

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE SiC VE BN PARÇACIK
TAKVİYE EDİLEN AA 5182 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
TRİBOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Serkan KARAKAŞ

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE SIC VE BN
PARÇACIK TAKVİYE EDİLEN AA 5182 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
TRİBOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ**

Makina Mühendisi Serkan KARAKAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 20 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Serkan KARAKAŞ Tarafından Hazırlanan**

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE SiC VE BN PARÇACIK
TAKVİYE EDİLEN AA 5182 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TRİBOLOJİK OLARAK
İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ

Üye : Doç. Dr. Özlem BARAN


yalemdag


**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Gerek derslerimde gerekse yüksek lisans tez çalışmalarında danışmanım olarak sadece akademik anlamda değil hayat içerisinde edindiğim tecrübelerde de büyük katkısı olan, çalışmalarında her türlü desteği sağlayan, üzerimdeki hakkını ödeyemeyeceğim değerli hocam ve Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU' na, yapmış olduğum bu tez çalışmamın sürecinin her anında desteğini esirgemeyen canım eşim Arş. Gör. Bahar KÜÇÜK KARAKAŞ' a ve bu günlere gelmemde emeklerini ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme, değerli arkadaşlarım Dr. Arş. Gör. Hasan Onur TAN' a, Arş. Gör. Doğan ACAR' a, laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Yaşar SERT' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hammadde temininde göstermiş oldukları destekten dolayı Çuhadaroğlu Metal San. Paz. A.Ş. Genel Müdürü Kenan ARACI' ya, Genel Müdür Yardımcısı Dr. Metin YILMAZ' a ve AR-GE Yöneticisi Hüseyin GÖKDEMİR' e çok teşekkür ederim.

Serkan KARAKAŞ

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE SİC VE BN PARÇACIK TAKVİYE EDİLEN AA 5182 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TRİBOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/05/2019

Serkan KARAKAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Alüminyum ve Alaşımları.....	3
1.2.1. Alüminyum-Magnezyum Alaşımları (Al-Mg, 5XXX).....	4
1.2.2. Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemeler.....	5
1.3. Sürtünme ve Karıştırma Prosesi (SKP).....	7
1.3.1. Sürtünme Karıştırma Prosesinde Malzemede Oluşan Bölgeler.....	9
1.3.1.1. Esas Metal (EM)	10
1.3.1.2. Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB).....	10
1.3.1.3. Termomekanik Etki Bölgesi (TMEB)	10
1.3.1.4. Karışım Bölgesi	11
1.3.2. Sürtünme Karıştırma Prosesi Sonucunda Oluşabilecek Hata Türleri	11
1.3.3. Sürtünme Karıştırma İşleminde Takım.....	13
1.3.3.1. Takım Geometrileri.....	14
1.3.3.2. Sürtünme Karıştırma Takım Malzemeleri	16
1.4. Aşınma	17
1.4.1. Aşınma Mekanizmaları	17
1.4.1.1. Adhezif Aşınma	18
1.4.1.2. Abratif Aşınma.....	19
1.4.1.3. Yorulma Aşınması	20
1.4.1.4. Korozyon Aşınması	21
2. LİTERATÜR ÖZETİ ve ÇALIŞMANIN AMACI.....	22
2.1. Literatür Özeti.....	22

2.2.	Çalışmanın Amacı.....	26
3.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	28
3.1.	Deney Malzemeleri.....	29
3.1.1.	Ana Malzeme.....	29
3.1.2.	Takviye Elemanlar.....	31
3.2.	Sürtünme Karıştırma Prosesi Düzenegi.....	32
3.2.1.	Proseste Kullanılacak Takım.....	33
3.2.2.	Sürtünme Karıştırma Prosesi Parametreleri.....	34
3.2.3.	SKP İşlemi Sonrasında Deneyler İçin Hazırlanan Numuneler.....	35
3.3.	Metalografi Deneyi.....	35
3.4.	Mikro Sertlik Deneyi.....	36
3.5.	Aşınma Deneyi.....	37
4.	BULGULAR ve İRDELEME.....	39
4.1.	Malzemenin Başlangıç Özellikleri.....	39
4.2.	Makro İncelemeler.....	39
4.3.	Mikro Yapı İncelemeleri.....	41
4.4.	Mikro Sertlik İncelemeleri.....	62
4.5.	Aşınma Deneyi.....	65
5.	SONUÇ.....	85
6.	ÖNERİLER.....	86
7.	KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ	91

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE SiC VE BN
PARÇACIK TAKVİYE EDİLEN AA 5182 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ TRİBOLOJİK
OLARAK İNCELENMESİ

Serkan KARAKAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU

2019, 91 sayfa

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma prosesi (SKP) ile AA 5182 alüminyum alaşımının yüzeyine SiC ve h-BN parçacıkları takviye edilerek kompozit bir yüzey tabakası elde edilmiştir. SKP işlemi, takviyesiz durumda, %25 SiC ve %75 BN, %50 SiC ve %50 BN, %75 SiC ve %25 BN ve %100SiC takviye oranlarında aynı yönlü iki paso proses uygulanarak gerçekleştirilmiştir. SKP takım ilerleme hızı 55mm/dak, takım devir sayısı 1000 dev/dak olarak uygulanmıştır. Takviyeli ve takviyesiz durumda AA 5182 alüminyum alaşımının yüzeyinde oluşturulan kompozit yapının mikro yapısı, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri ball-on-disk düzeneğinde 5N yük altına Al₂O₃ bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda numuneler optik profilometre, optik ve elektron mikroskopları yardımıyla incelenmiştir. Uygulanan SKP işlemi sonrasında AA 5182 Alüminyum alaşımının yüzeyinde kompozit bir yapının oluştuğu görülmüştür. Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda, en iyi aşınma direnci %75 SiC ve %25 h-BN karışım oranı içeren yapıda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Karıştırma Prosesi (SKP), AA 5182, SiC, h-BN, Kompozit Yapı, Aşınma

Master Thesis

SUMMARY

**THE INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SiC AND BN
PARTICLES SURFACE REINFORCED AA 5182 ALUMINUM ALLOY BY USING
FRICTION STIR PROCESS**

Serkan KARAKAŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU
2019, 91 pages

In this study, the surface of the AA 5182 aluminum alloy was reinforced with SiC and h-BN particles to give a composite surface layer by using friction stir process (FSP). Friction stir process was carried out by two passes in the non-reinforced state, with 25% SiC and 75% BN, 50% SiC and 50% BN, 75% SiC and 25% BN and 100% SiC reinforcement ratios. Friction stir process was performed at travel speed of 55 mm/min and at rotational speed of 1000 rev/min. Microstructure, hardness and wear behavior of composite structure formed on the surface of AA 5182 aluminum alloy with and without reinforcement are investigated. Wear tests were carried out on ball-on-disc assembly using Al₂O₃ balls under 5N load. The samples were scanned by optical profilometer as a result of wear tests. It was observed that a composite structure was formed on the surface of AA 5182 Aluminum alloy by applying friction stir process. As a result of the investigations carried out, the best wear resistance was obtained in the reinforced material which was used in the ratio of 75% SiC and 25% BN.

KEYWORDS: Friction Stir Process (FSP), Composite, AA 5182, SiC, h-BN, Composite Structure, Wear,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Metal esaslı kompozitlerin geometrik çeşitleri [9].	5
Şekil 2.	Sürtünme karıştırma prosesinin şematik gösterimi	8
Şekil 3.	Sürtünme Karıştırma Prosesinin kullanıldığı yerler [32].	9
Şekil 4.	Sürtünme Karıştırma Prosesi uygulanmış malzemedeki bölgeler.	9
Şekil 5.	İşlem parametrelerine nedeniyle oluşan hata türleri [32].	12
Şekil 6.	Uygulan yükün malzemenin yapısındaki hatalara etkisi[32].	13
Şekil 7.	Sürtünme karıştırma işlemi takımı şematik çizimi[4].	14
Şekil 8.	Sürtünme karıştırma prosesi takım omuzu tasarımı [35].	15
Şekil 9.	Sürtünme karıştırma işleminde kullanılan pim şekilleri [35].	16
Şekil 10.	Aşınma türleri: a) adhezif aşınma, b) abrazif aşınma, c) yorulma aşınması, d) korozyon aşınması [36].	18
Şekil 11.	Adhezif aşınma bölgesinden bir görüntü [36].	19
Şekil 12.	Abrazif aşınma [36].	20
Şekil 13.	Yorulma aşınması sonucunda yüzeyde oluşan çatlak ve büyümesi [38].	21
Şekil 14.	SKP uygulanmış AA2124-SiC alüminyum alaşımına ait sertlik dağılımı [43].	25
Şekil 15.	SKK uygulanmış AA 6061-T6 alüminyum alaşımına ait sertlik dağılımı[45].	25
Şekil 16.	SKP uygulanmış AA 6063 - T5 alüminyum alaşımının; a) % 6 oranında B4C takviyeli, b) % 10.5 oranında B4C takviyeli durumlarındaki sertlik dağılımı [46].	26
Şekil 17.	SKP uygulama şematik çizimi.	28
Şekil 18.	Kanal profili teknik çizimi.	29
Şekil 19.	Freze tezgâhı; a. genel görünüm b. malzemeye kanal açılmış durumda.	30
Şekil 20.	Kanal açılmış ana malzeme.	30
Şekil 21.	Takviye elemanı olarak kullanılan SiC Parçacıklarının SEM Görüntüsü	31
Şekil 22.	Takviye elemanı olarak kullanılan BN parçacıkları SEM görüntüsü [48].	32
Şekil 23.	Sürtünme karıştırma prosesi düzeneği.	33
Şekil 24.	Sürtünme karıştırma prosesi takımı teknik çizimi.	34
Şekil 25.	Sürtünme karıştırma prosesi şematik görüntüsü ve alınan deney numunelerinin proses bölgesindeki konumları.	35
Şekil 26.	Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı.	36

Şekil 27. Mikro sertlik numunesinin ölçüm doğrultusu.	37
Şekil 28. Aşınma deney düzeneği genel görünüm.....	38
Şekil 29. “Ball-on Disk” deney düzeneği.	38
Şekil 30. SKP işlemi sonrası numunelere ait yüzey görüntüsü.	40
Şekil 31. SKP işlemi sonrasında iç yapıda oluşan bölgeler.....	41
Şekil 32. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182’ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	42
Şekil 33. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182’ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.....	43
Şekil 34. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182’ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	44
Şekil 35. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182’ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	45
Şekil 36. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182’ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	46
Şekil 37. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182’ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	47
Şekil 38. SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182’ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	48
Şekil 39. SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182’ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	49
Şekil 40. SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182’ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.....	50
Şekil 41. SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182’ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.	51
Şekil 42. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182’ye mikro ölçek SEM görüntüsü.	52
Şekil 43. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182’ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.	52
Şekil 44. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182’ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.....	53
Şekil 45. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182’ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.	53
Şekil 46. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182’ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.....	54
Şekil 47. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182’ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.	54

Şekil 48.	SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182'ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.....	55
Şekil 49.	SKP işlemine tabi olmuş %75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.....	55
Şekil 50.	SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.....	56
Şekil 51.	SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.....	56
Şekil 52.	SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.....	57
Şekil 53.	SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.....	58
Şekil 54.	SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.....	59
Şekil 55.	SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.....	60
Şekil 56.	SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.....	61
Şekil 57.	Takviyesiz durumdaki AA 5182'nin sertlik değerleri.....	62
Şekil 58.	%25 SiC ve %75 BN oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.....	63
Şekil 59.	%50 SiC ve %50 BN oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.....	63
Şekil 60.	%75 SiC ve %25 BN oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.....	64
Şekil 61.	%100 SiC oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.....	64
Şekil 62.	Numunelere ait sertlik değerleri.....	65
Şekil 63.	Takviyesiz durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.....	67
Şekil 64.	%25SiC ve %75BN takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.....	67
Şekil 65.	%50SiC ve %50BN takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.....	68
Şekil 66.	%75SiC ve %25BN takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.....	68
Şekil 67.	%100SiC takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.....	69
Şekil 68.	Ortalama sürtünme katsayıları.....	69
Şekil 69.	Takviyesiz AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.....	70
Şekil 70.	Takviyesiz AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.....	71

Şekil 71.	%25SiC ve %75 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.	72
Şekil 72.	%25 SiC ve %75 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.....	73
Şekil 73.	%50 SiC ve %50 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.	74
Şekil 74.	%50 SiC ve %50 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.....	75
Şekil 75.	%75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.	76
Şekil 76.	%75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.....	77
Şekil 77.	%100 SiC takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.	78
Şekil 78.	%100 SiC takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.	79
Şekil 79.	Aşınma deneyi ortalama hacim kayıpları.	80
Şekil 80.	Takviyesiz AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.....	81
Şekil 81.	%25 SiC ve %75 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.	82
Şekil 82.	%50 SiC ve %50 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.	82
Şekil 83.	%75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.	83
Şekil 84.	%100 SiC takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.....	83

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Tablo No</u>
Tablo 1. Değişik takviye elemanlı MMK' ların özellikleri	6
Tablo 2. Bazı takviye elemanları ve özellikleri	6
Tablo 3. Sürtünme Karıştırma Prosesi parametreleri.	34
Tablo 4. Aşınma Deneyi Parametreleri.	37
Tablo 5. AA 5182 kimyasal bileşimi	39



SEMBOLLER DİZİNİ

Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
ASTM	Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
AZ	Magnezyum Alaşımı
BN	Bor Nitrür
CNT	Karbon Nano Tüp
Cu	Bakır
EM	Esas Metal
Fe	Demir
h-BN	Hegzagonal Bor Nitrür
IEB	Isı Etkili Bölge
KB	Karışma Bölgesi
MMK	Metal Matrisli Kompozit
Ni	Nikel
NiTi	Nitinol
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	Silisyum
SiC	Silisyum Karbür
SiO ₂	Silisyum Oksit
SKK	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
SKP	Sürtünme Karıştırma Prosesi
Ti	Titanyum
TiO ₂	Titanyum Oksit
TMEB	Termo Mekanik Etki Bölgesi
VSD	Vickers Sertlik Değeri
α	Alfa
β	Beta
°	Derece
μ	Mikron
μm	Mikrometre
mm	Milimetre



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, otomobil ve uçak sanayi başta olmak üzere günlük yaşantımızda ihtiyaç duyduğumuz çoğu ekipmanda kullanılmaktadır. Mühendislik malzemeleri ve genel olarak metal malzemeler arasında alüminyum ve alaşımların düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, yüksek özgül mukavemet ve maliyetinin düşük olması nedeniyle yaygın olarak kullanılır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları mukavemet/yoğunluk oranı göz önüne alındığında uzay ve havacılık endüstrisinde tercih edilirler. Otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde ağırlık vazgeçilmez bir kriter olduğundan ağır metallerin yerine yüksek mukavemetli düşük ağırlıktaki metallerin kullanılması geçmişten günümüze devam eden bir uygulama olmuştur [1, 2].

Alüminyum ve alaşımları pozitif özelliklerinin yanında düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Bu nedenle alüminyum ve alaşımlarının kaynak işlemlerinin olumsuz yanları da vardır. Öncelikle malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasının yok edilmesi gerekmektedir. Alüminyum ve alaşımları yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan kaynak işlemi sırasında yüksek termal gerilmeler altında malzemede çatlak oluşumu gibi riskler vardır. Isıl iletkenliğin yüksek olması nedeniyle malzemeye gerekenden daha fazla ısı verilmesi gerekir. Sonuç olarak malzemeye verilen fazla ısı malzemede yapısal kusurların oluşmasına neden olur. Kaynak sonrasında malzemede katılma çatlak oluşması ihtimali vardır. Ayrıca alüminyum içerisindeki yüksek çözünme oranı nedeniyle hidrojen malzeme yapısında boşluklar oluşmasına neden olabilmektedir [2].

Alüminyum ve alaşımlarının kaynak edilebilmelerindeki sorunlar ve zorluklar nedeniyle daha kararlı yapıda birleştirmeler yapılabilmesi için yeni uygulamaların araştırılması hız kazanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde geliştirilen bir yöntemde alüminyum ve alaşımları üzerinde oldukça etkili olan Sürtünme ve Karıştırma Kaynağı (SKK)'dir [3].

Alüminyum ve alaşımlarının, sürtünme ve karıştırma kaynağı ile sürtünmeden kaynaklı ısı oluşumu nedeniyle plastik deformasyonla, diğer geleneksel birleştirme yöntemleri dışında kaynak edilebilmesi mümkün olmaktadır. Daha sonra bu kaynak yöntemi kaynak işlemi dışında bir uygulama olarak, kompozit yapılı yüzey oluşumunda, metal matrisli yapıya sahip kompozitlerin mikro yapılarının değiştirilmesinde, toz metalurjisi

kullanılarak imal edilen alüminyum alaşımlarının homojenleştirilmesinde ve döküm olarak üretilen alüminyum alaşımlarının özelliklerini istenilen değerler doğrultusunda iyileştirmek için kullanılmıştır [4].

Mühendislik uygulamaları ve endüstride yorulma ve ömür önem arz etmektedir. Bu nedenle bir malzemenin kullanım ömrünü arttırmak için aşınma direnci gibi yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanır. Bu hususta malzeme yüzeylerini dış etkenlerden korumak ve yüzey özelliklerini iyileştirmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Metal matris ve seramik takviyeli kompozitlerin takviyesiz durumdaki yapılarına göre yüksek elastik modül, yüksek mukavemet, yüksek aşınma direnci ve yorulma direnci gibi özelliklerin daha iyi olduğu bilinmektedir. Otomobil, uzay ve havacılık sektöründe kırılma tokluğu, aşınma direnci, yorulma dayanımı, yüksek elastik modül ve yüksek mukavemet gibi özellikler önemlidir [5].

Malzemenin aşınma direncini yükseltmek için metal matrisli kompozitlere (MMK) takviye elemanı olarak yüksek sertlikte malzemeler eklenir. Aynı şekilde kompozit yapıya takviye edilecek grafit yapıya sahip malzemeler yapıda yağlayıcı özellik sergileyecektir [6].

Malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek ve kullanım ömürlerini arttırmak amacıyla son zamanlarda, plazma sprej, lazer ile ergitme, döküm ve sürtünme ve karıştırma prosesi (SKP) gibi birçok uygulama kullanılmaktadır [5].

Bu çalışmada otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan AA 5182 alaşımının yüzeyinde kompozit bir yapı meydana getirilerek alaşımın tribolojik ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, AA 5182 alaşımının yüzeyinde, aşınma direncini artırmak için yüksek sertliğe sahip parçacık ve sürtünme katsayısını azaltmak için ise katı yağlayıcı parçacık ile desteklenerek, kompozit bir tabakanın elde edilmesi planlanmıştır.

1.2. Alüminyum Ve Alaşımları

Alüminyum alaşımlarında alaşım elementleri olarak genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko, mangan, kurşun ve lityum kullanılır. Alüminyum alaşımları dövme (yoğruk) ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılırlar. Döküm alaşımları kokil kalıba döküm, kuma döküm, savurma döküm ve basınçlı döküm olarak farklı döküm yöntemleriyle üretilebilirler. Amerikan Alüminyum Birliği tarafından dövme alaşımları 1XXX, 2XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX olmak üzere 8 gruba ayrılmıştır. Burada 1XXX Saf alüminyumu, 2XXX Al-Cu, 3XXX Al-Mn, 4XXX Al-Si, 5XXX Al-Mg, 6XXX Al-Mg-Si, 7XXX Al-Zn ve 8XXX Al-Li alaşımlarını belirtmektedir. Bu gruplardaki alaşımlar düşük oranlarda farklı alaşım elementlerini de bünyelerinde bulundururlar [7].

Alüminyum alaşımları malzemeye uygulanan işlem durumlarına göre belirli harflerle gösterilirler. Bu harflerden F harfi üretim sonrasında herhangi bir işlem görmemiş, O harfi yeniden kristalleştirme tavına tabi tutulmuş, H harfi deformasyon sertleştirmesine maruz kalmış, W harfi çözeltili alma veya çözündürme işlemine tabi tutulmuş ve T harfi ısı işlem görmüş anlamına gelmektedir. H harfi ile gösterilen deformasyon sertleştirmesi durumu H1, H2 ve H3 olarak üç başlığa ayrılır. Bunlardan H1 sadece deformasyon sertleştirmesine maruz kalmış, H2 deformasyon sertleştirmesi sonucu belirli oranda tavlanmış, H3 deformasyon sertleştirmesi sonucunda kararlı hale yani stabil duruma getirilmiş anlamını taşır. Bu alaşımlara uygulanan ısı işlemler ise T harfinin yanında 1 ile 10 arasında bir tamsayı yazılarak T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 ve T10 şeklinde gösterilir. Aşağıda bu gösterimlerin anlamları verilmiştir [7].

T1: Sıcak şekillendirme sonrasında oda sıcaklığına soğutularak doğal olarak yaşlandırılmış.

T2: Sıcak şekillendirme sonrasında soğutularak soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T3: Çözeltili alma veya çözündürme işleminden sonra soğuk olarak şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılarak kısmen kararlı hale getirilmiş.

T4: Çözündürme işlemi sonrasında doğal olarak yaşlandırılmış.

T5: Sıcak şekillendirme sonrasında soğutularak yapay yaşlandırılmış.

T6: Çözündürme işleminden sonra yapay olarak yaşlandırılmış.

T7: Çözündürme işleminden sonra aşırı yaşlandırılmış.

T8: Çözündürme işleminden sonra soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış.

T9: Çözündürme işleminden sonra yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş soğuk olarak şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış.

1.2.1. Alüminyum-Magnezyum Alaşımları (Al-Mg, 5XXX)

5XXX serisi alaşımların temelini oluşturan alüminyum-magnezyum alaşımları %0,5 ile %13 değerleri arasında değişen oranlarda magnezyum içerirler. Düşük oranlarda magnezyuma sahip alüminyum-magnezyum alaşımları plastik şekil vermeye, yüksek oranlarda magnezyuma sahip alüminyum-magnezyum alaşımları ise döküme elverişlidir. Bu alaşımlarda magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet değeri de artmaktadır. Krom ve mangan katkıları ikili alüminyum-magnezyum alaşımlarının mukavemet değerini önemli ölçüde artırır. Bu alaşımlar oldukça sünek ve talaşlı imalata elverişli olmakla beraber deniz suyu korozyonuna karşı oldukça dayanıklıdır [7].

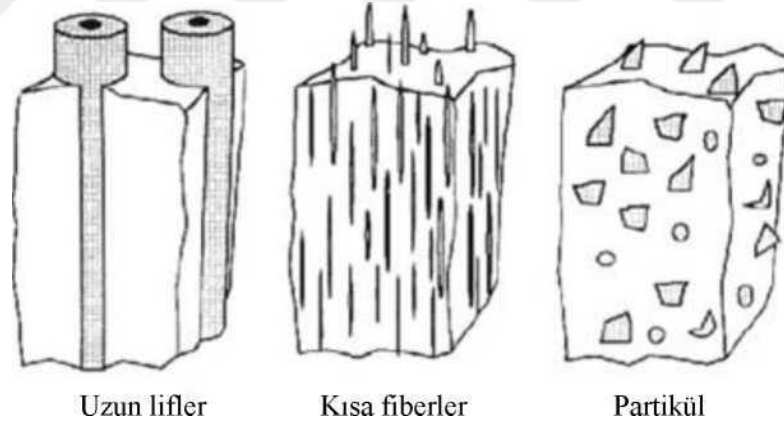
Alüminyum- magnezyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılır. Ticari olarak dövme alaşımlarının çoğu %5'ten daha düşük ve döküm alaşımların çoğu ise bu değerden daha yüksek oranlarda magnezyum içerirler. Bu alaşımlar içerdikleri magnezyum oranlarına göre numaralandırılırlar. Örnek olarak %0,8, %1,2, %2,5, %4,5 ve %5,2 oranlarında magnezyum içeren dövme alüminyum-magnezyum alaşımları sırasıyla AA 5005, AA 5050, AA 5052, AA 5182 ve AA 5056 şeklinde gösterilir. Aynı şekilde %3,8, %8, %10 magnezyum içeren döküm alaşımları sırasıyla alaşım 214, alaşım 218 ve alaşım 220 olarak isimlendirilirler. Dövme alaşımları orta düzeyde mukavemete, yüksek korozyon direnci ve oldukça iyi kaynak edilebilirliğe sahiptirler. Ancak bu alaşımların çoğu ısıtılma işlemine uygun değildir. 5XXX serisi alaşımlarından dövme grubundakilerden AA 5005 mimari uygulamalarda farklı parçalar ve yapı elemanlarında, AA 5050, AA 5182, AA5252, AA 5083 otomotiv sanayinde yakıt ve yağ borularında, iç panel, kaporta, A/C sistem kutusu v.b. uygulamalarda, AA5052 uçak sanayinde yakıt ve yağ borularında, AA 5056 perçin, kablo kılıfı ve sineklik yapımında kullanılır. Aynı şekilde döküm grubu alaşımlardan 218 ve 220 süt ve yiyecek ekipmanları, deniz araçları ve kimyasal tesislerin tesisat parçaları yapımında ve uçak frenleri pabuç yapımında kullanılır [7].

1.2.2. Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemeler

Alüminyum esaslı kompozit malzemeler, adhezif aşınmanın ön planda olduğu otomotiv sektöründe çimento gibi toz ürünlerin sevkiyatında kullanılan silobas basınçlı tanklarında ve çeşitli makine parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılır. Bu malzemelerin yüzeylerinde aşınmaya karşı dirençli bir katman olması tribolojik olarak üstünlük sağlar [8].

Malzemenin aşınma direncini yükseltmek için metal matrisli kompozitlere (MMK) takviye elemanı olarak yüksek sertlikte malzemeler eklenir. Aynı şekilde kompozit yapıya takviye edecek grafit yapıya sahip malzemeler yapıda yağlayıcı özellik sergileyecektir [6].

Kompozit yapılar içerdikleri takviye elemanına göre üç başlığa ayrılırlar. Bunlar uzun lifli takviye elemanı, kısa fiberler içeren takviye elemanı ve partikül şeklinde takviye elemanlı kompozit malzemelerdir. Metal esaslı kompozit malzemelerin geometrik çeşitleri Şekil 1’de verilmiştir. Kompozit malzemeler içerdikleri takviye elemanına göre değişik özellikler sergilerler. Bu özellikler Tablo 1’de kısaca gösterilmiştir.



Şekil 1. Metal esaslı kompozitlerin geometrik çeşitleri [9].

Kısa boylardaki takviye elemanlı metal matrisli kompozit malzemeler, aşınmaya karşı gösterdiği yüksek direnç ve düşük maliyetinden dolayı aşınmanın söz konusu olduğu yerlerde tercih edilebilmektedirler.

Tablo 1. Değişik takviye elemanlı MMK' ların özellikleri [9].

MMK Tipi	Dayanım Özellikleri	Elastisite Modülü	Yüksek Sıcaklıktaki Özellikleri	Aşınma	Maliyet
Kısa takviye elemanlı MMK	**	**	*	***	Düşük
Uzun fiber takviyeli MMK	**	**	**	*	Yüksek
Diğer fiberler	***	***	***	*	Yüksek

Metal matrisli kompozitler için takviye elemanı partiküller, lifli fiberler, sürekli ve süreksiz fiberlerdir. Takviye elemanlarının doğru seçimi kompozitler için çok büyük önem arz ettiğinden, takviye elemanlarının özelliklerini iyi bilmek gerekir. Fiberler kimyasal uyumluluk, ısıl direnç, üretim kolaylığı, maliyet ve yoğunluk gibi kriterlere göre seçilmelidir [10]. Tablo 2’de farklı takviye elemanlarının bazı özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Bazı takviye elemanları ve özellikleri [9].

Parça Özellikleri	SiC	Al ₂ O ₃	AlN	TiB ₂	TiC	BN
Kristal Çeşidi	hekz.	hekz.	hekz.	hekz.	kübik	hekz.
Ergime Noktası [°C]	2300	2050	2300	2900	3140	3000
Elastisite Modülü	480	410	350	370	320	90
Yoğunluk [g cm ⁻³]	3.21	3.9	3.25	4.5	4.93	2.25
Isı iletim katsayısı [W m ⁻¹ K ⁻¹]	59	25	10	27	29	25
Termal genleşme katsayısı [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	4.7-5.0	8.3	6.0	7.4	7.4	3.8

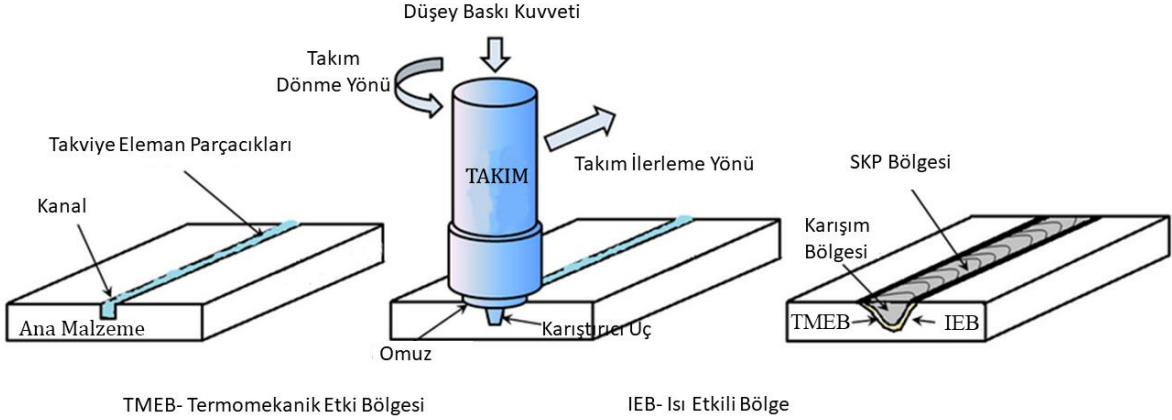
Genel olarak kullanılan silisyum karbür fiberlerin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklardaki dayanımı ve rijitliğini koruması bor fiberlerden daha iyidir. Ergimiş alüminyumun silisyum karbür fiberler üzerindeki etkisi de bor fiberlere göre düşüktür. Bunun için alüminyum matrislerde takviye eleman olarak kullanılan bor filamanlar silisyum karbür ile kaplanır. Bor fiberlerin üretim prosesine eşdeğer proseslerle üretimi gerçekleştirilen SiC fiberler uzun kristalli yapıya sahip olmalarına rağmen, yüzeyleri bor fiberlere göre daha düzgündür. SiC ve B fiberlerin yanında metal matrisli kompozitlerde silisyum karbür ve bor nitrür parçacıklarda kullanılır [11].

1.3. Sürtünme ve Karıştırma Prosesi (SKP)

Sürtünme ve karıştırma prosesi, 1991 yılında Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından geliştirilen ve temel olarak sürünme ve karıştırma kaynağını alan bir katı hal prosesidir. Sürtünme ve karıştırma kaynağı (SKK) son dönemin en önemli kaynak yöntemlerinden biri olarak kabul edilir [12]. Yeşil teknoloji olarak da adlandırılan bu yöntem enerji verimliliği, çevre dostu olması ve çok yönlü oluşu sayesinde diğer kaynak yöntemlerine alternatif bir yöntem olmuştur. Diğer kaynak yöntemlerine göre oldukça az enerji ihtiyacı olmaktadır. Kaynak işleminde herhangi bir koruyucu gaza gerek duymaz ve bu nedenle çevre dostudur. Ayrıca kaynak için dolgu metaline ihtiyaç duymaz [4]. Sürtünme ve karıştırma prosesinin ana düşüncesi oldukça basittir. Karıştırma işlemini yapacak takımın omuz kısmı yük ve dönme etkisiyle malzemeye sürtünür ve bu sürtünme sonucu ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı sayesinde malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti yükselir. Şekil değişimi özelliği artan malzeme içerisine dalan takım pimi malzemeyi büyük oranda plastik deformasyona maruz bırakır.

Takımın iki ana amacı vardır. Birincisi iş parçasını ısıtırmak ikincisi ise malzeme akışı sağlayarak prosesi gerçekleştirmektir. Bölgesel olarak ısının artması nedeniyle pim etrafındaki malzemede plastik deformasyon başlar ve pim etrafı yumuşar. Takım pim çapı, omuz çapı, devir sayısı, ilerleme hızı, takım açısı ve uygulanan yük gibi parametrelere bağlı olarak pim önünden arka tarafına doğru malzeme akışı gerçekleşir. Bu işleme malzeme katı fazda iken işlem gördüğünden katı hal kaynak yöntemi denilmektedir. SKK işlemi sırasında yükselen sıcaklık ile malzemede plastik deformasyon sonucu iyi ve eş eksenli yeniden kristalleşmiş tanelere sahip bölgeler oluşmaktadır. SKK ile taneler üzerinde iyileşme sağlandığından aynı zamanda malzemenin mekanik özelliklerinde de iyileşmeler olmaktadır [4].

Bu proses için kullanılan takım erişilen sıcaklık seviyelerinde yeterli mukavemet değerine sahip bir takım malzemesinden imal edilir. Takımın dönüşü ve ileri yönde hareketi, takım piminin ön taraftan arka tarafa doğru malzeme hareketine (Şekil 2) neden olarak karıştırma işlemini gerçekleştirir [4, 13-15]. Sürtünme ve karıştırma prosesine ait mikro yapılar ilk olarak Mishra ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [16, 17].



Şekil 2. Sürtünme karıştırma prosesinin şematik gösterimi

Kompozit malzemelerin üretiminde SKP ilgi çeken popüler bir prosestir. SKP'nin kullanım amacına göre kompozit malzemelerde matris ve takviye eleman çiftlerinden bazıları aşağıda örnek olarak verilmiştir.

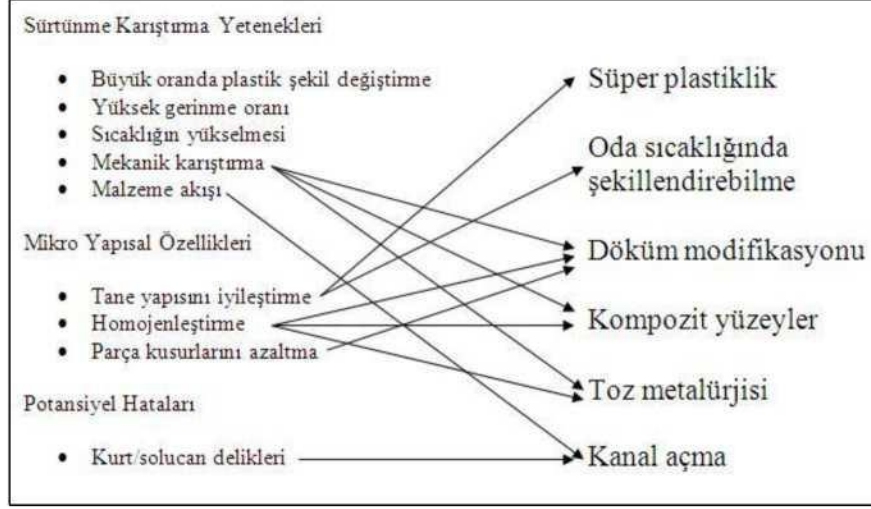
Al matrisli kompozitler : Al-SiC [5, 18], Al-Al₂O₃ [19, 20], Al-NiTi [21], Al-CNT [22, 23], Al-Ni[24], Al-TiO₂ [21].

Mg matrisli kompozitler : AZ31-ZrO₂ ve SiO₂ [25], AZ61-SiO₂ [26] , AZ31-SiC [27], AZ31-CNT [25].

Genel anlamda işlem süreci, metal matris levha yüzeyine bir kanal ya da delikler içerisine takviye malzemenin yerleştirilmesi ve sonrasında sürtünme ve karıştırma prosesi ile yüzeyde kompozit bir yapı oluşturulması şeklinde ilerler. Takviye elemanın matris içerisinde homojen bir dağılım sergileyebilmesi ve minimum takviye eleman kaybı için en uygun yöntem levha üzerine açılan kanallara takviye elemanın yerleştirilip takım ile sürtünme ve karıştırma prosesini uygulamaktır [19, 26]. Lim ve Mahmoud bu proseste farklı olarak levhalar üzerine açılan kanalları takviye malzemesi ile doldurup sonrasında ince bir levha ile örtmesi ve sonrası SKP işlemini uygulamışlardır [22, 28-31].

