

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE
AL₂O₃ PARTİKÜL TAKVİYE EDİLEN AA7075-T651 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ MİKRO YAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir HATİPOĞLU

**HAZİRAN 2019
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE
AL₂O₃ PARTİKÜL TAKVİYE EDİLEN AA7075-T651 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ MİKRO YAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kadir HATİPOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21/05/2019
Tezin Savunma Tarihi : 21/06/2019**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Kadir HATİPOĞLU tarafından hazırlanan

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA PROSESİ KULLANILARAK YÜZEYİNE
AL₂O₃ PARTİKÜL TAKVIYE EDİLEN AA7075-T651 ALÜMİNYUM
ALAŞIMININ MİKRO YAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN 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. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Üye : Doç. Dr. Yasin ALEMDAĞ

Üye : Doç. Dr. Özlem BARAN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Sürtünme Karıştırma Prosesi Kullanılarak Yüzeyine AL_2O_3 Partikül Takviye Edilen AA7075-T651 Alüminyum Alaşımının Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezimin bilimsel danışmanlığını üstlenen, gerek konunun seçiminde gerekse hazırlanması sırasında her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU’ya sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın yürütülmesinde değerli görüş ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Öğr. Gör. Semih Mahmut AKTARER, Arş. Gör. Yaşar SERT ve Serkan KARAKAŞ’a katkı ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca beni yalnız bırakmayan, desteklerini benden esirgemeyen canım ailem Merve HATİPOĞLU’na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Kadir HATİPOĞLU
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Sürtünme Karıştırma Prosesi Kullanılarak Yüzeyine AL₂O₃ Partikül Takviye Edilen AA7075-T651 Alüminyum Alaşımının Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Tevfik 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 süresince bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/06/2019

Kadir HATIPOĞLU

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖNSÖZ | III |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ | IV |
| İÇİNDEKİLER | V |
| ÖZET | VII |
| SUMMARY | VIII |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | IX |
| TABLolar DİZİNİ | XII |
| SEMBOLLER DİZİNİ..... | XIII |
| 1. GENEL BİLGİLER | 1 |
| 1.1. Giriş..... | 1 |
| 1.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları | 2 |
| 1.2.1. Alüminyum Alaşımlarının sınıflandırılması | 2 |
| 1.2.2. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri | 4 |
| 1.2.2.1. Çökeltme Sertleşmesi Isıl İşlemi..... | 4 |
| 1.2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları | 7 |
| 1.3. Alümina (Al ₂ O ₃) | 8 |
| 1.4. Yüzeysel Kompozit Üretimi | 9 |
| 1.4.1. Parçacık Takviyeli Kompozitler | 10 |
| 1.4.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMC) | 12 |
| 1.4.2.1. Sıvı Hal İşlemleri | 13 |
| 1.4.2.2. Katı Hal İşlemleri..... | 14 |
| 1.4.2.3. Deformasyon Yöntemi..... | 15 |
| 1.4.2.4. Toz İşlem Tekniği..... | 15 |
| 1.4.2.5. Sinter-Dövme İşlemi..... | 16 |
| 1.5. Sürtünme Karıştırma Prosesi (SKP) | 17 |
| 1.5.1. SKP İşleminde Oluşan Mikro Yapılar | 20 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.6. | Aşınma Mekanizmaları | 21 |
| 1.6.1. | Adhezif Aşınma | 22 |
| 1.6.2. | Abrazif Aşınma | 23 |
| 1.6.3. | Yorulma Aşınması | 24 |
| 1.6.4. | Korozyon Aşınması | 24 |
| 1.7. | Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı | 25 |
| 2. | DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 26 |
| 2.1. | Deney Malzemesi | 26 |
| 2.2. | Sürtünme Karıştırma Proses Düzenegi | 27 |
| 2.3. | Karıştırıcı Uç | 28 |
| 2.4. | SKP Parametreleri | 29 |
| 2.5. | Deneyler İçin Hazırlanan Numuneler | 30 |
| 2.6. | Mikro Sertlik Deneyi | 30 |
| 2.7. | Metalografik Deneyler | 31 |
| 2.8. | Aşınma Testi | 32 |
| 3. | BULGULAR ve İRDELEME | 34 |
| 3.1. | Ana Malzemenin Özelliklerinin Belirlenmesi | 34 |
| 3.2. | Takviye Malzemesi | 35 |
| 3.3. | Makro İncelemeler | 36 |
| 3.4. | Mikro İnceleme | 37 |
| 3.5. | Mikrosertlik İncelemeleri | 46 |
| 3.6. | Aşınma Deneyi | 52 |
| 4. | SONUÇLAR | 67 |
| 5. | ÖNERİLER | 68 |
| 6. | KAYNAKÇA | 69 |
| | ÖZGEÇMİŞ | 75 |

ÖZET

Sürtünme Karıştırma Prosesi Kullanılarak Yüzeyine Al₂O₃ Partikül Takviye Edilen AA7075-T651 Alüminyum Alaşımının Mikro Yapı Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Kadir HATİPOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU

2019, 89 Sayfa

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma prosesi (SKP) yardımıyla AA7075-T651 alüminyum alaşımının yüzeyi Al₂O₃ partikülleri takviye edilerek kompozit esaslı bir yüzey tabakası elde edilmiştir. Gerçekleştirilen SKP işlemi, Al₂O₃ parçacıkları ile 4 farklı oranda (%10, %20, %30 ve %40), bir, iki ve üç paso proses edilerek uygulanmıştır. Sürtünme karıştırma prosesinde takım devir sayısı 800 dev/dk, takım ilerleme hızı 45 mm/dk olarak uygulanmıştır. AA7075-T651 alüminyum alaşımı yüzeyinde oluşturulan kompozit yapının mikro yapı ve mekanik özellikleri ile aşınma davranışı incelenmiştir. Aşınma deneyleri 5 N yük altında ball-on-disk düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında aşınmış bölgeler optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenip oluşan aşınma oranları optik profilometre ile ölçülmüştür. AA7075-T651 alüminyum alaşım malzemesinin yüzeyinde uygulanan SKP ile kompozit bir bölgenin oluştuğu görülmüştür. SKP'de seçilen takım geometrisi ve parametrelere göre elde edilen yapının, özellikle birinci pasoda oldukça heterojen yapıda olmasına rağmen ikinci ve üçüncü pasoda nispeten daha homojen yapıda oluştuğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda, SKP ile %40 oranında takviye edilen yüzeyin aşınma direncinin ana malzemenin aşınma direncine göre yaklaşık 4 kat arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Karıştırma Prosesi, AA7075-T651 Alüminyum Alaşım, Kompozit Yapı, Aşınma, Al₂O₃

Master Thesis

SUMMARY

The Investigation of Tribological Properties of Al_2O_3 Particles
Reinforced AA7075-T651 Aluminum Alloy by Using Friction Stir
Process

Kadir HATİPOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU
2019, 88 Pages

In this study, wear and mechanical properties of AA7075-T651 aluminum alloys reinforced with alumina particles produced using friction stir processing (FSP) were investigated. During the experiments, four different ratios (10%, 20%, 30% and %40) of Al_2O_3 reinforcing particles were used and they were applied by 1, 2 and 3 passes. As important parameters, travel and rotation speeds of 45 mm/min and 800 rpm were used, respectively. This study aimed at exploring the wear and microstructure behaviour of surface composite. Wear experiments on the ball-on-disc geometry were carried out under the 5 N load. After the wear test, the worn zones were investigated by Scanning electron microscopy and the wear rate was evaluated by optical profilometer. The result revealed that a composite zone was composed by applying friction stir processing (FSP) on AA7075-T651 aluminum alloy. In AA7075-T651 aluminum alloys that was reinforced with alumina particles, a considerable amount of improvement in the physical and mechanical properties of the alloy could be obtained. Due to selected parameters and tool geometry, the obtained microstructures were heterogenous after the first passes, but following the second and third passes they have become relatively homogeneous. As a result of the investigations carried out, it was determined that the abrasion resistance of the surface fortified with 40% by the friction mixing process increased by 4 times compared to the wear resistance of the main material.

Key Words: Friction Stir Processing (FSP), AA7075-T651 aluminum alloys, Al_2O_3 , Composite, Wear.

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Şekil 1. Amerikan alüminyum birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri [3]. | 3 |
| Şekil 2. Alüminyum – çinko alaşımına ait: a) denge diyagramı, b) yaşlandırma işleminin kademeleri [3]. | 5 |
| Şekil 3. Al-Zn denge diyagramı[13]. | 5 |
| Şekil 4. Çökelti sertleşmesi ısıl işleminde yaşlanma eğrisi [1]. | 6 |
| Şekil 5. Alüminyum ve alaşımlarının endüstrideki kullanım alanları: a) uçak içyapıları, b) tır damperleri, c) uzay aracı roketleri, d) yüksek hızlı trenler, e) otomotiv konstrüksiyonları, f) uçak konstrüksiyonları [2]. | 7 |
| Şekil 6. Kompoziti oluşturan iki fazın hacimsel oranının elastisite modülü ile ilişkisi | 11 |
| Şekil 7. Tungsten yoğunluğu- elastisite modülü ilişkisi [12]. | 12 |
| Şekil 8. Metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması [63]. | 13 |
| Şekil 9. Difüzyonla yapıştırma işlemi; (a) metal folyo uygulayarak istenilen şekilde kesilir, (b) birleştirmek istenilen katlar sıralanır, (c) imalat sıcaklığında vakum ve ısı kapsülü, (d) basınç uygulanır ve pekiştirme döngüsü için basınç uygulanır, (e) basınç [12]. | 14 |
| Şekil 10. Tabakalı MMC üretmek için silindire yapıştırma yöntemi ile metalürjik bağ oluşturma süreci [26]. | 15 |
| Şekil 11. Parçacıklı veya kısa elyaf takviyeli MMC üretmek için toz işlem, sıcak presleme ve ekstrüzyon işlemi [27]. | 16 |
| Şekil 12. MMC üretmek için Sinter-Dövme işlemi [26]. | 16 |
| Şekil 13. Sürtünme karıştırma prosesinin şematik gösterimi [64]. | 19 |
| Şekil 14. SKP işlem bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü a: Isıdan etkilenmiş bölge, b: Termomekanik olarak etki altındaki bölge, c: Dinamik olarak etkilenen bölge [65]. | 21 |
| Şekil 15. Aşınma türleri: a) adhezif aşınma, b) abrazif aşınma, c) yorulma aşınması, d) korozyon aşınması [93]. | 22 |
| Şekil 16. Adhezif aşınma bölgesinden bir görüntü [93]. | 22 |
| Şekil 17. Abrazif aşınma [93]. | 23 |

