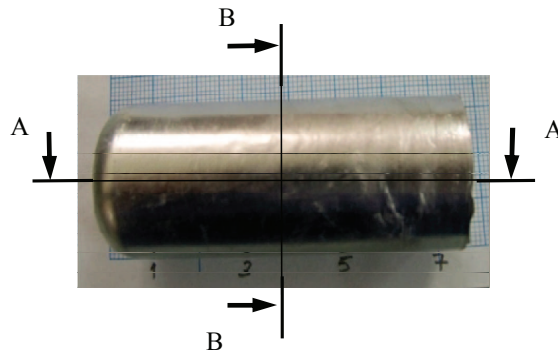
400 °C ve 300 °C'lik işlem sıcaklıklarının yüksek olduğu ve yeniden kristalleşmeye sebep olduğu anlaşıldığından bu bölümde 200 °C'lik işlem sıcaklığı, 0-5 geçiş sayılarında ve 4:1 ekstrüzyon oranıyla çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak tane boyutunu belirlemek için mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Geçiş sayısı ile yoğunluk ve sertlik değerlerinde meydana gelen değişimlerde ölçülmüştür. MMK'lerin KE işleminden sonra mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri tespit edebilmek için çentik darbe, çekme, yorulma ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2. Bulgular

3.2.1. Mikroyapı

3.2.1.1. Tane Yapısı

Mikro yapıdaki değişimler ve yönlenmeleri incelemek için boyuna ve enine kesit alınarak görüntüler çekilmiştir. Billetler için kullanılan boyuna ve enine kesit, Şekil 3.1'de görülen A-A kesiti boyuna ve B-B kesiti enine kesit olarak zikredilecektir. Kesiti belirtilmeyen görüntüler enine kesittir. Ekstrüzyon yapmadan ve ekstrüzyon yapıldıktan sonra AA 6061/SiC/%5 numunelerin üst kısmından kesilerek alınan numune bakalite alınarak parlatılmış ve parlatma işleminden sonra dağlama keller ayracı ile yapılmıştır.



Şekil 3.1. Billet enine ve boyuna kesit yönleri.

Daha önce genişçe bahsedildiği şekilde, deney malzemelerinin yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki en düşük sıcaklıkta işlem yapılabilirliği araştırılmış ve bu sıcaklığın laboratuvar mekanik imkânları dikkate alınarak 200 °C olmasına karar verilmiştir. Bu çerçevede % 5 SiC, B₄C ve Al₂O₃ takviyeli AA 6061 malzemedan 72 mikronluk tozlarla üretilen billetler ile AA 6063 malzemedan % 5 SiC takviyeli ve takviyesiz döküm billetler hazırlanmıştır. 1, 2, 3, 4 ve 5 geçiş ile 4:1 ekstrüzyon oranında kalıpla KE'ye tabi tutulan bu billetlerin işlem sonrası mikro yapıları incelenmiştir. KE ile 5 geçiş uygulanan numunenin enine ve boyuna kesit görüntüleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Enine kesitte taneler dairesel iken boyuna kesitte tanelerin

ekstrüzyon yönünde yönlenererek uzadığı görülmektedir.

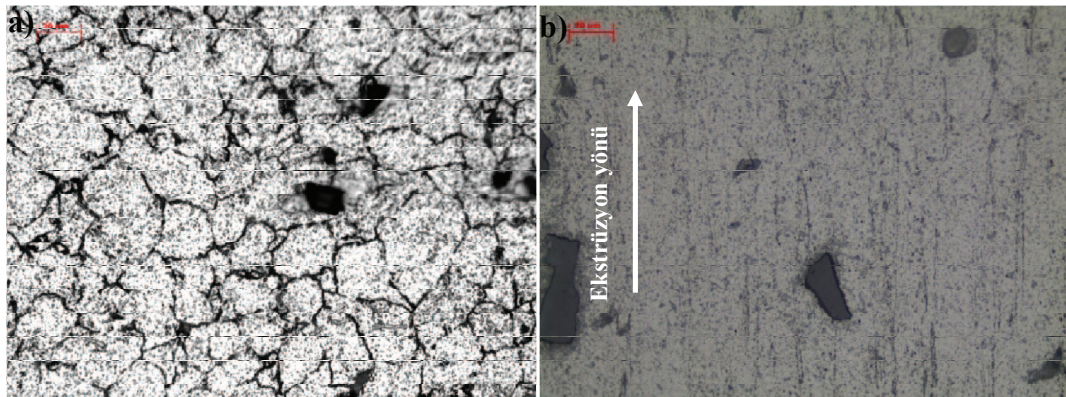
SiC takviyeli TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. 200 °C de deformasyona tabi tutulmuş numunelerin sertliklerinin 300 °C'dekilere göre arttığı görülmektedir. Yani sertlik değerlerinde çok az değişimler olmaktadır. Şekilden de izlenebileceği gibi billet sertliğine göre numunelerin sertliği geçiş sayısı ile yavaşça olsa artmaktadır. Buradan tane yapısının küçüldüğü ve mukavemetinin arttığı tahmin edilebilir.

Tablo 3.1. AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5 TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değerleri.

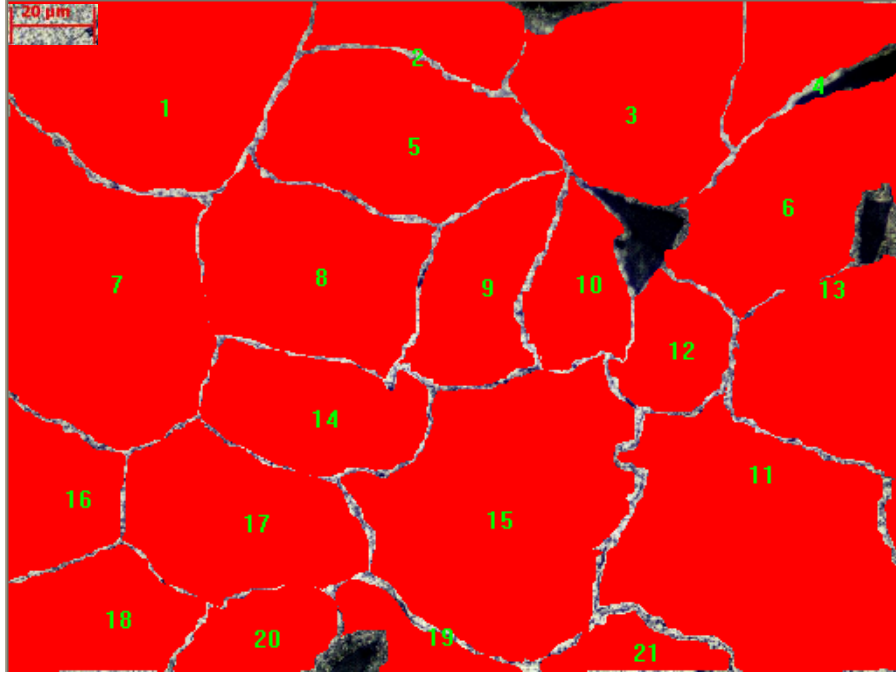
AA6061/SiC20 μ /5	
KE.Geçiş Sayısı	Sertlik Değerleri (HR 15N)
Billet	43.8
1	51.8
2	51.4
3	52
4	54
5	56.3

%5 SiC takviyeli numunelerin billet, 1, 3, ve 5 geçişli optik görüntüleri image-pro plus programı ile analiz edilerek taneler sayılmıştır (Şekil 3.4-3.6).

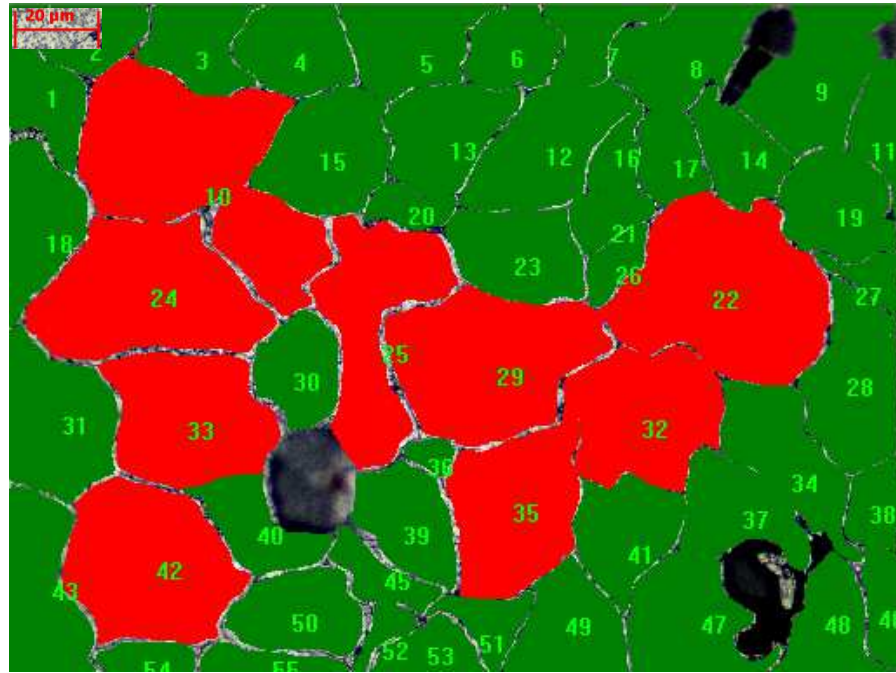
Bu işlem sıcaklığında SEM görüntülemeye ihtiyaç kalmadan optik mikroskopla numunenin merkezindeki taneler tespit edilebilmiştir. Buradan da anlaşılmaktadır ki sıcaklık tanelerin tespiti açısından önemli bir etkidir. Özellikle alüminyumun rekristalizasyon sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda, aşırı deformasyona da uğrasa tane sınırları görülebilmektedir. Ayrıca sıcaklık düşürüldüğünde KE işlemini



Şekil 3.2. AA 6061 %5 SiC takviyeli TM numunenin 5 geçiş sonrası optik mikroskop görüntüsü a) enine kesit b) boyuna kesit.



Şekil 3.3. %5 SiC takviyeli TM billet taneleri numaralanmış görüntüsü.

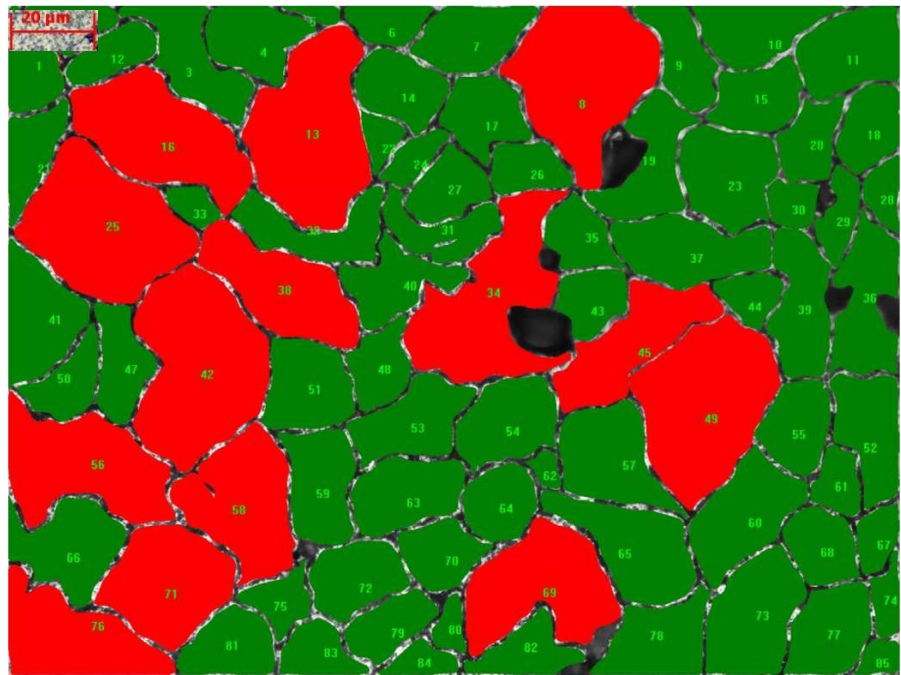


Şekil 3.4. %5 SiC takviyeli 1 geçişli TM numunenin numaralanmış taneleri.

gerçekleştirebilmek için ekstrüzyon oranı 4:1 alındığından (daha önce 10:1), numunenin merkezi ile dış bölgeleri arasında deformasyon farkı meydana gelmiştir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi numunenin merkezindeki taneler optik mikroskopla tespit edilebilirken, kenarlarda taneler tespit edilememiştir. Bu yüzden daha çok deforme olan kenarların tane boyutu tespiti için TEM analizlerine gerek duyulmuştur.

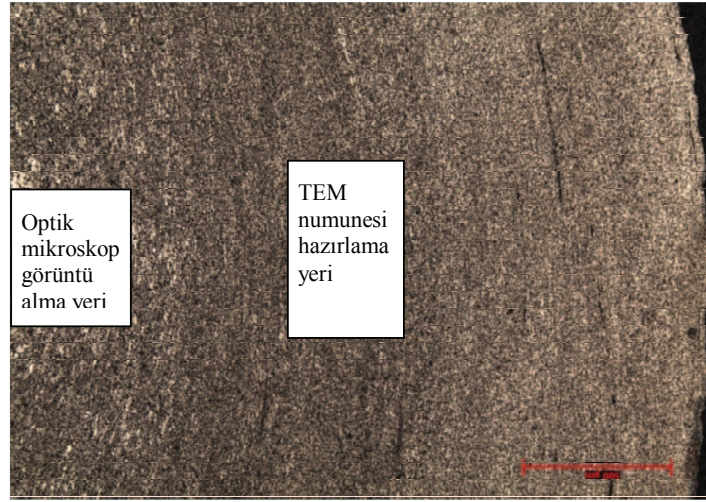


Şekil 3.5. %5 SiC takviyeli 3 geçişli TM numunenin numaralanmış taneleri.



Şekil 3.6. %5 SiC takviyeli 5 geçişli TM numunenin numaralanmış taneleri .

Alınan görüntünün toplam alanı image-pro plus programı ile ölçülerek $42888 \mu\text{m}^2$ bulunmuştur. Toplam alan tane sayısına oranlanarak ortalama tane boyutu, billet, 1 geçiş, 3 geçiş ve 5 geçiş için sırasıyla $51 - 31,5 - 25,2$ ve $22,8 \mu\text{m}$ olarak bulunmuştur. 1 geçiş sonrası tane boyutu billetinkilere göre % 38 küçülmüştür. 3 geçiş billete göre % 50,58, 1 geçişe göre % 20 azalmıştır. 5 geçişte 3 geçişe göre % 9,52, 1 geçişe göre % 27,6, billete göre % 55 küçülme olmuştur (Tablo 3.2). Numunelerin geçiş sayılarına

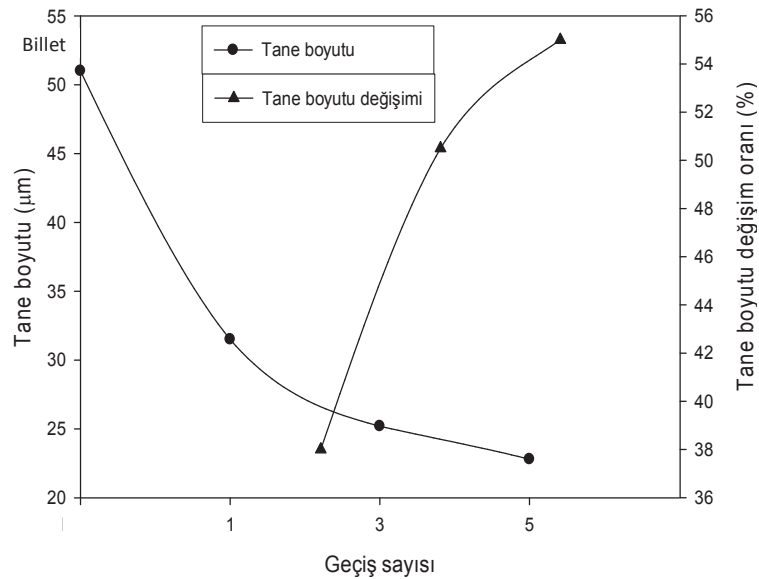


Şekil 3.7. Dairesel kesitli TM numunenin optik mikroskop görüntüsü.

Tablo 3.2. AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5 TM numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutları.

AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5		
KE. Geçiş Sayısı	Tane Boyutu(μ m)	Tane Boyutu Değişim Oranı(%)
Billet	51	-
1	31.5	38
3	25.2	50.5
5	22.8	55

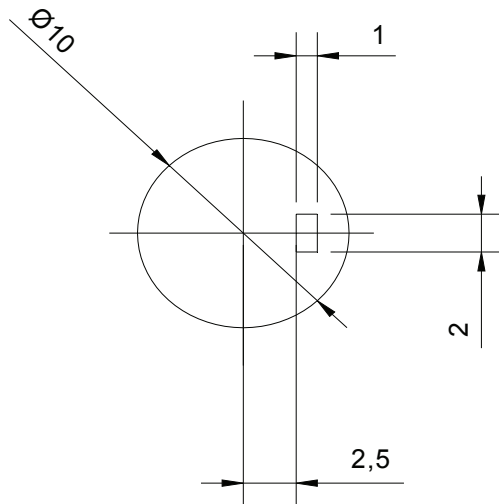
göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı değişimleri Şekil 3.8'de verilmiştir. Geçiş sayısı arttıkça tane boyutu üstel olarak azalmaktadır. Düşük geçişlerde tane boyutundaki değişim oranı yüksek geçişlere nazaran daha hızlıdır.



Şekil 3.8. Geçiş sayısına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı .

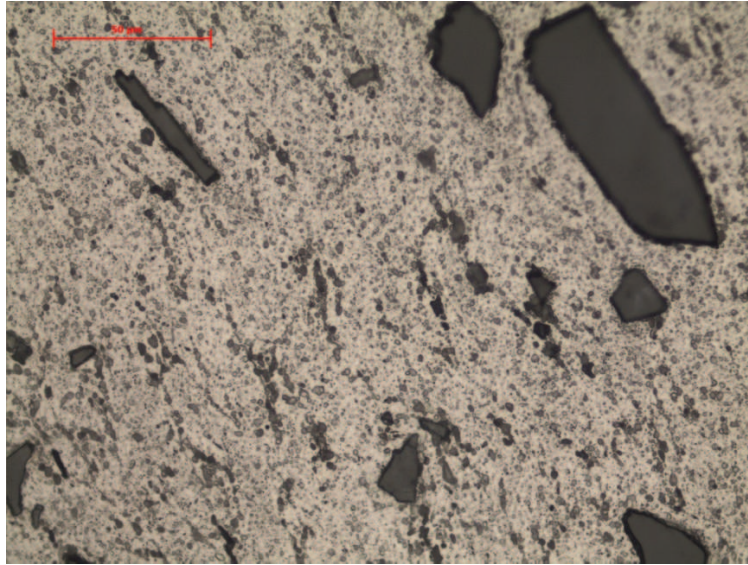
400 ve 300 °C deki çalışmalarda ekstrüzyon oranı (E.O.:10) daha büyük olduğu için numunenin enine kesitinde deformasyon daha homojen olmaktadır. Yani numunenin her yeri homojen olarak deforme olmaktadır. 200 °C işlem sıcaklığında ekstrüzyon oranı daha küçük (E.O.:4:1) olduğu için numunenin dış bölgeleri daha fazla deformasyona uğrarken, merkezde deformasyonun daha az olduğu optik mikroskopla görülmüştür (Şekil 3.7). Merkezdeki tane yapıları optik mikroskopla tespit edilerek tane boyutları Şekil 3.8’de verilmiştir. Dış bölgelerdeki aşırı deformasyona uğrayan ve optik mikroskopla tespit edilemeyen kısımların tane yapısını görebilmek içinde TEM analizleri FÜEM Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

TEM analizleri için 200 °C’de deformasyona tabi tutulmuş SiC takviyeli 10 mm çaplı kompozit numunelerden Şekil 3.9’da görüldüğü gibi merkezden kenara doğru 2.5 mm mesafeden başlayarak 2x1 mm ebatında TEM numuneleri hazırlanmıştır. TEM görüntüleri de bu numunelerden alınarak tane boyutu ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.7). Şekil 3.2’de 5 geçişli AA 6061 %5 SiC takviyeli numunenin merkezi detay görüntüsünde taneler net olarak görülebilirken, Şekil 3.10’da kenar detay resimlerinde taneler optik mikroskopla tespit edilememektedir. Bu da kenarların deformasyon miktarı ile merkez arasında fark olduğu anlamına gelmektedir. Bu analizlerle kenarlardaki tane yapısını öğrenmek amaçlanmıştır.



Şekil 3.9. TEM numune hazırlama yeri.

TEM analizleri takviye oranı %5 SiC olan biletlerden, 0, 1, 2, 3, 4, ve 5 geçişli olanları için gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11). İmage-pro plus görüntü işleme programı ile her görüntüden 8-10 tane baz alınarak ölçümler gerçekleştirilmiş ve ortalama tane



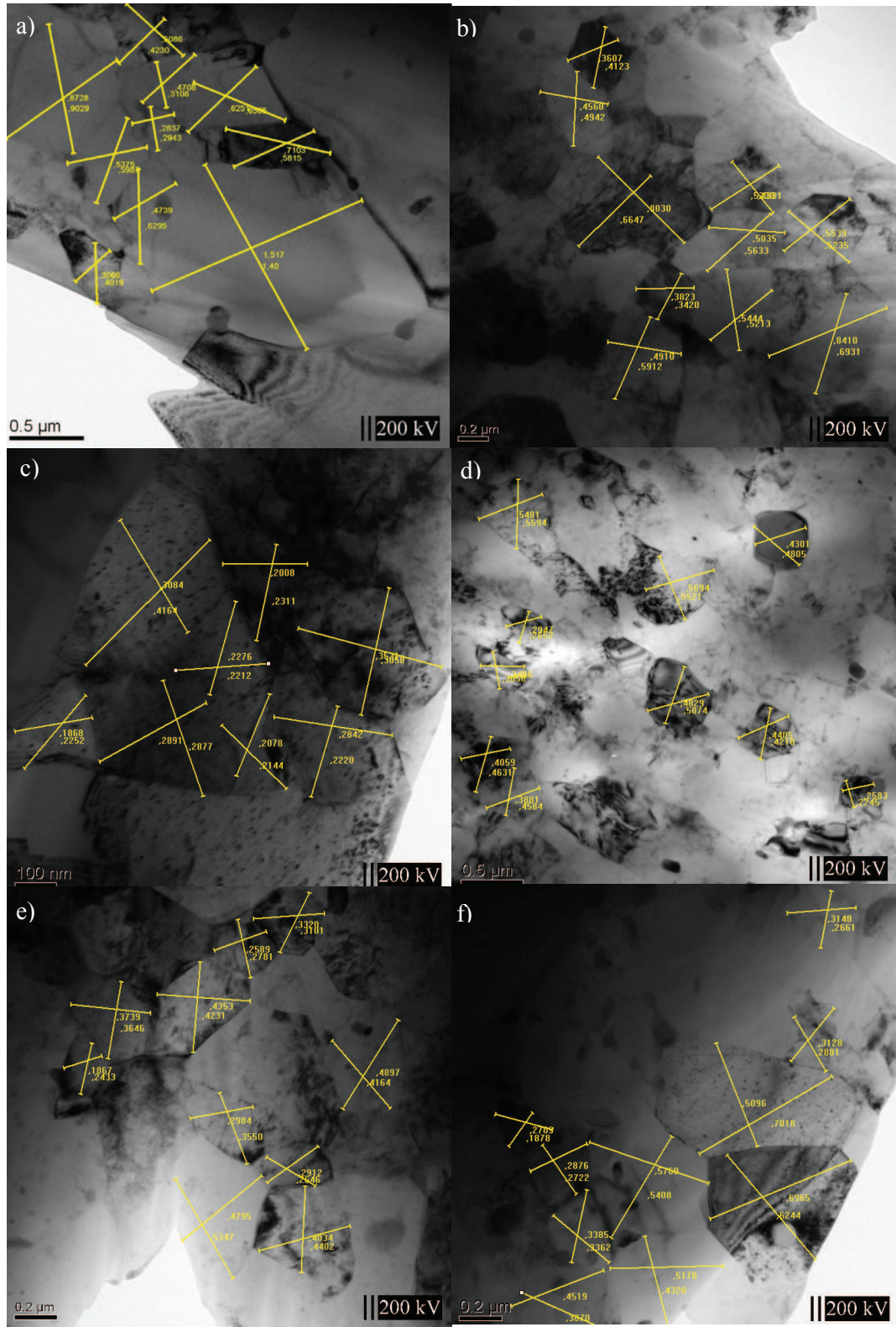
Şekil 3.10. 5 geçişli AA 6061 %5 SiC takviyeli TM numune dış bölgesi detay görüntüsü.

boyutları hesaplanmıştır. Numunelerin geçiş sayılarına göre sırasıyla ortalama tane boyutları 0,6253, 0,529, 0,2664, 0,4233, 0,359 ve 0,4156 μm olarak tespit edilmiştir. İzlenebilir ki bu tane boyutları ile Tablo 3.2’de verilenler birbirinden çok farklıdır. Bu farkın sebebi, daha önce açıklandığı gibi numunenin ortasından veya kenarından yapılan ölçümlerdir.

Şekil 3.11’de % 5 SiC takviyeli numunelerin TEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüler üzerinde yapılan incelemelerde numunelerin tane boyutlarında başlangıçta azalma ve sonra hafif bir artma ve tekrar azalma olduğu görülmektedir. İşlem süresince Al tanelerinin 2 geçişte en düşük seviyeye ulaştığı ve sonra tekrar artma olsa da başlangıçtakine göre azalmaktadır. Tane boyutu çok ince tane (ultrafine) seviyelerine kadar küçülmüştür (0,26 μm).

Şekil 3.12’de geçiş sayısı ile tane boyutu ve yüzde tane küçülme oranı değerlerinin değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. En küçük tane boyutu elde edilen 2 geçişli numunenin tane boyutu billete göre % 99,5 azalmıştır. Geçiş sayısı 0’dan 2’ye yükseldiğinde tane boyutundaki incelmeye yaklaşık % 57,4 olmuştur. Geçiş sayısı 0’dan 5’e çıktığında ise tane boyutu % 32 azalmıştır. Görüldüğü gibi geçiş sayısı ile tane boyutundaki küçülme kesin tespit edilmiştir.

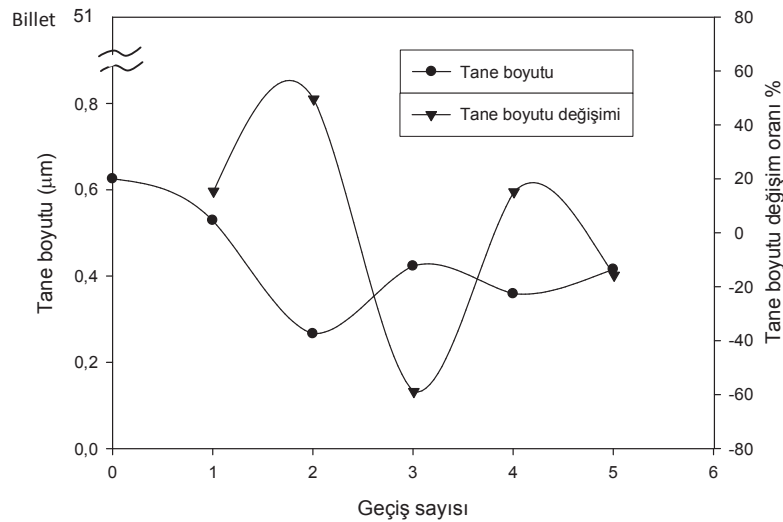
200 °C de ekstrüze edilmiş % 5 SiC takviyeli AA 6061 numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutu ve tane küçülme oranı değişimleri Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.11. % 5 SiC takviyeli AA 6061 TM numunelerin KE sonrası TEM görüntüsü a) 0 geçiş (0,6253 μm) b) 1 geçiş (0,529 μm) c) 2 geçiş (0,2664 μm) d) 3 geçiş (0,4233 μm) e) 4 geçiş (0,359 μm) f) 5 geçiş (0,4156 μm).

Tablo 3.3. Takviyesiz ve takviyeli TM numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutlarındaki değişim .

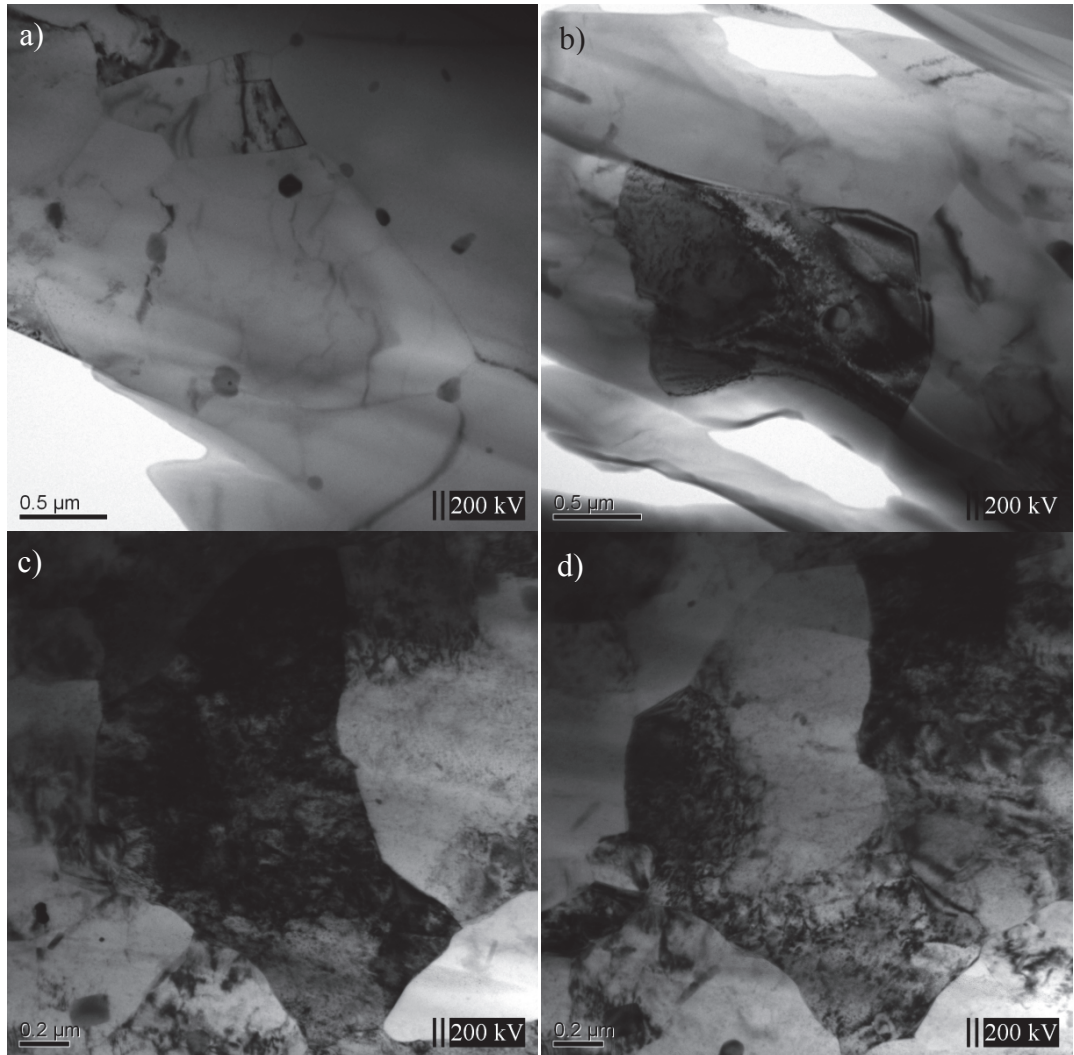
KE. Geçiş Sayısı	Tane Boyutu (μm)	Tane Boyutu Değişim Oranı %
Billet	51	-
0	0,6253	98,7739
1	0,529	15,4000
2	0,2664	49,6000
3	0,4233	-58,8963
4	0,359	15,1900
5	0,4156	-15,7660



Şekil 3.12. Geçiş sayısına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı.

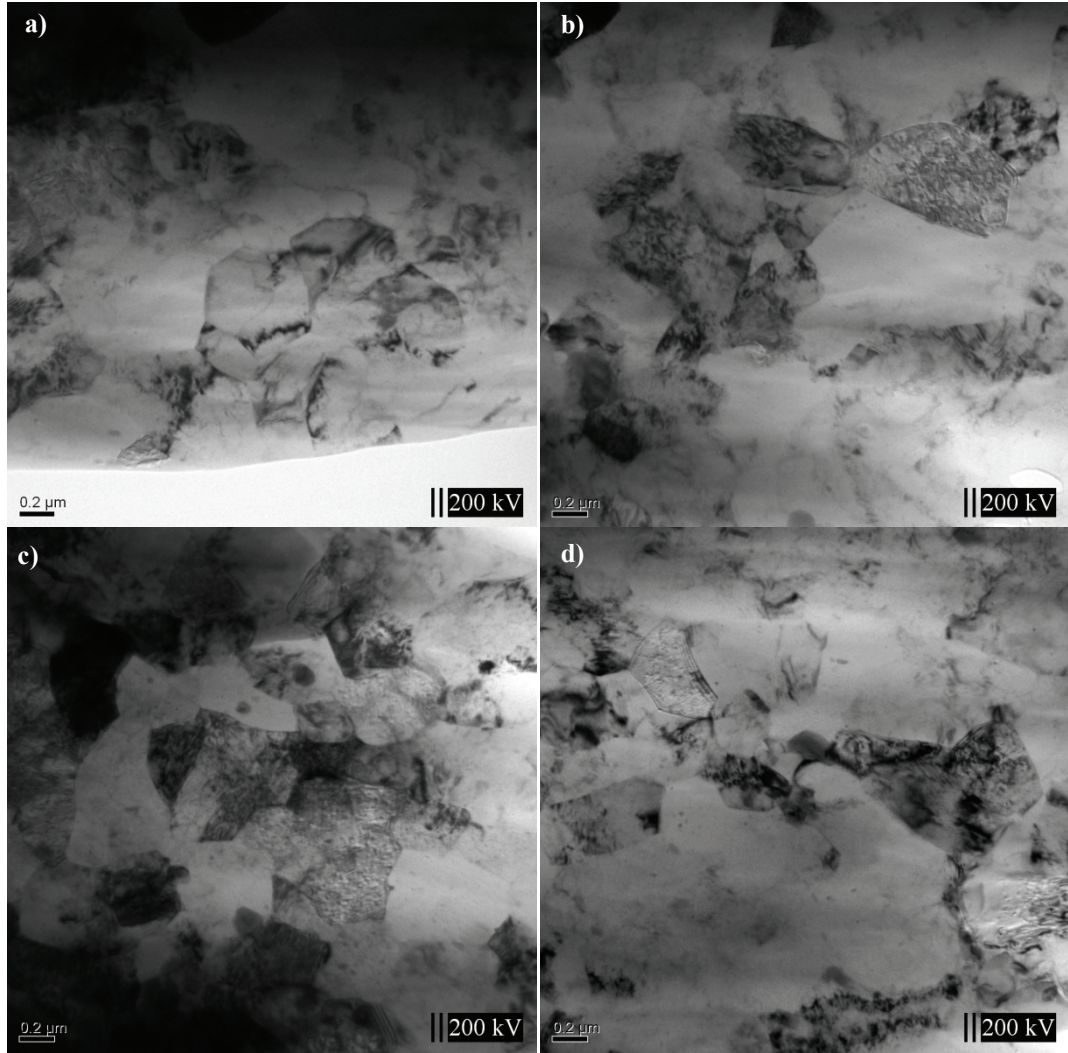
Bu duruma göre, verilen işlem parametreleri için (yani 200 °C'lik işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranında ve belirtilen malzemelerle, belirtilen geçiş sayılarında) geçiş sayısının artması ile tane yapılarının incelendiği ve sertlik değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Yani sertlik azalmasının sebebi tanelerin incelmesidir. Böylece belirtilen işlem şartlarında aşırı deformasyonun tane boyutuna etkisi, sıcaklığın azaltılmasıyla tane küçülmesi olarak görülebilmektedir. Çekme deneyleri sonucunda inceleneceği gibi yumuşamaya paralel olarak geçiş sayısı artması ile max gerilme azalırken gerinim artmaktadır (Şekil 3.47-3.48).

0 geçişli numunelerin TEM görüntüleri Şekil 3.13 a-d'de görüleceği üzere bu numunelerde iki farklı boyutta çökelti partikülleri mevcuttur. Bunlardan iri olanlar ve daha küçük olan ikinci grup çok daha fazla sayıdadır. Numunelerde dislokasyon yoğunluğunun çok düşük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.13. 0 geçişli AA 6061/5% SiC TM numunelerin TEM görüntüleri.

1 geçişli numune taneleri Şekil 3.14'de görüldüğü gibidir. Bu numunelerde çökelti partikül boyutu 0 geçişli numunelere kıyasla marjinal olarak daha küçüktür. Bu numunelerde iki farklı boyutta çökelti partikülleri mevcuttur. Bunlardan iri olanlar ve daha küçük olan ikinci grup çok daha fazla sayıdadır. Dislokasyon yoğunluğunun düşük olduğu söylenilebilir.

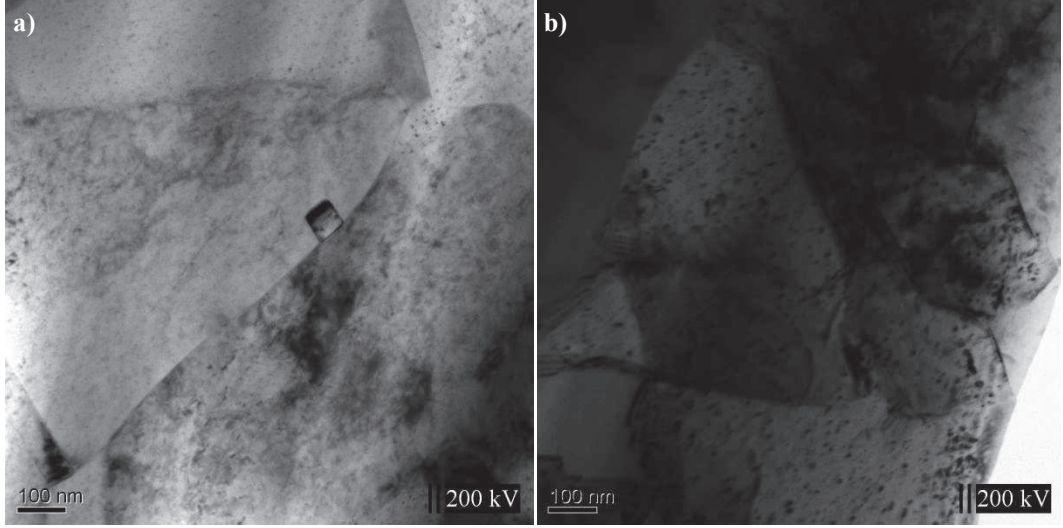


Şekil 3.14. 1 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri.

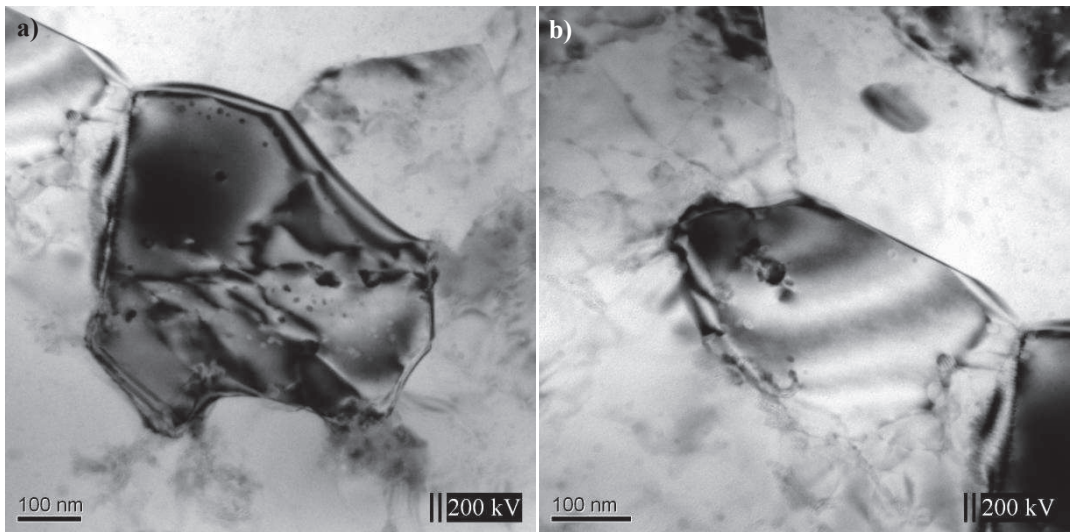
Şekil 3.15'de görüleceği üzere 2 geçişli numuneler 1 geçişli numunelerde görülen çok küçük boyutlu partikülleri barındırır. Dislokasyon yoğunluğunun 1 geçişli numunelere kıyasla marjinal oranda daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 3.16'da görüleceği üzere 3 geçişlide, 1 geçişli numunedeki çok küçük partiküller yoktur. Dislokasyon yoğunluğunu diğer numunelerle kıyasla daha yüksektir.

4 geçişli % 5 SiC takviyeli numuneleri de iki farklı boyutta çökelti partikülleri mevcuttur (Şekil 3.17). Bunlardan iri olanların ve daha küçük olan ikinci grup

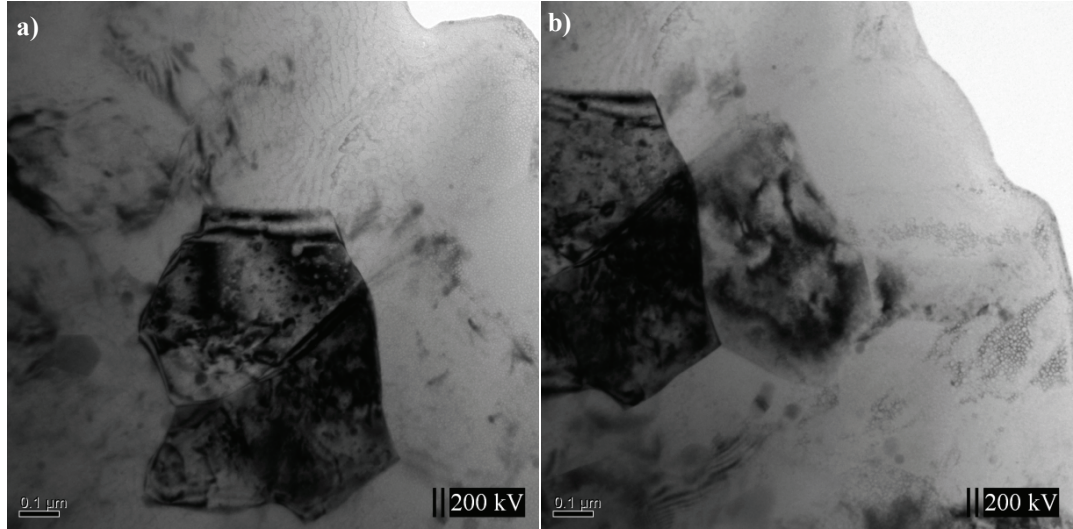


Şekil 3.15. 2 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri.

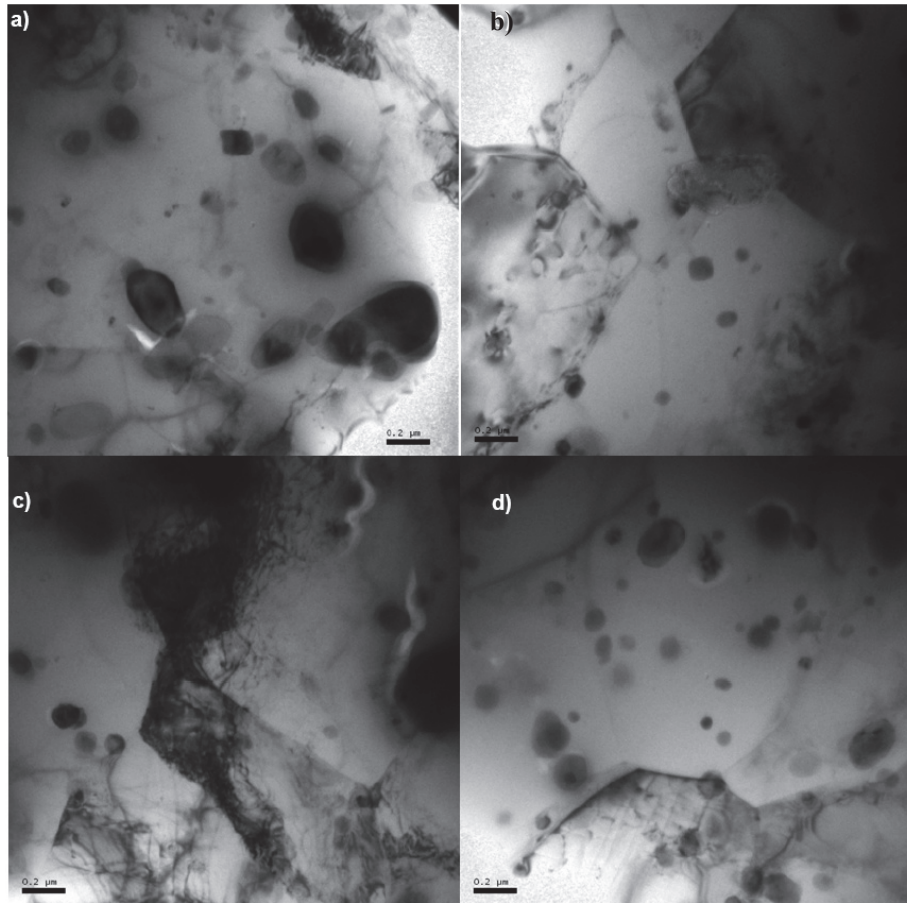


Şekil 3.16. 3 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri.

partiküllerin boyutları ise çok daha fazla sayıdadır. Dislokasyon yoğunluğunun düşük olduğu söylenilebilir. 5 geçişli numunelerin görüntüleri Şekil 3.18'de görülmektedir. Bu numunelerde de iki farklı boyutta çökelti partikülleri mevcuttur. Dislokasyon yoğunluğunu 4 geçişli numuneye kıyasla daha yüksektir.

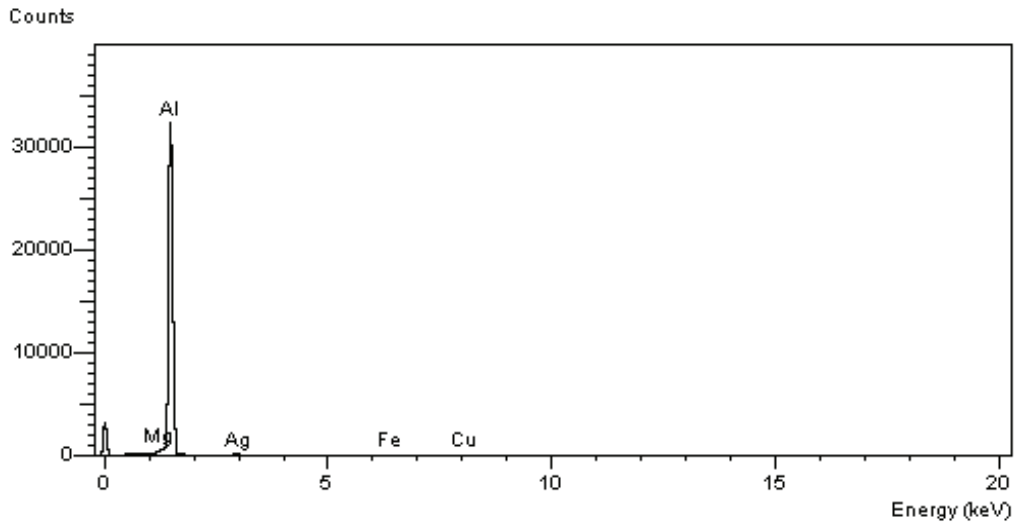


Şekil 3.17. 4 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri.

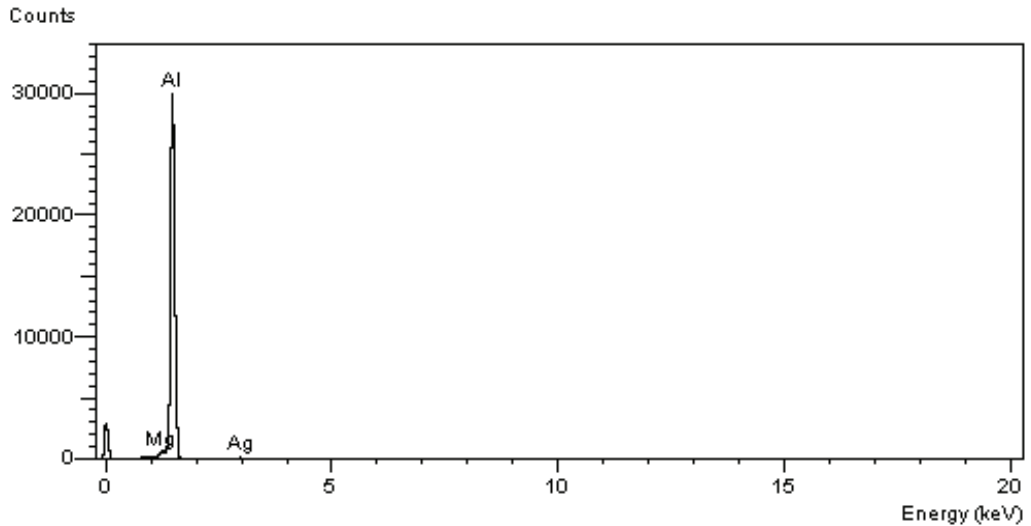


Şekil 3.18. 5 geçişli AA 6061/%5 SiC TM numunelerin TEM görüntüleri.

TM kompozit biletlerin geçiş sayısı arttığında dislokasyon yoğunlukları artmaktadır. Burada bazı numunelerde geçiş sayısı arttığında dislokasyon yoğunlukları düşük olsada, en yüksek dislokasyon yoğunluğu 5 geçişlidir. Karşıt ekstrüzyon sonrası tane ve tane sınırlarındaki elementlerin yüzdelerini ve kimyasal içeriğini belirlemek amacıyla EDX analizi yapılmıştır (şekil 3.19-3.20). şekil 3.20’de 5 geçişli numunenin tane ve tane sınırı edx analiz sonuçları görülmektedir. Sonuçlar, birbirine çok yakındır ve tane sınırlarında malzemenin kimyasal içeriği ve yüzdelerinde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir.



şekil 3.19. 5 geçişli TM numunenin tane içi EDX analizi.



şekil 3.20. 5 geçişli TM numunenin tane sınırı EDX analizi.

şekil 3.21’de AA 6063 % 5 SiC takviyeli döküm numunelerin TEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüler üzerinde yapılan incelemelerde numunelerin tane boyutlarında başlangıçta azalma ve sonra hafif bir artma ve azalma şeklinde

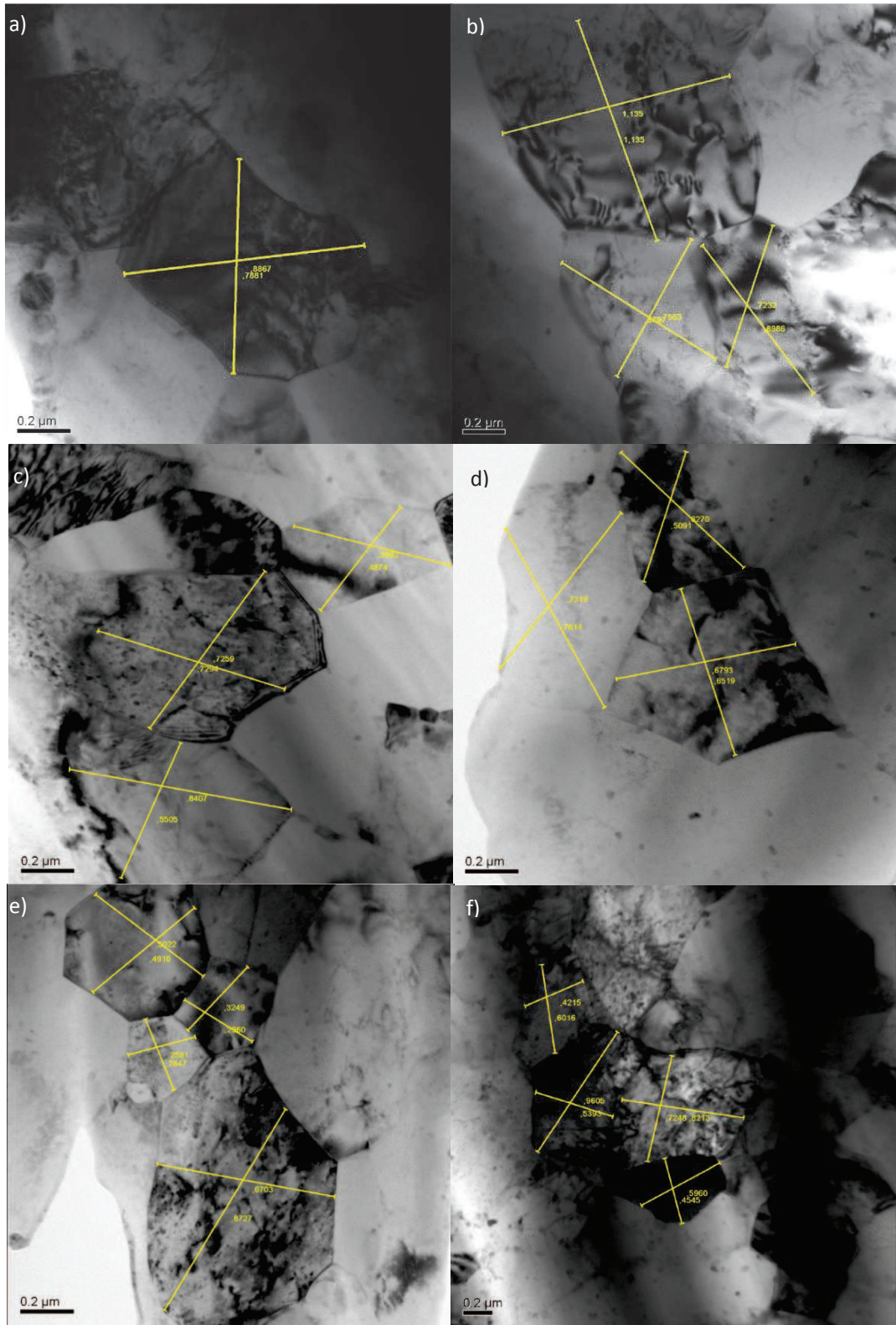
değişimler görülmektedir. İşlem süresince Al tanelerinin 4 geçişte en düşük seviyeye ulaştığı ve sonra tekrar artsa da başlangıçtakine göre azalmaktadır. Tane boyutu $51 \mu\text{m}$ 'den $0,5693 \mu\text{m}$ seviyelerine kadar küçülmüştür.