Sürtünme karıştırma prosesi, sürtünme karıştırma kaynak yönteminden yola çıkılarak Mishra ve arkadaşları tarafından da geliştirilmiştir. Prosesin geliştirilme amacı malzemenin mikro yapısal özelliklerinin iyileştirilmesidir. Örnek olarak, AA 7075 alüminyum alaşımının bu proses ile süper plastik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sürtünme ve karıştırma prosesi toz metalurjisi ile imal edilen metal matrisli kompozit malzemelerin ve döküm

alüminyum alaşımlarının homojenleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Proses amacıyla kullanım alanları Şekil 3’ te gösterilmiştir [32].



Şekil 3. Sürtünme Karıştırma Prosesinin kullanıldığı yerler [32].

1.3.1. Sürtünme Karıştırma Prosesinde Malzemede Oluşan Bölgeler

Sürtünme karıştırma kaynağı ve sürtünme karıştırma prosesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak 4 bölgeden bahsedilmiştir (Şekil 4). Bu bölgeler sırası ile; esas metal, IEB, TMEB ve karışım bölgesidir. Karışım bölgesi bazı çalışmalarda “kaynak metali” ve “kaynak dolgusu” olarak da geçmektedir.



Şekil 4. Sürtünme Karıştırma Prosesi uygulanmış malzemedeki bölgeler.

1.3.1.1. Esas Metal (EM)

Bu bölge mekanik deformasyondan ve ısıdan etkilenmeyen bölgedir. Dövme alaşımlarda esas metal bölgesi tipik hadde yapısında ve uzun tanelidir [3].

1.3.1.2. Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB)

Bu bölgede mekanik bir deformasyon yoktur. Lakin proses sırasında ortaya çıkan ısı malzemenin yapısal özelliklerini etkilemektedir. Bu bölge ısıdan etkilenmiş bölge olarak tanımlanır. IEB optik mikroskop altında, ergitme kaynak yöntemlerinde gözlemlenenin aksine esas metalden farklı görülmemektedir. Yaşlandırılmış veya mekanik olarak sertleştirilmiş alaşımlarda bu bölge sert değildir. Aşırı yaşlandırma ve tavlama işlemi IEB'nin iç yapısına benzer etkiler yapar [3].

1.3.1.3. Termomekanik Etki Bölgesi (TMEB)

Bu bölge takım etkisi altında plastik deformasyona maruz kalmıştır ve prosesin ısısından etkilenir. Termo mekanik etki bölgesinde kaynak işlemi, yeniden kristalleşme ve uzun tanelerin kıvrılmasına neden olabilmektedirler. Bu konuda yapılan ilk çalışmalarda bu bölge iki alt bölge olarak değerlendirilmesine karşın son yapılan çalışmalar diğer metaller ve alaşımların Sürtünme Karıştırma Kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde farklı davranışlar ortaya koyduklarını ve bunun da alüminyumdan farklı olduğunu ortaya koymuştur. Çünkü alüminyum yüksek sıcaklıklarda yeniden kristalleşme özelliği göstermeden farklı davranışlara sahip olabilmektedir. Diğer metallerde, yeniden kristalleşme sınırları gözlemlenmez ve tüm TMEB yeniden kristalleşmiş olarak görülür. Saf titanyum, β -titanyum alaşımları, bakır ve ostenitik paslanmaz çelik gibi metaller ısı tesiri ile faz dönüşümü olmayan gerilmesiz kendi başlarına yeniden kristalleşme özelliği sergilerler. Ferritik çelikler ve Ti6Al4V gibi $\alpha + \beta$ titanyum alaşımlarında ısı etkili faz dönüşümleri ile mikro yapı hakkında bilgi edinilebilmesi oldukça zordur. Bununla beraber IEB ile TMEB sınır çokta belirgin değildir [3].

1.3.1.4. Karışım Bölgesi

Kaynak bölgesi, TMEB içerisinde yeniden kristalleşen ince taneli bölgedir. Bu tanımlama gerçekte bilimsel bir tanım olmamasına karşın bu tanımın yerine koyulacak bir terimin bulunamaması nedeniyle bilimsel camiada oldukça kabul görmüş ve terminolojiye bu şekilde geçmiştir. Şekil 4'te görülebileceği üzere takım omuzunun altında farklı tane yapısına sahip ve kesin hatları ile görülebilen TMEB' in bir kısmı olan bölgedir. Bazı çalışmalarda karışım bölgesindeki yeniden kristalleşmiş tanelerin, yoğun olan alt taneleri ve dislokasyonları da içerebileceği gösterilmiştir. Proses parametreleri, takım geometrisi, iş parçasının sıcaklığı ve malzemenin ısıl iletkenliğine bağlı olarak farklı şekillerde karışım bölgesi gözlemlenmektedir [3].

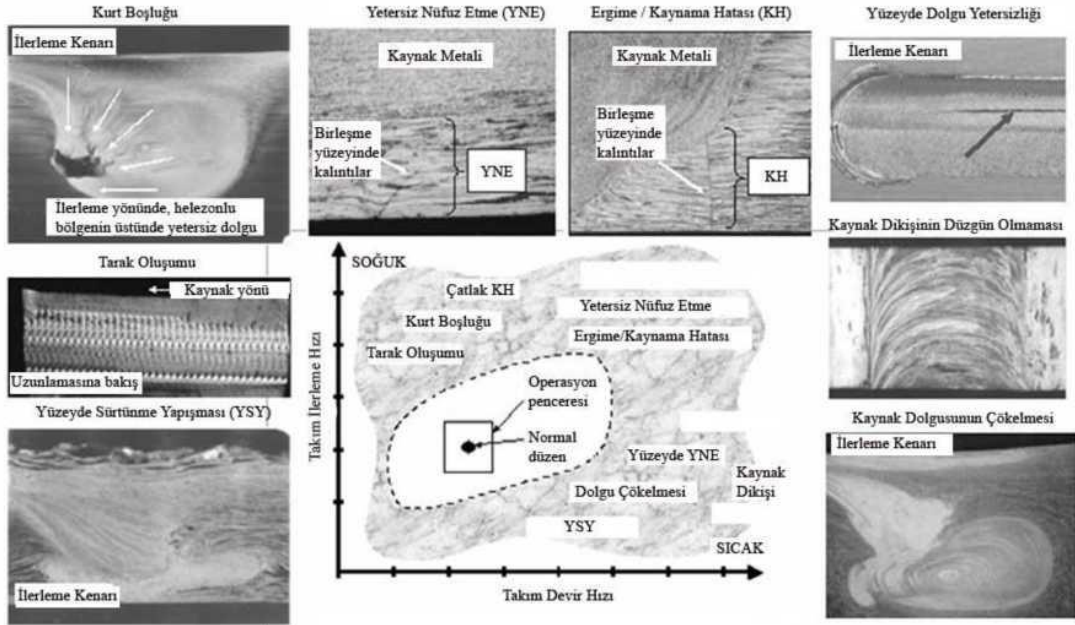
1.3.2. Sürtünme Karıştırma Prosesi Sonucunda Oluşabilecek Hata Türleri

SKK işleminde oluşabilecek genel kusurlar metalin akış formuna ve kullanılan takımın pim-omuz geometrisi ile ilgilidir. Şekil 5' te SKK işlemi sonucunda uygulama parametrelerine göre oluşan kusur ve hata türlerini göstermektedir.

Oluşan yapı dört bölgede incelenecek olursa, 1. bölge ilerleme kenarının altındaki bölge, 2. bölge yığılma kenarı altında kalan bölge, 3. bölge yüzeyin hemen altındaki bölge ve 4. bölge pim ucunun temas ettiği bölgedir.

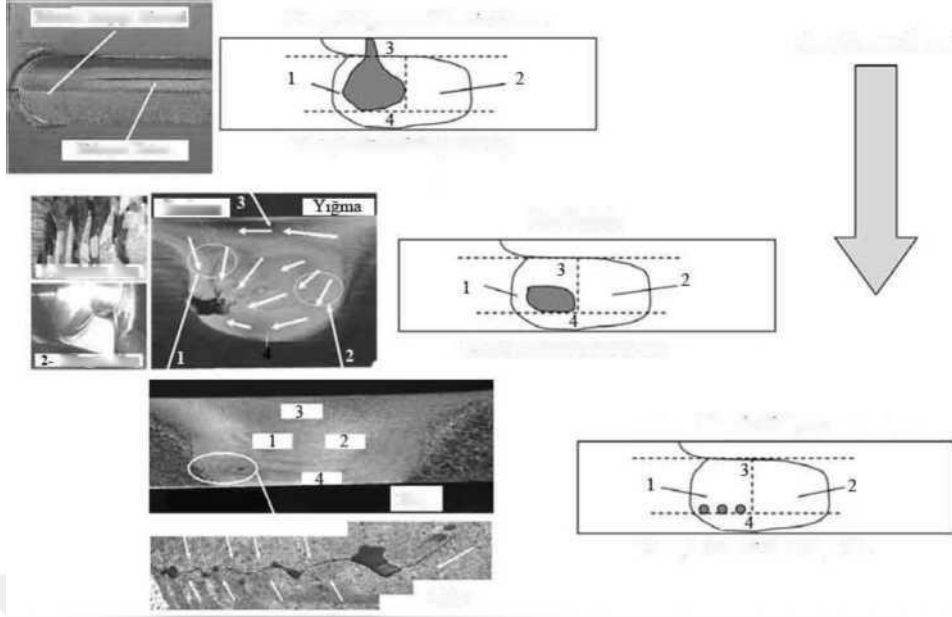
Sıcak proses koşulları altında dengesiz metal akışı formu ve kaynak karışım bölgesinde metal çökmesinin oluşması gözlemlenir. 3. Bölgede ilerleme kenarının altında bulunan bölgeden 1. bölgeye oldukça fazla miktarda metal akışı sağlanır. Bu durumda herhangi bir boşluk meydana gelmese de bu bölgelerde (TMEB, IEB) sıcaklığın yükselmesi nedeniyle mekanik özelliklerin değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun dışında aşırı yüksek sıcaklıklarda ise kök-akışı (root-flow) meydana gelmektedir. Bundan dolayı yüksek miktarda ergimiş metal 4. bölgeye doğru yönlendirilerek pim ucuna fazla miktarda ergimiş metal gidecektir. Bunun sonucunda malzemenin bağlantı mukavemeti ve yorulma ömründe azalma gözlenecektir. Yine yüksek sıcaklıklarda yüzeydeki 3. bölgede ergimiş metal ile takım omuzu arasında adhezif etki gözlemlenir. Yüzeyde sürtünmeye bağlı yapışma ve yırtılmalar meydana gelebilir. Yüksek sıcaklık etkisinden dolayı 3. bölgeden pim ucuna doğru katı eriyik durumda metal akışı gözlenir, bu durumda meydana gelen akış sonucunda

dengesiz ya da orantısız akışlar meydana geleceğinden proste kullanılan takımın omuzundaki baskı kuvveti düşer ve takımın dövme basıncı azalır [32].



Şekil 5. İşlem parametrelerine nedeniyle oluşan hata türleri [32].

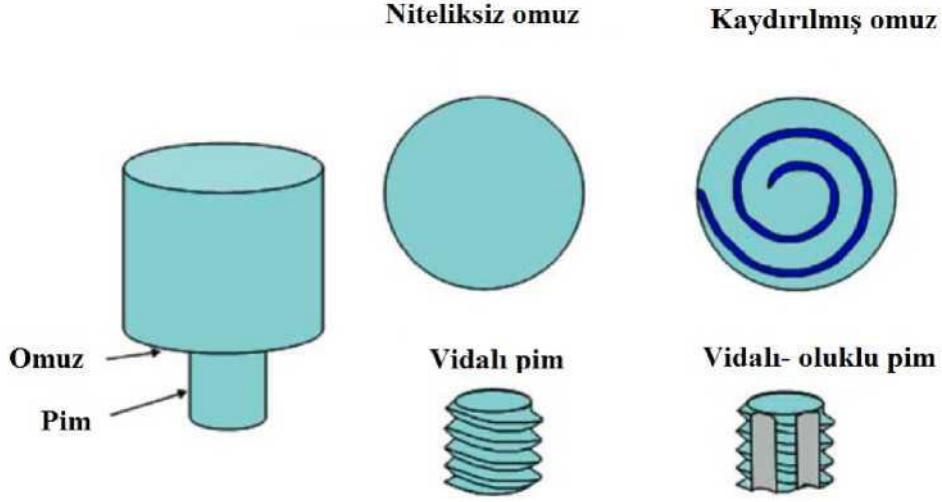
Düşük proses sıcaklığı nedeniyle, solucan deliği (kurt boşluğu) kusuru oluşabilir. Bu durum ilerleme kenarı altındaki 1. Bölgede dolgu metalinin eksik kalmasından kaynaklanan bir kusurdur. Bu kusurun giderilmesi takımın malzeme üzerindeki baskı yükünün artırılması ile giderilir. Çok düşük yüklemelerde yüzeyin tamamen kapanmaması, süreksizliğin olması ve aralıklı bir biçimde 1. ile 4. bölgelerin ara yüzeyinde ufak boşluklar oluşması gibi kusurlar görülebilir. Uygulanan yük ve pim ile takım omuzunun geometrisinin tasarımı, prosesin sınır değerleri ve kaynak bölgesindeki metal akışını etkilediğinden dolayı uygulanan yük ve kullanılan takım geometrisi seçimi önemli parametrelerdir. Farklı yükler altında yapılan çalışmalarda, meydana gelen boşlukların uygulanan yük ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 6). Bu kusurlar, malzeme yüzeyinde oluşan süreksizlikler, solucan boşlukları ve düzensiz mesafelerde oluşan küçük boyuttaki boşluklardır.



Şekil 6. Uygulan yükün malzemenin yapısındaki hatalara etkisi[32].

1.3.3. Sürtünme Karıştırma İşleminde Takım

Sürtünme Karıştırma işleminin gelişiminde takım omuz ve pim geometrisi en etkili parametredir. Şematik olarak bir omuz ve bir pim den oluşan takım Şekil 7’de gösterilmiştir. Takımın iki temel görevi vardır. Bunlardan birincisi pimin malzemeye dalarak yüze ile pim arasında sürtünmeden kaynaklı ısı açığa çıkartmaktır. Takım omuzu malzeme yüzeyine temas edene kadar omuz malzemeye yaklaştırılır. Omuz ve malzeme arasında temas esnasında yüksek miktarda ısı elde edilir. Pim ve omuz çapı oranının optimum oranında seçilmesi açığa çıkan ısı miktarını etkiler ve bu ısının kontrol altında tutulmasını sağlar. Bu temel görevlerden ikincisi ise takviye parçacık veya malzeme ile ana malzemenin istenilen parametrelere bağlı olarak homojen olarak karışmasını sağlamaktır. Malzemenin mikro yapısal ve mekanik özellikleri proses sürecinin büyük çoğunluğunda takım omuz ve pim ucu tasarımı ile kontrol edilir. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar başarılı uygulamalarda genellikle iç bükey omuz ile silindirik ve dişli pim tasarımlarının kullanıldığı görülmüştür [4, 5, 16, 17].

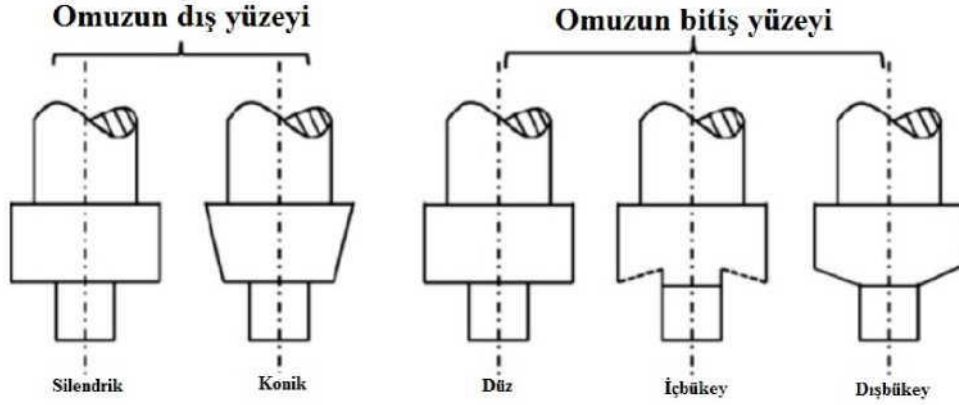


Şekil 7. Sürtünme karıştırma işlemi takımı şematik çizimi[4].

1.3.3.1. Takım Geometrileri

Takım omuzunun temel görevi proses esnasında ihtiyaç duyulan sıcaklığa erişebilmek için gereken ısının üretilmesidir. Diğer taraftan malzeme yüzeyinin yumuşaması ve malzemenin sıkıştırılması için malzeme yüzeyine baskı kuvveti oluşturmakta takım omuzunun görevidir. Standart olarak tasarlanmış bir takımın omuz geometrisi Şekil 8'de gösterilmiştir [33].

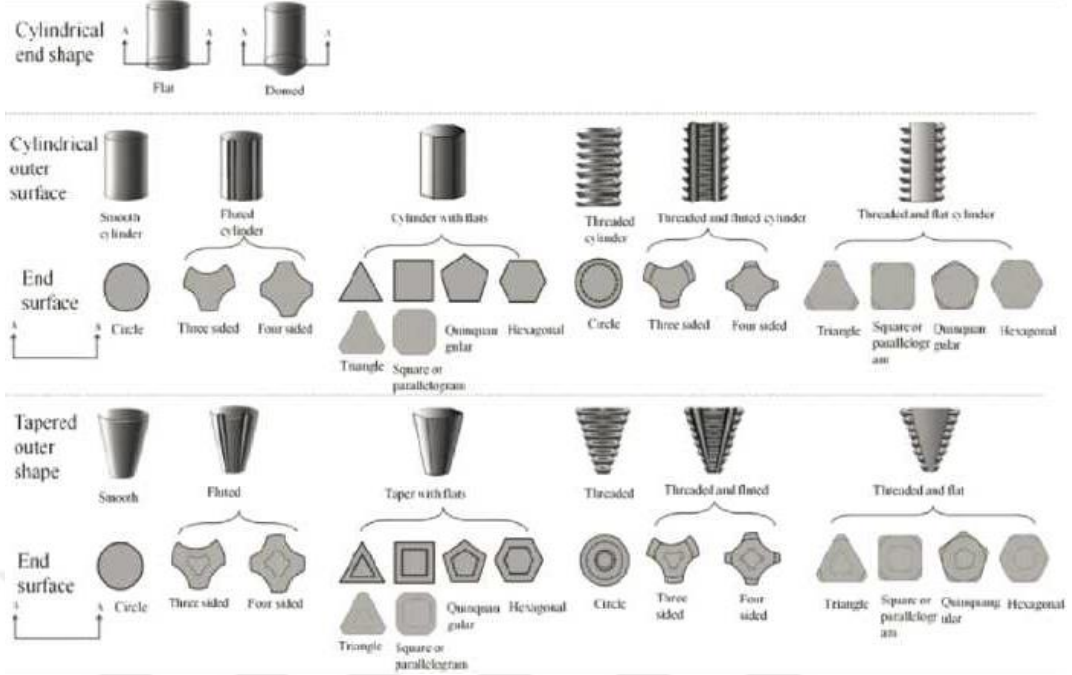
Omuz geometrisi üç farklı şekilde olabilir. En basit omuz geometrisi düz olandır. Bu tip omuz tasarımında omuz altında akan malzeme kontrol edilemez ve istenmeyen malzeme kaybı oluşturur. İç bükey tasarıma sahip omuz geometrisi ise omuz kenarlarında oluşabilecek malzeme akışını sınırlandırmak amacıyla tasarlanmıştır [34]. Omuz tasarımında bir diğer geometri ise dış bükey tasarımdır [33]. Dış bükey bir geometriye sahip takım omuzunun en büyük yararı dış bükey kenarların herhangi bir bölgesinin iş parçasına temas edebilmesidir. Diğer yönden pimin, malzeme akışında başarısız olduğu yerlerdeki sorunu, bu dış bükey geometriye sahip olan omuz ile giderilebilir [35].



Şekil 8. Sürtünme karıştırma prosesi takım omuzu tasarımı [35].

Karışım kalitesini arttırmak, malzemenin sürtünmesi ve plastik deformasyonu gibi özelliklerini arttırmak için takım omuz ve pim yüzeyleri eklenebilir. Genel olarak SKP işleminde kullanılan pim şekilleri Şekil 9’da gösterilmiştir. Pim ucunun ana görevi, iş parçası temas yüzeyini dağıtmaktır. Pim geometrisinin neden olduğu deformasyon derinliği, maksimum pim ucu hareket hızı ile ayarlanabilmektedir. Şekil 9’da da görüleceği üzere pim ucu geometrisi düz veya yarım küre şeklinde olabilir. Yarım küre şeklindeki pim ucu geometrisi düz geometriye göre daha az baskı kuvvetine maruz kalır. Diğer taraftan tasarımı nedeniyle kritik bölgelerde gerilme yığılmaları daha az oluşur, bu durum takım ömrünü artırır ve takımın daha az aşınmaya maruz kalmasını sağlar. Fakat imalatı kolay olduğundan dolayı yaygın olarak düz pim ucu geometrisi kullanılmaktadır [35].

SKP takımının piminin dış yüzeyi silindirik veya konik geometri olabilir. Konik pim yan yüzeyi geniş sürtünme alanı nedeniyle yüksek miktarda sürtünme ısı üretmesinin yanında malzemede plastik deformasyon oranının artmasına sebep olur. Bununla beraber konik yapısından kaynaklı pimin yüksek miktarda aşınmasına ve proses bölgesindeki malzeme akışının basıncının artmasına sebep olsa da homojen bir karışımın gerçekleştirilebilmesi için kullanılır [35].



Şekil 9. Sürtünme karıştırma işleminde kullanılan pim şekilleri [35].

1.3.3.2. Sürtünme Karıştırma Takım Malzemeleri

Takım imalatı için kullanılacak olan malzemenin seçiminde en önemli iki parametre işlenecek malzemenin özellikleri ve kabul edilebilecek takım ömrüdür. Bu nedenle takım malzemesi seçilirken aşağıdaki kriterler dikkate alınır.

- Yüksek sıcaklıklarda, takımın kullanılacağı malzemenin daha yüksek mukavemete ve akma dayanımına sahip olmalıdır.
- Sürünme direnci yüksek ve boyutsal kararlılığı olmalıdır.
- Termal yorulma dayanımı yüksek, tekrarlı ısınma ve soğuma döngülerine karşı dirençli olmalıdır.
- Takım malzemesi ile iş parçası arasında kimyasal etkileşim olmamalıdır.
- Takımın dalma esnasındaki baskı kuvvetine karşı yüksek kırılma tokluğu olmalıdır.
- Takımdaki termal gerilmeleri azaltmak için pim ve omuz geometrilerinin ısıl genleşme katsayısı farkı oldukça az olmalıdır.
- Şekillendirilme ihtiyacı için işlenebilirliği yeterli düzeyde olmalıdır.
- Maliyeti uygun olmalıdır.

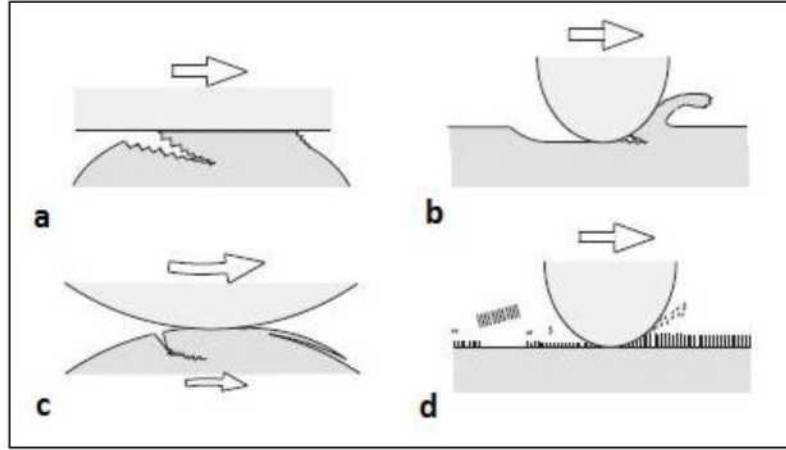
Alüminyum ve alaşımlarını işlemek için kullanılan malzemeler genel olarak takım çelikleridir. Takım çelikleri arasında yaygın olarak AISI H13 ısıtılma işlemi takım çeliği kullanılmaktadır. Geniş yelpazedeki bu uygulamalara ek olarak tek dezavantajı dışı ve düz yüzey geometrisine sahip takımların işleme zorluğudur. Bunun yanında yüksek sıcaklığa dayanıklı metallere örnek olarak, molibden, tungsten, tantal ve titanyum verilebilir. Bu metaller tek fazlı yapıları nedeniyle kullanıldıkları alanlarda yüksek sıcaklıklarda (1000-1500°C) kararlı mekanik özellikler sağlar. Takım malzemesi olarak bu metalleri kullanmak iyi sonuçlar verebilir fakat üretim süreçlerinin (toz metalurjisi) maliyetli olması dezavantajlarıdır. Bunların yanında karbür malzemelerde yüksek sıcaklıklardaki mekanik davranışları ve kırılma tokluğu gibi özelliklerinin iyi olması nedeniyle takım malzemesi olarak kullanılır. Fakat üretim maliyetleri ve takım geometrisi için işlenebilirliklerinin zor olması ve boyut sınırlamalarının olması gibi dezavantajlara sahiptirler [35].

1.4. Aşınma

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle oluşan malzeme ve kütle kaybı olarak tanımlanırken, DIN 50320 standardına göre malzeme yüzeyinden mekanik etkenler sonucunda küçük parçacıkların ayrılması neticesinde istenmeyen şekilde oluşan değişiklik olarak tanımlanır. Çoğu makine elamanının ömrü ve çalışma kabiliyeti, çalışma sırasında oluşan aşınma miktarı ile sınırlıdır. Aşınma bu nedenle endüstriyel alanda büyük bir problemdir.

1.4.1. Aşınma Mekanizmaları

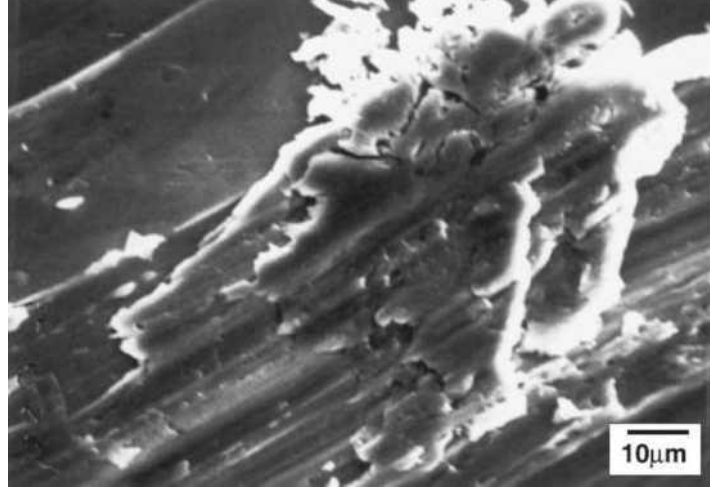
Tribolojik etki altında bulunan metal malzemelerde yaygın olarak karşılaşılan 4 farklı aşınma mekanizması mevcuttur. Bu aşınma mekanizmaları Şekil 10'da açıklanmıştır.



Şekil 10. Aşınma türleri: a) adhezif aşınma, b) abrazif aşınma, c) yorulma aşınması, d) korozyon aşınması [36].

1.4.1.1. Adhezif Aşınma

Birbirine göre izafi olarak hareket eden iki yüzeyin temas halinde olması adhezif yapışma direnci oluşturabilecek kadar temas edebilmesi durumunda temas yüzeyinde yüksek oranda plastik deformasyon meydana gelir. Temas yüzeyinde oluşan plastik deformasyon miktarındaki artış sonucunda yüzeyde çatlak oluşumu başlar ve büyür. Bu çatlak temas yüzeyine ulaştığı zaman aşınma partikülü oluşur ve adhezif taşınma tamamlanır. Adhezif bir aşınma görünümü Şekil 11’de gösterilmektedir. Bu tür aşınma olayı yüzeyde yeterince yapışma meydana getirdiğinden adhezif aşınma adıyla anılır [36].



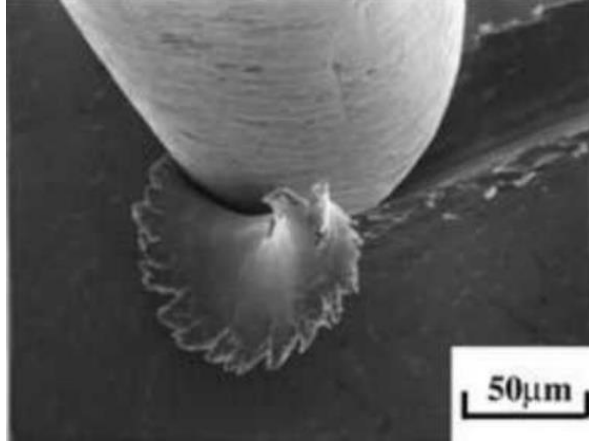
Şekil 11. Adhezif aşınma bölgesinden bir görüntü [36].

Adhezif aşınma sonucunda yüzeylerden kopan parçacıklar hareket halindeki yüzeyler arasında kalarak ara katman oluştururlar (Şekil 11). Temas halinde olan iki yüzey birbirine göre izafi hareketi sonucunda yüzeydeki pürüzler birbirlerini kopararak yüzeye yapışma eğilimi gösterirler [37].

1.4.1.2. Abrazif Aşınma

Birbirine temas eden iki yüzeyden bir yüzeyin diğer yüzeyden malzeme koparması olayına abrazif aşınma denir [36].

Kırılma tokluğu yüksek olan sünek malzemeler, hatta seramikler kayma esnasında sert parçalar tarafından plastik deformasyona maruz bırakılırlar, kırılma tokluğu yüksek olan gevrek malzemelerde ise yüzey pürüzlerinin kırılmasıyla yüzeyde malzeme kaybı meydana gelir [37].

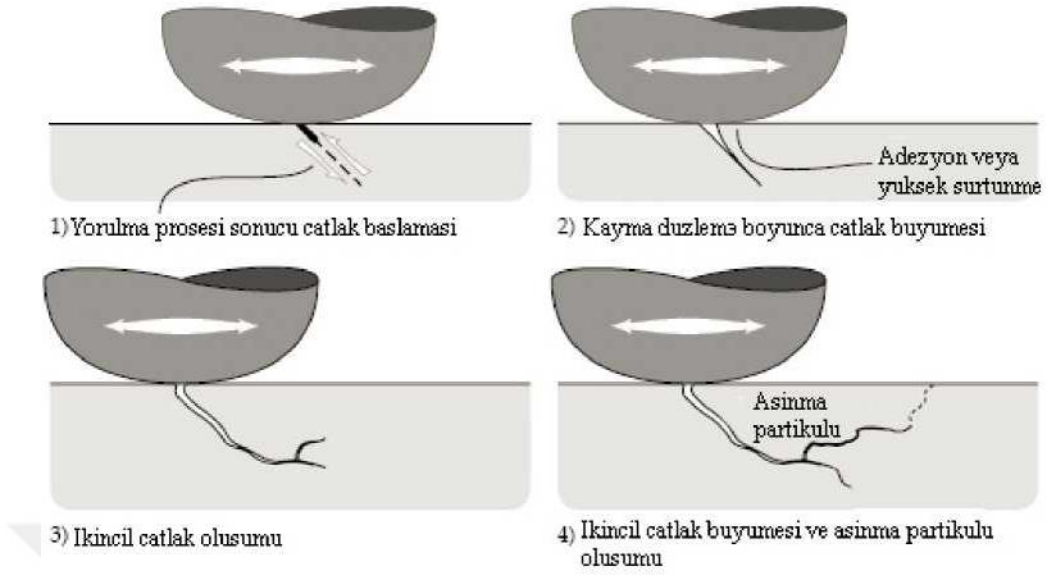


Şekil 12. Abrazif aşınma [36].

Metal işlemek için yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat uygulamaları temelinde abrazif aşınmaya dayanır. Şekil 12’de gösterildiği gibi sert parçaların sünek malzemeler üzerinden parça koparması ya da batmasın olayı abrazif aşınmaya neden olabilmektedir [37].

1.4.1.3. Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, titreşim etkisi altındaki zorlanmalarda yorulma kırılması hasarı şeklinde görülür. Şekil 10c’de şematik olarak yorulma aşınması gösterilmektedir. Yorulma aşınması birbirinden farklı ve tekrarlı yükler altında meydana gelir. Yorulma aşınması, tribolojik baskılar altında genelde yüzeyde görülen, büyüklüğü konum ve zamana göre değişen mekanik gerilmeler nedeniyle açığa çıktığından, pek çok aşınma prosesinde görülebilir. Sonuç olarak malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşarak yüzeyde parçacıkların kopmasına, çukur ve oyukların oluşmasına neden olur [38]. Yüzeyde çatlak oluşumu ve ilerleme mekanizması Şekil 13’ te verilmektedir.



Şekil 13. Yorulma aşınması sonucunda yüzeyde oluşan çatlak ve büyümesi [38].

1.4.1.4. Korozyon Aşınması

Korozif aşınma, kayma işleminin korozif ortamda olması durumunda meydana gelmektedir. Hava içerisinde oksijen bulunduğundan korozif etki oluşturur. Hava içerisindeki oksijen metal yüzeyinde oksit tabakası oluşturur ve birbiri ile temas halinde bulunan iki yüzey birbiri üzerindeki bu oksit tabakasını aşındırır. Korozyon aşınması şematik gösterimi Şekil 10 d' de gösterilmektedir. Ortamda sürekli olarak oksijen olduğundan dolayı bu işlemde sürekli tekrarlanır [37].

2. LİTERATÜR ÖZETİ ve ÇALIŞMANIN AMACI

2.1. Literatür Özeti

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Alüminyum ve alaşımlarına Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Sürtünme Karıştırma Prosesi uygulanan birçok çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Sürtünme Karıştırma Prosesi parametrelerine bağlı olarak mikro yapısal, mekanik ve tribolojik özellikler incelenmiştir. Sürtünme Karıştırma Prosesi uygulanan çalışmalarda genellikle malzeme yüzeyinde kompozit bir yapı oluşturulması ve bu yapının aşınma davranışlarının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında farklı malzemelerin oluşturduğu matris ve farklı takviye elemanları ile çeşitli parametrelerin seçilerek uygulandığı prosese ilişkin çalışmalarda mevcuttur.

Şahin (1996), yapmış olduğu çalışmada, silisyum karbür ile kaplanmış sürekli bor elyaflardan oluşan takviye elemanlarının kullanıldığı alüminyum matrisli kompozit malzemeleri sıvı metal emdirerek üretmiş ve oluşturulan bu kompozitin iç yapılarını taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenip, kompozit ve matris metalinin oda koşullarında çekme deneyleri yapmıştır. Deney sonrasında kopma yüzeyleri de ayrıca SEM altında incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda uzunlamasına takviye edilen elyaf takviye elemanlarının, matrisin çekme dayanımını takviye edilen elyaf malzemenin artış miktarına bağlı olarak önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tek doğrultuda takviye elemanı kullanılarak oluşturulan kompozitlerin mekanik özelliklerinin, iki doğrultuda takviye elemanı kullanılarak üretilen kompozitlere göre daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun nedeninin iki doğrultuda takviye elemanı kullanılarak oluşturulan kompozitlerdeki matris elyaf bağ kuvvetinin, tek doğrultuda takviye elemanı kullanılarak oluşturulan kompozitlerdeki matris-elyaf bağ kuvvetinden oldukça düşük olmasıdır [39].

Ma et al. (1996) çalışmalarında silisyum karbür (SiC) takviyeli AA 2024 Alüminyum alaşımı kompozitlerin adhezif aşınma altındaki davranışlarını incelemiştir. Matris olarak ortalama parçacık büyüklüğü 60 µm olan AA 2024 alüminyum alaşımı tozları ile takviye elemanı olarak ortalama parçacık büyüklüğü 3,5 µm, 10 µm, ve 20 µm olan α – SiC parçacıkları kullanılmış, SiC parçacık takviyesi hacimce % 0, 15, 20 ve 30 oranlarında uygulanmıştır. Oluşturulan bu matris ve takviye karışımı toz metalurjisi (Sinterleme)

yöntemiyle üretilmiştir. Uygulanan sertlik deneyi sonucunda kompozitlerin sertlik değerlerinin takviye edilen SiC parçacıkların artmasıyla arttığını fakat SiC parçacıkların boyutunun artmasıyla azaldığını gözlemlemiştir. Oluşturulan kompozit yapının aşınma davranışına bakıldığında SiC parçacıkların takviye edilmesiyle aşınma direncinin takviyesiz duruma göre iki kat arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak SiC parçacıkların kompozit malzemedeki oranının hacimsel olarak artması, kompozit yapının aşınma direncinin arttırmıştır[40].