| | |
|--|----|
| Şekil 18. Yorulma sonucu yüzeyde çatlak oluşumu ve büyümesi [95]..... | 24 |
| Şekil 19. Kanalların Proses Bölgesinde Takviye Oranına Göre Yerleşiminin Şematik Görünümü a)İşlemin Genel Şematik Görünümü b) %10 c) %20 d) %30 e) %40..... | 27 |
| Şekil 20. Sürtünme karıştırma işlemi tezgâh görüntüsü..... | 28 |
| Şekil 21. SKP takımının teknik çizimi ve imalat resmi..... | 29 |
| Şekil 22. Mikro sertlik cihazının fotoğrafını göstermektedir | 31 |
| Şekil 23. Ball-on-disk esaslı sürtünme ve aşınma deneyinin düzeneği..... | 32 |
| Şekil 24. Sürtünme aşınma deney düzeneğinin ayrıntı görünümü | 33 |
| Şekil 25. Kullanılan ana malzeme AA7075-T651 alaşımının mikro yapısı..... | 35 |
| Şekil 26. Al ₂ O ₃ toza ait SEM görünümü | 36 |
| Şekil 27. SKP sonrası tüm numune yüzeylerinin makro görüntüleri a)%10'luk numune b)%20'lik numune c)%30'luk numune d)%40'luk numune | 37 |
| Şekil 28. Proses edilmiş olan numunede genel olarak oluşan farklı bölgelerin görünümleri | 38 |
| Şekil 29. % 40 oranında takviye parçacığı içeren 3 paso proses edilmiş durumdaki numunelerde oluşan farklı bölgelerin ayrıntılı optik mikroskop görüntüleri | 39 |
| Şekil 30. 29. %10 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü | 40 |
| Şekil 31. %20 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü ... | 40 |
| Şekil 32. %30 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 41 |
| Şekil 33. %40 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 41 |
| Şekil 34. %10 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü ... | 42 |
| Şekil 35. %20 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü ... | 42 |
| Şekil 36. %30 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 43 |
| Şekil 37. %40 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 43 |
| Şekil 38. %10 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 44 |
| Şekil 39. %20 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 44 |
| Şekil 40. %30 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 45 |
| Şekil 41. %40 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü... | 45 |
| Şekil 42. %10 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü | 47 |
| Şekil 43. %10 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü | 47 |
| Şekil 44. %10 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü | 47 |

| | |
|--|----|
| Şekil 45. %20 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü | 48 |
| Şekil 46. %20 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü | 48 |
| Şekil 47. %20 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü | 48 |
| Şekil 48. %30 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü | 49 |
| Şekil 49. %30 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü | 49 |
| Şekil 50. %30 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü | 49 |
| Şekil 51. %40 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü | 50 |
| Şekil 52. %40 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü | 50 |
| Şekil 53. %40 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü | 50 |
| Şekil 54. 1 paso olan numunelerin yatay sertlik ölçümleri..... | 51 |
| Şekil 55. 2 paso olan numunelerin yatay sertlik ölçümleri..... | 51 |
| Şekil 56. 3 paso olan numunelerin yatay sertlik ölçümleri..... | 51 |
| Şekil 57. %10 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 52 |
| Şekil 58. %10 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 53 |
| Şekil 59. %10 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 54 |
| Şekil 60. %20 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 55 |
| Şekil 61. %20 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 56 |
| Şekil 62. %20 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 57 |
| Şekil 63. %30 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 58 |
| Şekil 64. %30 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 59 |
| Şekil 65. %30 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 60 |
| Şekil 66. %40 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 61 |
| Şekil 67. %40 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 62 |
| Şekil 68. %40 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri..... | 63 |
| Şekil 69. %10 Takviye Olunmuş, 2 Paso İle Elde Edilmiş Numunenin Aşınma Yolunun SEM Görüntüsü ve Optik Profilometre Görüntüsü | 63 |
| Şekil 70. %40 Takviye Olunmuş, 3 Paso İle Elde Edilmiş Numunenin Aşınma Yolunun SEM Görüntüsü ve Optik Profilometre Görüntüsü | 63 |

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|---|----|
| Tablo 1. Alüminyum alaşımları..... | 3 |
| Tablo 2. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtım türleri..... | 4 |
| Tablo 3. Al ₂ O ₃ yüzdesine bağılı olarak mekanik özelliklerin değışimi | 8 |
| Tablo 4. Alüminanın fiziksel özellikleri..... | 9 |
| Tablo 5. 99,7 saflıkta alüminaların fiziksel ve mekanik özellikleri | 9 |
| Tablo 6. Kompozit çeşitleri için şematik sınıflandırma | 10 |
| Tablo 7. SKP parametreleri | 30 |
| Tablo 8. Triboloji deneyi parametreleri..... | 32 |
| Tablo 9. AA7075-T651 alüminyum malzemenin fiziksel özellikleri | 34 |
| Tablo 10. AA7075-T651 alüminyum malzemenin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık) ... | 34 |
| Tablo 11. Alümina tozunun fiziksel özellikleri..... | 35 |
| Tablo 12. Alümina tozunun kimyasal bileşimi..... | 35 |
| Tablo 13. Hacimsel Aşınma Değerleri | 64 |
| Tablo 14. Hacimsel Aşınma Grafiğı..... | 64 |

SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Al | Alüminyum |
| Al ₂ O ₃ | Alüminyum Oksit (Alümina) |
| ASTM | Amerikan Test ve Malzemeler Derneği |
| Cu | Bakır |
| Fe | Demir |
| GPa | Gigapascal |
| IEB | Isıdan Etkilenmiş Bölge |
| TM | Temel Malzeme |
| TEB | Termomekanik olarak Etkilenmiş Bölge |
| KB | Karıştırma Bölesi |
| OM | Optik Mikroskop |
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskopi |
| SKK | Sürtünme Karıştırma Kaynağı |
| SKP | Sürtünme Karıştırma Prosesi |
| TWI | Kaynak Enstitüsü (İngiltere) |
| VSD | Vickers Sertlik Değeri |
| W | Tungsten |
| WC | Tungsten Karbür |
| A | Alfa |
| B | Beta |
| Γ | Gama |
| K | Kappa |
| M | Mikron |
| MMK (MMC) | Metal matrisli kompozit |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yaşamın her alanında önemli bir konuma sahip olan triboloji sürtünmeden ve aşınmadan dolayı meydana gelen etkileri azaltmak amacıyla sorunları çözmeye çalışan teknoloji ve mühendislik alanıdır.

Yeryüzünde kullanılan enerjinin büyük kısmı, sürtünmeleri yenmek veya sürtünme direnci oluşturmak için kullanılır. Her iki durumda da kullanılan enerjinin önemli kısmı ısı gibi istenmeyen formlara dönüşmektedir. Oluşan ısı, sistem elemanlarında değişik türde bozunmalara neden olmaktadır. Hatta bazı durumlarda oluşan ısıyı sistemden uzaklaştırmak için ilave enerji harcanmaktadır. Canlı cansız tüm fiziksel sistem elemanlarının en önemli kullanım dışı kalma sebebi olan aşınma Tribolojik etkiler sonucunda yüzeyde oluşan ve istenmeyen malzeme kaybı anlamına gelir. Aşınma genel olarak diğer bozunma mekanizmalarının da başlangıç aşamasını oluşturur. Bu sebepten günümüzde önem kazanan bakım teknolojilerinin temel verileri büyük ölçüde triboloji kaynaklıdır .

Aşınma gibi durumların yarattığı etkilerin de önüne geçebilmek için kullanılan kompozit malzemeler iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı grupta malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Başka bir deyişle üstün özellikler elde etmek amacı ile birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek bir araya getirilmiş, değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir.

Kompozit malzemeler genel olarak bir ana yapı ve takviye malzeme olarak oluşturulmaktadır. Bu malzeme dağılımı ana malzemenin tümünde ya da yüzeyi gibi bir kısmında dağıtılabilir. Kompozit ya da yüzeysel kompozit üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan Sürtünme Karıştırma Prosesi (SKP) Sürtünme Karıştırma Kaynağından (SKK) oluşan bir yöntemdir. Geçmişte yapılan araştırmalarına bakıldığında AA7075-T651 Alüminyum Alaşımının genel olarak mükemmel özelliklere sahip olduğu söylenebilir. AA7075-T651 Alüminyum Alaşımının kavitasyon direnci, sertlik değeri ve aşınma direnci gibi özellikleri SKP işlemi ile arttırılabilmektedir ve bu sayede malzemenin

veya makine elamanının kullanım ömrü önemli ölçüde bir artış göstermektedir. AA7075-T651 Alüminyum Alaşımı özellikle savunma, havacılık sanayinde önemi ve kullanım alanları hızla artmaktadır. Alüminyum alaşımları hafifliğinin yanı sıra üstün mekanik özellikleri sayesinde uzay, havacılık, silah ve savunma sanayinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Alüminyum alaşımları roket ve füze sistemlerinde değişik şekil ve oranlarda kullanılmaktadır. Bu alanlardaki gelişmelerle doğru orantılı olarak Alüminyum alaşımlarda tribolojik iyileştirmelere de ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada, bahsedilen ihtiyaçlar doğrultusunda AA7075-T651 Alüminyum Alaşımı üzerinde SKP yöntemi ile alüminyum oksit (Al_2O_3) partikülleri takviye edilmiştir [1][2].

1.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum oldukça düşük maliyeti, düşük ağırlığının yanı sıra ısıl işlem ile yüksek dayanımlara sahip olabilmesi ve kolay üretilebilmesi ile modern havacılık sanayi gibi alanlarda büyük bir paya sahiptir. Özellikle havacılık sanayisinde dayanım/ağırlık oranı, kreyojenik özelliği ve üretilebilirliği ile alüminyum ve alaşımlarının önemi büyüktür [1][2].

Ayrıca yüksek korozyon direnci, gıda depolamaya uygun olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, kolay geri dönüşüm gibi özellikleri ile ticari amaçlı kullanımlarda da alüminyum büyük oranda tercih edilmektedir [1] [2].

Alüminyum, çelik ($7,83 \text{ gr/cm}^3$) ve bakır ($8,93 \text{ gr/cm}^3$) gibi malzemelerin, $2,7 \text{ gr/cm}^3$ lük düşük yoğunluğu ile yaklaşık olarak $1/3$ 'ü kadar ağırlıktadır. Saf alüminyum ve alaşımları, ergime sıcaklığına kadar ($657 \text{ }^\circ\text{C}$) kararlı, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahiptir. Malzemeye şekil vermek, alüminyumun YMK yapısının birçok kayma düzlemine sahip olmasından dolayı oldukça kolaylaşır. Alüminyum içerisinde çözünebilen bazı elementler; bakır, magnezyum, silisyum, çinko ve lityum elementleridir. Alüminyum, saf formuna göre daha yüksek mukavemet değerlerine bu elementlerin kullanımıyla alaşımlandırılarak çıkabilmektedir [3].

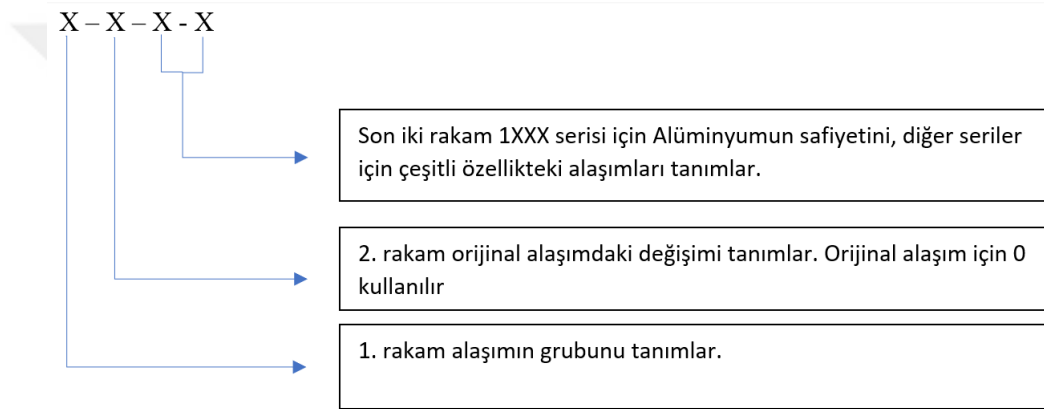
1.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

İşlem alaşımları ve döküm alaşımları olarak üretim yöntemlerine göre iki gruba ayrılan alüminyum alaşımları bu iki grup içerisinde de sertleşebilen ve sertleşemeyen

olarak iki gruba ayrılırlar. Alüminyum esaslı malzemelerde bir tanesinin veya birkaç tanesinin birlikte belirli özellikleri sağlaması için magnezyum (Mg), silisyum (Si), mangan (Mn), çinko (Zn) ve bakır (Cu) ilave edilebilmektedir. Al-Mg ve Al-Mn alaşımları olarak gösterilebilirken Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si ve Al-Zn-Mg alaşımları çökelme sertleşmesi ile sertleşebilen alaşım olarak gösterilebilir [3].