Şekil 3.22'de geçiş sayısı ile tane boyutu ve yüzde tane boyutu değişim oranı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. En küçük tane boyutu elde edilen 4 geçişli numunenin tane boyutu billete göre % 98,88 azalmıştır. Geçiş sayısı 0'dan 4'ye yükseldiğinde tane boyutundaki incelme yaklaşık % 27,16 olmuştur. Geçiş sayısı 0'dan 5'e çıktığında ise tane boyutu % 18,73 azalmıştır. Görüldüğü gibi geçiş sayısı ile tane boyutundaki küçülme tespit edilmiştir.

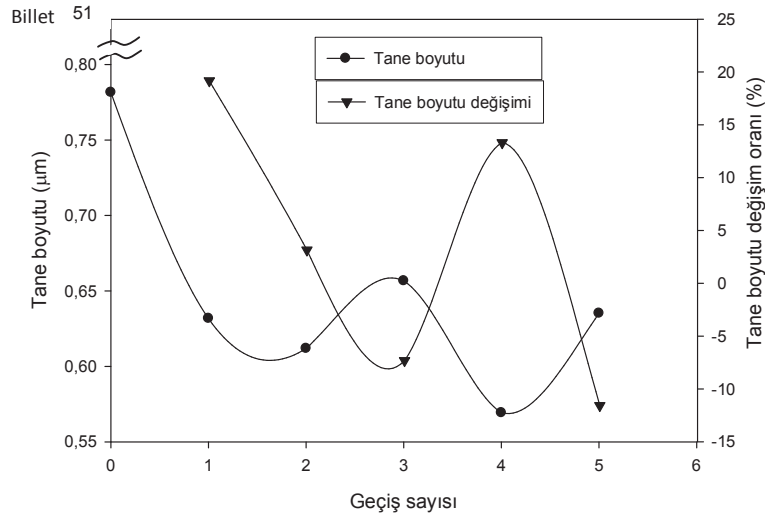
200 °C de ekstrüze edilmiş % 5 SiC takviyeli AA 6061 numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir. Tane boyutu en düşük 4 geçişli numunede $0,5693 \mu\text{m}$ değerine kadar incelmıştır.

Tablo 3.4. Takviyesiz ve takviyeli TM numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutlarındaki değişim .

KE. Geçiş Sayısı	Tane Boyutu (μm)	Tane Boyutu Değişim Oranı %
Billet	51	-
0	0,7816	98,4674
1	0,6318	19,1658
2	0,6119	3,1497
3	0,6567	-7,3215
4	0,5693	13,3090
5	0,6352	-11,5756



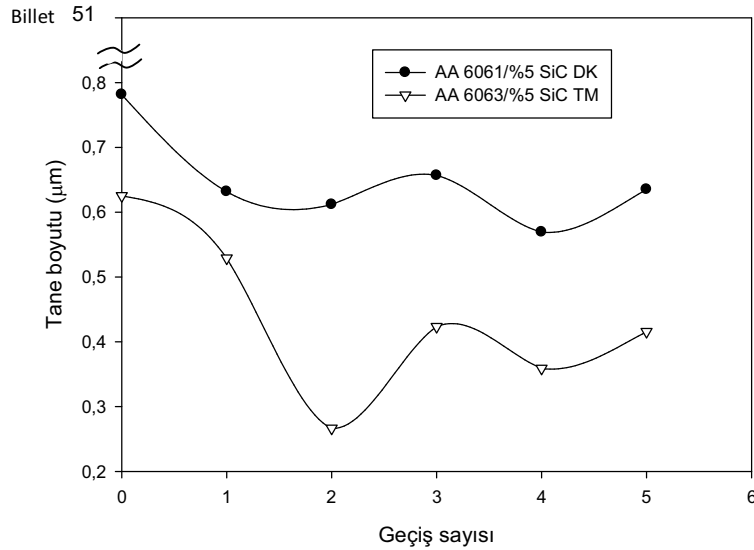
Şekil 3.21. % 5 SiC takviyeli AA 6063 döküm numunelerin KE sonrası TEM görüntüsü a) 0 geçiş (0,7816 μm) b) 1 geçiş (0,6318 μm) c) 2 geçiş (0,6119 μm) d) 3 geçiş (0,6567 μm) e) 4 geçiş (0,5693 μm) f) 5 geçiş (0,6352 μm)



Şekil 3.22. Geçiş sayısına göre tane boyutu ve tane boyutu değişim oranı.

3.2.1.1.1. Tartışma

Şekil 3.23’de TM ve döküm numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutu değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi geçiş sayısı ile TM numunelerin tane boyutundaki incelmeye döküm numunelerinkinden daha fazla olmaktadır. Literatürde yapılan bazı çalışmalarla paralel sonuçlar elde edilmiştir. Chou ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında AA6061 Al alaşımını çapraz kanallı ekstrüzyon işlemi ile şiddetli deformasyona uğratarak, çapraz kanallı ekstrüzyonun mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın başlangıcında AA6061 alaşımının tane boyutu yaklaşık $700\mu\text{m}$ olup, $200\text{ }^\circ\text{C}$ ’den $300\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar 8 geçişli ekstrüzyon sonrası ince taneli yapı $0.2-4\ \mu\text{m}$ tane boyutlarında gözlemlenmiştir. Daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti düşük sıcaklıkta elde edilen numunelerde gözlemlenmiştir [37]. Kompozit TM numunelerde KE sonrası ince taneli yapı $0.2-4\ \mu\text{m}$ tane boyut aralığında oluşurken kompozit döküm numunelerde taneler $0.5-7\ \mu\text{m}$ aralığında ölçülmüştür (Şekil 3.23). Yani tane boyutu her iki imalat yönteminde de incelirken TM numunelerde incelmeye daha fazla olmuştur. TEM sonuçları ile ilişkilendirildiğinde 2 geçişli TM numuneler çok küçük boyutlu çökelti partiküllerini barındırır. 3 geçişlide bu çok küçük partiküller yoktur. Dislokasyon yoğunluğu ise her iki numunede de yüksek olduğu görülür (Şekil 3.15-16). Bu sebeple 2 geçişli numunenin sertliğinde etken faktör dislokasyon yoğunluğundan ziyade çökelti partikülleridir.



Şekil 3.23. TM ve döküm numunelerinin geçiş sayılarına göre tane boyutu değişimi.

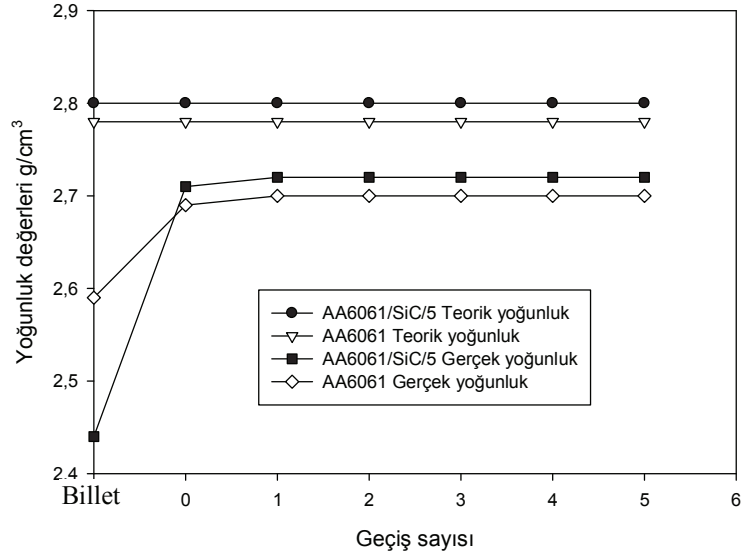
3.2.1.2. Yoğunluk Değişimleri

200 °C işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranında takviyesiz ve takviyeli TM numunelerin gerçek yoğunluk değerleri Tablo 3.5’de, gerçek ve teorik yoğunluk değişimlerinde Şekil 3.24’de gösterilmektedir. Takviyeli numunenin teorik yoğunluğu 2,802 g/cm³ , takviyesiz numunenin teorik yoğunluğu ise 2,78 g/cm³’dür. Takviyesiz ve takviyeli numunelerin gerçek ve teorik yoğunluk değerlerinin oldukça birbirine yakın olduğundan malzeme içerisinde gözenekliliğin en az seviyede olduğu anlaşılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi işlem görmemiş billetlerin yoğunluğu işlemden sonra önemli oranda artarak teorik yoğunluğa çok yaklaşmıştır.

Tablo 3.5. TM numunelerin gerçek yoğunluk değerleri (200 °C).

K.E.Geçiş Sayısı	Gerçek Yoğunluk Değerleri (g/cm ³)	
	Takviyeli	Takviyesiz
Billet	2.44	2.59
0	2.71	2.69
1	2.72	2.70
2	2.72	2.70
3	2.72	2.70
4	2.72	2.70
5	2.72	2.70

200 °C işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranında takviyesiz ve takviyeli döküm

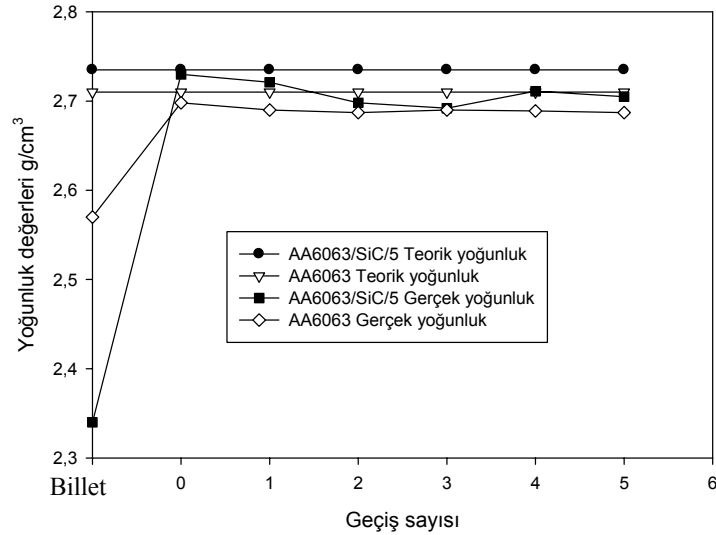


Şekil 3.24. Takviyeli ve takviyesiz TM numunelerin ölçülen ve teorik yoğunluk değişimi.

Tablo 3.6. Döküm numunelerin gerçek yoğunluk değerleri.

K.E.Geçiş Sayısı	Gerçek Yoğunluk Değerleri (g/cm ³)	
	Takviyeli	Takviyesiz
Billet	2.340	2.570
0	2.730	2.698
1	2.721	2.690
2	2.698	2.687
3	2.692	2.690
4	2.711	2.689
5	2.705	2.687

numunelerin gerçek yoğunluk değerleri Tablo 3.6'da, gerçek ve teorik yoğunluk değerleri Şekil 3.25'de gösterilmektedir. Takviyeli numunenin teorik yoğunluğu 2,735 g/cm³, takviyesiz numunenin teorik yoğunluğu ise 2,71 g/cm³'dir. Döküm sonrası billet yoğunlukları teorik yoğunluktan düşük olmasına rağmen ekstrüzyon sonrası takviyeli ve takviyesiz numunelerin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri oldukça birbirine yakın ölçülmüştür. Ekstrüzyon işlemlerinden sonra malzeme içerisindeki gözenekliliğin en az seviyeye inmesinden dolayı işlem görmemiş billetlerin yoğunluğu, işlemden sonra önemli oranda artarak teorik yoğunluğa yaklaşmıştır.



Şekil 3.25. Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin ölçülen ve teorik yoğunluk değişimi.

3.2.1.2.1. Tartışma

Tüm numunelerin gerçek yoğunlukları teorik yoğunluk değerlerine oldukça yakın olduğundan deformasyon sonucu malzeme içerisinde gözenekliliğin en az seviyede olduğu anlaşılmıştır. İşlem görmemiş biletlerin yoğunluğu işlemden sonra önemli oranda artarak teorik yoğunluğa yaklaşmıştır. Bu durum işlemden sonra sıkı ve boşluksuz bir iç yapı elde edildiğini, deformasyon derecesi arttıkça teorik yoğunluğa daha da yaklaşıldığını göstermektedir.

Döküm sonrası bilet yoğunlukları teorik yoğunluktan düşük olmasına rağmen ekstrüzyon sonrası takviyeli ve takviyesiz numunelerin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri oldukça birbirine yakın ölçülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Chu ve arkadaşları, karıştırılmış tozlardan 300 MPa basınç altında 300 °C de sıcak preslemişler ve son olarak 460 °C de 14 defa karşıt ekstrüzyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki kompozitler tamamen yoğunlaşmıştır [49].

3.2.1.3. Sertlik İncelemeleri

200 °C işlem sıcaklığı ve 4:1 ekstrüzyon oranındaki numunelerin HR 15N (Rockwell Superficial Hardness) ile ölçülen sertlik değerlerinin geçiş sayılarına göre sertlik değerleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. AA6061(72 μ m)/SiC(20 μ m)/%5 TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değerleri.

AA6061/SiC20 μ /5	
KE.Geçiş Sayısı	Sertlik Değerleri (HR 15N)
Billet	43.8
1	51.8
2	51.4
3	52
4	54
5	56.3

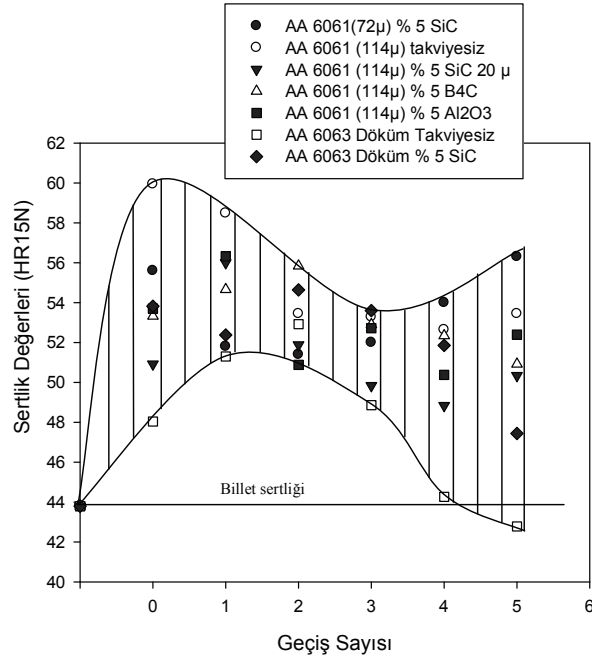
Sertlik değerlerinde çok az değişimler olmaktadır. Tablo 3.7’den de izlenebileceği gibi billet sertliğine göre numunelerin sertliği geçiş sayısı ile yavaşta olsa artmaktadır. Buradan tane yapısının küçüldüğü ve mukavemetinin arttığı tahmin edilebilir.

200 °C’de hazırlanan TM ve döküm takviyeli ve takviyesiz tüm numunelerin geçiş sayısına göre sertlik değerleri Tablo 3.8’de, sertlik değişimleri ise Şekil 3.26’da verilmiştir.

Tablo 3.8. Tüm numunelerin geçiş sayısına göre sertlik değerleri.

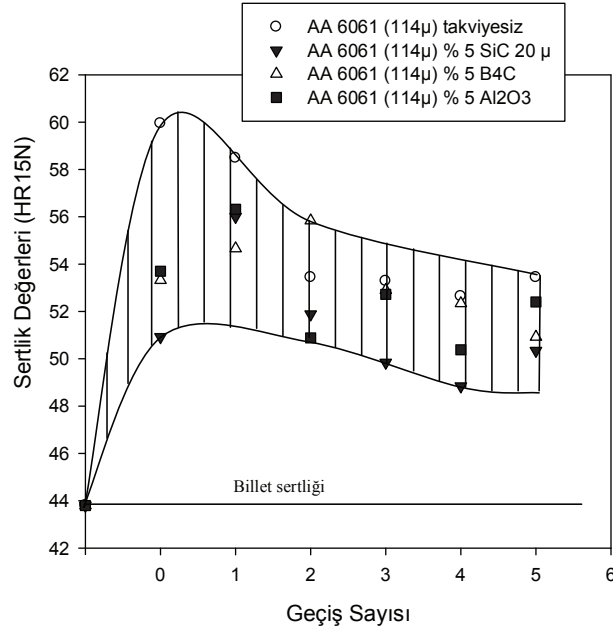
Sertlik Değerleri (HR 15N)								
Geçiş sayısı	AA 6061 (114 μ m) takviyesiz	AA 6061 (72 μ m) % 5 SiC (20 μ m)	AA 6061 (114 μ m) % 5 SiC (20 μ m)	AA 6061 (114 μ m) % 5 B ₄ C (22-59 μ m)	AA 6061 (114 μ m) % 5 Al ₂ O ₃ (20-50 μ m)	AA 2124 (24 μ m) % 5 SiC (20 μ m)	AA 6063 Döküm takviyesiz	AA 6063 Döküm % 5 SiC (20 μ m)
0	59.94	55.6	50.92	53.32	53.7	63.84	48.04	53.82
1	58.48	51.8	56	54.66	56.32	58.12	51.3	52.38
2	53.44	51.4	51.88	55.84	50.88	55.3	52.92	54.64
3	53.28	52	49.84	52.9	52.72	57.64	48.86	53.6
4	52.64	54	48.84	52.34	50.38	56.96	44.26	51.86
5	53.44	56.3	50.34	50.92	52.4	59.12	42.78	47.44

Şekil 3.27’de ise sadece TM ile elde edilen takviyesiz ve farklı seramik takviyeli tüm numunelerin sertlik değişimleri verilmiştir. Görüldüğü gibi sertliklerin geçiş

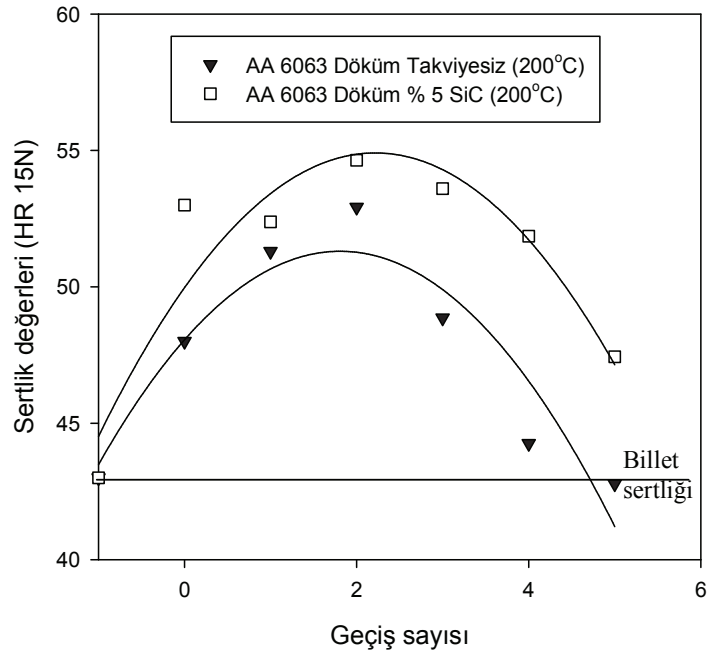


Şekil 3.26. Tüm numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değişimleri.

sayısıyla düşme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Döküm numuneler için sertlik geçiş sayısı ile önce artmış sonra azalmıştır (Şekil 3.28). Bütün buna rağmen tüm sertlik değerleri geçiş sayısı ile billet sertliğinin üzerine yükselmiştir.



Şekil 3.27. TM numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değişimleri.



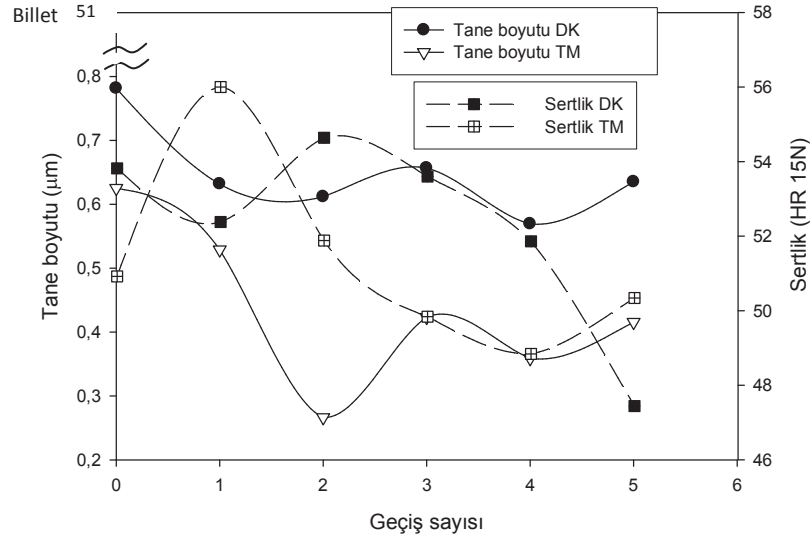
Şekil 3.28. Döküm numunelerin geçiş sayılarına göre sertlik değişimleri.

3.2.1.3.1. Tartışma

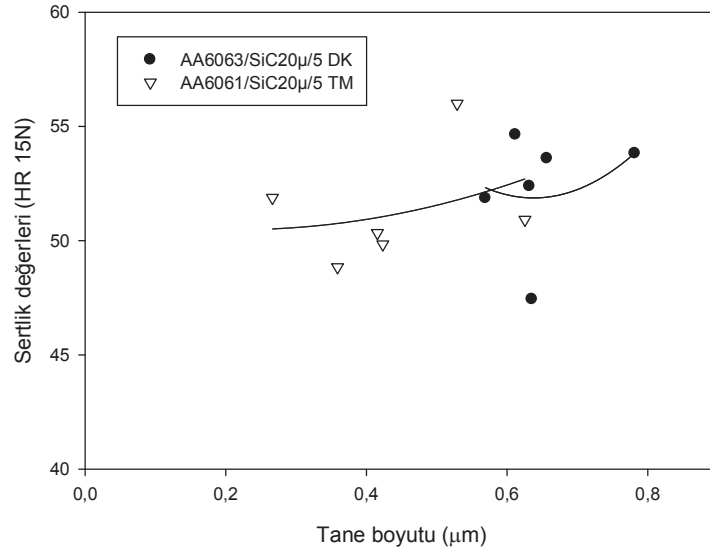
Şekil 3.29'da TM ve döküm kompozitlerin geçiş sayısına göre tane boyutu ve sertlik değişimleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde 1-2 geçiş arasında TM numunelerin tane boyutu azalırken sertliğide azalmıştır. Tane boyutu ve sertlikte 3-5 geçiş arasında ise azalıp artmaktadır. Yani tane boyutu küçüldükçe sertlikte küçülmüş, tane kabalaştığında sertlikte artmıştır.

Döküm numunelerin tane boyutu 2 geçişe kadar azalırken sertlik 1 geçişte azalıp 2 geçişte artmaktadır. Tane boyutu 3-5 geçiş aralığında artma ve azalma şeklinde değişirken sertlik azalmaktadır. TM numunelerde taneyi minimum yapan geçiş sayısında (2) sertlik en yüksek olmamış ancak kendinden sonra gelen geçişlerde ulaşılan sertliklerden daha yüksektir (Şekil 3.29)

Şekil 3.30'da TM ve döküm kompozit numunelerin tane boyutuna göre sertlik değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilde ilk göze çarpan hem TM hemde döküm numunelerin sertlik değişimi tane boyutuyla artan yönde olmaktadır. Döküm numunelerin hem tane boyutu hemde sertlik değerleri TM numunelerden yüksek değerlerde meydana gelmiştir. Yani tane boyutu küçüldüğünde sertlik azalmaktadır.



Şekil 3.29. TM ve döküm kompozit numunelerin geçiş sayılarına göre tane boyutu ve sertlik değişimi.



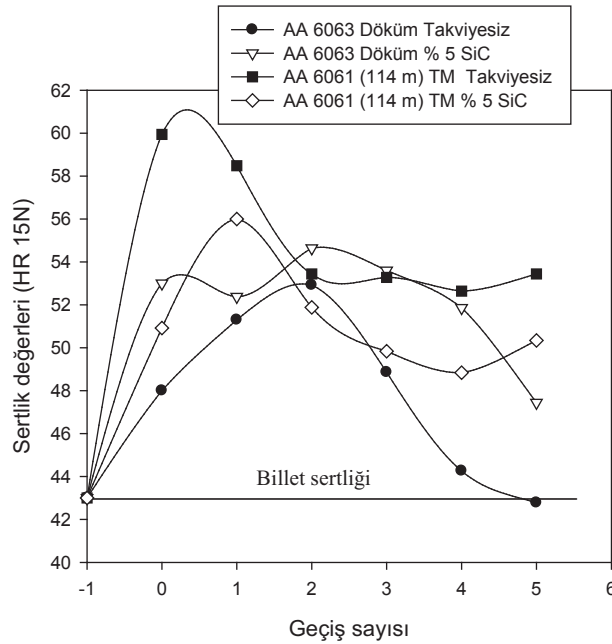
Şekil 3.30. TM ve döküm kompozit numunelerin tane boyutuna göre sertlik değişimi.

Bu sonuç , literatürde yapılan bazı çalışmalarla da paralellik göstermektedir [34,35].

TM ve döküm billetlerin sertlik değerlerinin geçiş sayısı ile değişimleri Şekil 3.31'de verilmiştir. Her iki durumda da sertlik önce artmış sonra tekrar azalmıştır. Döküm numuneler için sertlik değişimleri sertlik geçiş sayısı ile önce artmış sonra azalmıştır. Buna rağmen sertlik değerleri geçiş sayısı ile billet sertliği üzerine yükselmiştir. Sertlik değişiminde genel olarak geçiş sayısının etkisinin 2 geçişe kadar arttırıcı daha sonraki geçişlerin ise azaltıcı etkide buldukları tespit edilmiştir.

TM numunelerin sertliklerinin 1 geçiş sonrası döküm numunelerden yüksek

olduğu görülmektedir. Bu geçişte TM numuneler en yüksek sertlik değerlerine ulaşmıştır. Geçiş sayısının artması ile sertlik değerleri bir birlerine yakın değişimler göstermektedir. Burada sadece takviyesiz döküm numuneler istisna olarak geçiş sayısının artması ile billet sertliğine inmiştir.



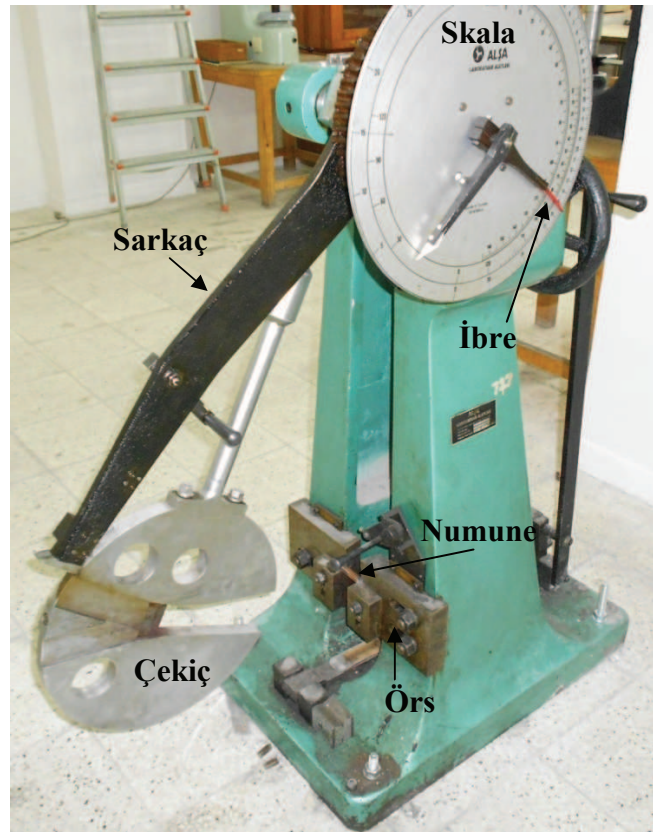
Şekil 3.31. Numunelerin geçiş sayısına göre sertlik değişimleri.

Tüm numuneler yeniden kristalleşme sıcaklığında (200°C) işlem gördüklerinden bir miktar pekleşmeye uğramış ve billet sertliğinden daha yüksek sertlik vermişlerdir. Ancak KE geçiş sayısı ile sertlik değişimi billet sertliğinin üzerinde olsada azalma eğilimindedir. Döküm numuneler için sertlik değişimleri yine benzer genel eğilimi göstermiştir. Yani sertlik, genel olarak geçiş sayısı ile önce artmış sonra azalmıştır. Şekilden de izlendiği gibi 200°C 'lik işlem sıcaklığında, geçiş sayısı ile meydana gelen sertlik değişimleri her halükarda, billet sertliği üzerindeki değerlerde gerçekleşmiştir. Ancak ön denemelerde elde edilen 300°C 'lik işlem sıcaklığındaki değişim genel olarak billet sertliği civarında ve altındadır. Buradan da anlaşılacağı şekilde işlem sıcaklığı geçiş sayısı ile sertlik değişim eğilimini pek etkilemese de geçiş sonrasında ulaşılan sertlik değerleri açısından en etkili faktör olmuştur. Bu sonuçlar literatürde yapılan bazı çalışmalarla paralellik gösterir. Bu çalışmada daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti düşük sıcaklıkta elde edilen numunelerde gözlemlenmiştir. Bununla beraber artan ekstrüzyon geçişleri ile gittikçe incelen dağılım ve uzama özelliğinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Bazı çalışmalarda zıtlık arz etmektedir [37].

3.2.2. Mekanik Testler ve Değerlendirme

3.2.2.1. Çentik Darbe Testleri

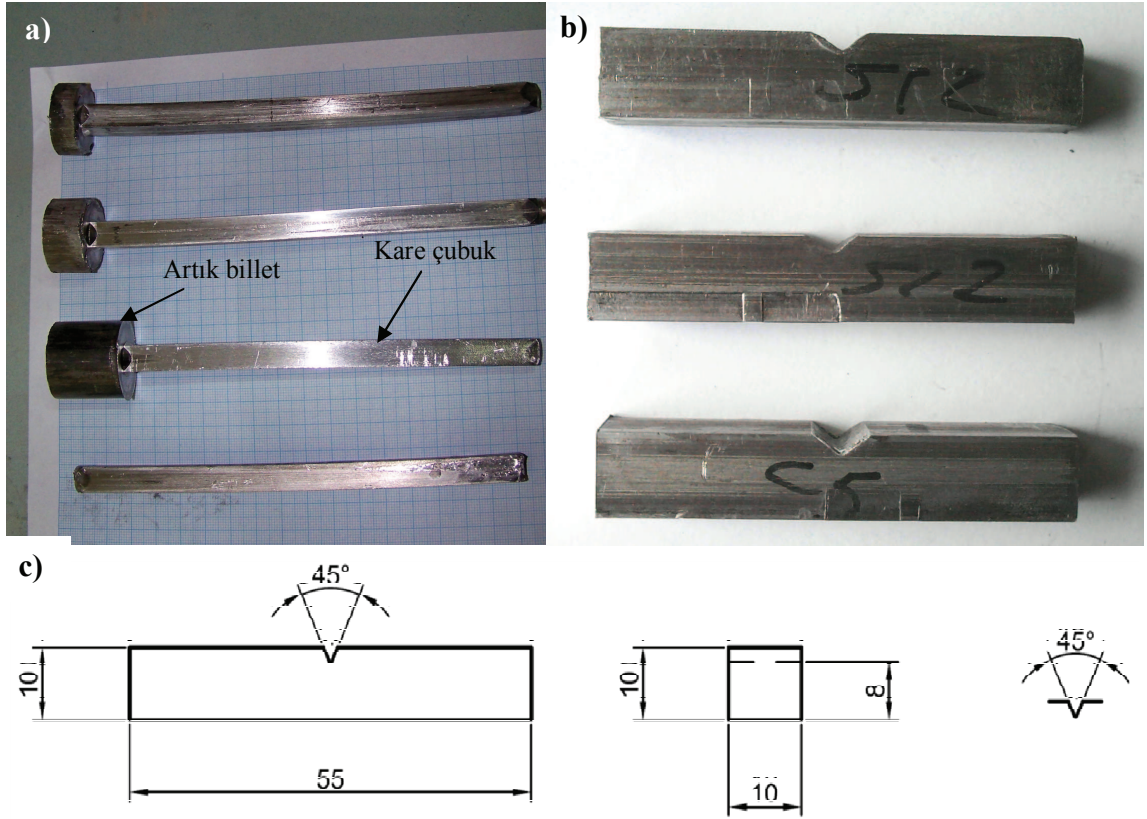
Çentik darbe testleri 200 °C işlem sıcaklıklarında ekstrüze edilen TM ve döküm numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe test düzeneği Şekil 3.32’de görülmektedir.



Şekil 3.32. Çentik darbe test düzeneği.

Çentik darbe numunelerini planlanan ekstrüzyon geçişlerinden sonra nihai olarak direkt elde edebilmek için, 10x10 mm kare kesitli ekstrüzyon kalıbı kullanılmış ve kare kesitli çubuk şeklinde ekstrüze edilmiştir (Şekil 3.33 a-b). Şekil 3.33 c’de görüldüğü gibi TS EN 10045-1’e göre V çentikli darbe deney numunesi hazırlanmıştır.

Çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak çentik darbe tokluğu aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.



Şekil 3.33. a) Ekstrüze edilmiş kare kesitli çubuklar, b) V çentikli darbe deney numunesi c) Çentik darbe deney numune boyutları.

$$\alpha_{\zeta} = \frac{E \text{ kpm}}{A \text{ mm}^2}$$

α_{ζ} : Çentik darbe tokluğu

E : Kırılma enerjisi

A : Kesit alanı

$$A = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}^2$$

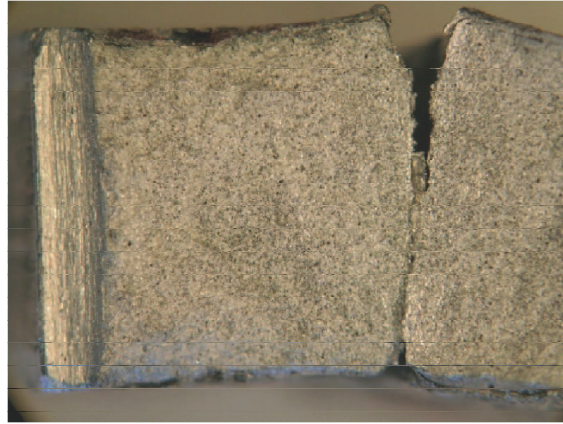
$$1 \text{ kpm} = 9,806 \text{ J} = 1 \text{ kgf.m}$$

TM Numuneler

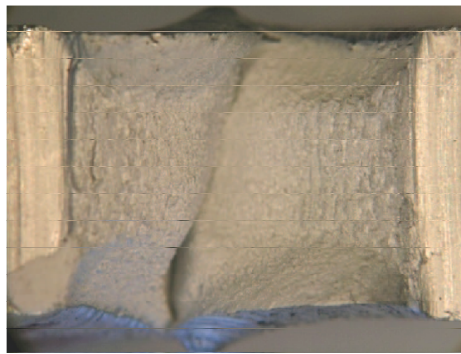
5 geçişli % 5 SiC takviyeli ve takviyesiz çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri Şekil 3.34-3.35'de görülmektedir.

Çentik darbe deneylerinden elde edilen sonuçlar enerji değerleri Tablo 3.9'da verilmiştir. Çentik darbe kırılma enerji değerleri Şekil 3.36'da verilmiştir.

Tablo 3.9 ve Şekil 3.36'dan izleneceği üzere adı geçen takviyeli ve takviyesiz numunelerin kırılma enerjisi genel olarak geçiş sayısı ile artmaktadır. Takviyesiz



Şekil 3.34. 5 geçişli % 5 SiC takviyeli çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri.



Şekil 3.35. 5 geçişli takviyesiz çentik darbe numunesinin kırılma yüzeyleri.

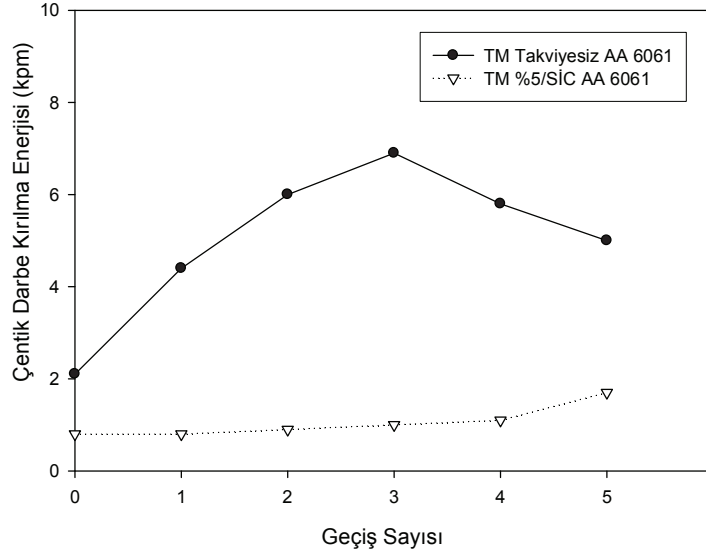
Tablo 3.9. Geçiş sayısına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.

Çentik Darbe Kırılma Enerji Değerleri (kpm)		
KE. Geçiş Sayısı	Takviyesiz AA6061	AA6061/SiC20 μ /5
0	2.1	0.8
1	4.4	0.8
2	6	0.9
3	6.9	1
4	5.8	1.1
5	5	1.7

numunelerde kırılma enerjisi geçiş sayısı ile önce hızlı artmakta ve sonra çok az azalsa da ilk duruma göre daha yüksektir. Takviyeli numunelerin kırılma enerjileri takviyesiz numunelerden az olmakla birlikte geçiş sayısı ile artış göstermektedir. Daha önce bahsedilen tane kabalaşması ve sertlik düşüşü dikkate alınır, kırılma enerjisi açısından da paralel eğilim gözlemlenir.

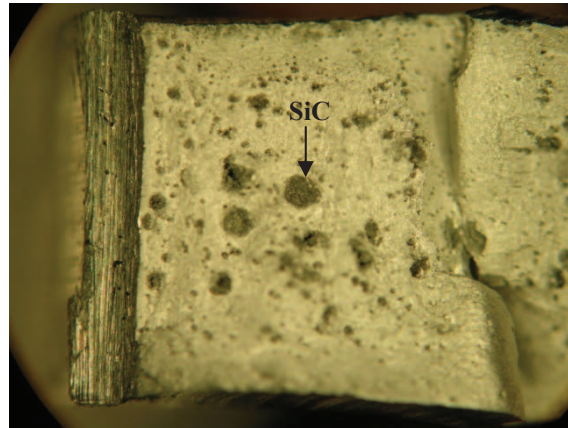
Döküm Numuneler

3 geçişli % 5 SiC takviyeli ve takviyesiz çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri

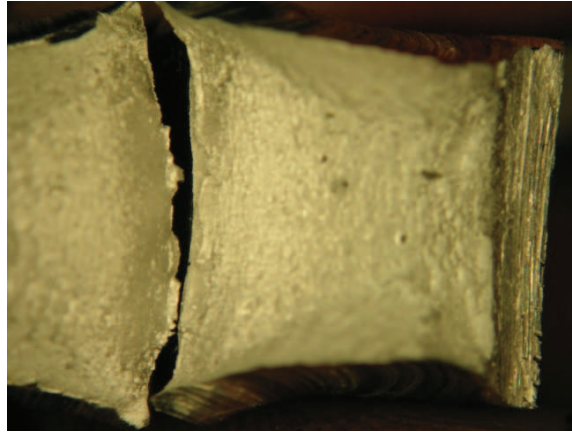


Şekil 3.36. Geçiş sayılarına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.

Şekil 3.37-3.38'de görülmektedir. Takviyeli numunelerin kırılma yüzeylerinde çok miktarda takviye elemanı görülmektedir. Bu da takviyeli numunelerde kırılmanın takviye elemanı ile matris arayüzeyinden olduğunu göstermektedir. Takviye elemanının varlığı malzemenin tokluğunun azalmasına da sebep olmaktadır (Şekil 3.39). Takviyesiz numune yüzeyleri ise daha parlaktır. Buradan takviyesiz numunelerde kırılmanın tane sınırlarını takip etmeyip, tane ortasından koptuğunu ve daha sünek kırılma olduğunu söyleyebiliriz. Takviyesiz numuneler daha sünek olduğundan toklukları takviyeli numunelerden daha yüksek olmuştur. Çentik darbe deneylerinden elde edilen enerji değerleri Tablo 3.10 ve Şekil 3.39'da verilmiştir. Şekilden izleneceği üzere adı geçen takviyeli ve takviyesiz numunelerin kırılma enerjisi 3 geçişe kadar artmakta ve sonra azalmaktadır.



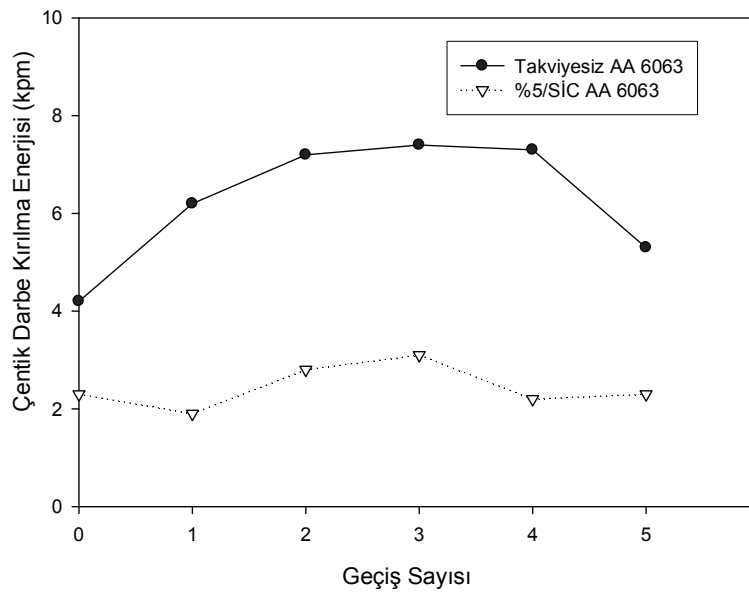
Şekil 3.37. 3 geçişli % 5 SiC takviyeli çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri.



Şekil 3.38. 3 geçişli takviyesiz çentik darbe numunesinin kırılma yüzeyleri.

Tablo 3.10. Geçiş sayısına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.

Çentik Darbe Kırılma Enerji Değerleri (kpm)		
KE. Geçiş Sayısı	Takviyesiz AA6063	AA6063/SiC20 μ /5
0	4.2	2.3
1	6.2	1.9
2	7.2	2.8
3	7.4	3.1
4	7.3	2.2
5	5.3	2.3



Şekil 3.39. Geçiş sayılarına göre çentik darbe kırılma enerji değerleri.

Takviyesiz numunelerde kırılma enerjisi geçiş sayısı ile önce hızlı artmakta ve sonra azalsa da ilk duruma göre daha yüksek seyretmektedir. Takviyeli numunelerin kırılma enerjileri takviyesiz numunelerden az olmakla birlikte geçiş sayısı ile artmakta sonra azalarak ilk baştaki duruma geri dönmektedir. Daha önce

bahsedilen sertlik düşüşü dikkate alınır, kırılma enerjisi açısından da paralel eğilim gözlemlenir.

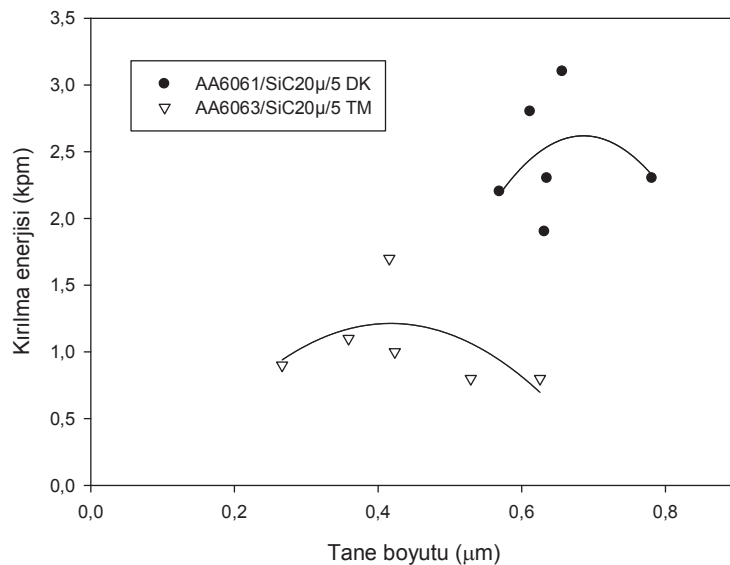
3.2.2.1.1. Tartışma

TM ve döküm kompozit numuneler için tespit edilen çentik darbe kırılma enerji değerleri Şekil 3.40'da verilmiştir. TM kompozit numunelerin tane boyutu daha ince ve kırılma enerjileri döküme göre daha düşük değerlerdedir. Her iki kompozit numunede de kırılma enerjisi tane boyutuna göre önce artan ve sonra azalan değişimler göstermiştir. Dolayısıyla yapılan deney sayısının yetersizliğine rağmen tane boyutu ile kırılma-enerjisi arasında sistematik bir değişimin olmadığı söylenebilir.

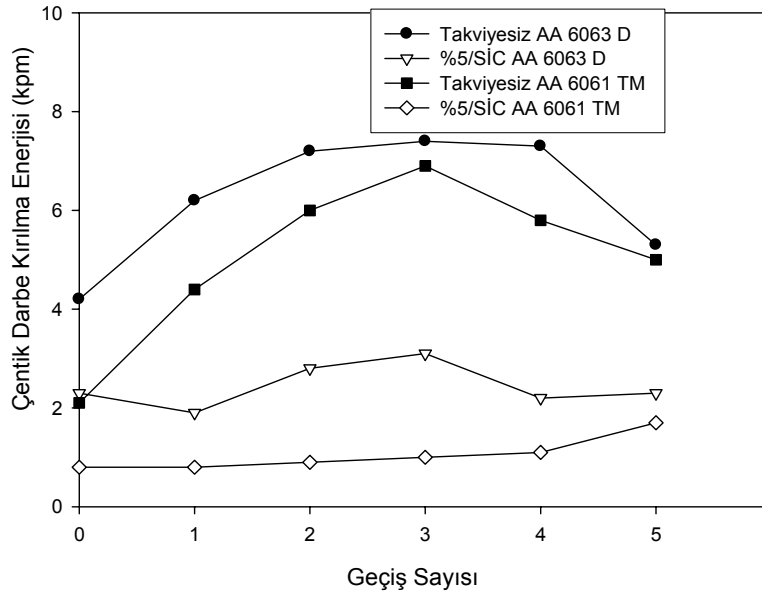
TM numunelerde kırılma enerjisi geçiş sayısı arttığında, önce hızlı artmış sonra biraz azalsa da ilk duruma göre yüksek değerlerdedir. Tüm takviyesiz numunelerin kırılma enerjileri sıcaklıkla önce artmış sonra azalmıştır.

Döküm ve toz numunelerin kırılma enerji değerleri Şekil 3.41'de görülmektedir. Hem takviyeli hemde takviyesiz numunelerde döküm numunelerin kırılma enerjileri TM numunelerden daha büyük değerlere sahiptir. Her iki durumda da takviyesiz numunelerin enerjileri takviyelilerden daha yüksektir.

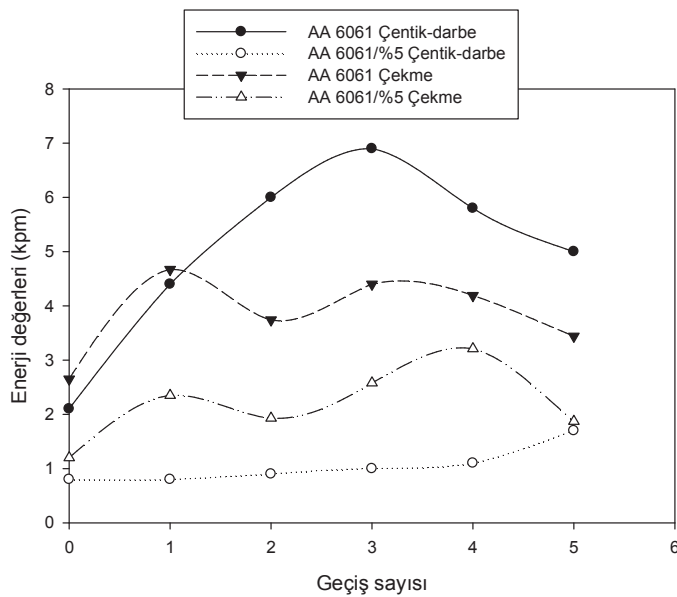
Şekil 3.42'de TM numunelerin geçiş sayılarına göre çentik darbe ve çekme enerji



Şekil 3.40. TM numunelerin tane boyutuna göre kırılma enerjisi değişimi.



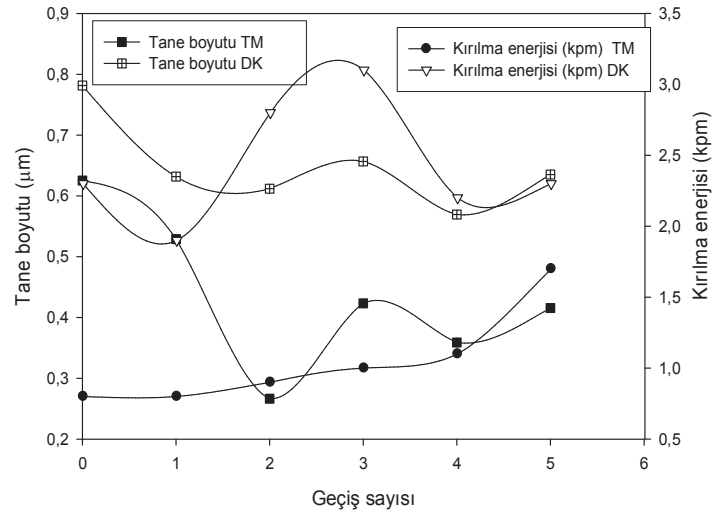
Şekil 3.41. Döküm ve TM numunelerin geçiş sayılarına göre çentik darbe kırılma enerji değişimleri.



Şekil 3.42. Geçiş sayılarına göre çentik darbe ve çekme enerji değişimleri

değerleri verilmiştir. Şekil 3.42 incelendiğinde gerek çentik darbe ve gerekse çekme enerjileri genel olarak ilk önce artmakta sonra azalmaktadır. Sadece TM kompozit numunelerin çekme enerji değerleri diğerlerinden düşük olmak kaydıyla geçiş sayısı ile artmaktadır. Takviyeli numunelerde bu davranışın sebebi takviye elemanı barındırdıkları için sertliklerinin takviyesizlere göre daha yüksek olmasıdır.

TM kompozit numunelerin geçiş sayısı ile tane boyutları düşerken kırılma enerjileri artmaktadır (Şekil 3.43). En yüksek kırılma enerjisi 5 geçişli numunede elde



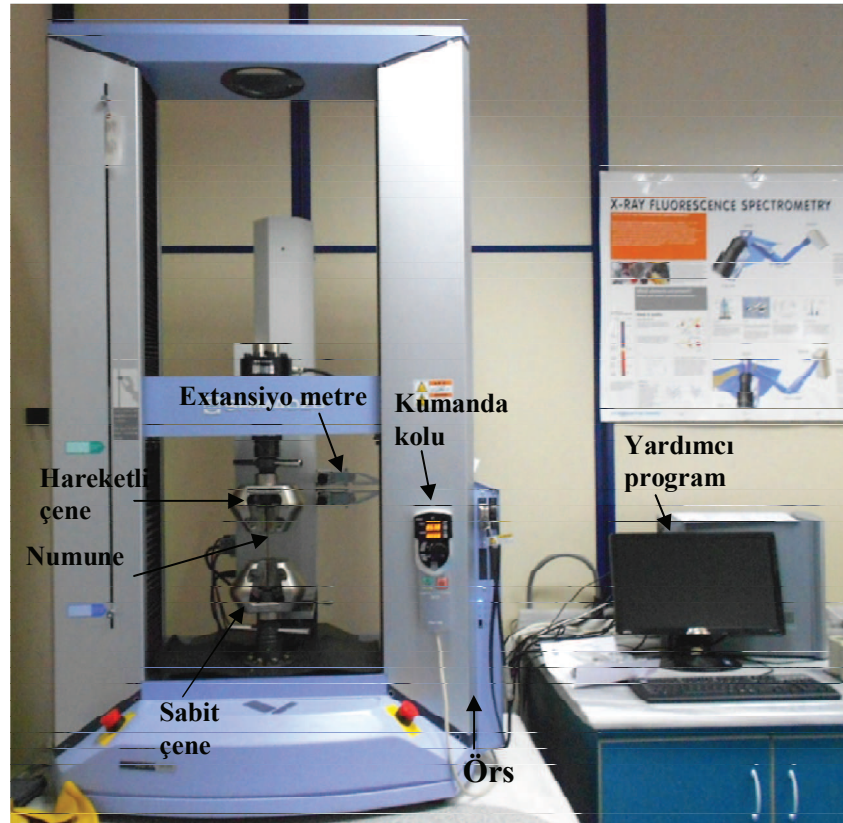
Şekil 3.43. Geçiş sayılarıyla kırılma enerjileri ve tane boyutu değişimi .

edilmiştir. Sertlik tane boyutuyla doğru orantılı olduğundan, takviyeli numunenin geçiş sayısı ile tane boyutu ve sertliği azalırken, tokluğu artmıştır. Döküm kompozit numunelerde tane boyutu ile kırılma enerjileri arasında paralel bir değişim vardır. Tane boyutu azaldığında kırılma enerjisi azalmakta, tane boyutu arttığında kırılma enerjisi de artmaktadır. Sertlik arttığında ise kırılma enerjisi beklenildiği gibi azalmaktadır.