Mishra et al. (2003) çalışmalarında Sürtünme Karıştırma Prosesini uygulayarak AA 5083 alüminyum alaşımının yüzeyine SiC parçacıkları ile takviye ederek yüzeyde kompozit bir yapı oluşturmayı amaçlamışlardır. Uygulama sonrasında elde ettikleri yeni kompozit tabakanın kalınlığını 50 ile 200 μm olarak ölçmüşlerdir. SKP prosesi sonrasında yapılan mikro incelemelerde SiC parçacıklarının homojen olarak dağıldığını ve oluşturulan yeni tabaka ile ana malzemenin mükemmel bir şekilde bağlandığını gözlemlemiştir. Homojen olarak SiC dağılımı gösteren bölgelerin ana malzemeye göre yaklaşık olarak iki katı sertlik değerine sahip olduğunu belirlemiştir [5].

İpek (2005), döküm yöntemi ile üretilmiş, ağırlıkça %10, 15 ve 20 oranlarında B_4C parçacıklı takviye elemanına sahip AA 4147 alüminyum alaşımı matrisli kompozitler ile ağırlıkça %20 SiC parçacık takviyeli AA 4147 alüminyum matrisli kompozit malzemeleri kuru deney şartları altında aşınma özelliklerini incelemiş ve kıyaslamıştır. Aşınma dirençleri kıyaslandığında SiC takviyeli kompozitlerin, B_4C takviyeli kompozitlere oranla daha yüksek aşınma direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı aşınma koşullarında SiC takviyeli kompozitlerde sadece hafif bir adhezif aşınma durumundan söz edilirken, B_4C takviyeli kompozitlerde ile normal aşınma davranışları sergilediği belirtilmiştir[41].

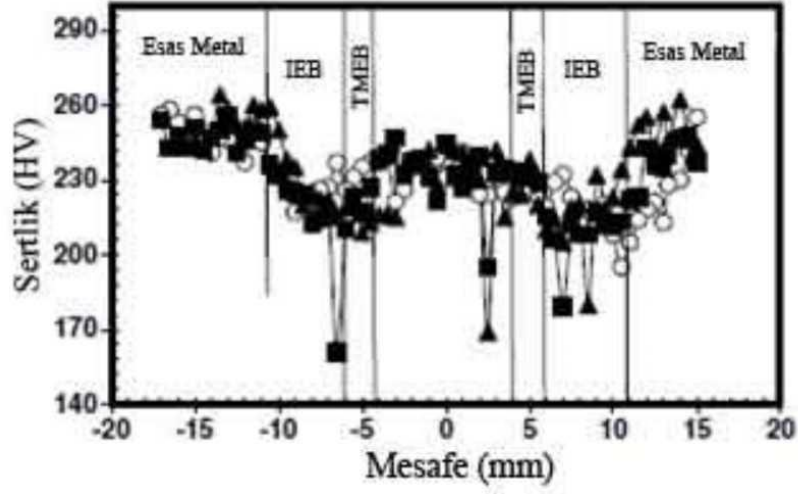
Lim et al. (2003) çalışmalarında magnezyum esaslı ve SiC parçacıkları ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin aşınma davranışlarının incelemiştir. Deney düzeneği olarak "Pin on Disc" kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak; 10 N ve 30 N' luk yük, 0,2 ve 5 m/sn kayma hızları kullanılmış ve sertleştirilmiş takım çeliği üzerinde yapılmıştır. Kompozit yapıların düşük yük altında iyi aşınma direnci gösterdiği fakat yüksek yük altında SiC parçacıkların aşınma direnci üzerinde fazla bir etki etmediği görülmüştür. Aşınmış bölgelerdeki SEM analizleri sonucunda; aşınan bölgelerde, oksitlenme, tabakalaşma, abrazif ve adhezif etkiler gözlemlenmiştir [31].

Mahmoud et al. (2010) çalışmalarında, alüminyum esaslı bir malzemenin yüzeyine kanallar açmış ve bu kanallara değişik oranlarda Al_2O_3 ve SiC parçacıklar koymuşlardır.

Proses boyunca sabit takım devir sayısı ile takım ilerleme hızı kullanmışlardır. Kullanılan takviye parçacıkların cinsine ve hacimsel dolgu oranlarındaki değişimlere göre aşınma özellikleri incelenmiştir. Aşınma deneylerinde 5 ve 10 N' luk yük kullanılmıştır. Yapılan deneylerde farklı partikül oranı koşullarında homojen bir dağılım gözlenmiştir. 5 N yük altındaki aşınma deneylerinde en iyi aşınma direnci hacimce %80 SiC ve %20 Al₂O₃ takviye parçacık kullanılarak oluşturulan kompozit yapıda görülmüştür. 10 N yük altındaki deneylerde ise parçacık cinsi ve oranının aşınma direncine etkisinin çok olmadığı ve takviyesiz durumdaki aşınma direncinin takviyeli durumdaki aşınma direncine neredeyse yakın değerler sergilediği görülmüştür. Diğer taraftan parçacık takviyesi sonucunda sertlik değerlerinde önemli artışların olduğu ve sürtünme katsayısının önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir [28-30].

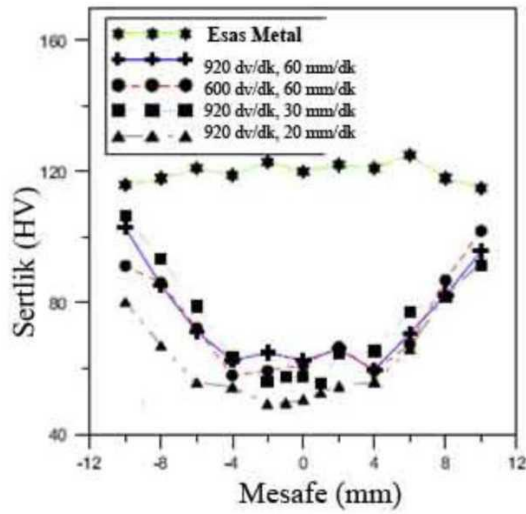
Zahmatkesh et al.(2010) çalışmalarında, AA 2024-T4 alüminyum alaşımı üzerinde Sürtünme Karıştırma Prosesini uygulayarak malzemenin tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Deney parametrelerinde takım devri olarak 800 dev/dak ve takım ilerleme hızı olarak ise 25 mm/dak kullanılmıştır. Mikro yapı incelendiğinde yapıda tane boyutunun daha homojen ve daha iyi olduğu görülmüştür. Sertlik deneyleri sonucunda SKP uygulanan bölgedeki sertlik değerlerinin diğer bölgelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aşınma deneyi kuru ortamda 10 N yük ile 5mm çapında AISI 52100 çelik bilye kullanılarak "Ball on Disc" deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda SKP uygulanmış malzemenin aşınma direncinin SKP uygulanmayan malzemeye göre arttığı ve sürtünme katsayısının %30 oranında azaldığı görülmüştür [42].

Uzun (2007), çalışmasında toz metalürjisi ile üretilmiş AA 2124-SiC alaşımında SKK işlemini uygulamıştır. Bu yöntemde kullanılan takım omuz çapı 18mm'dir. Kaynak işlemi sonucunda elde edilen Şekil 14'te gösterilen sertlik verileri incelendiğinde yaklaşık olarak takım omuz çapı uzunluğunda bir alanda sertlik değerlerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Bunun nedenini, omuz ile malzeme arasında açığa çıkan ısının, malzemenin iç yapısındaki değişikliklere neden olması olarak açıklamışlardır [43, 44].



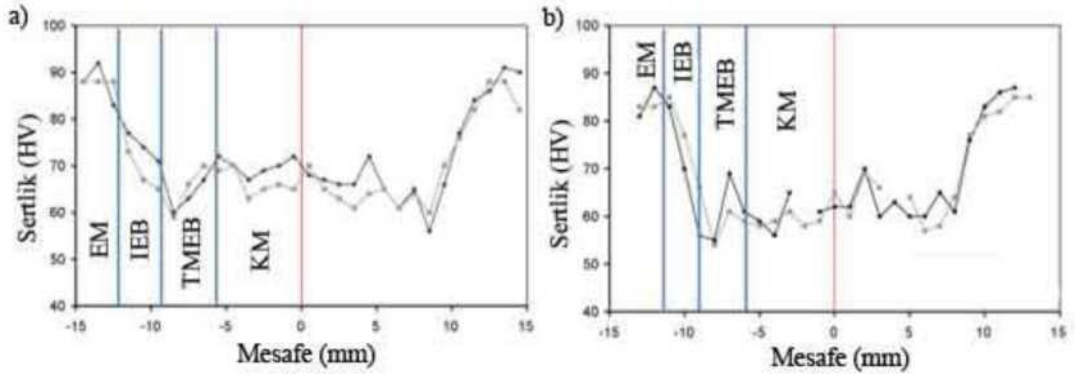
Şekil 14. SKP uygulanmış AA2124-SiC alüminyum alaşımına ait sertlik dağılımı [43].

Hwang et al. (2008), çalışmalarında AA 6061-T6 alüminyum alaşımından plakaları Sürtünme karıştırma kaynak işlemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işleminde takım omuz çapı 12 mm' dir. Kaynak işlemi sonrasındaki Şekil 15'teki sertlik verileri incelendiğinde kaynak bölgesinde sertlik değerinin düştüğü görülmüştür. Şekil incelendiğinde merkezden takım omuz çapı mesafesinde bir mesafede sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise ısı etkisinin kaynak bölgesinden uzaklaştıkça azalmasıdır [45].



Şekil 15. SKK uygulanmış AA 6061-T6 alüminyum alaşımına ait sertlik dağılımı[45].

Chen et al (2009), çalışmalarında AA 6063-T5 alüminyum alaşımında Sürtünme Karıştırma Prosesi uygulanarak B₄C parçacık takviyesi ile kompozit bir tabaka oluşturmayı amaçlamışlardır. Yapılan takviye sonrasındaki araştırmalar sonucunda Şekil 16a ve Şekil 16b'de gösterilen kompozit yapının sertlik dağılımını incelemişlerdir. Parçacık takviyesi sonrasındaki sertlik dağılımı incelendiğinde, proses bölgesindeki sertlik değerlerinin ana malzemedeki sertlik değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Takviyeli durumdaki sertlik değeri dağılımı, takviyesiz durumdaki sertlik değeri dağılımına göre daha düzensizdir. Takviyesiz prosesteki sertlik dağılımı nispeten daha homojen ve lineer bir davranış sergilediği görülmektedir [25, 46, 47].



Şekil 16. SKP uygulanmış AA 6063 - T5 alüminyum alaşımının; a) % 6 oranında B₄C takviyeli, b) % 10.5 oranında B₄C takviyeli durumlarındaki sertlik dağılımı [46].

2.2. Çalışmanın Amacı

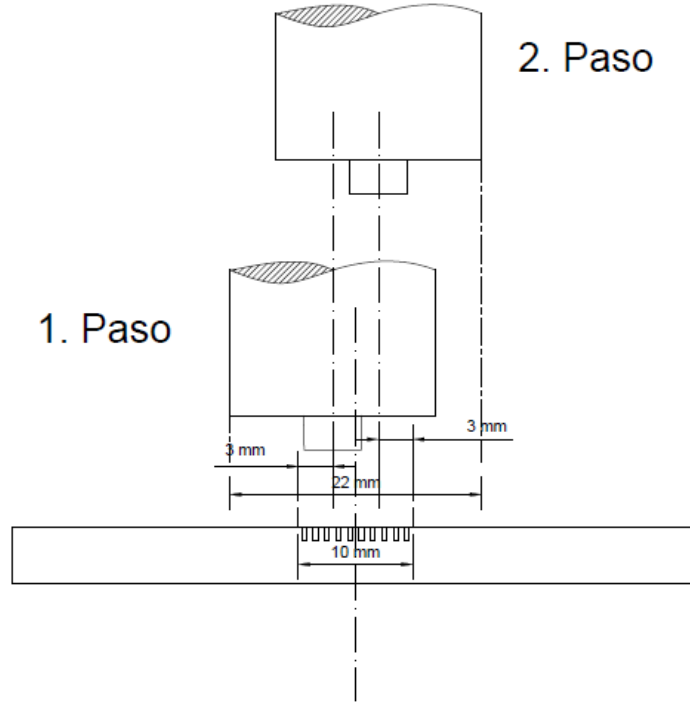
Piyasada AA 5182 alaşımı otomotiv sanayinde en yaygın olarak araç içi parçalar, kaporta ve kasa gibi yapısal bölümlerde kullanılmasının yanında ayrıca Kriyojenik tank ve silobas gibi yoğun aşındırıcılara maruz kalabilen kara tankerleri ve basınçlı kapların imalinde de kullanılmaktadır. Özellik konstrüktif olarak tasarımın kritik bölgelerindeki aşınma ve malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirici özelliklerin geliştirilebileceği adına AA 5182 alaşımının yüzeyine açılan kanalların içerisine değişken oranlarda, malzemenin aşınma miktarını azaltıcı etki göstermesi ve malzemenin dayanımının artırılması amacıyla SiC partiküller ile malzeme yüzeyinde yağlayıcı etki yaratarak sürtünme katsayısını düşürmek adına piyasa da katı yağlayıcı olarak bilinen BN partiküller takviye edilmiştir.

Bu çalışmada otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan AA 5182 alaşımının yüzeyinde kompozit bir yapı meydana getirilerek alaşımın tribolojik ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, AA 5182 alaşımının yüzeyinde, aşınma direncini artırmak için yüksek sertliğe sahip parçacık ve sürtünme katsayısını azaltmak için ise katı yağlayıcı parçacık ile desteklenerek, kompozit bir tabakanın elde edilmesi planlanmıştır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada AA 5182 Alüminyum alaşımı plakalar üzerine açılan kanallara SiC ve BN partikülleri ilave edilerek SKP yöntemi ile yüzeyde oluşturulan kompozit yapının tribolojik olarak incelenmesi ve katılan takviye partiküllerinin (SiC ve BN) karışım yüzdelerinin optimum oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; gerçekleştirilen literatür incelemeleri ve ön deneylerden elde edilen bulguların ışığında, Sürtünme Karıştırma İşlem parametreleri takım hızı 1000dev/dk, takım ilerleme hızı 55mm/dk, takım açısı $3,5^\circ$ ve takım baskı yükü 550 ± 30 kg olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlemden kullanılan takviye elemanlarının karışım oranları hacimce %25SiC-%75BN, %50SiC-%50BN, %75SiC-%25BN ve %100SiC olarak kullanılmıştır. Şekil 17’de şematik olarak gösterilen proses iki pasoda tamamlanmıştır.



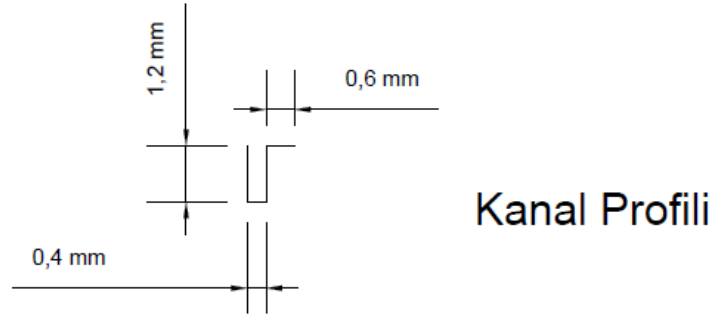
Şekil 17. SKP uygulama şematik çizimi.

3.1. Deney Malzemeleri

Sürtünme Karıştırma Prosesi uygulanacak malzeme özellikleri, kullanılacak takım ve takviye elemanları ile bunlara deney öncesi uygulanan işlemler detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Ana Malzeme

Bu çalışmada deney malzemesi olarak AA 5182 Alüminyum alaşımı seçilerek piyasadan 5 mm x 60 mm x 200 mm boyutlarında temin edilmiştir. Bu plakaların yüzeylerine takviye edilecek toz parçacıklarının koyulabilmesi için freze tezgahında profil ölçüleri Şekil 18’de gösterildiği gibi 0,4 mm genişliğinde ve 1,2 mm derinliğinde olan, 10 adet kanal açılmıştır. Kanal açma işlemi görüntüleri Şekil 19a, Şekil 19b ve Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Kanal profili teknik çizimi.

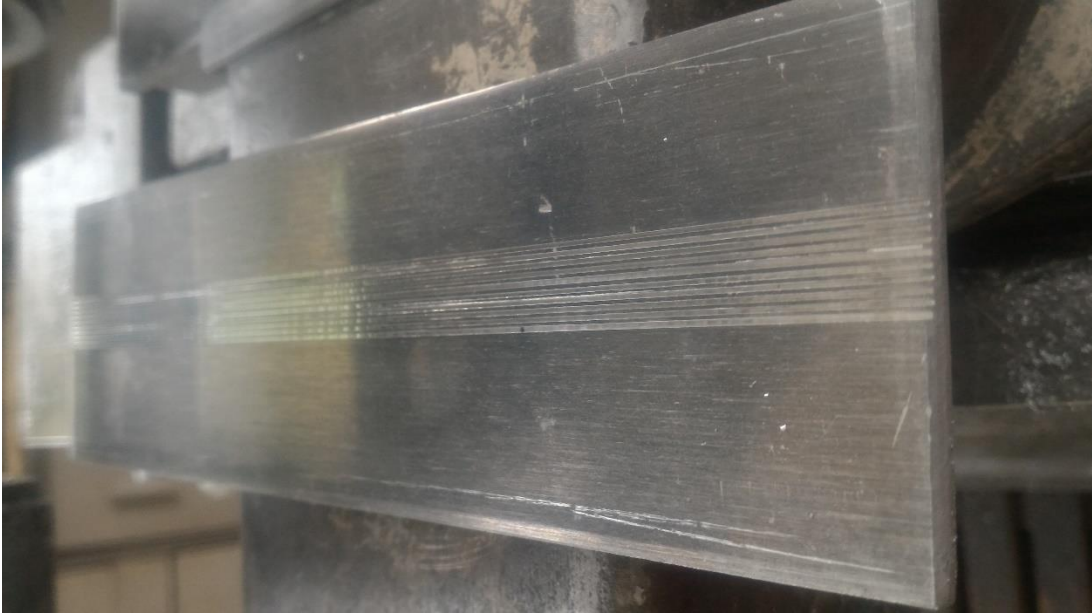


(a)



(b)

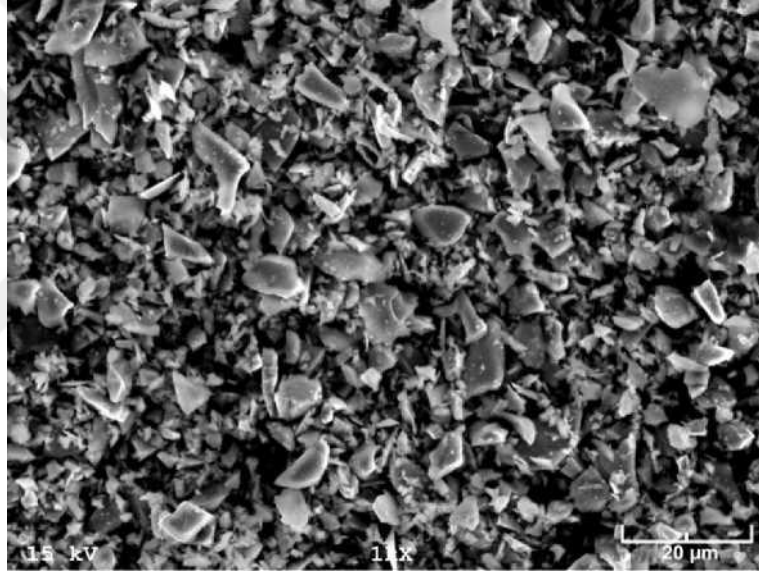
Şekil 19. Freze tezgâhı; a. genel görünüm b. malzemeye kanal açılmış durumda.



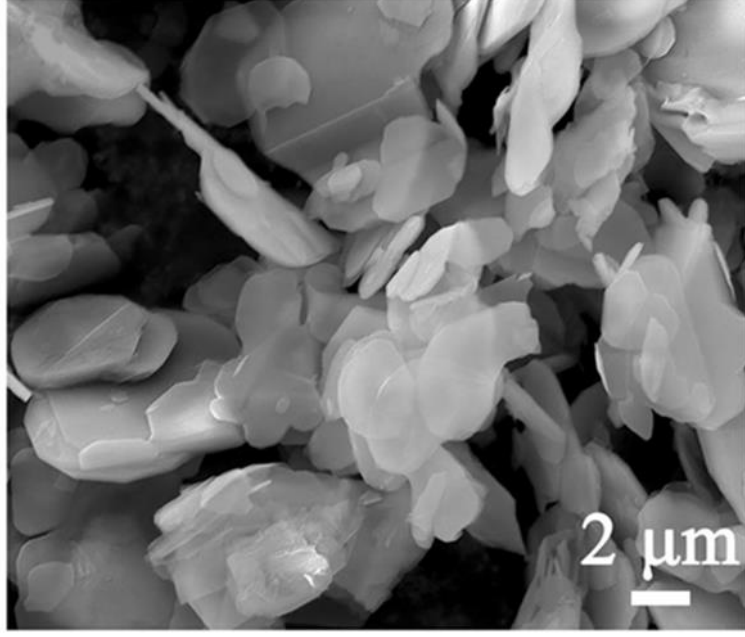
Şekil 20. Kanal açılmış ana malzeme.

3.1.2. Takviye Elemanlar

Kompozit yüzeydeki toplam takviye eleman katkısı Şekil 17’de de görülebileceği üzere hacimce %40 olarak belirlenmiştir. Proses sırasında takviye elemanı olarak kullanılacak toz parçacıklar dan SiC; tane boyutu 4 μm ile 12 μm arasında değişen ve %99 saflıkta toz halinde piyasadan temin edilmiştir. Aynı şekilde hegzagonal yapıya sahip h-BN; tane boyutu 5 μm ile 7 μm arasında değişen ve %99 saflıkta toz halinde piyasadan temin alınmıştır. Söz konusu takviye parçacıklara ait SEM görüntüleri Şekil 21 ve Şekil 22’de verilmiştir.



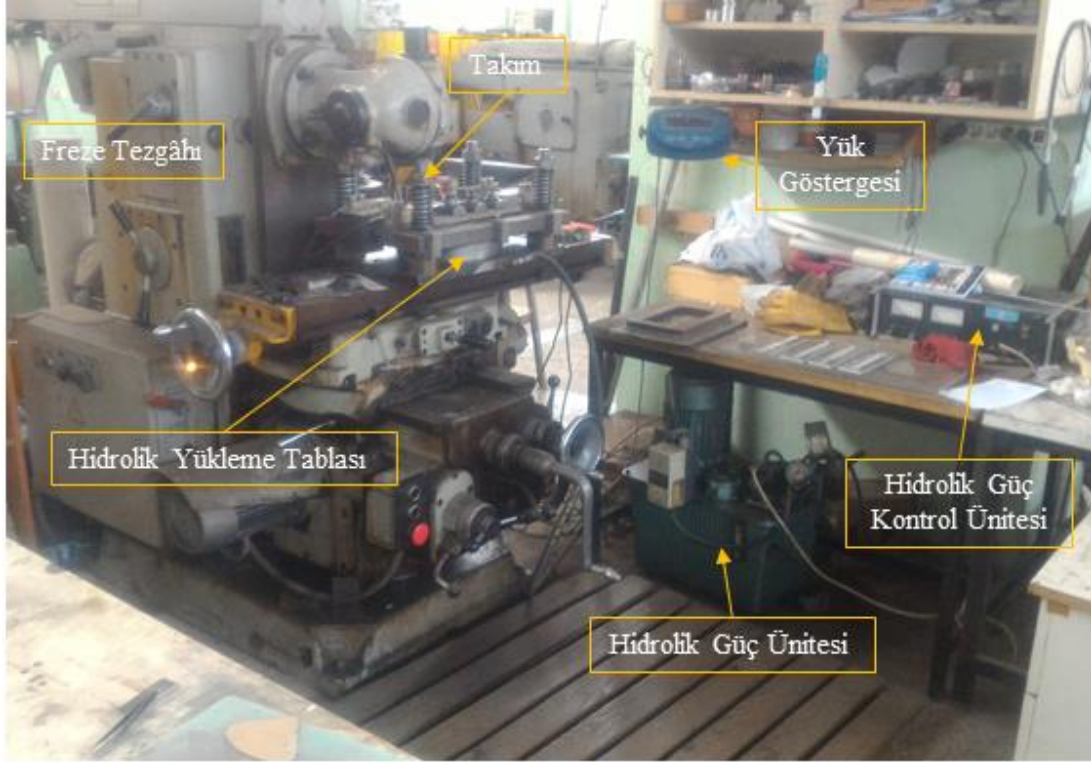
Şekil 21. Takviye eleman olarak kullanılan SiC Parçacıkların SEM Görüntüsü



Şekil 22. Takviye elemanı olarak kullanılan BN parçacıkları SEM görüntüsü [48].

3.2. Sürtünme Karıştırma Prosesi Düzenegi

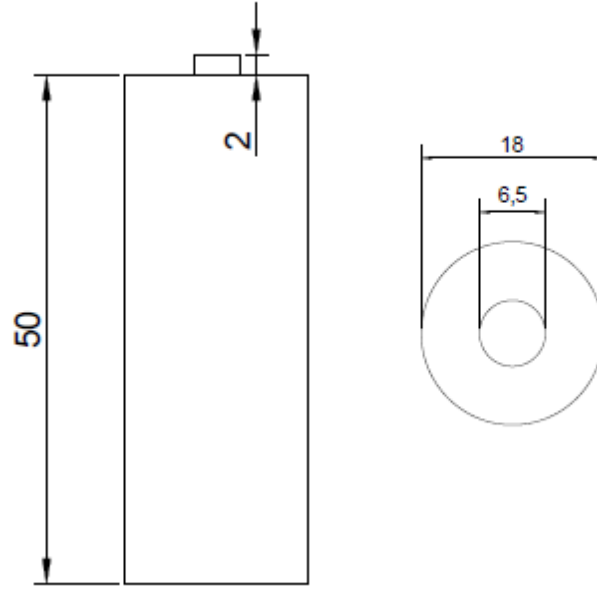
Sürtünme Karıştırma Prosesi için Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Takım Tezgâhları Laboratuvarında bulunan, STANKOIMPORT marka universal freze tezgâhı kullanılmıştır. Şekil 23'te gösterilen Universal freze tezgâhı, proses için kullanılabilir hale dönüştürülmüştür. Tezgâh 7,5 kW gücünde olup, takım devir sayısı olarak 50-1600 dev/dak aralığında ve takım ilerleme hızı olarak 35-1020 mm/dak aralığında hıza sahiptir. Tezgâh tablası üzerine proste uygulanan baskı kuvvetini kontrol etmek amacıyla hidrolik yüklemeli deney tablası konulmuştur. Proste uygulanan baskı yükünü freze tezgâhının tablası karşılamaktadır. Proste kullanılan freze tezgâhı ve hidrolik yükleme tablası ile takım devri, takım ilerleme hızı, takım açısı, proses edilecek malzemeye uygulanan baskı kuvveti kontrol edilebilmektedir.



Şekil 23. Sürtünme Karıştırma Prosesi Düzenegi.

3.2.1. Proseste Kullanılacak Takım

SKP işlemleri için yüksek sıcaklıkta, yüksek mukavemet ve yüksek sertlik özellikleri nedeniyle Tungsten Karbür (WC) takım kullanılmıştır. Takım ölçüleri Şekil 24'de gösterildiği gibi 18 mm takım omzu çapında, 6,5 mm pim çapında ve 2 mm pim uzunluğunda, silindirik geometriye sahip olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 24. Sürtünme karıştırma prosesi takımı teknik çizimi.

3.2.2. Sürtünme Karıştırma Prosesi Parametreleri

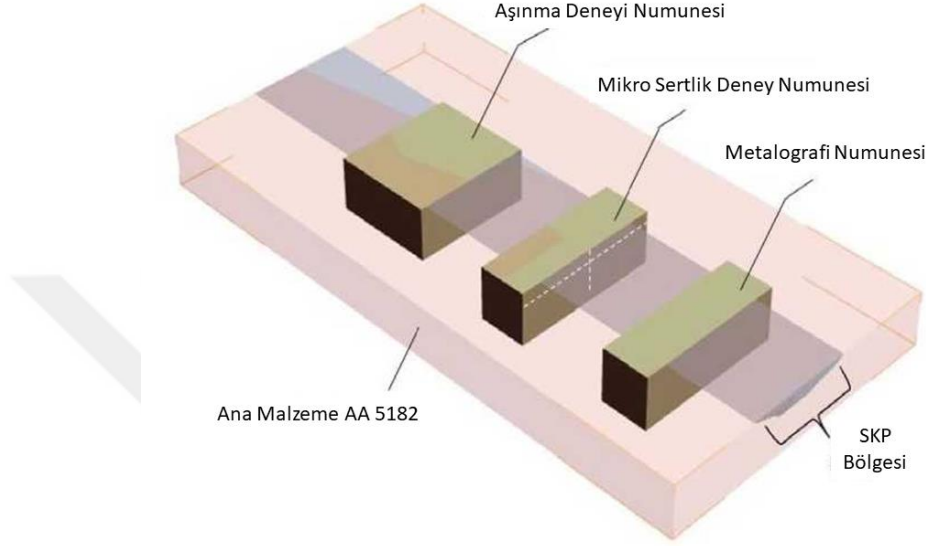
Proses parametreleri yapılan literatür araştırmaları ışığında ve gerçekleştirilen ön deneylerden elde edilen veriler ile Tablo 3’ te gösterildiği şekilde belirlenmiştir. SKP işlemi belirlenen bu parametreler ile gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri üzerine açılan kanallara farklı oranlarda karıştırılan SiC ve BN parçacıkları tatbik edilerek bağlama aparatları ile hidrolik yükleme tablası üzerine sabitlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm deneylerde Tablo 3’te verilen parametreler kullanılmıştır.

Tablo 3. Sürtünme Karıştırma Prosesi parametreleri.

Takım Hızı (dev/dak)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak)	Takım Açısı (°)	Takım Baskı Yüğü (kg)
1000	55	3,5	550±30

3.2.3. SKP İşlemi Sonrasında Deneyler İçin Hazırlanan Numuneler

Metalografi, mikro sertlik ve aşınma deneyleri için numuneler Şekil 25'te gösterildiği gibi kesilerek hazırlandı.



Şekil 25. Sürtünme Karıştırma Prosesi Şematik Görüntüsü ve alınan deney numunelerinin proses bölgesindeki konumları.

Metalografi ve mikro sertlik deney numuneleri kademeli olarak zımparalandı ve sonrasında parlatıldı. Aşınma deney numuneleri kesildikten sonra yüzeyindeki çapaklı yapının ve proses esnasındaki dalgalanma izlerinin giderilmesi için hafif bir şekilde yüzeyleri freze ile düzeltildi.

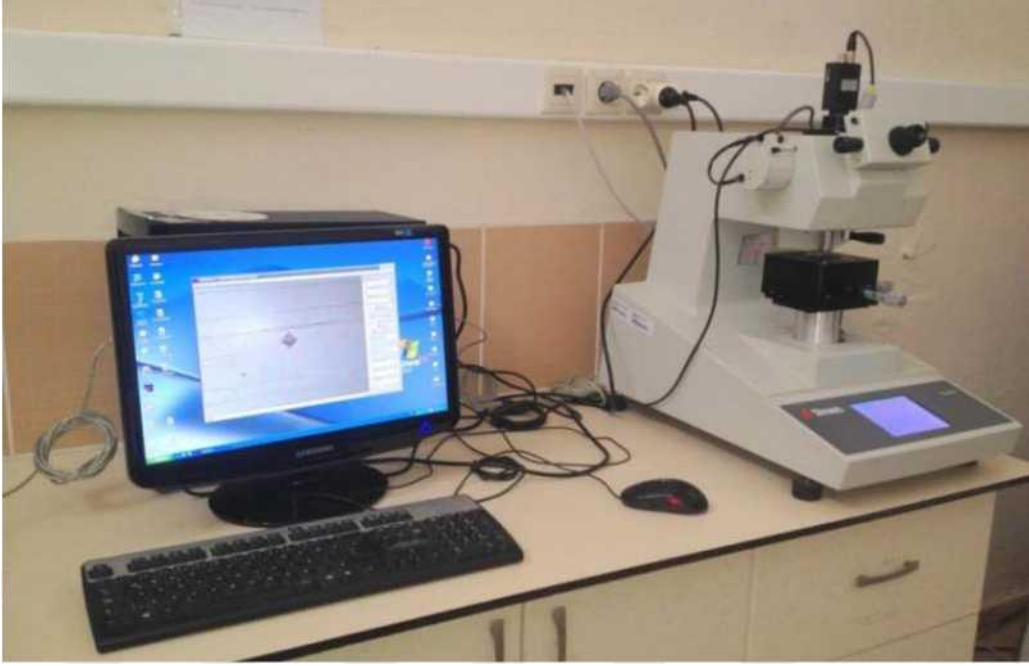
3.3. Metalografi Deneyi

Metalografi numuneleri kademeli olarak 400, 800, 1200 ve 2000 numara zımpara ile zımparalandı ve sonrasında 1µm alümina süspansiyon ile parlatıldı. Parlatma işleminden sonra numuneler aşağıda karışım oranı verilen dağlayıcı ile dağlanarak metalografik incelemeler için hazırlandı. Dağlayıcı çözelti için 25 ml CH₃OH, 25 ml HNO₃, 6 ml HCl ve 0.5 ml HF kullanıldı.

Dağlama işlemi için numuneler dağlayıcı içerisine daldırıldı ve 50 sn bekletildi. Sonrasında numuneler bol su ile yıkanarak kurutuldu. Dağlanan numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri çekilerek proses bölgesindeki bir alanda element dağılımı ile noktasal ve bölgesel analizler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır.

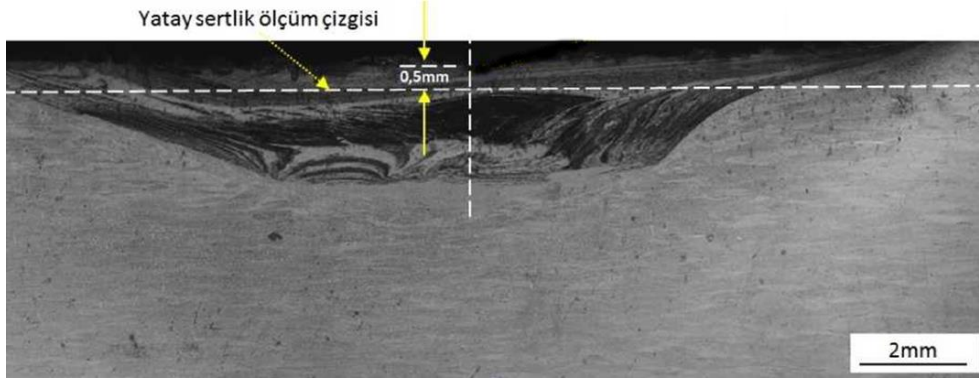
3.4. Mikro Sertlik Deneyi

Mikro Sertlik ölçümleri KTÜ Makina Mühendisliği Malzeme Bilimi Laboratuvarında bulunan STRUERS marka mikro sertlik ölçüm cihazında yapıldı. Mikro sertlik cihazı fotoğrafı Şekil 26'da mevcuttur.



Şekil 26. Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı.

SKP işlemi uygulanan numunelerin yüzeyinin 0,5 mm altında olacak şekilde yüzeye paralel olarak 1mm aralıklarla sertlik değeri ölçülmüştür. Ölçüm değerleri Şekil 27' de gösterilmiştir. Vickers sertlik ölçümü 4.91 N yük altında ve 5 sn uygulama süresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 27. Mikro sertlik numunesinin ölçüm doğrultusu.