Alüminyum alaşımları sayı sistemi Şekil 1’de gösterildiği gibi ilk iki sayı temel alaşım elementlerini, son iki sayı alaşımın belirli bir bileşimini gösterecek şekilde 4 sayı ile gösterilir.

Alaşım türleri için gösterim ve içerikler Tablo 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Amerikan alüminyum birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri [3].

Tablo 1. Alüminyum alaşımları [4].

| Alaşım türü | İŞLEM ALAŞIMLARI | | DÖKÜM ALAŞIMLARI | |
|-------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| | Bileşimi | Isıl-işlem durumu | Bileşimi | Isıl-işlem durumu |
| 1XXX | Saf Al(%99) | yaşlanmaz | Saf Al | yaşlanmaz |
| 2XXX | Al-Cu | yaşlanır | Al-Cu | yaşlanır |
| 3XXX | Al-Mg | yaşlanmaz | Al-Si-Cu ve Al-Mg-Si | bazıları yaşlanır |
| 4XXX | Al-Si-Cu ve Al-Mg-Si | Mg eklenirse yaşlanır | | |
| 5XXX | Al-Mg | yaşlanmaz | Al-Mg | yaşlanmaz |
| 6XXX | Al-Mg-Si | yaşlanır | Al-Mg-Zn | yaşlanır |
| 7XXX | Al-Mg-Zn | yaşlanır | | |
| 8XXX | | | | |

1.2.2. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri

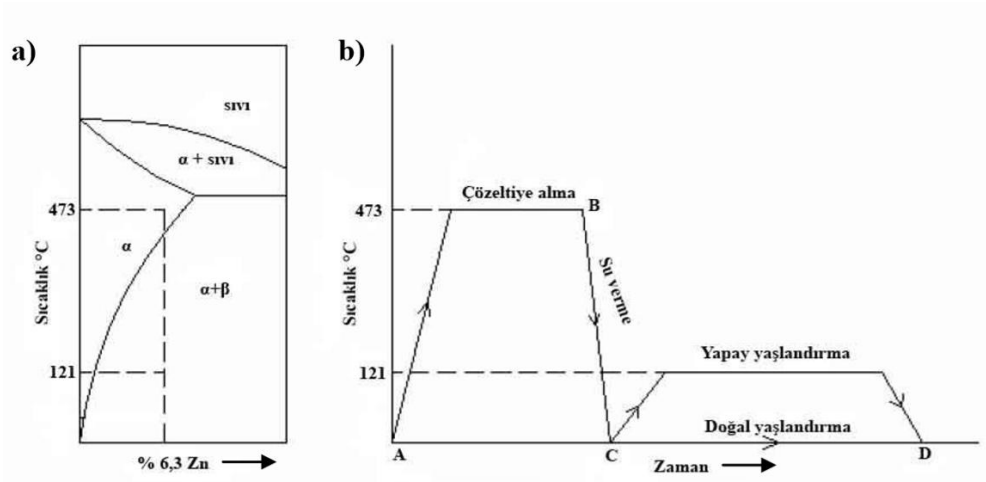
İhtiyaç duyulan mukavemet değerlerini sağlamaları için ısıl işlemlere tâbi tutulan alüminyum alaşımlarının uygulanan ısıl işlemlere göre tanımlanmış kodları vardır. Tanımlanan kodlar Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlem türleri [3].

| Kod | Uygulanan Isıl İşlem |
|------|---|
| F | Üretildiği gibi |
| O | Tavlınmış |
| H | Soğuk Şekillendirilmiş |
| T | Yaşlandırılmış |
| T1 | İmalat sıcaklığında soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış |
| T2 | İmalat sıcaklığında soğutulmuş, soğuk şekil verilmiş ve doğal yaşlandırılmış |
| T3 | Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış |
| T4 | Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlandırılmış |
| T5 | İmalat sıcaklığında soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış |
| T6 | Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlandırılmış |
| T65 | Çözeltiye alınmış, su verilmiş, yapay yaşlandırılmış, gerilim giderilmiş |
| T651 | Çözeltiye alınmış, su verilmiş, yapay yaşlandırılmış, % 0.5 - 2 oranında ürünü çekme ile gerilim giderilmiş |
| T7 | Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlanma ile kararlı hale getirilmiş |
| T8 | Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış |
| T9 | Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş |
| T10 | İmalat sıcaklığında soğutulmuş, soğuk şekil verilmiş ve yapay yaşlandırılmış |

1.2.2.1. Çökeltme Sertleşmesi Isıl İşlemi

Çökeltme sertleşmesi alüminyum alaşımlar da dahil çoğu alaşımın dayanımını artırmak için kullanılan işlemdir. Isıl işlem gören bir metalin yoğun ve ince çökeltmiş parçacıklarını, biçim değiştirebilir ana fazı içinde dağılımını elde etme amacıyla uygulanan çökeltme sertleşmesinde, çökeltme parçacıkları ısıl işlem görmüş alaşımın dayanımını, aykırı yerleşim hareketine engel oluşturarak artırır [5].

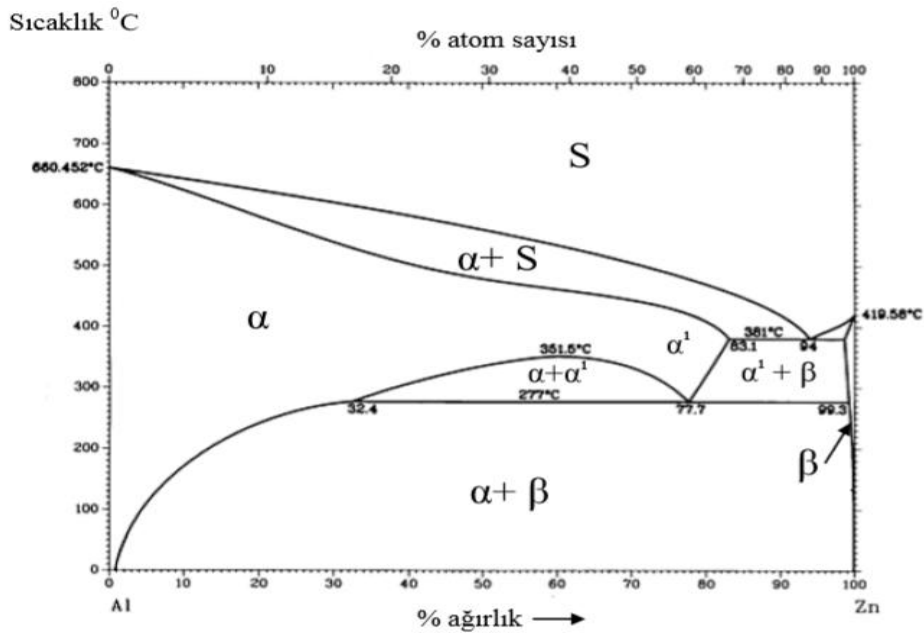


Şekil 2. Alüminyum – çinko alaşımına ait: a) denge diyagramı, b) yaşlandırma işleminin kademeleri [3].

Çökeltme sertleşmesi sürecinin de ilk basamağı olan bu işleme çözündürme tavlaması adı da verilebilir. Katı ile eriyik hâl arasındaki bir sıcaklığa kadar Dövme veya döküm halindeki malzeme ısıtılır. Malzeme tek fazlı bir katı çözelti yapı elde edilinceye kadar bu sıcaklıkta bekletilir [5].

Çözeltiyeye alma sıcaklığı Al 7075 alüminyum alaşımı için 460-473°C'dir [6].

Alüminyum-çinko ikili sistemine ait denge diyagramı ve yaşlandırma kademeleri Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

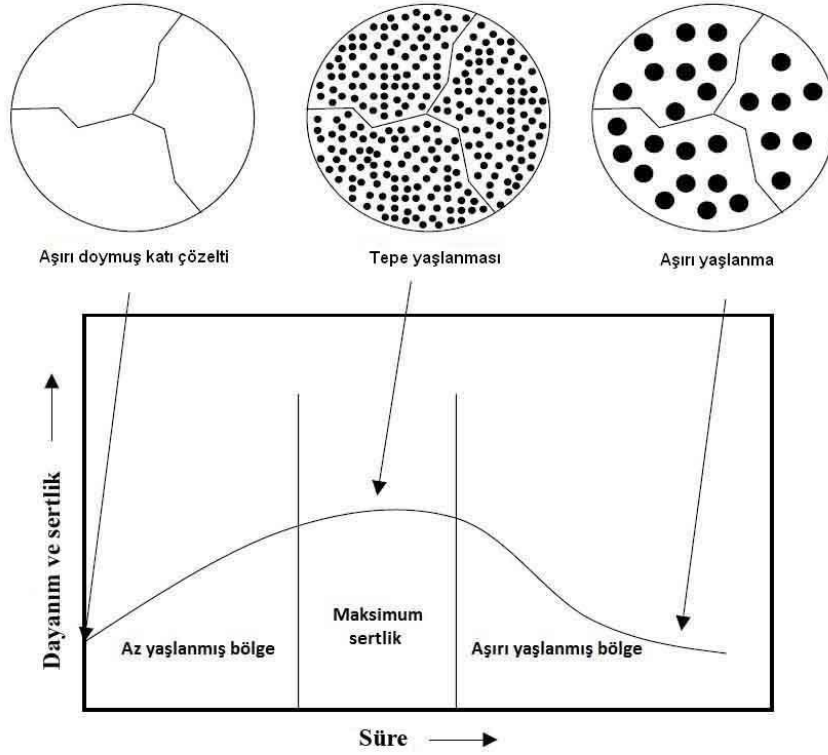


Şekil 3. Al-Zn denge diyagramı[13].

Çökeltme sertleşmesi sürecinin ikinci basamağında su verme işlemi yer almaktadır. Malzeme genellikle oda sıcaklığındaki suda oda sıcaklığına kadar hızla soğutulmaktadır. Su verme işleminden sonra malzemenin yapısı aşırı doymuş katı çözeltilidir [5].

Çözelti ısıtma işlemi uygulanmış ve su verilmiş alaşım malzemesini ince dağılmış çökeltilerin oluşabilmesi için yaşlandırmak gerekliliği görülmektedir. Çökeltme sertleşmesi süreci alaşım içinde ince ve dağılmış çökelti oluşturmak amacıyla uygulanmaktadır. Biçim değiştirme sırasında dislokasyon hareketleri çökeltilerin etrafından dolanarak alaşımdaki ince çökelti engellerler. Alaşımın dayanımı Biçim değiştirme sırasında aykırı yerleşimlerin hareketlerinin sınırlanmış olmasıyla artar [5].

Yaşlandırma işlemi sırasında yapıda meydana gelen çökeltilerin zamana bağlı değişimi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Çökelti sertleşmesi ısıl işleminde yaşlanma eğrisi [1].