TM numunelerde genel olarak 3 geçişe kadar çentik darbe enerjileri takviyesiz numunelerde artarken takviyeli numunelerde 5 geçişe kadar artmaya devam etmiştir. Çekme enerjileri açısından ise takviyeli ve takviyesiz numuneler paralel değişim göstererek sinüsoidal bir şekilde artıp azalmıştır. Ayrıca takviyesiz numunelerin tüm geçişler için takviyelilere göre daha tok olduğu görülür. Lee ve arkadaşları, karşıt ekstrüzyonu 7075 Al alaşımının tane yapısını ve inklüzyonları inceltmek için yeni bir metod olarak kullanmışlardır. Mikro yapı içindeki mekanizmalar ve özellikler tartışılmıştır. 5 geçişten sonra tane yapıları incelmıştır ve inklüzyonlarda 20 geçişten sonra incelmıştır. Dayanım seviyesi yaklaşık % 10 düşmesine rağmen, süneklik ve tokluk ekstrüzyon geçişinin artması ile önemli derecede artmıştır. Karşıt ekstrüzyonla ekstrüde edilmiş 7075 T6 alaşımları, klasik 7000 seri alaşımların yüksek dayanım-tokluk kombinasyonlarını göstermişlerdir [18].

3.2.2.2. Çekme Testleri

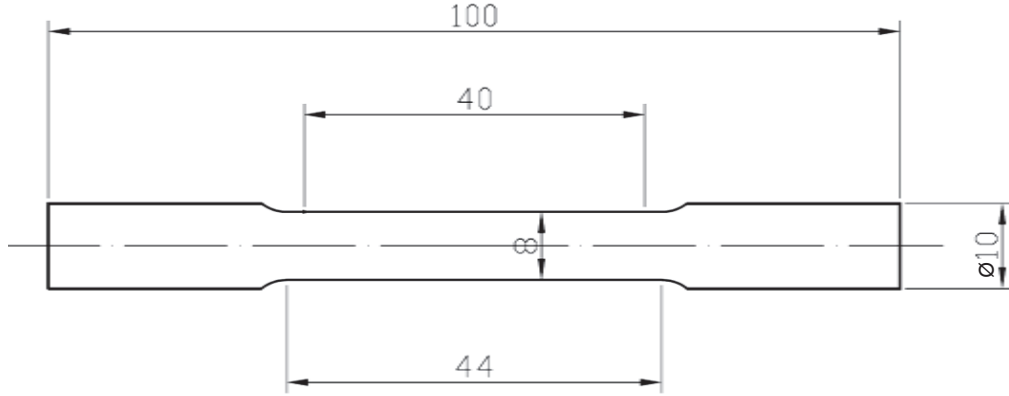
Çekme testleri 200 °C sıcaklığında işlem gören tüm numunelerde gerçekleştirilmiştir. Çekme cihazı Şekil 3.44'de görülmektedir.



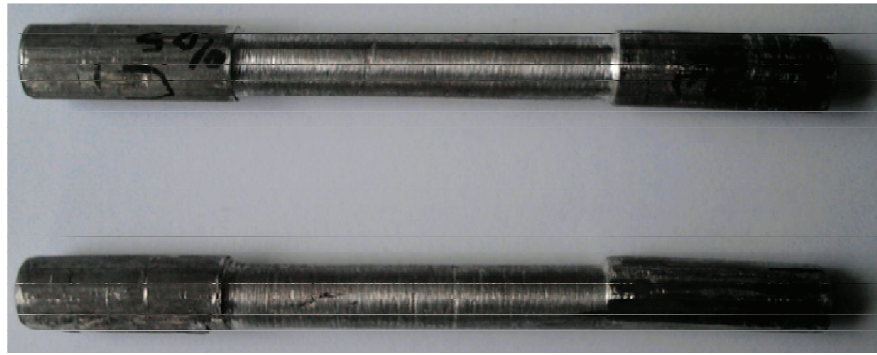
Şekil 3.44. Çekme cihazı.

KE ile elde edilen 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 geçişli çubuklardan, TSE 138'e göre çekme testi için 10mm çaplı numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.45-3.46).

Çekme deney sonuçlarının incelenmesi ile anlaşılmıştır ki (Ek-1), genel olarak tüm numuneler için maksimum çekme gerilmesi geçiş sayısı ile çok azda olsa azalmaktadır (Şekil 3.47). Bunun anlamı, geçiş sayısı arttıkça tane boyutu küçülürken çekme gerilmesi de azalmaktadır. Her numune eğrisine tek tek bakılırsa, geçiş sayısı ile maksimum çekme gerilmelerinde genel düşüşün aksine çok az dalgalanmalar olduğu tespit edilir. Mesela AA 6061/114 μ m/SiC takviyeli numunenin maksimum çekme gerilmesi geçiş sayısı ile 34 kgf/mm² den 24 kgf/mm² ye azalmakta iken B₄C takviyeli aynı numunede bu azalış sadece 32,7-29,2=3,5



Şekil 3.45. Çekme deney numunesi boyutları.



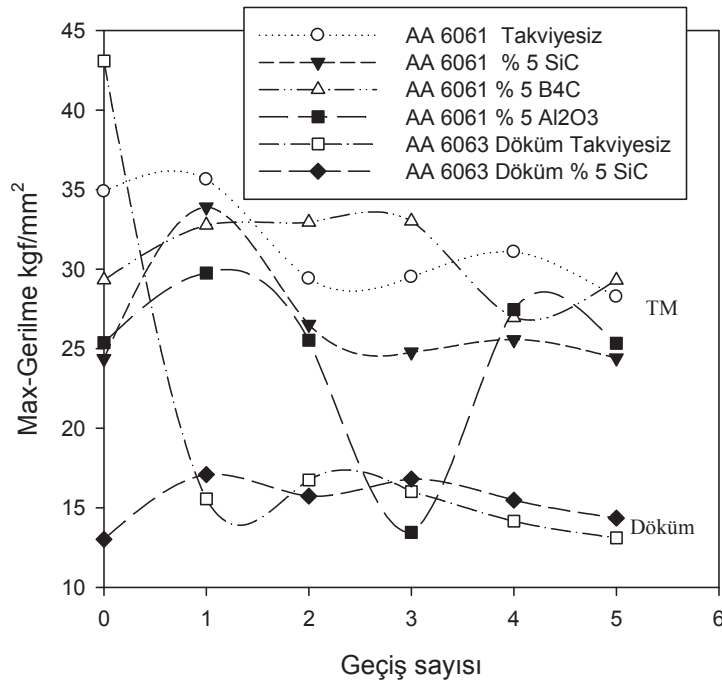
Şekil 3.46. Çekme deney numuneleri.

kgf/mm² olarak gerçekleşmiştir (Ek-1, Şekil 7,9). Benzeri şekilde diğer numune sonuçları da incelenirse deneye tabi numunelerin genel olarak maksimum çekme gerilmelerinde ekstrüzyon geçiş sayısıyla çok az düşüşler olduğu sonucuna varılır. Ancak döküm numunelerde bu azalış neredeyse yok gibidir (Ek-1, Tablo 1). Benzeri yorumlar akma gerilmesi içinde geçerlidir ve çekme neticeleri sertlikteki azalmaya paraleldir. Aynı türden neticeler Yu Chou ve arkadaşlarının EKE işleminin AA6061 alüminyum alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada da tespit edilmiştir. EKE işlemi 2, 4 ve 8 geçiş için 473 K (200 °C), 523 K (250 °C) ve 573K (300 °C) de gerçekleştirilmektedir. TEM incelemeleri ile görülmüştür ki EKE 8 geçişin üzerine ulaştıktan sonra, işlem sıcaklığı artarken tane kabalaşmaktadır. Ekstrüzyon sıcaklığının artması ile pekleşme oranı azaldığından sertlik ve çekme mukavemeti de azalmaktadır. Tane yapısının kabalaşması ve düzgün dağılım uzamanın artmasına yol açmıştır. Geçiş sayısının artması ile uzama artmakta kusurlar, gözeneklilik ve büzölmeler yok olmaktadır [37].

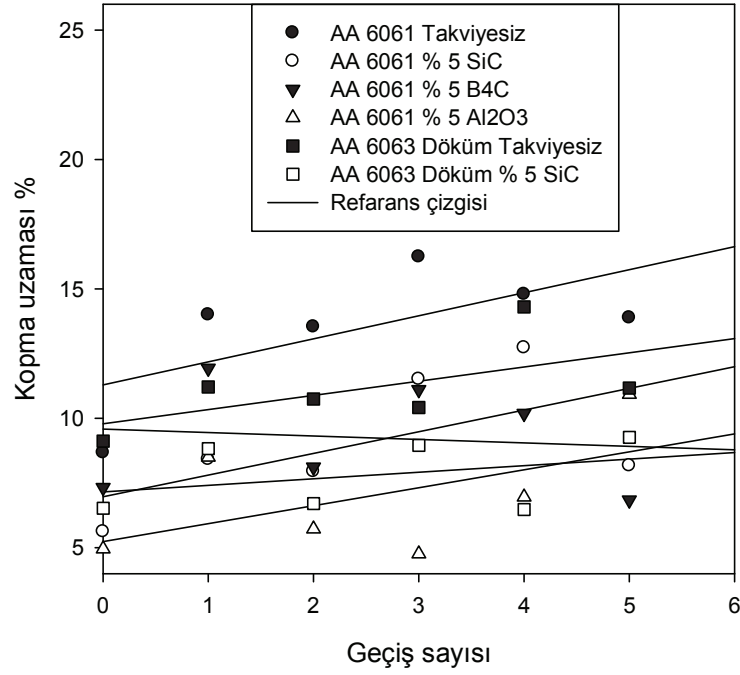
Ancak numunelerin kopma uzaması ve deney sırasında absorbe ettikleri enerji

bakımından karşılaştırılmaları halinde genel olarak geçiş sayısı ile pek fazla etkilenmedikleri görülür (Şekil 3.48-3.49). Numunelerin tek tek incelenmesiyle kopma uzamalarında hafif artışların olduğu izlenir. Örneğin çekme özellikleri verilen SiC takviyeli AA 6061 numune incelenirse, geçiş sayısı ile çekme gerilmesi azalan bu numunede kopma uzaması ve absorbe ettiği enerji 5 geçişe kadar çok az artmış, sonra sabit kalmış veya ihmal edilecek oranda azalmıştır. Benzeri şekilde bor karbür takviyeli numunenin bahsi geçen özellikleri de önce artmış ve sonra azalmıştır.

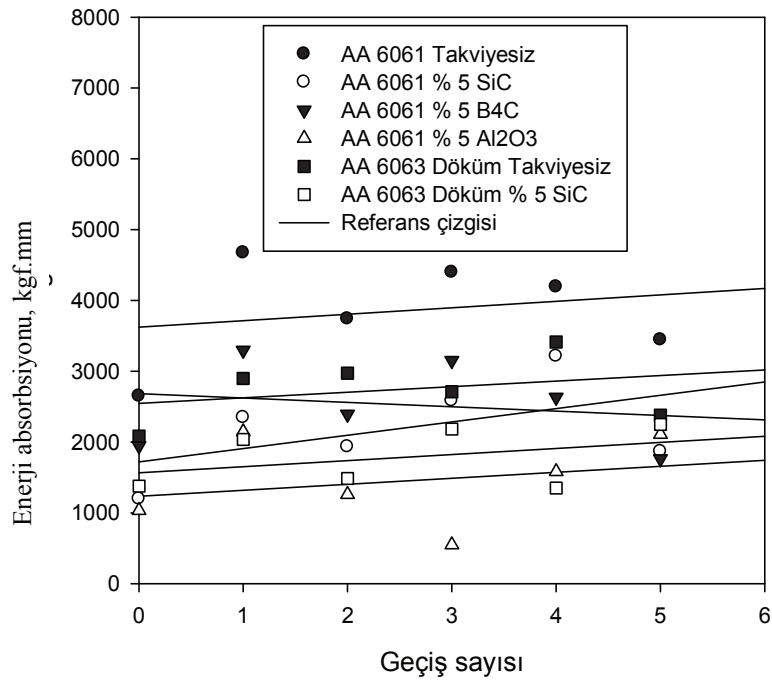
Alınan bu sonuçlar numunelerin çekme gerilmesi davranışına paralel olarak seyretmektedir. Sonuç olarak deneye tabi numunelerin kopma uzaması ve absorbe ettikleri enerji, ekstrüzyon geçiş sayısı ile ya çok az artmakta veya değişmemektedir (Ek-1).



Şekil 3.47. Tüm numunelerin geçiş sayılarına göre max. gerilme değerleri.



Şekil 3.48. Numunelerin geçiş sayılarına göre Kopma- % Gerinim değerleri.



Şekil 3.49. Numunelerin geçiş sayılarına göre enerji absorpsiyonu.

3.2.2.2.1. Tartışma

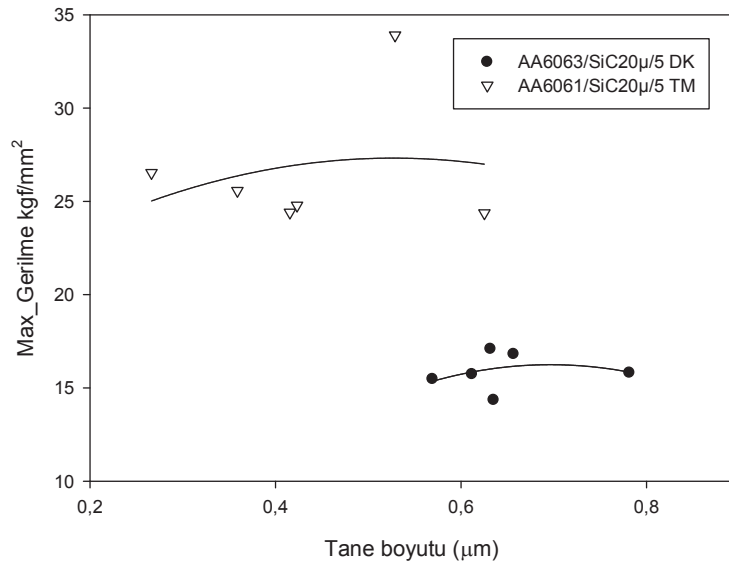
Şekil 3.50'de TM ve döküm numunelerin tane boyutuna göre max-gerilme değişimi görülmektedir. TM kompozitin gerilme değeri döküm kompozitinkine göre daha

yüksektir. Yani TM kompozitler döküm kompozitlere göre çok daha mukavemettir. Çünkü TM kompozitin çok geçişli ekstrüzyon sonrası oluşan tane boyutu daha düşüktür. Ancak her iki numune incelendiğinde tane boyutundaki artışla mukavemet artmaktadır. 200 °C'lik ekstrüzyon sıcaklığında işlenen takviyeli numunelerde takviye elemanının varlığından dolayı tane boyutu artmasıyla max-gerilmede artmaktadır. Bu artış literatürde yapılan bazı çalışmalarla da benzerlik arz etmektedir [43]. Bazı çalışmalarla ise zıtlık göstermektedir [31].

Bu sonuçlardan kompozit malzemelerde tane küçülmesi ile dislokasyonları engelleyen tane sınırları artması, yani malzemenin şekil değiştirme kabiliyetinin azalması beklenirken, takviye elemanının varlığı nedeniyle şekil değiştirmenin (deformasyonun) kolaylaşacağı sonucuna varılır. Yani tane küçülmesi ile malzemenin kazanacağı mukavemet artışının etkinliği takviye elemanlarının varlığı ile azaltılmıştır. Böylece, takviyesiz malzemeler Hall-petch kuralına uyarken kompozit malzemelerde bu uyum her zaman beklenemez. Çünkü, metalik kompozitlerde tane küçülmesi ve pekleşmenin mukavemet artışına katkısı, takviye elemanının iç hasara yardımcı olması nedeniyle deformasyonu kolaylaştırma etkisinden daha küçük olması hallerinde kompozit malzemelerin Hall-petch kuralına uymadığı bilinmelidir.

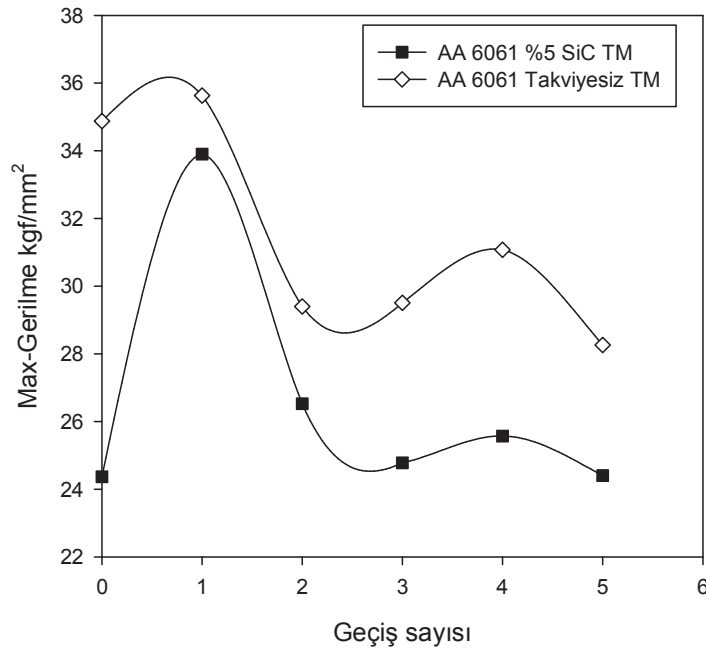
Sonuç olarak bu çalışma konusu kompozit malzemelerde tane boyutu küçülmesiyle mukavemetin artmadığı yani bu kompozitlerin Hall-petch kuralına uygun davranmadığı gerek tane boyutu-sertlik ve gerekse tane boyutu-max-gerilme değişim eğrilerinden izlenebilir (Şekil 3.30, 3.50). Ayrıca her iki durumunda da max-gerilmenin tane boyutuna göre değişimi sertliğin değişimi ile uyum göstermektedir.

TM numunelerin geçiş sayılarına göre maksimum gerilme değişimleri Şekil 3.51'de verilmiştir. TM numunelerin maksimum çekme gerilmeleri genel olarak geçiş sayısı azalırken, buna benzer olarak, döküm kompozit numunelerin maksimum çekme gerilmeleri de 1 geçişten sonra azalmaktadır (Şekil 3.52). Döküm takviyesiz numuneler ise 2 geçişe kadar artmakta daha sonra 3-5 geçiş arasında azalarak ilk durumuna geri dönmektedir. Şekil detaylı incelendiğinde TM ve döküm kompozit numunelerin maksimum gerilme değerleri geçiş sayısı ile sinüsoidal bir artış ve azalış



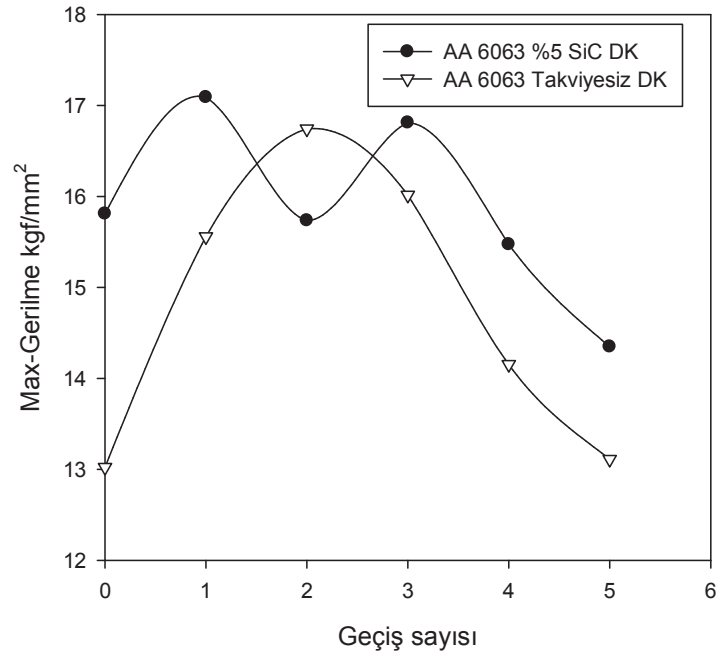
Şekil 3.50. TM numunelerin tane boyutuna göre max-gerilme değişimi.

göstermektedir. Fakat takviyesiz TM numune maksimum çekme gerilmesi açısından en yüksek değerlerle değişirken takviyesiz döküm numune minimum değerlerle değişmektedir. Bir başka dikkati çeken husus ise TM kompozit numunenin 1 geçiş sonrası maksimum çekme gerilmesi kendi kategorisindeki takviyesiz numunenin 2-5 geçiş sayısındaki maksimum gerilmesinden çok daha yüksektir.



Şekil 3.51. TM numunelerin geçiş sayılarına göre max. gerilme değerleri.

Geçiş sayısı ile kopma uzaması TM kompozit numune 4 geçişe kadar yüzde olarak artan gerinim göstermiştir. Bu numunelerin takviyesiz olanlarında hemen hemen

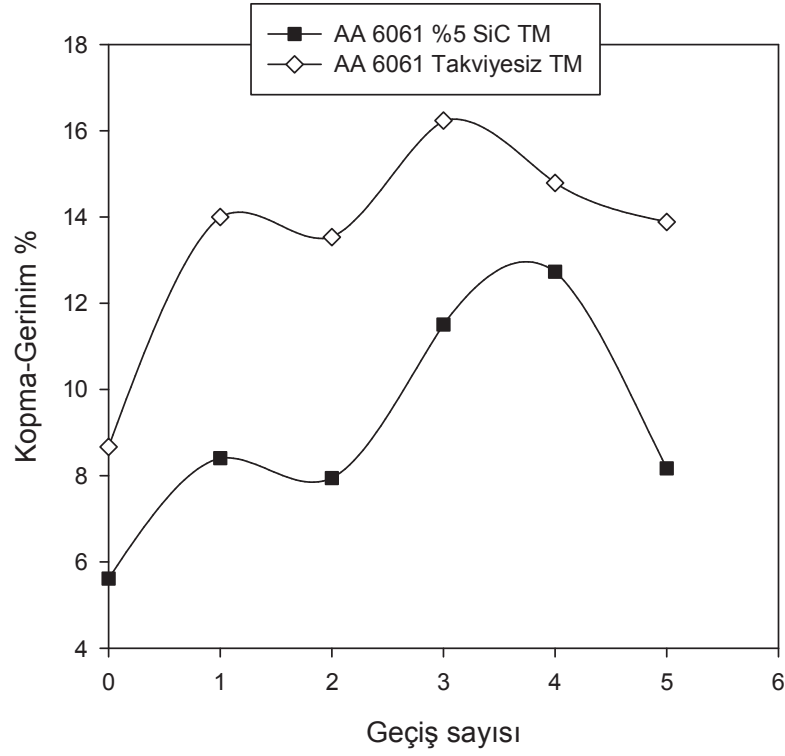


Şekil 3.52. Döküm numunelerin geçiş sayılarına göre max. gerilme değerleri.

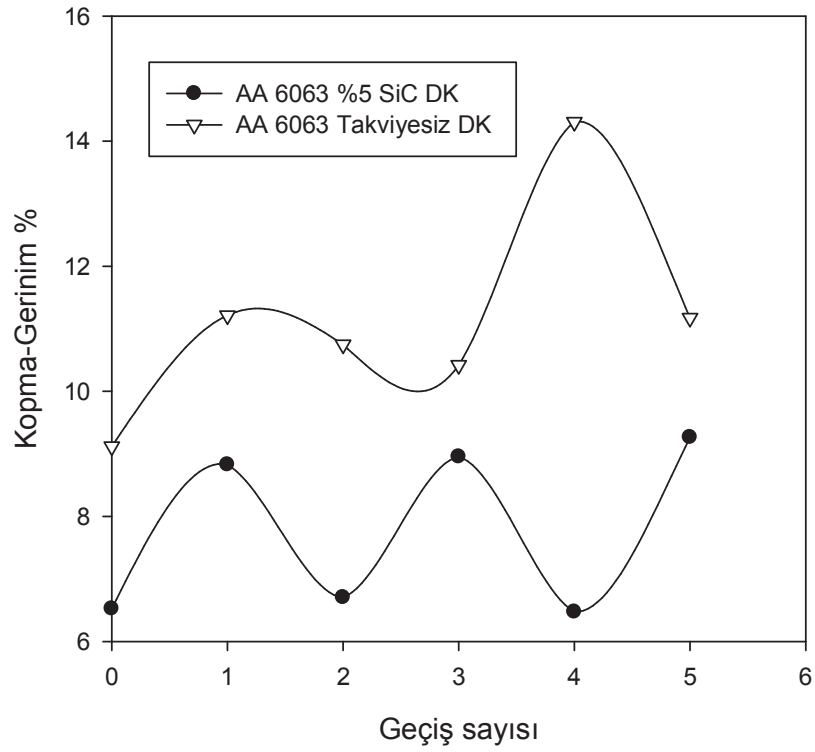
takviyelilere paralel davranış gösterirler. Yani TM numuneler genel olarak geçiş sayısı ile artan uzama verip 5 geçişte düşme eğilimine girerken döküm takviyeli numunede sinüsoidal ve kendi takviyesizine göre daha az uzama göstermiştir (Şekil 3.53). Takviyesiz numuneler takviyeli numunelerden daha yüksek uzama göstermişlerdir (Şekil 3.23). Takviye elemanının varlığı çatlak başlamasına sebep olarak malzemenin erken kopmasına sebep olmaktadır.

İnceltirilmiş mikro yapı ve geliştirilmiş mekanik özellikler elde edebilmek için Shi-Ying Yuan ve arkadaşları [58], 2024 Al alaşım ingotları ile 723 K'de karşıt ekstrüzyon işlemini incelemişlerdir. İlk 5 geçişte akma mukavemeti ve son çekme mukavemeti çok küçük oranlarda düşüş göstermiş fakat uzama miktarı daha fazla artmıştır. Daha çok geçişten sonra 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.

Chu ve arkadaşları, karşıt ekstrüzyonla üretilmiş AA6061- Al_2O_3 p kompozitleri çalışmışlardır. AA6061 alaşımları ile karşılaştırıldığında, kompozitler çelik disk yüzeyine karşı 6061 alaşımından daha yüksek sürtünme katsayısına ve daha büyük aşınma direncine sahip olduğu rapor edilmiştir [48].



Şekil 3.53. TM numunelerin geçiş sayılarına göre kopma-gerinim değerleri.

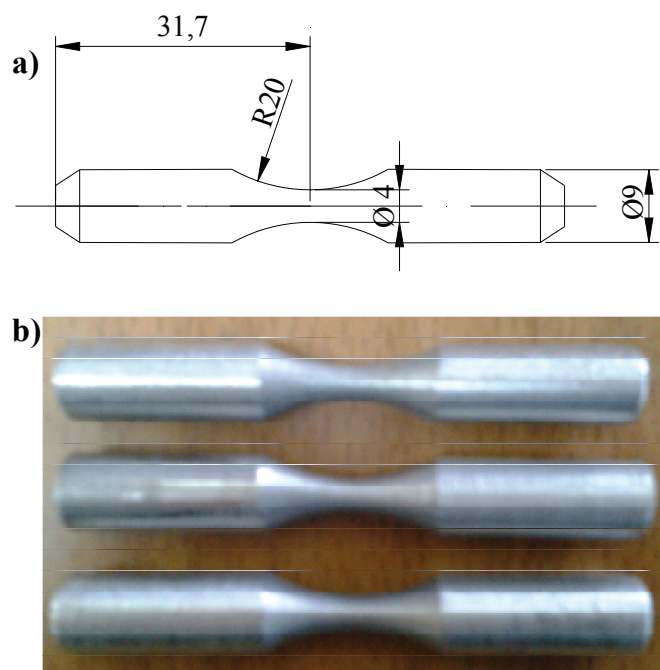


Şekil 3.54. Döküm numunelerin geçiş sayılarına göre kopma-gerinim değerleri.

3.2.2.3. Yorulma Testleri

Yorulma deneyi, eğerek dönme esasına göre çalışan, wöhler test numuneleri için tasarlanmış tam değişken gerilmenin sıfır olduğu yorulma deney cihazında yapılmıştır. Yorulma deney cihazı 6000 dev/dak sabit hızla dönmektedir. Yani frekans 100 dür. Şekil 3.55’de standart deney numunesinin şekil ve boyutları görülmektedir. Deney numunelerinde, uygulanan yükün meydana getirdiği gerilmeler dışında, oluşabilecek gerilmeleri önleyecek şekilde test cihazına yerleştirilmiş ve salgı kontrolleri komparatörle yapılmıştır. Numunelere 120 N/mm² gerilme (6N sabit yük altında; numune çapına ve yükün eğmeye çalıştığı kesite olan uzaklığına göre gerilme 120 N/mm²) uygulanmıştır. Gerilme 120 N/mm²’nin üstünde ve altında alınarak da deneyler yapılmış, ancak bu gerilmenin üstündeki değerlerde kırılma çevrim sayısı çok düşük çıkmış, bu gerilmenin altındaki değerlerde numuneler kopmamıştır. Bu verilere göre geçiş sayılarının etkisinin görülebileceği en uygun gerilme 120 N/mm² olarak alınmıştır. Deney cihazlarında kırılma çevrim sayısını kaydeden sayaç bulunmaktadır. Sayaç, numune kırıldığı anda otomatik olarak durabilecek özelliğe sahiptir (Şekil 3.56).

Yorulma deneyi ekstrüzyon oranı 4 ve işlem sıcaklığı 200 °C olan TM ve döküm numunelerle gerçekleştirilmiştir.



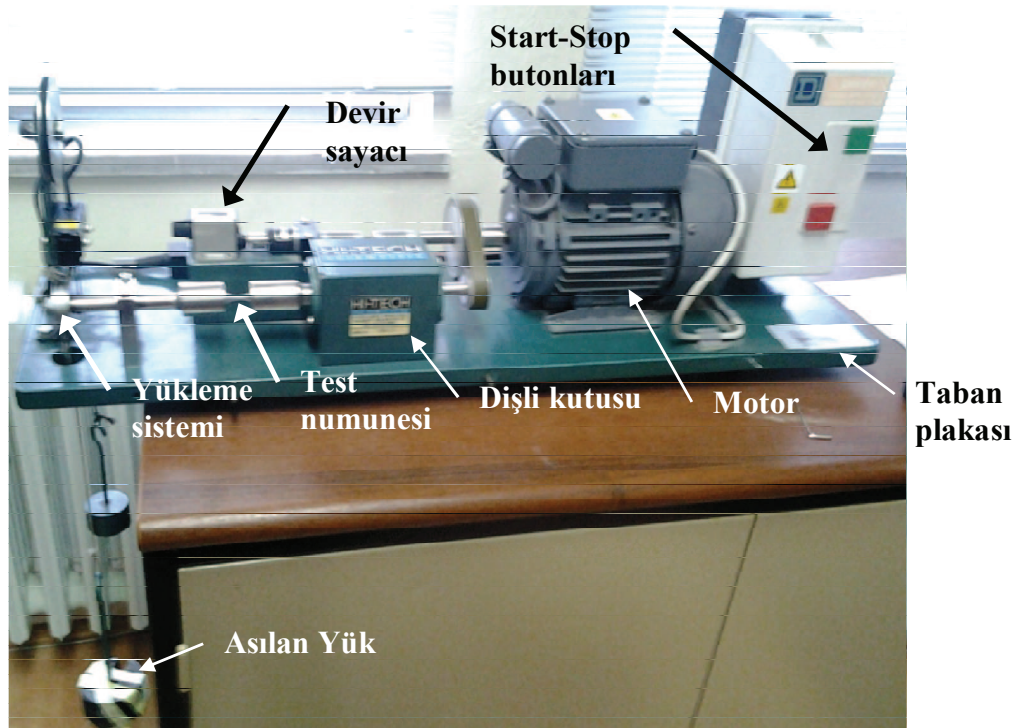
Şekil 3.55. Yorulma test numunelerinin a) Boyutları b) Genel görünümü.

TM Numuneler

Yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Tablo 3.11’de verilmiştir (Şekil 3.57). Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre çok daha yüksektir. En yüksek kırılma çevrim sayısı takviyesiz 0 geçişli numunede elde edilmiştir. Daha sonra kırılma çevrim sayısı hem takviyeli hemde takviyesiz numunelerde geçiş sayısıyla ilk önce azalmış sonra artmış tekrar azalmıştır. Aynı numunelerin sertlik değerleri 0 geçişli numuneden sonra artmış sonra tekrar azalmıştır. Yani tüm numuneler için sertlik değeri yüksek olan numunelerin çevrim sayıları da daha yüksek olmuştur. Takviyeli numuneler tekrar azalsa da ilk baştaki kırılma çevrim sayısından daha yüksektir. Bu numunelerin hem tokluk değerlerindeki hemde sertlik değerlerindeki değişimi de aynı eğilimde olmaktadır.

Takviyeli ve takviyesiz 0 geçişli numunelerin SEM görüntüleri Şekil 3.58-3.59’da verilmiştir. Yorulma yüzeylerinde yorulma çatlağı başlama ve ilerleme kısımları net olarak görülmektedir.

Yüzeyde, atlağın başladığı yorulma odağı, onu çevreleyen aynı merkezli durak



Şekil 3.56. Yorulma test düzeneği.

çizgileri ve bunların yanında taneli bir bölge görülmektedir. Çatlak zamanla yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirine sürtünmesi sonucu yorulma kırılması yüzeyi düzleşir. Çatlak ilerleyip geri kalan dolu kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelir ve kırılma yüzeyi taneli görünüştedir (Şekil 3.60).

D : Çatlak başlangıcı

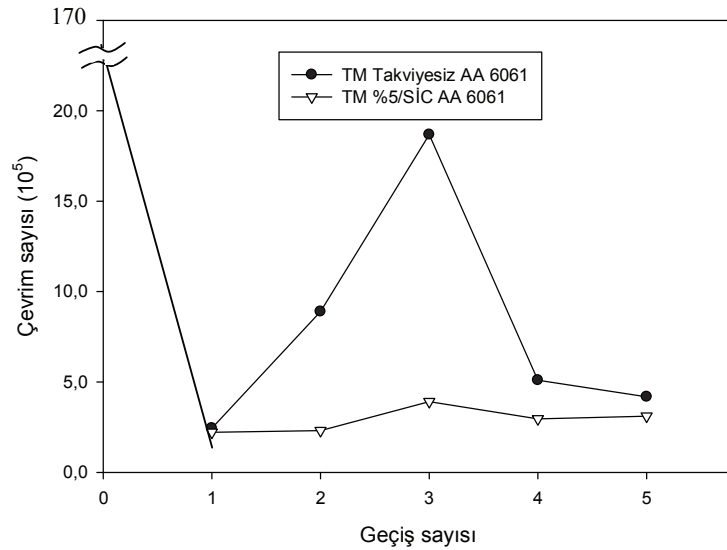
E : Çatlak ilerleme bölgesi

F : Kırılma veya Yırılma bölgesi

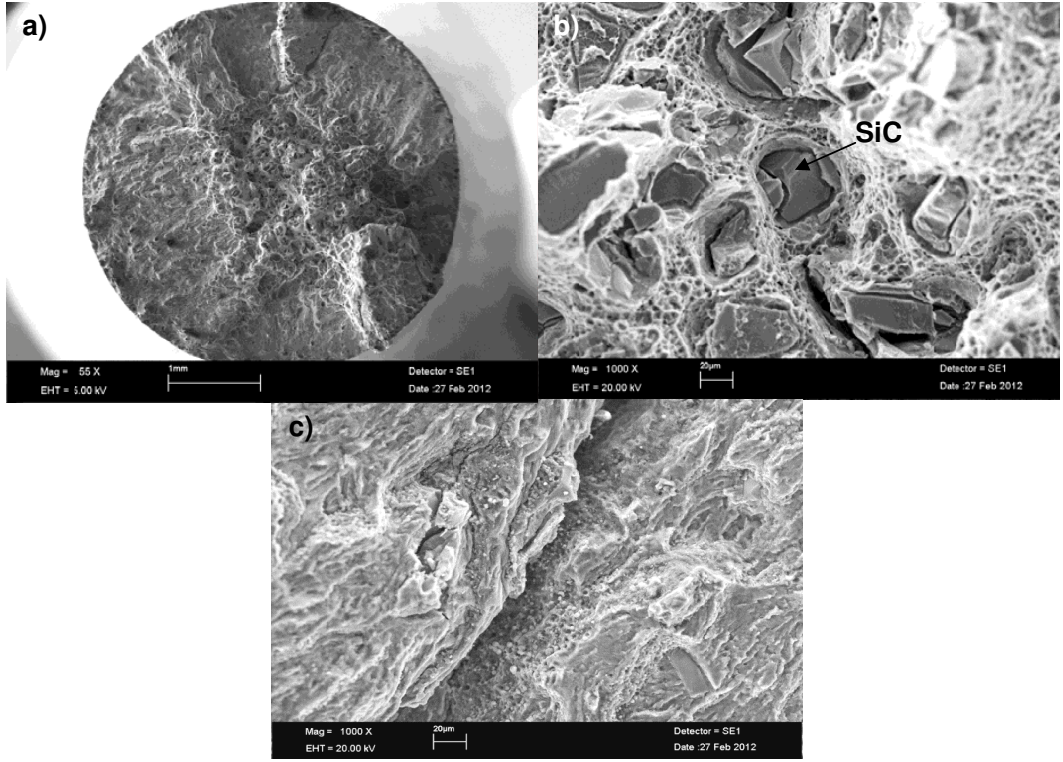
Yorulma hasarı D bölgesinden başlamıştır. Çatlak kesitte yüzeyden başlayarak ilerledikçe, birbirine sürtünen yüzeylerin oluşturduğu düzgün yüzeyli parlak bölge oluşmaktadır. Bu bölge parlak ve yüzey pürüzlülüğü diğer bölgelere göre en düşük olan kısımdır. Çatlak ilerleme E bölgesi yüzeyden başlayıp, kayma hatları ile orta kısımlara ilerlemektedir. Ayrıca, malzeme içinde mikro çatlaklar

Tablo 3.11. Yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri.

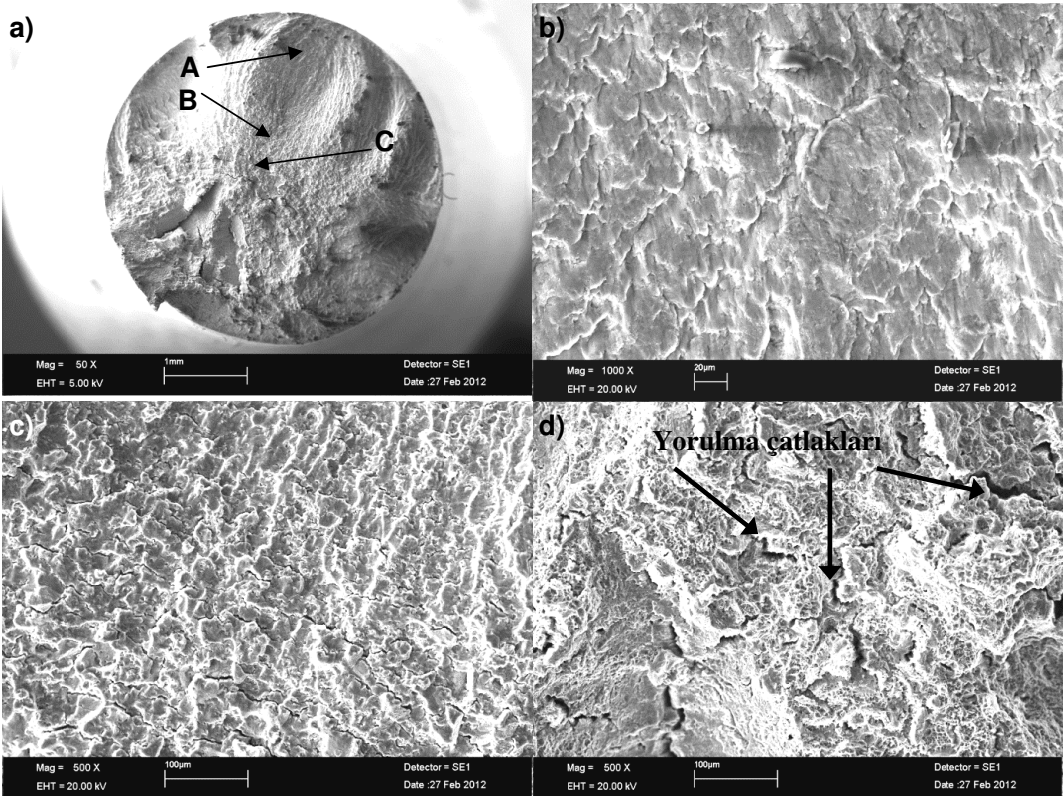
KE. Geçiş Sayısı	Kırılma Çevrim Sayısı	
	Takviyesiz AA6061	AA6061/SiC20 μ /5
0	17.000.000	115.200
1	244.300	222.000
2	889.100	231.100
3	1.868.000	391.000
4	509.900	295.700
5	418.000	310.800



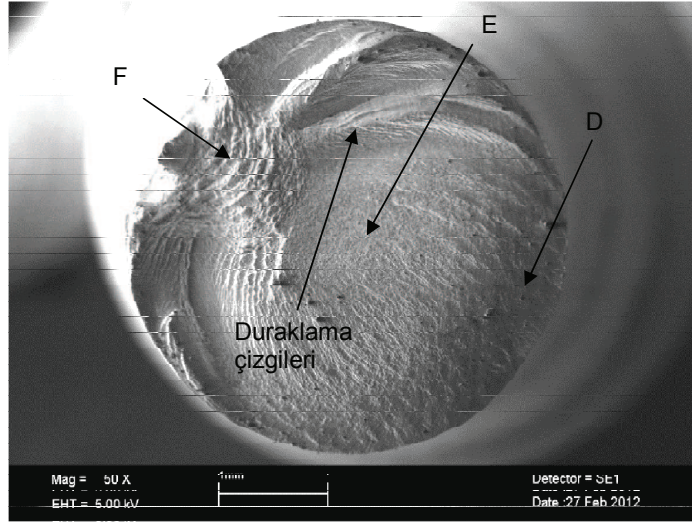
Şekil 3.57. Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları.



Şekil 3.58. Takviyeli 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi detayı c) Yorulma çatlakları.

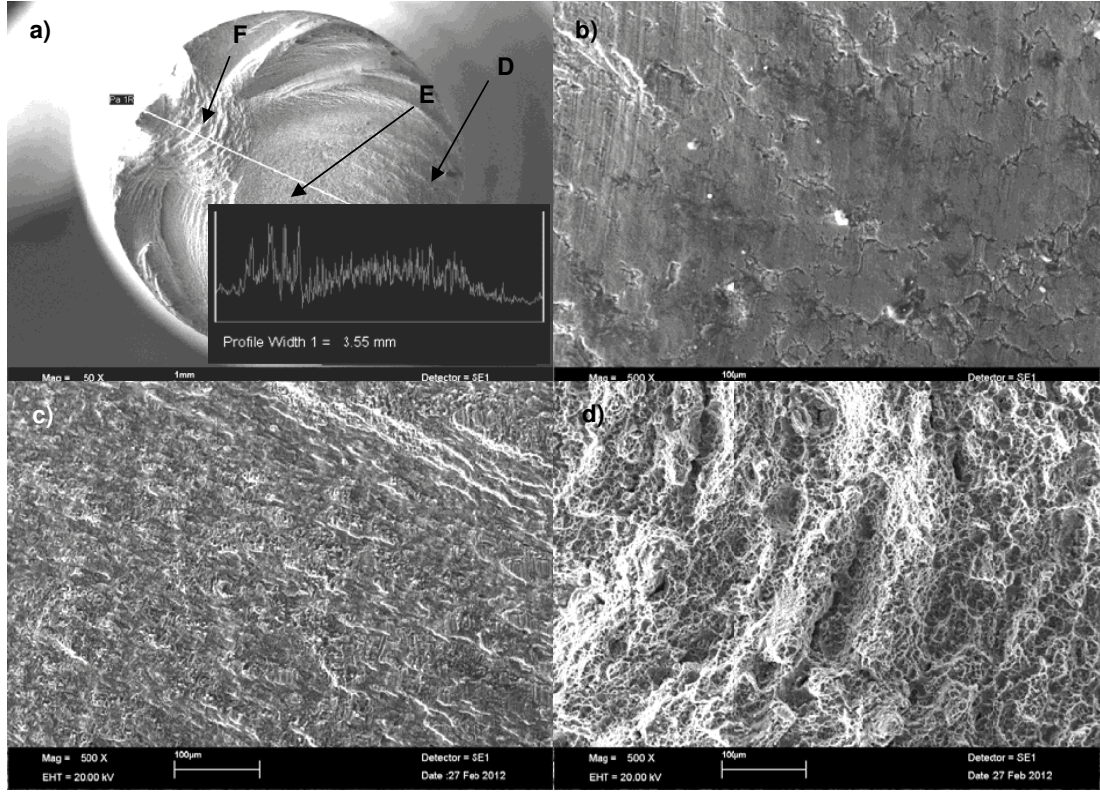


Şekil 3.59. Takviyesiz 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi A bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi B bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi C bölgesi detayı.



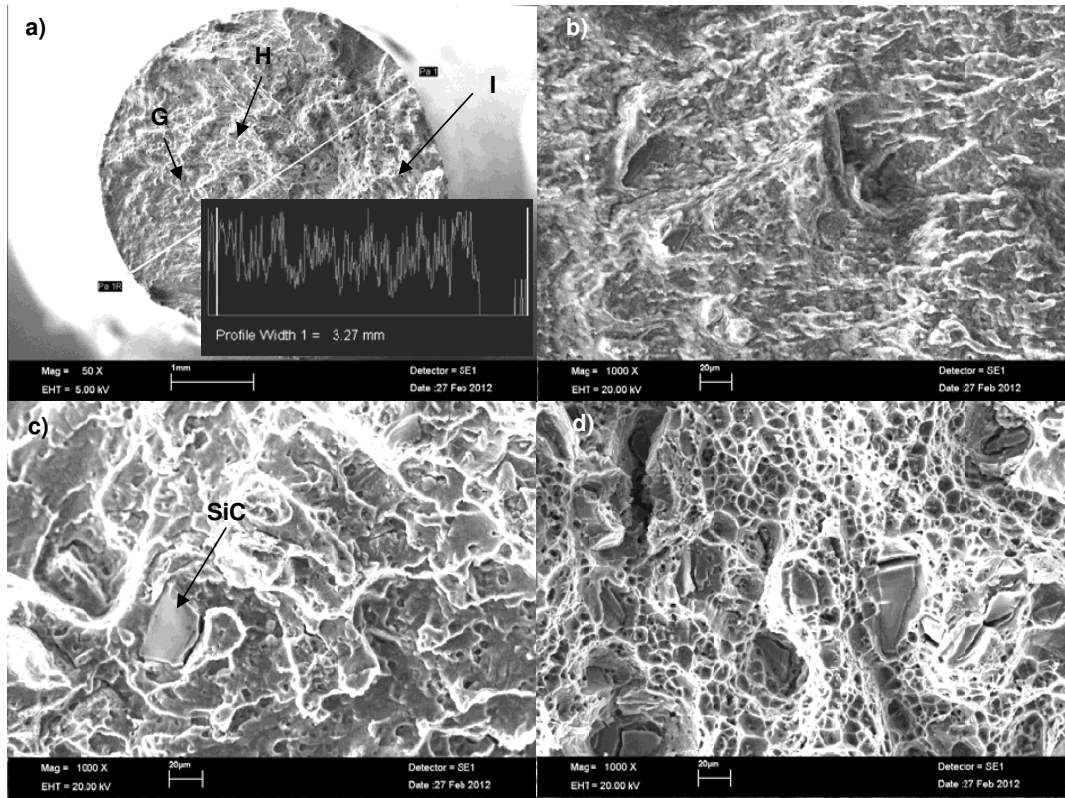
Şekil 3.60. Takviyesiz 2 geçişli numune yorulma yüzeyi.

ve çatlak ucunda oluşan gerilme yığılması çatlak ilerlemektedir. Uygulanan gerilme çatlakın ilerlemesi ile malzeme yorulmaktadır. Böylece hasar yavaş yavaş tüm kesite yayılmaktadır. Ayrıca büyük ve haber verici bir uzama veya büzülme görülmemektedir. Zorlamaların durdurulduğu aralıklar nedeniyle, yüzeyde duraklama çizgileri oluşmuştur. Bu çizgiler yorulma kırılmasının kesin işaretidir. F bölgesi ise yıpranma nedeniyle ayrışma ilerledikten sonra kesitin geri kalan kısmı yükü taşıyamayacak küçüklüğe ulaşmasından sonra malzeme aniden kopmaktadır. Kalan kesit kırılmayla meydana çıkan kaba pürüzlü yüzey bölgesidir. Kısmen plastik şekil değişim izleri mevcuttur. Burada gerilme küçük olduğundan ömür büyük ve dolayısıyla duraklama çizgilerinin sayısı fazladır. Takviyeli malzemelerde takviye elemanının varlığı yorulma çatlak oluşumunu kolaylaştırarak, yorulma gerilme yükseltici bölgeler meydana getirmekte, bu nedenle numuneler daha düşük çevrimlerde ve tane sınırlarını izleyerek kırılmaktadır. Bu yüzden takviyeli numunelerin yüzeyleri daha pürüzlüdür. Takviyesiz numunelerde ise yorulma tane ortasından ilerleyerek meydana geldiğinden yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük olmuştur. Ayrıca A bölgesinde ilk çatlak meydana geldiğinden bu bölgede yüzeylerin birbirine sürtünmesinden dolayı yumuşak olan malzeme yüzey pürüzsüz hale gelmiştir. Sonunda, takviyesiz numunelerde çatlak çok geniş bir alanı kaplayıp yüzeyin geri kalan kısmı uygulanan yükü taşıyamaz hale gelerek numune sünek olarak kopmuştur (Şekil 3.61). Takviyeli numunelerde ise takviyeli numunelere göre daha pürüzlü ve gevrek kırılma meydana gelmektedir (Şekil 3.62).



Şekil 3.61. Takviyesiz 2 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi ve pürüzlülüğü b) Yorulma yüzeyi D bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi E bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi F bölgesi detayı.

Bir çok alaşım yorulma sınırına sahiptir ve bu sınır yaklaşık “çekme dayanımının yarısı değerindedir. Alüminyum alaşımlarının yorulma sınırı, yorulma gerilmelerinin çekme dayanımlarının yaklaşık üçte biri olduğu kabul edilir [61].



Şekil 3.62. Takviyeli 3 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi A bölgesi detayı b) Yorulma yüzeyi B bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi C bölgesi detayı.

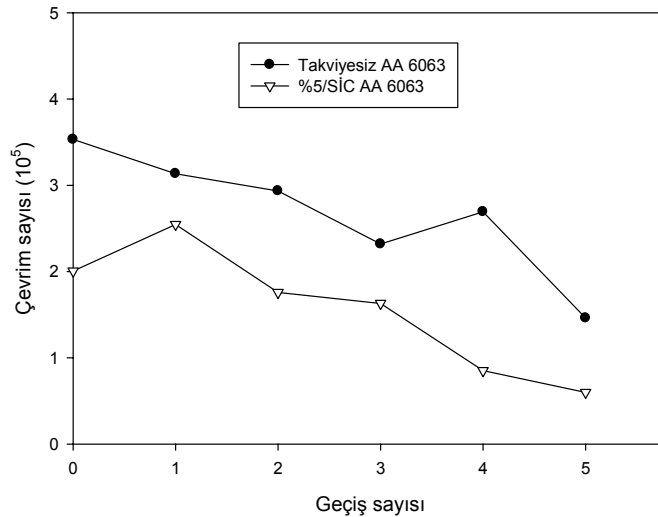
Döküm Numuneler

Döküm numunelerin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Tablo 3.12’de ve Şekil 3.63’de verilmiştir. Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre daha yüksektir. Kırılma çevrim sayısı hem takviyeli hem de takviyesiz numunelerde geçiş sayısı ile azalmıştır. En düşük çevrim sayıları 5 geçişli numunelerde meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, diğer numunelere göre, aynı numunelerin sertlik değerleri de en düşük ölçülmüştür. Yani tüm numuneler için sertlik değeri en düşük olan numunelerin çevrim sayıları da en az olmuştur. 5 geçişli numunelerin kırılma enerji değerlerinin de en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

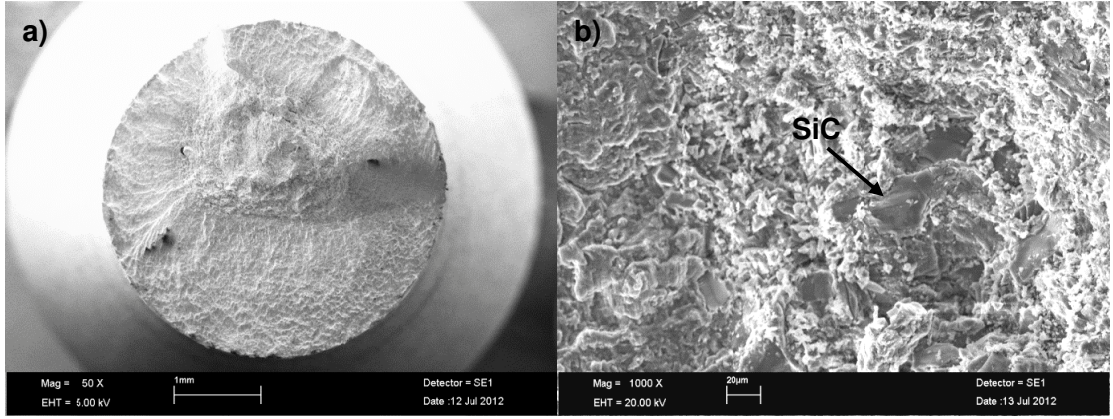
Takviyeli ve takviyesiz 0 geçişli numunelerin SEM görüntüleri Şekil 3.64-3.65’de verilmiştir. Yorulma yüzeylerinde yorulma çatlakları başlama ve ilerleme kısımları net olarak görülmektedir.