3.5. Aşınma Deneyi

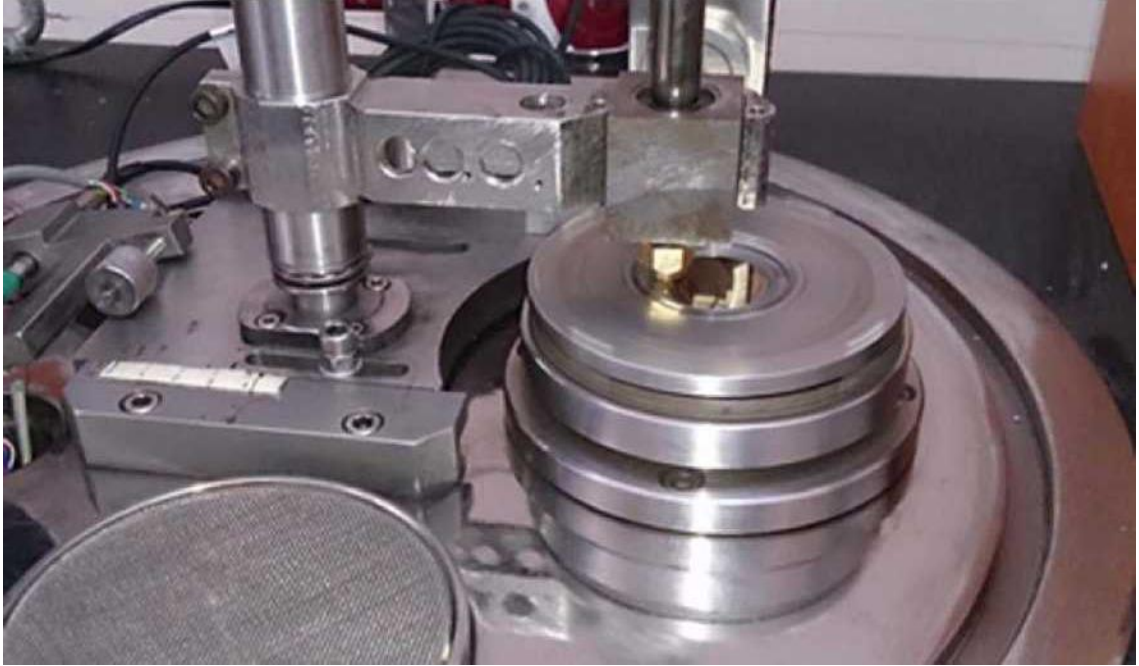
Sürtünme karıştırma prosesi sonrasında yüzeyde oluşan katmanın tribolojik olarak incelenmesi amacı ile, Şekil 28’de genel görünümü gösterilen ve ayrıntı görünümü Şekil 29’da verilen DUCOM marka aşınma deney cihazı kullanılmıştır. Deneyler “Ball-on Disk” yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri aşağıda Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Aşınma deneyi parametreleri.

İz Çapı (mm)	10 ±0,05
Uygulanan Yük (N)	5
Aşındırıcı Bilye	Al ₂ O ₃
Aşındırıcı Bilye Çapı (mm)	6
Çevrim Hızı (dev/dak)	286
Çevrim Sayısı (dev)	5000
Test Ortamı	Atmosfer, Sıcaklık 20-24°C, Bağıl Nem %55-65



Şekil 28. Aşınma deney düzeneği genel görünüm.



Şekil 29. "Ball-on Disk" deney düzeneği.

4. BULGULAR VE İRDELEME

4.1. Malzemenin Başlangıç Özellikleri

Piyasadan temin edilen AA 5182 alüminyum alaşımı plakaların sertlikleri incelenmiştir. AA 5182 plakaların üzerinde farklı noktalarda sertlik ölçümü yapılmıştır. Bu noktalarda ölçülen sertlik değerleri ortalama olarak 88 VSD (Vickers Sertlik Değeri) ölçülmüştür. AA 5182 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. AA 5182 kimyasal bileşimi [49].

Kimyasal Bileşim							
Element	Al	Mg	Mn	Fe	Si	Sb	Cr
% Ağırlık	94,6255	4,18	0,435	0,266	0,146	0,105	0,0613
Element	Cu	Ti	Zn	Ca	Sn	P	Diğer
% Ağırlık	0,0339	0,0244	0,0242	0,0200	0,0133	0,0100	0,0476

4.2. Makro İncelemeler

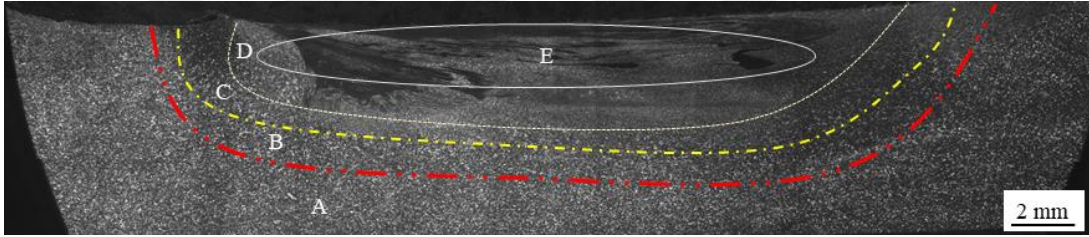
SKP işlemine tabi olmuş plakaların yüzeyleri makro olarak incelenmiştir. Şekil 30'da SKP işlemi uygulanmış numunelerin yüzey görüntüleri verilmiştir. Yapılan incelemede 1. ve 2. Paso proses işlemi uygulanmış numunelerin yüzeylerinde herhangi bir hata olmadığı ve yeterli ölçüde düzgünlüğe sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 30. SKP işlemleri sonrası numunelere ait yüzey görüntüsü.

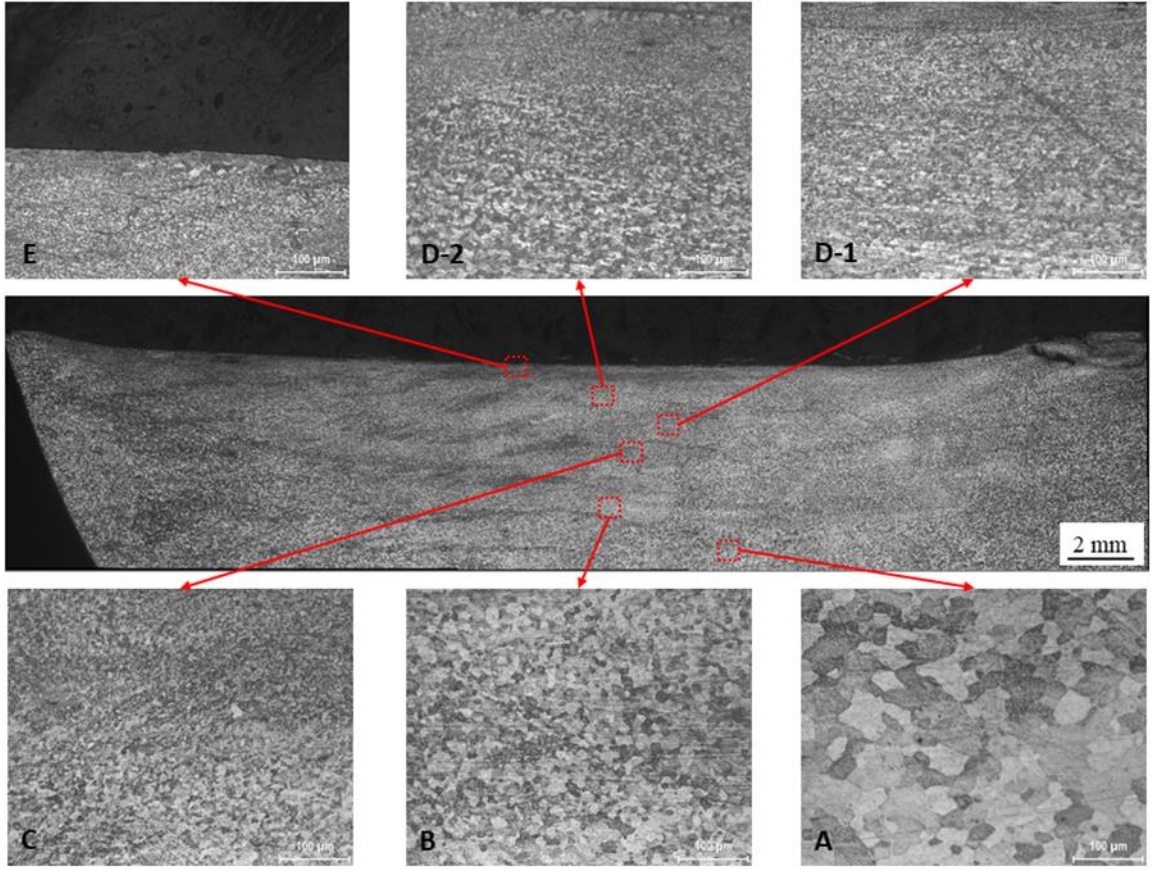
4.3. Mikro Yapı İncelemeleri

Sürtünme karıştırma prosesi ile yüzeyde kompozit bir yapı oluşturduktan sonra malzemedan kesilerek alınan numuneler hazırlanarak optik mikroskop ve SEM yardımıyla incelenmiştir. Proses edilen bölgeye ait 5 farklı bölgenin optik mikroskop altındaki görüntüsü aşağıda Şekil 31’de karakteristik bir özellik gösteren takviye elemanı olarak hacimce %50 SiC ve %50 BN karışımı içeren numunede örnek olarak gösterilmiştir. Burada A bölgesi ile esas metal (EM), B bölgesi ile ısıdan etkilenmiş bölge (IEB), C bölgesi ile termomekanik olarak etkilenmiş bölge (TMEB), D bölgesi ile karışıma bölgesi (KM), E bölgesi ile takviye tozun yoğun olarak dağıldığı, takım omuzunun sürtünmesi etkisinde kalmış bölge olarak belirlenmiştir. Bu bölgeler Şekil 31 - 41’de görülmekte olduğu gibi mikro yapısal olarak belirgin farklılıklar içermektedir.

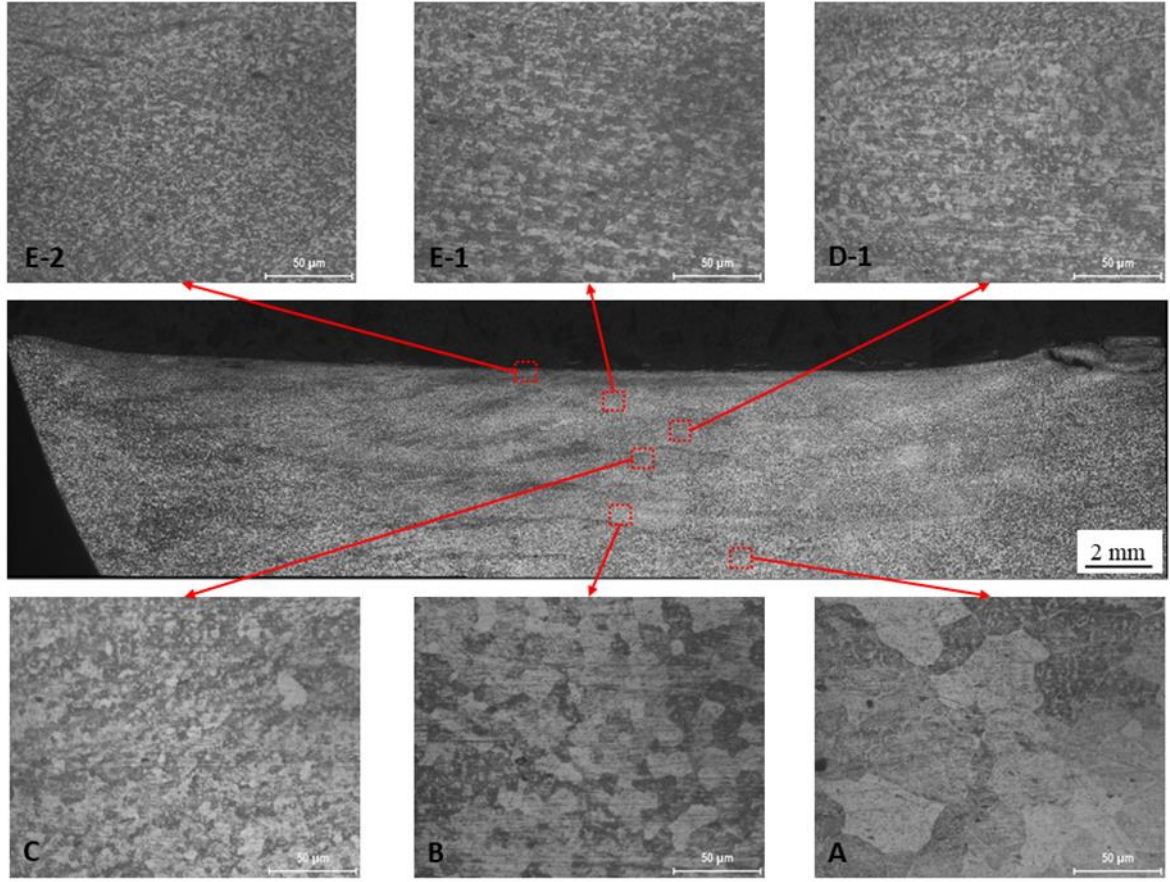


Şekil 31. SKP işlemi sonrasında iç yapıda oluşan bölgeler, A-esas metal, B-IEB bölgesi, C-TMEB bölgesi, D-karışım bölgesi, E-takviye tozun yaygın olarak dağıldığı, takım omuzu sürtünme bölgesi

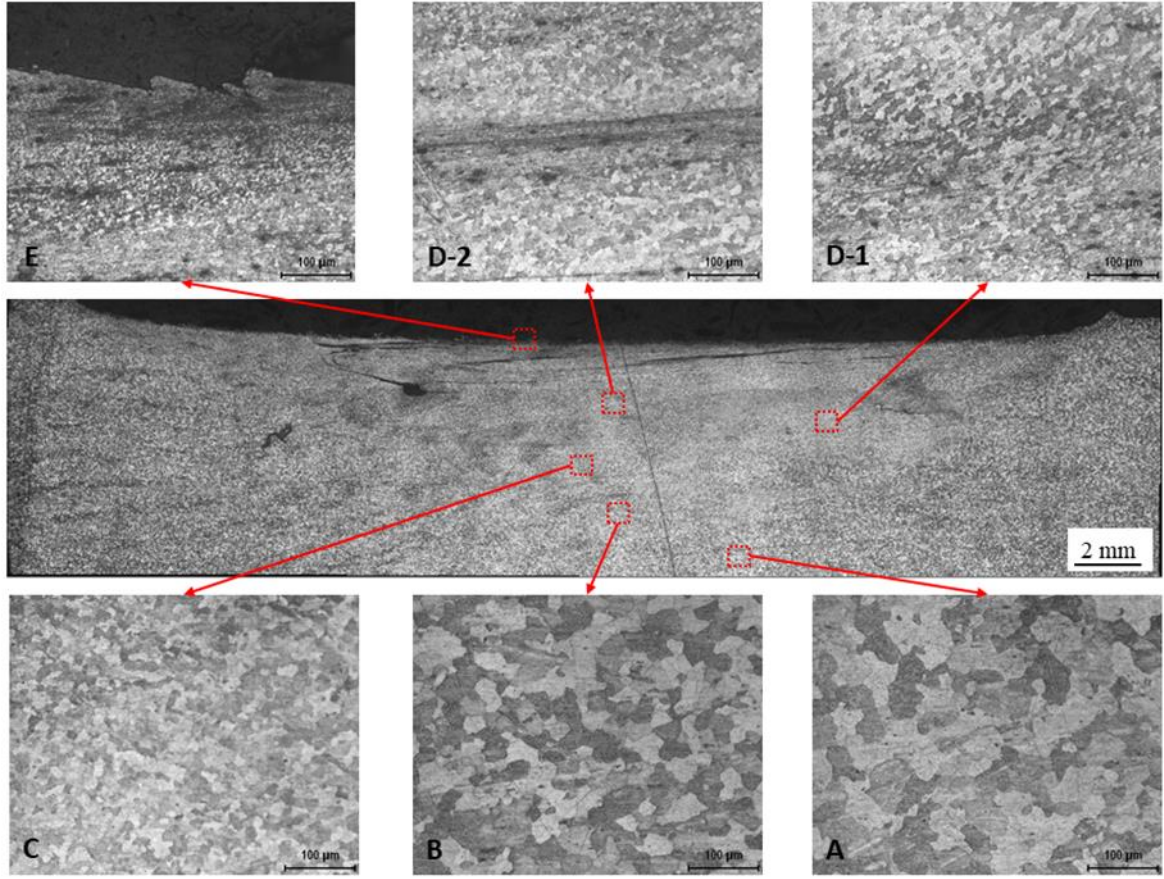
Tanımlanan bölgeleri ve genel olarak numunelerin iç yapı bilgilerini daha detaylı inceleyebilmek için yüksek çözünürlüklü görüntüleri Şekil 32-41’de verilmiştir. SKP uygulanmış numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 42-56 incelendiğinde, proses sonrası tane boyutunun ana malzeme ye göre IEB bölgesinde daha düşük boyuta sahip olduğu ve TMEB bölgesinde ise diğer bölgelere nazaran daha küçük tane boyutuna sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak tane boyutunun küçülmesiyle proses bölgesinde daha kararlı bir yapı elde edilmiş olmanın yanında, tane boyutunun küçülmesinden dolayı sertlik değerinde (Hall-Patch ilişkisine göre) belirgin artış oluşmuştur.



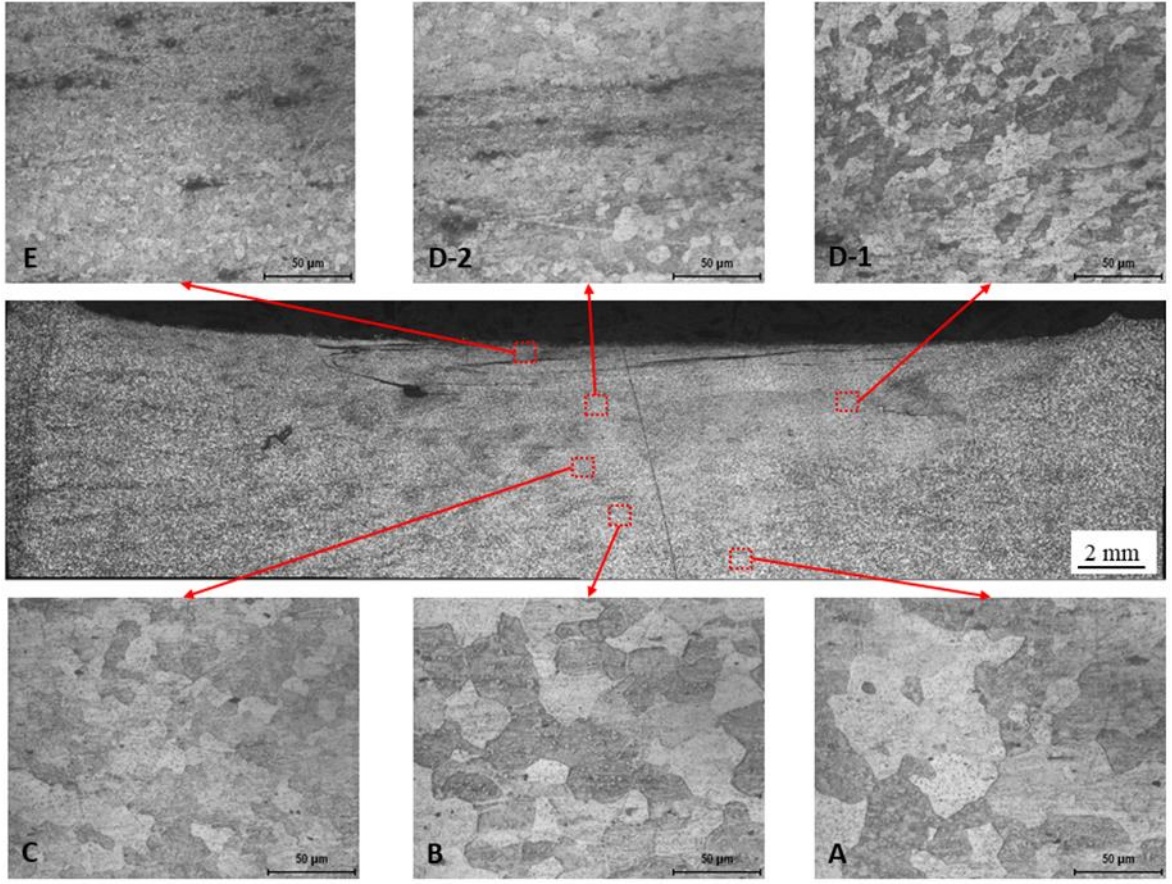
Şekil 32. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182'ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



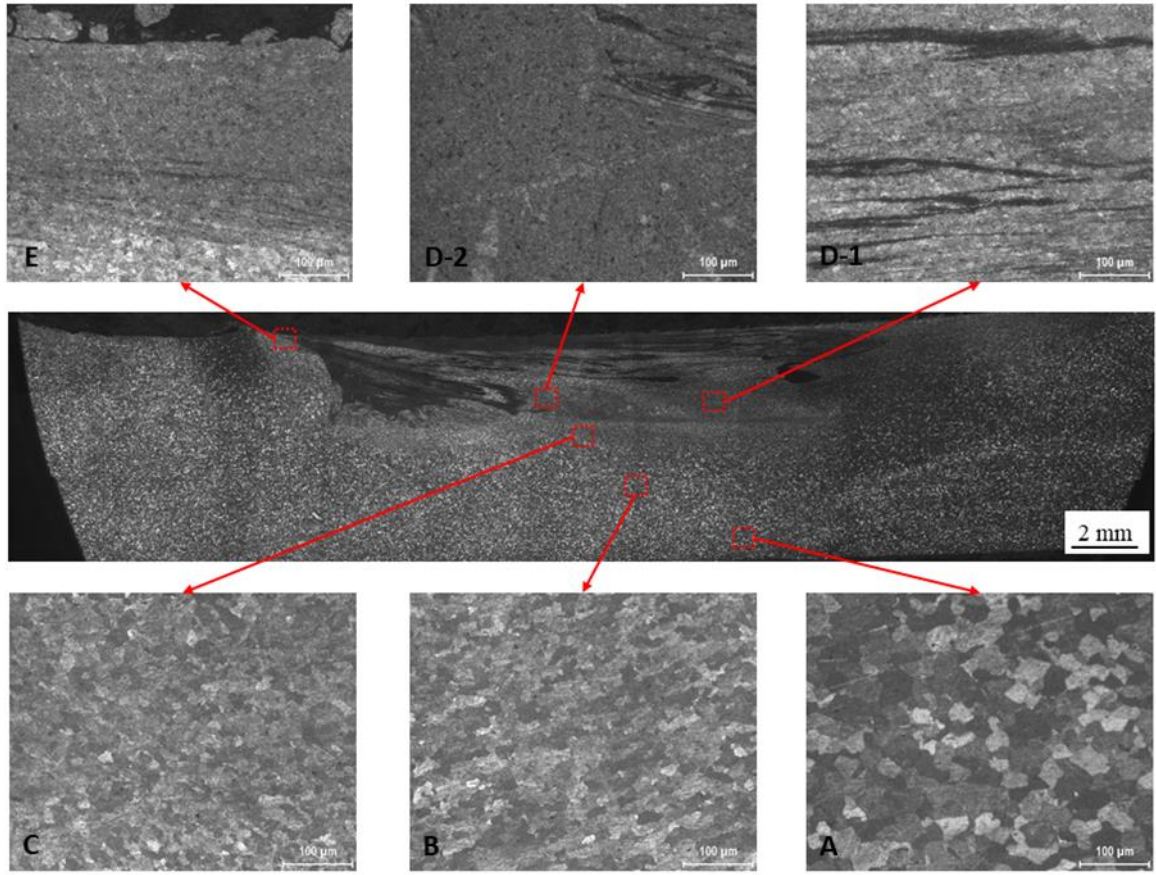
Şekil 33. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182'ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



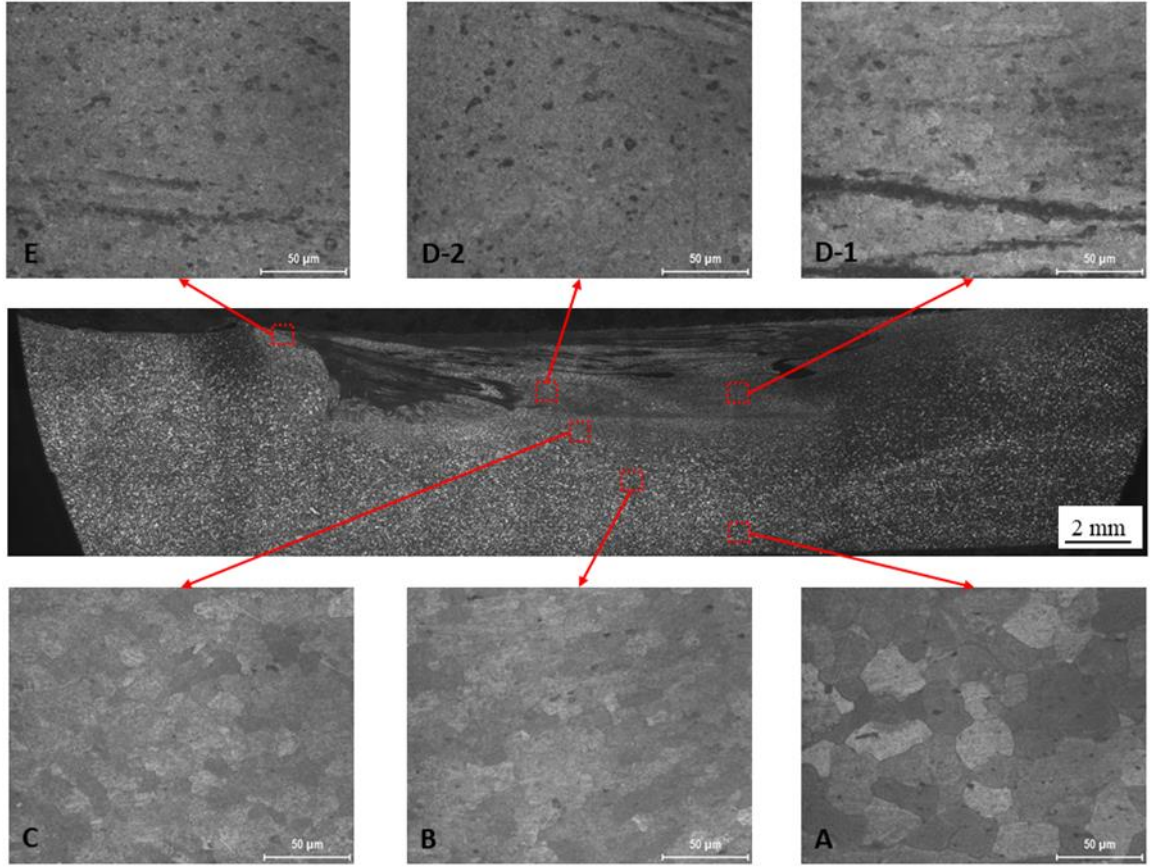
Şekil 34. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182'ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



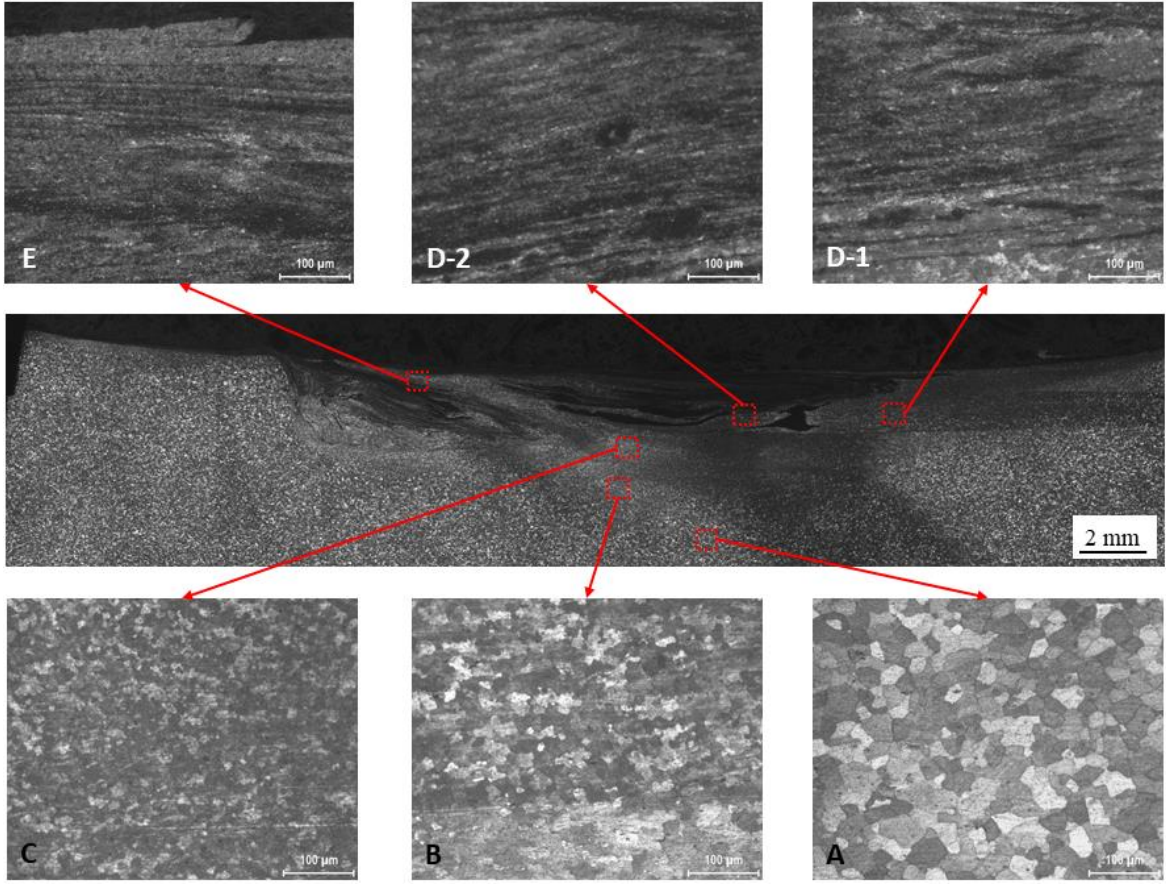
Şekil 35. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182'ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



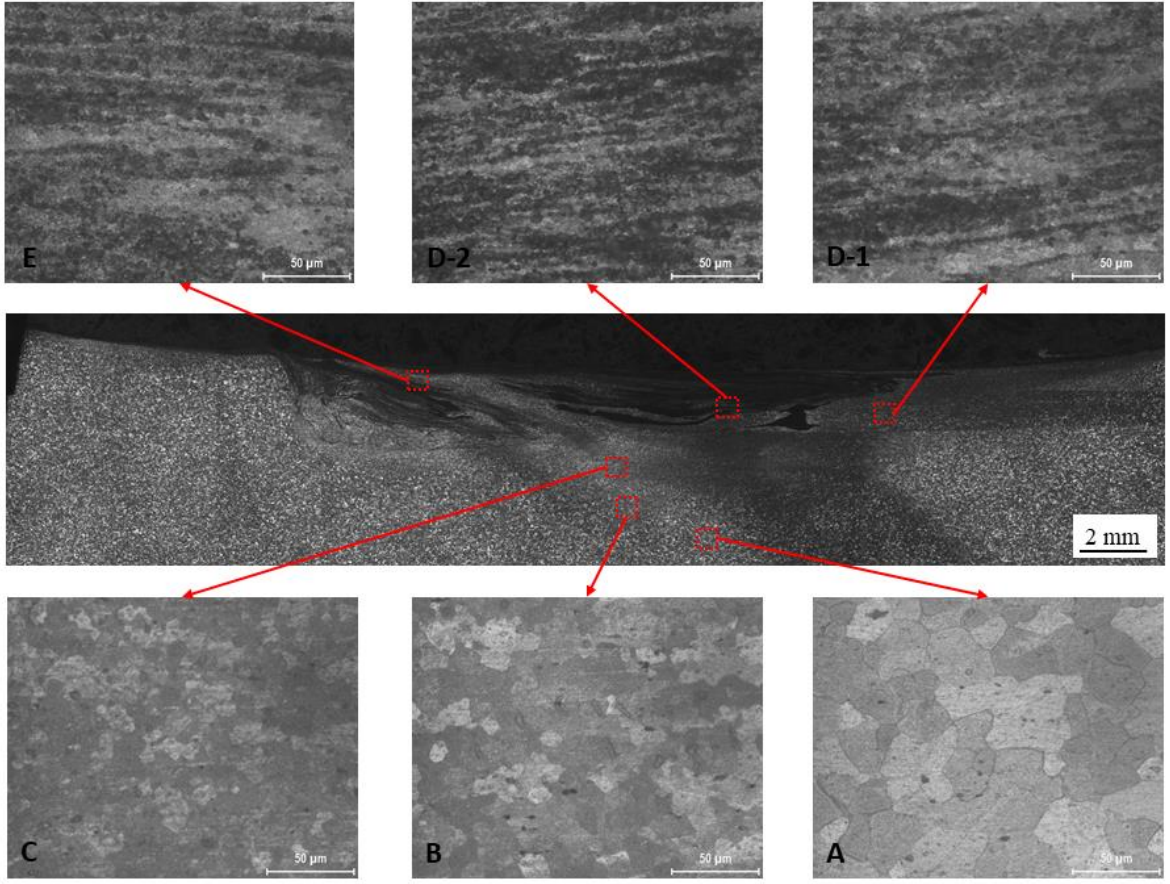
Şekil 36. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182'ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



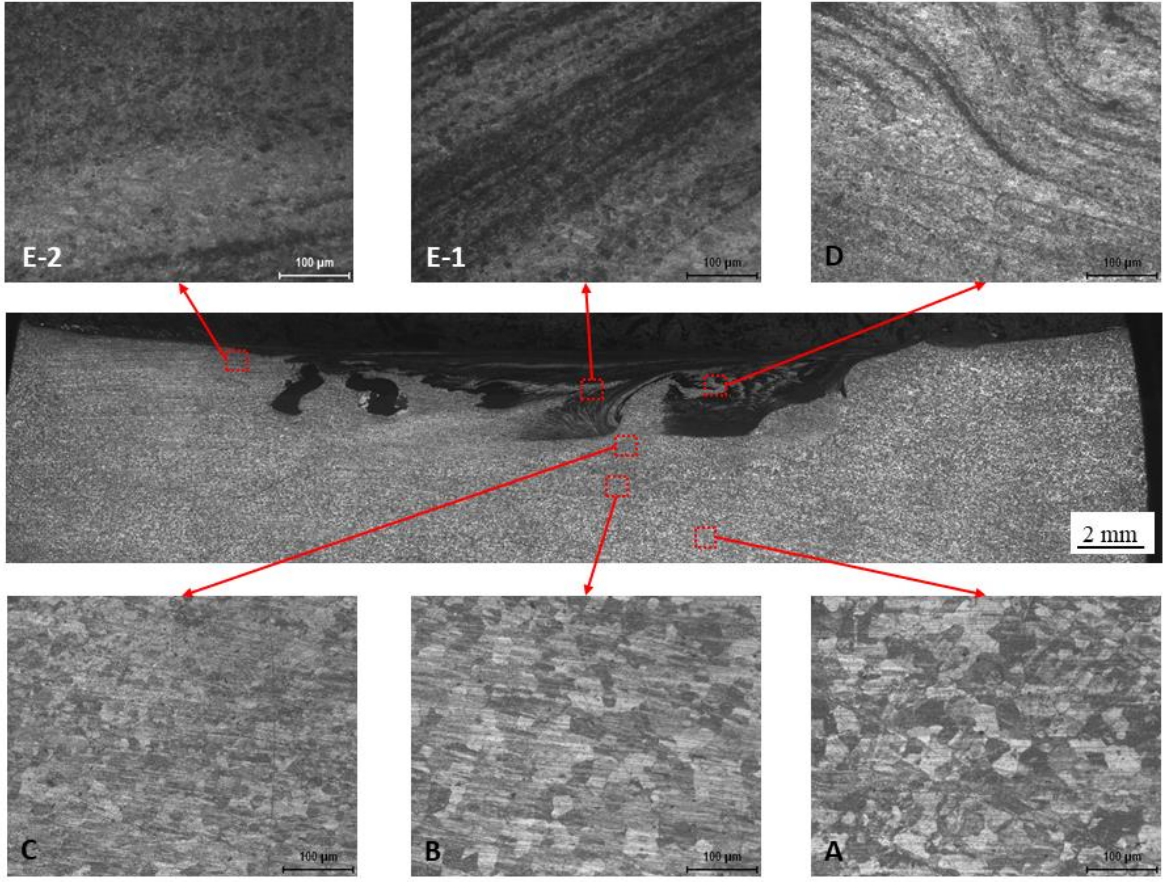
Şekil 37. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182'ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