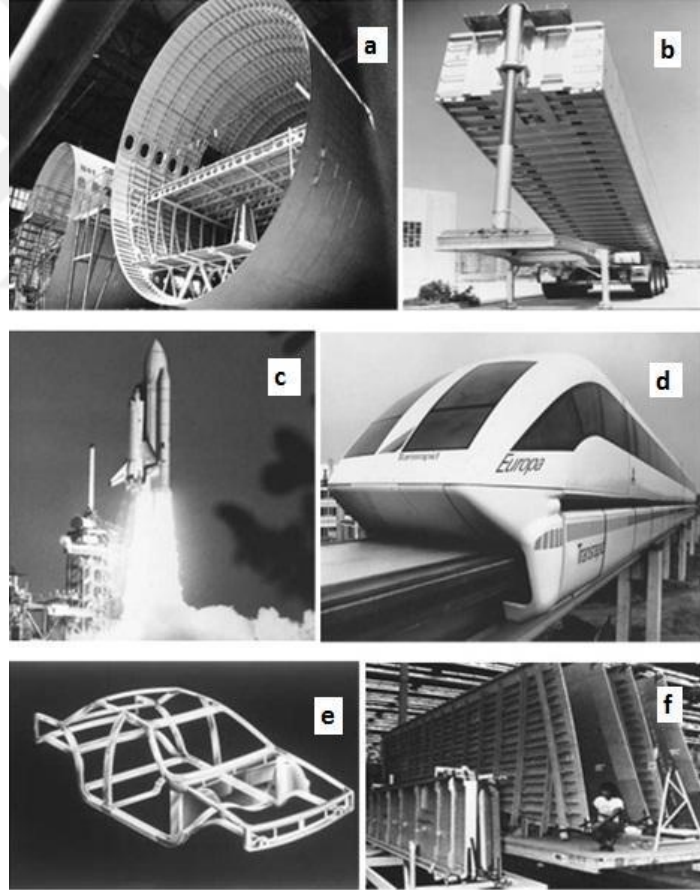
Anafaz içerisinde çözülmüş olan atomların ayrışma hızı yaşlandırma işleminde sıcaklığın artmasıyla artacaktır. Teşvik edilen yayınma ile çökelti parçacıklarının oluşumu hızlanacaktır. Sıcaklıkla hızlandırılan yayınmanın devamına yaşlanma süresinin arttırılması fırsat verecektir. Bu sayede çökelti miktarı artacaktır [6].

1.2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Dayanım/ağırlık oranı, kırılma tokluğu, kreyojenik direnci, işlenebilirliği, geri dönüştürülebilir olması, korozyon direnci, ısı iletkenliği ve elektrik iletkenliği gibi özelliklere sahip olmasıyla alüminyum ve alüminyum alaşımları birçok alanda tercih edilirler [2].

Alüminyum esaslı kompozit malzemelerin kullanımı kompozit malzemelerin yaygınlaşması ile son yıllarda artış göstermiştir. Takviye elemanı ilavesi ile daha yüksek dayanımlı Alüminyum ve alüminyum alaşım malzemeler üretilmektedir [10] [11].

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarına ait bazı örnekler Şekil 5’ de verilmiştir.



Şekil 5. Alüminyum ve alaşımlarının endüstrideki kullanım alanları: a) uçak içyapıları, b) tır damperleri, c) uzay aracı roketleri, d) yüksek hızlı trenler, e) otomotiv konstrüksiyonları, f) uçak konstrüksiyonları [2].

1.3. Alümina (Al_2O_3)

Alüminyum dünyada en fazla olan 3. elementtir. Kimyasal aktivitesinin yüksekliğinden dolayı saf olarak bulunamaz. Alümina (Al_2O_3) en değerli oksididir. 1907 yılında alınan bir patent ile ticari kullanımı başlamıştır. Yapısal olarak mühendislik alanında kullanılmakta olan formu Al_2O_3 olsa da birçok değişik modifikasyonu vardır. Buji ve laboratuvar malzemelerinde kullanılmaya başlanan alümina yüksek sertlik, yüksek ergime noktası ve aşınma direnci gibi özelliklere sahiptir. Sahip olduğu yüksek korozyon dayanımı sayesinde alüminayı korozif ortamlarda kullanabilir. [14].

2000°C sıcaklıklarında ergime noktası alüminanın mekanik özellikleri üzerinde etkisi olan birden fazla parametre bulunmaktadır. Farklı yoğunluk değerlerinde alümina tozunun mekanik özellikleri Tablo 3' de verilmiştir [15].

Tablo 3. Al_2O_3 yüzdesine bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi [16].

| | Al_2O_3 (> % 99,7) | Al_2O_3 (% 99) | Al_2O_3 (% 80 – 95) |
|---|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Yoğunluk (g/cm^3) | ~3,9 | 3,8 – 3,9 | 2,6 |
| Vickers sertlik (GPa) | ~20 | 15 – 16 | 10 – 15 |
| Basma Mukavemeti (MPa) | 3000 – 4000 | 2500 | 2000 |
| Termal genişleme ($10^{-6}K^{-1}$) | 8,5 | 8,0 | 7,0 |
| Termal iletkenlik (W/mK) | 33 | 25 – 30 | 15 – 25 |

Alüminanın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4 ve Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 4. Alüminanın fiziksel özellikleri [23, 24].

| | |
|---|---------|
| Ergime noktası, °C | 2015±15 |
| Refraktif indeks | 1,765 |
| Moleküler ağırlık, g/mol | 101,96 |
| ΔG_{fo} Oluşum serbest enerjisi, kJ/mol | -1582,4 |

Tablo 5. 99,7 saflıkta alumünaların fiziksel ve mekanik özellikleri [15].

| | |
|---|--------------------|
| Alumina içeriği, % | 99,7 |
| Yoğunluk, g/cm ³ | 3,9 |
| Dielektrik sabiti | 9,0-10,1 |
| Dielektrik mukavemeti, kV/mm | 10-35 |
| Hacim direnci, $\Omega \cdot \text{cm}$ (600 °C'de) | 4×10^{10} |
| Termal iletkenlik, W/m °C | 28-35 |
| Termal genişleme katsayısı, $10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (20-1000 °C) | 8 |
| Maksimum kullanım sıcaklığı, °C | 1700 |
| Spesifik ısı, J/K kg | --- |
| Eğme mukavemeti, MPa (20 °C'de) | 350 |
| Basma mukavemeti, MPa (20 °C'de) | 2200-2600 |
| Elastik modül, GPa | 380-410 |
| Poission oranı | 0,24-0,27 |
| Sertlik, HV1,0 | 1500-2000 |

Oluşan ürünün tane boyutu ve sinterleme parametreleri magnezyum, zirkonya veya titanyum katkı olarak az miktarda eklenerek kontrol edilebilir. Örnek verilecek olursa ince taneli yapıdaki alüminada porozite az olacağından sinterleme sonrasında meydana gelen numunenin mekanik özellikler ve performans bakımından artar. Fakat bu üstün özellikleriyle beraber düşük ısıl şoka dayanım ve düşük darbe dayanımında olmalarından dolayı kullanımları sınırlıdır [15].

1.4. Yüzeysel Kompozit Üretimi

Benzer olmayan iki veya ikiden fazla malzemenin doğal olmadan sentetik olarak birleşmesiyle oluşan ve açık bir ara yüz tarafından ayrılmış kimyasal olarak birbirinden farklı yapılardan oluşması gereken malzemelere kompozit malzemeler denir. Metalik

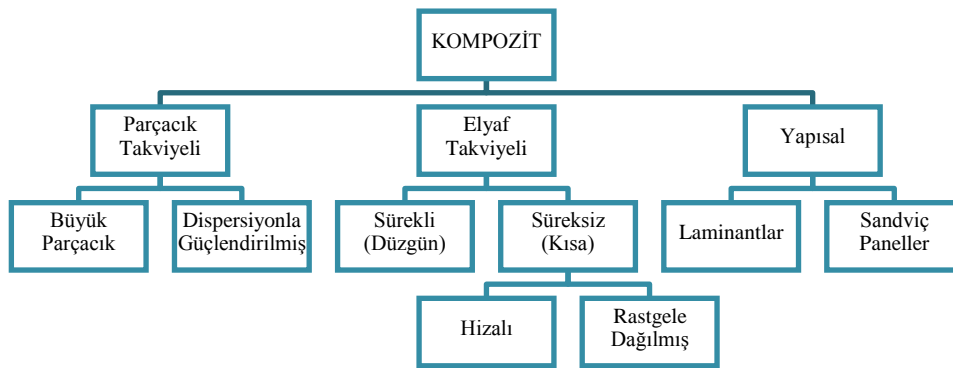
alaşım ve birçok seramik malzeme doğal bir olayın sonucunda oluştuğu için kompozit tanımına uymamaktadır. Çoğu kompozit malzeme biri sürekli dağılık takviye elemanı olan diğeri ise kurucu ve çevreleyen yapı olan matristen oluşan iki farklı yapıdan oluşan malzemelerdir. Bileşen fazı özelliklerini hacim oranı, şekilleri, parçacık boyutları, dağılım ve yönelimleri bileşik özelliklerini tanımlar [17].

Kompozitler malzeme üretiminde kullanılan yöntem ve takviye şekilleri bakımından parçacık takviyeli, elyaf takviyeli ve yapısal kompozitler olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Yapısal kompozitler, kompozit ve homojen malzeme karışımına sahiptir, Parçacık takviyeli kompozitler ise eş eksenli dağılmış faz yapısına (yani tanecik boyutları hemen hemen her yönden aynı). Elyaf takviyeli kompozitler ise dağılık fazlı bir elyaf yapısına (yani büyük bir uzunluk/çap oranı) sahiptir [17].

1.4.1. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Parçacık takviyeli kompozitler iki alt bölüme ayrılır bunlar büyük parçacıkla veya dispersiyonla güçlendirilmiş kompozitlerdir. Bileşik mekanizmasını güçlendirmede kullanılan bu iki mekanizmada büyük parçacıklar kullanılır. Bu sebepten parçacık-matris ilişkisi atomik veya moleküler düzeyde değerlendirilemez. Kompozit malzemelerin çeşitleri Tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 6. Kompozit çeşitleri için şematik sınıflandırma [17].



Matris malzemesi sert parçacıklardır. Matris fazında bulunan parçacıklar matris fazını güçlendirir. Matris tarafından çok fazla kullanılan gerilmelerin bir kısmı parçacıklara iletilir. Matris ve parçacığı ara faz oluşturarak sağlam bir şekilde bağlar ve kompozitlerin mekanik davranışlarını düzeltmede önemli rol oynar. Çimento matrisi, kum ve çakıl ise

parçacık kısmını oluşturduğu beton Büyük parçacıklı kompozitlere örnek olarak verilebilir [17].

Büyük parçacıklı kompozitler polimerler, seramikler ve metaller olmak üzere üç farklı malzeme kullanılarak geliştirilirler. Örnek verilecek olursa Sermentler büyük parçacıklı metalseramik kompozit sınıfına örnek verilebilir. Sermentler titanyum karbür (TiC) veya çimentolu karbür, kobalt ya da nikel gibi bir metal matris ile çevrelenmiş tungsten karbür (WC) gibi ısıya son derece dayanıklı sert parçacıklar ile birleşerek oluşur. Kesici aletler için sertleştirilmiş çeliklerde yaygın olarak bu kompozitler kullanılır [17].

Büyük parçacıklı kompozitlerin aksine dispersiyonla güçlendirilmiş kompozitler (10-100) nm çapa sahip parçalara sahiptir. Parçacık-matrisin atomik veya moleküler seviyede etkileşimi sonucunda malzemeye eklenen parçacıklar nedeniyle güçlenme oluşur. Ani sertleştirme işlemine benzer olan güçlendirme mekanizması parçacıkların küçük hareketlerini engellemezken matris üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşımalıdır. Bu sayede çekme dayanımını, sertliği, plastik deformasyon sonuçlarını ve verimi iyileştirir. Matris boyunca dağılmış eşit ve küçük parçacıklar sayesinde malzemenin güçlenmesini sağlar. Dağılmış parçacıklarla güçlendirme çökeltme sertleştirmesinde olduğu kadar belirgin olmamakla birlikte dağınık parçacıklarla güçlendirilmiş malzemede matris ile takviye elemanı tepkimeye girmez. Bu sayede yüksek sıcaklarda daha uzun süre korunabilir. Matris malzemede çökeltme ile sertleştirilmiş alaşımlarda dayanımı arttırmak amacıyla, çökelti fazında çözünmeyi veya çökelti büyümesini azaltmak için ısı işlem uygulanabilir [17].