Tablo 3.12. Yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri.

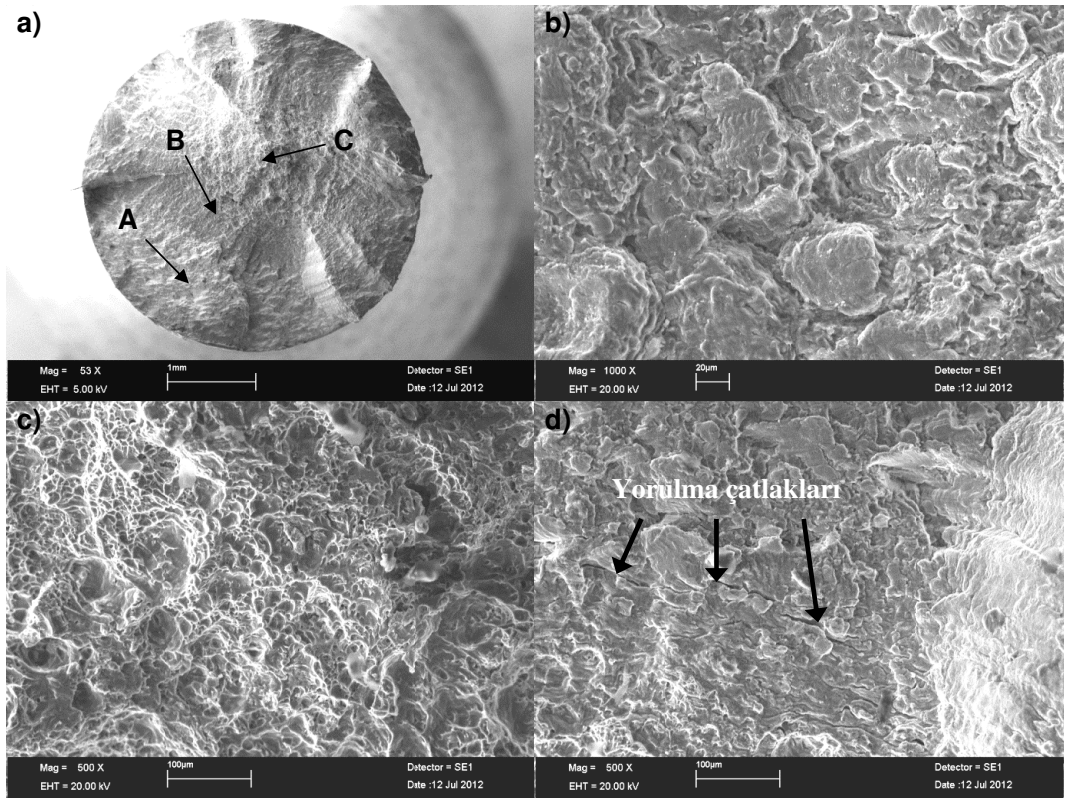
KE. Geçiş Sayısı	Kırılma Çevrim Sayısı	
	Takviyesiz AA6063	AA6063/SiC20 μ m/5
0	353.100	200.600
1	313.500	254.700
2	293.400	175.800
3	231.900	163.100
4	269.300	85.200
5	146.100	59.900



Şekil 3.63. Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları.



Şekil 3.64. Takviyeli 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi detayı c) Yorulma çatlakları.

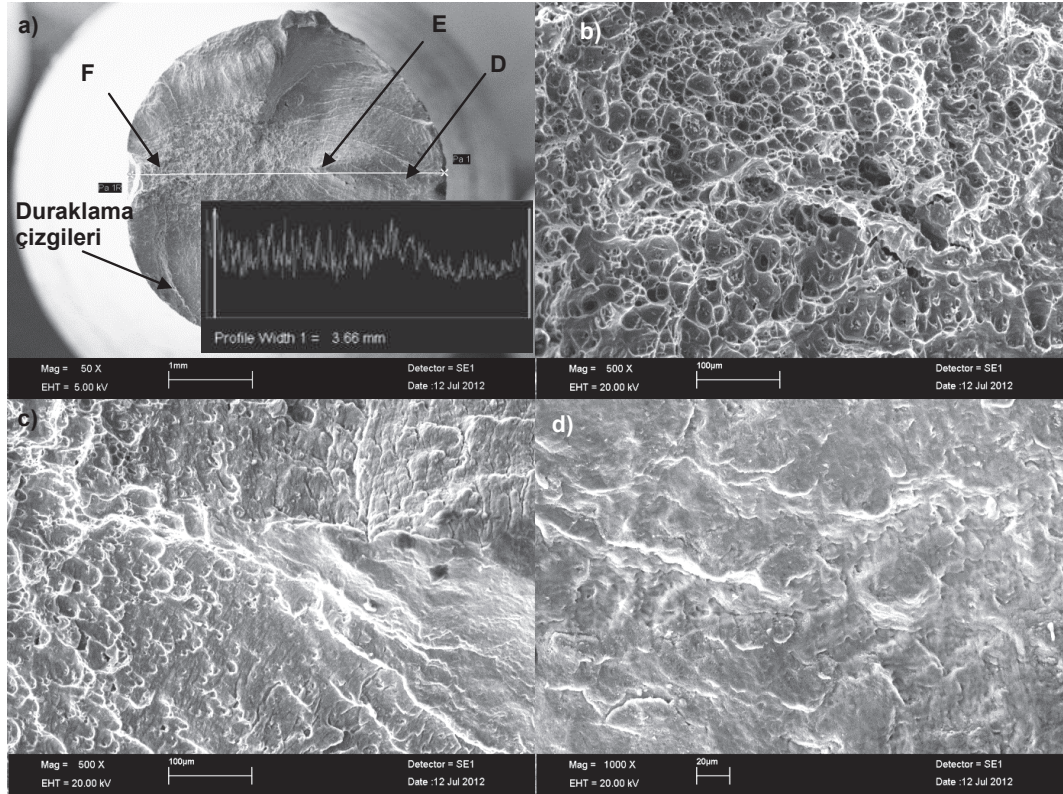


Şekil 3.65. Takviyesiz 0 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi A bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi B bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi C bölgesi detayı.

Yüzeyde, çatlakın başladığı yorulma odağı, onu çevreleyen aynı merkezli durak çizgileri ve bunların yanında taneli bir bölge görülür. Çatlak zamanla yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirine sürtünmesi sonucu yorulma kırılmasının ilk başladığı yüzey parlak görünmektedir. Çatlak ilerleyip geri kalan dolu kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelmekte ve kırılma yüzeyinde taneli izlenmektedir (Şekil 3.65). Bu numunelerin çevrim sayıları TM numunelere

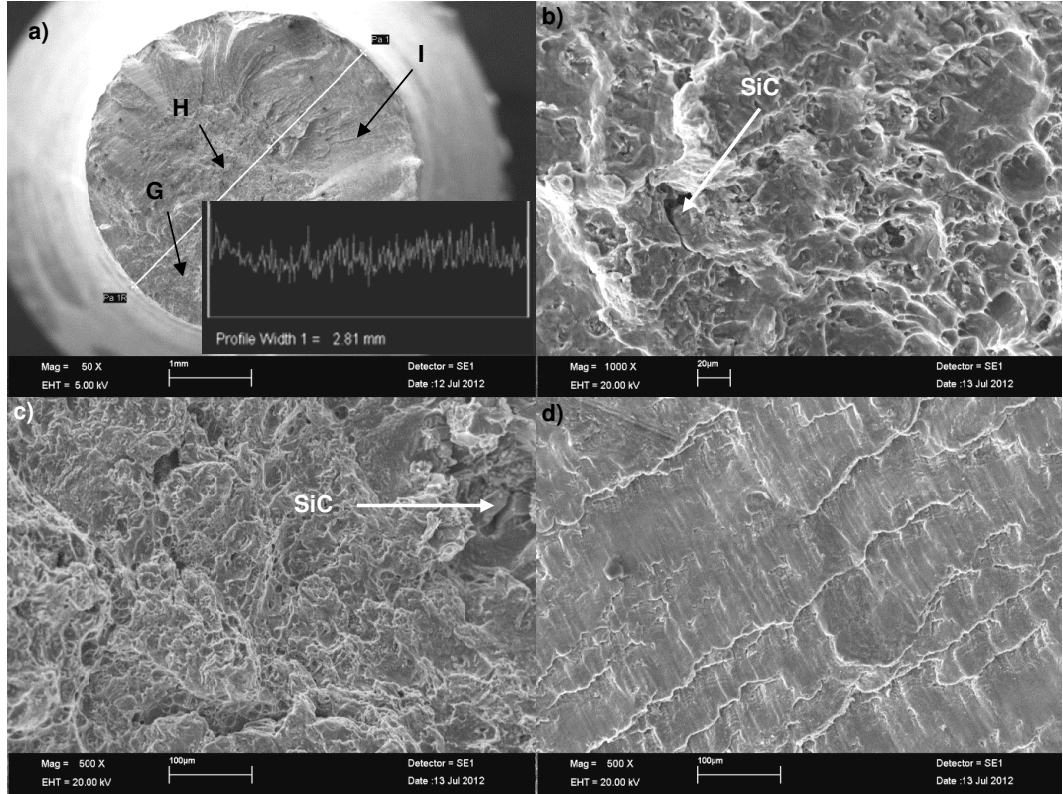
göre çok düşük olduğundan, yorulma yüzeyleri arasındaki bahsedilen farklar çok belirgin değildir. Bu farklar takviyeli numunelerde daha da azdır. Yani döküm numuneler TM numunelere göre daha gevrek kırılma göstermiştir.

Takviyesiz 2 geçişli numunenin yorulma yüzey görüntüleri detayları ile birlikte Şekil 3.66'da görülmektedir.



Şekil 3.66. Takviyesiz 2 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi ve pürüzlülüğü b) Yorulma yüzeyi F bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi E bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi D bölgesi detayı.

Yorulma hasarının ilk başladığı bölge Şekil 3.67-d'de görüldüğü gibi plastik şekil değişim izleri içermektedir. Çatlağın başladığı bölgede yüzeyler birbirleri ile sürtünerek yüzeyleri plastik deformasyona uğratmaktadırlar. Bu bölgede sürtünme ve aşınma ile oluşan düzgün ve parlak yüzeyler mevcuttur. Çatlağın ilerlemesi ile bu parlak yüzeyler arasında plastik deformasyonla oluşmuş akma bölgeleri görülmektedir. Akmalar parlak yüzeyler arasında çizgi şeklinde meydana gelmiştir. Yorulma çatlağının tüm kesite yayılması ile oluşan 3.67-a,b'de görülen bölgelerde, yüzeylerin birbirine sürtünmeksizin kopmasından dolayı bu yüzeyler kaba ve pürüzlü olmuştur. Ayrıca zorlamaların durdurulduğu aralıklar nedeniyle, yüzeyde duraklama çizgileri oluşmuştur.

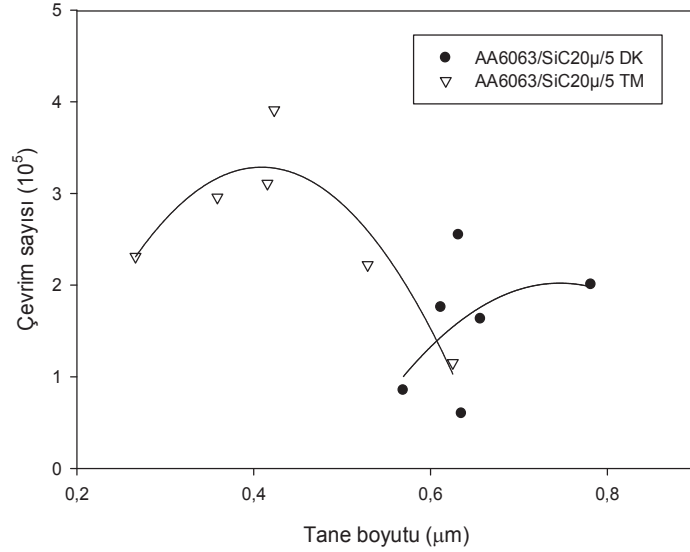


Şekil 3.67. Takviyeli 3 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi b) Yorulma yüzeyi G bölgesi detayı b) Yorulma yüzeyi H bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi I bölgesi detayı.

3.2.2.3.1. Tartışma

TM ve döküm kompozit yorulma numunelerinin tane boyutuna göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Şekil 3.68’de verilmiştir. TM kompozit numunelerin çevrim sayıları tane boyutu $0,43 \mu\text{m}$ olduğunda en yüksek değere ulaşmıştır. Kompozit TM numuneler için $0,27-0,43 \mu\text{m}$ tane boyutu aralığında tane boyutu artarken kırılmadaki çevrim sayısı da artmakta $0,43 \mu\text{m}$ tane boyutunda max seviyeye ulaşip tekrar tane boyutuyla azalmaktadır. Yani $0,43-0,62 \mu\text{m}$ tane boyutu aralığında tane boyutu küçülürken yorulma mukavemeti artmaktadır. Elde edilen en yüksek kırılma çevrim sayısı tane boyutu artışıyla 3,5 kat azalmıştır. Döküm kompozit numunelerde ise tane boyutu arttığında kırılma çevrim sayısı da artmaktadır. Döküm kompozit numunelerin kırılma çevrim sayıları TM kompozit numunelerden daha düşük değerlerde meydana gelmiştir.

TM yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Şekil



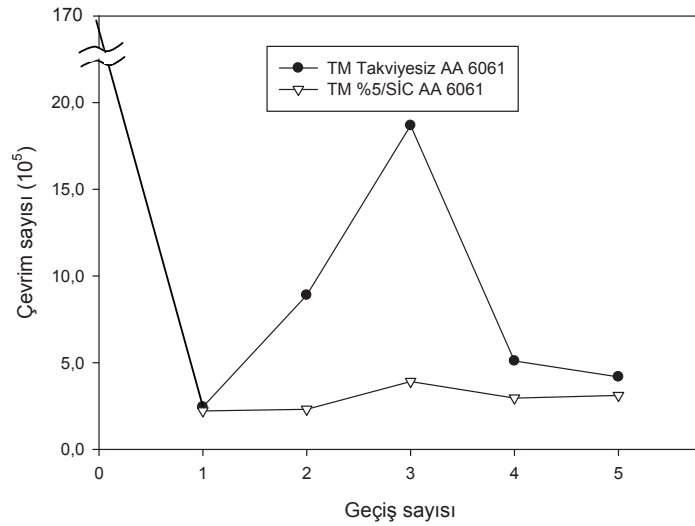
Şekil 3.68. TM numunelerin tane boyutuna göre çevrim sayıları değişimi.

3.69'de verilmiştir. Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre çok daha yüksektir. Takviyesiz 3 geçişteki numunenin kırılma çevrim sayısı 1 geçişe göre yaklaşık 7.5 kat artmıştır, sonra 5 geçişte 6 kat azalmıştır. En yüksek kırılma çevrim sayısı takviyesiz 0 geçişli numunede elde edilmiştir. Aynı numunelerin sertlik değerleri 0 geçişli numuneden sonra artmış sonra tekrar azalmıştır. Takviyeli numunelerin kırılma çevrim sayısı geçiş sayısı ile artmaktadır. 5 geçişli numunenin kırılma çevrim sayısı 1 geçişli numunenin yaklaşık 1.5 katına çıkmıştır. Şekil 3.70'den izlendiği üzere TM kompozit numune için 2 geçişten sonra, tane boyutu ile çevrim sayıları arasındaki değişimler benzer eğrileri izleyerek artmaktadır. Bu numunelerin sertliği azalırken, tokluğu da artmaktadır (Şekil 3.71). Takviyesiz numunelerin kırılma çevrim sayısı ise tokluk ile aynı eğilimdedir. Her iki değişkende 1 geçişten sonra 3 geçişe kadar artmakta ve bu geçişte maksimum seviyeye ulaşmaktadır. 3 geçişten sonrada 5 geçişe kadar azalmaktadır. Takviyesiz numunelerin sertliği ise kırılma çevrim sayısından bağımsız geçiş sayısı ile azalmaktadır.

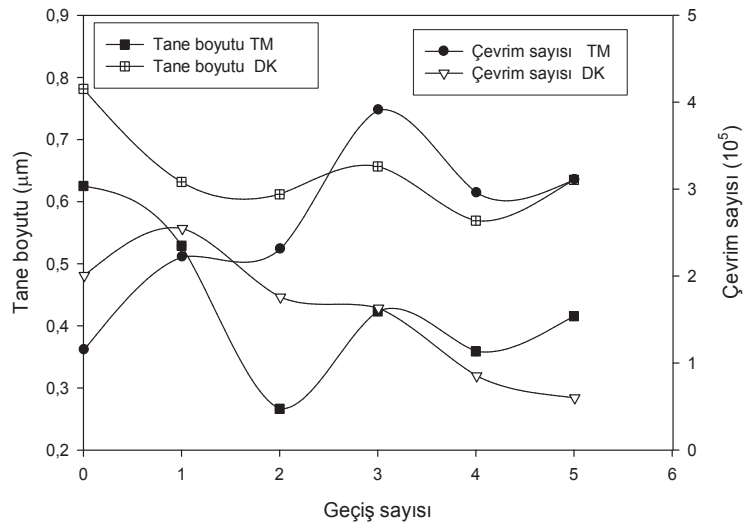
TM ve döküm kompozit numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve tane boyutu değişimleri Şekil 3.70'de görülmektedir. Şeklin incelenmesiyle, TM kompozit numunelerde 2 geçişe kadar tane boyutu küçüldükçe yorulmada kırılma çevrim sayısının da arttığı görülür. Çünkü tane küçülmesine rağmen süneklik artmıştır (kırılma enerjisi). 2 geçişten sonrada tane irileşmekte doğal olarak süneklik yani kırılma çevrim sayısı yine artmaktadır. Bu durum her halükarda

tane boyutundaki değişime sebep olacak aşırı deformasyonun yorulma mukavemetini artırdığını göstermektedir. Döküm kompozit numunelerde de 1 geçişe kadar tane boyutu azalırken kırılma çevrim sayısı artmaktadır. Bu numunelerde 2-5 geçiş aralığında tane boyutu artma azalma gösterebilir tane incilmesi sağlanamamıştır, bu yüzden çevrim sayısı azalmaktadır.

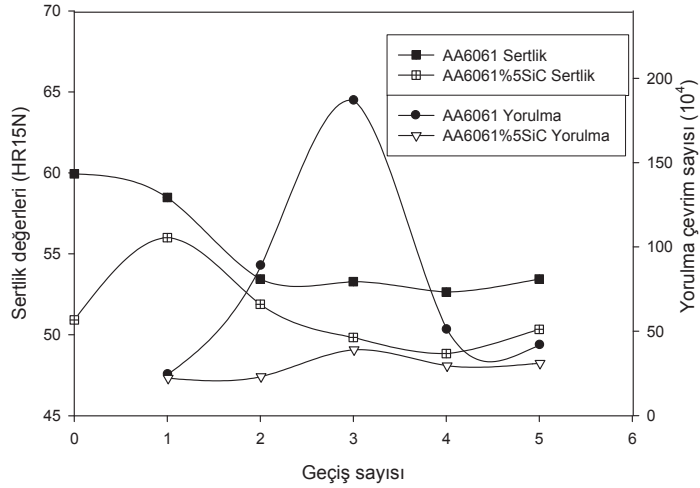
Şekil 3.71 ise her iki çeşit numunede de genel olarak kırılma çevrim sayısının artması ile sertliğin azaldığı ancak takviyesiz numunede sistematik bir değişimin olmadığı izlenmiştir. Buna göre takviye partiküllerinin matris içinde bulunuşu sanıldığı gibi yorulmaya olumsuz etki yapmayıp aksine olumlu katkı koymaktadır. Çünkü



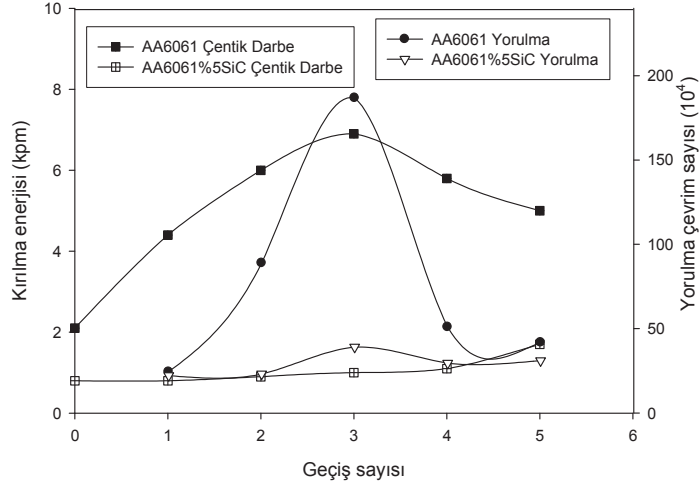
Şekil 3.69. TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları .



Şekil 3.70. TM ve döküm kompozit numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve tane boyutu değişimleri.



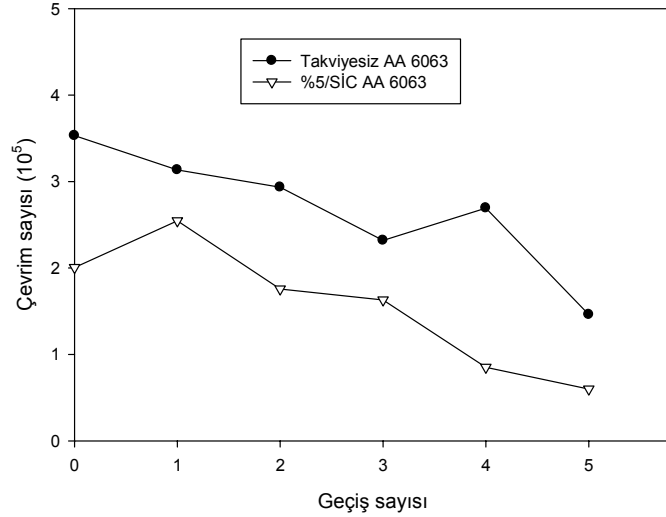
Şekil 3.71. TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve sertlik değişimleri.



Şekil 3.72. TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve kırılma enerjisi değişimleri.

partiküllerin aşırı deformasyonla homojen dağıldığı ve dengeli dağılmış partikül matris ara yüzeyinin titreşim söndürmeye olumlu etkide bulunduğu, dolayısıyla geçiş sayısının artmasının yorulmayı geciktirdiği değerlendirilmektedir.

Şekil 3.72'de 200 °C'lik işlem sıcaklığında 1-5 geçiş uygulanan numunelerin geçiş sayılarına göre kırılma enerjileri ve yorulma çevrim sayılarındaki değişim birlikte görülmektedir. Hemen görülebilir ki takviyeli numunelerin kırılma enerjileri ve yorulma davranışı geçiş sayılarıyla çok fazla değişmemektedir. Takviyesiz numunelerde ise her iki özellikte 3 geçişe kadar artmakta ve sonra azalmaktadır. Takviyeli numunelerde takviyenin varlığı ile kırılma enerjisi ve yorulma özelliği

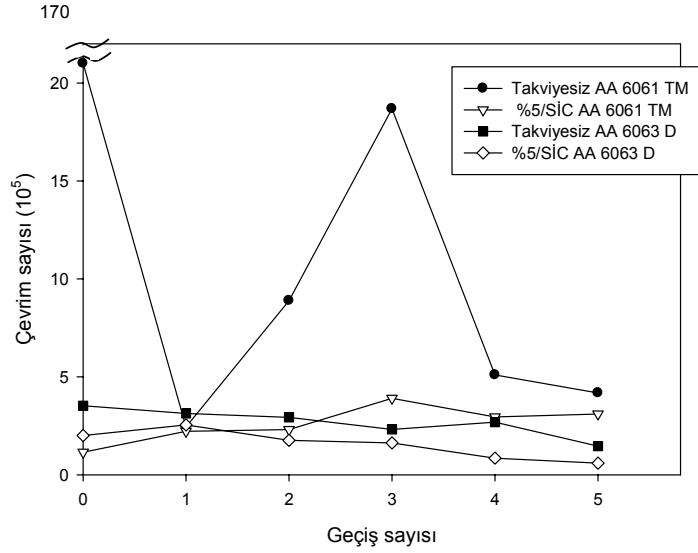


Şekil 3.73. Döküm yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları.

açısından geçiş sayısı ile çok az bir artış görülse de tüm değerleri takviyesiz numunelerinkinin altında kalmaktadır. Takviyesiz numunelerle takviyeliler kıyaslandığında, takviye elemanlarının matrisle oluşturduğu sınırların malzemenin kırılma enerjisini ve yorulmadaki kırılma çevrim sayısını azalttığı değerlendirilebilir.

Döküm numunelerin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Şekil 3.73’de verilmiştir. Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre daha yüksektir. Kırılma çevrim sayısı hem takviyeli hem de takviyesiz numunelerde geçiş sayısı ile azalmıştır. En düşük çevrim sayıları 5 geçişli numunelerde meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, diğer numunelere göre, aynı numunelerin sertlik değerleri de en düşük ölçülmüştür. Yani tüm numuneler için sertlik değeri en az olan numunelerin çevrim sayıları da en az olmuştur. Bu numunelerin tokluk değerlerindeki değişim de aynı eğilimde olmaktadır.

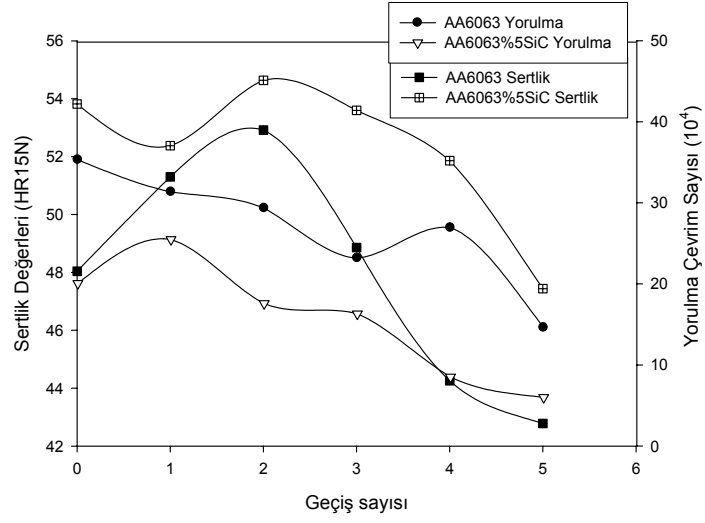
Döküm ve TM numunelerin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Şekil 3.74’de görülmektedir. Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre çok daha yüksektir. En yüksek kırılma çevrim sayısı takviyesiz 0 geçişli TM numunede elde edilmiştir. Aynı numunelerin sertlik değerleri 0 geçişli numuneden sonra artmış sonra tekrar azalmıştır. Takviyeli TM numunelerin kırılma çevrim sayısı geçiş sayısı ile artmaktadır. 5 geçişli numunenin kırılma çevrim sayısı 1 geçişli numunenin yaklaşık 1.5 katına çıkmıştır. Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin çevrim sayıları ise geçiş sayısı ile azalmaktadır. Takviyeli döküm numunelerin



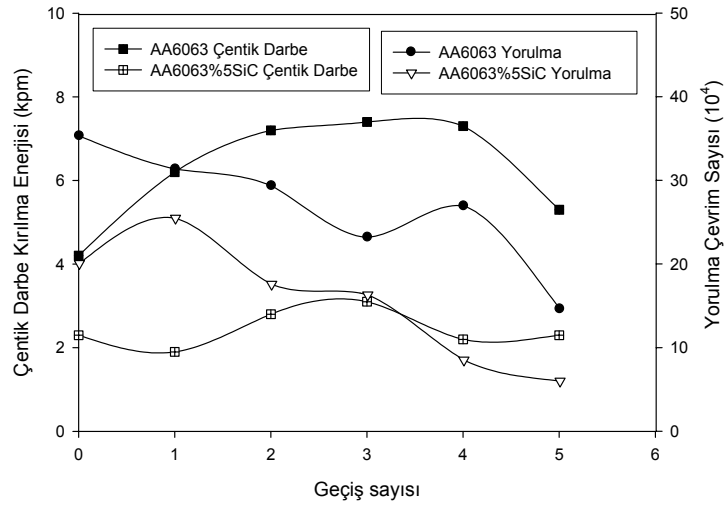
Şekil 3.74. Döküm ve TM yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları.

kırılma çevrim sayısı, 5 geçişe ulaşıldığında %59 azalırken aynı durumda takviyesiz numunelerde ise % 70 azalmıştır.

Şekil 3.75’de 200 °C’lik işlem sıcaklığında 1-5 geçiş uygulanan döküm numunelerin sertlik ve yorulma çevrim sayılarındaki değişim geçiş sayılarıyla birlikte verilmektedir. Şekilden izlendiği üzere takviyeli ve takviyesiz döküm numuneler için geçiş sayısının artması ile, sertlikleri de çevrim sayılarına paralel olarak azalmaktadır. Yani döküm numunelerde geçiş sayısı ile hem sertlik hemde kırılma çevrim sayısı azalmaktadır. Takviyeli döküm numunelerde geçiş sayısı artırıldığında, sertlik azalmakta, tokluk ise önce artıp sonra ilk durumuna geri dönerken, takviyesiz döküm numunelerde önce artmakta sonra azalsa da ilk durumdan daha yüksek değerlerde olmaktadır (Şekil 3.75-3.76). Takviyesizlere göre takviyeli numunelerde, takviye elemanlarının matrisle oluşturduğu sınırların malzemenin kırılma enerjisini ve yorulmadaki kırılma çevrim sayısını azalttığı değerlendirilebilir.



Şekil 3.75. Döküm yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve sertlik değişimleri.



Şekil 3.76. Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları ve kırılma enerjisi değişimleri.

3.2.3. Tribolojik Özellikler

3.2.3.1. Aşınma Numunelerinin Hazırlanması

Aşınma test numuneleri, tüm ekstrüzyon işlemi tamamlanan çubuklardan kesilip, test makinesine uygun olacak boyutlarda hazırlanmıştır (Şekil 3.77). Aşınma testlerine tabi tutulmadan önce kompozit numunelerin yüzeyleri suda ince zımparalar kullanılarak temizlenmiş ve parlatılmıştır. Yüzey işlemleri tamamlandıktan sonra hassas terazide ağırlıkları tartılmış ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür.

3.2.3.2. Aşınma Ön Denemeleri

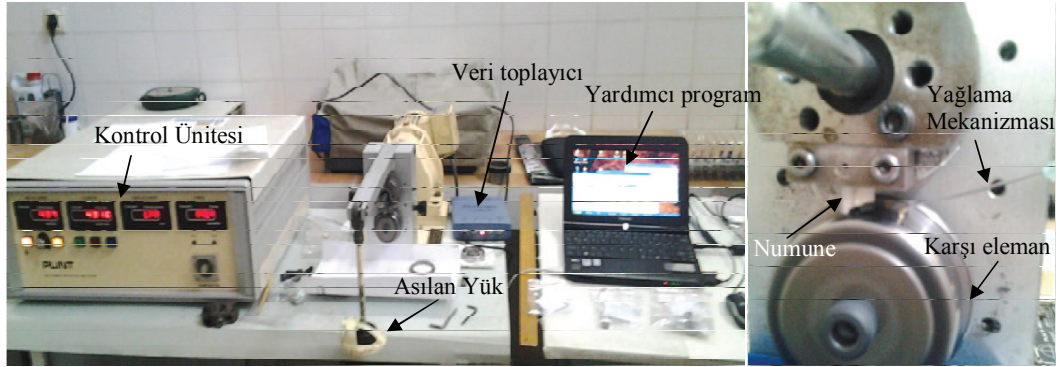
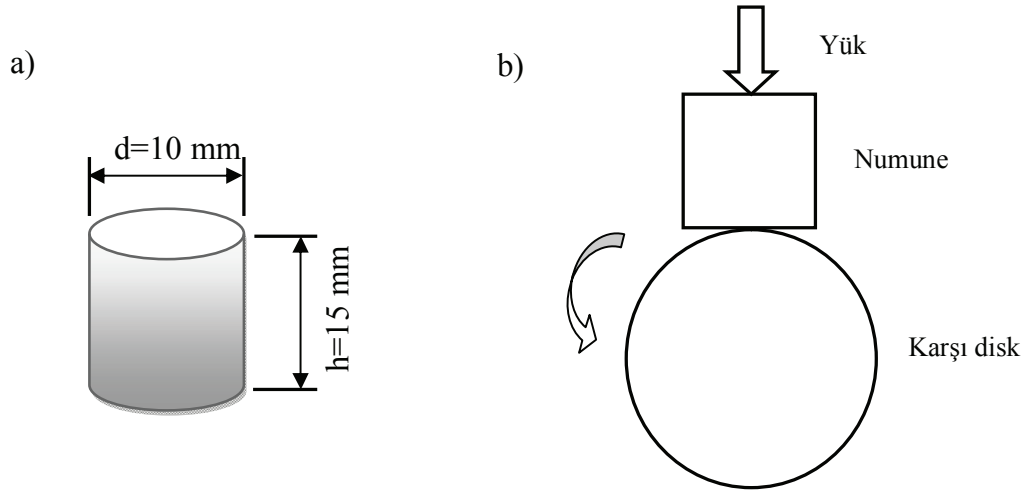
Pin-on-ring test konfigürasyonu ile kuru şartlarda 500 dev/dak sabit devirde, 15 dk süre ile 1225 m kayma mesafesinde, 30 dk süre ile 2450 m kayma mesafesinde ve 45 dakika süre ile 3675 m kayma mesafesinde 50, 100 ve 150 N yük altında, takviyesiz ve takviyeli numuneler kullanılarak aşınma ön testleri yapılmıştır. Fakat ön denemeler sırasında 150 N yüklemeli deneyler esnasında karşıt disk yüzeyi üzerine test numunelerinden kopan alüminyum sıvanması meydana gelmiş ve bazı numunelerde parçalanmalar gözlemlenmiştir. Bu sebeple aşınma testlerinin daha düşük yüklerde ve sabit sürelerde yapılması kararlaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre aşınma deneylerinin 50, 75 ve 100N'luk yüklerde ve 15 dk'lık sabit sürede tamamlanmasına karar verilmiştir.

3.2.3.3. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri PLINT marka çok amaçlı sürtünme ve aşınma cihazı ile pin-on-ring test konfigürasyonu ile kuru ve yağlı şartlar altında, 50, 75 ve 100N dik yükleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yağlı şartlarda 0,35 mg/300 sn'lik debide SAE10W40 yağ ile yağlama gerçekleştirilmiştir. Karşı disk (aşındırıcı disk), 500 dev/dak sabit devirde, 15 dakika döndürülerek servo elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Deneylerde karşı disk olarak 62 HRC sertliğinde ORS 6304(dış çapı 52

mm) rulman çeliği kullanılmıştır.

Takviyeli ve takviyesiz çubuklardan silindirik numuneler kesilerek aşınma deneylerinde kullanılmıştır. Numune şekli ve boyutları, Şekil 3.77'de gösterilmektedir. Şekil 3.78'de aşınma düzeneği gösterilmiştir.



3.2.3.4. Aşınma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

TM Numuneler

Deney öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları ölçülerek ağırlık ve kütle kayıpları tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları Tablo 3.13'de verilmiştir.

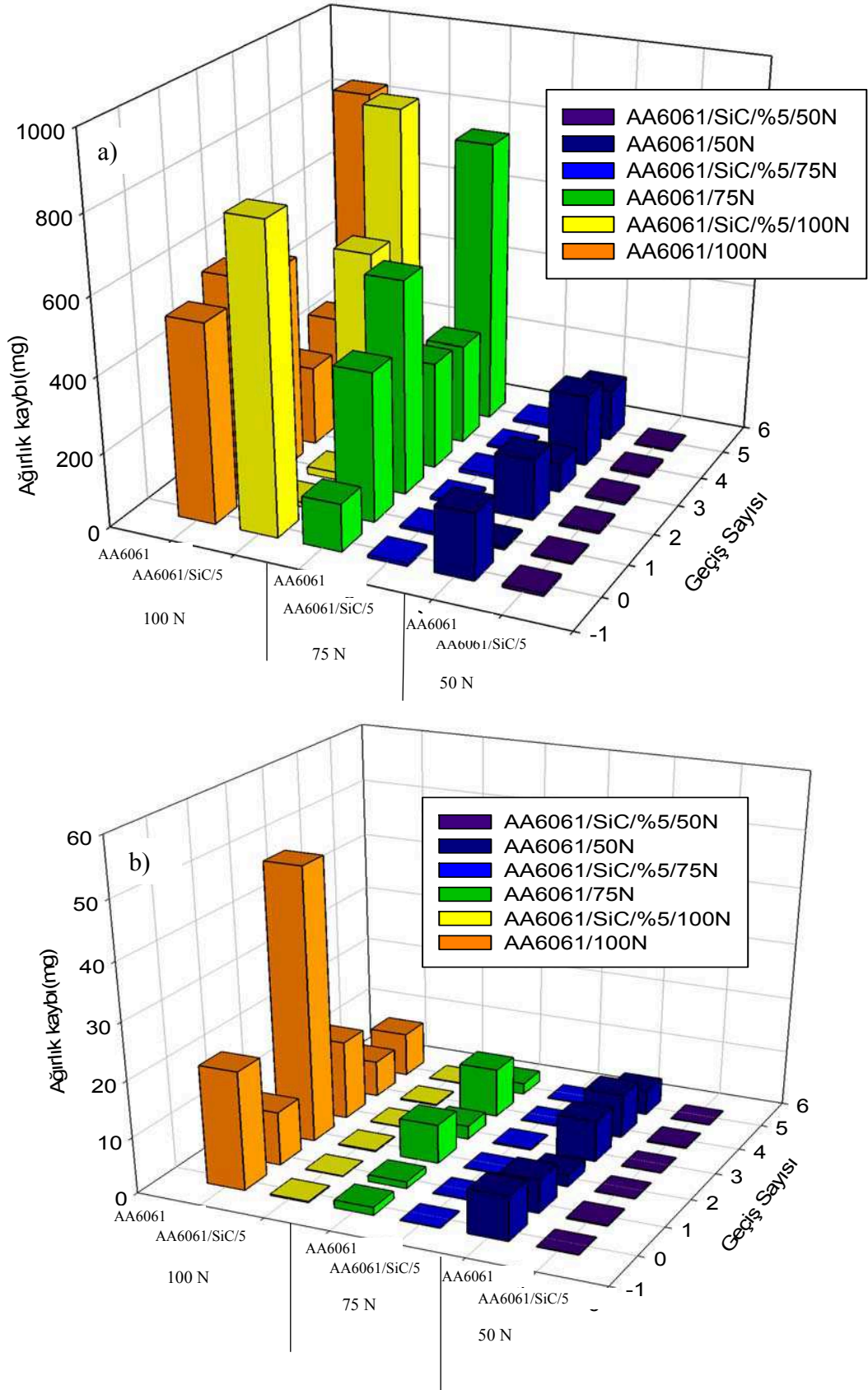
Geçiş sayısı ve yüke göre değişen ağırlık kaybı sütun grafikleri Şekil 3.79'da gösterilmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kuru şartlarda 50 N yük altında en fazla kütle kaybı takviyesiz numune için 0 ve 4 geçişli numunelerde görülmüştür.

Tablo 3.13. Takviyeli ve takviyesiz numunelerin kuru şartlarda ve yağlı şartlarda ağırlık kayıpları.

Deney Şartları	Yük (N)	Aşınma Ağırlık Kayıpları (mg)											
		KE.Geçiş Sayısı											
Kuru Şartlar	Yük (N)	AA6061/SiC20 μ /5					AA6061						
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
	50	8.3	4	6.1	7.1	6.9	3.2	177.8	6.6	162.7	78.1	191.3	139.1
	75	8.7	7	7.9	9.9	6	8	127.3	397.5	567.9	286.2	267.8	754.8
100	806.1	12.4	20.1	550	871.3	8.1	527	578.8	539.2	211.8	281	841.4	
Yağlı Şartlar	Yük (N)	AA6061/SiC20 μ /5					AA6061						
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
	50	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	7.9	6	2.1	7.4	7.9	4.4
	75	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.4	1.2	7	2.4	8.8	2
100	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	21.1	9.6	48.8	14.2	6.5	7.9	

75 ve 100 N yük altında takviyesiz numune için 5 geçişli numunede en fazla kütle kaybı olmuştur. Genel olarak takviyesiz numunelerde kuru şartlarda geçiş sayısı artıkça kütle kaybında artış görülmektedir. Yağlı şartlarda ise kuru şartlara göre ağırlık kayıplarında azalmalar olup, 50 N yük için en fazla kütle kaybı takviyesiz numuneler için yine 0 ve 4 geçişli numunelerde, 75 N için 4 geçiş sayısında, 100N için 2 geçiş sayısında görülmüştür.

Takviyeli kompozit numuneler takviyesiz numunelerle kıyaslandığında daha az kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir. Kuru şartlarda takviyeli numuneler için 50 N ve 75 N yük altında çok az kütle kaybı meydana gelirken, 100 N için 0 ve 4 geçiş sayısında en fazla kütle kaybı görülmüştür. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için kütle aşınmaları yağlamanın etkisiyle azalmıştır. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için tüm geçiş sayılarında çok az kütle kaybı görülmüştür. Takviyeli kompozit numuneler için kuru şartlarda 100 N hariç tüm yüklerde ve şartlarda çok az aşınma kaybı ile benzer davranışlar göstermiştir. Takviyesiz numuneler ise daha değişken özellikler göstermiştir. Yağlama ve yük, ağırlık kaybı için önemli bir etkidir. Geçiş sayısı ve yük arttıkça malzeme kaybı da artmıştır.



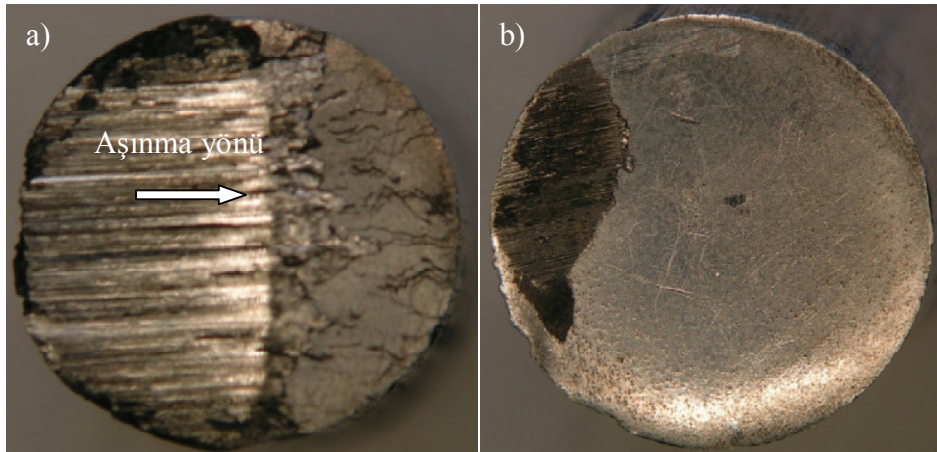
Şekil 3.79. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre TM numunelerin ağırlık kayıpları
a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda.

AA6061/SiC20 μ /5 Kompozitinin Sürtünme Davranışı

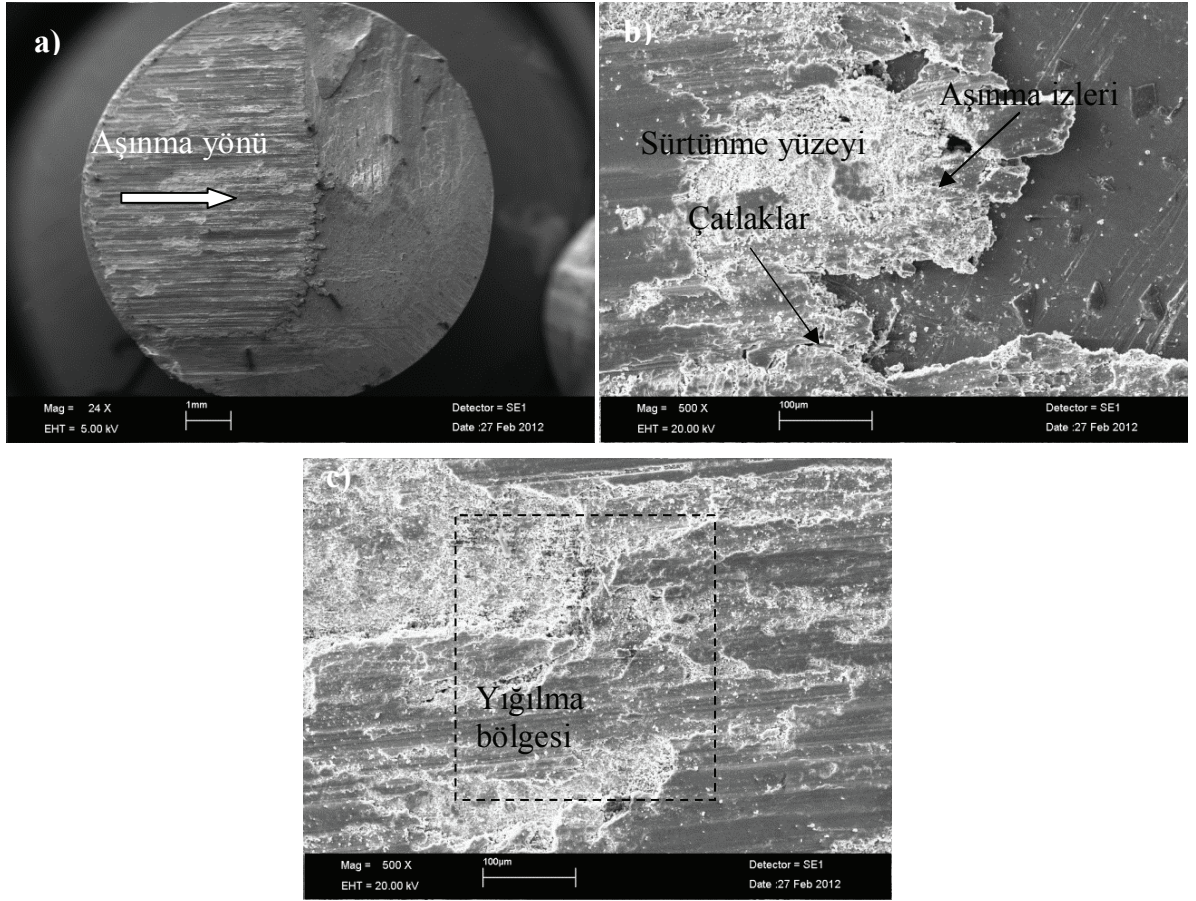
Kuru ve yağlı şartlarda aşınan yüzeylerin makro görüntüleri incelenmiştir. Yağlı şartlardaki aşınma yüzeyi kuru şartlardaki çiftiyle karşılaştırıldığında aşınma miktarı ve yüzey çizikleri oldukça azdır. 100 N yükleme şartında aşınma yüzeylerinde sürtünme sıcaklığı sebebiyle 50 N ve 75 N'luk şartlara kıyasla malzeme yığılmalarının daha fazla olduğu görülmüştür. Kuru ve yağlı şartlarda aşınan 5 geçişli numunelerin aşınma yüzeylerinin makro görüntüleri Şekil 3.80'de görülmektedir.

Şekil 3.81'de 0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin yüzeyinde 50 N yük altında kuru şartlarda aşınma izleri ve çatlakların olduğu saptanmıştır. İçerisinde seramik gibi sert ve aşındırıcı partiküllerin olması sebebiyle karşı elemanla metal/metal teması azalarak aşınma daha çok abrasif moda kaymıştır. 0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyinde kütleli kopmalar olduğu gözlemlenmiştir. Aynı numunenin 100 N yük altında da kuru şartlarda aşınma izinde çatlaklar oluşmuştur.

Takviyeli numunelerin ortalama sürtünme kuvveti değerlerine bakılacak olursa yüzeydeki seramik partiküllerin karşı disk ile temasa geçtiğinden (seramik-metal teması) düşük sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Kuru şartlarda takviyeli kompozit numune yüzeyinde, tüm yüklerde aşınma izi boyunca kayan SiC taneciğinin, yağlı şartlara göre oldukça çok miktarda kütle yığılmasına sebep olmuşlardır. Sert partiküller yüzeyde yırtılmalarına sebep olmaktadır. Kuru şartlarda kompozitlerde en düşük sürtünme kuvveti 75 N ve 100 N yük altında meydana gelirken, 50



Şekil 3.80. Takviyeli 5 geçişli numunenin 100 N yük altında aşınma sonrası makro görüntüsü a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar.

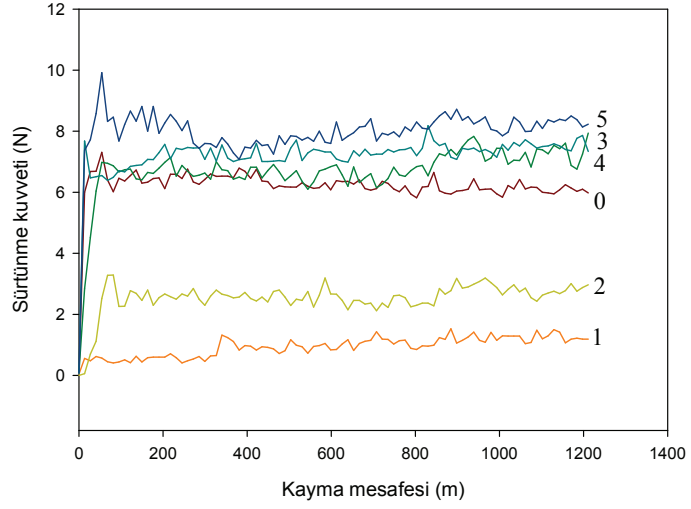


Şekil 3.81. Takviyeli 0 geçişli kompozitinin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi.

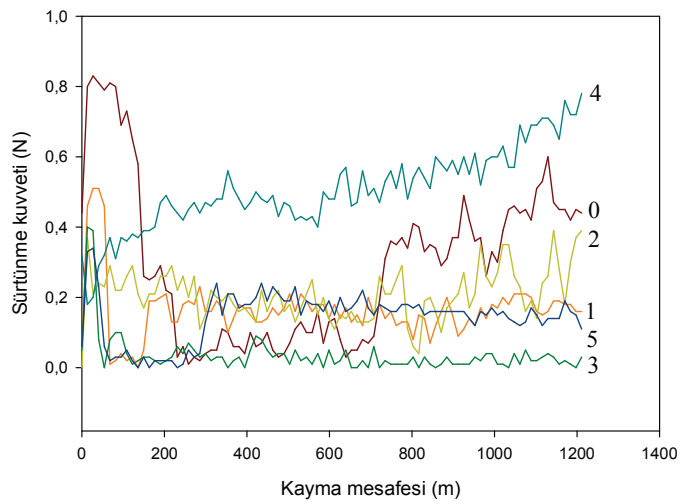
N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuştur (Şekil 3.82). 1 ve 2 geçişli kompozitlerin sertlik değerleri diğerlerine göre yüksek değerlerde olduğundan, sürtünme kuvvetleri düşük değerlerde meydana gelmiştir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi takviyeli kompozit için 50 N yük altında, 1 geçişten sonra geçiş sayılarının artması ile sürtünme kuvvetide artmıştır. Ortalama değerlere bakıldığında geçiş sayısı artan numunenin sertliğinde artış meydana gelmesi sürtünme kuvvetlerinin artışına neden olmuştur. Şekil 3.83 takviyeli kompozitinin kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvvetleri gösterilmektedir. En büyük sürtünme kuvveti 0 ve 4 geçişli numunede oluşmuştur. Kuru şartlar altında 50 N yük altında geçiş sayısı arttıkça kayma yolu boyunca sürtünme kuvvetinde değişim görülmemektedir.

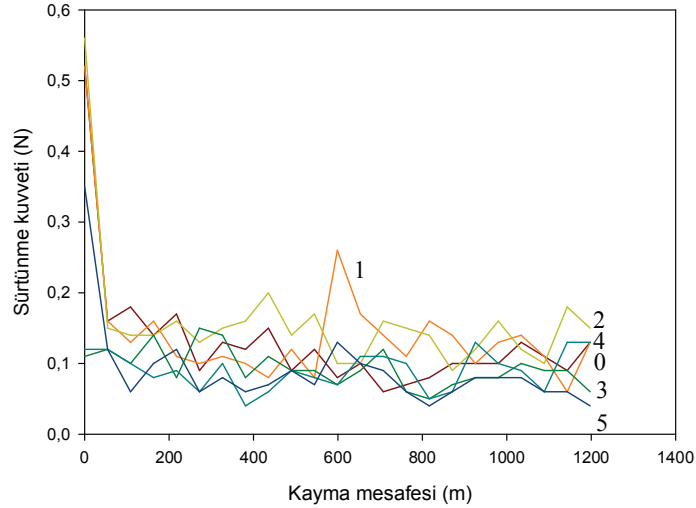
Yağlı şartlar, kuru şartlarla kıyaslandığında oldukça düşük sürtünme kuvvetleri meydana getirmiştir. Bunun sebebi de deney süresince yağlama yapılmasıdır.



Şekil 3.82. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 50 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti.



Şekil 3.83. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti.



Şekil 3.84. Takviyeli kompozitin yağlı şartlarda 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti.

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.