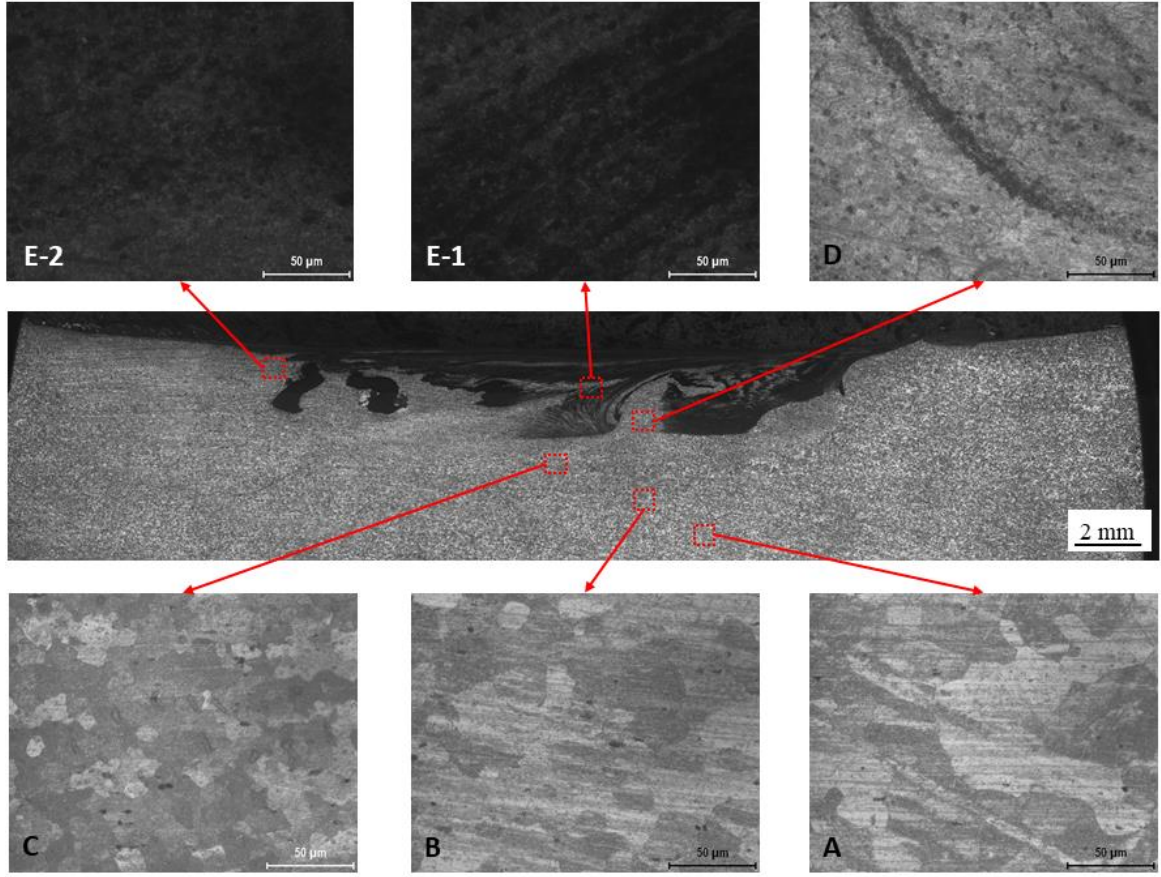
Şekil 38. SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182'ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



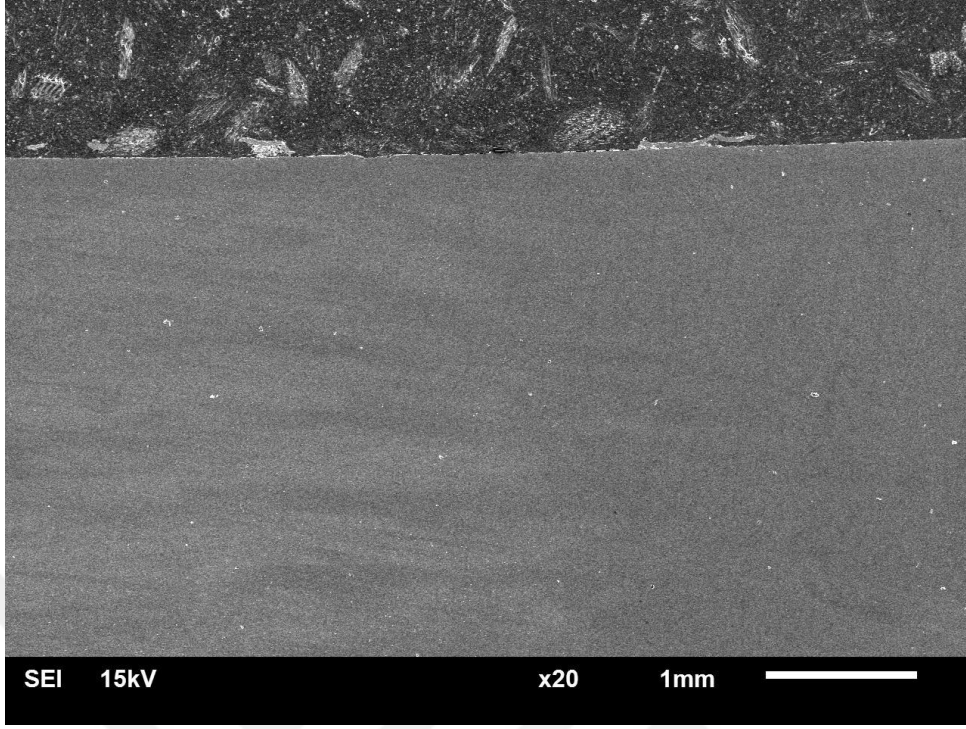
Şekil 39. SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182'ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



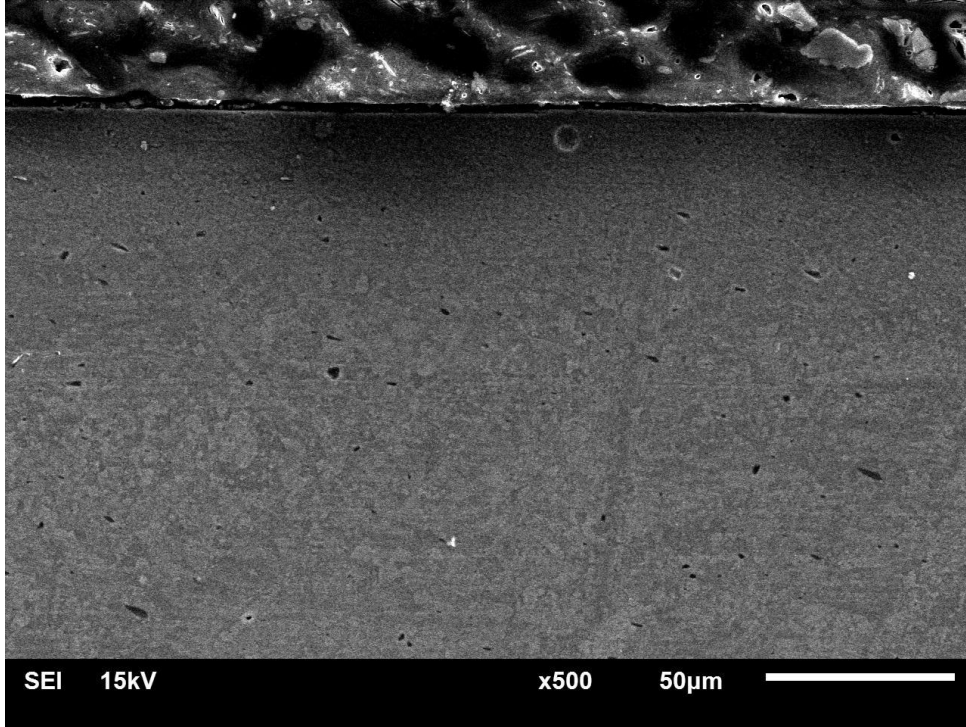
Şekil 40. SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takiyeli AA 5182'ye ait optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



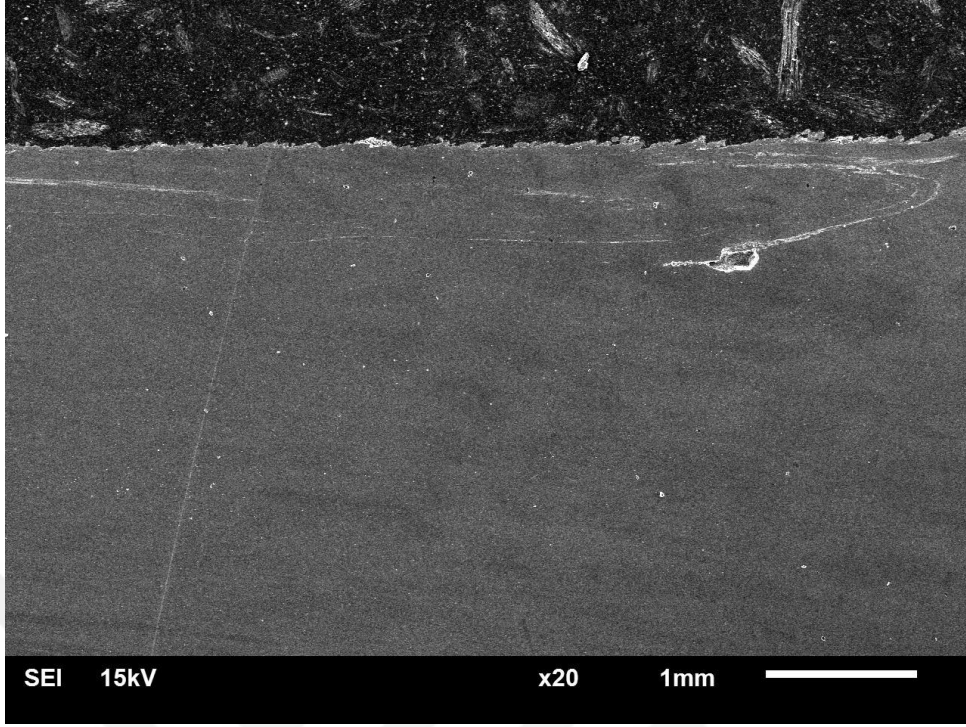
Şekil 41. SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'ye ait detaylı optik mikroskop iç yapı görüntüleri.



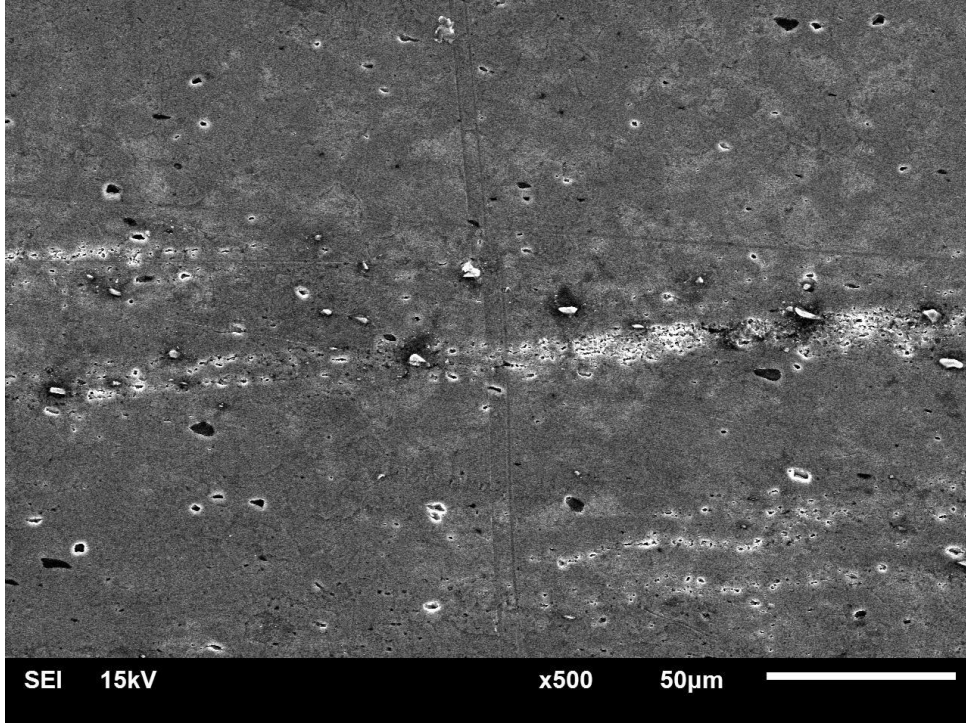
Şekil 42. SKP işleme tabi olmuş takviyesiz AA 5182'ye mikro ölçek SEM görüntüsü.



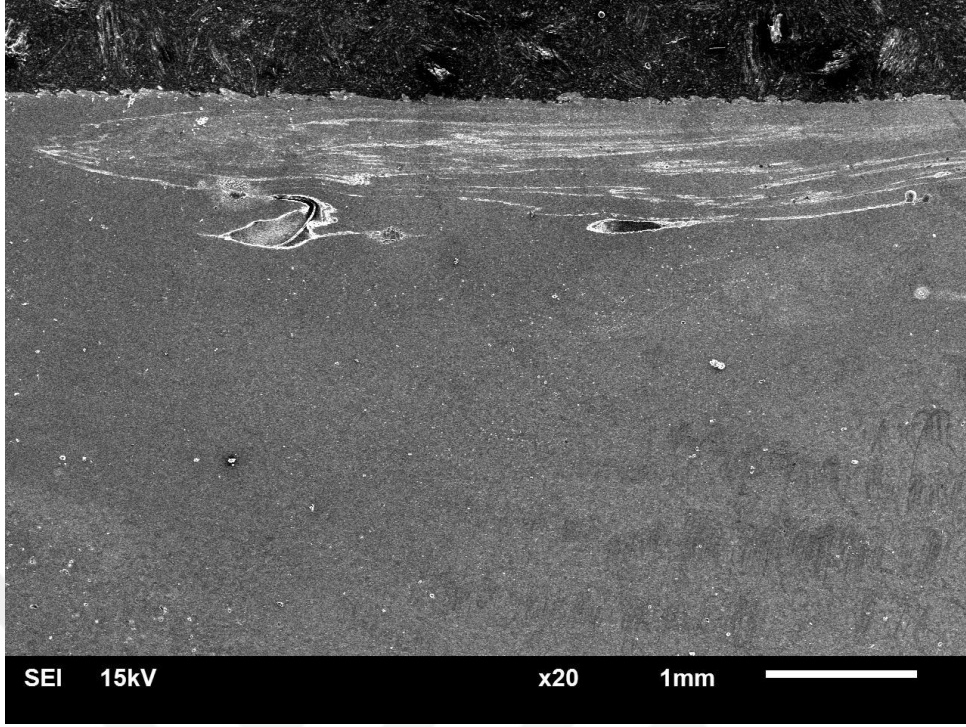
Şekil 43. SKP işleme tabi olmuş takviyesiz AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.



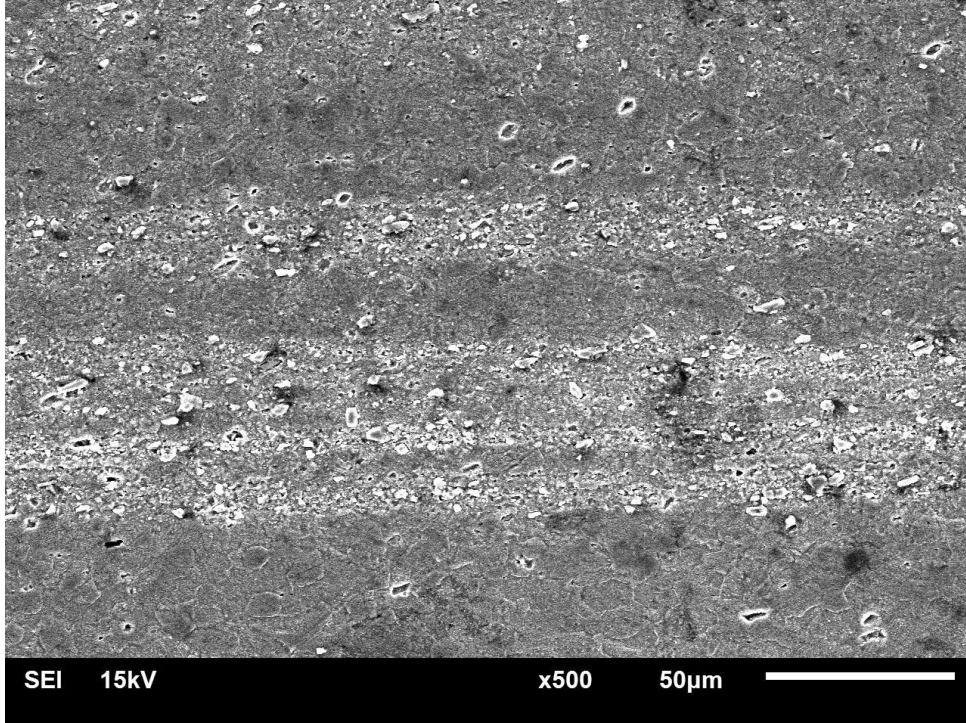
Şekil 44. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182'ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.



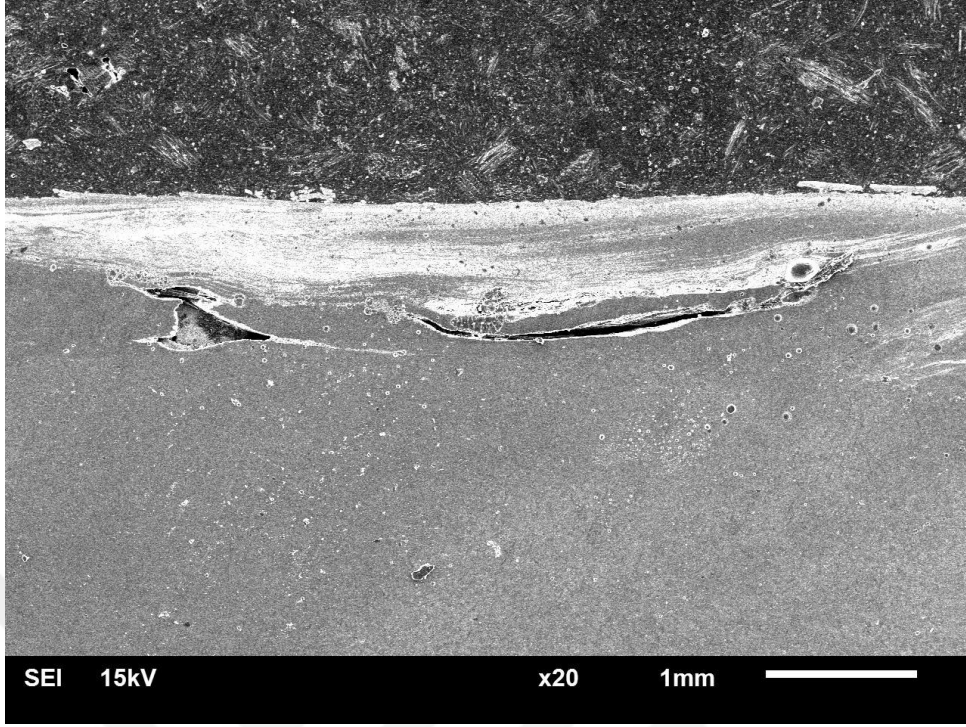
Şekil 45. SKP işlemine tabi olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.



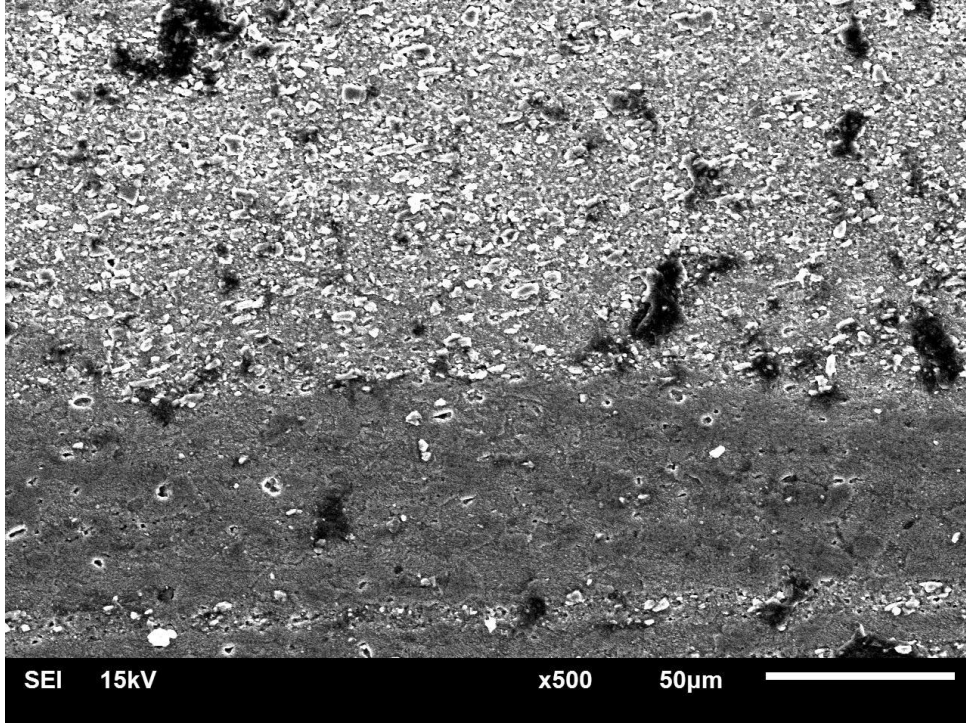
Şekil 46. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182'ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.



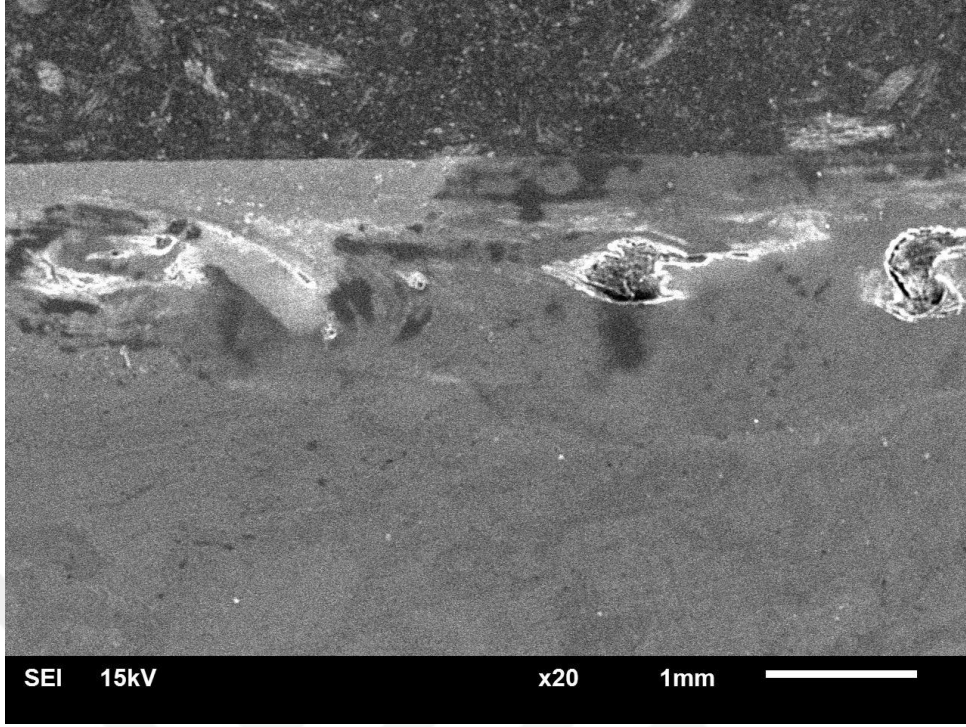
Şekil 47. SKP işlemine tabi olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.



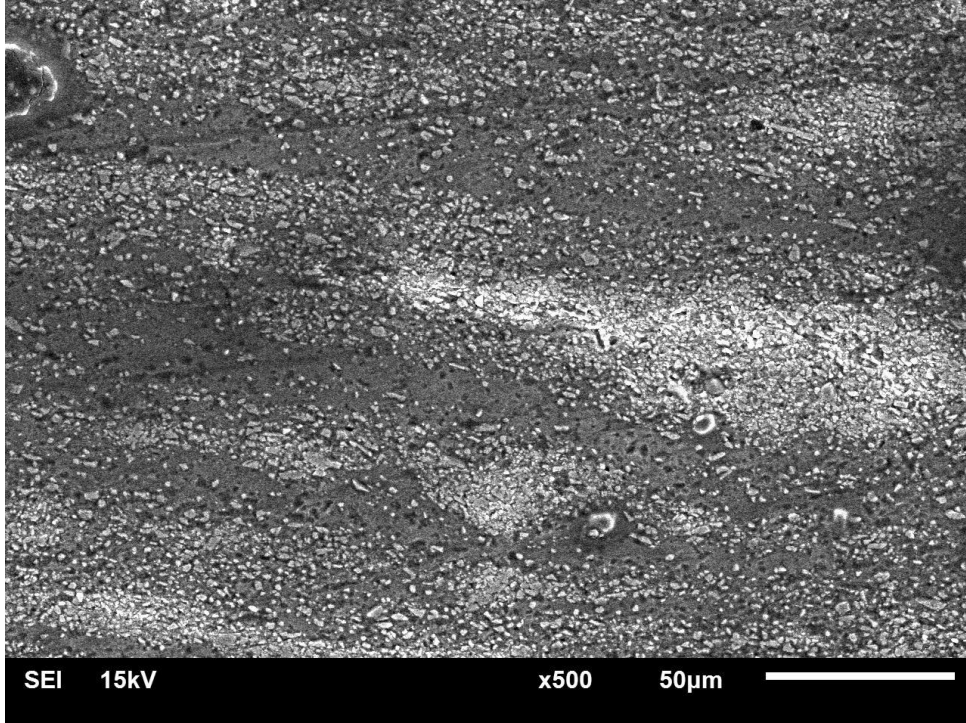
Şekil 48. SKP işlemine tabi olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182'ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.



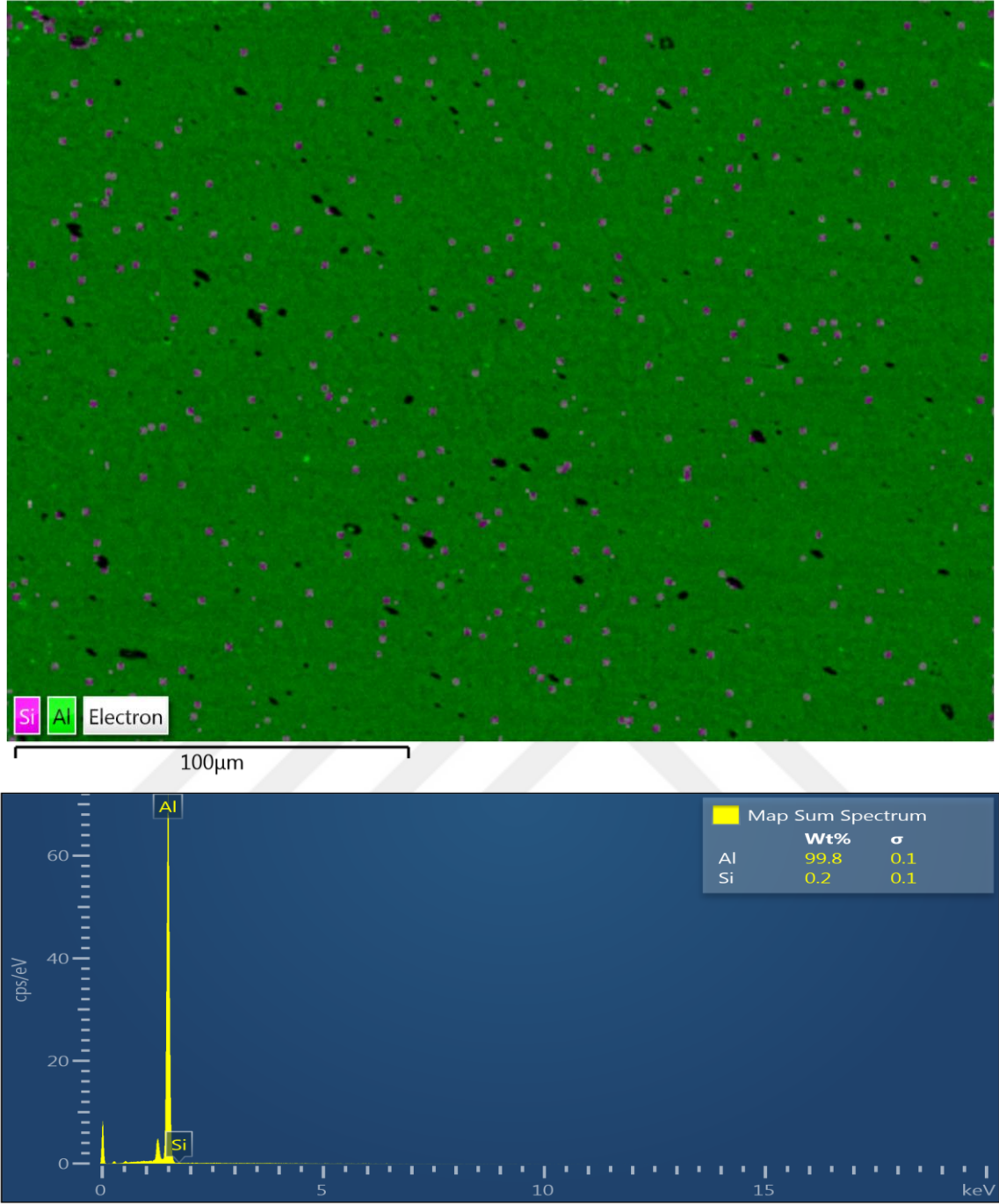
Şekil 49. SKP işlemine tabi olmuş %75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.



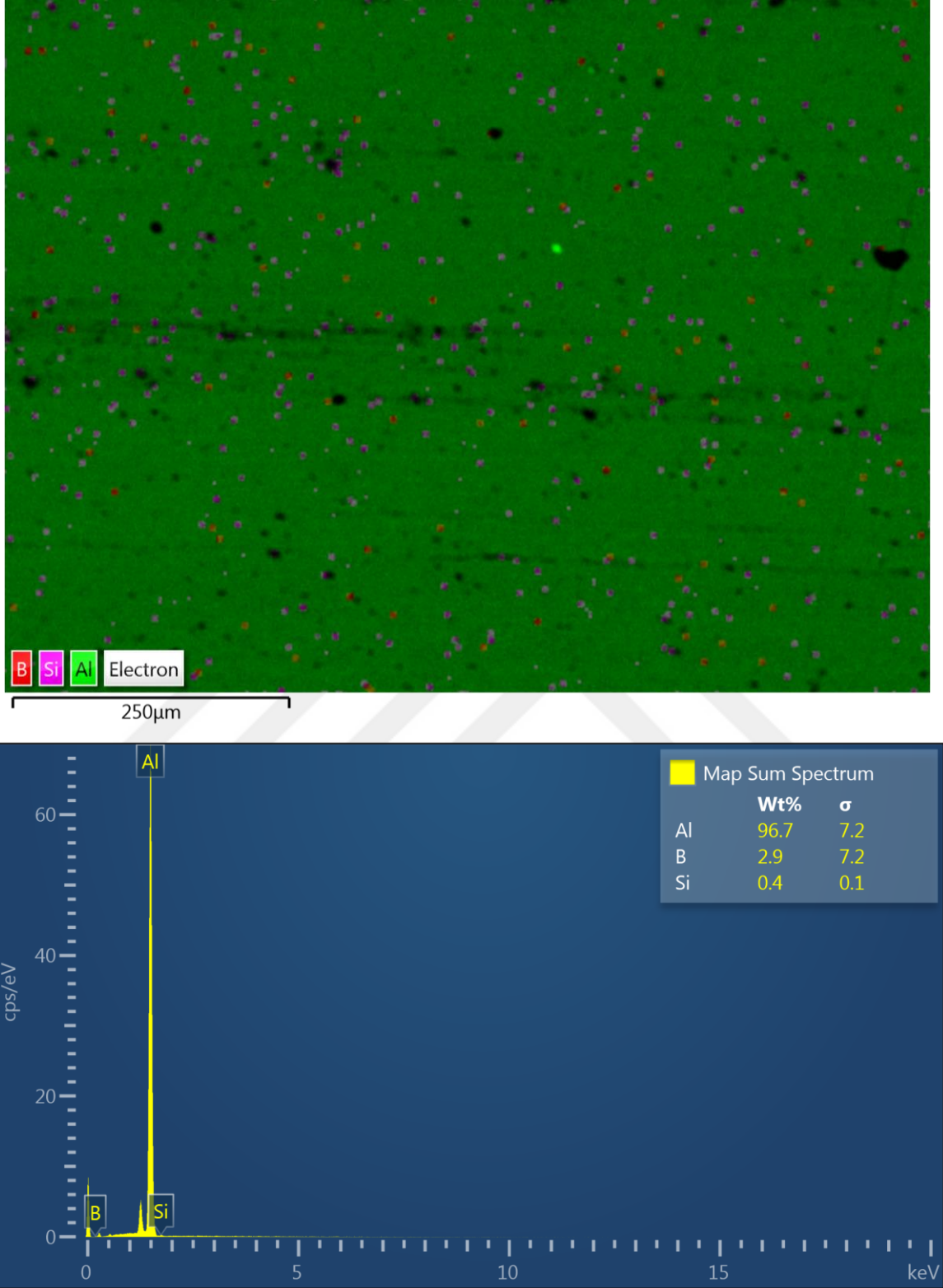
Şekil 50. SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'ye ait mikro ölçek SEM görüntüsü.