Kompozit malzemenin genel performansını, kompozit malzemeyi oluşturan iki fazın hacimsel oranı etkiler. Mekanik özelliklerin geliştirilmesinde parçacıkların içeriği önemlidir. Kompozit malzemenin iki fazının hacimsel oranı ile elastisite modülü arasındaki formüller Şekil 6'da verilmiştir. Bu denklemler kullanılarak elastisite modülü ile ilişkili olarak bir üst sınır bulunabilir [18].

$$E_c(u) = E_m V_m + E_p V_p \quad (2.1)$$

$$E_c(l) = \frac{E_m E_p}{V_m E_p + V_p E_m} \quad (2.2)$$

Bu formüllerdeki indisler:

c : kompozit ; **E** : Elastisite Modülü

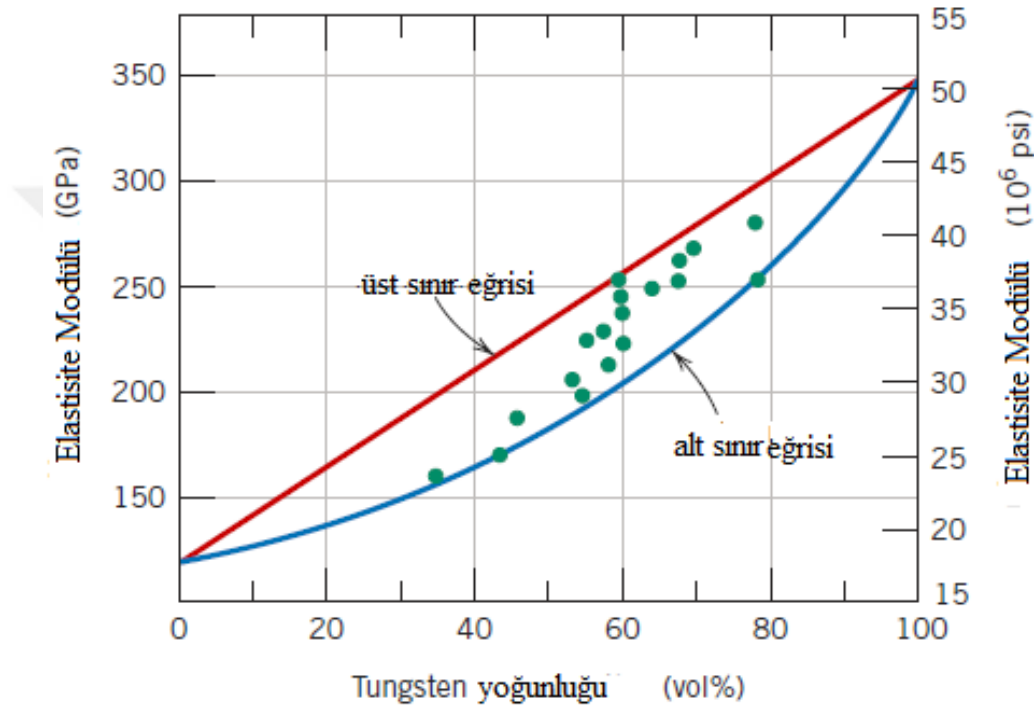
m : matris ; **V** : Hacimsel Oran

p : parçacık

Şekil 6. Kompoziti oluşturan iki fazın hacimsel oranının elastisite modülü ile ilişkisi

Hacim bakımından % tungsten yoğunluğu Bakır matris içinde dağılmış tungsten parçacıkları için Şekil 6' de gösterilmiştir. (2,1) ve (2,2) denklemlerinden elde edilen alt ve üst sınır eğrileri ve noktalar halinde gösterilen deneysel veriler de gösterilmiştir.

Şekil 7'de tungsten parçacıklı bakır fazlı bir bileşiğin alt ve üst sınır eğrileri verilmiştir. Deneysel veriler ile ulaşılan veriler verilen iki eğri arasında kaldığı görülebilir.

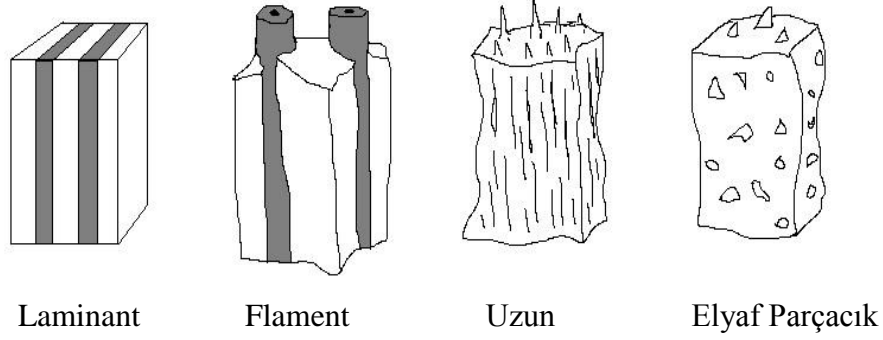


Şekil 7. Tungsten yoğunluğu- elastisite modülü ilişkisi [12].

1.4.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMC)

Kompozit malzemelerin matrisleri metal olanları metal matrisli kompozitler olarak isimlendirilmiştir. Bilim adamlarının birçoğu metal matrisli kompozit ifadesini hafif metal-matris bileşimleri ile ilişkilendirir [19]. MMC yapılar farklı mekanik özellikleri olan farklı iki malzemeden oluşurlar. Birinci malzeme olan matris yüksek süneklığe sahip olan genellikle Al, Ti, Mg, Cu ve Fe alaşımlarından elde edilen malzemelerdir. İkinci malzeme olan takviye parçacıklar karbür, oksit veya nitrür seramik parçacıklarından oluşur [20].

Takviye elemanı özelliğine göre MMC ler parçacık takviyeli MMC' ler, lifler veya kısa kıl takviyeli MMC' ler ve sürekli elyaf veya tabakalı MMC' ler olarak sınıflandırılması Şekil 8' de gösterilmiştir.



Şekil 8. Metal matrisli kompozitlerin sınıflandırılması [63].

MMC' ler de alüminyum malzeme matris malzemesi görevi üstlenir. Fakat MMC lerde metal matris olarak yalnızca alüminyum kullanılmamaktadır. Maliyetin önemli olmadığı bazı uygulamalarda Titanyum alaşımları da 400- 500 derecede tutulmasıyla Al alaşımlarına göre mukavemet-ağırlık oranları bakımından daha iyi değerler elde edilerek mukavemeti yüksek alaşımlar elde edilmiştir [21]. Takviye elemanı olarak ise metal teller, bor, karbon, alüminyum oksit ve silisyum karbür tercih edilir [22]. Takviye elemanı olarak Seramik oksitler, karbürler ve nitritlerin kullanılmasının sebebi birleşik oluşturabilmesindeki üstün yetenekleri, yüksek sıcaklık dayanımları ve mukavemetlerinin yüksek olmasından kaynaklıdır [21].

Çeşitli yöntemlerle MMC ler üretilebilir. Bu yöntemlerden bir kısmını şu şekilde sıralayabiliriz.

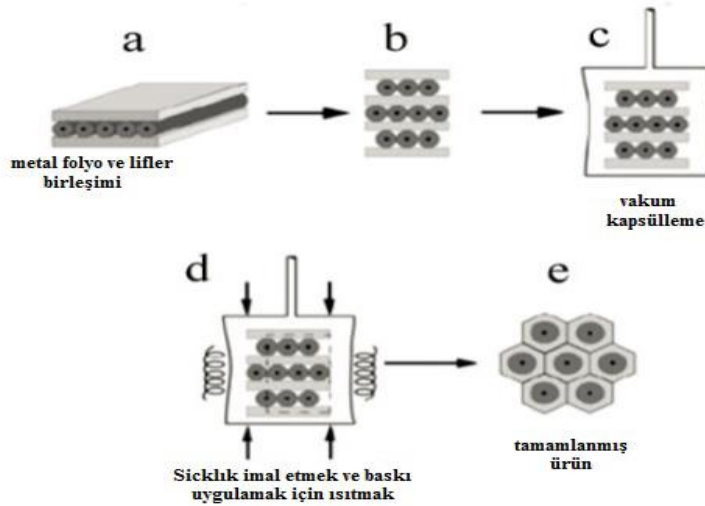
1.4.2.1. Sıvı Hal İşlemleri

Sıvı metal tarafından lifli ya da parçacıklı takviye elemanlarının ıslatılması döküm veya sıvı infiltrasyonu olarak isimlendirilir. MMC üretimi sırasında Sıvı fazlı infiltrasyon olayı gerçekleşirken erimiş metalin seramik takviye elemanını yeterince düzgün ıslatamaması birçok zorlukla karşılaşılmasına sebep olur. Erimiş metal ve lifin aralarında oluşan tepkimeler sırasında yapıda eriyen metal sızmaları gözlenir. Lifler önce infiltrasyon

ile kaplanır ve ara yüzey reaksiyonları engellenir. Fiber kaplamada açık havanın yüzey oksidasyonu etkisi sebebiyle malzemenin açık hava ile teması engellenmelidir. [23].

1.4.2.2. Katı Hal İşlemleri

Geleneksel katı hal işleme yöntemi olan ve farklı ya da aynı metallerin bir araya getirilmesi için uygulanan difüzyon bağı, temas halindeki yüzeyler yüksek sıcaklık altındayken difüzyon sonucu oluşur. Bu teknikle elde edilen asıl avantaj metal matrislerin ve lif yönlendirmesi ve hacimsel oranlarının kontrol altında tutulabilmesidir. Bunun yanında işlemlerin uzun sürmesi, işlemlerin yüksek sıcaklıklara ve basınçlara olan ihtiyacından dolayı bu işlemi ekonomik yönden dezavantajlı duruma getirmektedir. İşlemin bu kısmında difüzyonla birleştirme işlemi, eş zamanlı olarak bütün formlara basınç ve sıcaklık uygulanarak gerçekleştirilir. Bu işlem sırasında elyaf dizileri ve bir matris alaşımı veya tek katmana sahip tabakalar daha önceden belirlenmiş olan sırayla birleştirilir (Şekil 9). MMC ler için vakumla sıcak presleme, difüzyonla yapıştırmanın en önemli aşamasıdır. Sıcak izo-statik preslemeye alternatif olabilecek bir seçenek olarak tek eksenli presleme gösterilebilir. Aynı zamanda kapalı bir hacim içerisinde olan kompozit karşı gaz basıncı ile kontrol edilir. Tutarsız geometriye sahip yapılara yüksek sıcaklık ve basınç ile İzo-statik presleme uygulanır [19].



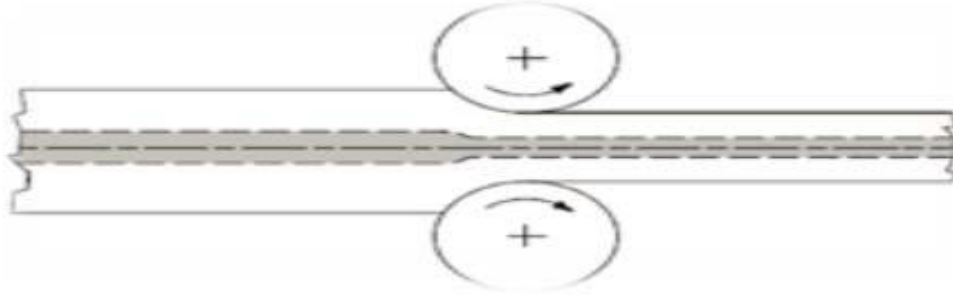
Şekil 9. Difüzyonla yapıştırma işlemi; (a) metal folyo uygulayarak istenilen şekilde kesilir, (b) birleştirmek istenilen katlar sıralanır, (c) imalat sıcaklığında vakum ve ısı kapsülü, (d) basınç uygulanır ve pekiştirme döngüsü için basınç uygulanır, (e) basınç [12].