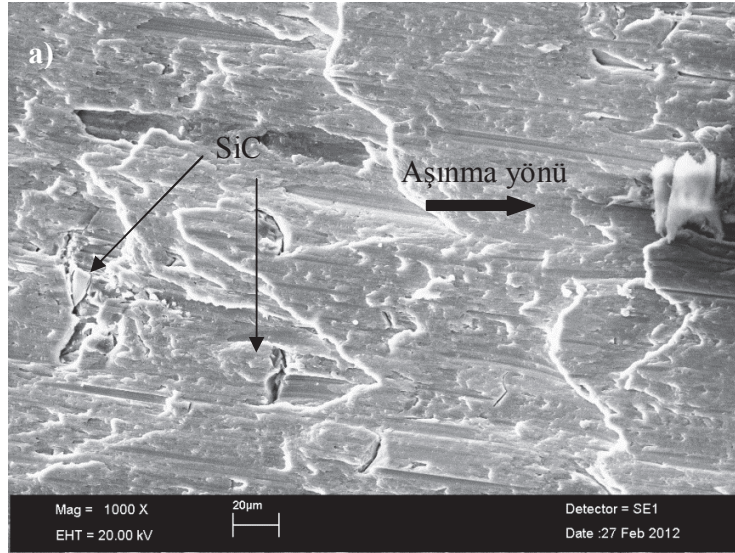
Şekil 3.84’de takviyeli kompozitin yağlı şartlarda 75 N yük altında değişimi gösterilmiştir. 75 N yük altında 1 ve 2 geçişli kompozitin en yüksek sürtünme kuvveti değerine çıktığı görülürken, 5 geçişli numunede en az olmuştur, 100 N altında kompozitlerin geçiş sayıları farklı sürtünme kuvvetlerine çıkmıştır.

Yağlı şartlarda genel olarak sürtünme kuvvetindeki değişimler, çok küçük aralıklarda olmuştur. Sürtünme kuvvetlerinin yüke göre değişimi sertlik değerlerindeki farklılardan kaynaklanmıştır. 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 (Şekil 3.85).

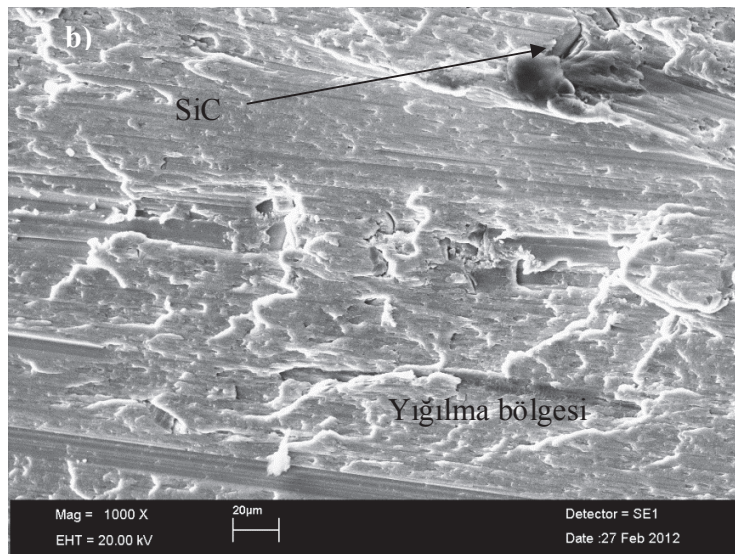
Bu plastik akmalar tabaka ayrılmasına sebep olmaktadır. Aşınma yüzeyindeki izler ise takviye partiküllerinin yüzeyi çizmesi ile oluşan abrazyon oluklarıdır. Aşınma bölgesi yüzey yapıları incelendiğinde derin çizikler yığılma bölgeleri, numunenin köşe kısımlarında yapraklaşma ve kopmalar görülmektedir (Şekil 3.85 a-d). Sürtünme kuvvetinin etkisiyle oluşan sıcaklık yüzeyde plastik deformasyonlara, matraste

akmaya sebep olmuştur. Bu durum aşınma mekanizmasının adhesiv, abrasiv ve plastik akma karışımı olduğu göstermektedir.

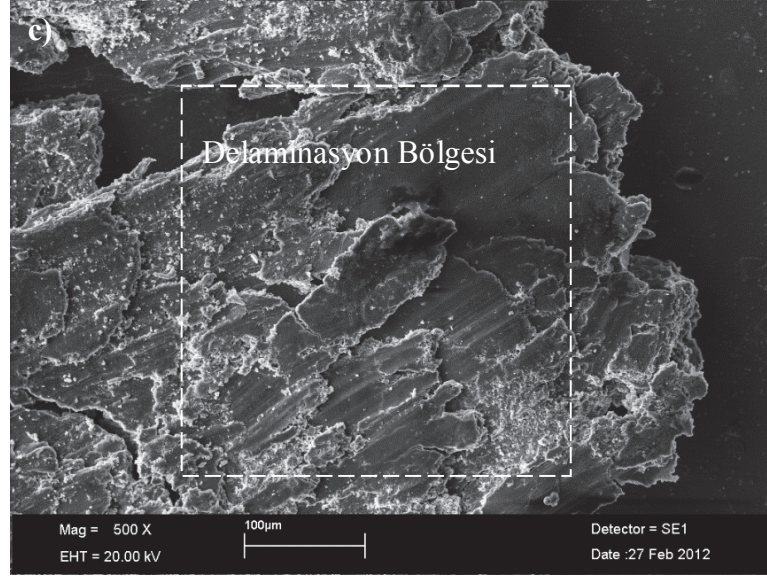
Numune yüzeyinden aşınan parçacıklar tekrar yüzeye yapışarak aşınma yönünde Şekil 3.86'da görüldüğü gibi yığınlar oluşturmuştur. Bu yapışmanın sebebi kullanılan matris malzemesinin yumuşak olmasıdır. Aşınan parçacıklar karşı diskin temas ettiği numune yüzeyinden ayrılp, aşınma yönünde yapışıp, yığılarak tekrar numune üzerinde kalmaktadırlar. Bu yapışmadan dolayı malzemelerin tartılmasında aşınan parçacıklar ağırlık kaybı olarak tespit edilmemektedir.



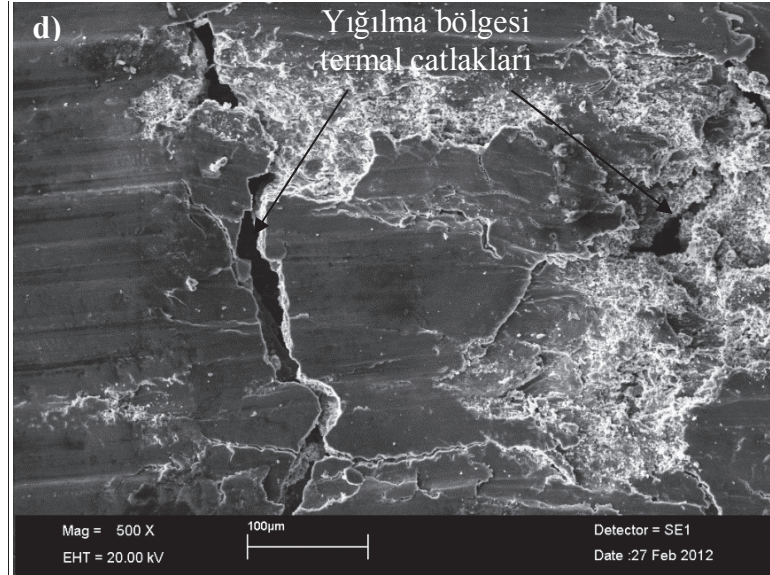
a) 0/100 N



b) 0/100 N



c) 3/100 N

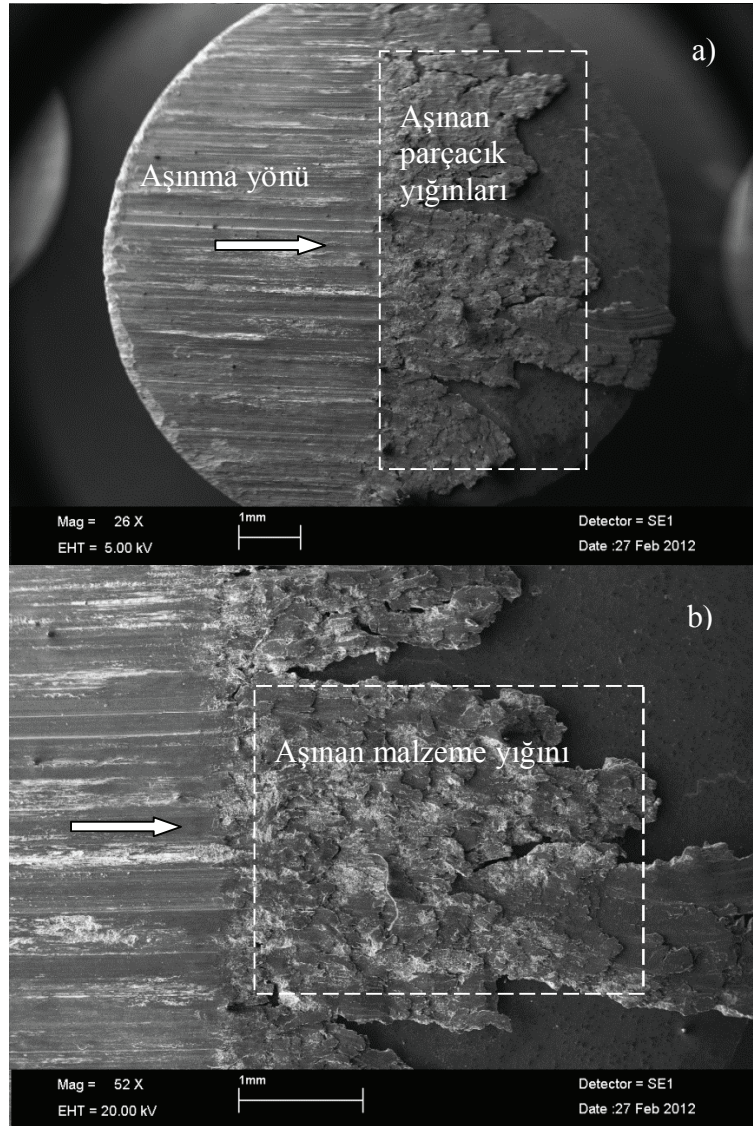


d) 3/75 N

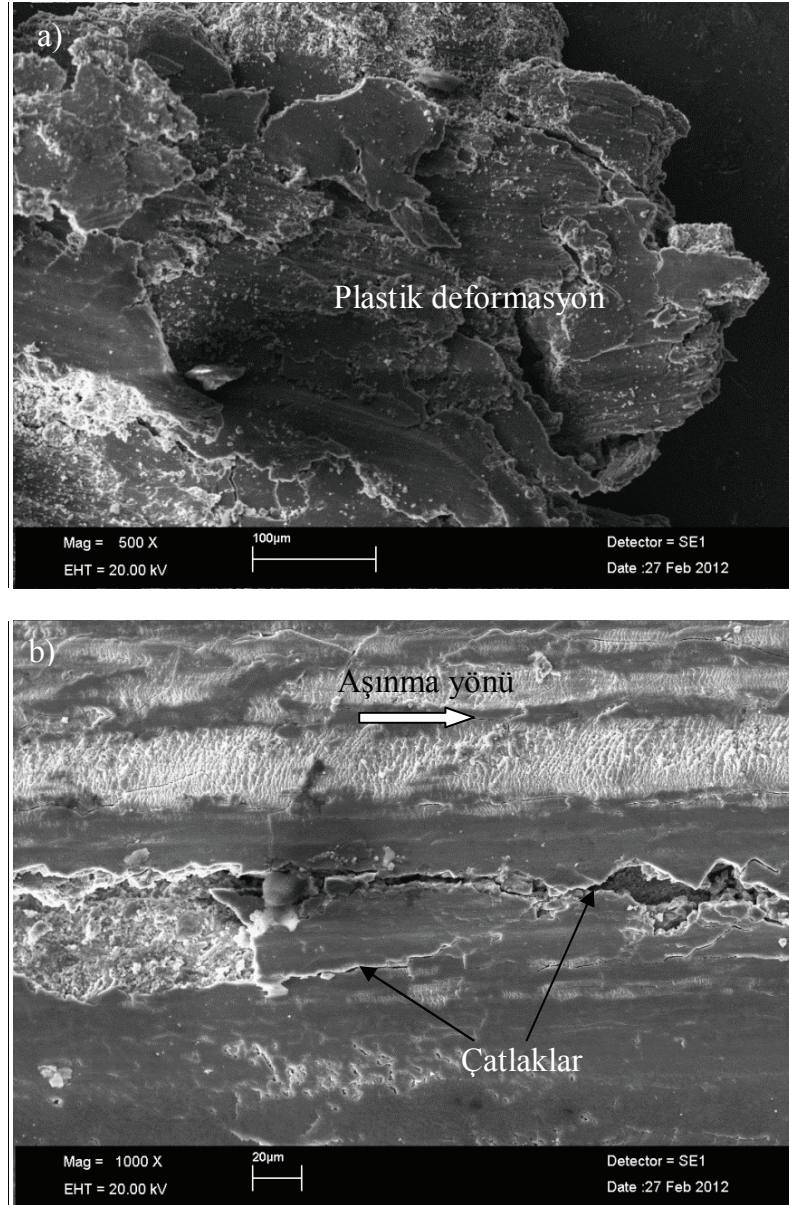
Şekil 3.85. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma sonrası termal yorulma.

Şekil 3.87'de 5 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 75 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.

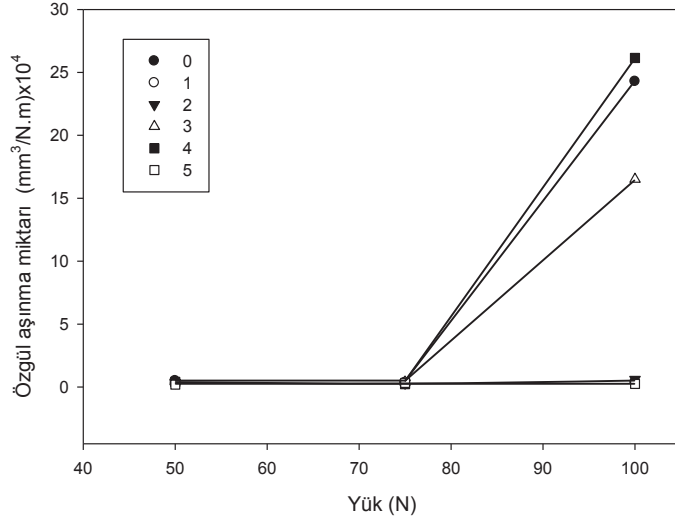
Yoğunlukları ölçülen numuneler için özgül aşınma miktarı hesaplanarak karşıt ekstrüzyon geçiş sayısının yüklere göre kuru şartlarda değişimi takviyeli kompozit için Şekil 3.88'de gösterilmektedir. Takviyeli 0, 3 ve 4 geçişli numunelerde 100 N yük



Şekil 3.86. 5 geçişli takviyeli kompozitin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yüzey morfolojisi a) Aşınma yüzeyi b) Yüzey detayı.



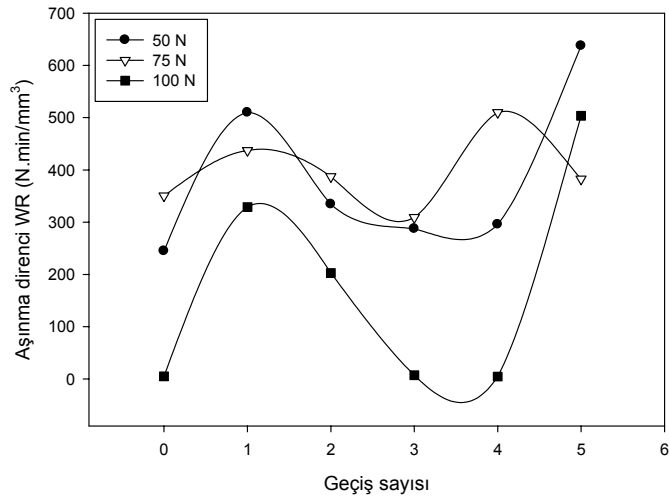
Şekil 3.87. Takviyeli 5 geçişli kompozitin kuru şartlarda aşınma sonrası yüzeyi a) Plastik deformasyon bölgesi 75 N b) Çatlaklar 100 N.



Şekil 3.88. Kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).

için en yüksek özgül aşınma miktarı meydana gelirken, diğer durumlarda birbirine oldukça yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 3.88).

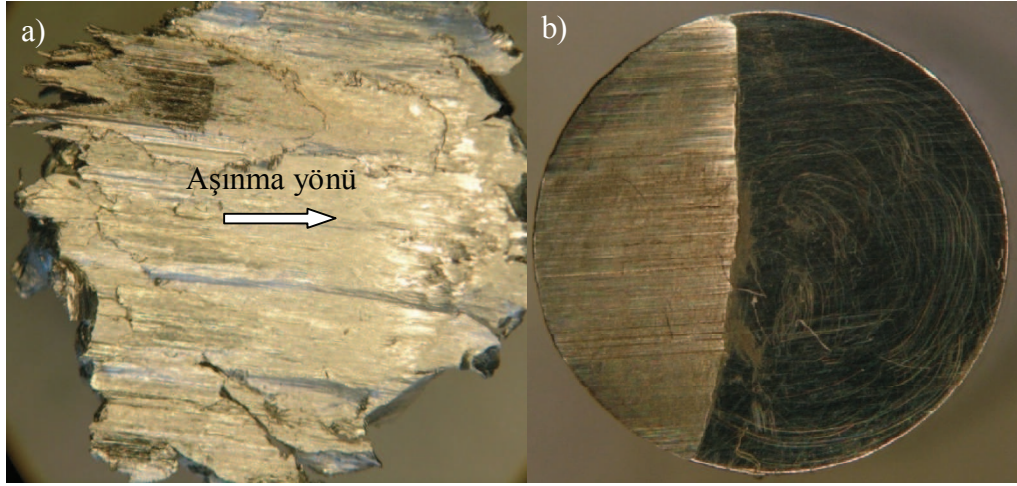
Numunelerdeki ağırlık kayıpları hesaba katılarak, aşınan miktarın hacmi uygulanan yük ve aşınma süresine bölünerek Aşınma oranı (WR, mm³/ N.dk) hesaplanmıştır. Aşınma oranının tersi alınarak aşınma direnci (WR, N.dk/ mm³) hesaplanmıştır. Şekil 3.89'da takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. Uygulanan yük arttıkça kompozit numunelerdeki aşınma direnci azalmaktadır. Tüm yükler için geçiş sayıları ile aşınma direnci ilk önce artan, sonra azalan ve tekrar artan bir eğilim göstermektedir.



Şekil 3.89. Takviyeli kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).

AA6061 Numunesinin Sürtünme Davranışı

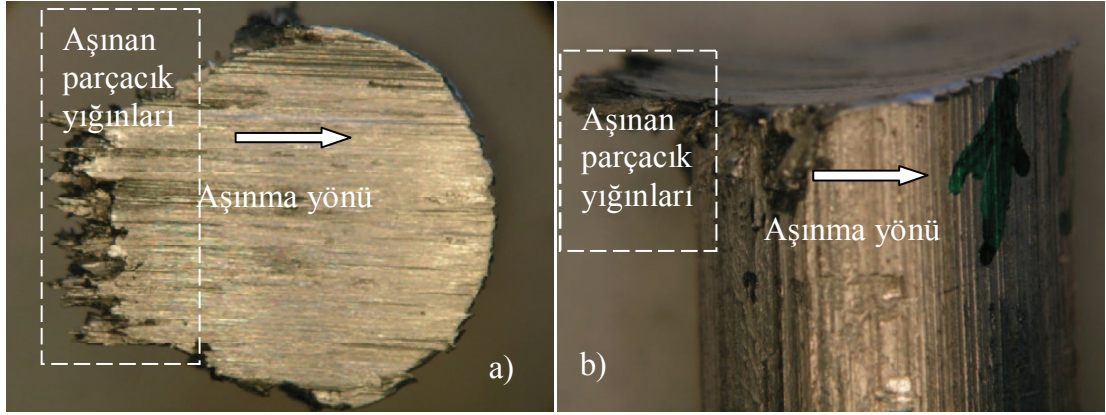
Takviyesiz numunelerde, yağlı şartlardaki aşınma, kuru şartlardaki çiftiyle karşılaştırıldığında aşınma miktarı ve yüzey izleri oldukça azdır. Kuru ve yağlı şartlarda aşınan 5 geçişli takviyesiz numunelerin aşınma yüzeylerinin makro görüntüleri Şekil 3.90'da görülmektedir. Kuru şartlarda yüzeyde aşırı 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) geniş aşınma yüzeyleri oluşturmaktadır (Şekil 3.90).



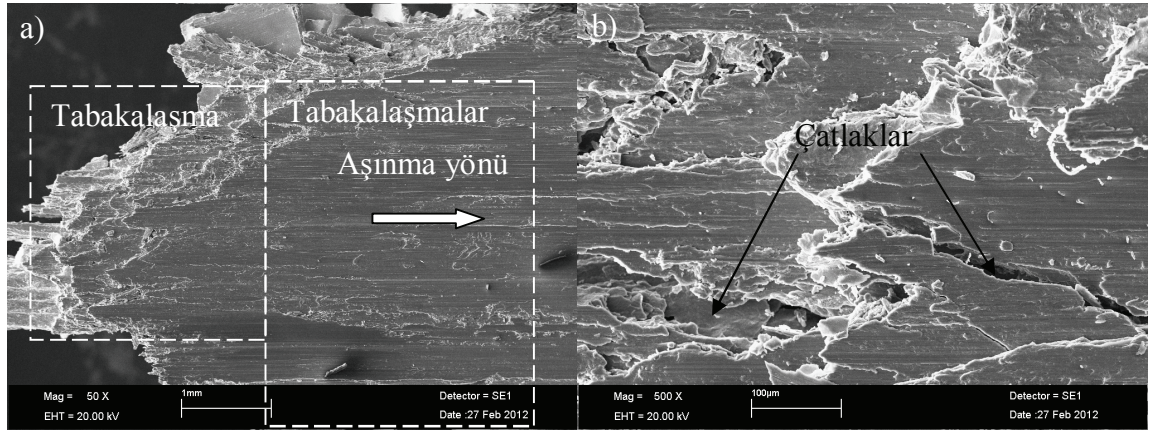
Şekil 3.90. Takviyesiz 5 geçişli numunenin 100N yük altında aşınma sonrası yüzeyi
a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar.

Yağlı şartlarda çok az aşınma olmakta ve aşınan parçacıklar yağlamanın etkisi ile yüzeye tekrar yapışmamaktadır. Kuru şartlarda ise aşınan parçacıklar karşı diske yapışmakta ve tekrar numune yüzeyine transfer olarak kaymanın ters yönünde yığınlar oluşturmaktadır (Şekil 3.91). Bu yığınlar takviyeli numunelerde aşınma partiküllerinin etkisi ile karşı diske yapışmayıp kendi yüzeyinde kayma yönünde oluşurken, takviyesiz numunelerde matris malzemesinin yumuşak olmasından dolayı önce karşı diske yapışmakta sonrada tekrar numune üzerine geçerek aşınma yönünün tersinde yapışmaktadır. Bu nedenle ağırlık kayıpları doğru şekilde tespit edilememektedir.

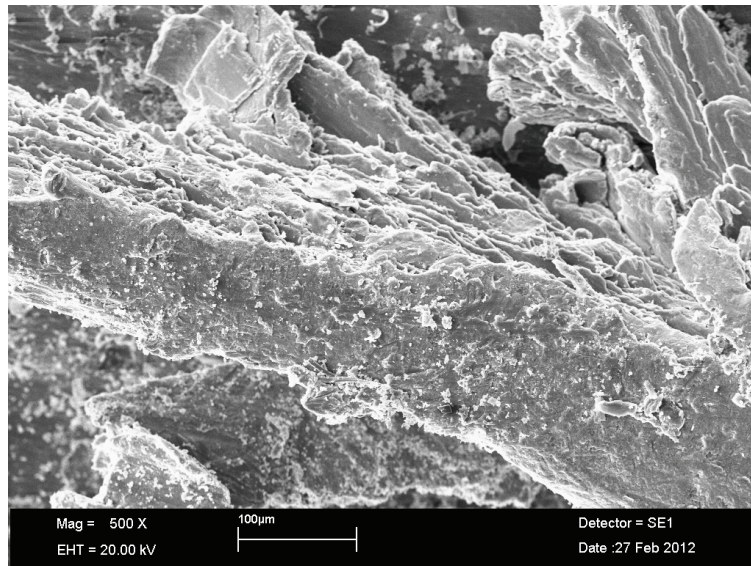
Şekil 3.92'de 0 geçişli numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyinde sürtünme kuvvetinin etkiyle alüminyumun yeniden şekillenip tabakalaştığı görülmektedir.



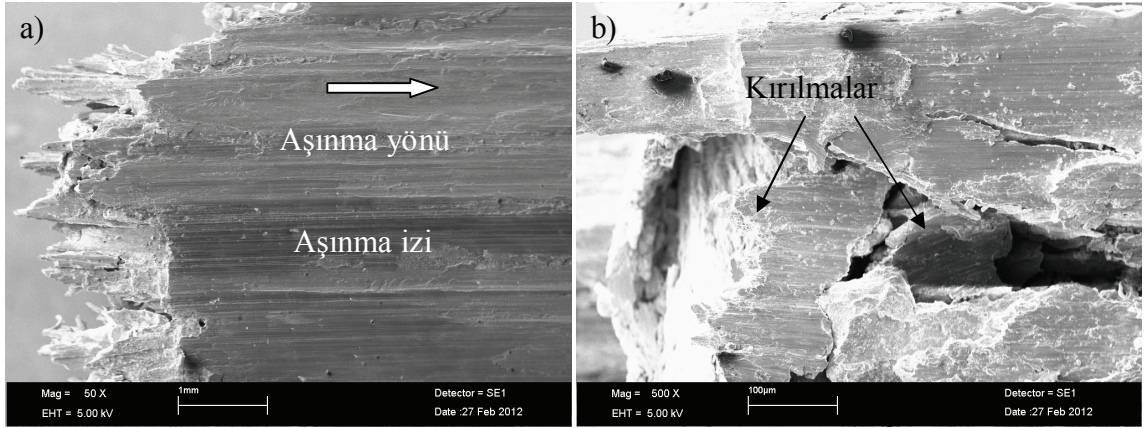
Şekil 3.91. Takviyesiz 0 geçişli numunenin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası makro görüntüsü a) aşınmış yüzeyin düzlem görünümü b) Profil görünümü.



Şekil 3.92. Takviyesiz 0 numunesinin kuru şartlarda 75N yük altında aşınma sonrası yüzeyi a) Tabakalaşma b)Kırılmalar.

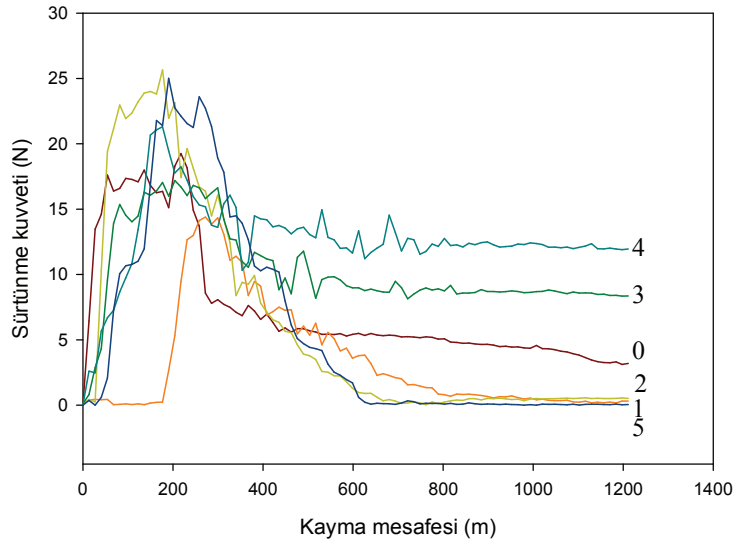


Şekil 3.93. Takviyesiz 3 numunesinin kuru şartlarda 100N yük altında aşınma sonrası yüzeyindeki tabakalaşmalar.



Şekil 3.94. Takviyesiz 0 geçişli numunesinin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi a) Aşınma izleri b)Kırılmalar.

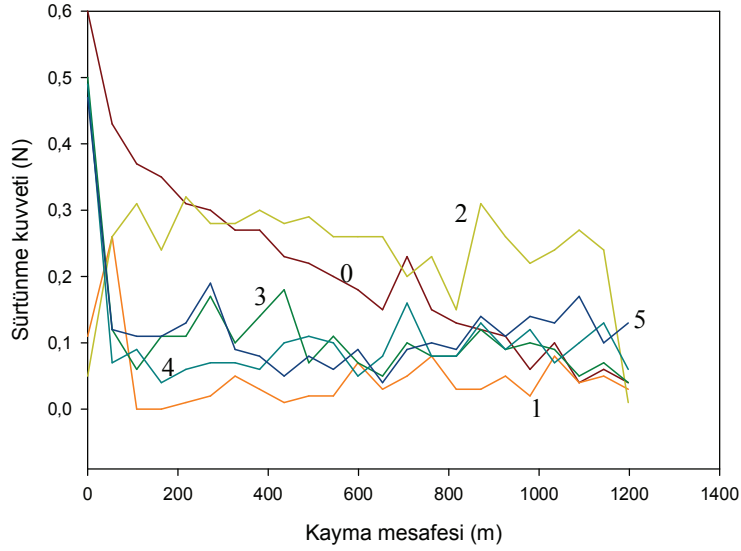
Şekil 3.95 takviyesiz numune, kuru şartlarda, 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvvetlerinin değişimi gösterilmektedir. En büyük sürtünme kuvveti ilk 400 metrede 2 ve 5 geçişli daha sonra ise 3 ve 4 geçişli numunelerde olduğu görülmektedir. 3 ve 4 geçişli numunelerin sertlikleri 2 geçişliye göre daha düşük değerlerdedir. Sürtünme kuvvetleri tüm geçiş sayıları için ilk önce artmış, numune yüzeylerinin aşınarak alışması sonucu azalarak birbirine yakın değerde meydana gelmiştir.



Şekil 3.95. Takviyesiz numune kuru şartlarda 75 N yük ve tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti değişimi.

Şekil 3.96'da takviyeli kompozitin yağlı şartlar ve 75 N yük altında kayma mesafesi ile sürtünme kuvveti değişimi gösterilmiştir. 0 ve 2 geçişli numunenin yüksek sürtünme kuvvetini oluşturduğu görülmektedir. 100 N altında oluşan sürtünme

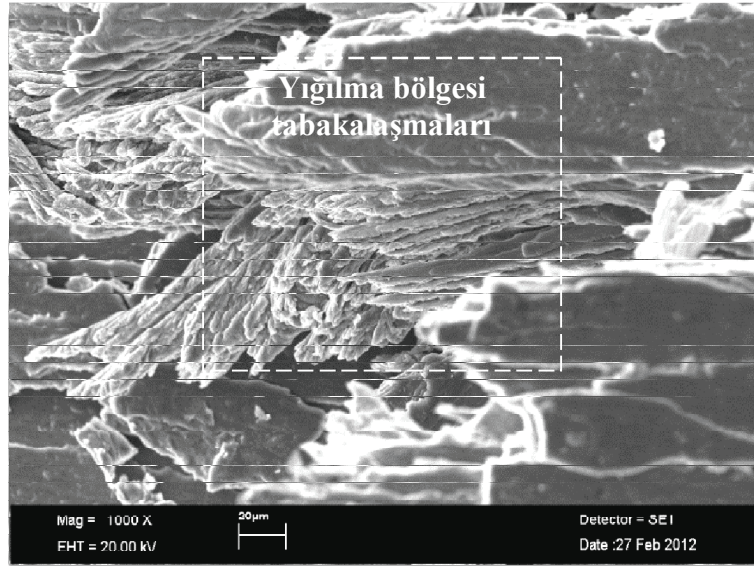
kuvvetleri ani artışlar gösterip daha sonra sabit değerlerde kayma yolu boyunca devam etmiştir. Artan yük etkisi yüksek sürtünme kuvvetlerinin nedenidir. 50 N'da ise sürtünme değerleri sabit değerlere oturmamış, sürekli değişen değerler vermiştir. Sertlik değerleri incelenecek olursa en sert numunenin 0 olduğu görülür.



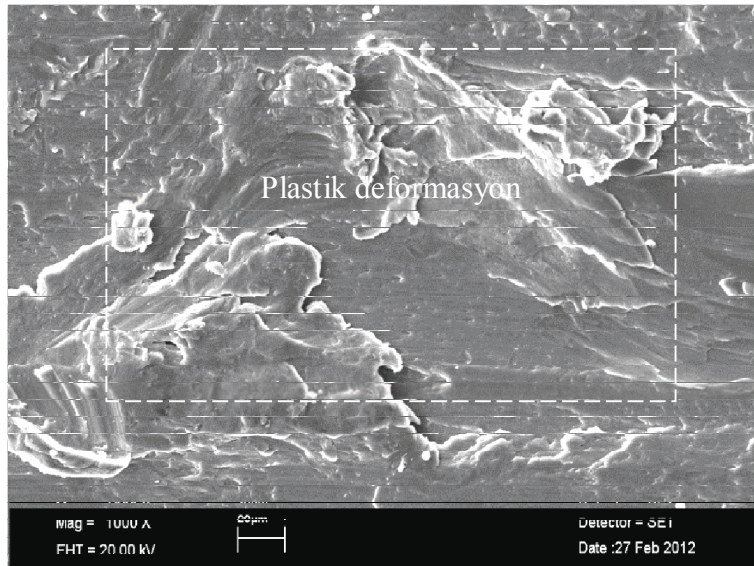
Şekil 3.96. Takviyesiz numunenin yağlı şartlarda 75 N yük altında kayma mesafesi-sürtünme kuvveti değişimi.

Şekil 3.97'de 5 geçişli takviyesiz numunenin 75 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 (Şekil 3.97-3.99). Bu durum adhezyon aşınmasına sebebiyet vermiştir. Numune yüzeyinde ki üst üste sıvanan tabakalar adhezif aşınmanın olduğunu göstermektedir.

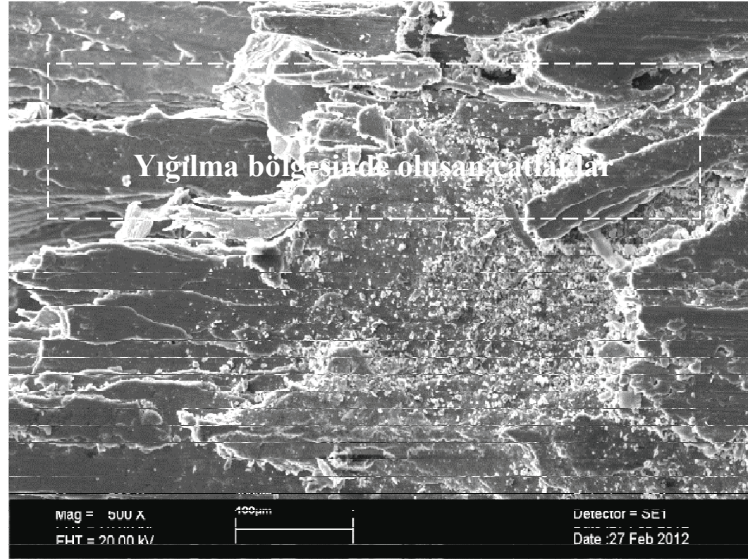
Yoğunlukları ölçülen takviyesiz numuneler için özgül aşınma miktarı hesaplanarak karşıt ekstrüzyon geçiş sayısının yüklere göre kuru şartlarda değişimi Şekil 3.100'de gösterilmektedir. Takviyesiz 0-5 geçişli numunelerin hepsinin de 50 ve 70 N yükte özgül aşınma miktarı yakın değerlerde iken 100 N'da en yüksek değerlerine ulaşmaktadırlar. 100 N yük için en yüksek aşınma miktarı 5 geçişli numunede elde edilmiştir. Takviyesiz numunelerdeki aşınma direnci tüm yüklerde birbirine yakın değerlerde ve geçiş aysısı artıkça da farklı eğilimler görülmemektedir (Şekil 3.101). Şekilden de görüleceği üzere 1 geçişli numunenin 50 N yük altındaki davranışı genel eğilime aykırılık göstermektedir. Bu ise bahsi geçen numunenin hemen hemen en yüksek sertliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Tablo 3.5)



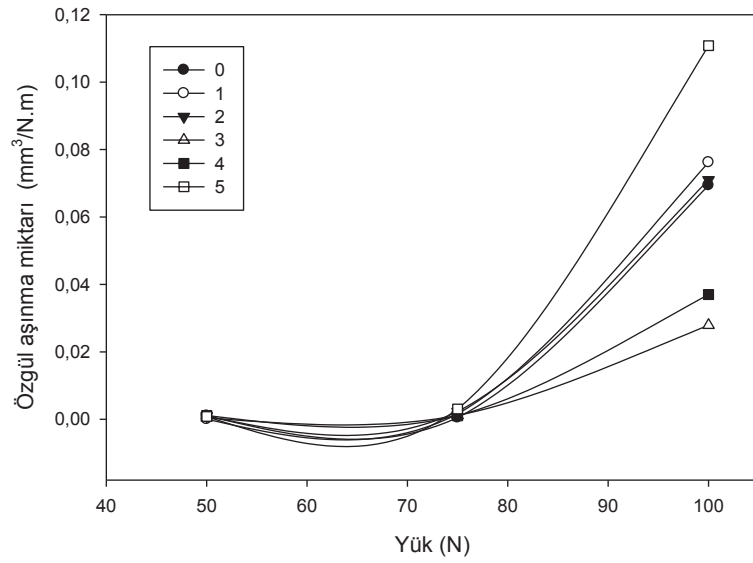
Şekil 3.97. Takviyesiz 5 geçişli numunenin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yığılma bölgesi tabakalaşmaları.



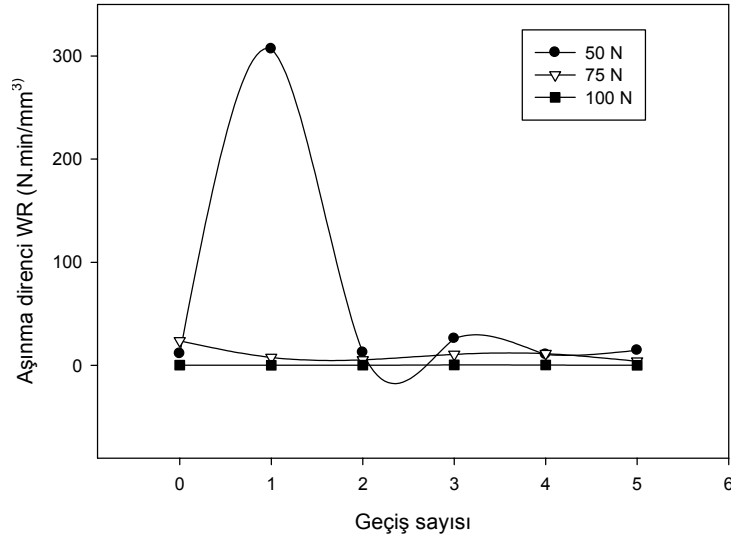
Şekil 3.98. Takviyesiz 5 geçişli numunenin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yüzey plastik deformasyonu.



Şekil 3.99. Takviyesiz 5 geçişli numunenin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yığılma bölgesinde oluşan çatlaklar.



Şekil 3.100. Takviyesiz numunenin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar) .



Şekil 3.101. Takviyesiz numunenin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).

Döküm Numuneler

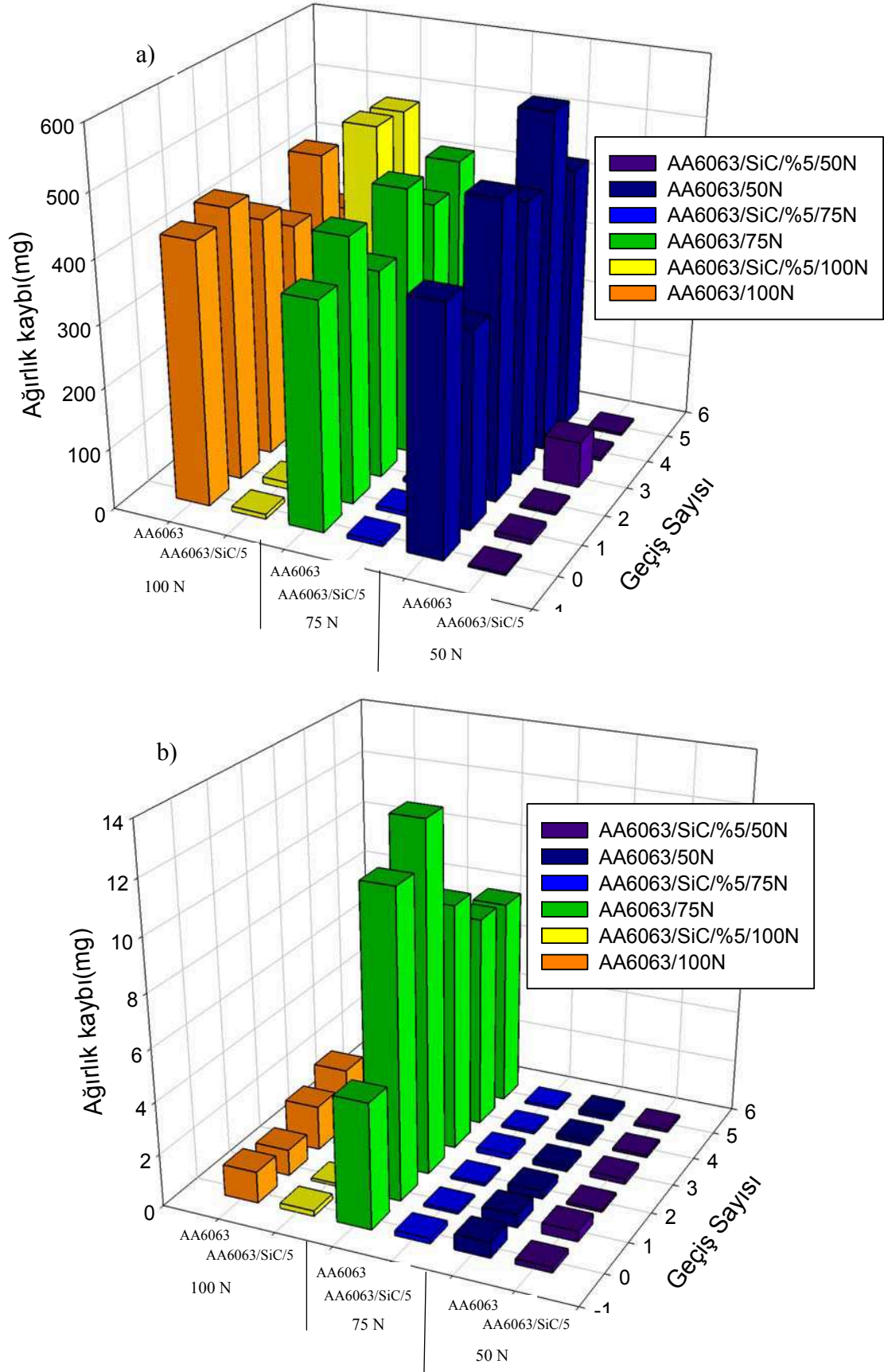
Deney öncesi ve sonrası döküm numunelerin ağırlıkları ölçülerek ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Aşınma testleri sonrası oluşan ağırlık kayıpları Tablo 3.14'de verilmiştir.

Geçiş sayısı ve yüke göre değişen ağırlık kaybı sütun olarak Şekil 3.102'de gösterilmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kuru şartlarda 50 N yük altında en fazla kütle kaybı takviyesiz numune için 4 ve 5 geçişli numunelerde görülmüştür. 75 ve 100 N yük altında takviyesiz tüm numunelerde kütle kaybı fazla olmuştur. Genel olarak kuru şartlarda takviyesiz numunelerde geçiş sayısı arttıkça kütle kaybında artış görülmektedir. Yağlı şartlarda ise kuru şartlara göre ağırlık kayıplarında azalmalar olup, 50 N yük için en fazla kütle kaybı takviyesiz numuneler için 0

Tablo 3.14. Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin kuru şartlarda ve yağlı şartlarda ağırlık kayıpları.

Deney Şartları	Yük (N)	Aşınma Ağırlık Kayıpları (mg)												
		KE.Geçiş Sayısı												
		AA6063/SiC20 μ /5						AA6063						
Kuru Şartlar		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
	50	3.4	8	3.9	75.4	5.2	3.8	400.4	320.8	481.8	443.7	551.2	429.2	
	75	7.1	6.9	6.7	7.6	8.3	5.8	368.4	428	339.5	435.1	377.2	416.2	
	100	7.6	11.1	11.4	13.6	488.6	483.8	424.2	440.2	388.5	344.5	428.1	307.6	
Yağlı Şartlar		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
	50	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	
	75	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	4.8	11.6	13.2	9.4	8.1	7.9
	100	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.2	1	1.7	2.2	1	1.5	

geçiş, 75 N için 2 geçiş ve 100N için 3 geçiş sayısında görülmüştür. Takviyeli kompozit numuneler takviyesiz numunelerle kıyaslandığında çok daha az kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir. Kuru şartlarda takviyeli numuneler için 50 N ve 75 N yük altında çok az kütle kaybı meydana gelirken, 100 N için 4 ve 5 geçiş sayısında en fazla kütle kaybı görülmüştür. Fazla kütle kaybı meydana gelen bu numunelerin sertlikleri diğerlerine göre daha düşüktür (Tablo 3.5). Yani aşınma genel olarak sertlikle paralellik arz etmektedir. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için kütle aşınmaları yağlamanın etkisiyle azalmıştır. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için tüm geçiş sayılarında çok az kütle kaybı görülmüştür. Takviyeli kompozit numuneler için kuru şartlarda 100 N hariç tüm yüklerde ve şartlarda çok az aşınma kaybı ile benzer davranışlar göstermiştir. Takviyesiz numuneler ise daha değişken özellikler göstermiştir. Yağlama ve yük, ağırlık kaybı için önemli bir etkidir. Geçiş sayısı ve yük arttıkça malzeme kaybı da artmıştır.

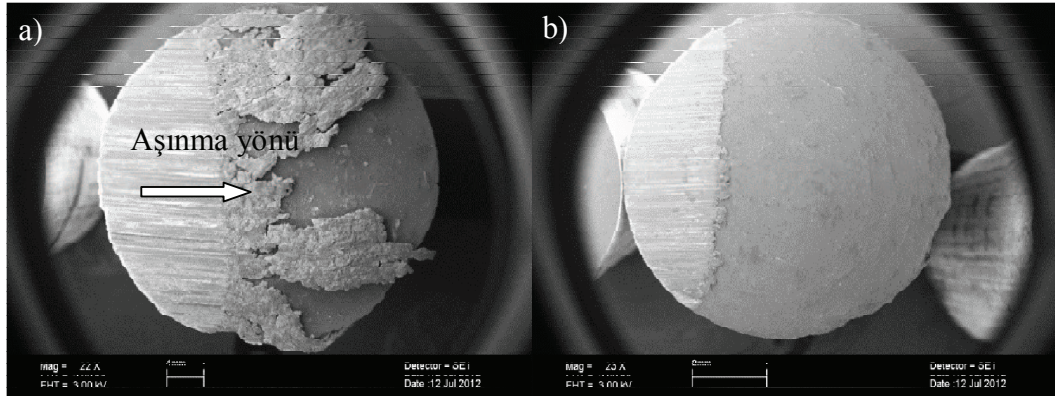


Şekil 3.102. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre döküm numunelerin ağırlık kayıpları a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda.

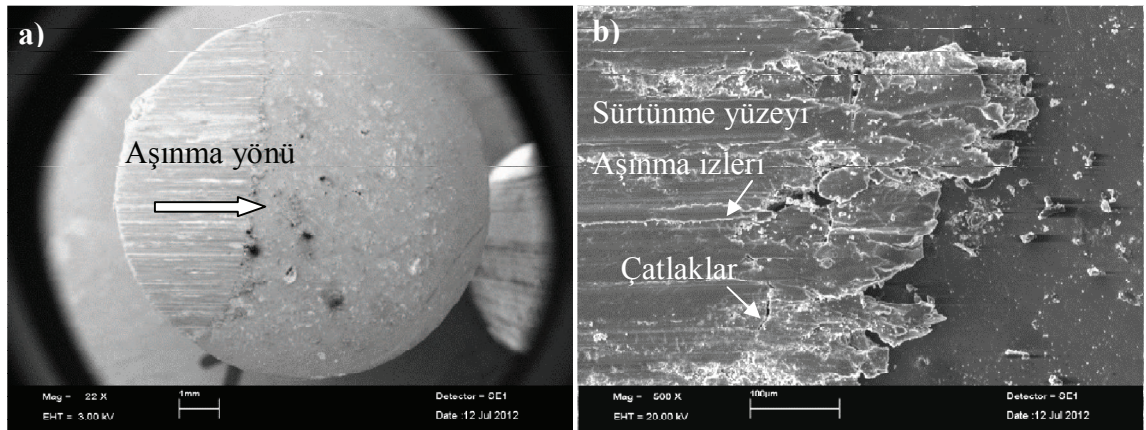
AA6063/SiC20 μ /5 Kompozitinin Sürtünme Davranışı

Kuru ve yağlı şartlarda aşınan yüzeylerin makro görüntüleri incelenmiştir. Kuru şartlardaki aşınma yüzeyi yağlı şartlardakine göre aşınma miktarı ve yüzey çizikleri oldukça fazladır. 100 N yükleme durumunda aşınma yüzeylerinde 50N ve 75 N'luk şartlara kıyasla malzeme yığılmaları daha fazla olmuştur. Kuru ve yağlı şartlarda aşınan 3 geçişli numunelerin aşınma yüzeyleri Şekil 3.103'de görülmektedir.

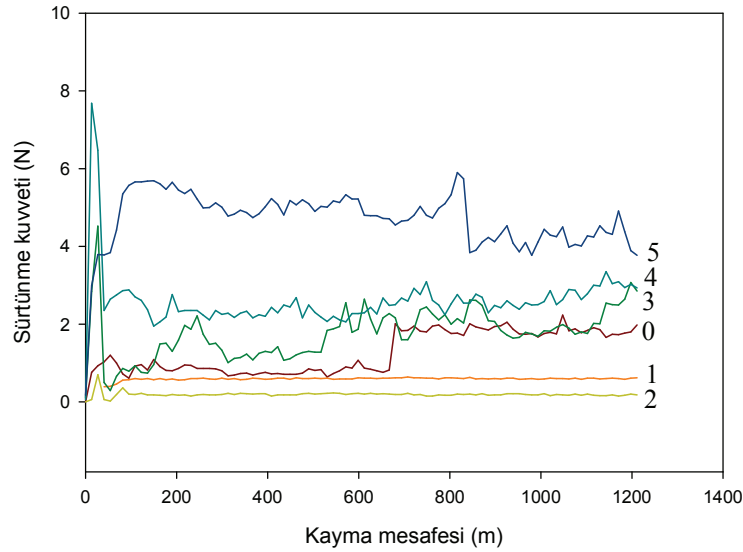
Şekil 3.104'de 0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin yüzeyinde 50 N yük altında kuru şartlarda aşınma izleri ve çatlakların olduğu saptanmıştır. İçerisinde seramik gibi sert ve aşındırıcı partiküllerin olması sebebiyle karşı elemanla metal/metal temasının azalarak aşınmanın daha çok abrasif moda kaydığı görülmektedir. 0 geçişli %5 SiC takviyeli kompozitin 75 N ve 100 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyinde kütleli kopmalar olduğu ve aşınma izlerinde çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.103. Takviyeli 3 geçişli numunenin 50 N yük altında aşınma sonrası görüntüsü a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar.



Şekil 3.104. Takviyeli 0 geçişli kompozitinin kuru şartlarda 50N yük altında aşınma sonrası yüzeyi.

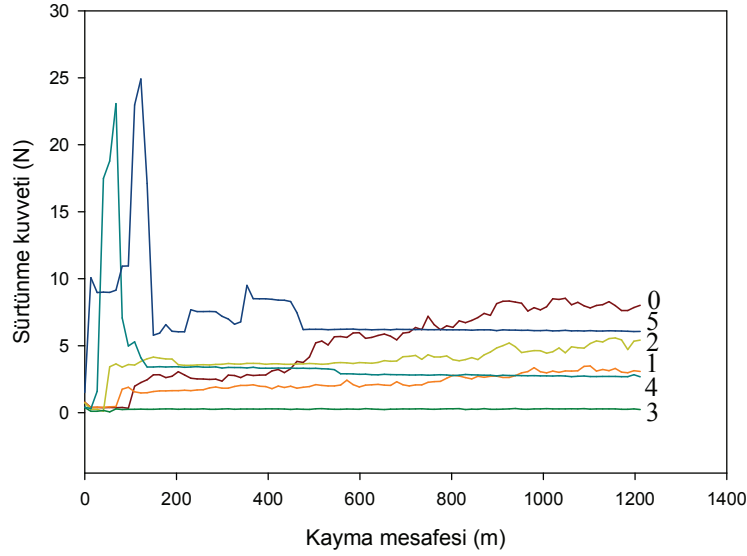


Şekil 3.105. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 50 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti.

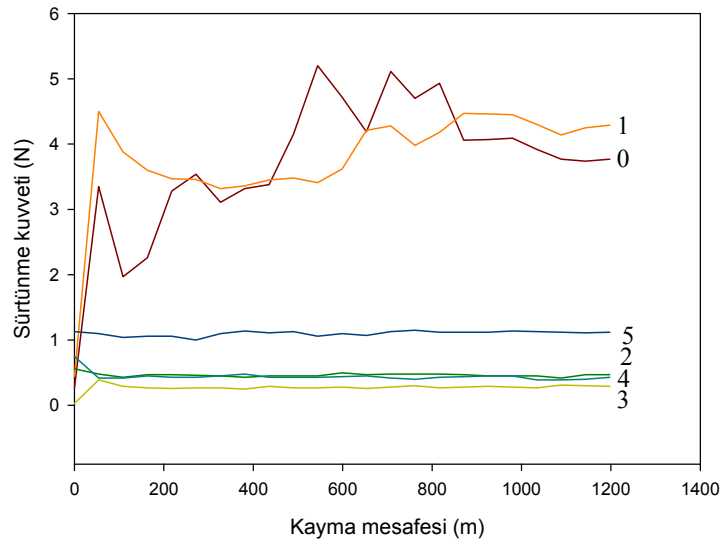
Takviyeli numunelerin ortalama sürtünme kuvveti değerlerine bakılacak olursa yüzeydeki seramik partiküllerin karşı disk ile temasa geçtiğinden (seramik-metal teması) düşük sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Kuru şartlarda takviyeli kompozit numune yüzeyinde, tüm yüklerde aşınma izi boyunca kayan SiC tanecikleri, yağlı şartlara göre oldukça çok miktarda kütle yığılmasına sebep olmuşlardır. Sert partiküller yüzeyde yırtılmalarına sebep olmaktadır. Kuru şartlarda kompozitlerde en düşük sürtünme kuvveti 50 N ve 75 N yük altında meydana gelirken, 100 N yük altında en büyük sürtünme kuvvetleri oluşmuştur (Şekil 3.105, 3.106). 100 N yük altında kayma mesafesi 200 m olana kadar sürtünme çok yüksek olmuş ve daha sonra azalarak belirli düzende devam etmiştir.