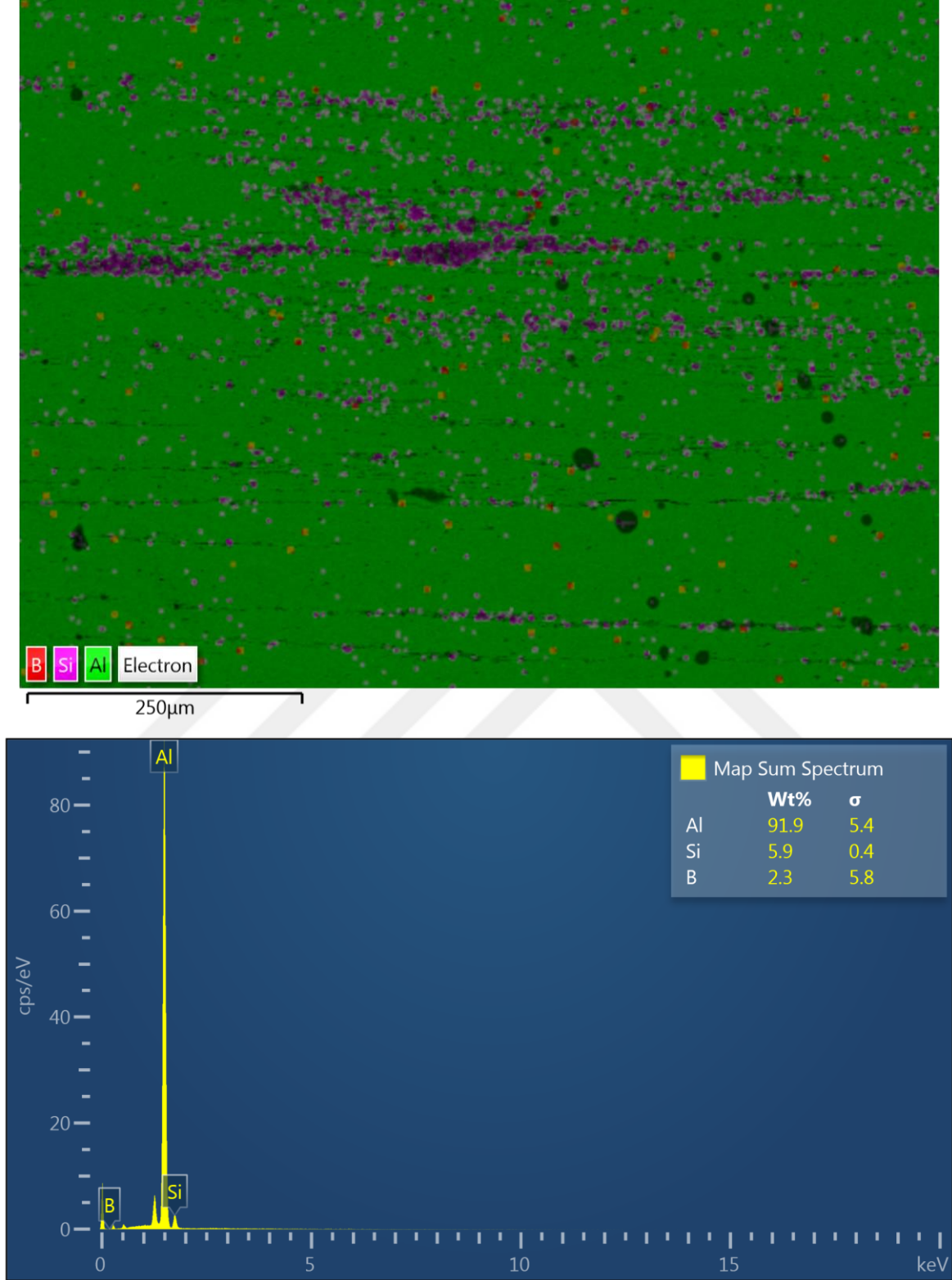
Şekil 51. SKP işlemine tabi olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'ye ait makro ölçek SEM görüntüsü.



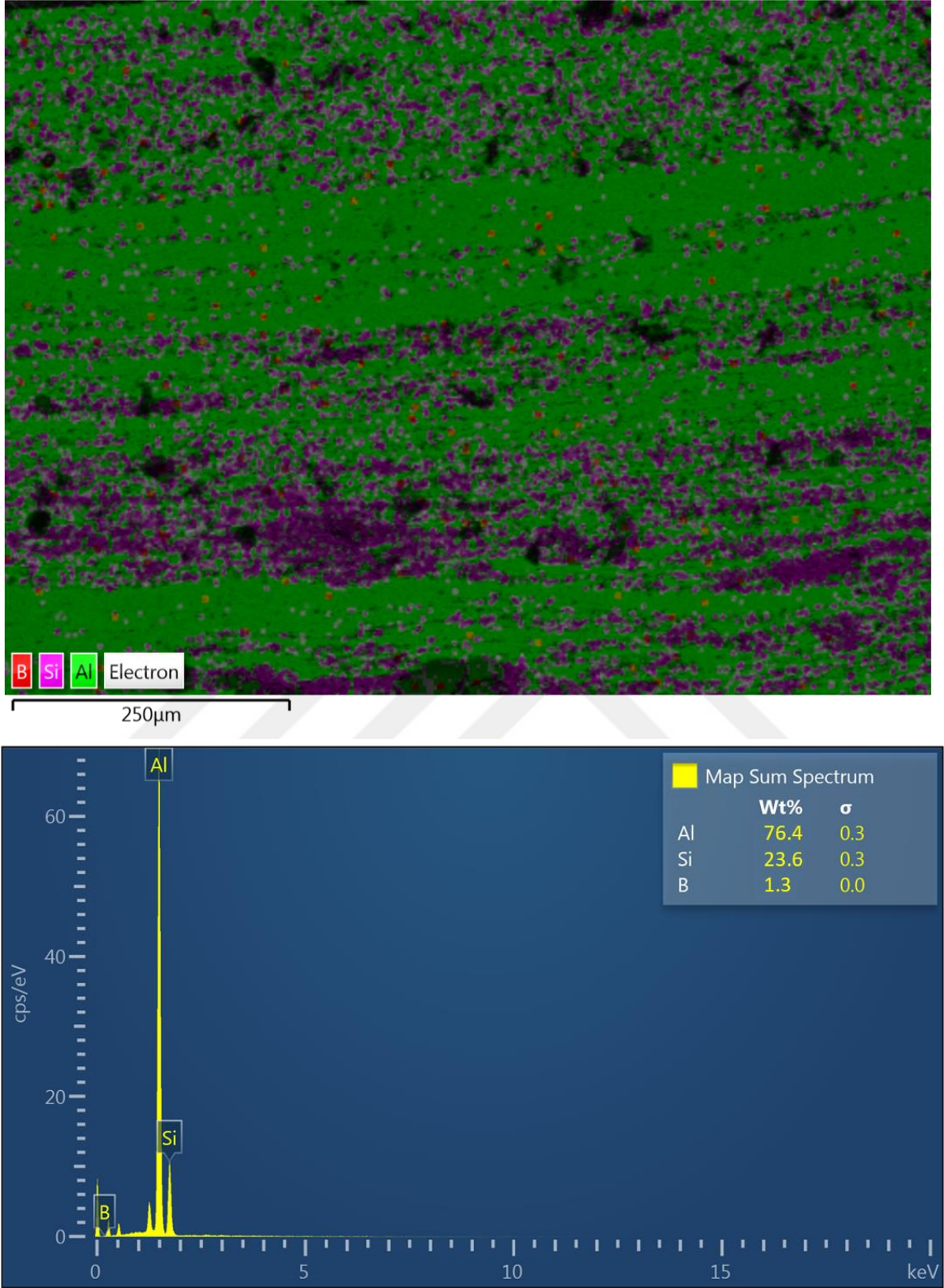
Şekil 52. SKP işlemine tabi olmuş takviyesiz AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.



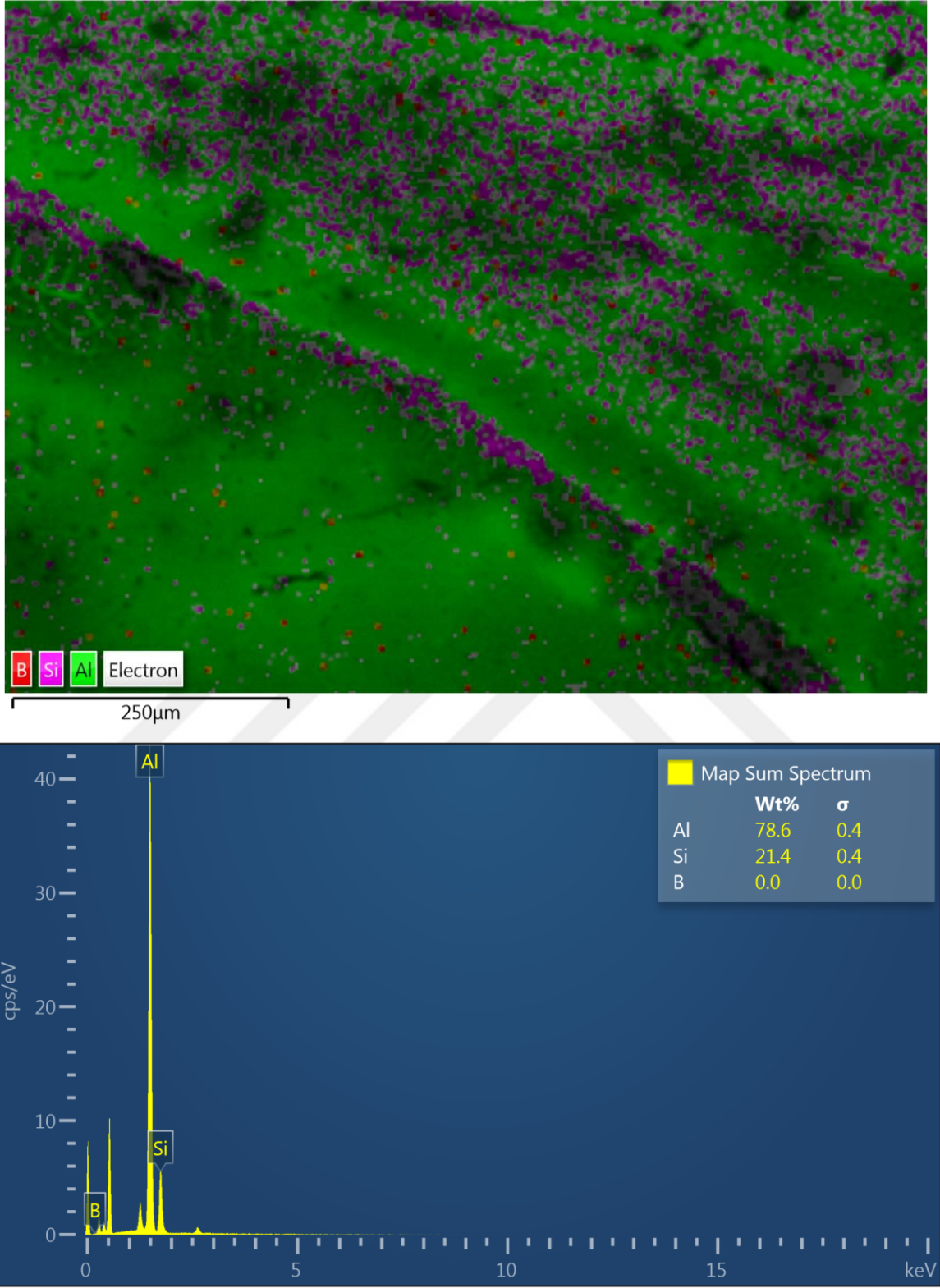
Şekil 53. SKP işlemine tabi olmuş olmuş % 25 SiC ve % 75 BN takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.



Şekil 54. SKP işlemine tabi olmuş olmuş % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.



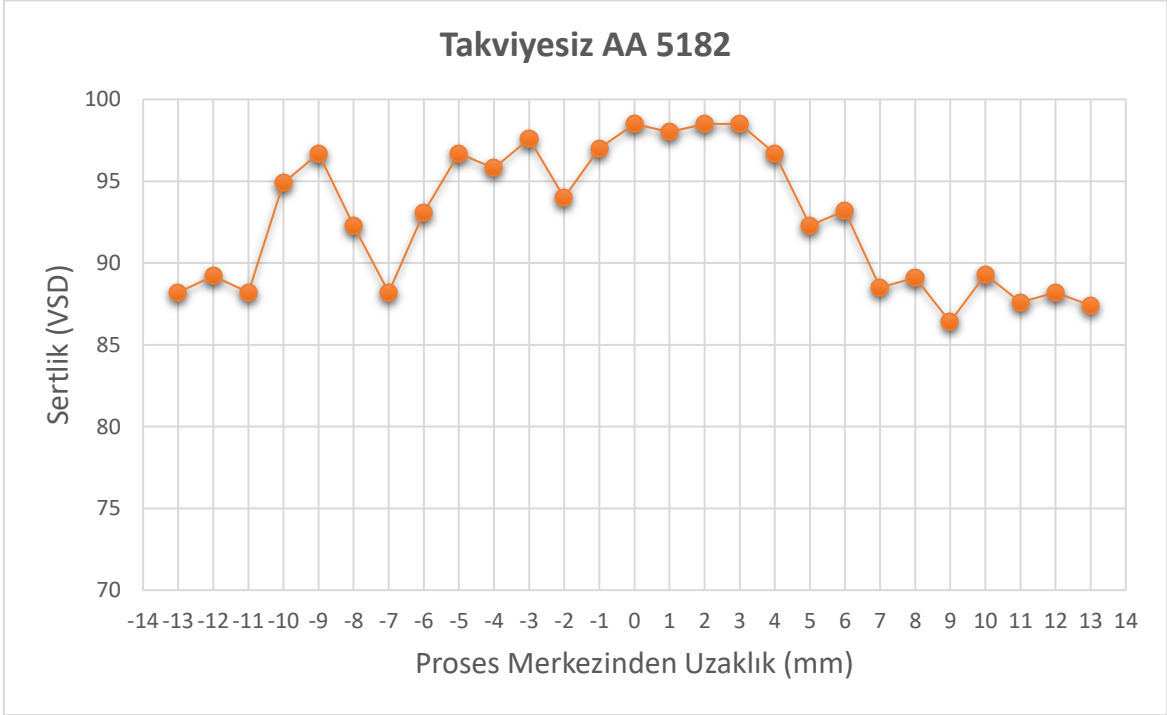
Şekil 55. SKP işlemine tabi olmuş olmuş % 75 SiC ve % 25 BN takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.



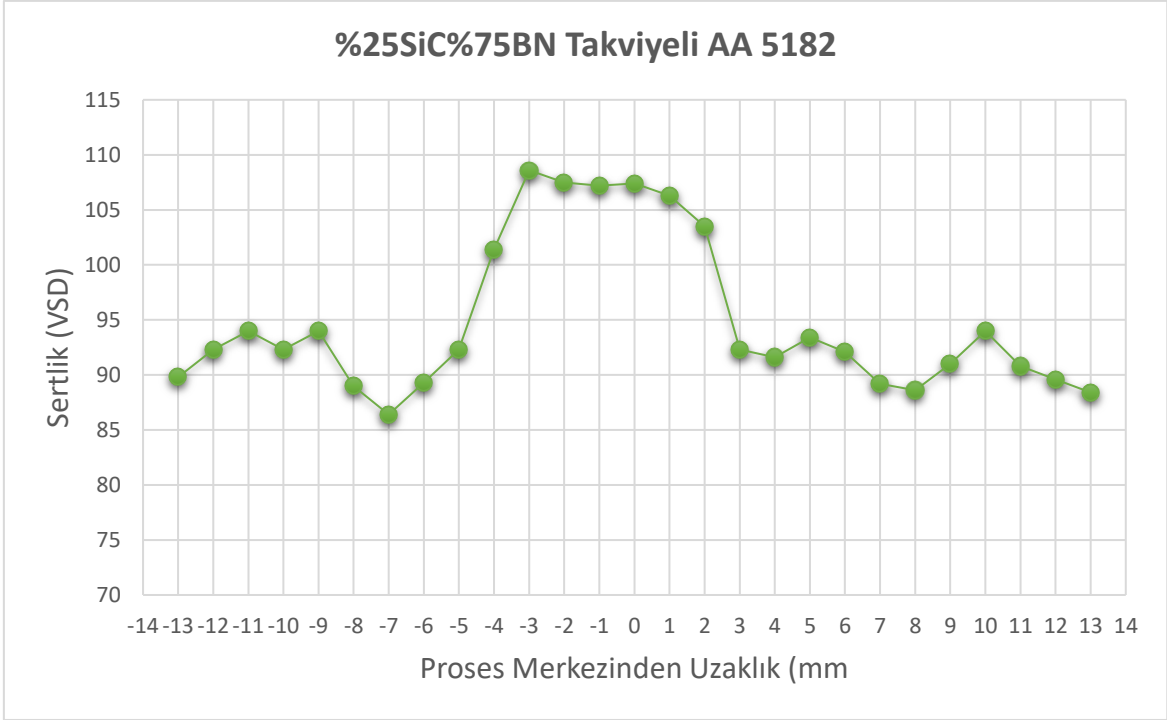
Şekil 56. SKP işlemine tabi olmuş olmuş % 100 SiC takviyeli AA 5182'nin proses bölgesindeki bir alanın EDS analizi.

4.4. Mikro Sertlik İncelemeleri

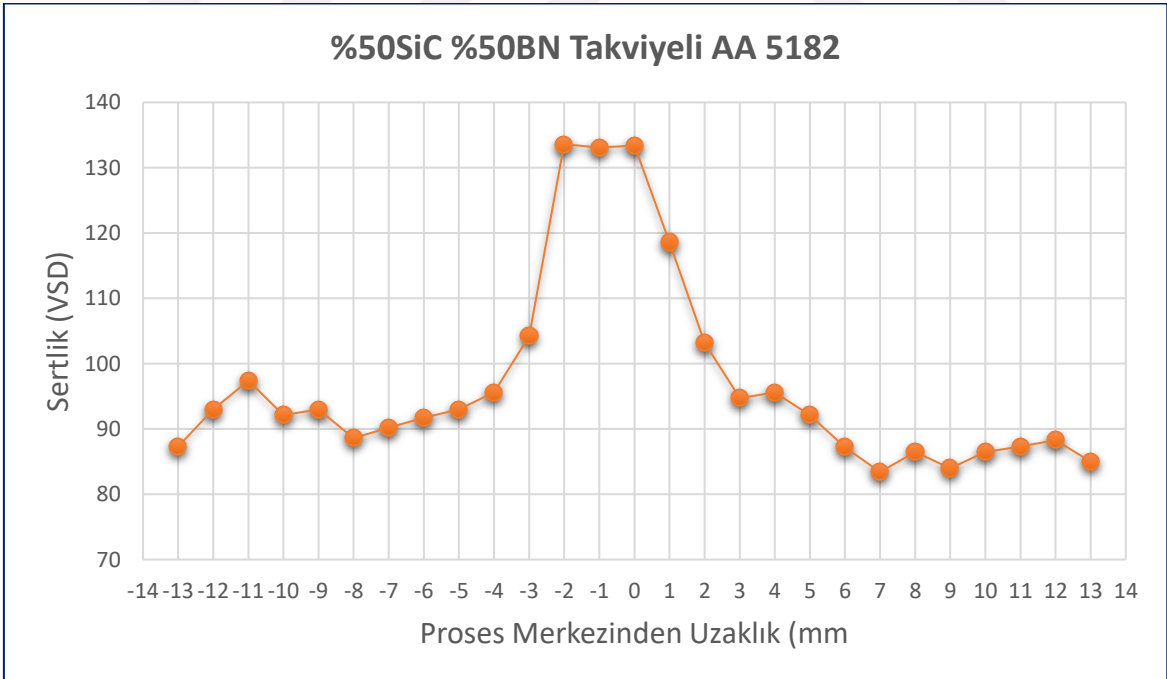
Mikro sertlik ölçümleri numunelerin yüzeyinin 0,5mm altında yüzeye paralel bir doğrultuda 1mm'lik aralıklarla alınmıştır. Sertlik ölçüm değerleri (Şekil 57-62) incelendiğinde, takviye parçacıklarının yoğun olarak yer aldığı, proses bölgesinin merkezinde genel olarak sertlik değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin malzemeye takviye olarak eklenen SiC parçacıkların yanı sıra, 1. ve 2. paso işlemi sırasında takım omuzunun üst üste bindiği bölgede malzemenin iki kez deforme edilmiş olmasının sağladığı etki olarak düşünülebilir.



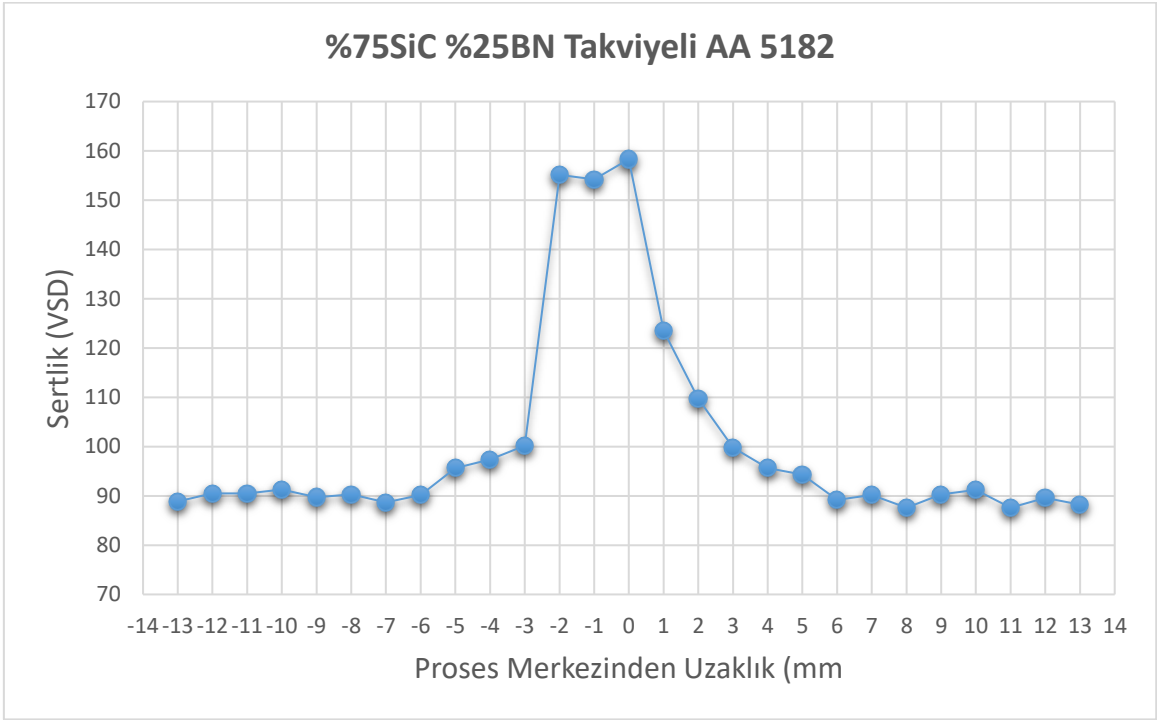
Şekil 57. Takviyesiz durumdaki AA 5182'nin sertlik değerleri.



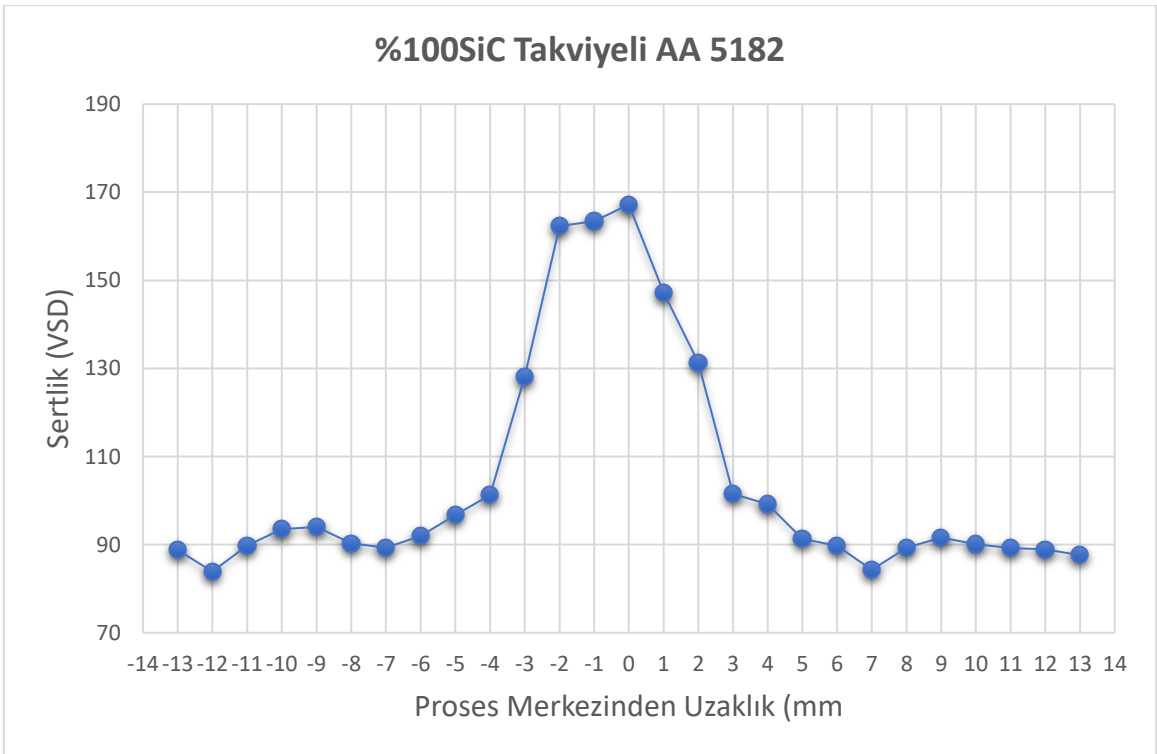
Şekil 58. %25 SiC ve %75 BN oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.



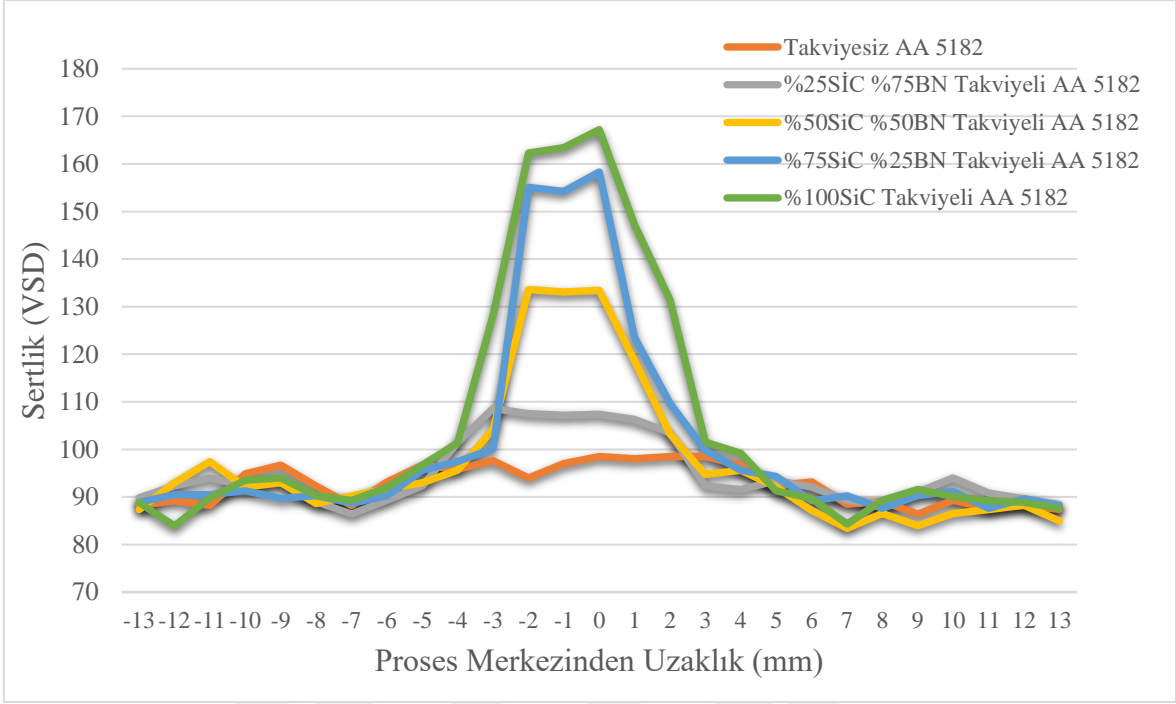
Şekil 59. %50 SiC ve %50 BN oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.



Şekil 60. % 75 SiC ve %25 BN oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.



Şekil 61. % 100 SiC oranında takviyeli AA 5182'nin sertlik değerleri.



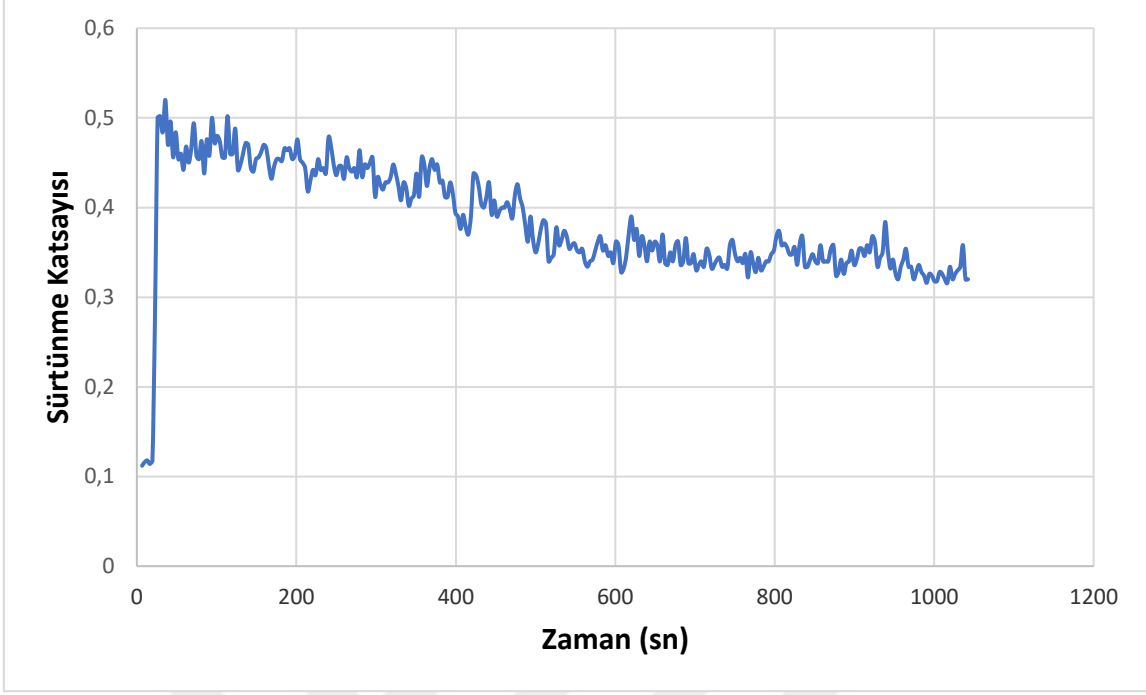
Şekil 62. Numunelere ait sertlik değerleri

Sertlik ölçümleri sonucunda, takviye eleman olarak kullanılan parçacıkların SiC oranı arttıkça genel anlamda kompozit yüzeyin sertlik değerinde de artış gözlemlenmiştir. SiC oranı yüksek takviye durumunda en iyi sertlik değeri elde edilmiştir.

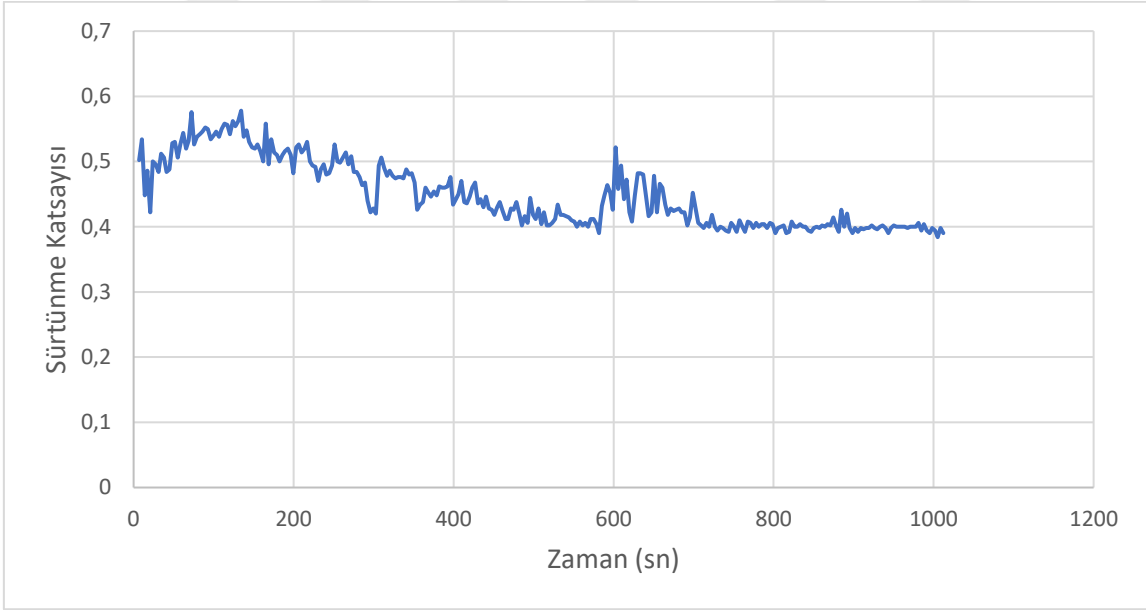
4.5. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyleri “Ball-on disk” deney düzeneğinde karşı yüzey olarak Al_2O_3 bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyinden elde edilen sürtünme katsayısı eğrileri Şekil 63-68’de verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde gerçekleştirilen takviyenin sürtünme katsayısında anlamlı bir iyileştirme oluşturmamasının yanında sürtünme katsayısının bir miktar artmasına yol açtığı görülmüştür. Bu durumun yüksek sertliğe sahip olan SiC parçacıklarının abrazif etkisinden kaynaklandığı kanaati oluşmuştur [10]. Bu durum, Özdin’in yapmış olduğu benzer çalışmada ifade ettiği sonuç ile örtüşmektedir. Aşınma numunelerindeki aşınma izleri optik profilometre ile taranarak 3D görüntüleri ve aşınma profilleri elde edilmiştir. Bu tarama görüntüleri, aşınma profilleri ve aşınma yolu görüntüleri Şekil 69-78 ve Şekil 80-84’de verilmiştir. Profilometre görüntülerinin değerlendirilmesiyle

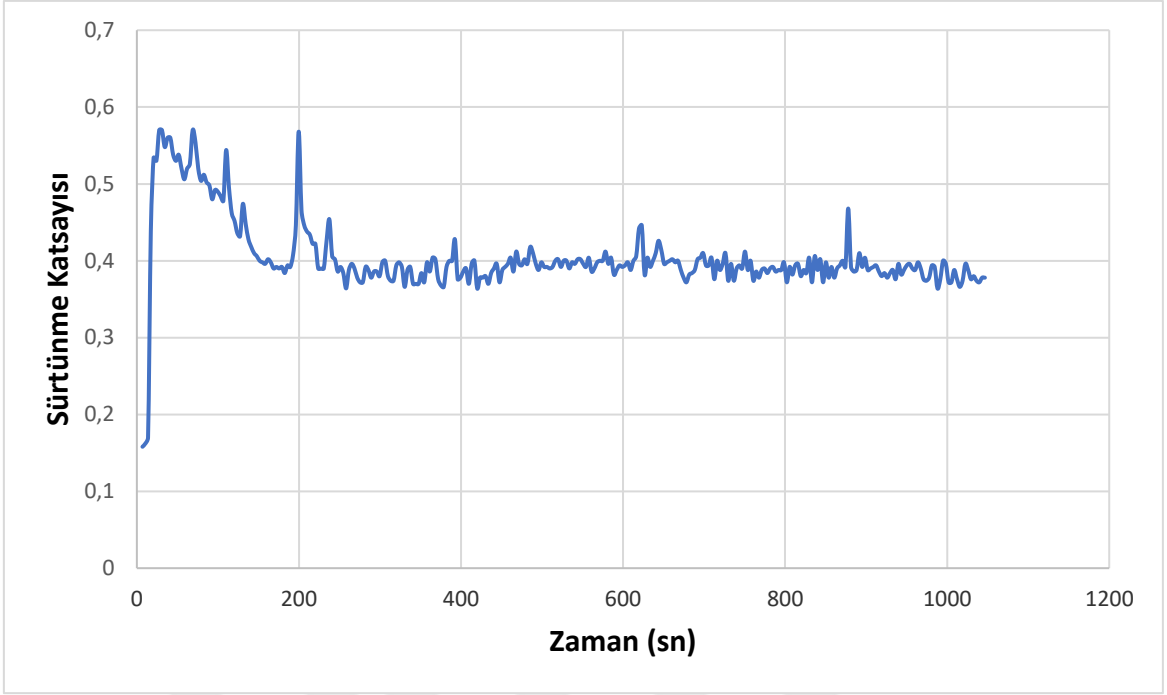
hesap edilen hacimsel kayıplar Şekil 79'da gösterilmiştir. Bu veriler ışığında yapılan değerlendirmede takviyesiz yapıda ölçülen aşınma miktarının, BN oranı yüksek olacak şekilde yapılan takviyenin kompozit yapının aşınma direncini olumsuz yönde etkilemiştir. Bor nitrürün miktarının azaltılarak, SiC oranının artırılması durumunda ise kompozit yapının aşınma direncinin önemli ölçüde artmakta (Aşınma miktarı azalmakta) olduğu gözlenmiştir. Takviye elemanı içeriğinden bor nitrürün çıkartılarak %100 oranında SiC kullanıldığında ise kompozit yapının aşınma direncinde bir miktar azalmanın (aşınma miktarında artış) olduğu gözlenmiştir. Bu durumun, kompozit yapıdaki bor nitrürün sağladığı yağlayıcı etkisinin ortadan kalkmış olması nedeni ile yapıda kalan sert ve aşındırıcı SiC'ün etkisiyle oluşan abrazif etkinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Uygulanan takviye miktarı (%40) ve oranları (%SiC + %BN) dikkate alındığında, elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin SiC oranından bağımsız olduğu ancak takviye çiftindeki BN oranına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. BN katkı oranının artmasıyla sürtünme katsayı artmaktadır. Bu durum, %25 BN oranının üzerinde uygulanan katkının kompozit yapıda yağlayıcı etkiden çok sürtünmeyi artırıcı adhezif etkiyi artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Üretilen kompozit yapının aşınma direnci, uygulanan deformasyon etkisiyle sertlik değerinin artmasına rağmen, %75 BN oranında yapının yük taşıma kabiliyetinin olumsuz yönde etkilemesinden dolayı düşmektedir. Üretilen kompozit yapıdaki BN katkısının oransal olarak azalması durumunda yapının aşınma direnci, artan yük taşıma kabiliyetiyle ve BN'ün yağlayıcı etkisinin artmasıyla birlikte önemli oranda artış göstermektedir.