1.4.2.3. Deformasyon Yöntemi

Deformasyon yöntemi kompozit malzemelerin yoğunlaştırması ve/veya deformasyonuna ait bir katı hal tekniğidir. Metal-metal bileşiğin mekanik olarak dövme, ekstrüzyon, çekme veya haddeleme ile işlenmesi, sünekleşmeye ve bir fazın diğer faz içinde liflerinin oluşmasına yani iki fazın beraber deforme olmasına yol açar. Bu malzemeler in-situ kompozit olarak da isimlendirilebilirler. Deformasyon yöntemi ile oluşturulmuş malzemenin özellikleri başlangıçta kullanılan malzemelerin özellikleri ile belirlenir. İlk olarak normal olarak, döküm ya da toz metalurjisi ile üretilmiş iki fazdan oluşan alaşım bir yapı vardır [25].

Silindirle yapıştırma tekniği de tabakalı kompozit üretmek amacıyla kullanılan farklı bir tekniktir. Tabakalı metal matrisli kompozitler olarak da adlandırılan bu teknikle üretilen kompozitlerde katmanların düzenlenmesi farklı kompozitler oluşturur [26].

Rulo yapıştırma tekniği yardımıyla bir MMC üretimi Şekil 10' da gösterilmiştir.



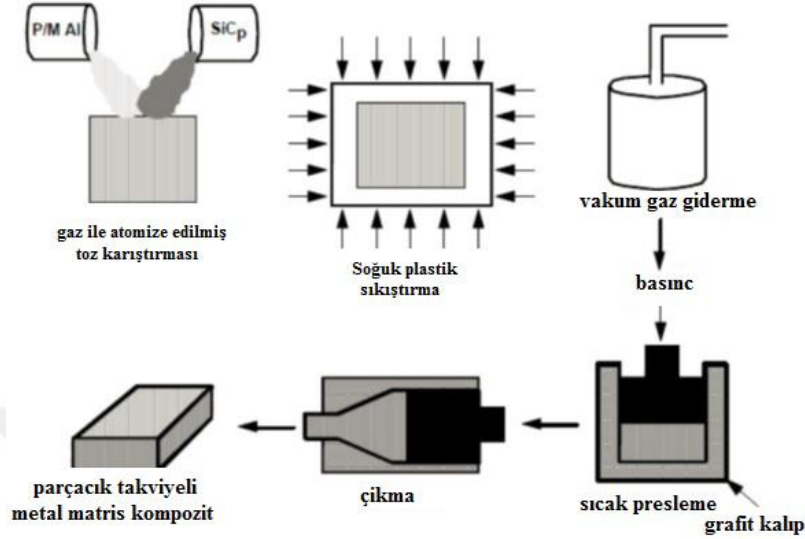
Şekil 10. Tabakalı MMC üretmek için silindirle yapıştırma yöntemi ile metalürjik bağ oluşturma süreci [26].

1.4.2.4. Toz İşlem Tekniği

Parçacık veya kısa elyaf takviyeli kompozit üretmek amacıyla kullanılan bu yöntemde soğuk presleme ve sinterleme veya sıcak presleme gerekir [26].

Matris ve takviye tozları, düzgün bir dağılım elde etmek için Şekil 11' de gösterildiği gibi karıştırılır. Bu süreç %80 yoğunluğa kadar yeşil kompakt oluşturmak için sadece soğuk presleme ile uygulanan bir işlemdir. Parçacık yüzeyinde oluşabilecek nemi önlemek amacıyla soğuk preslenmiş yeşil kompakt havadan arındırılmış bir yerde tutulur. Sıcak pres ve tek eksen veya izo-statik ve ekstrüzyon uygulayarak tamamen yoğun bir kompozit üretilir. Sert parçacıklar veya elyaflar matris deformasyonunu önemli düzeyde artırır.

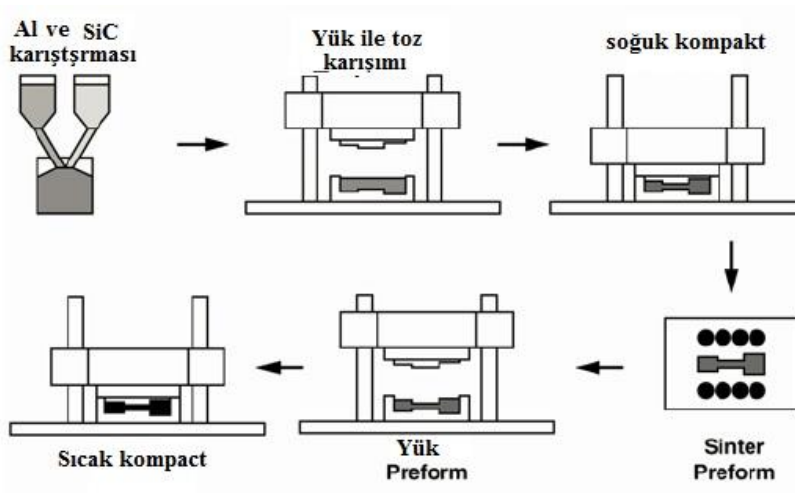
ve de sıcak ekstrüzyon esnasında parçacık/matris ara yüzeyinde dinamik tekrar kristalleşme, rastgele yönlenmiş taneler ve orta gözenekli çok ara yüzeyli taneler oluşturulması sağlanır [27].



Şekil 11. Parçacıklı veya kısa elyaf takviyeli MMC üretmek için toz işlem, sıcak presleme ve ekstrüzyon işlemi [27].

1.4.2.5. Sinter-Dövme İşlemi

Ekonomik deformasyon oluşturmak için bu işlem mükemmel bir tekniktir [28]. Bu işlemde takviye ve matris toz karışımı; soğuk sıkıştırılmış, tavlanmış katı dövme işlemidir (Şekil 12). Bu işlemin en büyük faydası; dövme esansındaki, operasyon ve malzeme israfını mümkün olan en aza indirmesidir. Maliyetin düşüklüğü, çekme ve yorulma özellikleri sinter kompozit ekstrüzyon yoluyla üretilen malzeme özellikleri ile eşdeğerdir.



Şekil 12. MMC üretmek için Sinter-Dövme işlemi [26].

1.5. Sürtünme Karıştırma Prosesi (SKP)

1991 yılında Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından geliştirilen ve temeli sürtünme karıştırma kaynağına dayanan bir katı hal işleme tekniği olan sürtünme karıştırma işlemi kaynak tekniği yaygın olarak son 20 yılda ortaya çıkan en önemli kaynak yöntemlerinden biri olarak kabul ediliyor [20]. SKP'nin oldukça basit olan ana fikri karıştırmayı sağlayan takım omuzunun parçaya sürtünerek parçanın sıcaklığını arttırmasıdır. Sıcaklığı artan proses malzemesinde şekil değiştirme yeteneğinin artış göstermesiyle, malzeme içerisine daldırılan takım pimi sayesinde yüksek oranda plastik deformasyona uğramasını sağlar. Bu esnada kullanılan takım, işlem sırasında ulaşılan sıcaklık seviyesinde, yeterli mukavemete sahip olan bir malzemedir üretilir. Takımın dönme ve ilerleme sırasındaki hareketi pimin ön kısımdan arka kısmına malzeme hareketine (Şekil 13) sebep olarak karıştırmayı gerçekleştirir [29-30]. SKP işlemi sırasında oluşan mikro yapıları ilk belirleyenler Mishra ve arkadaşlarıdır [31,32].

SKP döküm alaşımlarının ve toz metalurjisi ile üretilen metal matrisli kompozitlerin homojenizasyonu için de kullanılmaktadır [33,34]. Özellikle yüzeysel kompozit tabakalarının üretimi için SKP çok fazla ilgi çektiği için bu alanda oldukça çok araştırma yapılmaktadır. Bu işlemde tercih edilen malzeme çiftleri kullanım amacına göre farklılık içeren malzemeler tercih edilip, bu çiftlere ait örneklerin bazıları aşağıda verilmiştir:

Al matrisli kompozitlere ait örnekler; Al / SiC [35,36] , Al / Al₂O₃ [37,38] , Al / NiTi [39] , Al / CNT [40-42] , Al / Fulleren [43] , AL / Ni [44] , Al / TiO₂ [45],

Magnezyum matrisli kompozitlere ait örnekler; AZ31 / nano ZrO₂ ve nano SiO₂ [46] , AZ61 / SiO₂ [34] , AZ31 / SiC [47] , AZ31 / CNT [48] , AZ31 / C₆₀ [44] ,

Bakır matrisli kompozitlere ait örnekler; Cu / SiC [35] , Cu / CNT [46]

Çelik matrisli kompozitlere ait örnekler; L316 / SiC [47] , hafif çelik / nano TiC [49].

Genel olarak süreç, metal matris levha yüzeyi üzerinde, bir oluk ya da deliklere takviye malzemesinin doldurulması ve daha sonra SKP uygulanması ile yüzeysel kompozit tabakası oluşması olarak ilerler. Bu işlem esnasında parçacık dağılımını homojen olması ve takviye parçacık kaybının en az seviyede olması amacıyla yapılan en yaygın çözüm açılan oluk içine takviye parçacıklarının yerleştirilip takım ile SKP yapmaktır [34, 37]. Lim ve Mahmoud bu işlemi uygularken ince bir plaka ile kanalları üzerini kapatarak SKP'ye uygulanan bir yöntem geliştirmişlerdir [40, 50]. Bu yöntem ile takviye malzemesi kaybı önlenirken, plaka ile ana malzeme arasında birleşme sorunu oluşmaktadır. Bazı

araştırmalarda ise geleneksel toz metalurjisini kullanmıştır. Daha karmaşık bir prosedür olan bu işlemlerle malzemesini kanal içerisine baskıyla yerleştirmeye çalışmışlardır [51,52]. İn-situ kompozit oluşturmak için bu yöntem geçerli bir yöntem olarak kabul edilmiştir [52-53]. Fakat bu yöntemi uygulayabilmek için özel ekipmanlar ve yüksek basınç gerekmektedir [51].