Sürtünme kuvveti – aşınma yolu eğrisi takviyeli kompozit için 50 N yük altında, sertliği en az olan 3-5 geçişli numunelerde en yüksek sürtünme kuvveti meydana gelmiştir. Ortalama değerlere bakıldığında geçiş sayısı artan numunenin sertliğinde azalma meydana gelmesi sürtünme kuvvetlerinin artışına neden olmuştur. Şekil 3.106 takviyeli kompozitin kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvvetleri gösterilmektedir. En büyük sürtünme kuvveti 4 ve 5 geçişli meydana gelmiştir.

Yağlı şartlar, kuru şartlarla kıyaslandığında oldukça düşük sürtünme kuvvetleri meydana getirmiştir. Şekil 3.107’de yağlı şartlarda takviyeli kompozitin 100 N



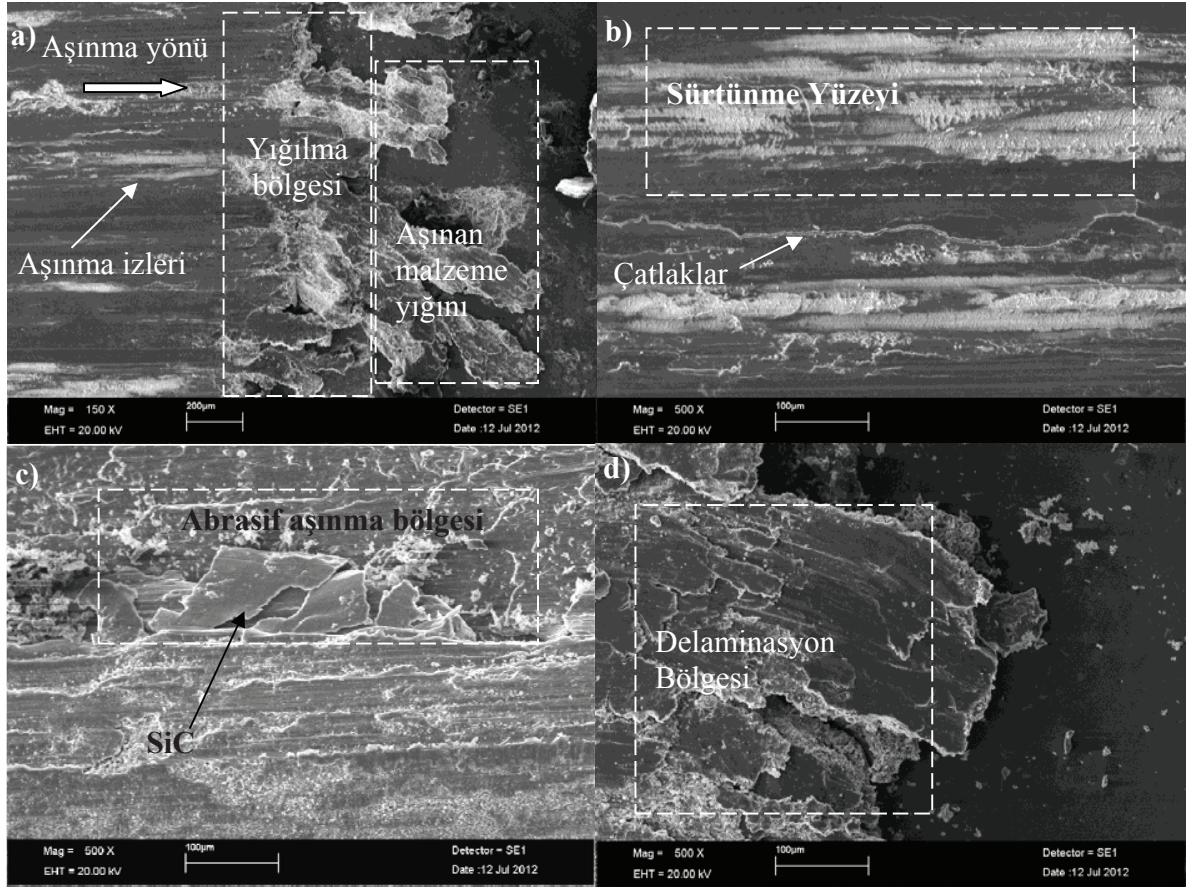
Şekil 3.106. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti.



Şekil 3.107. Takviyeli kompozitin yağlı şartlarda 100 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti.

yük altında kayma mesafesi ile sürtünme kuvveti değişimi gösterilmiştir. 100 N yük altında 0 ve 1 geçişli kompozitin en yüksek sürtünme kuvveti değerine çıktığı görülürken, 2-4 geçişli numunelerde en az olmuştur.

Yağlı şartlarda genel olarak sürtünme kuvvetindeki değişimler, çok küçük aralıklarda olmuştur. Sürtünme kuvvetlerinin yüke göre değişimi sertlik değerlerindeki farklardan kaynaklanmıştır. Oluşan sürtünme sıcaklığı ile yumuşayan yüzey kuru şartlarda daha fazla olmak kaydıyla plastik deformasyonla sürtünme yönünde malzeme yığılmalarına yani plastik akmaya sebep olmaktadır (Şekil 3.108).

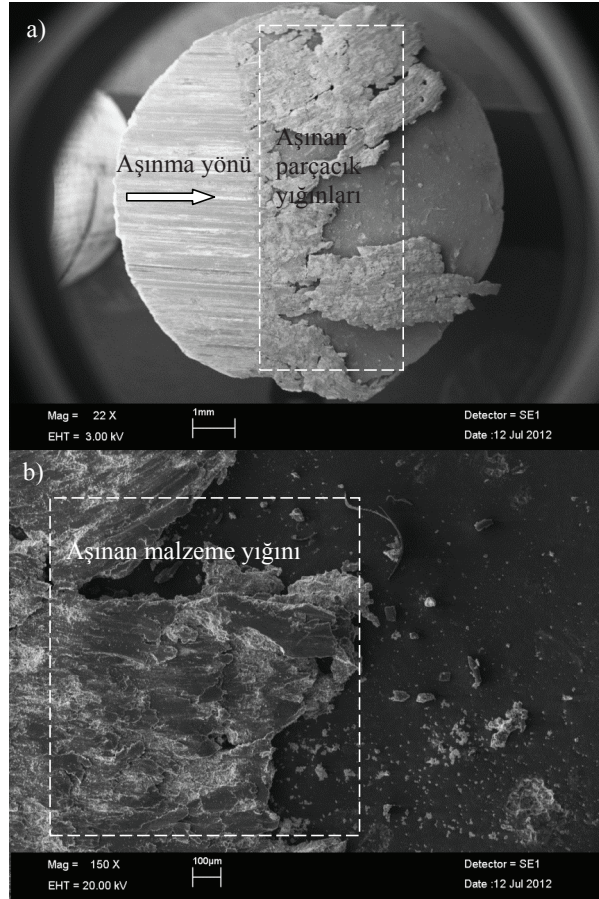


Şekil 3.108. Takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma sonrası yüzey morfolojisi a) 0/75 N, b) 3/75 N c) 5/100 N, d) 5/50 N.

Bu plastik akımlar tabaka ayrılmasına sebep olmaktadır. Aşınma bölgesi yüzey yapıları incelendiğinde derin çizikler, yığılma bölgeleri, yapraklaşma ve kopmalar görülmektedir (Şekil 3.108 a-d). Sürtünme kuvvetinin etkisiyle oluşan sıcaklık yüzeyde plastik deformasyonlara, matriste akmağa sebep olmuştur. Bu durum aşınma mekanizmasının adhesiv, abrasiv ve plastik akma karışımı olduğunu göstermektedir.

Numune yüzeyinden aşınan parçacıklar tekrar yüzeye yapışarak aşınma yönünde, Şekil 3.109'da görüldüğü gibi, yığınlar oluşturmuştur. Bu yapışmanın sebebi kullanılan matris malzemesinin yumuşak olmasıdır. Aşınan parçacıklar karşı diskin temas ettiği numune yüzeyinden ayrılıp, aşınma yönünde yapışıp, yığılarak tekrar numune üzerinde kalmaktadırlar. Bu yapışmadan dolayı malzemelerin tartılmasında aşınan parçacıklar ağırlık kaybı olarak tespit edilmemektedir.

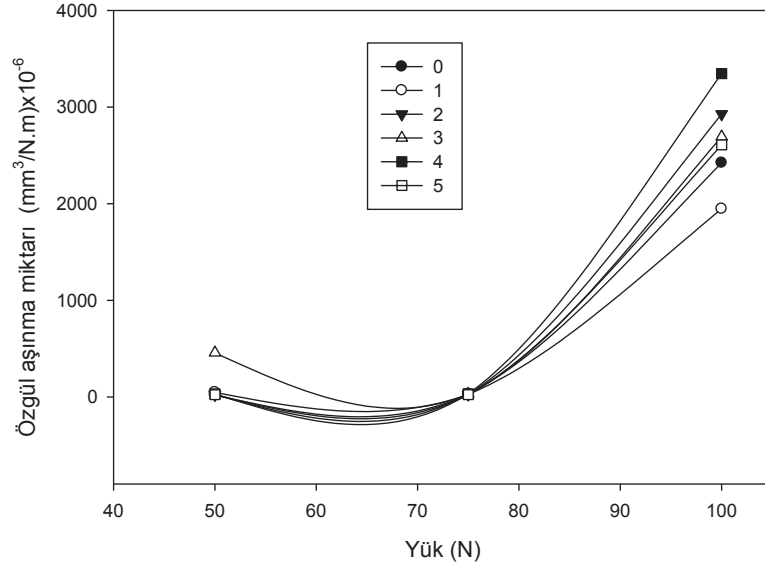
Yoğunluğu ölçülerek hesaplanan takviyeli döküm numunelerin kuru şartlarda özgül



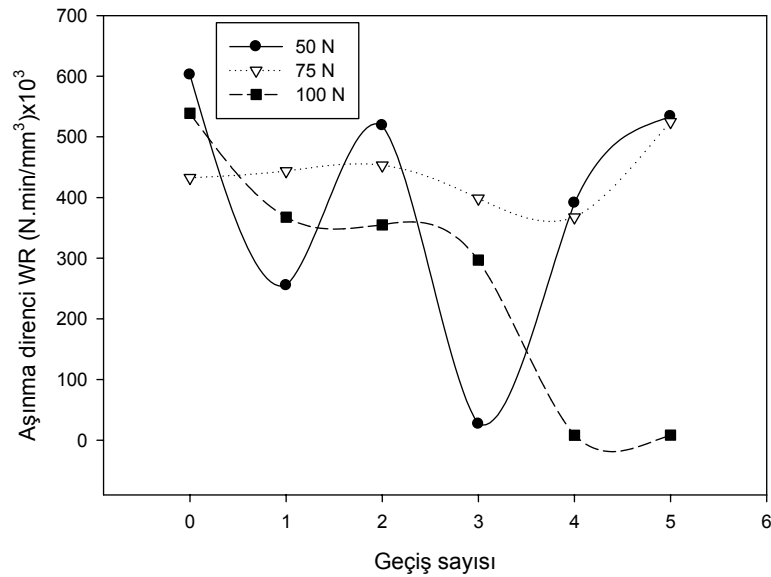
Şekil 3.109. 5 geçişli takviyeli kompozitin kuru şartlarda 75 N yük altında aşınma sonrası yüzey morfolojisi a) Aşınma yüzeyi b) Yüzey detayı.

aşınma miktarlarının her bir geçiş sayısı için yüke göre değişimi Şekil 3.110'da verilmiştir. Takviyeli 2 ve 4 geçişli numunelerde 100 N yük için en yüksek özgül aşınma miktarı meydana gelirken, diğer durumlarda birbirine oldukça yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 3.110).

Şekil 3.111'de takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. En düşük aşınma direnci 100 N yükte 4 ve 5 geçişli numunede meydana gelmiştir. 100 N yükte geçiş sayısının artması ile aşınma direncinde azalmaktadır. 50 ve 75 N yüklerde ise geçiş sayısı ile sistematik bir ilişki kurulamamıştır.



Şekil 3.110. Takviyeli kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).



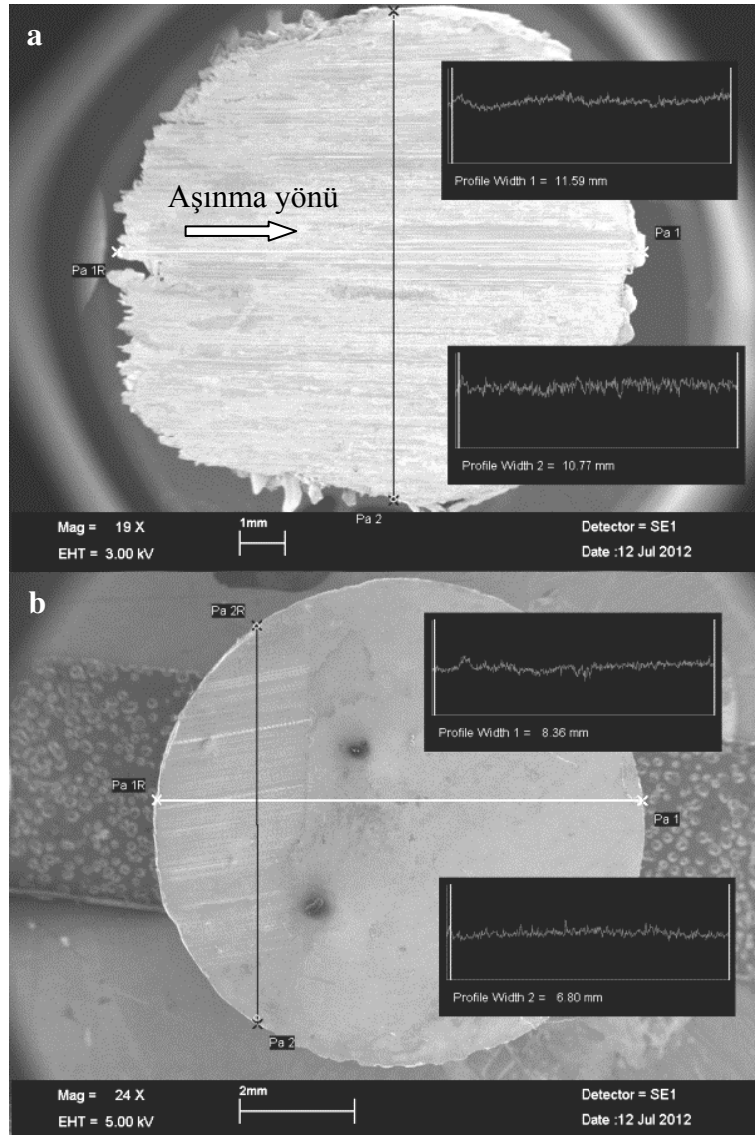
Şekil 3.111. Takviyeli kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).

AA6063 Numunesinin Sürtünme Davranışı

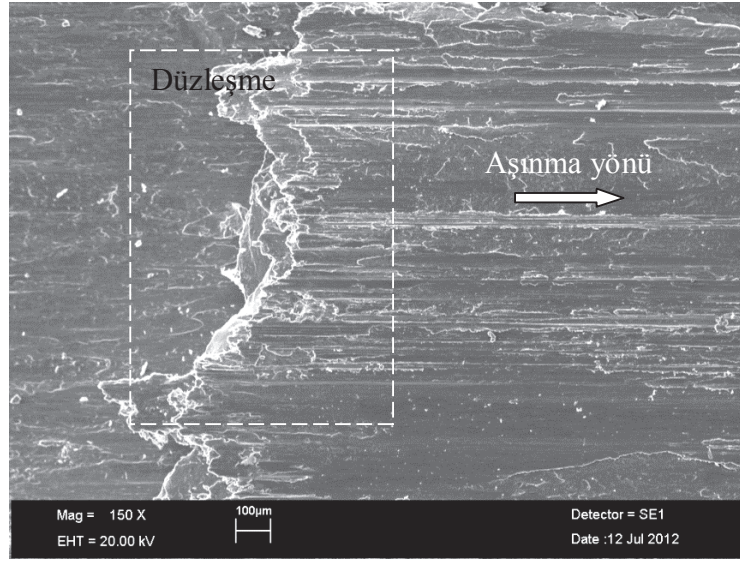
Takviyesiz numunelerde, yağlı şartlardaki aşınma, kuru şartlardaki çiftiyle karşılaştırıldığında aşınma miktarı ve yüzey izleri oldukça azdır. Kuru ve yağlı şartlarda aşınan 5 geçişli takviyesiz numunelerin aşınma yüzeyleri Şekil 3.112'de görülmektedir. Kuru şartlarda yüzeyde aşırı plastik deformasyonla kaymalar ve tabakalaşmalar oluşmuştur. Takviyesiz numune yüzeyi takviyeli numuneye göre aynı şartlarda, takviye partikülleri olmaması sebebiyle, karşı elemanda sıvanmalar

meydana getirerek (metal-metal teması) geniş aşınma yüzeyleri oluşturmaktadır (Şekil 3.112).

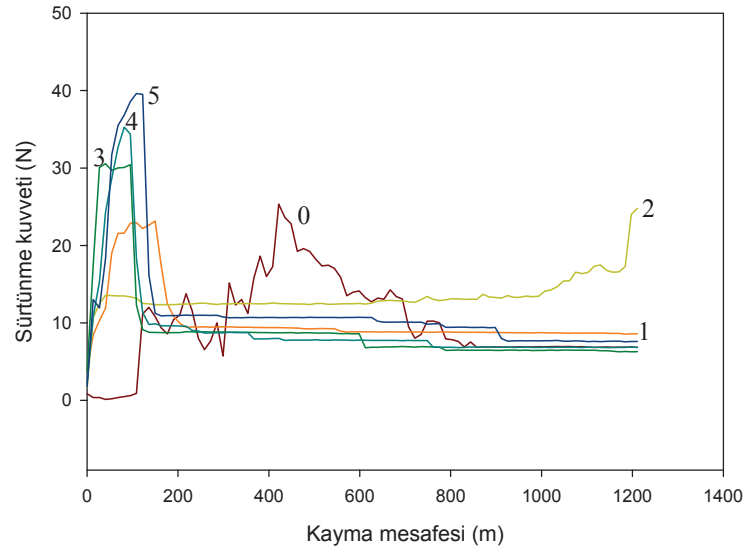
Şekil 3.113'de 0 geçişli numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma yüzeyinde sürtünme kuvvetinin etkiyle alüminyumun yeniden şekillenip tabakalaştığı görülmektedir. Kuru şartlarda, takviyesiz numunenin 75 N yük altında tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvvetlerinin değişimi Şekil 3.114'de gösterilmektedir. En büyük sürtünme kuvveti 4 ve 5 geçişli numunelerde oluşmuştur. Sürtünme kuvvetleri tüm geçiş sayıları için ilk önce artmış, numune yüzeylerinin aşınarak alışması sonucu azalarak birbirine yakın değerde meydana gelmiştir.



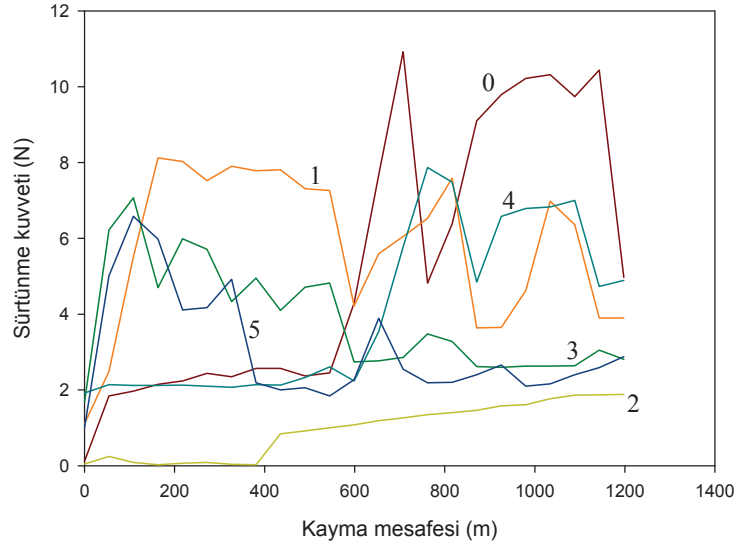
Şekil 3.112. Takviyesiz 5 geçişli numunenin 75N yük altında aşınma sonrası yüzeyi
a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar.



Şekil 3.113. Takviyesiz 0 numunesinin kuru şartlarda 75N yük altında aşınma sonrası yüzey düzleşmesi.



Şekil 3.114. Takviyesiz numune kuru şartlarda 75 N yük ve tüm geçiş sayıları için sürtünme kuvveti değişimi.



Şekil 3.115. Takviyesiz numunenin yağlı şartlarda 75 N yük altında kayma mesafesi-sürtünme kuvveti değişimi.

Şekil 3.115’de takviyeli kompozitin yağlı şartlar ve 75 N yük altında kayma mesafesi ile sürtünme kuvveti değişimi gösterilmiştir. 0 ve 1 geçişli numunenin yüksek sürtünme kuvvetini oluşturduğu görülmektedir. 100 N altında oluşan sürtünme kuvvetleri daha yüksek olmuştur. Artan yük etkisi ile yüzeyde oluşan plastik deformasyon yüksek sürtünme kuvvetlerinin nedenidir. 50 N’da ise sürtünme değerleri sabit değerlere oturmamış, sürekli değişen değerler vermiştir.

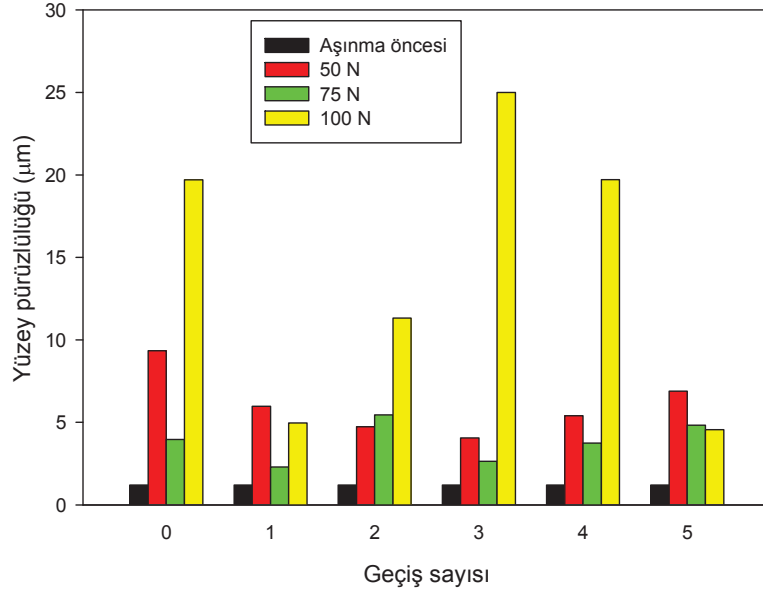
Takviyesiz numuneler için özgül aşınma miktarının ve aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısı ve yüklere göre kuru şartlarda değişimleri incelenmiştir. Takviyesiz 0-5 geçişli numunelerin hepsinin de 75 ve 100 N yükte özgül aşınma miktarı yakın değerlerde iken 50 N’da değerler arasındaki fark artmakta ve en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. 50 N yük için en az olması beklenen aşınma miktarı en yüksek olmuştur. Aşınma direncinde ise 100 N yük altında tüm geçişler için en yüksek değerler elde edilmiştir. Ancak uygulanan yük arttıkça TM ve takviyeli döküm numunelerde olduğu gibi aşınma direncinin azalması beklenirken aşınma direnci artmıştır. Bu beklenmeyen sonuçların sebebi Tablo 3.14 incelendiğinde anlaşılabilir. Takviyesiz döküm numunenin aşınma direnci çok düşük olduğundan dolayı uygulanan en az yük olan 50 N’da dahi numuneler tamamen aşınmıştır. Yani tüm yüklerdeki ağırlık kayıpları birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Aşınan malzeme hacmi yüke bölünerek özgül aşınma miktarı hesaplandığından ve aşınan malzeme hacimleri birbirine yakın değerlerde

olduğundan dolayı, en az yük olan 50 N’da en yüksek özgül aşınma değerleri elde edilmiştir. Aşınma direnci hesaplamalarında ise uygulanan yük aşınma miktarının hacmine bölünerek hesaplandığından ve aşınma miktarları da birbirlerine yakın olduğundan dolayı, yükün fazla olduğu durumlarda aşınma direnci daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenlerden dolayı takviyesiz döküm numunelerde yük arttıkça özgül aşınma miktarı azalırken aşınma direnci artmaktadır. Yani takviyesiz döküm numunelerde, belirlenen yüklerde aşırı aşınmadan dolayı ölçülebilir test yapılamamış ve doğru sonuçlar alınmamıştır. Bu yüzden takviyesiz döküm numuneler için aşınma miktarı ve aşınma direnci değişim grafikleri çizilmemiştir.

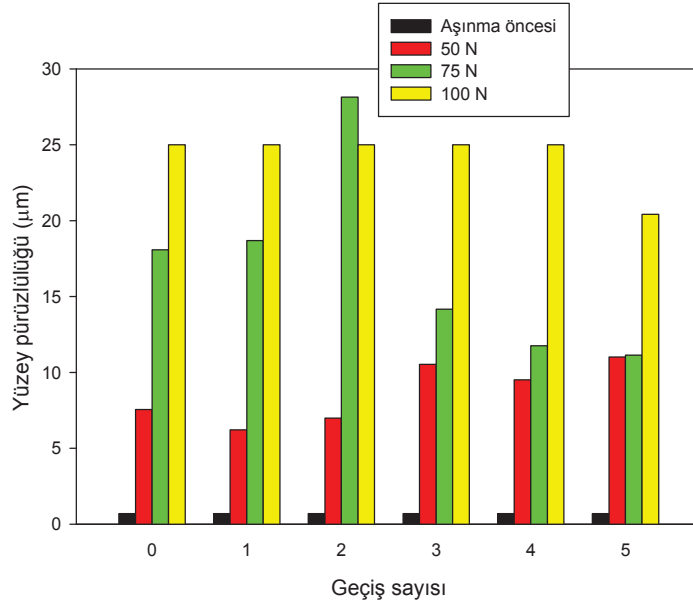
3.2.3.5. Aşınma Sonrası TM Numunelerin Pürüzlülük Değerleri

Takviyeli ve takviyesiz numunelerin kuru şartlarda aşınma sonrası ölçülen pürüzlülük değerleri Şekil 3.116 ve Şekil 3.117’de gösterilmiştir. Yağlı şartlarda yapılan deneyler sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmamıştır. Takviyesiz numunelerin takviyeli numunelere göre pürüzlülük değerindeki artış daha fazladır. Buna sebep, karşı elemana malzeme yapışmasının meydana gelmesidir. Takviyeli numunelerde en fazla pürüzlülük değerleri 100 N da olurken, 50 ve 75 N da birbirine yakın değerlerdedir. Takviyesiz numunelerde ise genel olarak 75 ve 100 N da en yüksek değerler gözlenirken en az değerler 50 N da gerçekleşmiştir. Takviyesiz numunelerde 75 N yükte pürüzlülük 3 geçişe kadar artıp tekrar azalmıştır. Takviyeli numuneler 50 ve 75 N da aşınmaya karşı direnç gösterebildikleri için aşınma yüzeylerindeki pürüzlülük değerleri düşük olmaktadır. Fakat yük 100 N’a artırıldığında numune artık direnç gösteremeyip kolayca aşınmakta ve yüzeyi de pürüzlü olmaktadır. Takviyesiz numuneler ise 50 N’dan sonra aşırı aşınmaya uğramakta, ayrıca karşı diske yapışan malzeme numune üzerinde oluklar oluşturmakta dolayısıyla pürüzlülüğü daha da arttırmaktadır.

Takviyeli ve takviyesiz 3 geçişli 75 N yük altında kuru şartlarda aşınan yüzeyin aşınma yönüne dik ölçülen pürüzlülüğünün aşınma yönüne paralel olana göre çok fazla olduğu Şekil 3.118 ve Şekil 3.119’da görülmektedir. Aşınma esnasında plastik deformasyonla malzeme yüzeyinden küçük parçacıklar kopmakta ve kopan bu parçacıkların bir kısmı aşındırıcı yüzeye tekrar yapışarak aşındırıcı yüzeyin düzgünlüğünü bozmaktadır. Hem bu parçacıkların aşınma yönünden

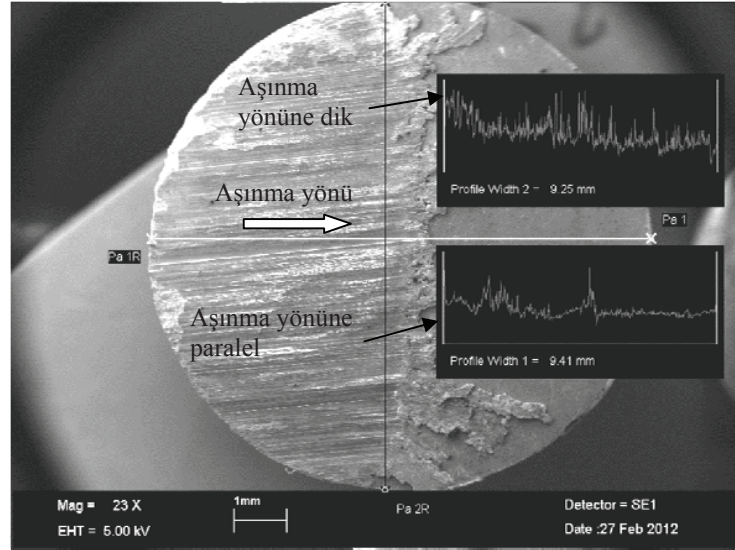


Şekil 3.116. Takviyeli numunelerin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri.

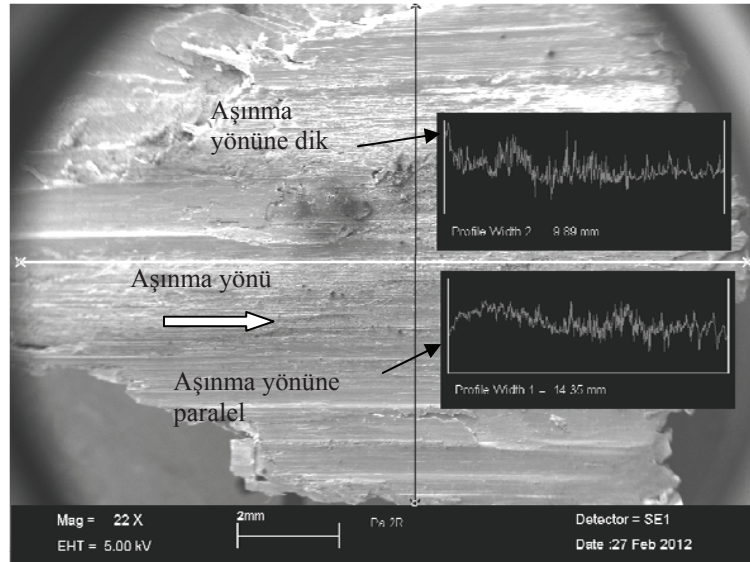


Şekil 3.117. Takviyesiz numunenin aşınma öncesi ve kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük değerleri.

kopmasından hemde aşındırıcı yüzeyine yapışan parçacıkların tekrar malzeme yüzeyine sürtünmesinden dolayı malzeme yüzeyinde aşınma yönünde plastik deformasyon olukları oluşmaktadır. Bu nedenle aşınma yönündeki pürüzlülük aşınma oluklarına paralel olduğundan daha az olurken aşınma yönüne dik ölçülen pürüzlülük aşınma oluklarına da dik olduğundan çok daha fazla olmaktadır.



Şekil 3.118. 3 geçişli takviyeli numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük görüntüsü.



Şekil 3.119. 3 geçişli takviyesiz numunenin 75 N yük altında kuru şartlarda aşınma sonrası pürüzlülük görüntüsü.

3.2.2.4.1. Tartışma

Geçiş sayısı ve yüke göre değişen TM numunelerin ağırlık kaybı sütun grafikleri Şekil 3.120'de gösterilmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kuru şartlarda ve bütün yüklemelerde en fazla kütle kaybı takviyesiz numunelerin 0 ve 5 geçişli olanlarında görülmüştür. Genel olarak takviyesiz numunelerde kuru şartlarda geçiş sayısı artıkcça kütle kaybında artış görülmektedir.

Takviyeli kompozit numuneler takviyesiz numunelerle kıyaslandığında daha az kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.15). Kuru şartlarda takviyeli numuneler için 50 N ve 75 N yük altında çok az kütle kaybı meydana gelirken, 100 N için 0 ve 4 geçiş sayısında en fazla kütle kaybı görülmüştür. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için kütle aşınmaları yağlamanın etkisiyle azalmıştır. Yağlı şartlarda takviyeli numuneler için tüm geçiş sayılarında çok az kütle kaybı görülmüştür.

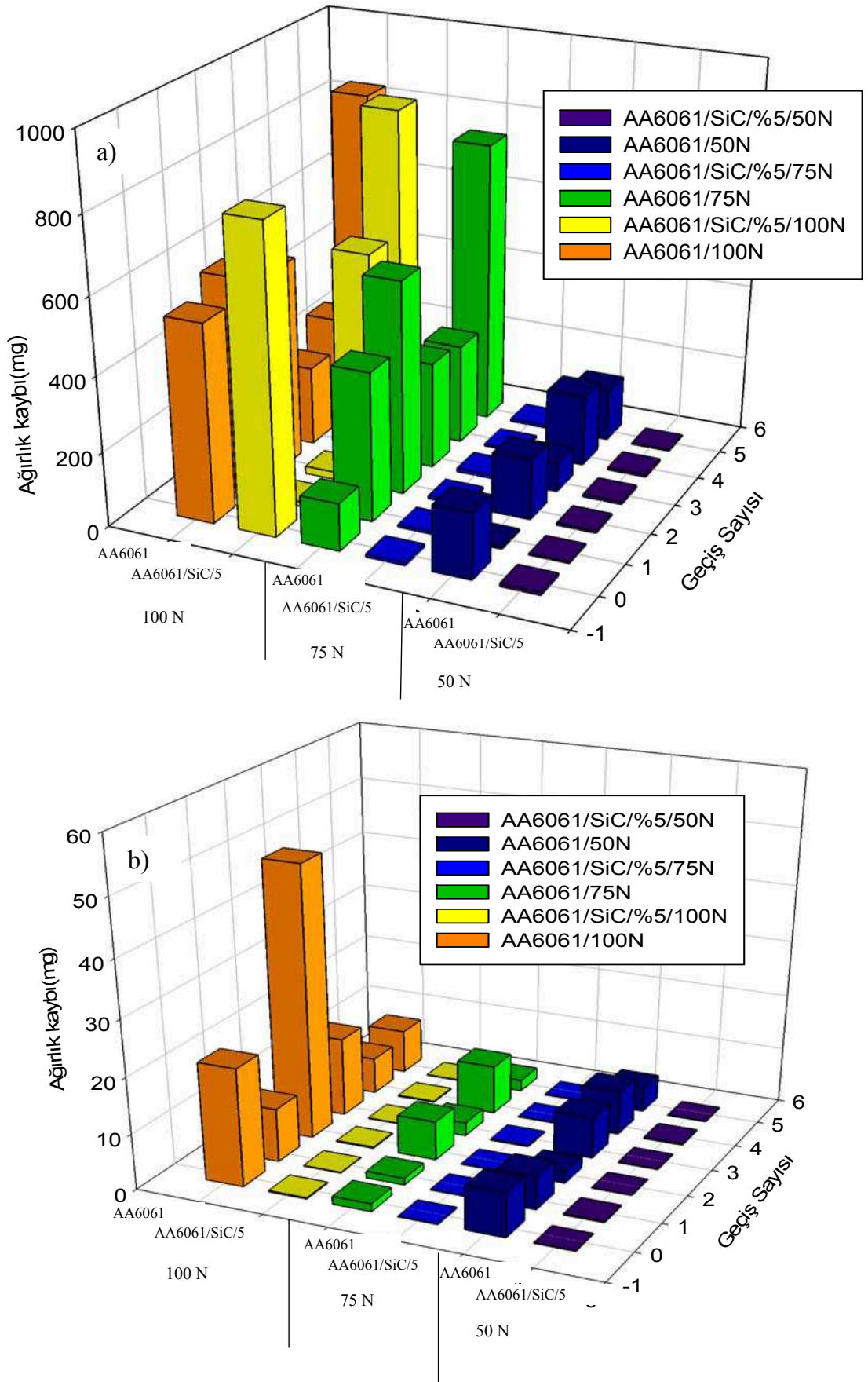
Takviyeli kompozit numuneler için kuru şartlarda 100 N hariç tüm yüklerde ve şartlarda çok az aşınma kaybı ile benzer davranışlar göstermiştir. Takviyesiz numuneler ise daha değişken özellikler göstermiştir. Yağlama ve yük, ağırlık kaybı için önemli bir etkidir. Geçiş sayısı ve yük arttıkça malzeme kaybı da artmıştır.

Tablo 3.15. Yüke göre TM numunelerin toplam ağırlık kayıpları.

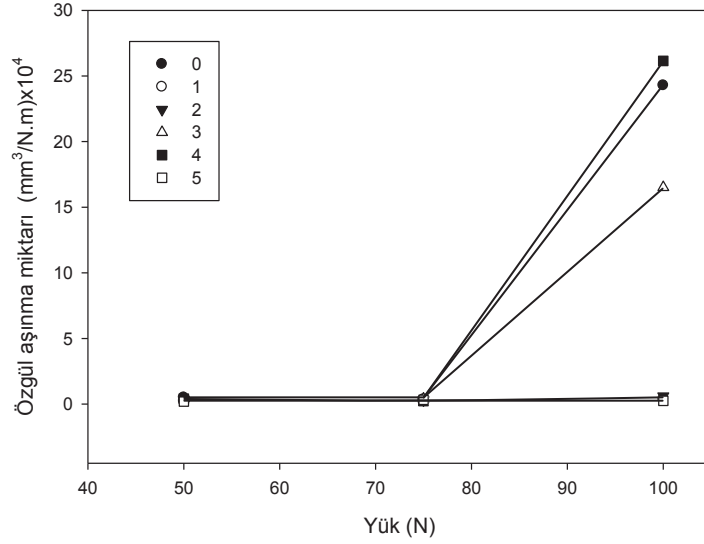
Deney Şartları	Özellik	Aşınma Ağırlık Kayıpları (mg)	
	Yük (N)	AA6061/SiC20 μ /5	AA6061
Kuru Şartlar	50	32.4	755.6
	75	122.5	2401.5
	100	1872	2979.2
Yağlı Şartlar	50	0.8	35.7
	75	0.7	22.8
	100	0.9	108.1

Karşıt ekstrüzyon geçiş sayısının yüklere göre kuru şartlarda özgül aşınma miktarının değişimi takviyeli kompozit için Şekil 3.121'de gösterilmektedir. Takviyeli 0, 3 ve 4 geçişli numunelerde 100 N yük için en yüksek özgül aşınma miktarı meydana gelirken, diğer durumlarda birbirine oldukça yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 3.121).

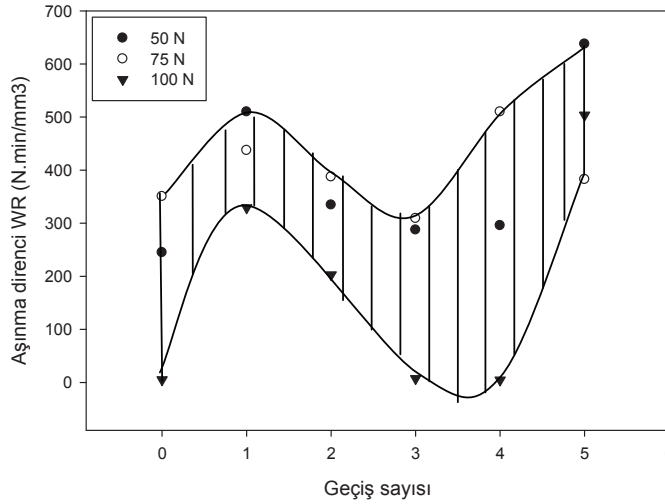
Özellikle 1, 2 ve 5 geçişli numunelerin yük ile özgül aşınma miktarları sabit kalmış ve yükten etkilenmediği görülmüştür. Bu durum bahsedilen numuneleri ön plana çıkarmakta ve aşınma açısından tercih edilebilir konuma getirmektedir. Bu numunelerin sertlikleri incelendiğinde 1, 2 ve 5 geçişli numuneler sırasıyla 56, 51,8 ve 50,3 HR 15N gibi birbirine yakın ancak diğer geçişlerinkinden daha yüksek sertliğe sahip oldukları görülür. Böylece 200 °C deki işlemler sonucu, numunelerin aşınma miktarları ile sertlikleri arasında paralel bir ilişkinin varlığından bahsedilebilmektedir. Ancak tane büyüklükleriyle aşınma davranışları arasında herhangi bir paralel ilişki yoktur.



Şekil 3.120. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre TM numunelerin ağırlık kayıpları
a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda.



Şekil 3.121. Takviyeli TM kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).



Şekil 3.122. Takviyeli TM kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).

Şekil 3.122'de takviyeli kompozitin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. Uygulanan yük arttıkça kompozit numunelerdeki aşınma direnci azalmaktadır. Tüm yükler için geçiş sayıları ile aşınma direnci ilk önce artan, sonra azalan ve tekrar artan bir eğilim göstermektedir.

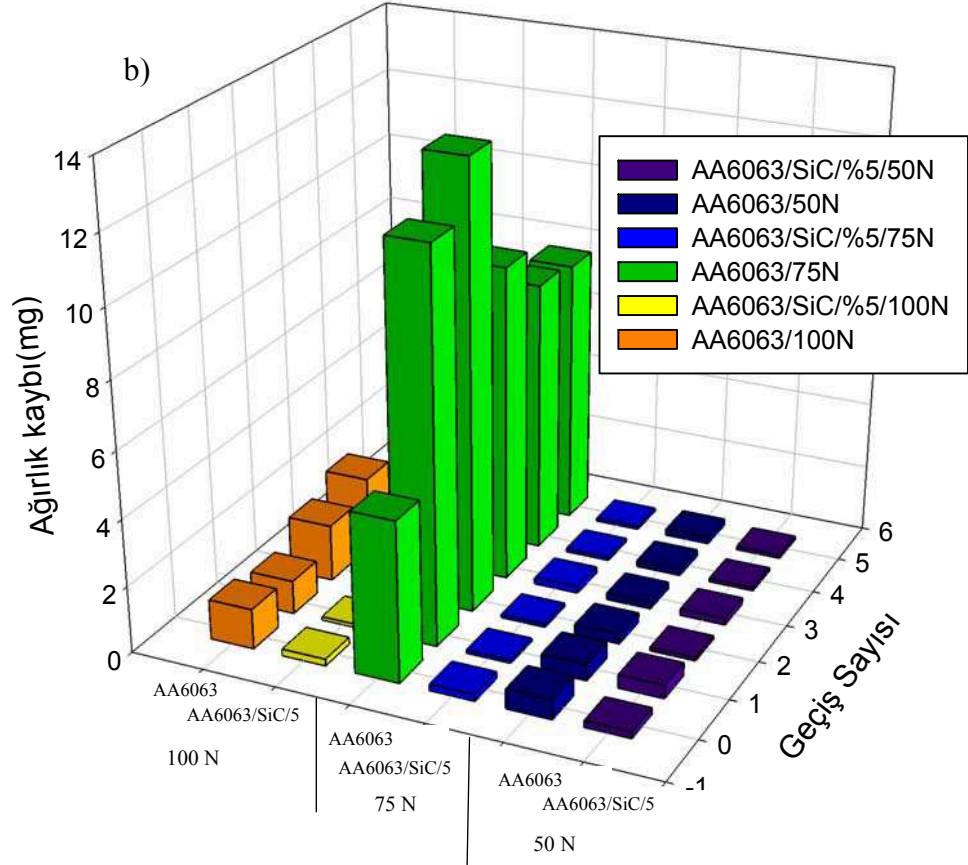
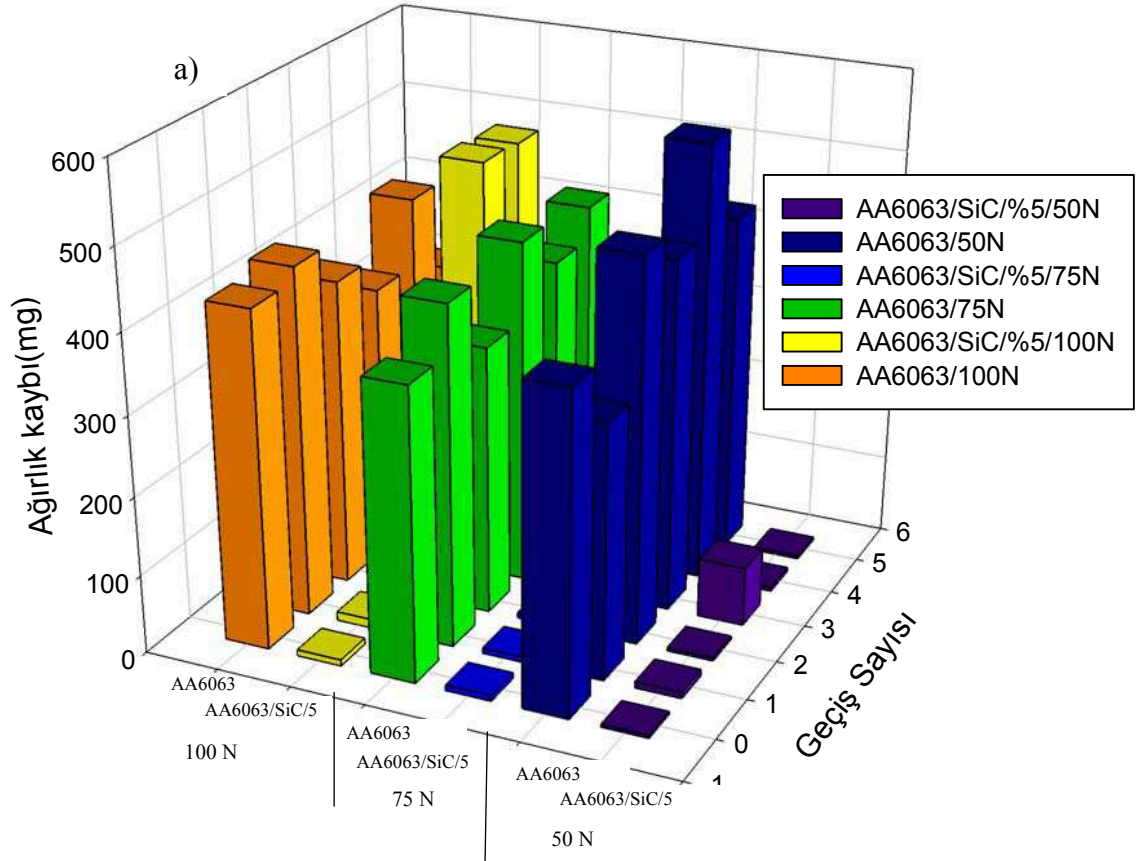
200 °C de işlem gören numunelerin aşınma dirençleri açısından mukayesesi geçiş sayısına göre yapılırsa 1-3 geçiş arasında genel olarak tüm numunelerde aşınma direncinin azaldığı, 0-1 ve 3-5 geçiş arasında tüm yüklerde arttığı tespit edilmiştir. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde

edilmiştir [48]. Ancak sadece 5 geçişli numune, 75 N yükleme altında bu kurala uymamaktadır. Bu bakımdan bahsedilen numunenin bu davranışı ölçüm hatası olarak değerlendirilmiştir. Buna paralel olarak numunelerin sertliğide paralel değişim sergilemiş yani sertlikler 0-1 geçiş aralığında artmış (bu aralıkta aşınma direncide artmış), 1-4 geçiş aralığında düşmüş (bu aralıkta aşınma direncide düşmüş) ve 4-5 geçişte tekrar artan sertlik aşınma direncinin de artmasına sebep olmuştur (Şekil 3.122 ve 3.2). Dolayısıyla bu işlem ve deney şartları için numune sertlikleri ile aşınma dirençleri arasında sistematik bir ilişki tespit edilmiştir. Öte yandan aşınma direnciyle tane boyutu değişimi arasında paralel bir ilişki kurulamamıştır.

Şekil 3.121 değerlendirildiğinde, yük ile özgül aşınma miktarındaki değişimin 200 °C'lik işlem sıcaklığındaki 0, 3 ve 4 geçişli numunelerde 50-100N yük aralığı için hemen hemen sabit kaldığı görülür. Bunun sebebi 200 °C'lik işlem sıcaklığındaki numunelerin daha küçük tane yapısına ve daha fazla sertliğe sahip olmalarıdır. Aynı davranış aşınma direnci içinde söz konusudur (Şekil 3.122).

Döküm Numuneler için Şekil 3.123 a incelendiğinde takviyeli numunelerden 3 geçişli olan 50 N'da, 4 geçişli olan 75 N'da ve 4-5 geçişli olan 100 N'da diğerlerine göre en yüksek aşınma gösteren numuneler olmuştur. Bu numunelerin sertlikleri incelendiğinde 4 ve 5 geçişli numunelerin en düşük sertliğe sahip olduğu görülür. Buna göre düşük yüklerde daha sert, yüksek yüklerde ise daha yumuşak olan kompozitlerin fazla aşındığı izlenir. Takviyesiz numunelerin aşınma davranışları tüm yüklerde yüksek olmaktadır. Bütün bunlara göre takviyeli numunelerde en yüksek toplam aşınma 100 N yük altında meydana gelmiştir (Tablo 3.16). Yağlı şartlarda ise genel olarak aşınmanın kuru sürtünme şartlarına göre azaldığı, ancak takviyesiz numunelerin takviyelilere göre fazla aşındığı, yük artışıyla bu miktarın arttığı izlenirken bu şartlarda takviyeli numunelerin dikkate değer farklılık vermedikleri gözlenmektedir (Şekil 3.123 b).

TM ve döküm numunelerin toplam ağırlık kayıplarınının geçiş sayısı ve yükle değişimi Şekil 3.124'de görülmektedir. Kuru şartlarda yük artırıldığında takviyesiz TM numunelerde toplam ağırlık kaybı artarken takviyesiz döküm numunelerde TM'lerin üzerinde olmak kaydıyla değişmemektedir. Takviyeli numunelerde ise toplam ağırlık kaybı her iki numunede de 50 ve 75 N da çok az iken 100 N da artmaktadır. Bu da



Şekil 3.123. Ekstrüzyon geçiş sayıları ve yüke göre döküm numunelerin ağırlık kayıpları a) Kuru şartlarda b) Yağlı şartlarda (200 °C).

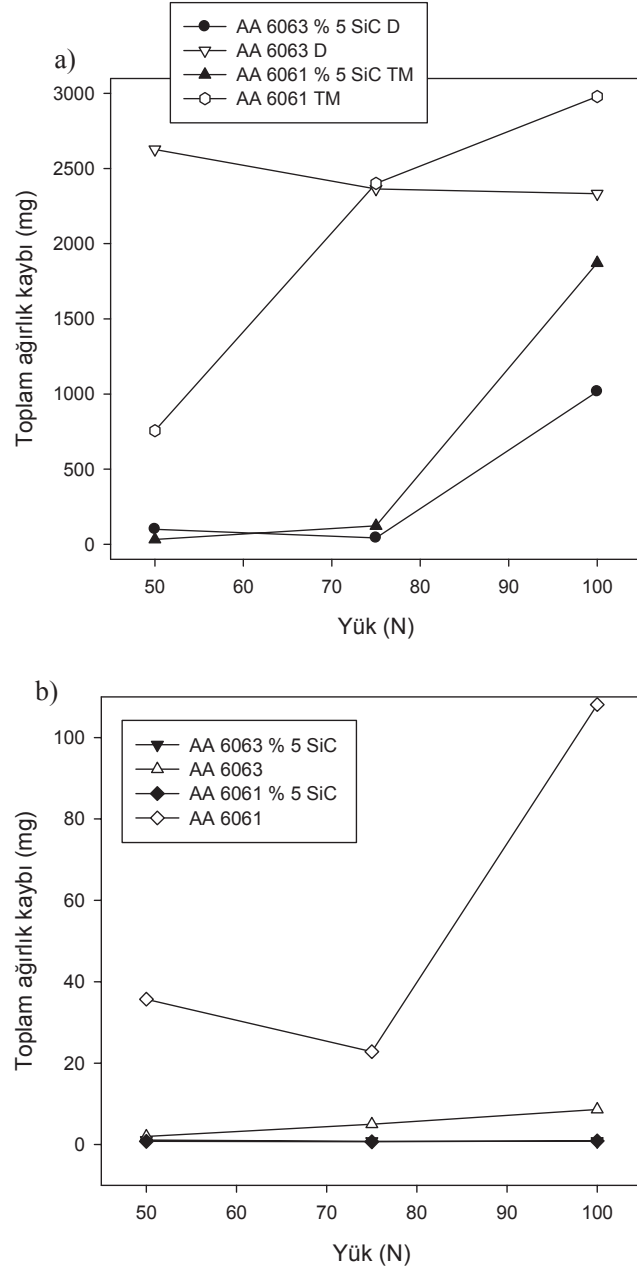
Tablo 3.16. Yüke göre numunelerin toplam ağırlık kayıpları (200 °C).