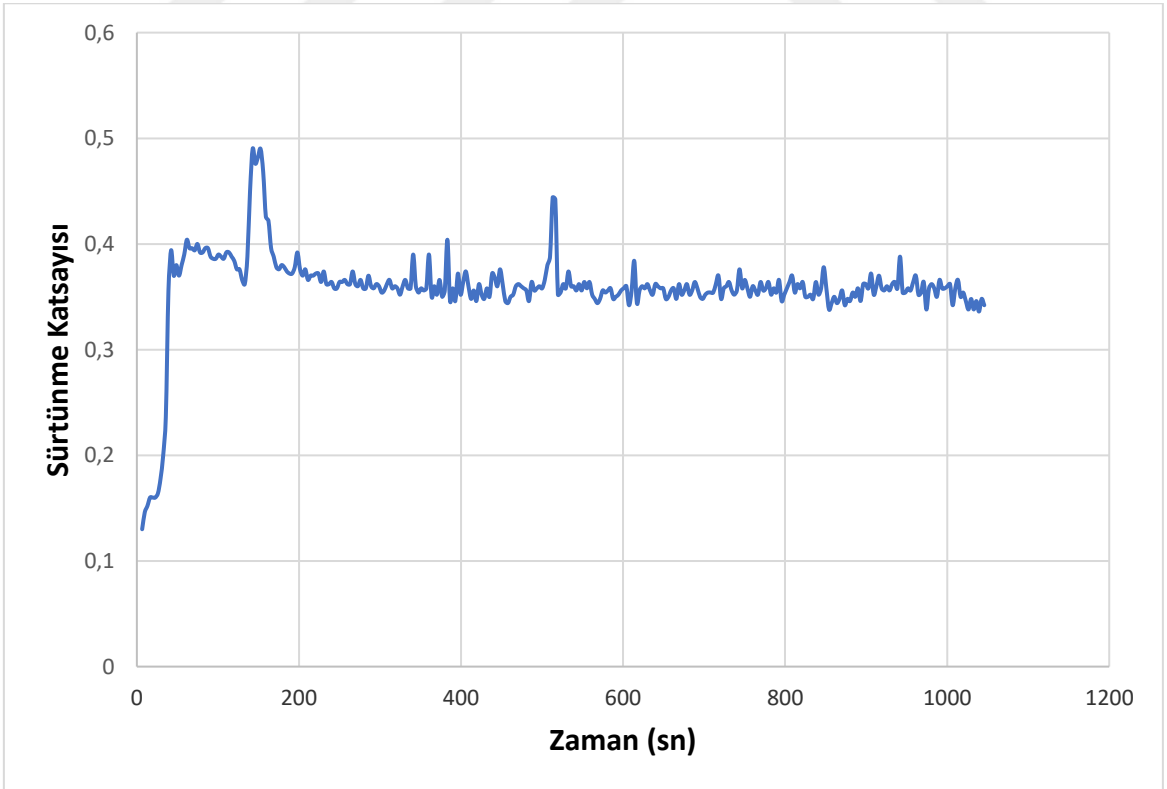
Şekil 63. Takviyesiz durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.



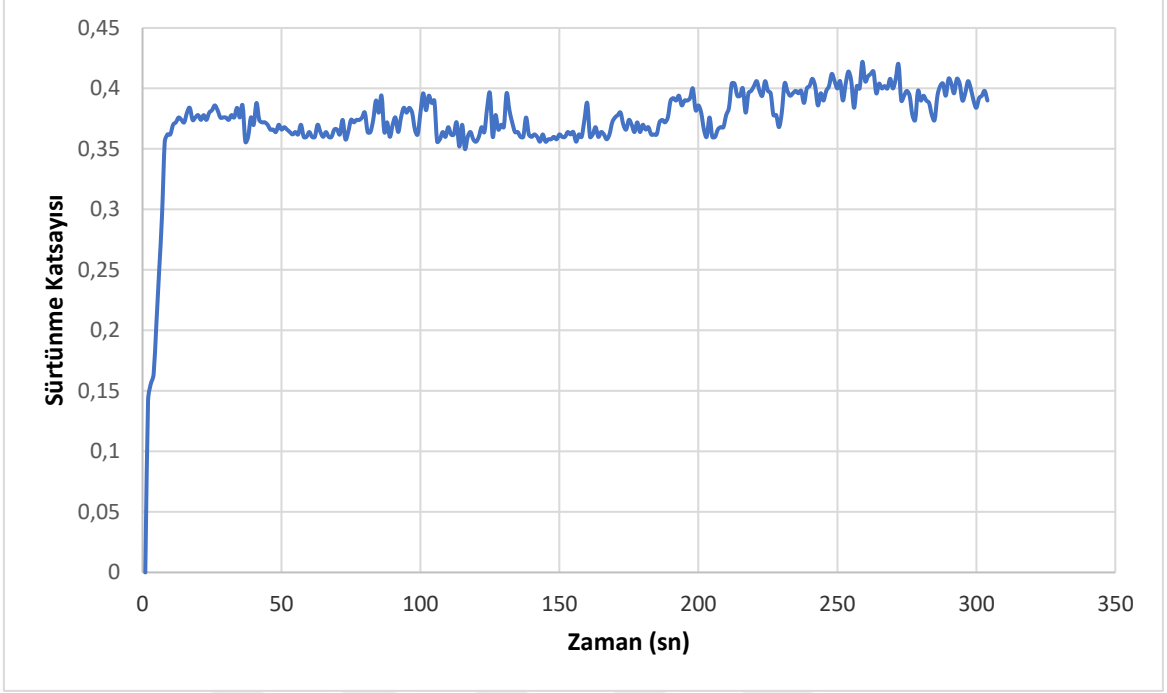
Şekil 64. %25SiC ve %75BN takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.



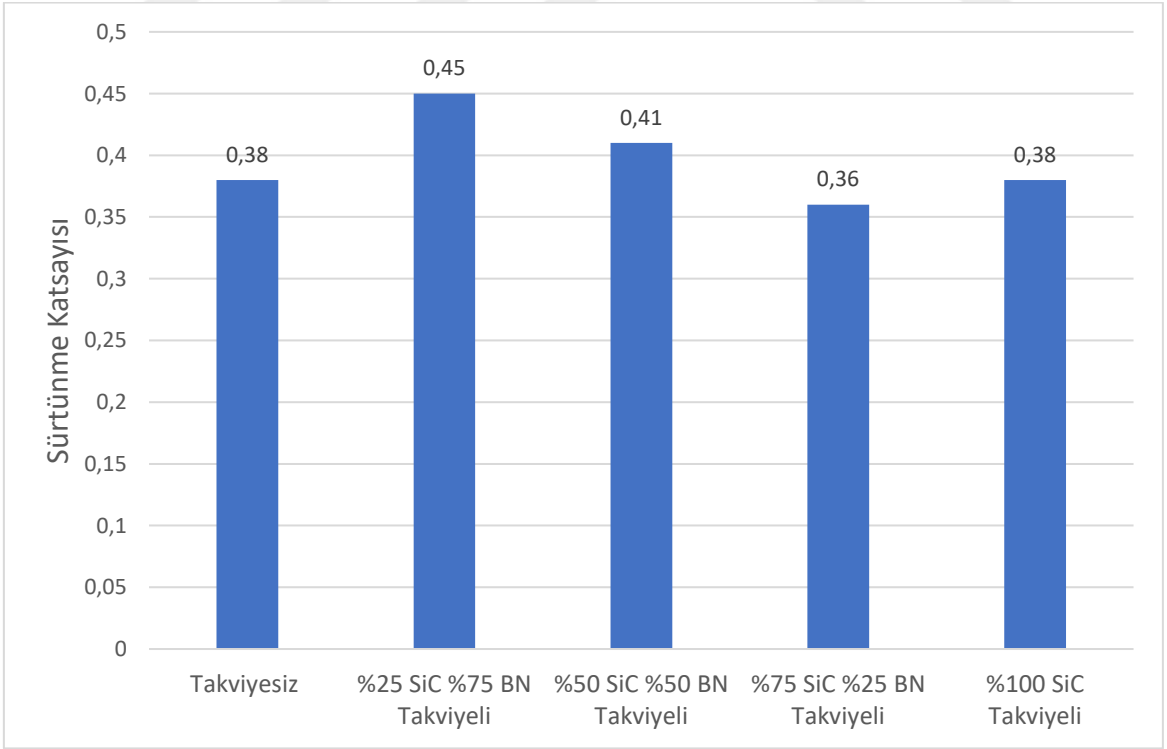
Şekil 65. %50SiC ve %50BN takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.



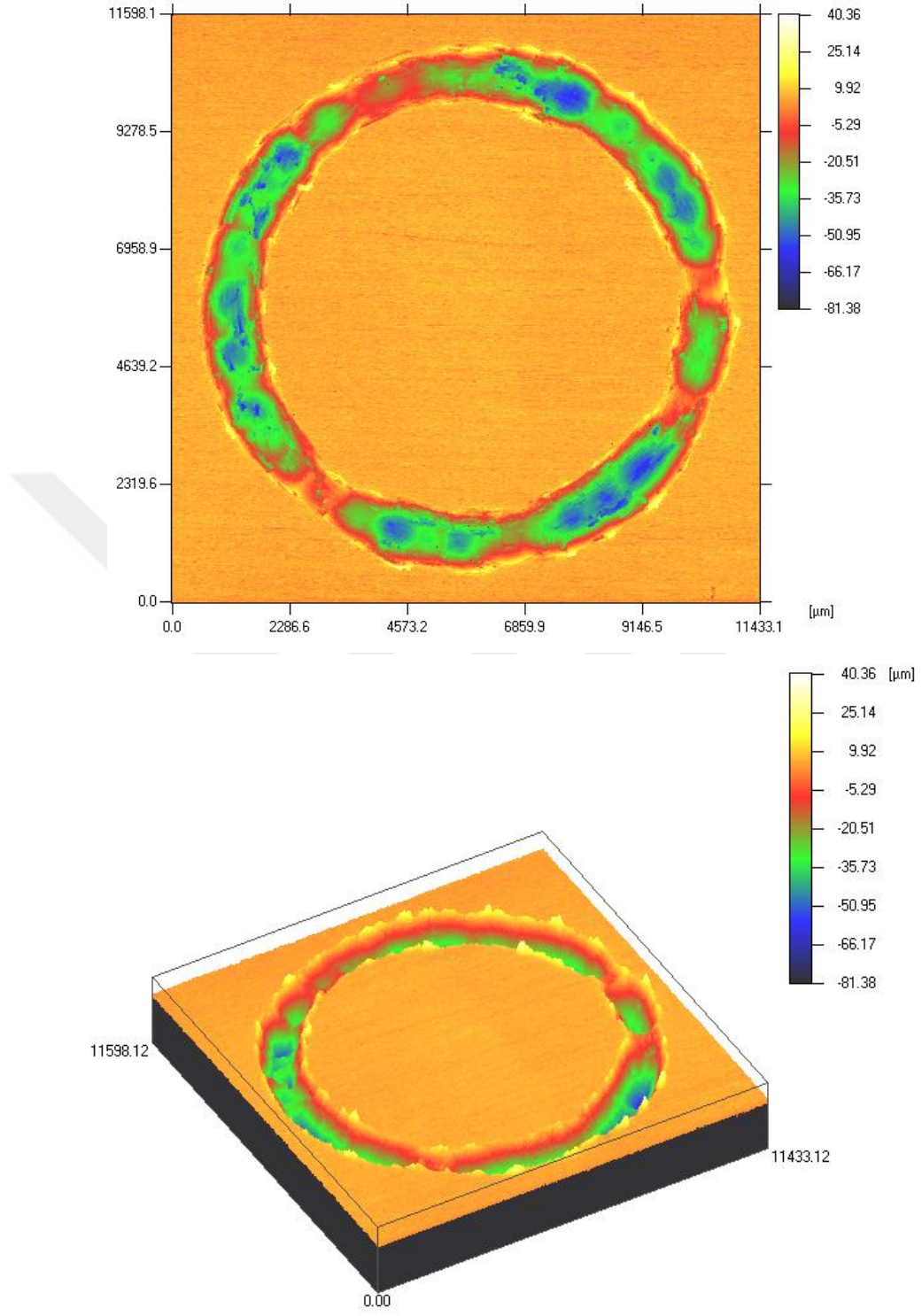
Şekil 66. %75SiC ve %25BN takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.



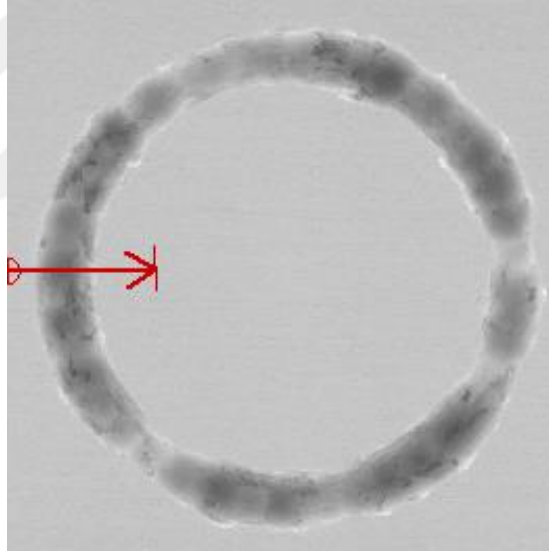
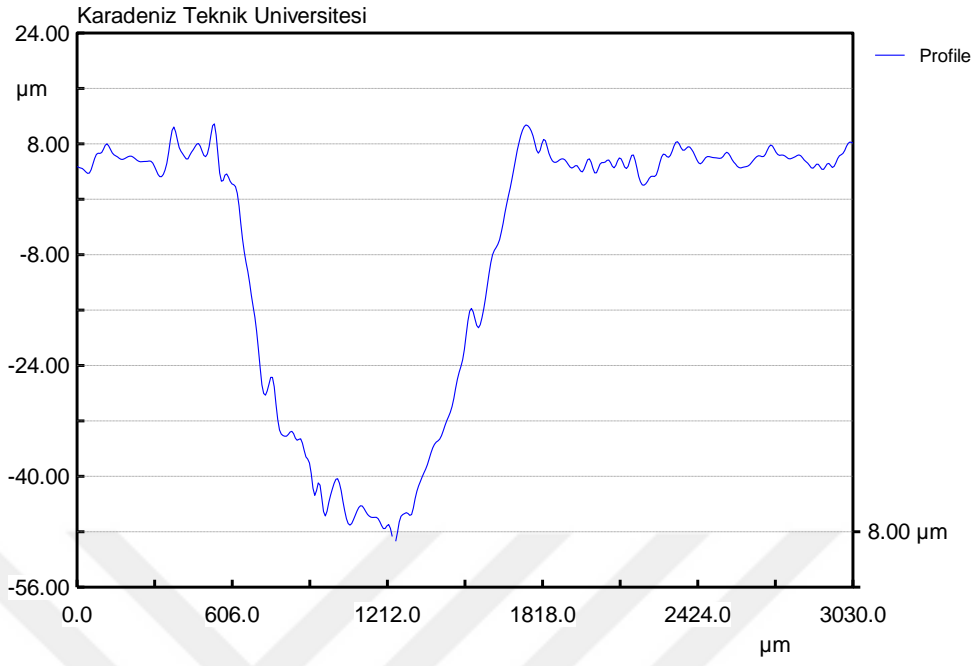
Şekil 67. %100SiC takviyeli durumda SKP uygulanmış AA 5182'nin zamana göre sürtünme katsayısı değişimi.



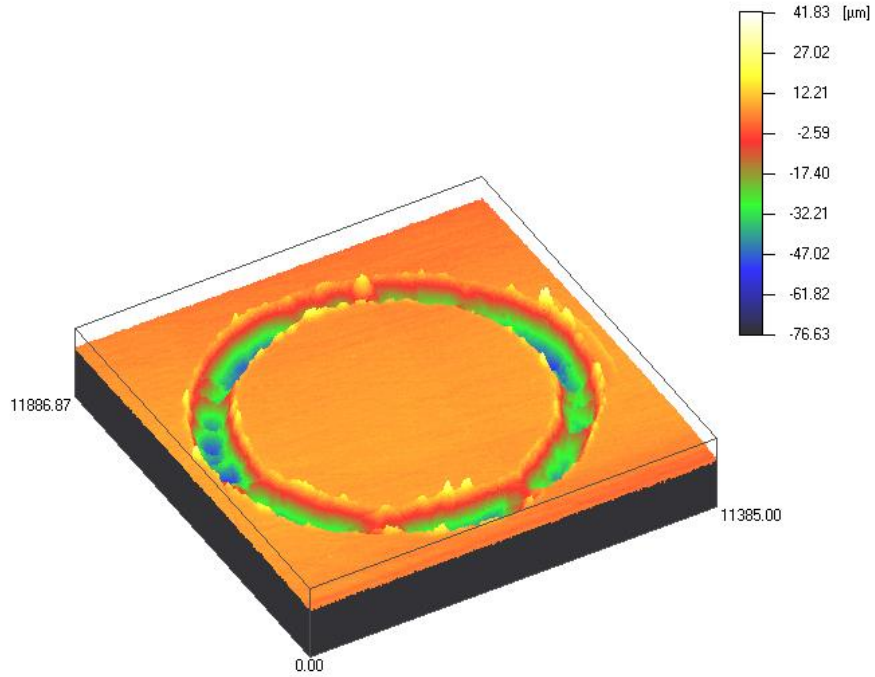
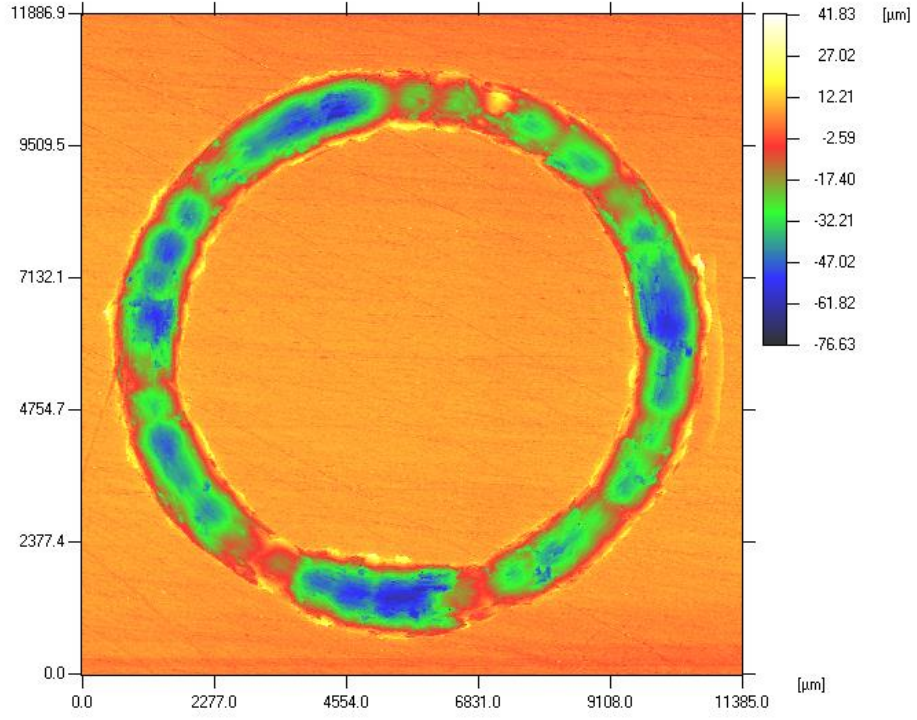
Şekil 68. Ortalama sürtünme katsayıları.



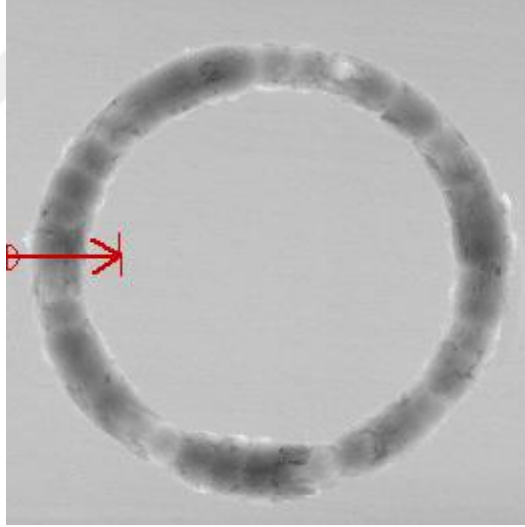
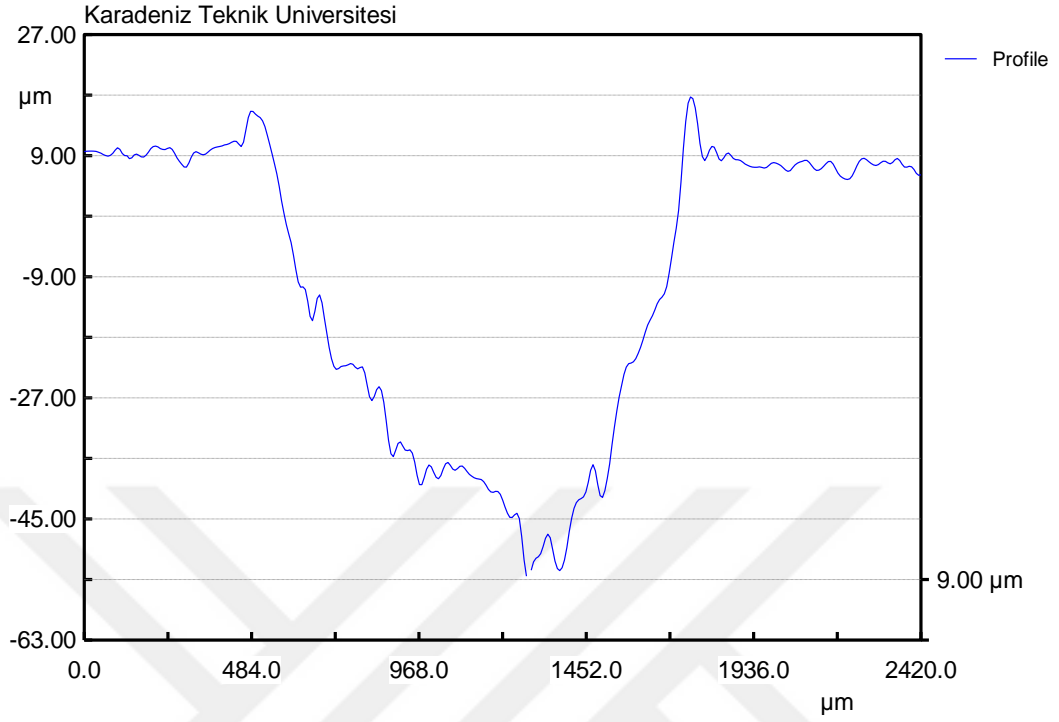
Şekil 69. Takviyesiz AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.



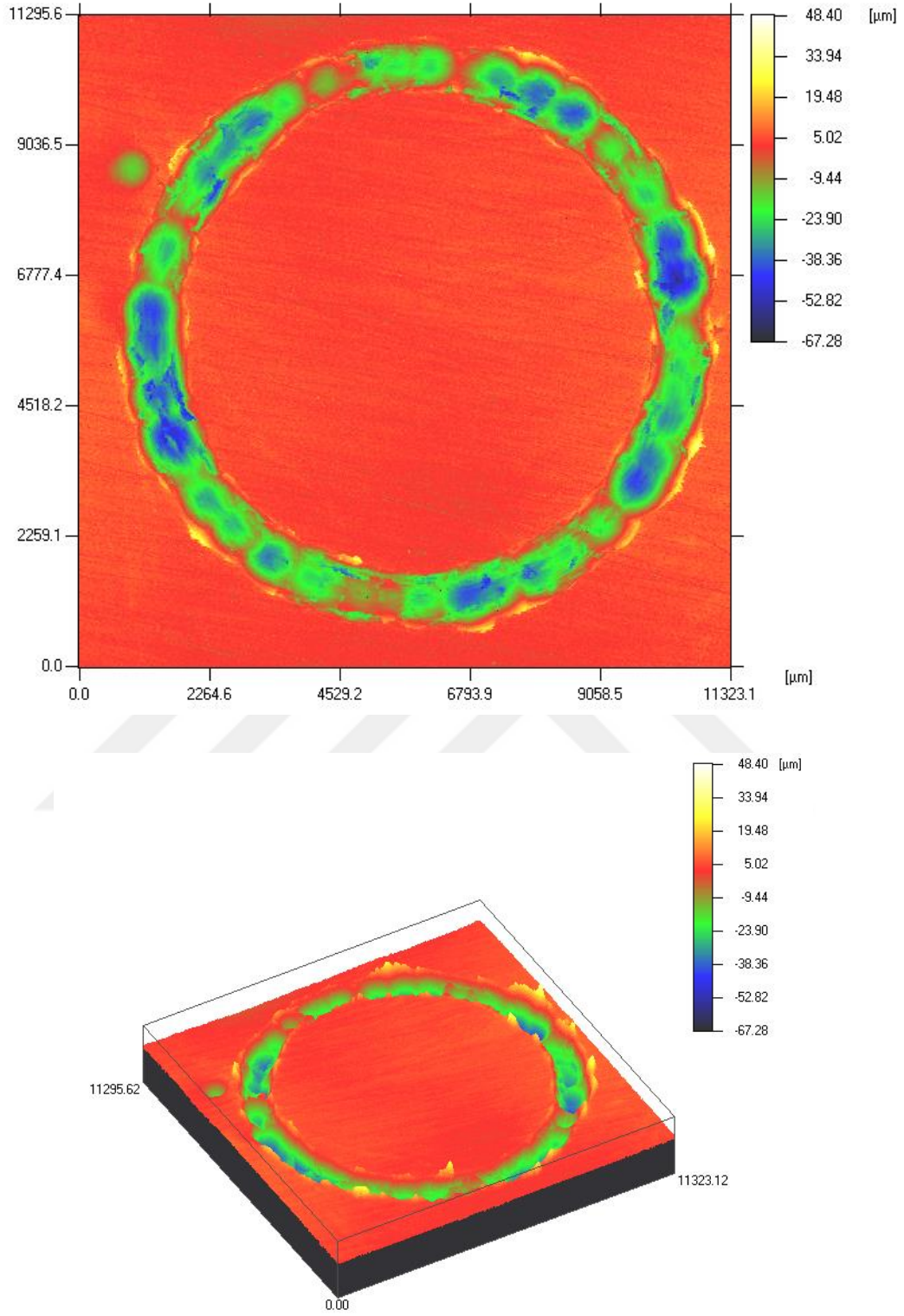
Şekil 70. Takviyesiz AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.



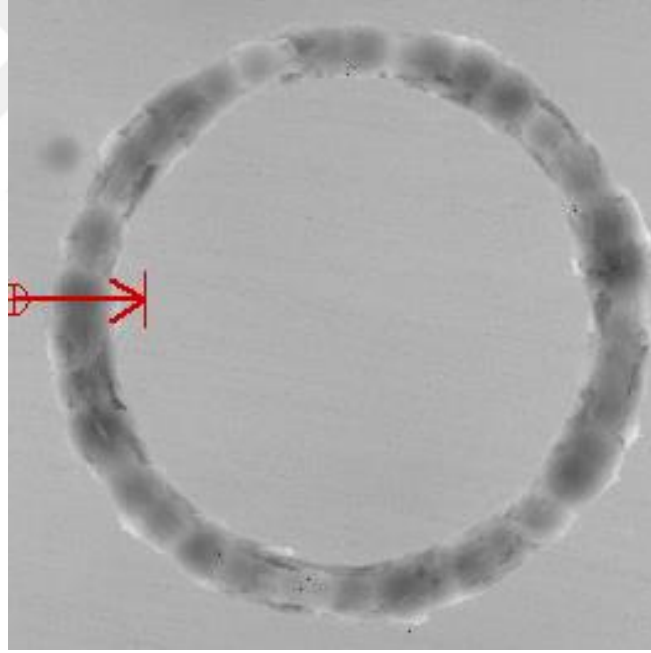
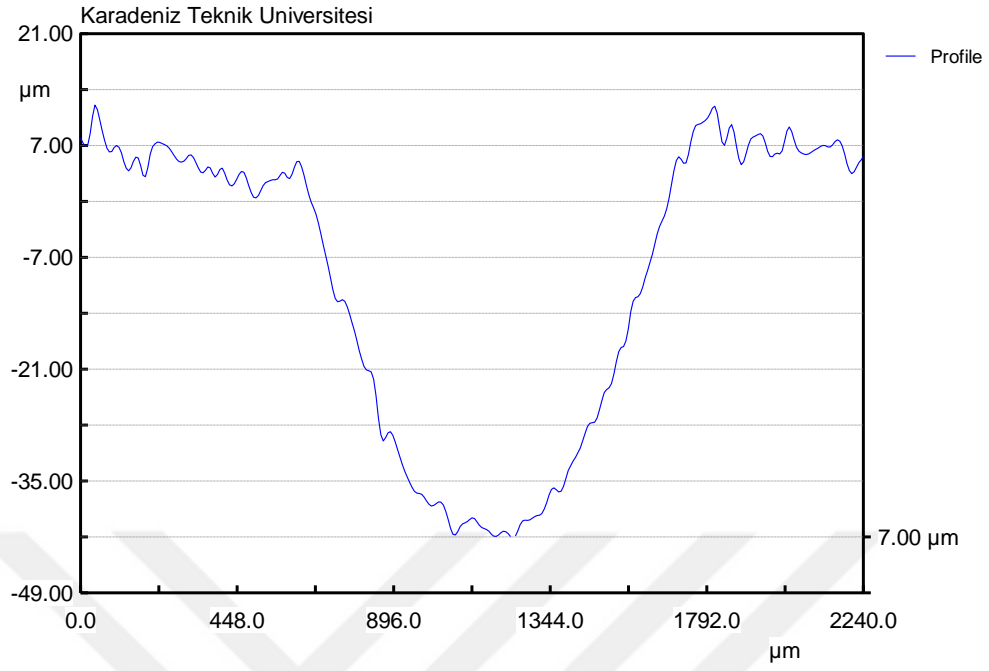
Şekil 71. %25 SiC ve %75 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.



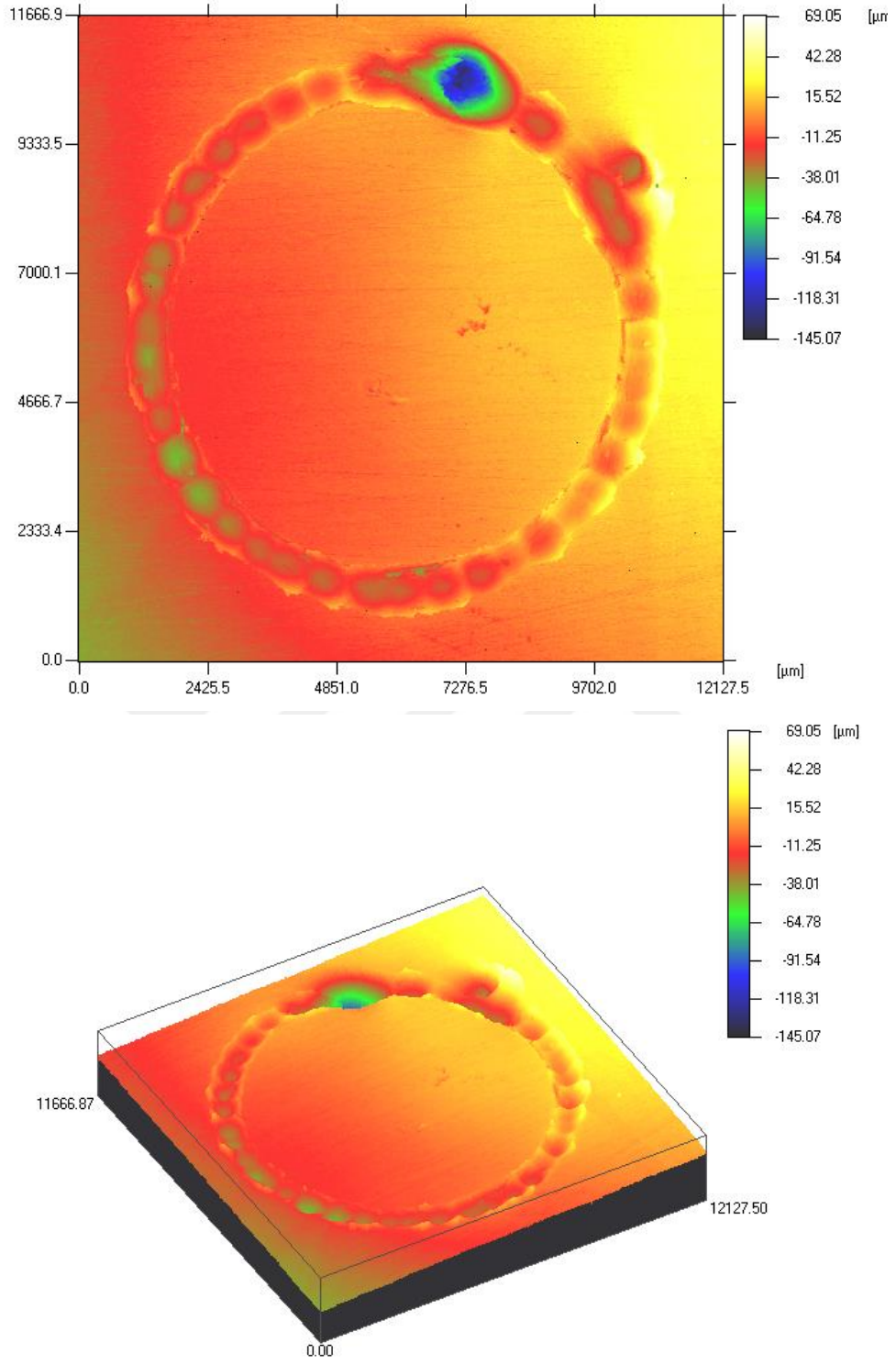
Şekil 72. %25 SiC ve %75 BN takiyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.