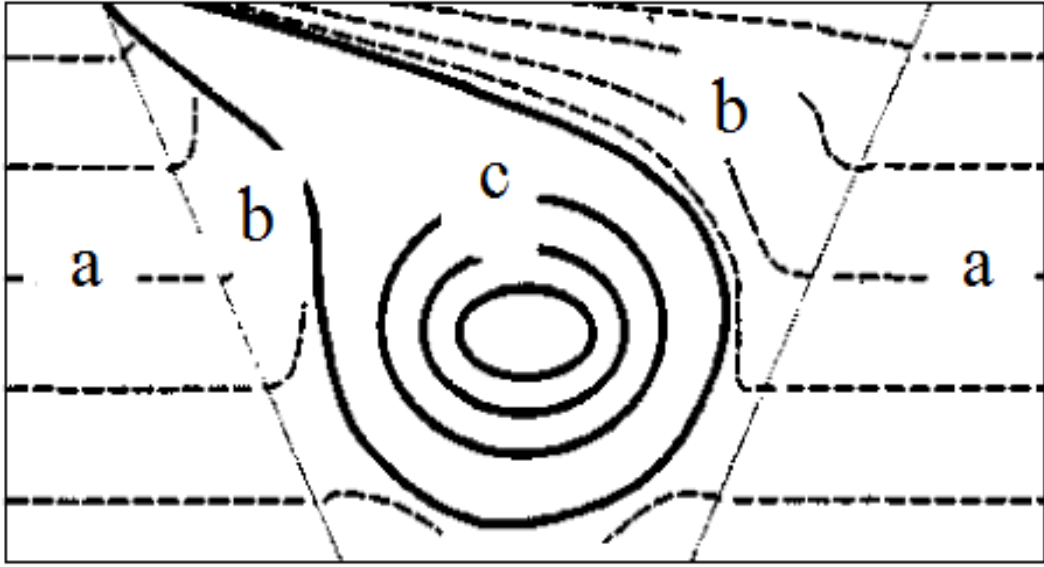
Kompozit malzemelerde düzgün bir dağılım sağlamak amacıyla takım geometrisi ve SKP parametrelere değiştirilebilir. Proses parametreleri değiştirilmesiyle değişik şekillerde partikül dağılımı elde edilir. Zayıf bir aksenal kuvvet veya sığ kanal derinliği kullanılması durumunda takviye parçacıklarında önemli kayıplar oluşmaktadır. Takım baskı kuvvetinin ve kanal derinliğinin yüksek seviyelerde olması takviye parçacık kaybının önemli oranda azalmasını sağlamaktadır [35,38]. Proses hızının (takım ilerleme hızı) artırılması ısı girişinin azalmasına ve parçacıkların yeterli (homojen) dağılmamasına neden olur [33]. Bu sebepten homojen dağılım elde edebilmek amacıyla SKP'nin tekrarlanmasına ihtiyaç vardır [40,35,54]. Dönme hızının artması ve yayınma hızının azalması parçacık dağılımında daha homojen bir yapı sağlandığı düşünölmektedir [48,34]. Isının daha yüksek olmasıyla daha iyi bir karıştırma sağlanır. Aynı zamanda iyi bir parçacık dağılımlı elde etmek için mümkün olabildiğince düşük dönme hızları uygulanmalıdır [50, 55]. Diğer taraftan giren ısının artması matris içyapısındaki tanelerin büyümeye yol açabileceğinden proses bölgesinin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyecektir [56]. Bundan dolayı optimum işlem parametreleri uygulamalar için o uygulamaya öğü seçilmelidir. Takım pimi profilinin parçacık dağılımı üzerindeki etkilerinin de araştırılması gerekmektedir [50]. Malzemeler için yüzeysel iyileştirme yöntemlerinden bir tanesi olan SKP'nin diğer yüzey işlem yöntemlerine göre belirli avantajları vardır. En önemli avantajı katı hal prosesi olan SKP uygulanırken ana malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin diğer uygulamalarla kıyaslandığında daha fazla korunması ve oluşan yüzey kompozitinde proses amacı doğrultusunda üstün özellikler sağlaması olduğu söylenebilir. Bu avantajlara ek olarak;

- Proses esnasında aktif olarak soğutma/ısıtma işlemi uygulanmasıyla proses bölgesinin mikro yapısı, mekanik özellikleri kontrol edilerek yapıda yoğunlaşma ve homojenleşme sağlanabilir.
- Diğer metal işleme işlemleriyle kıyaslandığında proses bölgesinin derinliği prosesin amacına göre kontrol edilebilir.
- Malzemenin işlenmesi, sentezlenmesi ve imalatı için kullanılabilir.

1.5.1. SKP İşleminde Oluşan Mikro Yapılar

SKP esnasında uygulama bölgesinde yüksek değerlerde sürtünme ısı ve plastik deformasyon meydana gelirken; dinamik yeniden kristalleşme, eş eksenli aynı boyutlu taneler oluşması gibi olumlu sonuçlar karşımıza çıkmaktadır [59]. Bu durumda uygulama bölgesinde mikro yapıda; dinamik yeniden kristalleşme, çekirdeklenme ve büyüme gibi faktörlerin etkisinde olumlu etkilerle karşılaşılmaktadır. Bunlar dışında SKP üretim parametreleri, takım geometrisi, malzeme kimyası, iş parçası sıcaklığı gibi etmenler tekrar kristalize olmuş tanelerin büyüklüğünü etkilenmesine yol açar [59].

Aşağıda bulunan Şekil 14' de gösterildiği üzere, üretilen parça, taneler ve çökeltilerin mikro yapısına göre; karıştırılma bölgesi [Nugget], termo-mekanik etkilenen bölge [TMAZ] ve ısıdan etkilenmiş bölge [HAZ] isimlerinde üç farklı kısımdan meydana gelir. Farklı bölgelerdeki mikro yapı farklılıkları kaynak sonrası mekanik özelliklerin değişmesinde büyük etkiye sahiptir. Bu sebepten dolayı sürtünme karıştırma kaynağı/sürtünme karıştırma işlemi (FSW/SKP) esnasında oluşan mikro yapı gelişimi araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Uygulama alanı içerisinde meydana gelen ince taneli yeniden kristalize olmuş mikro yapı sürtünme karıştırma kaynağı/sürtünme karıştırma işlemi (FSW/SKP) sırasında daha çok plastik deformasyona maruz kalır ve daha fazla sürtünme ısı ortaya çıkar. Bu alan genellikle, kaynak bölgesi ya da dinamik olarak yeniden kristalize olmuş bölge (DXZ) ismiyle anılır. FSW/SKP işlemlerinin bazılarında kaynak bölgesinde soğan halkasına benzer bir yapı görülür. Yeniden kristalize olmuş tanelerinde genellikle düşük dislokasyon yoğunluğu görülür. Ancak bazı araştırmacıların çalışmalarına göre kaynak bölgesi içinde küçük yeniden kristalize tane alt sınırlar tespit edilmiş ve aynı zamanda yüksek yoğunluklu bu tane alt sınırlarında dislokasyonlar izlenmiştir. Kaynak bölgesi ve ana metal arasındaki ara yüzeyde gözlemlenen yeniden kristalleşme, takımın geri çekilen kısmında diğer kısımlara oranla daha yaygındır, ancak takımın ilerleyen kısmında olabildiğince keskindir [59].

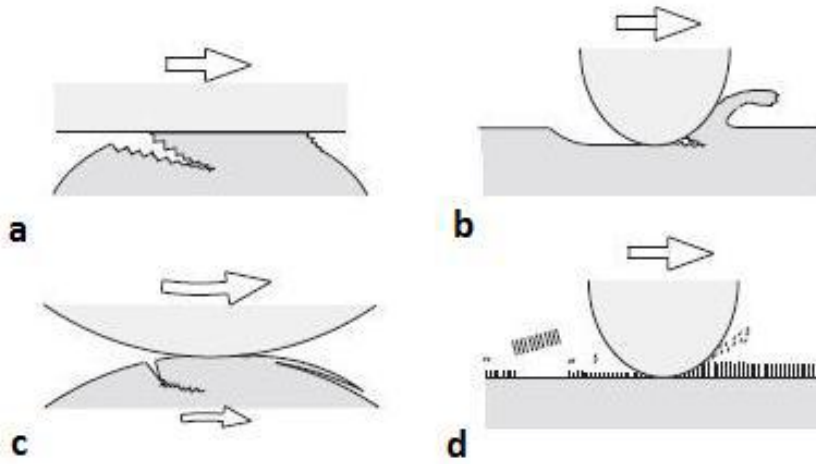


Şekil 14. SKP işlem bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü a: ısıdan etkilenmiş bölge, b: Termomekanik olarak etki altındaki bölge, c: Dinamik olarak etkilenen bölge [65].

Şekil 14' de SKK/SKP sonucunda oluşan ana malzeme ve karıştırma bölgesi arasında, bir geçiş bölgesi olan termomekanik bölge görülmektedir. Bu alanda SKK/SKP esnasında aynı anda sıcaklık ve deformasyon oluşmakta ve yüksek deformasyona maruz kalmış yapı ile karakterize edilmektedir. Karıştırma alanında ana malzeme deformasyonu yukarı doğru akan ince uzun taneler halinde gözlemlenebilir. Termomekanik kısma plastik deformasyon etki etmesine deformasyon zorlanmasının yetersiz kalması sebebiyle yeniden kristalleşme oluşmamıştır. Buna ek olarak termomekanik bölgede bazı çökeltilerin çözülmesi gözlenmiştir [59].

1.6. Aşınma Mekanizmaları

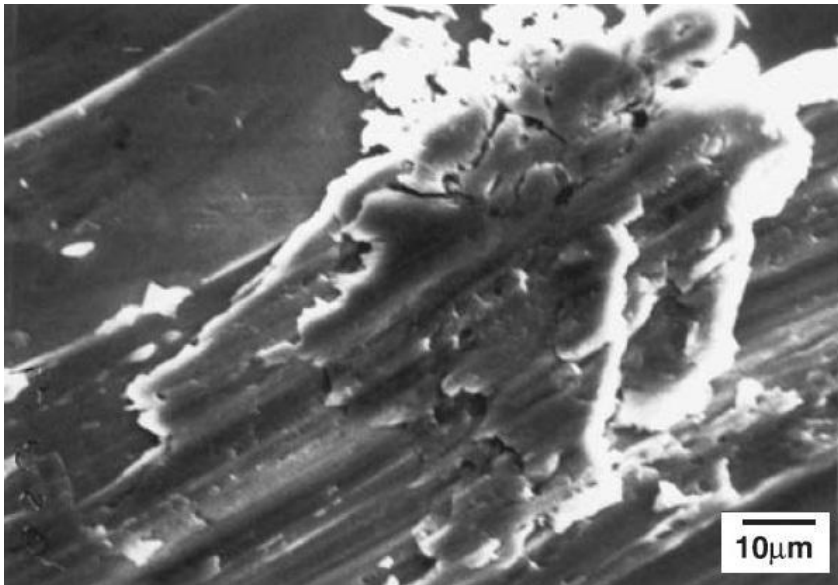
Birbiri ile temas halinde olup izafi hareket yapan yüzeylerde oluşan malzeme kaybı aşınma olarak isimlendirilir. Makine parçalarında makinenin ömrü çalışması esnasında meydana gelen aşınma miktarı ile sınırlıdır. Bu bakımdan endüstriyel alanda büyük bir problem olan aşınmanın tribolojik etkileşim halindeki metalik malzemelerde karşımıza çıkan en yaygın dört çeşit aşınma mekanizması vardır. Bahsedilen aşınma mekanizmalarından Şekil 15' de şematik olarak bahsedilmiştir.



Şekil 15. Aşınma türleri: a) adhezif aşınma, b) abrazif aşınma, c) yorulma aşınması, d) korozyon aşınması [93].

1.6.1. Adhezif Aşınma

Birbirine göre izafi hareket eden iki yüzeyin temas etmesi ve adhezif yapışma direnci oluşturmaya yeterli plastik temasın sağlanması ile temas yüzeyinde büyük bir plastik deformasyon oluşur. Temas yüzeyindeki büyük plastik deformasyonun oluşmasıyla çatlak oluşumu başlar ve büyür. Aşınma parçacığı çatlak temas yüzeyine ulaştığı anda oluşur adhezif transfer sonlanır (Şekil 15.a). Temas yüzeyinde yeteri kadar yapışma meydana getiren bu aşınma türü adhezif aşınma olarak adlandırılır [93].



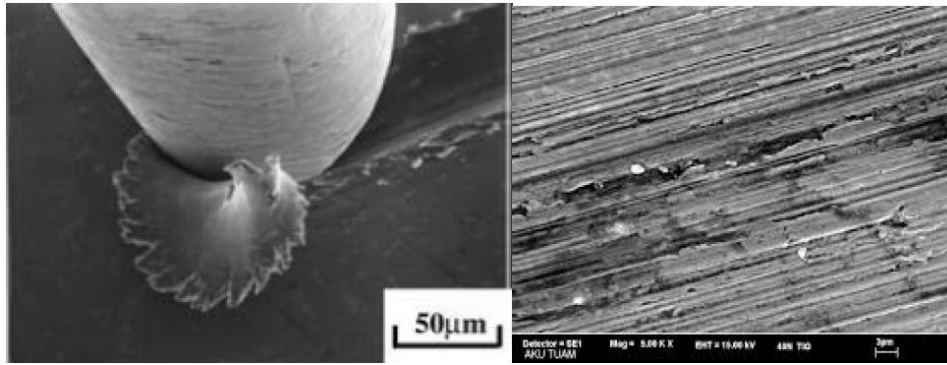
Şekil 16. Adhezif aşınma bölgesinden bir görüntü [93]

Adhezif aşınma ile yüzeylerden kopan parçalar hareket etmekte olan yüzeyler arasında kalır ve katman oluştururlar (Şekil 16). Temas alanındaki pürüzlü kısımlar temas ederler ve temas alanını artırır. Pürüzlülüklerin temas halinde olduğu bu noktalarda fiziksel ya da kimyasal yolla bağ kurulmasıyla yapışma meydana gelir. İzafi hareket halindeki yüzeylerdeki temas noktalarından kopmalar meydana gelir. Adhezif aşınmaya örnek olarak yatak sarması verilebilir [94].