Deney Şartları	Özellik	Aşınma Ağırlık Kayıpları (mg)	
	Yük (N)	AA6063/SiC20 μ /5	AA6063
Kuru Şartlar	50	99.7	2627.1
	75	42.4	2364.4
	100	1016.1	2333.1
Yağlı Şartlar	50	1.1	2
	75	0.8	5
	100	0.8	8.6

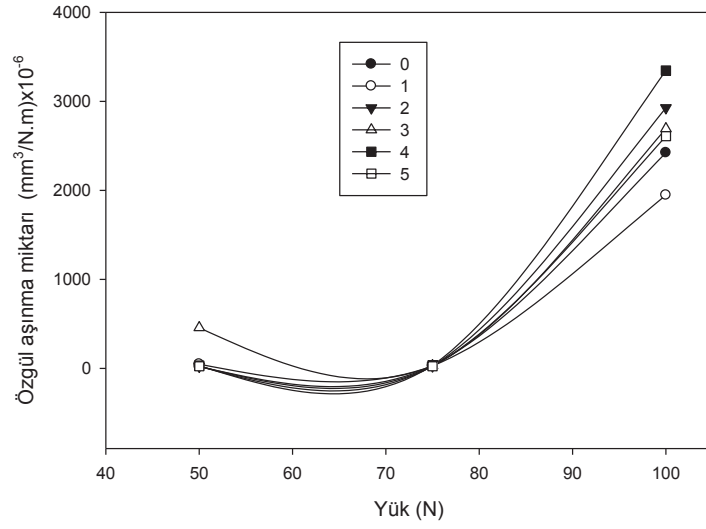
75 N yükün malzemenin aşınma direncinin kırılma noktası olduğunu göstermektedir. Yağlı şartlarda ise kuru şartlara göre mukayese edilmeyecek kadar az miktarda toplam aşınma kaybı tespit edilirken bu şartlarda takviyesiz TM numunelerin fazla aşınarak diğerlerinden ayrıldığı görülür (Şekil 3.124, Tablo 3.15 ve 3.16).

Kuru şartlarda takviyeli döküm kompozit için özgül aşınma miktarı ile geçiş sayısının yüklerle göre değişimi Şekil 3.125’de gösterilmektedir. Takviyeli 2 ve 4 geçişli numunelerde 100 N yük için en yüksek, 0 ve 1 geçişlide en az özgül aşınma miktarı meydana gelirken, diğer durumlarda birbirine oldukça yakın değerler elde edilmiştir. TM numunelerde olduğu gibi takviyeli döküm numunelerde de en yüksek özgül aşınma miktarı 100 N’da tespit edilmiştir.

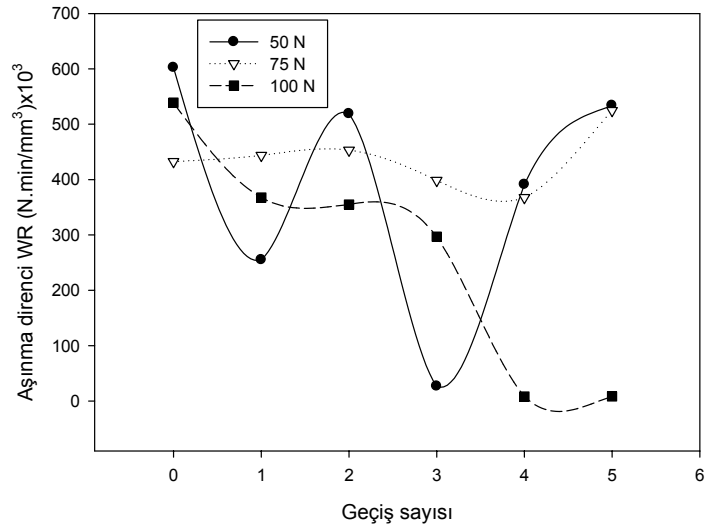
Şekil 3.126’da takviyeli döküm kompozitin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri gösterilmiştir. En düşük aşınma direnci 100 N yükte 4 ve 5 geçişli numunede meydana gelmiştir. 100 N yükte geçiş sayısının artması ile aşınma direncinde azalmaktadır. 50 ve 75 N yüklerde ise geçiş sayısı azalma ve artma şeklinde değişimler gösterdiğinden sistematik bir ilişki kurulamamıştır. Geçiş sayısının artması ile 100 N yükteki aşınma direnci değerleri diğer yüklerle göre daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni 75 N’luk yükün malzemenin aşınma direncinin kırılma noktası olması ve bu yükün üzerindeki yüklerde aşınma miktarının çok fazla olmasıdır. Ancak genel olarak uygulanan yük arttıkça döküm kompozit numunelerdeki aşınma direnci azalmaktadır. Aşınma direncindeki bu değişim TM numunelerdeki değişimle benzerlik göstermektedir. Bu sonuçlar, yükte aşınma direncinin azaldığı, bilinen bir gerçektir ve bu gerçeğe uygun değişimler gerçekleşmiştir.



Şekil 3.124. Toplam aşınmanın yükle değişimi a) Kuru şartlar b) Yağlı şartlar.



Şekil 3.125. Takviyeli döküm kompozitin özgül aşınma miktarının karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar) .



Şekil 3.126. Takviyeli döküm kompozitin aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına ve yüke göre değişimi (kuru şartlar).

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma

4.1.1. Giriş

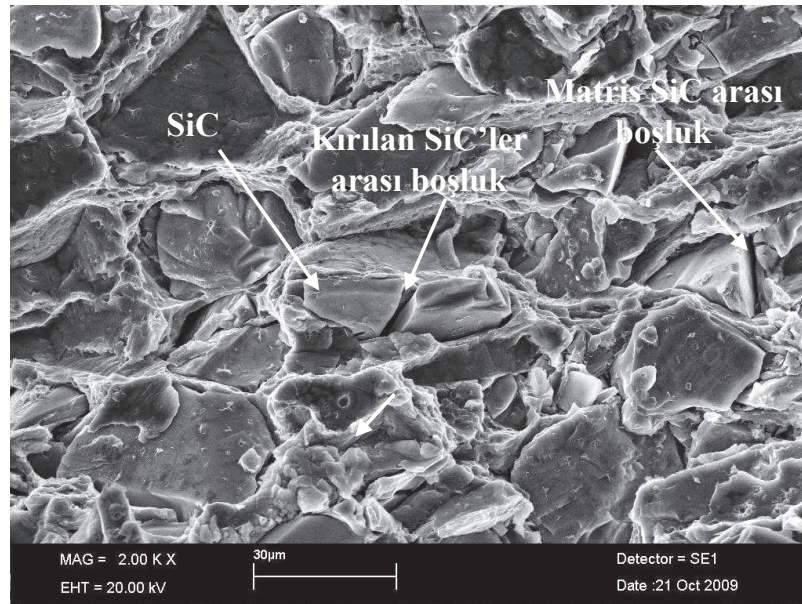
MMK'lerin geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler göstermesi bunların üretim yöntemleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Fakat bu kompozitlerin üretim maliyetleri hala çok yüksek ve problemler mevcuttur. Yüksek teknolojilere ulaşabilmek ancak çok özel kabiliyetleri olan malzemelerin bulunması ve üretilmesiyle mümkün olacaktır. Genellikle takviye elemanı olarak SiC, B₄C ve Al₂O₃ kullanılmaktadır. Ancak kompozit üretimi için takviye elemanı ve matris seçiminin yanında imalat yönteminde çok önemlidir.

Metalik alaşımlarda Hall-petch bağıntısına göre ortalama tane boyutu küçülmesi malzemenin akma gerilmesinde bir artışa sebep teşkil ederken kompozit malzemelerde bu kural her zaman geçerli değildir. Bu çalışmadaki deney şartları için takviyesiz Al malzemenin mukavemet-tane boyutu ilişkisi Hall-petch kuralına uyarken, SiC takviyeli Al esaslı kompozit malzemelerde geçiş sayısı ile tane boyutunun azalması çekme mukavemetinde bir artışa sebep olmamaktadır. Aksine kopma uzamasının hafif bir şekilde artışı sağlamaktadır.

Bu bölümde, Al-MMK'leri üretmek için kullanılan TM ve döküm yöntemlerinin malzemelerin özelliklerini nasıl etkilediği ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur.

4.1.2. Genel Tartışma

Tane boyutu her iki imalat yönteminde de incelirken TM numunelerde incelmeye döküm numunelere göre daha fazla olmuştur. Hem TM hemde döküm sonrası billet yoğunlukları teorik yoğunluktan düşük olmasına rağmen ekstrüzyon sonrası takviyeli ve takviyesiz numunelerin gerçek ve teorik yoğunluk değerleri oldukça birbirine yakın ölçülmüştür. TM numunelerin ekstrüzyon sonrası SEM görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ekstrüzyon sonrasında da takviye elemanı ile matris arasında ve kırılan takviye elemanları arasında azda olsa boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklar ekstrüzyonla azalmakta ve gerçek yoğunluk kendi teorik yoğunluğuna yaklaşmaktadır. TM numunelerde gerçek yoğunluk en fazla teorik yoğunluğun % 97'si kadar olurken, döküm numunelerde bu değer % 99'a kadar çıkmaktadır. Döküm numunelerde ise boşluklar topaklanmaların olduğu kısımlarda olmaktadır. Bu numunelerde ekstrüzyondan sonrası topaklanmalar azalmakta ve gerçek yoğunluk kendi teorik yoğunluğuna TM numunelerden daha çok yaklaşmaktadır. Metal sıvı olduğundan boşluk sadece takviye elemanı ile matris arasında olmakta ve buda ekstrüzyonla azalmaktadır.



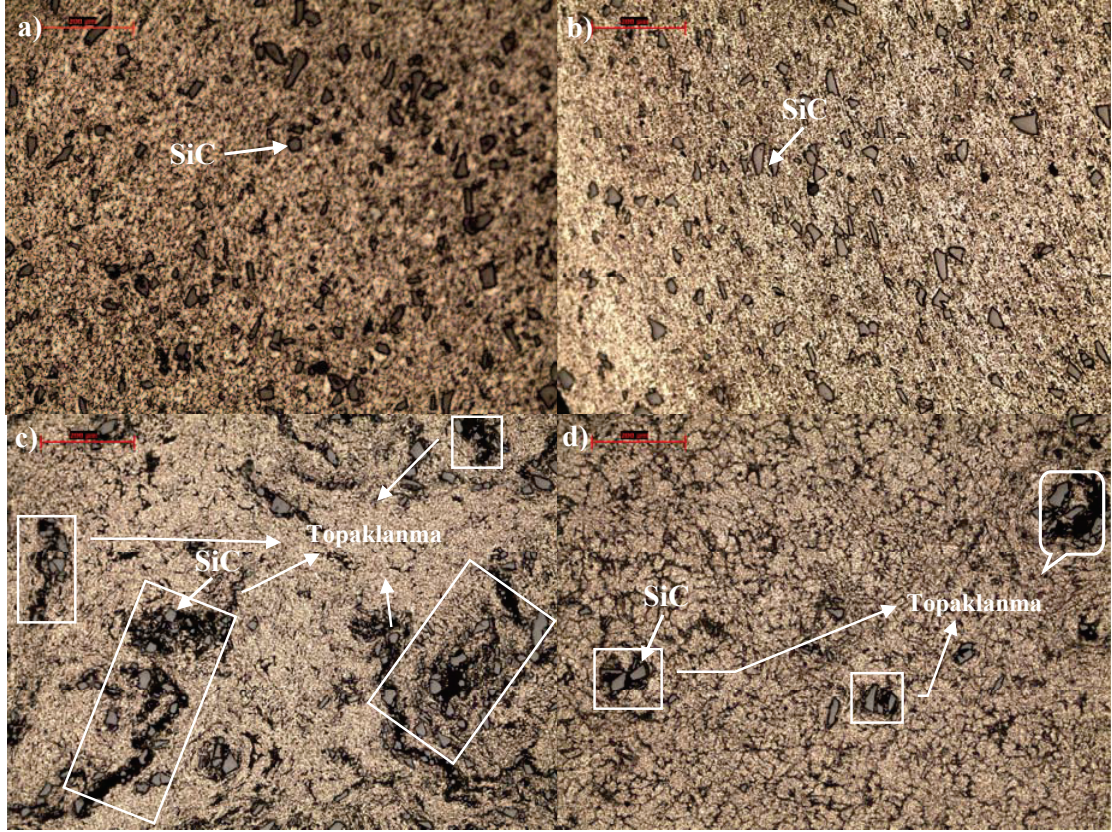
Şekil 4.1. TM numunelerin ekstrüzyon sonrası SEM görüntüsü.

Döküm numuneler için sertlik değişimleri geçiş sayısı ile önce artmış sonra sürekli azalmıştır. TM numunelerde ise sertlik önce artmış sonra biraz azalsa da 2 geçişten

sonra hemen hemen sabit kalmıştır. Takviyeli TM numunelerin sertliklerindeki bu değişim tane boyutu değişimi ile benzerlik göstermektedir. Yani tane boyutu küçüldükçe sertlikte küçülmekte, tane kabalaştığında sertlikte artmaktadır (Şekil 3.29). Hem TM hemde döküm numunelerin sertlik değişimi tane boyutuyla artan yönde olmaktadır. Döküm numunelerin hem tane boyutu hemde sertlik değerleri TM numunelerden yüksek değerlerde meydana gelmiştir. Yani tane boyutu küçüldüğünde sertlik azalmaktadır. Geçiş sayısı ile en yüksek sertlik değeri TM numunelerde takviyesizlerde meydana gelirken, döküm numunelerde takviyelinin sertliği daha yüksek olmuştur. Takviyeli TM numunede sertlik 1 geçişe kadar artmış, sonra 4 geçişe kadar azalmış ve sonra tekrar biraz artmıştır. Takviyeli döküm numunede ise 2 geçişe kadar artmış ve sonra 5 geçişe kadar azalmıştır. 2 ile 4 geçiş arasında takviyeli döküm numunelerin sertlikleri TM takviyeli numunelerden daha yüksek olurken, 5 geçiş sonunda TM numunelerin sertliği daha yüksek olmuştur. En düşük sertlik takviyesiz döküm numunede ölçülmüştür. Genel olarak tüm numunelerde sertlik değerleri geçiş sayısı ile billet sertliği üzerine çıkmıştır. Sadece takviyesiz döküm numunede 5 geçiş sonrası billet sertliği civarına inmiştir (Şekil 3.31).

1 ve 5 geçiş sayılarında ekstrüze edilmiş TM ve döküm numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. 1 ve 5 geçişli TM numunelerde SiC takviyelerinin homojen dağıldığı görülmektedir (Şekil 4.2 a-b). 1 geçişli döküm numunede SiC takviyelerinin birçok bölgede topaklandığı Şekil 4.2 c'den izlenebilmektedir. 5 geçişli döküm numunede SiC takviyelerinin topaklandığı bölgeler daha az ve küçükte olsa hala bulunmaktadır (Şekil 4.2 d). Yani 5 geçiş sonrasında döküm numunelerde topaklanmalar tamamen yok olmamıştır. TM numunelerde döküm numunelere göre daha homojen takviye dağılımı elde edilmiş ve topaklanmalar TM numunelerde meydana gelmemiştir. Döküm numunelerde 5 geçiş sonrasında hala topaklanmaların olmasından dolayı TM numunelerin sertlikleri daha yüksektir.

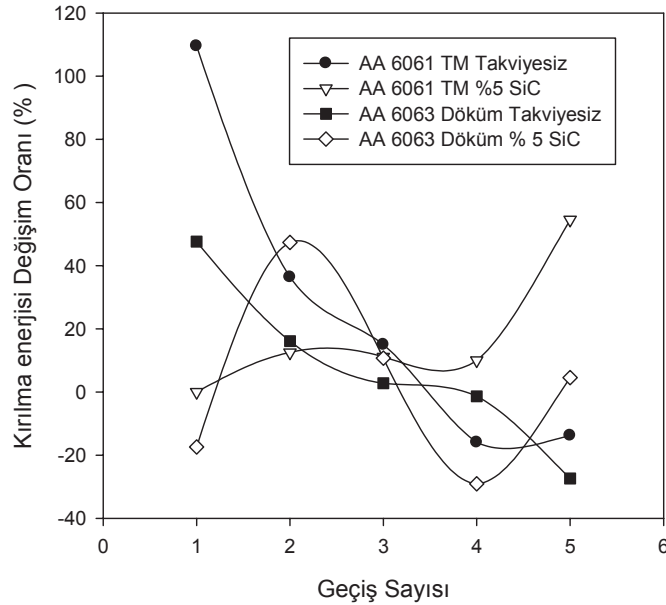
Hem takviyeli hemde takviyesiz numunelerde döküm numunelerin kırılma enerjileri TM numunelerden daha büyük değerlere sahiptir. Döküm numunelerin sertlikleri düşük olduğundan dolayı kırılma enerjileri TM numunelerin kırılma enerjilerinden daha yüksek değerlerdedir. Her iki durumda da takviyesiz numunelerin enerjileri



Şekil 4.2. Kompozit numunelerin farklı geçiş sonucu elde edilen mikro yapıları a) 1 geçiş TM b) 5 geçiş TM c) 1 geçiş döküm d) 5 geçiş döküm.

takviyelilerden daha yüksektir. Bunun sebebi takviyeli numunelerde takviye elemanının kösesi ile matris ara yüzeyinde en küçük boşluktan başlayan çatlak riski çentik etkisi oluşturarak malzemenin tokluğunu düşürmesidir (Şekil 3.41). TM ve döküm numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma enerjileri değişim oranları Şekil 4.3'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi 1 geçiş sonunda numunelerin kırılma enerji değişim artış oranları arasındaki fark çok fazla olmuştur ve en fazla artış oranı takviyesiz TM numunenin enerji değerinde olurken takviyeli döküm numunenin enerji değişim oranında azalma meydana gelmiştir. Numunelerin 2 ve 4 geçişlerindeki enerji değişim oranları birbirine yakın değerlerde meydana gelirken 5 geçişte bu değerler arasındaki fark tekrar artmıştır. 5 geçişte enerji değişim oranlarında en fazla artış takviyeli TM numunede olmakta ve takviyesiz döküm numunenin enerji değişim oranında azalma görülmektedir.

TM kompozit numunelerin geçiş sayısı ile tane boyutları düşerken kırılma enerjileri artmaktadır (Şekil 3.43). En yüksek kırılma enerjisi 5 geçişli numunede elde edilmiştir. Sertlik tane boyutuyla doğru orantılı olduğundan, takviyeli numunenin

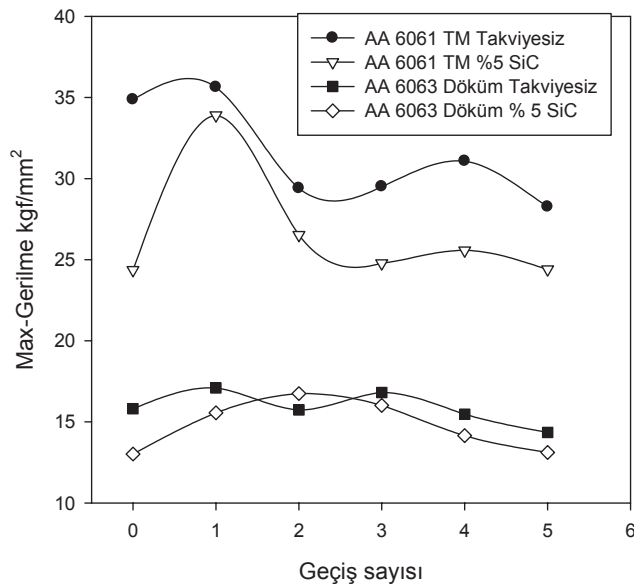


Şekil 4.3. Numunelerin geçiş sayısına göre kırılma enerjileri değişim oranları.

geçiş sayısı ile tane boyutu ve sertliği azalırken, tokluğu artmıştır. Döküm kompozit numunelerde tane boyutu ile kırılma enerjileri arasında paralel bir değişim vardır. Tane boyutu azaldığında kırılma enerjisi azalmakta, tane boyutu arttığında kırılma enerjisi de artmaktadır. Sertlik arttığında ise kırılma enerjisi beklenildiği gibi azalmaktadır.

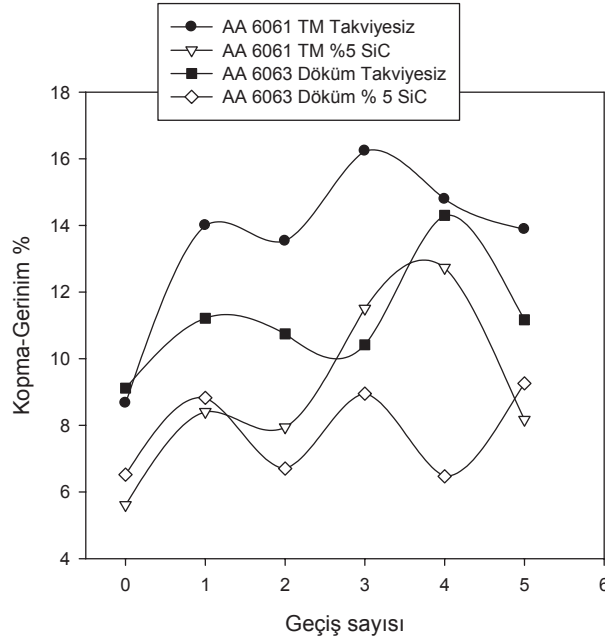
Çekme deney sonuçlarının incelenmesi ile TM numunelerin maksimum gerilme değerlerinin döküm numunelerin gerilmelerinden daha yüksek olduğu Şekil 4.4'den görülmektedir. Bunun sebebi döküm numunelere göre TM numunelerin sertliğinin yüksek olması ve takviye elemanının dağılımının daha homojen olmasıdır. TM kompozitin çok geçişli ekstrüzyon sonrası oluşan tane boyutunda daha düşüktür. Ancak her iki numune incelendiğinde tane boyutundaki artışla mukavemet artmaktadır. Her iki durumda da takviyesiz numunelerin maksimum gerilmeleri daha yüksektir. Takviyeli TM numunede maksimum gerilme 1 geçişe kadar artmış, takviyeli döküm numunede ise 2 geçişe kadar artmış sonra 5 geçişte her ikisi de başlangıçtaki numunenin gerilme değeri civarına kadar azalmıştır. Takviyesiz numunelerde hem TM hemde döküm numunelerin gerilme değerleri başlangıçtaki değerlerin altına inmiştir. Başlangıçtaki numuneye göre takviyesiz TM numunelerdeki azalma yaklaşık % 19 olurken döküm numunelerde % 9 azalma olmaktadır. Genel olarak tüm numuneler için maksimum çekme gerilmesi geçiş sayısı ile çok azda olsa azalmaktadır. Kopma uzamalarında ise tüm numunelerde

artış gözlemlenmektedir (Şekil 4.5). Takviyesiz numunelerin kopma uzamaları takviyeli numunelerinkinden daha fazla olmaktadır. Çünkü takviyeli numunelerde, takviye elemanı ile matris ara yüzeyindeki boşluklar kopmayı başlatarak daha erken kopmanın oluşmasına sebep olmaktadır. Takviyeli TM numunelerin uzaması 1 ve 5 geçiş ekstrüze edilmiş takviyeli döküm numunelerden daha azdır, çünkü aynı geçiş sayılarında takviyeli TM numunelerin sertlikleri döküm numunelerinkinden daha yüksektir. 2 – 4 geçiş aralığında ekstrüze edilmişlerde ise TM numunelerin uzamaları daha yüksektir, bunun sebebidir aynı geçiş aralığında takviyeli TM numunelerin sertliklerinin döküm numunelerinkinden daha az olmasıdır. Yani beklenildiği gibi, sertliği yüksek olan numunelerin uzaması az, serliği az olan numunelerin uzaması daha fazla olmuştur (Şekil 3.31). Ancak takviyesiz TM numunelerin hem sertlik hemde uzama değerleri takviyesiz döküm numunelerden daha yüksektir. Çünkü takviyesiz döküm numunelerde karşıt ekstrüzyonla mekanik özelliklerinde istenilen iyileşme elde edilememiştir. Tüm numunelerin kopma uzaması ve absorbe ettikleri enerji, ekstrüzyon geçiş sayısı ile artmaktadır. Takviyeli TM numunelerin uzamasındaki artış % 60 olurken takviyeli döküm numunelerdeki artış % 22.5 olmaktadır. Takviyesiz TM numunelerin uzamasında ise % 60 ve takviyesiz döküm numunelerde % 40 artış sağlanmıştır. TM numunelerin uzamasındaki artış döküm numunelerinkinden daha yüksek olmuştur.



Şekil 4.4. Numunelerin geçiş sayısına göre max. gerilme değişimleri.

TM kompozit numunelerin çevrim sayıları tane boyutu $0.43 \mu\text{m}$ olduğunda en



Şekil 4.5. Numunelerin geçiş sayısına göre kopma-gerinim değişimleri.

yüksek değere ulaşmıştır. Kompozit TM numuneler için 0,27-0,43 μm tane boyutu aralığında tane boyutu artarken kırılmadaki çevrim sayısı da artmakta 0,43 μm tane boyutunda max seviyeye ulaşip tekrar tane boyutuyla azalmaktadır. Elde edilen en yüksek kırılma çevrim sayısı tane boyutu artışıyla 3,5 kat azalmıştır. Döküm kompozit numunelerde ise tane boyutu arttığında kırılma çevrim sayısı da artmaktadır. Döküm kompozit numunelerin kırılma çevrim sayıları TM kompozit numunelerden daha düşük değerlerde meydana gelmiştir.

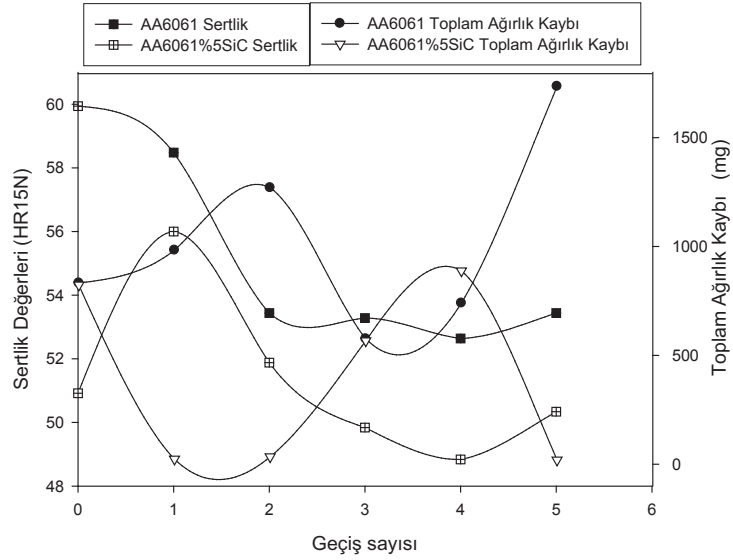
Her iki imalat yöntemi ile de üretilen takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre çok daha yüksektir (Şekil 3.74). Ancak en yüksek kırılma çevrim sayısı takviyesiz 0 geçişli TM numunede elde edilmiştir. Takviyeli TM numunelerin kırılma çevrim sayısı geçiş sayısı ile artmaktadır. Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin çevrim sayıları ise geçiş sayısı ile azalmaktadır. Döküm numunelerde geçiş sayısı ile sertlik de azalmaktadır. Yani sertliğin azalması döküm numunelerde kırılma çevrim sayısının azalmasına neden olmuştur. Şekil 3.75 incelendiğinde sertlikle kırılma çevrim sayısı değişimlerinin benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Takviyeli numunelerde ise geçiş sayısı ile sertlik önce artmış sonra azalmış 2 geçişten sonra çok değişmemiştir, sertlik azalmadığından dolayı çevrim sayıları da azalmamıştır. Takviyesiz TM numunelerde en yüksek sertlik ve en yüksek kırılma çevrim sayısı değerleri elde edilmiştir. Takviyesizlere göre takviyeli numunelerde,

takviye elemanlarının matrisle oluşturduğu sınırların malzemenin kırılma enerjisini ve yorulmadaki kırılma çevrim sayısını azalttığı değerlendirilebilir.

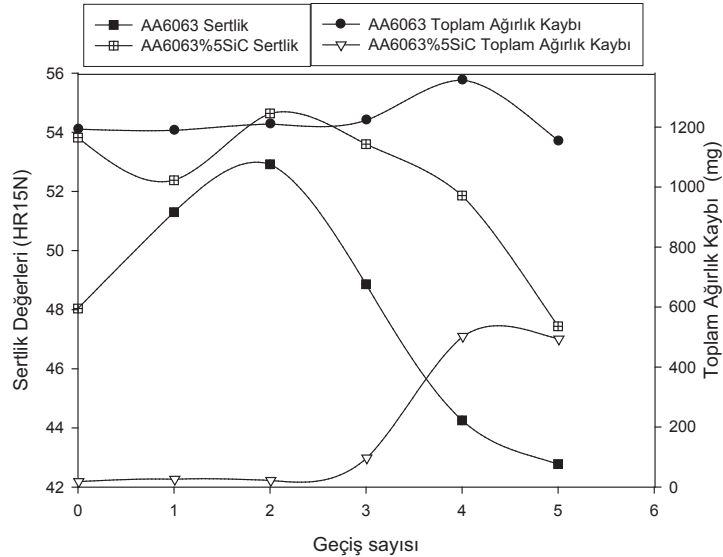
Aşınma değişimlerine bakıldığında, kuru şartlarda yük artırıldığında takviyesiz TM numunelerde toplam yük kaybı artarken takviyesiz döküm numunelerde TM'lerin üzerinde olmak kaydıyla değişmemektedir (Şekil 3.124). Çünkü takviyesiz döküm numune 50 N yükte dahi tamamen aşınmıştır ve tüm yüklerde yüksek seviyelerdedir. Takviyeli numunelerde ise toplam ağırlık kaybı her iki numunede de 50 ve 75 N da çok az iken 100 N da artmaktadır. Bu da 75 N yükün kompozit malzemelerin aşınma direncinin kırılma noktası olduğunu göstermektedir. Her iki imalat yönteminde de, takviyeli kompozit numuneler takviyesiz numunelerle kıyaslandığında, takviyeli numunelerde daha az kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir.

TM ve döküm numunelerin geçiş sayısı ile toplam ağırlık kayıpları ve sertlik değişimleri sırasıyla Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de görülmektedir. Takviyeli TM ve takviyeli döküm numuneler için 1 ve 2 geçiş ekstrüze edilmiş numunelerde ağırlık kayıpları aynı iken 3 ve 4 geçişlide TM numunelerinki ve 5 geçişlide de döküm numunelerinki daha yüksektir. Bunun sebebi de 3 ve 4 geçişlide döküm numunelerin sertliğinin ve 5 geçişlide de TM numunelerin sertliğinin daha az olmasıdır. Sertlikle aşınma kayıpları arasında bir ilişki olup TM ve takviyeli döküm numuneler için sertlik arttığında aşınmanın azaldığı ve sertlik azaldığında da aşınmanın arttığı görülmektedir. Buda beklenen ve sertlik arttığında azalmanın azaldığı bilinen bir gerçektir. Her iki imalat yönteminde de geçiş sayısının artması ile ağırlık kaybında artış ve azalmalar olsa da, genel olarak ağırlık kaybı artmaktadır.

Uygulanan yük arttıkça kompozit TM numunelerdeki aşınma direnci azalmaktadır (Şekil 3.122). Tüm yükler için geçiş sayıları ile aşınma direnci ilk önce artan, sonra azalan ve tekrar artan bir eğilim göstermektedir. TM numunelerin aşınma dirençleri açısından mukayesesi geçiş sayısına göre yapılırsa 1-3 geçiş arasında genel olarak tüm numunelerde aşınma direncinin azaldığı, 0-1 ve 3-5 geçiş arasında tüm yüklerde arttığı tespit edilmiştir. Buna paralel olarak numunelerin sertliğide paralel değişim sergilemiş yani sertlikler 0-1 geçiş aralığında artmış (bu aralıkta aşınma direncide artmış), 1-4 geçiş aralığında düşmüş (bu aralıkta aşınma direncide düşmüş) ve 4-5 geçişte tekrar artan sertlik aşınma direncinin de artmasına sebep olmuştur (Şekil



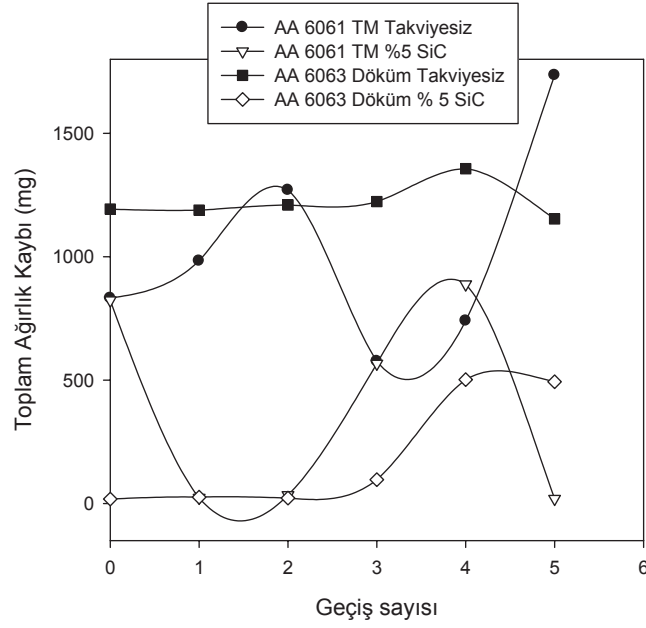
Şekil 4.6. TM numunelerin geçiş sayısı ile oluşan toplam ağırlık kayıpları ve sertlik değişimleri (kuru şartlar)



Şekil 4.7. Döküm numunelerin geçiş sayısı ile oluşan toplam ağırlık kayıpları ve sertlik değişimleri (kuru şartlar)

3.122 ve 3.2). Dolayısıyla bu işlem ve deney şartları için numune sertlikleri ile aşınma dirençleri arasında sistematik bir ilişki tespit edilmiştir. Öte yandan aşınma direnciyle tane boyutu değişimi arasında paralel bir ilişki kurulamamıştır.

Takviyeli döküm kompozitin kuru şartlarda aşınma direncinin karşıt ekstrüzyon geçiş sayısına göre değişimleri incelendiğinde (Şekil 3.126) 100 N yükte geçiş sayısının artması ile aşınma direncinde azalmaktadır. En düşük aşınma direnci 100 N yükte 4 ve 5 geçişli numunede meydana gelmiştir. 50 ve 75 N yüklerde ise geçiş sayısı azalma ve artma şeklinde değişimler gösterdiğinden sistematik bir ilişki kurulamamıştır.



Şekil 4.8. TM ve döküm numunelerin geçiş sayısı ile oluşan toplam ağırlık kayıpları değişimleri (kuru şartlar)

Geçiş sayısının artması ile 100 N yükteki aşınma direnci değerleri diğer yüklerle göre daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni 75 N'luk yükün malzemenin aşınma direncinin kırılma noktası olması ve bu yükün üzerindeki yüklerde aşınma miktarının çok fazla olmasıdır. Ancak genel olarak uygulanan yük arttıkça döküm kompozit numunelerdeki aşınma direnci azalmaktadır. Aşınma direncindeki bu değişim TM numunelerdeki değişimle benzer olmakla birlikte bu azalmayla 100 N yükteki döküm kompozitin aşınma direnci TM kompozitin aşınma direncinin de altına inmiştir. Bu sonuçlar, yükte aşınma direncinin azaldığı, bilinen bir gerçektir ve bu gerçeğe uygun değişimler gerçekleşmiştir.

Takviyesiz TM numunelerdeki aşınma direnci, yüklerle göre değişimler göstermekte ve geçiş sayısı arttıkça da artan ve azalan şekilde çok az değişimler görülmektedir. Takviyesiz döküm numunelerde de uygulanan yük arttıkça TM ve takviyeli döküm numunelerde olduğu gibi aşınma direncinin azalması beklenirken aşınma direnci artmıştır. Takviyesiz döküm numunenin sertliği ve aşınma direnci çok düşük olduğundan dolayı en az yük olan 50 N'da dahi tamamen aşınmıştır. Yani tüm yüklerdeki ağırlık kayıpları birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Bu nedenden dolayı takviyesiz döküm numunelerde yük arttıkça aşınma direncide artmaktadır.

Döküm numunelerde genel olarak geçiş sayısının artması ile mekanik özelliklerinin

azaldığı görülmektedir. Özellikle takviyesiz döküm numunelerin mekanik özelliklerinde karşıt ekstrüzyonla iyileşme sağlanamamıştır. Çünkü döküm numunelerin sertlik değerleri geçiş sayısı ile önce artsada daha sonra sürekli azalarak TM numunelerin sertlik değerlerinin altında kalmaktadır. En düşük sertlik takviyesiz döküm numunede ölçülmüştür. Döküm numunelere göre TM numunelerde daha homojen takviye dağılımı elde edilmiş ve topaklanmalar TM numunelerde meydana gelmemiştir. Döküm numunelerin sertlikleri düşük olduğundan dolayı kırılma enerjileri TM numunelerin kırılma enerjilerinden daha yüksek değerlerdedir. Çekme deney sonuçlarının incelenmesi ile TM numunelerinin sertliğinin yüksek olması ve takviye elemanının dağılımının daha homojen olmasından dolayı, hem maksimum gerilme değerlerindeki hemde kopma uzamasındaki artış döküm numunelerinkinden daha yüksektir. Geçiş sayısının artması ile TM numunelerin çevrim sayıları artarken döküm numunelerin sertlikleri azaldığından çevrim sayıları da azalmaktadır. Takviyeli TM ve takviyeli döküm numuneler için 1 ve 2 geçiş ekstrüze edilmiş numunelerde ağırlık kayıpları aynı iken 3 ve 4 geçişlide takviyeli TM numunelerin ve 5 geçişlide de takviyeli döküm numunelerin ağırlık kayıpları daha yüksektir. Bunun sebebi de 3 ve 4 geçişlide döküm numunelerin sertliğinin ve 5 geçişlide de TM numunelerin sertliğinin daha az olmasıdır. En fazla ağırlık kaybı takviyesiz döküm numunede meydana gelmekte ve bu numune 50 N yükte dahi tamamen aşınmaktadır. Genel olarak uygulanan yük arttıkça döküm kompozit numunelerdeki aşınma direnci azalmakta, bu azalmayla 100 N yükteki döküm kompozitin aşınma direnci TM kompozitin aşınma direncinin de altına inmektedir.

4.2. Sonuçlar

Bu çalışmada alüminyum esaslı (2xxx ve 6xxx) ve partikül seramik (SiC, B₄C ve Al₂O₃) takviyeli metal matrisli kompozitlerin, değişik işlem sıcaklıklarında (400, 300 ve 200 °C) karşıt ekstrüzyonla, farklı geçiş sayılarında (1-15) ardışık ekstrüze edilmesi ile tane inceltmesi ve işlem parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- İşlem sonucu tüm numunelerin gerçek yoğunlukları teorik yoğunluk değerlerine oldukça yaklaşmaktadır. Dolayısıyla deformasyon sonucu malzeme içerisinde gözenekliliğin en az seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

- 2- Tüm numune (SiC, B₄C ve Al₂O₃ takviyeli TM ve döküm) sertlikleri, geçiş sayısı ile önce artmakta (2 geçişe kadar) sonra azalmaktadır. Buna rağmen tüm numune sertlikleri billet sertliğinin üzerindedir.
- 3- Geçiş sayısının artması ile seramik partiküller matris içinde homojen olarak dağılmakta ve kırılarak daha küçük boyutlara inmektedir.
- 4- Yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde KE işlemiyle yapılan aşırı deformasyonda alüminyum esaslı kompozitlerin sertlikleri geçiş sayısı ile düşer.
- 5- Döküm numunelerde 5 geçiş için tane boyutu 0,6 μm seviyelerinde iken TM numunelerde 0,4 μm değerlerine düşmüştür. Tane boyutu her iki imalat yönteminde de incelirken TM numunelerde incelme daha fazla olmuştur.
- 6- KE işleminde numunelerin tane boyutlarının artmasında ekstrüzyon sıcaklığının önemli rol oynadığı anlaşılmaktadır. Ekstrüzyon oranı 10'dan 4'e düşürülmesine rağmen, yani daha düşük deformasyon oranında, işlem sıcaklığı tane boyutu değişiminde en etkin rol oynamaktadır.
- 7- Tüm sıcaklıklarda takviyesiz numunelerin kırılma enerjileri takviyelilerden daha yüksektir. Hem takviyeli hemde takviyesiz döküm numunelerin kırılma enerjileri TM numunelerden daha büyük değerlere sahiptir. Her iki kompozit numunede de kırılma enerjisi tane boyutuna göre önce artan ve sonra azalan değişimler göstermiştir. TM ve döküm numunenin geçiş sayısı ile sertliği azalırken, tokluğu artmıştır. Benzeri şekilde aşırı deforme edilen numunelerin çekme mukavemetleri geçiş sayısı ile azalırken kopma uzaması artmaktadır.
- 8- Deneye tabi tüm numunelerde genel olarak maksimum çekme gerilmesi ekstrüzyon geçiş sayısı ile hafif bir azalma gösterirken kopma uzaması ve absorbe enerjileri ekstrüzyon geçiş sayılarıyla çok az artmıştır. Çekme gerilmesindeki bu azalma SiC takviyeli numunelerde B₄C takviyeli numunelerden daha fazla olurken Al₂O₃ takviyelilerde değişimler dalgalı olmaktadır.
- 9- Metalik alaşımlarda Hall-petch bağıntısına göre ortalama tane boyutu küçülmesi malzemenin akma gerilmesinde bir artışa sebep teşkil ederken kompozit malzemelerde bu kural her zaman geçerli değildir. Bu çalışmadaki deney şartları için takviyesiz Al malzemenin mukavemet-tane boyutu ilişkisi Hall-petch kuralına uyarken, SiC takviyeli Al esaslı kompozit malzemelerde geçiş sayısı ile tane boyutunun azalması çekme mukavemetinde bir artışa sebep olmamaktadır. Aksine

kopma uzamasının hafif bir şekilde artışını sağlamaktadır (Şekil 3.51).

10- Takviyeli TM numunelerin yorulmadaki kırılma çevrim sayısı ekstrüzyon geçiş sayısı ile artmaktadır. 5 geçişli numunenin kırılma çevrim sayısı 1 geçişli numunenin yaklaşık 1.5 katına çıkmıştır. Takviyeli numune için 2 geçişten sonra tane boyutu ile çevrim sayıları arasındaki değişimler aynı eğilimde artmaktadır. Netice olarak bu deney şartlarında, takviyeli numuneler için 0,27-0,43 μm tane boyutu aralığında, tane boyutu azalırken yorulma mukavemeti de azalmakta, 0,43-0,62 μm tane boyutu aralığında ise tane boyutu azalırken yorulma mukavemeti artmaktadır (Şekil 3.70). Takviyeli döküm kompozit numunelerde de 1 geçişe kadar tane boyutu azalırken kırılma çevrim sayısı artmaktadır. Bu numunelerde 2-5 geçiş aralığında tane boyutu artma azalma göstereceği çevrim sayısı azalmaktadır.

11- Takviyeli ve takviyesiz döküm numunelerin çevrim sayıları geçiş sayısı ile azalmaktadır. Takviyeli döküm numunelerin kırılma çevrim sayısı 5 geçişe çıktığında %59 azalırken aynı durumda takviyesiz numunelerde ise % 70 azalmıştır.

12- TM numunelerde geçiş sayısı ve yük arttıkça malzeme kaybı da artmıştır. TM numunelerin aşınma miktarları ile sertlik ve aşınma miktarı arasında paralel bir ilişki tespit edilmiştir. Ancak tane büyüklükleriyle aşınma davranışları arasında herhangi bir paralel ilişki yoktur.

13- Kuru şartlarda yük artırıldığında takviyesiz TM numunelerde toplam ağırlık kaybı artarken takviyesiz döküm numunelerde TM'lerin üzerinde olmak kaydıyla değişmemektedir. Takviyeli numunelerde ise toplam ağırlık kaybı her iki numunede de 50 ve 75 N da çok az iken 100 N da artmaktadır. Bu da 75 N yükün malzemenin aşınma direncinin kırılma noktası olduğunu göstermektedir.

14- Yağlı şartlarda kuru şartlara göre mukayese edilmeyecek kadar az miktarda toplam aşınma kaybı tespit edilirken bu şartlarda takviyesiz TM numunelerin fazla aşınarak diğerlerinden ayrıldığı görülür.

15- Uygulanan yük arttıkça TM numunelerdeki aşınma direnci azalmaktadır. Tüm yükler için bu numunelerde geçiş sayıları ile aşınma direnci ilk önce artan, sonra azalan ve tekrar artan bir eğilim göstermektedir. Kuru şartlarda, takviyeli döküm kompozitte de uygulanan yük arttıkça aşınma direnci azalmaktadır.

4.3. Öneriler

Aşırı plastik deformasyonla malzemelerde, özellikle hafif metal esaslı kompozitlerde, tane inceltme işlemleri çok değişik yöntemlerle uygulanıyor olmasına rağmen karşıt ekstrüzyon yönteminin yeni ve bu konuda etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Ancak haddeleme (tersinir ve kalibreli) gibi yöntemlerde bu amaç için denenebilir.

Karşıt ekstrüzyon işleminin uygulanmasında özellikle malzemenin rekristalizasyon sıcaklığının altındaki bir sıcaklık işlem sıcaklığı olarak seçilmelidir. Aksi takdirde yüksek sıcaklıklar deformasyonla incelmış taneleri tekrar kabalaştırarak işlemin etkisini azaltmaktadır.

Sıcaklığın yeniden kristalleşme sıcaklığı altına düşürülmesi yanında etkili bir işlemin gerçekleşmesi için ekstrüzyon oranı büyük tutulmalıdır. Bu şartlarda ise hedeflenen tane inceltmesi sonucuna ulaşabilmek için güçlü presler ve mukavim şekillendirme takımlarına ihtiyaç duyulacaktır.

Netice olarak, metal matrisli kompozit ya da hafif metallerin aşırı deformasyonla tanelerinin inceltmesi karşıt ekstrüzyonla mümkün olup daha kesin ve net sonuçların alınması için düşük işlem sıcaklıkları (100-150 °C gibi) büyük ekstrüzyon oranı (10:1 gibi) ve ardışık fakat daha çok sayıda geçiş uygulayarak (1-20 geçiş) çalışmak gerekecektir.

Aşınma testlerinin bu tezdeki değerlerden yarı yarıya azaltılmasıyla yapılması (mesela maksimum 50-60 N) ve test süresinin ölçülebilir aşınma elde edilinceye kadar uzatılması daha gerçekçi sonuçların alınmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi.
2. Yeh, J.W., Yuan, S.Y., and Peng, C.H., 1998. A reciprocating extrusion process for producing hypereutectic Al-20 wt. Si wrought alloys, **Materials Science and Engineering: A**, **252**:212 – 221.
3. Azushima, A., Kopp, R., Korhonen, A., and Yang, D., 2008. Severe plastic deformation processes for metals, **Manufacturing Technology**, **57**:716–735.
4. Laser machining processes, <http://www.mrl.columbia.edu/ntm/level1/ch05/html/11c05s03.html>.
5. Sundararajan, V., Aluminum Composites In Aerospace Applications, <http://home.att.net/s-prasad/almmc.htm>.
6. Surappa, M., 2003. Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities, **Sadhana**, **28**:319–334.
7. Laser machining processes, <http://www.mrl.columbia.edu/ntm/level1/ch05/html/12c05s02.html>.
8. Charles, D., 1991, Unlocking the potential of metal matrix composites for civil aircraft, <http://www.dtic.mil>., British Aerospace Plc Bristol Civil Aircraft Div Personal.
9. Chan, K.C., Tong, G.Q., and Gao, L., 1998. Hot formability of an Al2009/20SiCW composite sheet, **Journal of Materials Processing Technology**, **74**:142–148.
10. Yamamoto, H., Nishimura, H., and Miyazaki, A., 2000. Formability of superplastic aluminum alloy composites reinforced with SiC particles, **Journal of Materials Processing Technology**, **101**:198 – 208.

11. Huber, T., Degischer, H., Lefranc, G., and Schmitt, T., 2006. Thermal expansion studies on aluminium-matrix composites with different reinforcement architecture of SiC particles, **Composites Science and Technology**, 66:2206 – 2217.
12. Karamis, M., Tasdemirci, A., and Nair, F., 2003. Failure and tribological behavior of the AA5083 and AA6063 composites reinforced by SiC particles under ballistic impact, **Composites Part A, Applied Science and Manufacturing**, 34:217–226.
13. Karamis, M., Nair, F., and Tasdemirci, A., 2004. Analyses of metallurgical behavior of Al-SiCp composites after ballistic impacts, **Composite Structures**, 64:219 – 226.
14. Bindumadhavan, P., Wah, H.K., and Prabhakar, O., 2002. Assessment of particle-matrix debonding in particulate metal matrix composites using ultrasonic velocity measurements, **Materials Science and Engineering: A**, 323:42 – 51.
15. Tang, F., Hagiwara, M., and Schoenung, J.M., 2005. Micro structure and tensile properties of bulk nanostructured Al-5083/SiCp composites prepared by cryomilling, **Materials Science and Engineering**, 407:306–314.
16. Karamis, M.B. and Halici, I., 2007. The effects of homogenization and recrystallization heat treatments on low-grade cold deformation properties of AA 6063 aluminum alloy, **Materials Letters**, 61:944 – 948.
17. Mitra, R., Rao, V.C., Maiti, R., and Chakraborty, M., 2004. Stability and response to rolling of the interfaces in cast Al-SiCp and Al-Mg alloy-SiCp composites, **Materials Science and Engineering: A**, 379:391 – 400.
18. Lee, J.C., Ahn, J.P., Shim, J.H., Shi, Z., and Lee, H.I., 1999. Control of the interface in SiC/Al composites, **Scripta Materialia**, 41:895 – 900.

19. Chawla, N., Williams, J., and Saha, R., 2002. Mechanical behavior and microstructure characterization of sinter-forged SiC particle reinforced aluminum matrix composites, **Journal of Light Metals**, **2**:215 – 227.
20. Nair, F., 2005. Al SiC Kompozitlerin Ekstrüzyonunda Kalıp Sürtünme Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi FB enstitüsü.
21. Sritharana, T., 2001. Short Communication A feature of the reaction between Al and SiC particles in an MMC, , 47, 75-77, (2001), **Materials Characterization**, **47**:75–77.
22. Tham, L., Gupta, M., and Cheng, L., 2001. Effect of limited matrix reinforcement interfacial reaction on enhancing the mechanical properties of aluminium silicon carbide composites, **Acta Materialia**, **49**:3243 – 3253.
23. Tham, L., Gupta, M., and Cheng, L., 2002. Effect of reinforcement volume fraction on the evolution of reinforcement size during the extrusion of Al-SiC composites, **Materials Science and Engineering: A**, **326**:355 – 363.
24. Chien, C., Lee, S., Lin, J., and Jahn, M., 2002. Effects of Sip size and volume fraction on properties of Al/Sip composites, **Materials Letters**, **52**:334 – 341.
25. Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M., 2001. The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, **Journal of Materials Processing Technology**, **119**:324 – 328.
26. <http://depo.muhendisim.net/17mayis/KompozitMalzemeler.pdf>.
27. Vasconcelos, P., Lino, F., Magalhes, A., and Neto, R., 2005. Impact fracture study of epoxy-based composites with aluminium particles and milled fibres, **Journal of Materials Processing Technology**, **170**:277 – 283.
28. Şahin, M., Akata, H.E., ve Özel, K. Soguk Sekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, **Mühendis ve Makine**, **48**:573.

29. Elsayed, A., Kondoh, K., Imai, H., and Umeda, J., 2010. Microstructure and mechanical properties of hot extruded Mg-Al-Mn-Ca alloy produced by rapid solidification powder metallurgy, **Materials and Design**, **31**:2444 – 2453.
30. Hua Su, G., Zhang, L., ren Cheng, L., bing Liu, Y., and yi Cao, Z., 2010. Microstructure and mechanical properties of Mg-6Al-0.3Mn-xY alloys prepared by casting and hot rolling, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, **20**:383 – 389.
31. Mazaheryi, A. and Ostadshabani, M., 2011. Investigation on mechanical properties of nano-Al₂O₃ reinforced aluminum matrix composites, *Journal of Composite Materials*, **24**:2579–2586.
32. Zrnik, J., Dobatkin, S.V., and Mamuzic, I., 2008. Processing of Metals By Severe Plastic Deformation (Spd) Structure And Mechanical Properties Respond, **Metalurgija**, **47**:211–216.
33. <http://209.85.135.104/search?q=cache:F4T3c-IgjsJ:wap.sourtimes.org/show.aspC4>
34. Wang, Q., Chen, Y., Lin, J., Zhang, L., and Zhai, C., 2007. Microstructure and properties of magnesium alloy processed by a new severe plastic deformation method, **Materials Letters**, **61**:4599 – 4602.
35. Chou, C.Y., Lee, S.L., and Lin, J.C., 2008. Effects and deformation characteristics of cross-channel extrusion process on pure Sn and Al-7Si-0.3Mg alloy, **Materials Chemistry and Physics**, **107**:193 – 199.
36. Balog, M., Simancik, F., Bajana, O., and Requena, G., 2009. ECAP vs. direct extrusion techniques for consolidation of ultra-fine Al particles, **Materials Science and Engineering: A**, **504**:1 – 7.
37. Chou, C.Y., Lee, S.L., and Lin, J.C., 2008. Effects of cross-channel extrusion on microstructure and mechanical properties of AA6061 aluminum alloy, **Materials Science and Engineering: A**, **485**:461 – 467.
38. Zheng, L., Li, H., Hashmi, M., Chen, C., Zhang, Y., and Zeng, M., 2006. Evolution of microstructure and strengthening of 7050 Al alloy by ECAP

- combined with heat-treatment, **Journal of Materials Processing Technology**, **171**:100 – 107.
39. Fu, M., Tham, Y., Hng, H., and Lim, K., 2009. The grain refinement of Al-6061 via ECAE processing: Deformation behavior, microstructure and property, **Materials Science and Engineering: A**, **526**:84 – 92.
40. Pardis, N., Talebanpour, B., Ebrahimi, R., and Zomorodian, S., 2011. Cyclic expansion-extrusion (CEE): A modified counterpart of cyclic extrusion-compression (CEC), **Materials Science and Engineering: A**, **528**:7537 – 7540.
41. Fatemi-Varzaneh, S. and Zarei-Hanzaki, A., 2011. Processing of AZ31 magnesium alloy by a new noble severe plastic deformation method, **Materials Science and Engineering: A**, **528**:1334 – 1339.
42. Zhang, Z., Xu, C., and Guo, X., 2008. Microstructure of Mg-6.4Zn-1.1Y alloy fabricated by rapid solidification and reciprocating extrusion, **Acta Metallurgica Sinica (English Letters)**, **21**:30 – 36.
43. Lee, S.W., Chen, Y.L., Wang, H.Y., Yang, C.F., and Yeh, J.W., 2007. On mechanical properties and superplasticity of Mg-15Al-1Zn alloys processed by reciprocating extrusion, **Materials Science and Engineering: A**, **464**:76 – 84.
44. Guo, X., Remennik, S., Xu, C., and Shechtman, D., 2008. Development of Mg-6.0evolution during processing, **Materials Science and Engineering: A**, **473**:266 – 273.
45. Chu, H.S., Liu, K.S., and Yeh, J.W., 2000. An in situ composite of Al (graphite, Al₄C₃) produced by reciprocating extrusion, **Materials Science and Engineering: A**, **277**:25 – 32.
46. Guo, X. and Shechtman, D., 2007. Reciprocating extrusion of rapidly solidified Mg-6Zn-1Y-0.6Ce-0.6 Zr alloy, **Journal of Materials Processing Technology**, **187-188**:640 – 644.