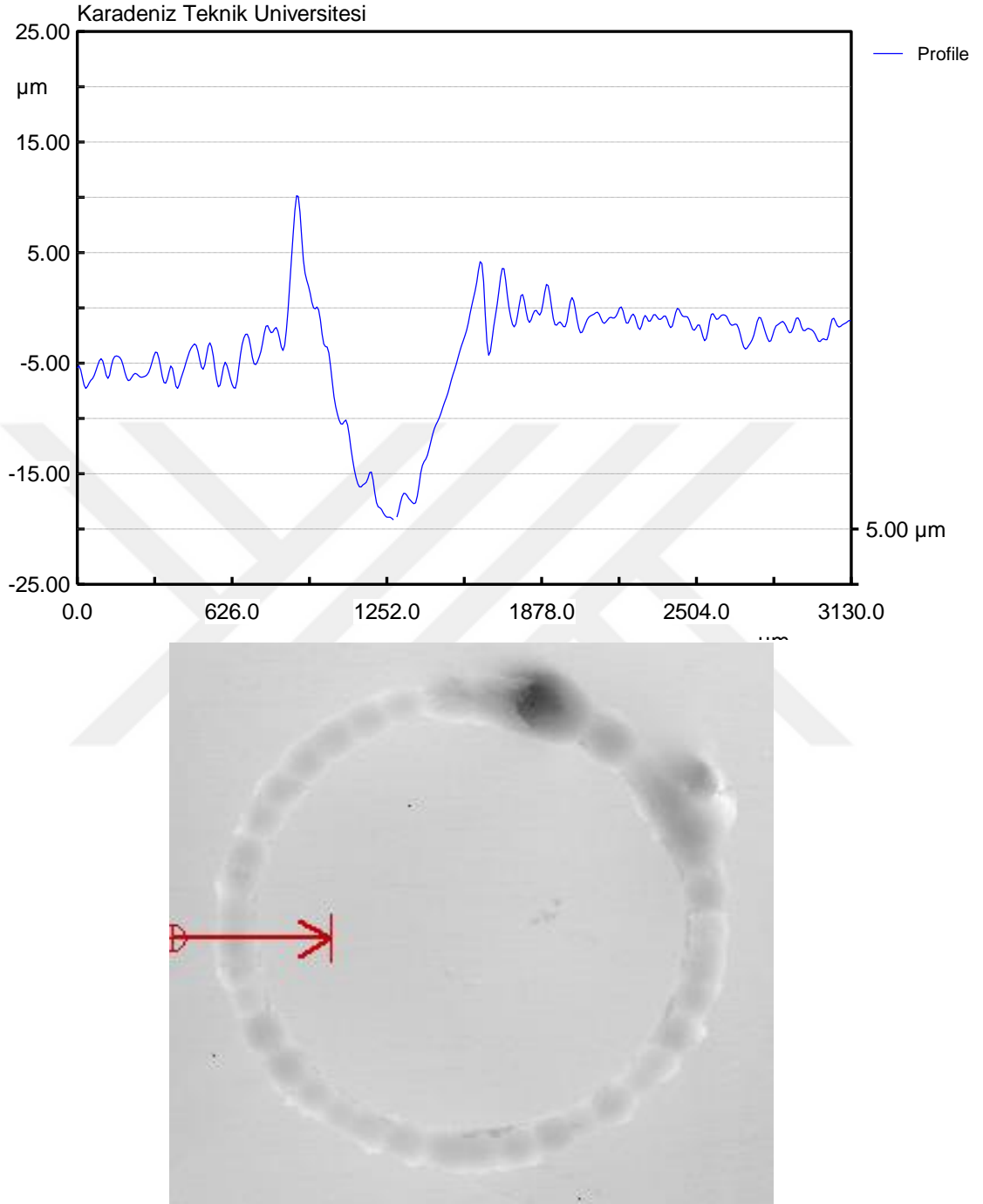
Şekil 73. %50 SiC ve %50 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.



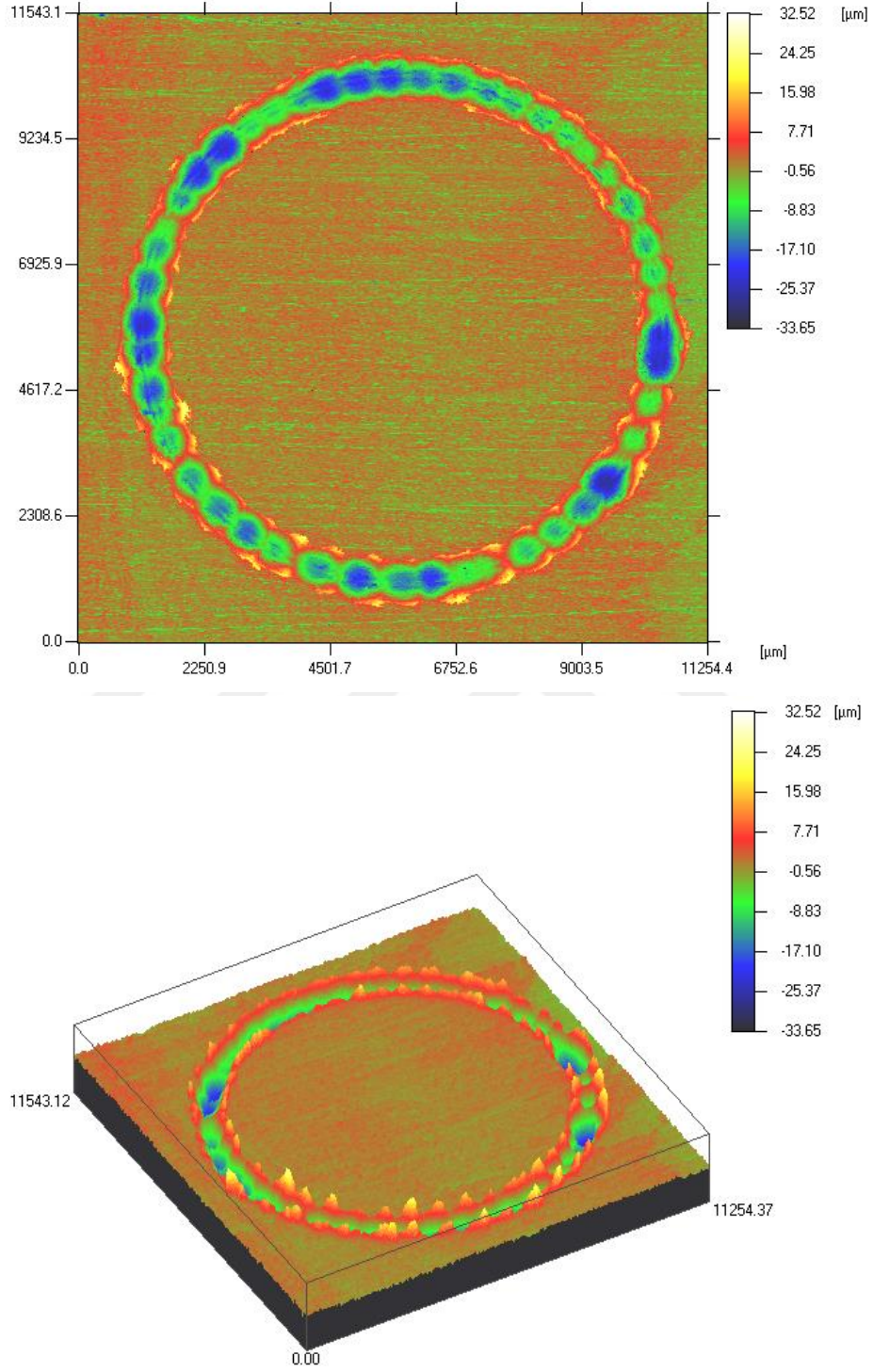
Şekil 74. %50 SiC ve %50 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.



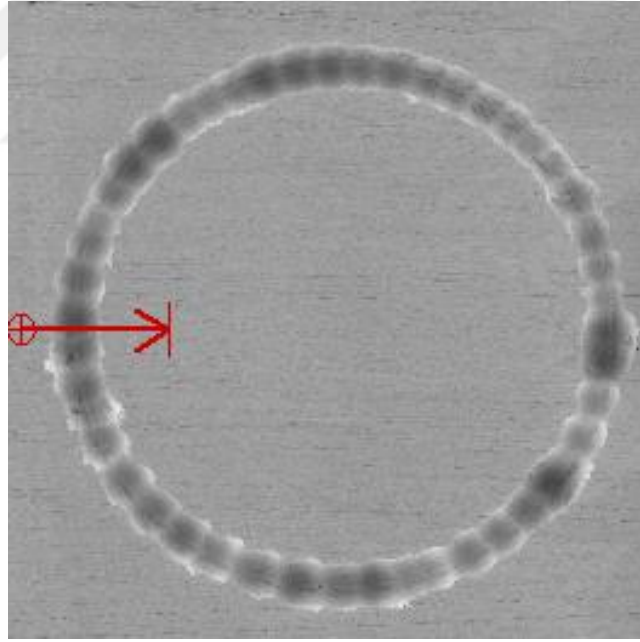
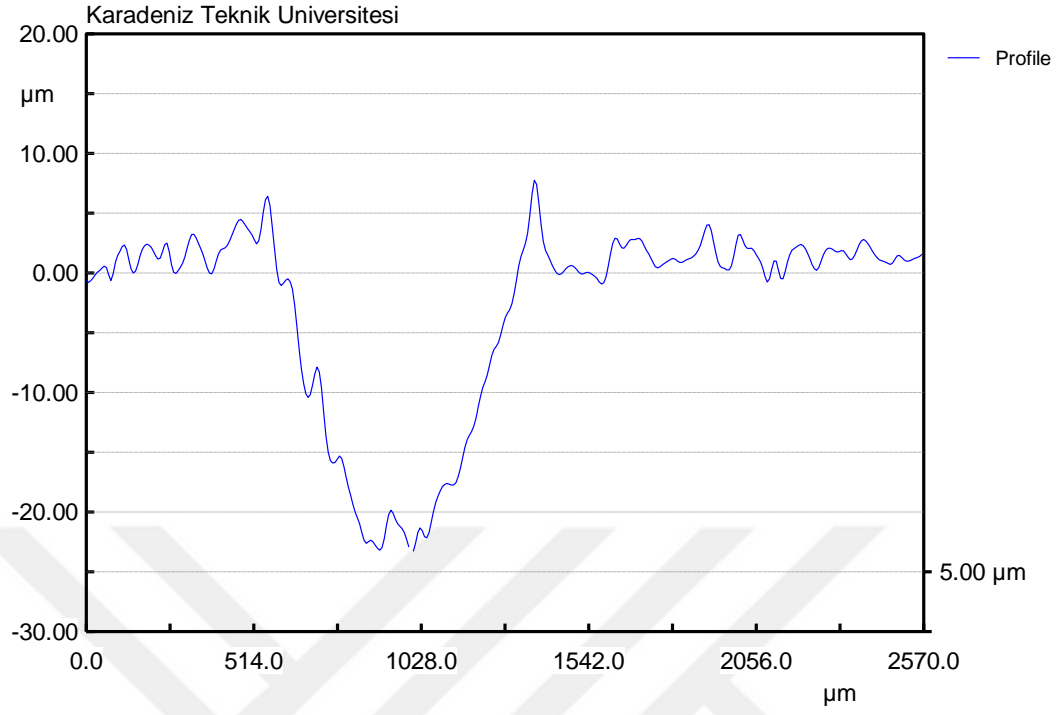
Şekil 75. %75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 76. %75 SiC ve %25 BN takiyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.

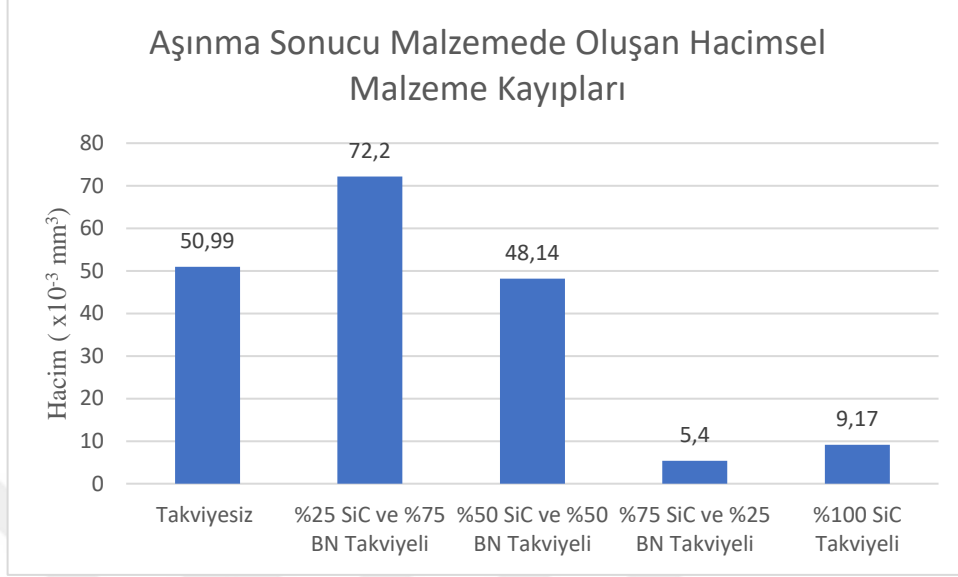


Şekil 77. %100 SiC takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 78. %100 SiC takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi kesit profili.

Aşınma deneyi sonucunda hacim kayıpları Şekil 79’da verilmiştir.



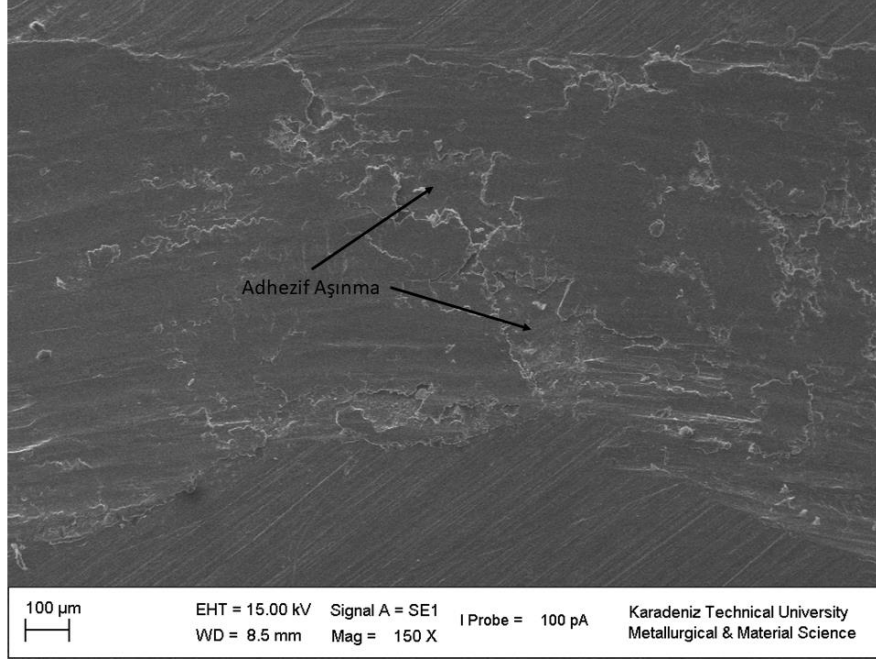
Şekil 79. Aşınma deneyi ortalama hacim kayıpları.

Şekil 79’da görüldüğü üzere en düşük malzeme kayıpları %75 SiC ve %25 BN takviye elemanı karışım oranında oluşmuştur. %25’in üzerindeki BN karışım oranlarında, kompozit yapıda bor nitrürün, yapının aşınma direnci üzerinde önemli oranda olumsuz etkisi olduğu görülmektedir.

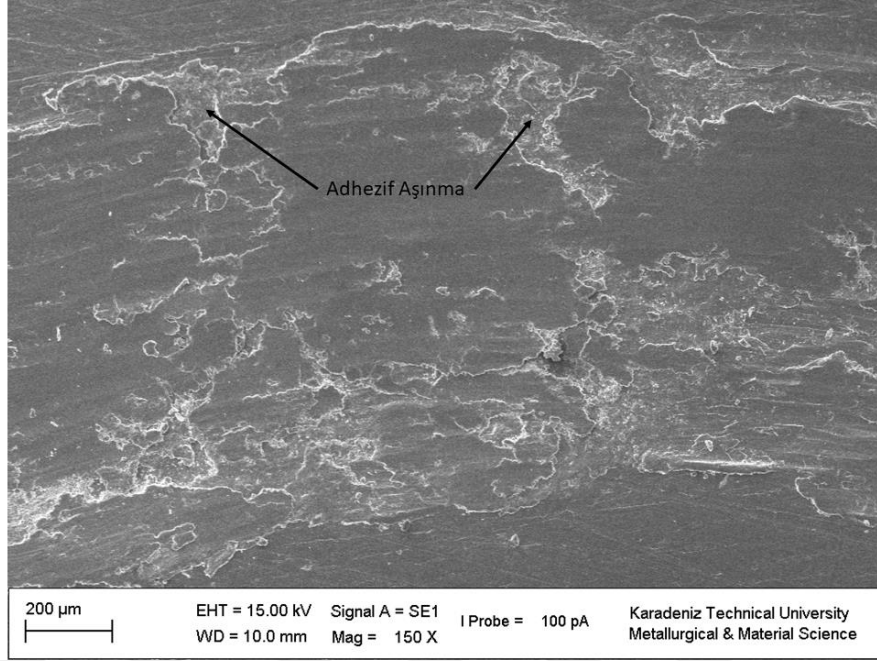
Genel olarak kompozit yapının sertlik değerleri, takviye eleman içerisinde SiC oranının artmasıyla kompozit yapının sertlik değerlerinde önemli artış meydana getirerek, % 100 SiC takviye oranında sertlik değeri yaklaşık 170 VSD değerlerine kadar yükselir.

Yukarıdaki bulgular ışığında incelenen numunelerin aşınma yüzeylerinde (Şekil 80-84) adhezif aşınmanın etkin olduğu görülmektedir. Üretilen kompozit tabaka üzerinde gözlemlenen adhezif aşınma etkisi alüminyum matris yapısının yüksek deformasyon kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında % 75 SiC ve %25 BN takviye edilen AA 5182 alaşımı aşınma yüzeyinde kopan parçacık miktarının daha az gözlemlendiği ve sıvama etkisinin baskın olduğu görülmüştür. BN katkısının %25’in üzerinde olduğu diğer numunelerde de yüzeyin nispeten birbirine yakın karakterde oldukları gözlemlenmiştir. Bununla beraber %100 SiC takviyeli AA 5182 numunenin aşınma yüzeyinde gözlenen adhezif

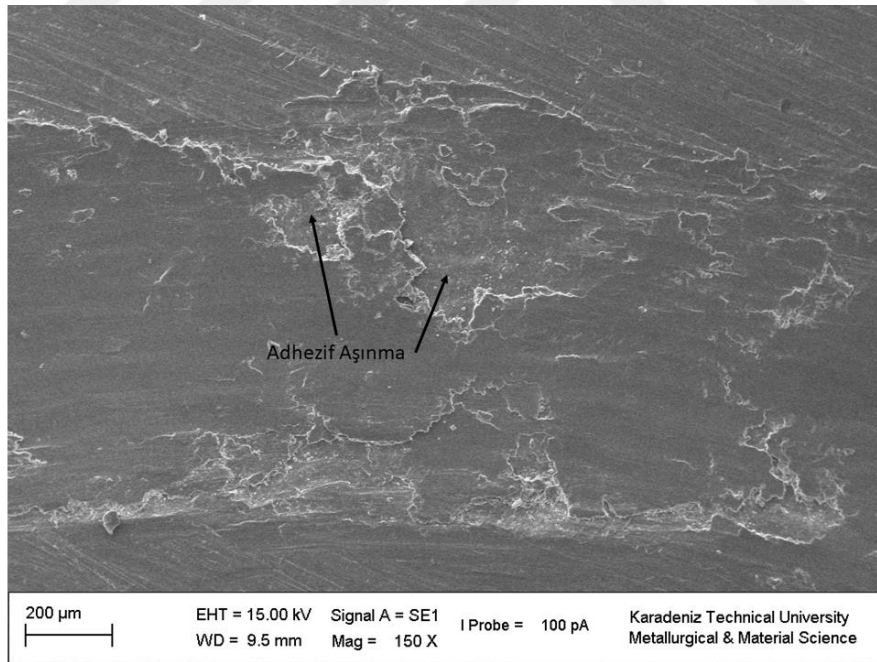
aşınma etkisinin yanında yapıda bulunan SiC parçacıklarının artması nedeniyle abrazyon etkinin arttığı, yüzeyden parçacıkların koptuğu ve üçüncü cisim etkisi yaparak yüzeyde abrazyon aşınma etkisini arttırdığı belirlenmiştir. Sonuç olarak %100 SiC takviyeli numunelerde adhezyon aşınmanın yanında abrazyon aşınmanın da etkin olduğu görülmektedir.



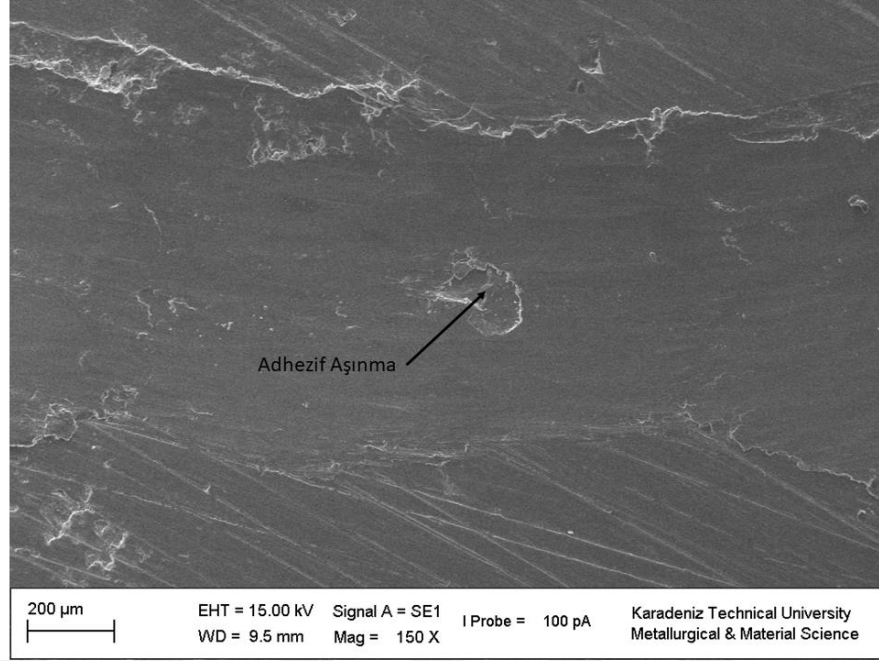
Şekil 80. Takviyesiz AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



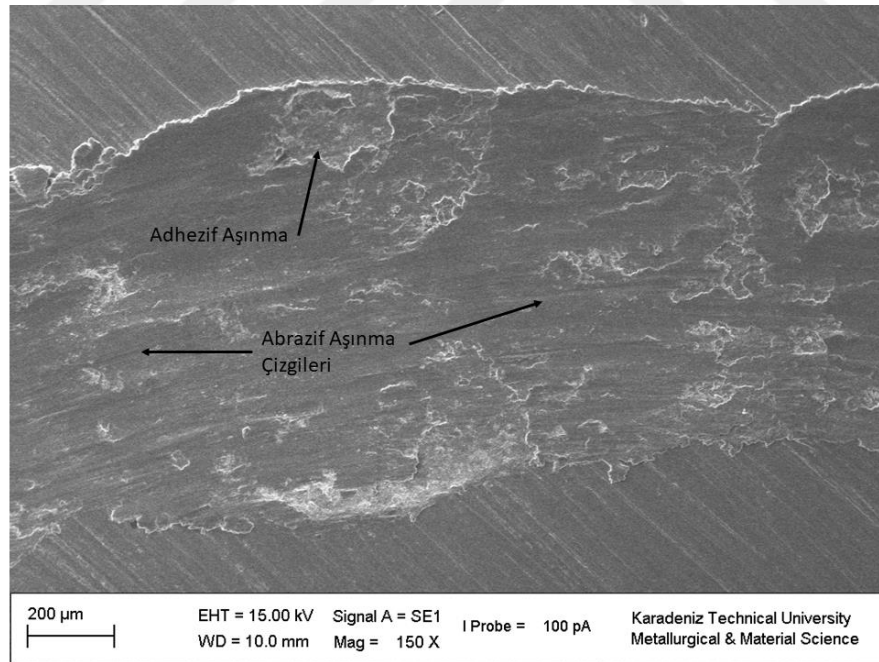
Şekil 81. % 25 SiC ve %75 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 82. % 50 SiC ve % 50 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 83. % 75 SiC ve %25 BN takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 84. % 100 SiC takviyeli AA 5182 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

Genel olarak BN takviyesinin %25 oranının üzerindeki değerlerde aşınma karakteristiği üzerinde etkin bir rol almadığı buna karşın hiç olmaması durumunda ise aşınma bölgesinde abrazif aşınma özelliğinin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Numunelerde gözlemlenen abrazif aşınma etkisinin yapıya katılan SiC takviyesi ve izafi hareket sırasında adhezif etkiyle birleşen bölgelerde oluşan kopmuş parçacıkların oluşturduğu üçüncü parçacık etkisinden kaynaklanmaktadır.



5. SONUÇ

Bu çalışmada, proses parametreleri; takım hızı 1000dev/dk, takım ilerleme hızı 55mm/dk, takım açısı 3,5° ve takım baskı yükü 550±30kg olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlemlerde kullanılan takviye elemanlarının karışım oranları hacimce %25SiC-%75BN, %50SiC-%50BN, %75SiC-%25BN ve %100SiC olarak kullanılmıştır. Belirlenen parametreler ile sorunsuz bir şekilde AA 5182 alüminyum alaşımına SKP işlemi uygulanmıştır. Bu prosese tabi tutulan numunelerden elde edilen bulgular neticesindeki sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. AA 5182 alüminyum alaşımı yüzeyinde, Sürtünme Karıştırma Prosesi belirlenen proses parametreleri kullanılarak, kompozit yapıya sahip bir tabaka başarılı bir şekilde elde edilebilir.
2. Sürtünme Karıştırma Prosesinde meydana gelen iç yapılar sürtünme karıştırma kaynağı uygulamasında elde edilen iç yapılara benzer özellikler sergiler.
3. Yüzeyde kompozit bir yapı elde etmek için uygulanan SKP işlemi ile takviye elemanlarının yüzey bölgesine yayılması sağlanabilir.
4. Takviye elemanı olarak kullanılan h-BN katı yağlayıcının takviye oranının hacimce %25 oranının üzerindeki karışım oranları kompozit yapının aşınma mekanizması üzerinde olumsuz etki gösterir. Yapıda hiç olmaması durumunda ise abrazyon aşınma mekanizması ortaya çıkar.
5. Takviye edilmiş AA 5182 Alüminyum alaşımında en yüksek aşınma direnci %75SiC ve %25 BN karışım oranlarında elde edilir.
6. Kompozit yapının sertlik değeri yapıya katılan SiC parçacıkların oranıyla doğru orantılı olarak artar.
7. Kompozit yapıda artan h-BN takviye oranı yapının sürtünme katsayısını artırır.
8. AA5182 matris yapılı, SiC ve h-BN takviyeli kompozit malzemede etkin aşınma mekanizması adhesif karakterli olur. Bu kompozit yapıdan h-BN parçacıklarının çıkartılması durumunda adhesif karakterli aşınma mekanizması içerisinde abrazyon tipte aşınma etkinliği artar.

6. ÖNERİLER

Sürtüneme Karıştırma Prosesi uygulaması ile elde edilmesi istenilen kompozit bir yapının oluşturulabilmesi için önerilen konular aşağıda sıralanmıştır.

1. Etkin bir karışma bölgesi ve takviye elemanın karışım bölgesinde homojen bir şekilde dağılımı için uygulanacak proses sayısı ve doğrultusu araştırılmalıdır.
2. Farklı pim geometrisinin, takviye elemanın karışma bölgesi içerisindeki dağılımına etkisi araştırılmalıdır.
3. Katı yağlayıcı olarak bilinen bor nitrürün takviye oranının %25'in altındaki oranlardaki kompozit yapıya etkisi araştırılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Kaufman, J.G., Introduction to aluminum alloys and tempers, ASM international, 2000.
2. Campbell Jr, F.C., Manufacturing technology for aerospace structural materials, Elsevier, 2011.
3. Kaluç, E. ve E., T., Sürtünen Eleman ile Kaynak (SKK) Yöntemi, Makine Mühendisleri Odası, Ankamat Matbaacılık Ltd. Şti., 2007.
4. Mishra, R.S. ve Ma, Z., Friction stir welding and processing, Materials Science Engineering: R: Reports, 50,1-2 (2005) 1-78.
5. Mishra, R.S., Ma, Z. ve Charit, I., Friction stir processing: a novel technique for fabrication of surface composite, Materials Science Engineering: A, 341,1-2 (2003) 307-310.
6. Miracle, D., Metal matrix composites—from science to technological significance, Composites Science Technology, 65,15-16 (2005) 2526-2540.
7. Şavaşkan, T., Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi, 9. Baskı, Papatya Bilim, 2018.
8. Deus, R., Subramanian, C. ve Yellup, J., Dry sliding wear of aluminium composites—a review, Composites Science Technology, 57,4 (1997) 415-435.
9. Kainer, K.U., Basics of metal matrix composites, Wiley Online Library, 2006.
10. Özdin, K., Alüminyum Esaslı Sic Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Doktora, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
11. Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi Ankara, 2000.
12. Çam, G., Friction stir welded structural materials: beyond Al-alloys, International Materials Reviews, 56,1 (2011) 1-48.
13. Feng, A. ve Ma, Z., Enhanced mechanical properties of Mg–Al–Zn cast alloy via friction stir processing, Scripta Materialia, 56,5 (2007) 397-400.

14. Arora, H.S., Singh, H. ve Dhindaw, B., Some observations on microstructural changes in a Mg-based AE42 alloy subjected to friction stir processing, Metallurgical Materials Transactions B, 43,1 (2012) 92-108.
15. Cavaliere, P. ve De Marco, P., Friction stir processing of AM60B magnesium alloy sheets, Materials Science Engineering: A, 462,1-2 (2007) 393-397.
16. Mishra, R.S., McFadden, S., Mara, N., Mukherjee, A. ve Mahoney, M.W., High strain rate superplasticity in a friction stir processed 7075 Al alloy, (1999).
17. Ma, Z., Mishra, R.S. ve Mahoney, M.W., Superplastic deformation behaviour of friction stir processed 7075Al alloy, Acta materialia, 50,17 (2002) 4419-4430.
18. LIU, P., SHI, Q., BIAN, X., XU, S. ve REN, G., Microstructure of a novel Al-based amorphous reinforced aluminum metal matrix composite, Transactions of the China Welding Institution,10 (2009) 3.
19. Shafiei-Zarghani, A., Kashani-Bozorg, S. ve Zarei-Hanzaki, A., Microstructures and mechanical properties of Al/Al₂O₃ surface nano-composite layer produced by friction stir processing, Materials Science Engineering: A, 500,1-2 (2009) 84-91.
20. Yang, M., Xu, C., Wu, C., Lin, K.-c., Chao, Y.J. ve An, L., Fabrication of AA6061/Al₂O₃ nano ceramic particle reinforced composite coating by using friction stir processing, Journal of Materials Science, 45,16 (2010) 4431-4438.
21. Dixit, M., Newkirk, J.W. ve Mishra, R.S., Properties of friction stir-processed Al 1100–NiTi composite, Scripta Materialia, 56,6 (2007) 541-544.
22. Lim, D., Shibayanagi, T. ve Gerlich, A., Synthesis of multi-walled CNT reinforced aluminium alloy composite via friction stir processing, Materials Science Engineering: A, 507,1-2 (2009) 194-199.
23. Izadi, H. ve Gerlich, A.P., Distribution and stability of carbon nanotubes during multi-pass friction stir processing of carbon nanotube/aluminum composites, Carbon, 50,12 (2012) 4744-4749.
24. Morisada, Y., Fujii, H., Nagaoka, T. ve Fukusumi, M., Nanocrystallized magnesium alloy–uniform dispersion of C₆₀ molecules, Scripta Materialia, 55,11 (2006) 1067-1070.
25. Chen, W.L., Huang, C.P. ve Ke, L.M., A novel way to fabricate carbon nanotubes reinforced copper matrix composites by Friction Stir Processing, Advanced Materials Research 2012, 391: 524-529.
26. Lee, C., Huang, J. ve Hsieh, P., Mg based nano-composites fabricated by friction stir processing, Scripta Materialia, 54,7 (2006) 1415-1420.

27. Salekrostam, R., Givi, M., Asadi, P. ve Bahemmat, P., Influence of friction stir processing parameters on the fabrication of SiC/316L surface composite, *Defect and Diffusion Forum* 2010, 297: 221-226.
28. Mahmoud, E., Ikeuchi, K. ve Takahashi, M., Fabrication of SiC particle reinforced composite on aluminium surface by friction stir processing, *Science and Technology of Welding Joining*, 13,7 (2008) 607-618.
29. Mahmoud, E., Takahashi, M., Shibayanagi, T. ve Ikeuchi, K., Effect of friction stir processing tool probe on fabrication of SiC particle reinforced composite on aluminium surface, *Science and Technology of Welding Joining*, 14,5 (2009) 413-425.
30. Mahmoud, E.R., Takahashi, M., Shibayanagi, T. ve Ikeuchi, K., Wear characteristics of surface-hybrid-MMCs layer fabricated on aluminum plate by friction stir processing, *Wear*, 268,9-10 (2010) 1111-1121.
31. Lim, C., Lim, S. ve Gupta, M., Wear behaviour of SiCp-reinforced magnesium matrix composites, *Wear*, 255,1-6 (2003) 629-637.
32. Mishra, R.S. ve Mahoney, W.M.E., *Friction Stir Welding and Processing*, Asm International®, United States of America, 2007.
33. Berbon, P.B., Bingel, W.H., Mishra, R.S., Bampton, C.C. ve Mahoney, M.W., *Friction stir processing: a tool to homogenize nanocomposite aluminum alloys*, (2001).
34. Cavaliere, P., Mechanical properties of friction stir processed 2618/Al₂O₃/20p metal matrix composite, *Composites Part A: Applied Science Manufacturing*, 36,12 (2005) 1657-1665.
35. Oh-Ishi, K. ve McNelley, T.R., Microstructural modification of as-cast NiAl bronze by friction stir processing, *Metallurgical Materials Transactions A*, 35,9 (2004) 2951-2961.
36. Bhushan, B., *Modern tribology handbook*, two volume set, CRC press, 2000.
37. Can, A.Ç., *Malzeme Bilgisi*, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., , 2006.
38. Buytoz, S., AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, 2004.
39. Şahin, Y., Sürekli B(SiC) Elyafı Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozit Malzemelerinin Mikroyapısı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Endüstriyel Teknoloji*, 2 (1996).

40. Ma, Z., Liang, Y., Zhang, Y., Lu, Y. ve Bi, J., Sliding wear behaviour of SiC particle reinforced 2024 aluminium alloy composites, Materials Science Technology, 12,9 (1996) 751-756.
41. Ipek, R., Adhesive wear behaviour of B4C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B4C–Al/SiC), Journal of Materials Processing Technology, 162 (2005) 71-75.
42. Zahmatkesh, B., Enayati, M. ve Karimzadeh, F., Tribological and microstructural evaluation of friction stir processed Al2024 alloy, Materials and Design, 31,10 (2010) 4891-4896.
43. Uzun, H., Friction stir welding of SiC particulate reinforced AA2124 aluminium alloy matrix composite, Materials and Design, 28,5 (2007) 1440-1446.
44. Soleymani, S., Abdollah-Zadeh, A. ve Alidokht, S., Microstructural and tribological properties of Al5083 based surface hybrid composite produced by friction stir processing, Wear, 278 (2012) 41-47.
45. Hwang, Y.-M., Kang, Z.-W., Chiou, Y.-C. ve Hsu, H.-H.J.I.J.o.M.T., Experimental study on temperature distributions within the workpiece during friction stir welding of aluminum alloys, International Journal of Machine Tools Manufacture, 48,7-8 (2008) 778-787.
46. Chen, X.-G., Da Silva, M., Gougeon, P. ve St-Georges, L.J.J.o.l.m., Microstructure and mechanical properties of friction stir welded AA6063–B4C metal matrix composites, 518,1-2 (2009) 174-184.
47. Chen, Y., Liu, H. ve Feng, J., Friction stir welding characteristics of different heat-treated-state 2219 aluminum alloy plates, Materials Science Engineering: A, 420,1-2 (2006) 21-25.
48. Wang, T., Mengjie, W., Fu, L., Duan, Z., Chen, Y., Xiao, H., Wu, Y., Li, S., Liang Chao, G., Kang, R., Jiang, N. ve Yu, J., Enhanced Thermal Conductivity of Polyimide Composites with Boron Nitride Nanosheets, 8, 2018.
49. Alzuhairi, H., EXPERIMENTAL INVESTIGATION TENSILE PROPERTIES OF ROD METAL AA5182 UNDER WIDE RANGE OF STRAIN RATES, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Serkan KARAKAŞ 1987 yılında İzmit'te doğdu, ilk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 2013 yılı Şubat ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Makina Mühendisi Ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