47. Yung, K., Xu, Y., and Lau, K., 2003. Transient melting models for the three stages of reciprocating extrusion, **Journal of Materials Processing Technology**, **139**:170 – 177.
48. Chu, H.S., Liu, K.S., and Yeh, J.W., 2000. Study of 6061-Al₂O₃p composites produced by reciprocating extrusion, **Metallurgical and Materials Transactions A**, **31**:2587–2596.
49. Chen, Y.L., Lee, S.W., Yeh, J.W., Yang, C.F., and Hung, S.S., 2005. A novel process for fabricating electrical contact SnO₂Ag composites by reciprocating extrusion, **Metallurgical and Materials Transactions A**, **36**:2441–2447.
50. Lee, S.W. and Yeh, J.W., 2005. Microstructural evolution and superplasticity of Al-5.8Mg-0.23Mn alloys processed by reciprocating extrusion, **Metallurgical and Materials Transactions A**, **36**:2225–2234.
51. Yeh, J.W., Yuan, S.Y., and Peng, C.H., 1999. Microstructures and tensile properties of an Al-12 wt pct Si alloy produced by reciprocating extrusion, **Metallurgical and Materials Transactions A**, **30**:2503–2512.
52. Chu, H.S., Liu, K.S., and Yeh, J.W., 2001. Aging behavior and tensile properties of 6061 Al Al₂O₃p particle composites produced by reciprocating extrusion, **Scripta Materialia**, **45**:541 – 546.
53. Lee, S.W. and Yeh, J.W., 2007. Superplasticity of 5083 alloys with Zr and Mn additions produced by reciprocating extrusion, **Materials Science and Engineering: A**, **460-461**:409 – 419.
54. Zhang, Z., Xu, C., Guo, X., and Jia, S., 2008. Reciprocating extrusion of in situ Mg₂Si reinforced Mg-Al based composite, **Acta Metallurgica Sinica (English Letters)**, **21**:169 – 177.
55. Lee, S.W., Yeh, J.W., and Liao, Y.S., 2004. Premium 7075 Aluminium Alloys Produced by Reciprocating Extrusion, **Advanced Engineering Materials**, **6**:936–943.
56. Lee, S.W., Wang, H.Y., Chen, Y.L., Yeh, J.W., and Yang, C.F., 2004. An Mg-Al-Zn Alloy with Very High Specific Strength and Superior High-strain-rate

Superplasticity Processed by Reciprocating Extrusion, **Advanced Engineering Materials**, **6**:948–952.

57. Mueller, K. and Mueller, S., 2007. Severe plastic deformation of the magnesium alloy AZ31, **Journal of Materials Processing Technology**, **187-188**:775 – 779.
58. Yuan, S.Y., Yeh, J.W., and Tsau, C.H., 1999. Improved Microstructures and Mechanical Properties of 2024 Aluminum Alloy Produced by a Reciprocating Extrusion Method, **Mater Trans JIM(Jpn Inst Met)**, **40**:203–241. Shi-Ying
59. Lin, J., Wang, Q., Chen, Y., Liu, M., and Roven, H., 2010. Microstructure and texture characteristics of ZK60 Mg alloy processed by cyclic extrusion and compression, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, **20**:2081 – 2085.
60. Yang, W.P., Guo, X., and Yang, K., 2012. Low temperature quasi-superplasticity of ZK60 alloy prepared by reciprocating extrusion, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, **22**:255 – 261.
61. Selçuk, B., Yorulma deneyi, [http://www.velizengin.com/muhendislik/yorulma - deneyi](http://www.velizengin.com/muhendislik/yorulma-deneyi)

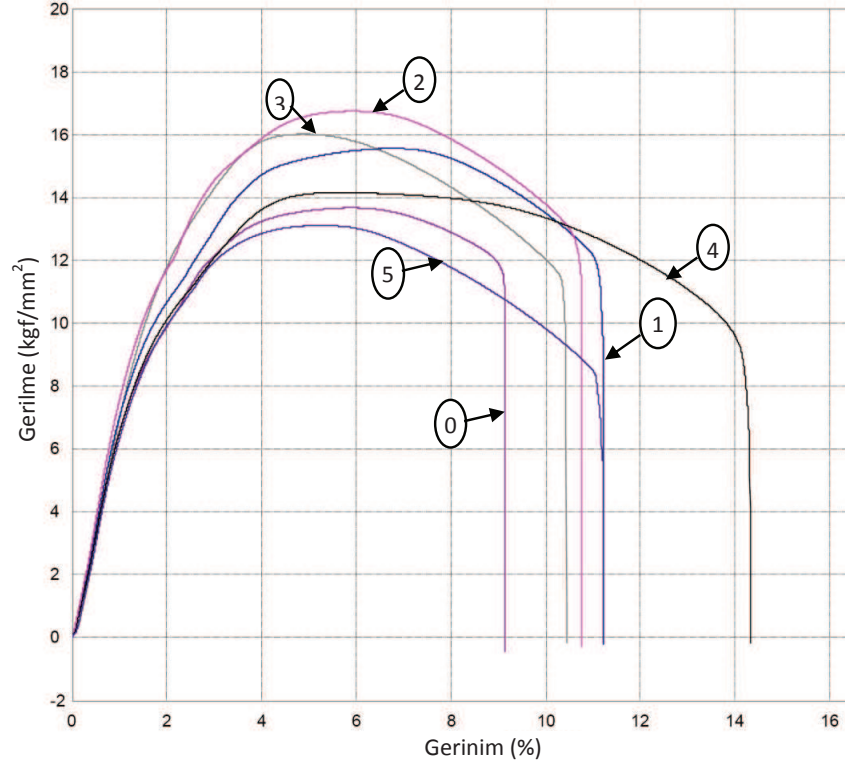
EKLER**Ek-1: Çekme Tabloları ve Eğrileri**

Tablo Ek-1.1. Geçiş sayısına göre Max-Gerilme ve YS1-Gerilme(Akma) değerleri.

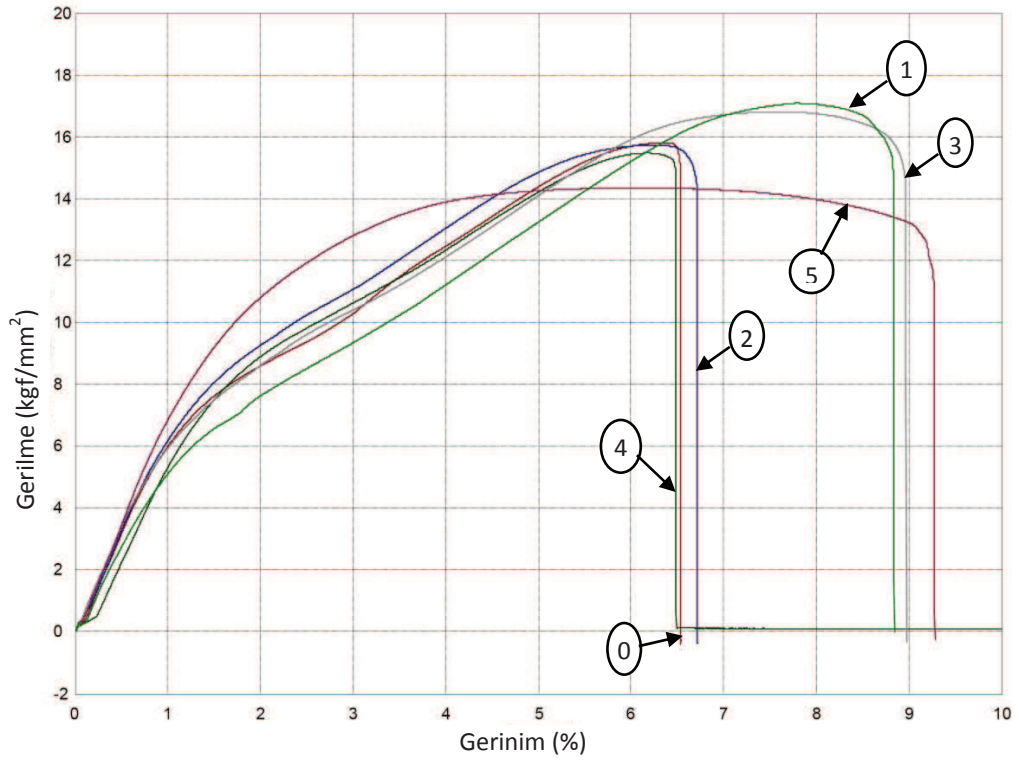
Max-Gerilme kgf/mm ²								
Geçiş Sayısı	AA6061 (72 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 Takviyesiz	AA6061 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 B ₄ C (22-59 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 Al ₂ O ₃ (20-50 μ)	AA2124 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6063 Döküm Takviyesiz	AA6063 Döküm % 5 SiC (20 μ)
0	19.3805	34.8757	24.3667	29.3177	25.3788	43.0808	13.0214	15.809
1	18.4694	35.6309	33.902	32.769	29.754	33.0067	15.5572	17.0891
2	14.2727	29.3997	26.5258	32.9442	25.5304	35.6186	16.7422	15.7342
3	15.8825	29.5072	24.7804	33.0136	13.4573	31.7268	16.0138	16.8096
4	14.4893	31.0755	25.5684	26.9498	27.4612	30.8541	14.1528	15.4733
5	15.193	28.262	24.4061	29.2985	25.3333	35.0335	13.1104	14.3473
YS1-Gerilme(Akma) kgf/mm ²								
Geçiş Sayısı	AA6061 (72 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 Takviyesiz	AA6061 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 B ₄ C (22-59 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 Al ₂ O ₃ (20-50 μ)	AA2124 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6063 Döküm Takviyesiz	AA6063 Döküm % 5 SiC (20 μ)
0	10.4196	19.1726	15.4555	19.0654	17.324	18.1032	13.4504	7.71703
1	11.5578	18.9836	14.7781	12.3592	14.5991	17.8935	15.5473	7.48577
2	9.69969	18.6689	16.5251	18.9608	16.1091	18.7411	16.5173	8.19684
3	10.7294	12.2731	10.6224	14.0763	10.2251	15.0445	15.1623	7.69718
4	8.46802	16.9439	18.4324	18.254	13.2463	15.8696	14.0877	8.25862
5	9.71739	14.3213	15.8101	17.8826	8.61982	18.2122	12.5127	9.25194

Tablo Ek-1.2. Geçiş sayısına göre Kopma-Gerinim % ve Enerji değerleri.

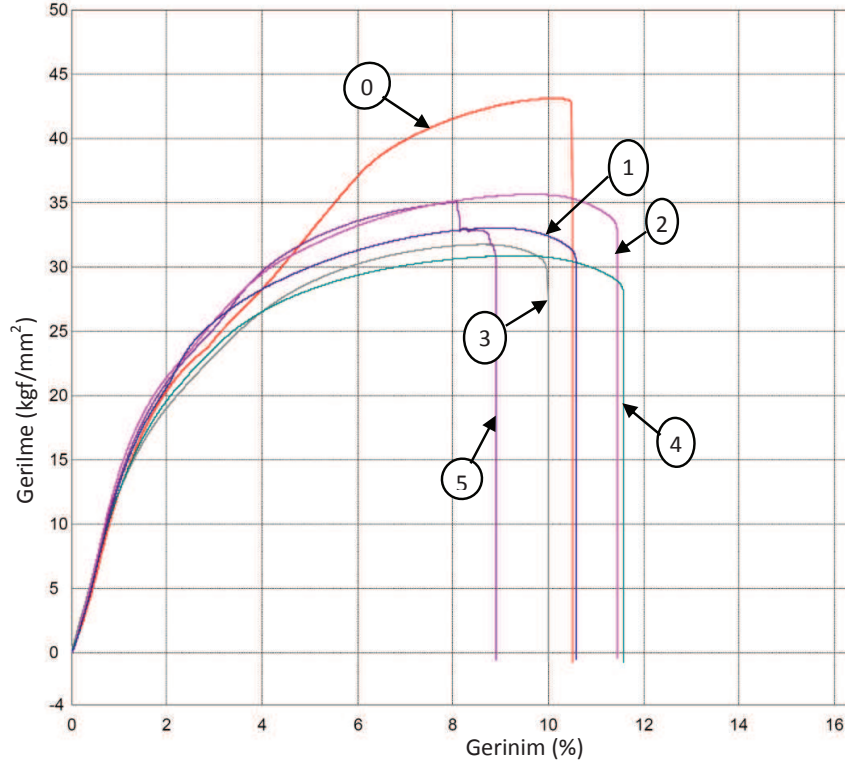
Kopma-Strain %								
Geçiş Sayısı	AA6061 (72 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 Takviyesiz	AA6061 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 B ₄ C (22-59 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 Al ₂ O ₃ (20-50 μ)	AA2124 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6063 Döküm Takviyesiz	AA6063 Döküm % 5 SiC (20 μ)
0	8.38	8.66958	5.61542	7.32583	4.95078	10.4802	9.11729	6.52417
1	6.90073	13.9988	8.40911	11.9302	8.50162	10.5697	11.2119	8.82589
2	6.94901	13.5342	7.94443	8.11125	5.72599	11.4265	10.7468	6.70307
3	7.18198	16.234	11.5073	11.1073	4.76099	9.97344	10.4175	8.95495
4	10.7299	14.7903	12.7303	10.1864	6.95912	11.5612	14.305	6.47359
5	6.22771	13.8842	8.17167	6.84021	10.928	8.12557	11.1717	9.26323
Tokluk kgf.mm								
Geçiş Sayısı	AA6061 (72 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 Takviyesiz	AA6061 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 B ₄ C (22-59 μ)	AA6061 (114 μ) % 5 Al ₂ O ₃ (20-50 μ)	AA2124 (114 μ) % 5 SiC (20 μ)	AA6063 Döküm Takviyesiz	AA6063 Döküm % 5 SiC (20 μ)
0	2553.93	2650.73	1197.26	1946.41	1034.14	3645.99	2082.42	1375.87
1	2000.81	4672.96	2347.11	3294.79	2142.83	3195.96	2897.99	2035.51
2	1639.96	3740.5	1934.23	2391.6	1259.15	3721.61	2971.96	1485.45
3	1877.16	4398.47	2581.12	3150.61	548.032	2833.17	2710.22	2182.65
4	2629.63	4192.44	3212.3	2631.53	1581.85	3331.79	3412.95	1348.84
5	1465.04	3445.08	1867.27	1761.85	2107.21	2682.2	2378.82	2248.76



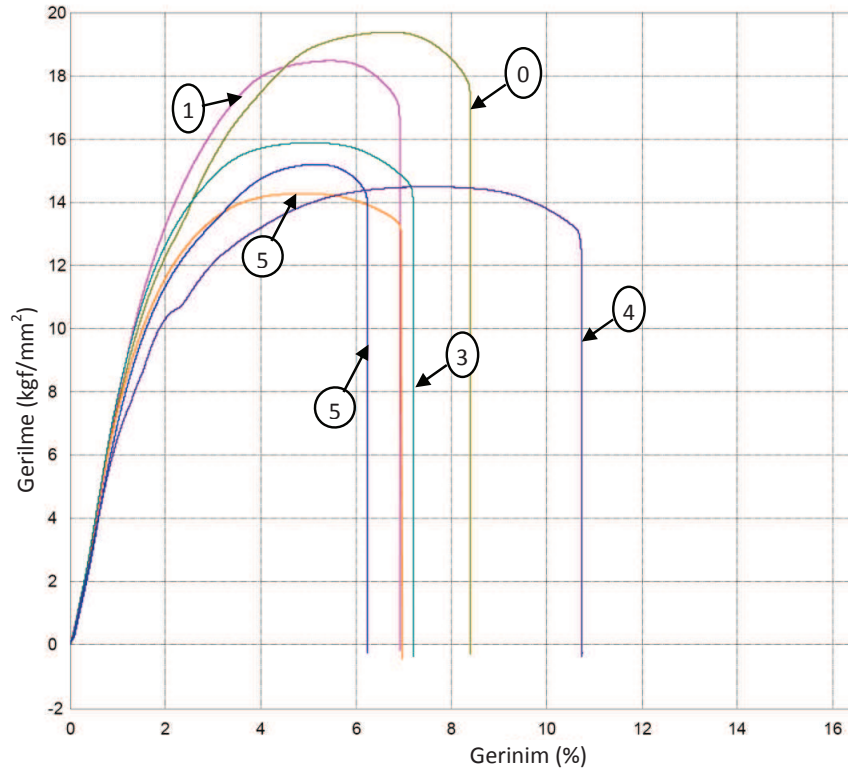
Şekil EK-1.1. Takviyesiz AA 6063 döküm numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



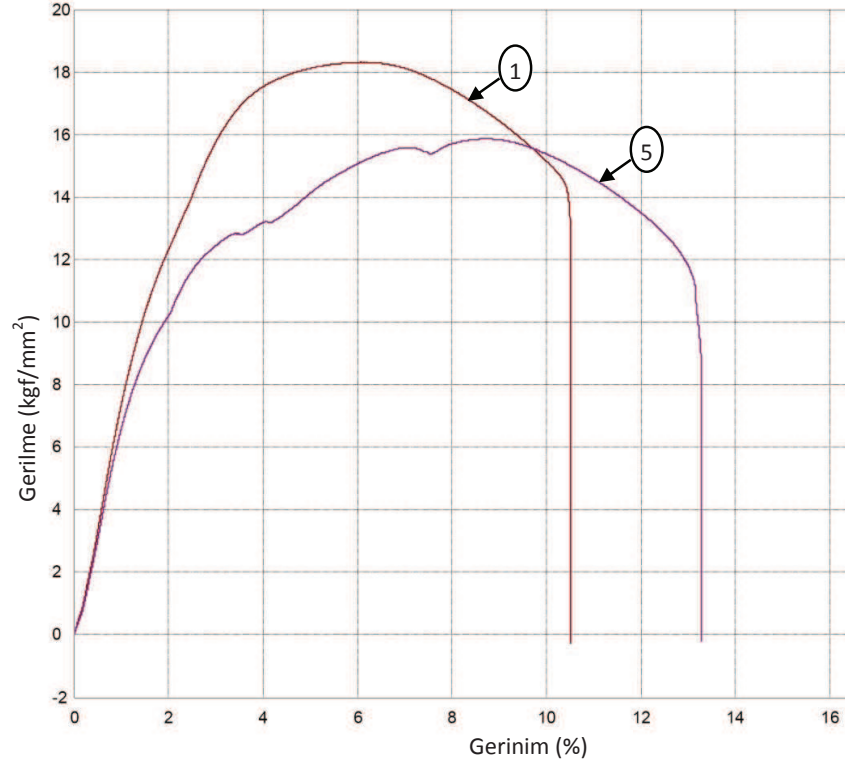
Şekil EK-1.2. % 5 SiC takviyeli AA 6063 döküm numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



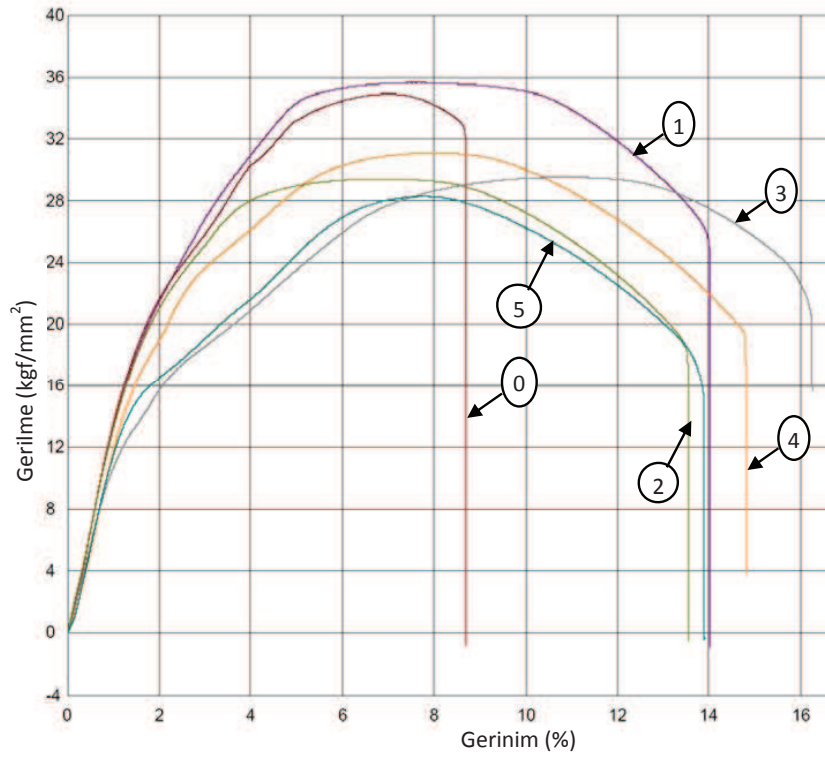
Şekil EK-1.3. % 5 SiC takviyeli AA 2124 numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



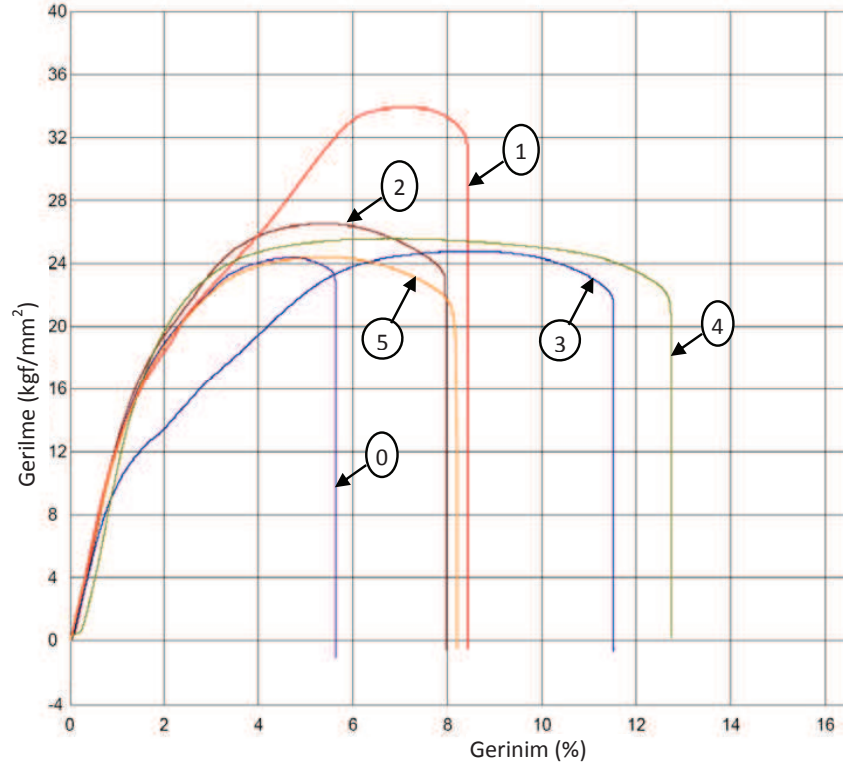
Şekil EK-1.4. % 5 SiC takviyeli AA 6061(72µ) numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



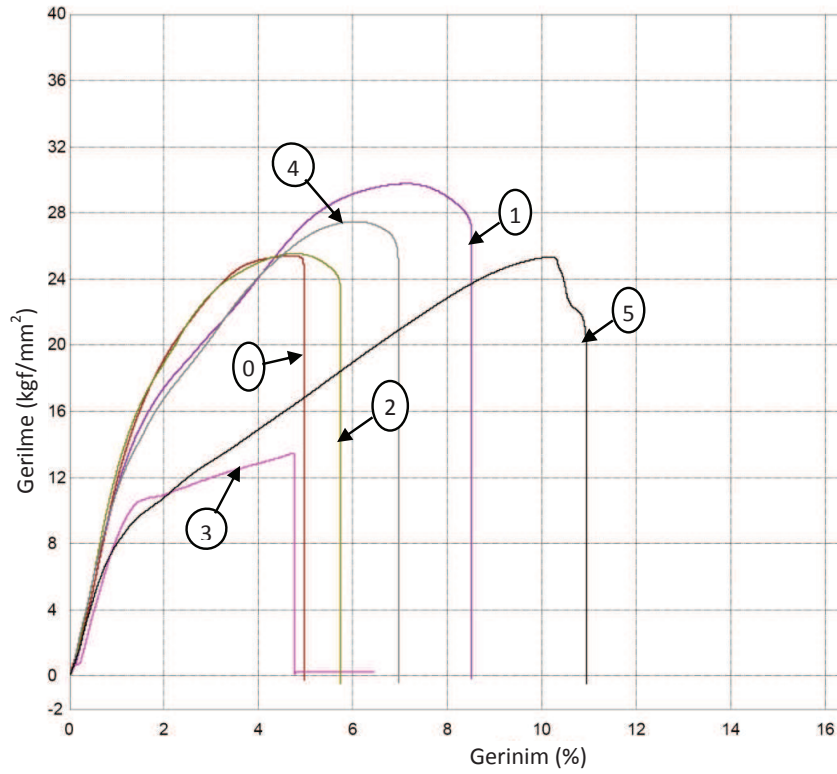
Şekil EK-1.5. Takviyesiz AA 6061(72 μ) numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



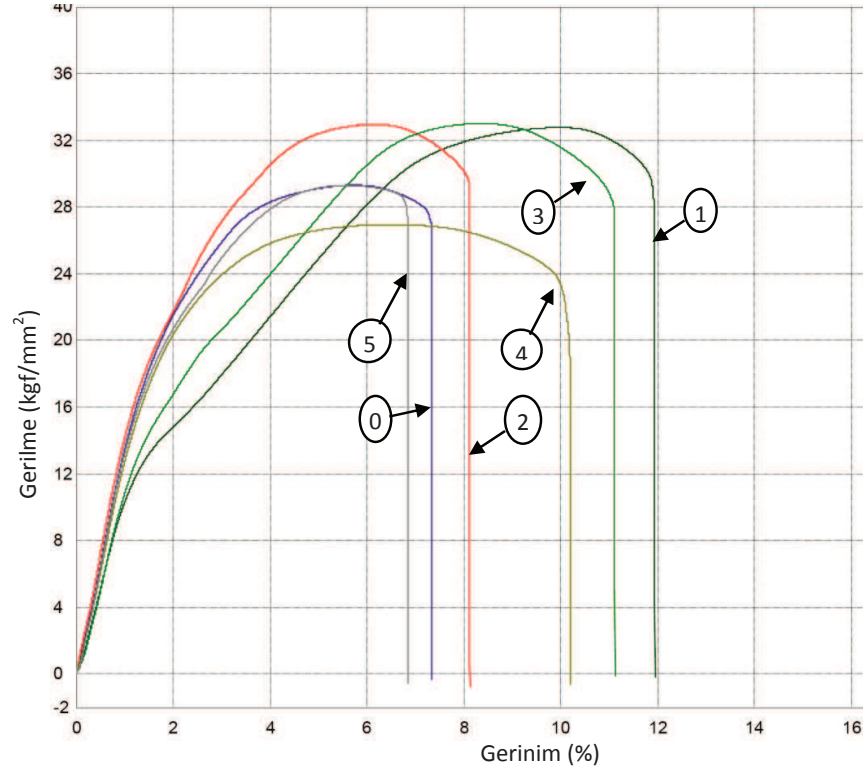
Şekil EK-1.6. Takviyesiz AA 6061(114 μ) numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



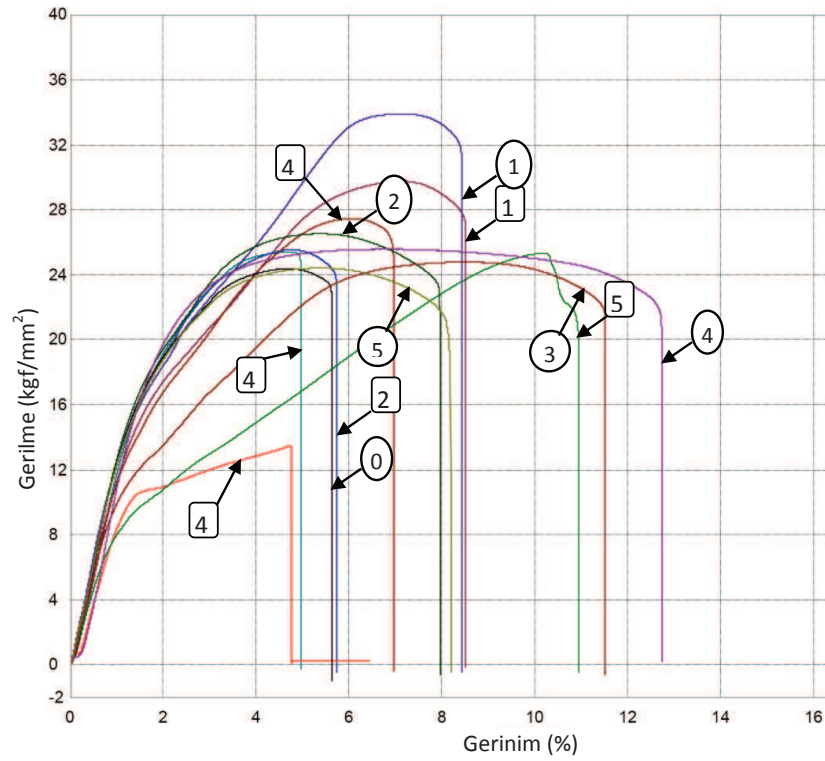
Şekil EK-1.7. % 5 SiC takviyeli AA 6061(114 μ) numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



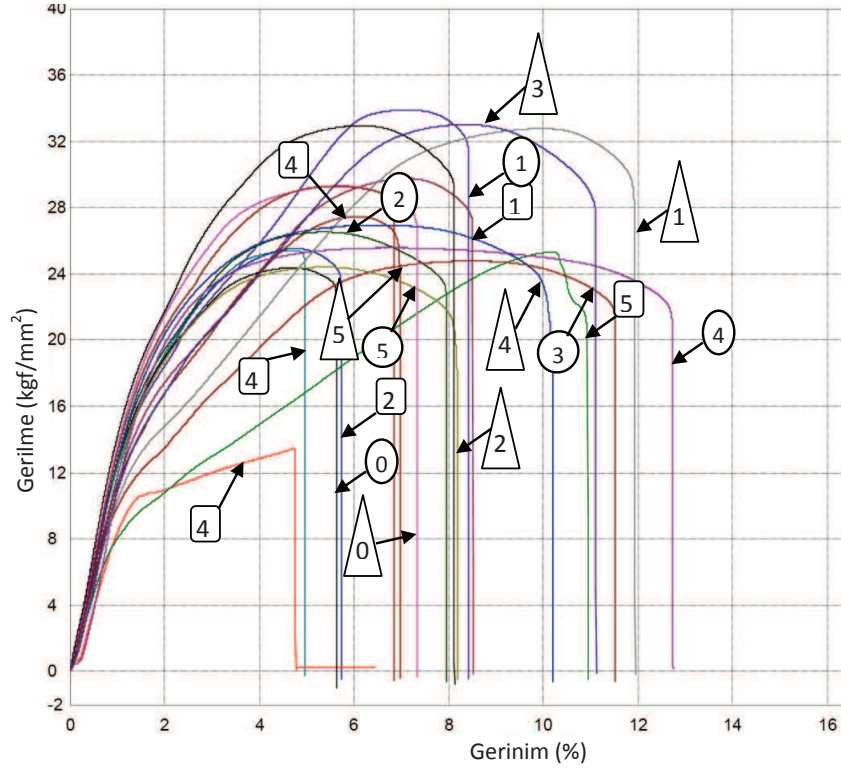
Şekil EK-1.8. % 5 Al₂O₃ takviyeli AA 6061 (114 μ) numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



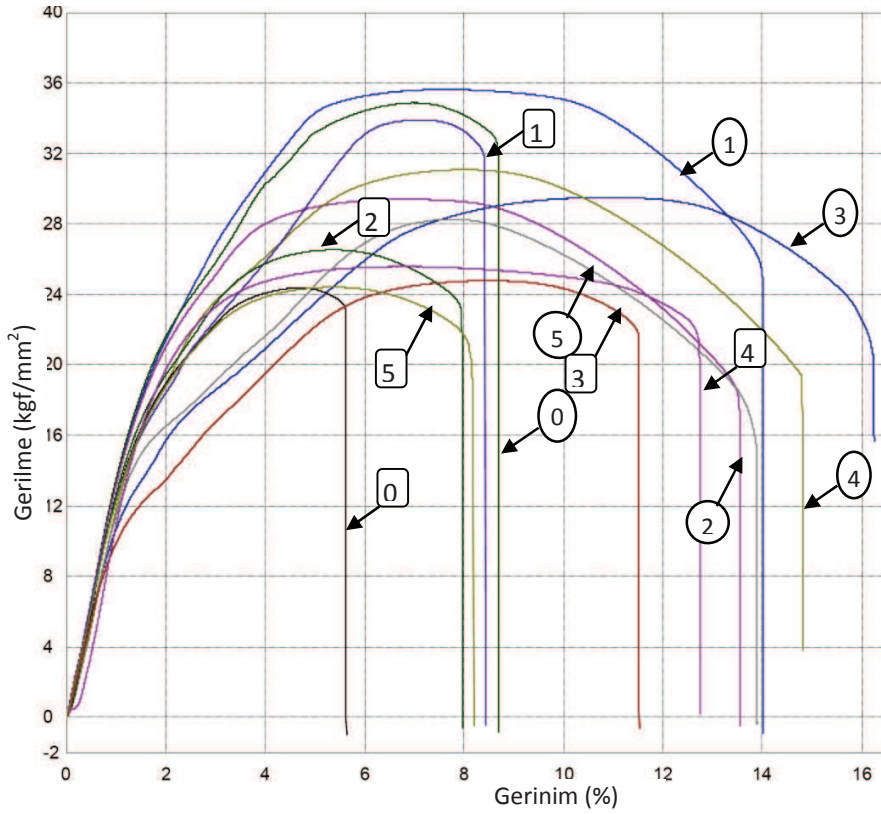
Şekil EK-1.9. % 5 B₄C takviyeli AA 6061 (114 μ) numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



Şekil EK-1.10. %5 Al₂O₃-%5 SiC takviyeli AA 6061 114 μ numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



Şekil EK-1.11. % 5 Al_2O_3 -, B_4C ve SiC takviyeli AA 6061 114μ numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.



Şekil EK-1.12. AA 6061 114μ takviyesiz ve %5 SiC takviyeli numunelerin geçiş sayılarına göre gerilme-gerinim eğrileri.

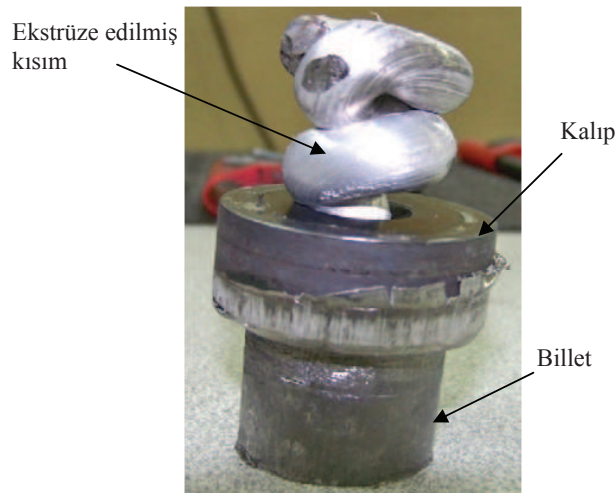
Ek-2: Yaşanan Zorluklar

400 °C'de karşıt ekstrüzyon presi imal edilmeden önce yapılan çalışmalarda karşılaşılan en önemli sorun ekstrüzyon yönünün karşısından basınç uygulamayıdır. Şöyle açıklarsak, 1 geçişli numune karşı kovanda belirli miktarda boşluk bırakılarak ekstrüze edilmiştir (Şekil 1). 1 geçişli ekstrüzyon sonrası elde edilen ürünün karşı kovan içinde kıvrılarak yayıldığı görülmüş ve bunun karşı kovan boşluğunun gereğinden fazla bırakılmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu sebeple karşıdaki pistonun geriye çekiliş hareketinin kontrollü yapılması gerektiği ve böylece düzgün bir yığılmanın oluşabileceği kestirilebilir.

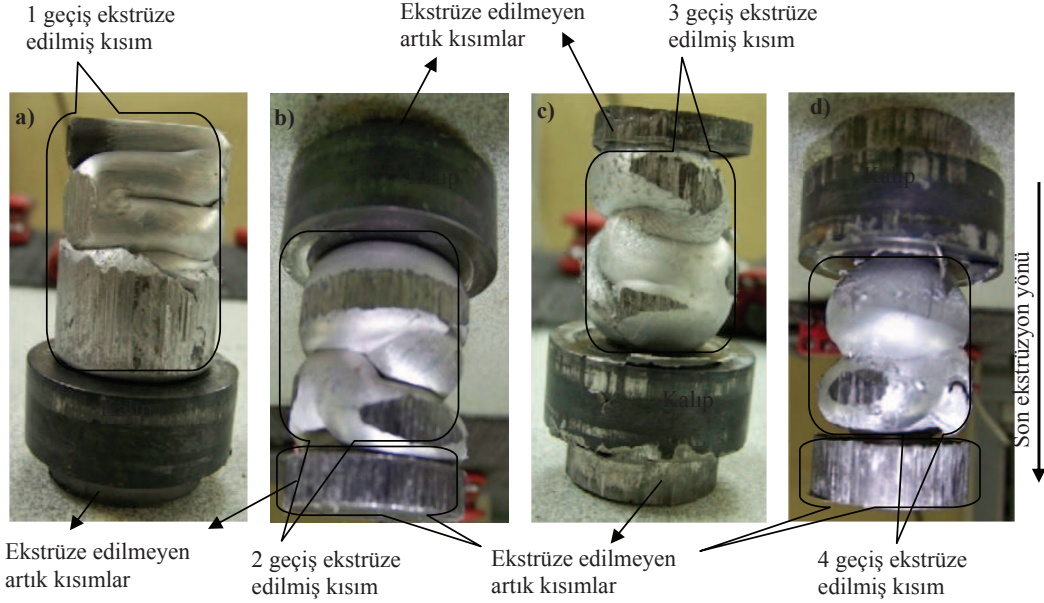
4 geçişli numune ilk önce kovanın birine yerleştirilmiş ve karşı kovanda uygun boşluk bırakılarak ekstrüzyon işlemi yapılmıştır (Şekil 2-a). Sonra ters tarafa aynı işlem uygulanarak 4 geçiş ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2 a-d).

Şekillerden kolayca izlenebildiği gibi her iki tarafta bulunan ekstrüze edilemeyen kısımlar arasında kalan deformasyona uğramış bölümün kalıba yakın kısımlarının kıvrılmadan tam yığılma gösterdiği, uç kısımlarının ise kıvrılarak yığıldığı anlaşılmaktadır. Tam yığılmanın sağlanabilmesi için her geçişte karşı pistonun kontrollü bir şekilde geriye çekilmesi gerektiği gerçeği ortadadır.

Ön Denemelerde Al-6061-SiC kompozit % 30 hacim oranlarında numunelerin karşıt ekstrüzyonu denenmiş, ancak, billetin ekstrüzyonu esnasında zımba flambaja

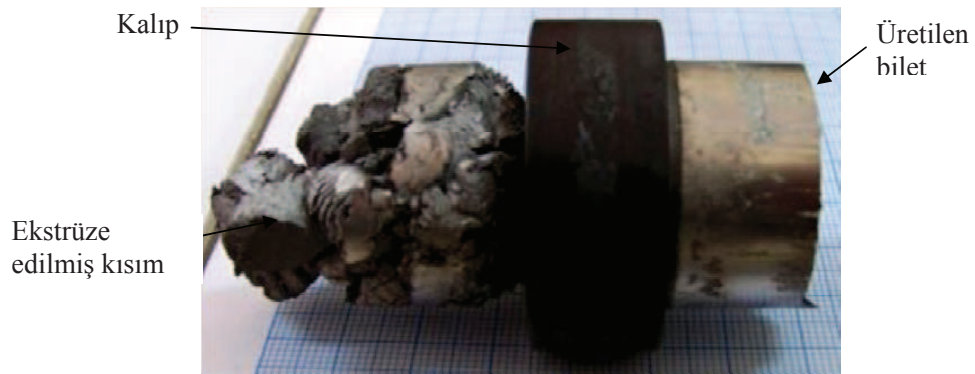


Şekil EK-2.1. 1 geçişli numunenin ekstrüzyondan sonraki durumu.



Şekil EK-2.2. 4 geçişli ekstrüzyon işleminin safhaları a) 1 geçiş b) 2 geçiş c) 3 geçiş d) 4 geçiş.

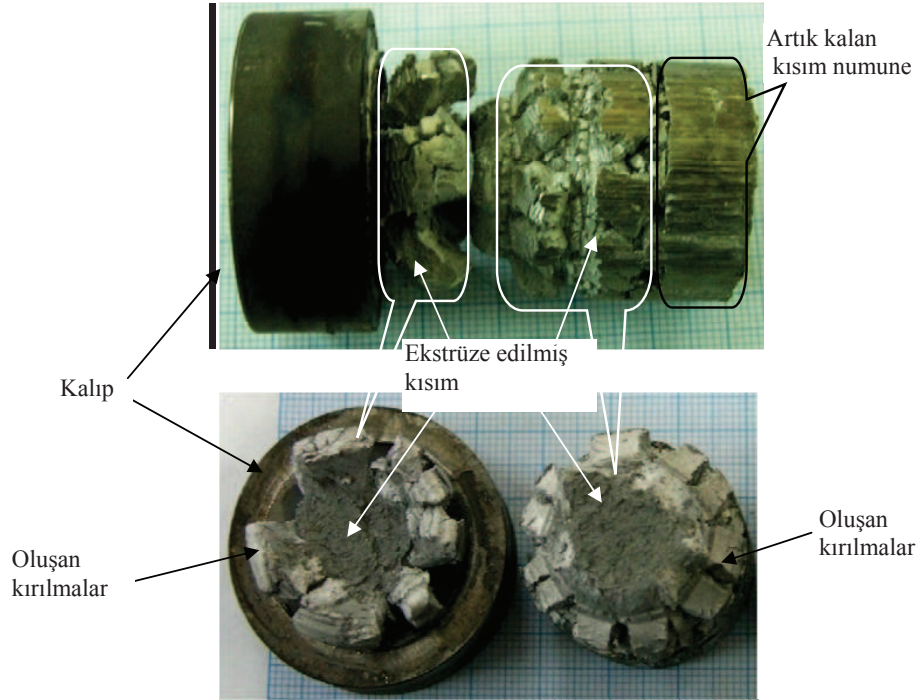
uğramıştır. Daha sonra zımba ölçüleri değiştirilip yeniden zımba yapılarak ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta karşı ekstrüzyon kalıp sistemi yapılmadığından, karşı alıcı hücresi tamamen boş bırakılarak ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 1. geçiş sonrası elde edilen malzemenin katlanarak üst üste yığıldığı ve genişlemesine yayılmadığı görülmüştür (Şekil 3).



Şekil EK-2.3. Al6061/%30 SiC (20μ) kompozitin ekstrüzyon sonrası genel görünüşü..

%30 SiC takviyeli toz kompozit biletin $300 \text{ }^\circ\text{C}$, 20-25 Mpa basınç aralığında karşı ekstrüzyonu denenmiştir. Bu işlem sonrası elde edilen ürün Şekil 4'de görülmektedir. Takviye oranının yüksek olması biletin gevrekleştiği, biletin şekil alabilme kabiliyeti azalmış, dolayısıyla ekstrüzyon sırasında üründe parçalanmalar, ayrılmalar

ve hasarlar meydana gelmiştir. Basıncın yüksek olmasından dolayı kullanılan zımbalarda hasarlanmıştır. %30 takviye oranının çok yüksek olduğu görülmüş ve %30 takviye oranlı billet üretiminden vazgeçilmiştir. Takviye oranının azalmasıyla birlikte ekstrüzyonun yapılabilirliğinin mümkün olacağı düşünülerek daha düşük takviye oranlarında çalışmalara devam edilmiştir.



Şekil EK-2.4. AA6061/SiC(20µm)/%30 billetin ekstrüzyon sonrası görünümü.

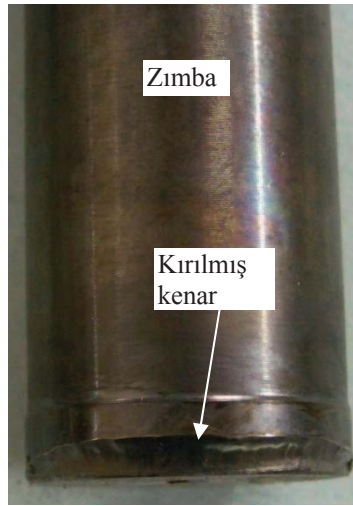
%30 hacim oranlı AA6061/SiC kompozit billetlerin karşıt ekstrüzyonu sırasında zımbalarda eğilme olduğu görülmüştür. Özellikle basınç 20 Mpa üstüne çıkarıldığında zımbalar eğilmiş üzerinde çatlamlar olmuştur. Şekilde görüldüğü gibi eğilmiş zımbanın boyu sağlam zımbaya göre kısalmış ve vidalı kısmı da kopmuştur (Şekil 5).

Karşıt ekstrüzyon işleminde zorluklar genellikle zımbanın eğilmesi ve kırılması şeklinde olmuştur. Kalıp sistemi bağlandığında zımbaların kovana merkezleme işlemi çok zor ayarlamıştır ve merkezleme sırasında zımbanın kenarı kovana temas ederek kırılmıştır (Şekil 6). Ancak bu eksen kaçıklığının presten kaynaklandığı ve tablaların yataklanmasında problem olduğu tespit edilerek yapımcı firma davet edilmiş ve hata uzun zaman alsa da düzeltilmiştir.

Ekstrüzyon işleminden sonra zımba geri çekilirken zımbanın vida açılmış kısmı



Şekil EK-2.5. Eğilmiş zımba.



Şekil EK-2.6. Kenarı kırılmış zımba.

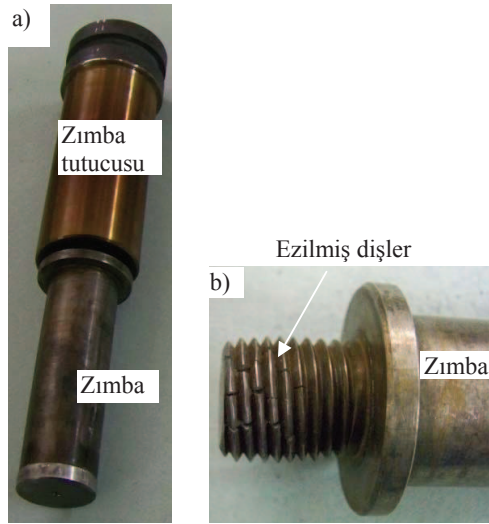
koparak, vidalı parça zımba tutucusunun içinde kalmıştır (Şekil 7).

Basınç arttırıldığında zımba üzerindeki dişler ezilmiştir ve zımba, zımba tutucusunun içinde sıkışarak orada kalmıştır (Şekil 8).

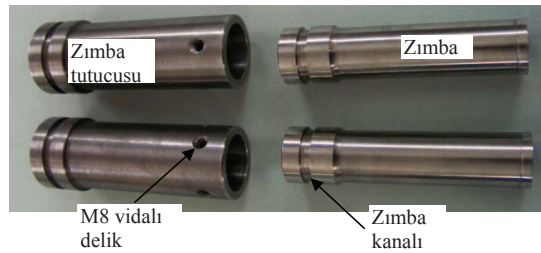
Yukarıdaki hasar tiplerinden anlaşıldığı gibi hasarların çoğunluğu zımba üzerine açılmış dişli kısımda meydana gelmiştir. Bu hasarı önlemek için boyutlar değiştirilmeden zımba ve zımba tutucusunun birleşme kısmının bağlantı şekli değiştirilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi zımba, tutucusuna takılıp, zımba üzerindeki kanal tutucusuna açılan M8 vidalı deliklere ayar vidası takılarak tutturulmaktadır. Böylelikle kopma gerilmesinin zayıf olan ayar vidaları üzerine yönlendirilmesi ile hem zımba hemde zımba tutucusu zarar görmemektedir.



Şekil EK-2.7. Kırılmış zımba ve zımba tutucusu.



Şekil EK-2.8. Hasarlı zımbalar a) tutucusuna sıkışmış zımba b) dişleri ezilmiş zımba.

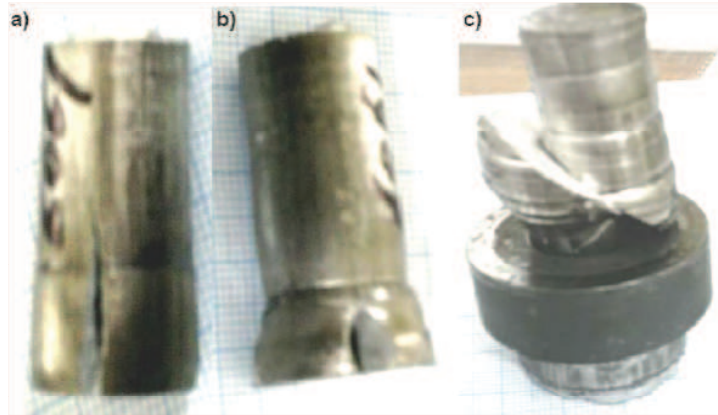


Şekil EK-2.9. Değiştirilen zımba zımba tutucu bağlantısı.

Ön deneme çalışmalarında 400 ve 300 °C sıcaklıkta üretilen numunelerin mekanik özelliklerinde yeterince iyileşme sağlanamamıştır. Bunun sebebi ise işlem sıcaklığının alüminyumun yeniden kristalleşme sıcaklığının da üzerinde olmasıdır. Bu nedenle ekstrüzyon sıcaklığı 200 °C olarak belirlenmiştir. 200 °C de ve 10:1 ekstrüzyon

oranında yapılan ön denemelerde de mevcut pres gücü ve kalıp zımba boyutlarıyla işlem gerçekleştirilememiştir. Ancak işlem sıcaklığının 200 °C (mevcut malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı) olması arzu edildiğinden ekstrüzyon oranı 4:1 olarak yeniden kalıp tasarlanmış ve denemeler bu şekilde gerçekleşmiştir. Yani 200 °C lik işlem sıcaklığı ve 10:1 ekstrüzyon oranında yaşanan başarısızlık ekstrüzyon oranının 4:1'e düşürülmesiyle aşılmıştır. Bu işlem parametrelerinin belirlenmesine kadar çeşitli denemeler yapılmıştır. Mesela 4:1 ekstrüzyon oranında ilk önce % 10 SiC takviyeli AA 6061 billet 20 °C de ekstrüze edilmeye çalışılmıştır. Ancak 1. geçişte billet karşı tarafa yığılamamış, karşı kovanda oluşturulan boşluğa ekstrüze edilmiş, fakat ürünün karşı zımbaya temas eden yüzeyinde çatlamlar oluşmuştur (Şekil 10-a).

Daha sonra takviyesiz AA 6061 billet 50 ve 100 °C lerde ayrı ayrı KE yapılmaya çalışılmıştır. Her iki sıcaklıkta da billet karşı kovana yığılamadığından alt zımba aşağı çekilerek ekstrüzyona son verilmiştir. Ancak 50 °C de ürünün karşı zımbaya temas eden yüzeyinde çatlamlar oluşurken (Şekil 10-b) 100 °C de karşı kovanda ekstrüze olan kısım basma sonucu 45° açı ile hasarlanmıştır (Şekil 10-c). Bu denemelerden sonra ekstrüzyon oranı 4 alınarak 200°C sıcaklıkta karşı ekstrüzyon işlemi yapılmaya başlanmıştır. 200 °C'de en fazla 5 geçişe kadar KE yapılabilmiştir.



Şekil EK-2.10. Hasarlanan numuneler.

ÖZGEÇMİŞ

Veysel ERTURUN 1973 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. Lisans eğitimini Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunda 1998 yılında, yüksek lisans eğitimini Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalında 2006 yılında tamamladı ve aynı yıl aynı anabilim dalında Doktora programına başladı. Evli ve iki çocuk babası olan Veysel ERTURUN Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulunda öğretim görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

Adres : Erciyes Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu
Makina Mühendisliği Bölümü
38039 - KAYSERİ
Telefon : 0 352 207 66 66 - 41107
Belgegeçer : 0 352 437 57 44
e-posta : erturun@erciyes.edu.tr