1.6.2. Abrazif Aşınma

Birbirine göre eğimli veya kıvrımlı temas eden iki yüzeyin temas ara yüzeyinde hareketlerini anında çizik oluşacaktır. Çizik oluşmasıyla yüzeyden bir miktar malzeme kaybı ve mekanik özellikler bakımından zayıf olan malzemenin yüzeyinde kanallar oluşur (Şekil 15.b). Bu aşınma mekanizması abrazif aşınma olarak adlandırılır [93].

Kırılma tokluğu yüksek olan yumuşak metaller, hatta seramikler kayma sırasında sert parçacıkların etkisiyle plastik akışa uğrarlar. Kırılma tokluğunun düşük olduğu malzemelerde yüzeydeki pürüzlülükler kırılarak madde kaybına uğrarlar [94].

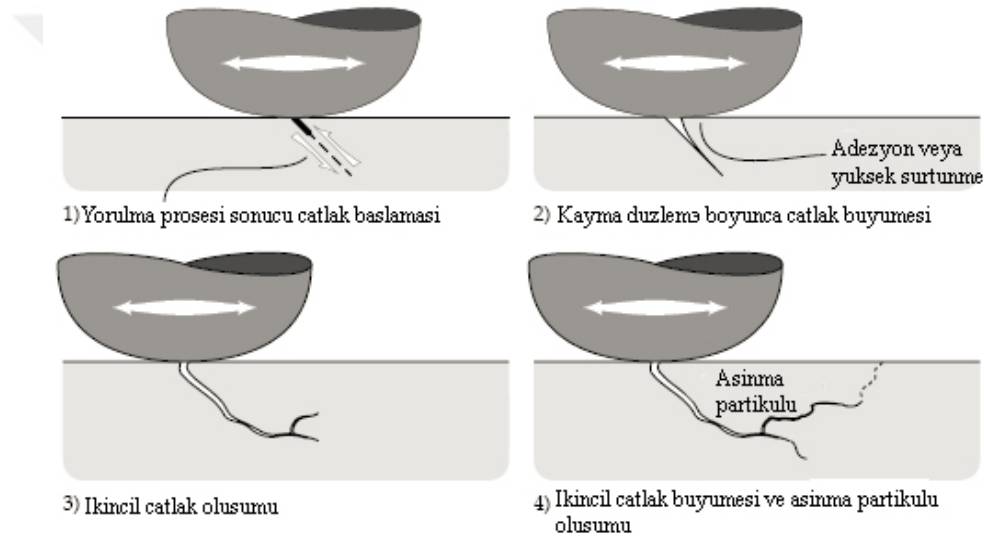


Şekil 17. Abrazif aşınma [93].

Metalleri şekillendirmede yaygın kullanılan talaşlı imalat aslına bakıldığında abrazif aşınmaya dayanmaktadır. Şekil 17’de görüldüğü üzere sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrazif aşınmaya sebep olabilmektedir [94].

1.6.3. Yorulma Aşınması

Titreşimli zorlamalarında yorulma kırılması hasarı şeklinde ortaya çıkan yorulma aşınması Şekil 18’de şematik olarak gösterilmiştir. Burada aşınma değişken ve/veya tekrarlı yüklemelerle gerçekleşir. Genelde yüzeyde bulunan, büyüklüğü zamana ve konuma bağlı olarak değişen mekanik gerilmeler ile meydana gelen tribolojik zorlamalar sonucu yorulma aşınması birden çok yerde görülebilir. Sonuç olarak malzemenin yüzeyinde çatlaklar meydana gelir ve bu oluşan çatlaklar yüzeyden parçacıkların kopması, çukur ve yuvaların oluşmasına neden olur [95].



Şekil 18. Yorulma sonucu yüzeyde çatlak oluşumu ve büyümesi [95].

1.6.4. Korozyon Aşınması

Kayma işleminin korozif ortamda olması durumunda Kimyasal veya korozyon aşınma oluşur. Hava içerisinde bulunmakta olan oksijen korozif etki oluşturur. Oksijen metal yüzeyinde oksit tabakası oluşmasına sebep olur ve temas eden parçalarla bu oksit tabakası aşınır (Şekil 15.d). Ortamda sürekli olarak oksijen bulunmasından kaynaklı bu işlem de sürekli görülebilir [94].

1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

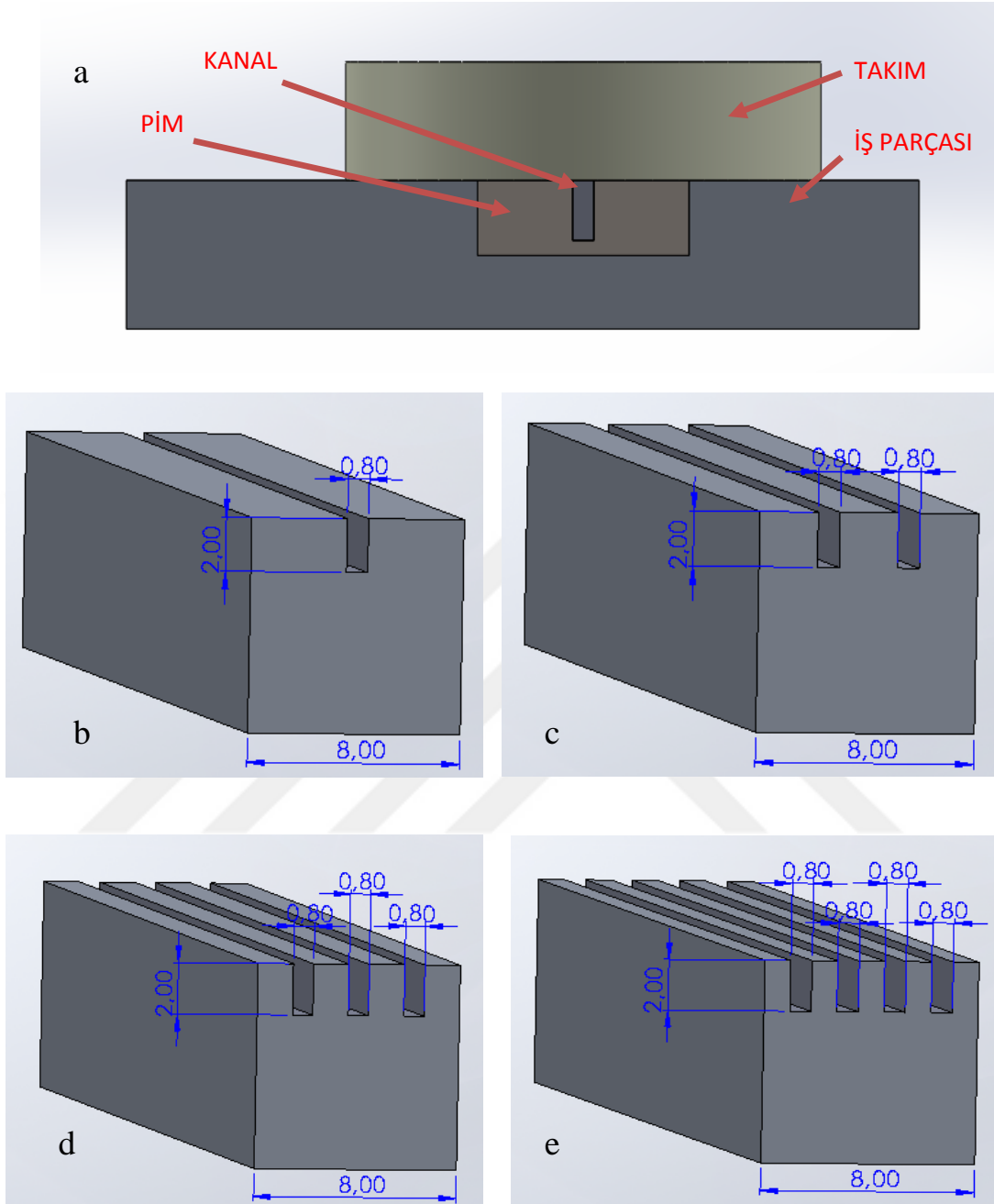
AA7075-T651, savunma ve havacılık alanları başta olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle sürtünme etkisi ve bu etkiden kaynaklanan hasarlar meydana gelmektedir. Gelişen teknolojinin de etkisiyle bu alanlarda malzemenin özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmayla bu ihtiyaçları karşılayabilmek için AA7075-T651'in yüzeysel olarak aşınma direncinin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda AA7075-T651 alaşımı yüzeyinin SKP ile aşınma direnci yüksek olan parçacıklar ile desteklenmesi düşünülmüştür. Uygulanmak istenilen bu yöntemde alümina (Al_2O_3) parçacıklarının kullanımının uygun olacağı varsayılmıştır.



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deney Malzemesi

Çalışmada deney malzemesi olarak AA7075-T651 alüminyum alaşımı seçilmiştir. Bu malzeme piyasadan ticari olarak yaklaşık 8 mm kalınlığında plaka şeklinde temin edilmiştir. Daha sonra bu plakalar SKP ile kompozit üretmek için KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü - Takım Tezgâhları laboratuvarında boyutları 8 mm x 50 mm x 200 mm olacak şekilde hazırlanmışlardır. Hazırlanan plaka yüzeyine Al_2O_3 tozlarının yapıya istenilen oranlarda katılabilmesi amacıyla 1 (%10), 2 (%20), 3 (%30) ve 4 (%40) kanallı olmak üzere 0.8 mm genişliğinde ve 2 mm derinlikte (hazırlanan pim boyu) kanallar açılmıştır. Söz konusu kanallar Şekil 19'da görüleceği gibi, karıştırıcı takım piminin tarayacağı hacmin içerisinde kalacak şekilde açılarak, kanal hacmi ile pim taradığı hacmin oranı olarak ifade edilmiştir. Proses hacminin içerdiği Al_2O_3 miktarı aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanmış olup 1 kanal için %10; 2 kanal için %20; 3 kanal için %30; ve 4 kanal için %40 olarak belirlenmiştir. Takviye oranı " Takviye oranı = (kanal hacmi / karıştırıcı ucun taradığı hacim) x100 " formülü ile belirlenmiştir. Takviye elemanının yerleştirileceği kanalların şematik görünümü Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Kanalların proses bölgesinde takviye oranına göre yerleşiminin şematik görünümü a) İşlemin genel şematik görünümü b) %10 c) %20 d) %30 e) %40

2.2. Sürtünme Karıştırma Proses Düzenegi

Gerçekleştirilmek istenilen bu çalışmada, sürtünme karıştırma prosesi işlemi için Şekil 20'den görüldüğü gibi SKP işlemi amacına uygun şekle dönüştürülen bir universal freze tezgâhı kullanılmıştır. Bu tezgâh; hidrolik yükleme tablası ve kontrol ünitesi, deney

esnasında verilerin kaydedilmesi için bilgisayar sistemi, kalibre edilmiş yük hücreleri ve veri okuma cihazı bir araya getirilerek hazırlanmıştır. Sürtünme karıştırma işlemi ile yüzeysel kompozit yapı üretmek için, bu tezgâh SKP deney düzeneği olarak kullanılabilir hale dönüştürülmüştür.

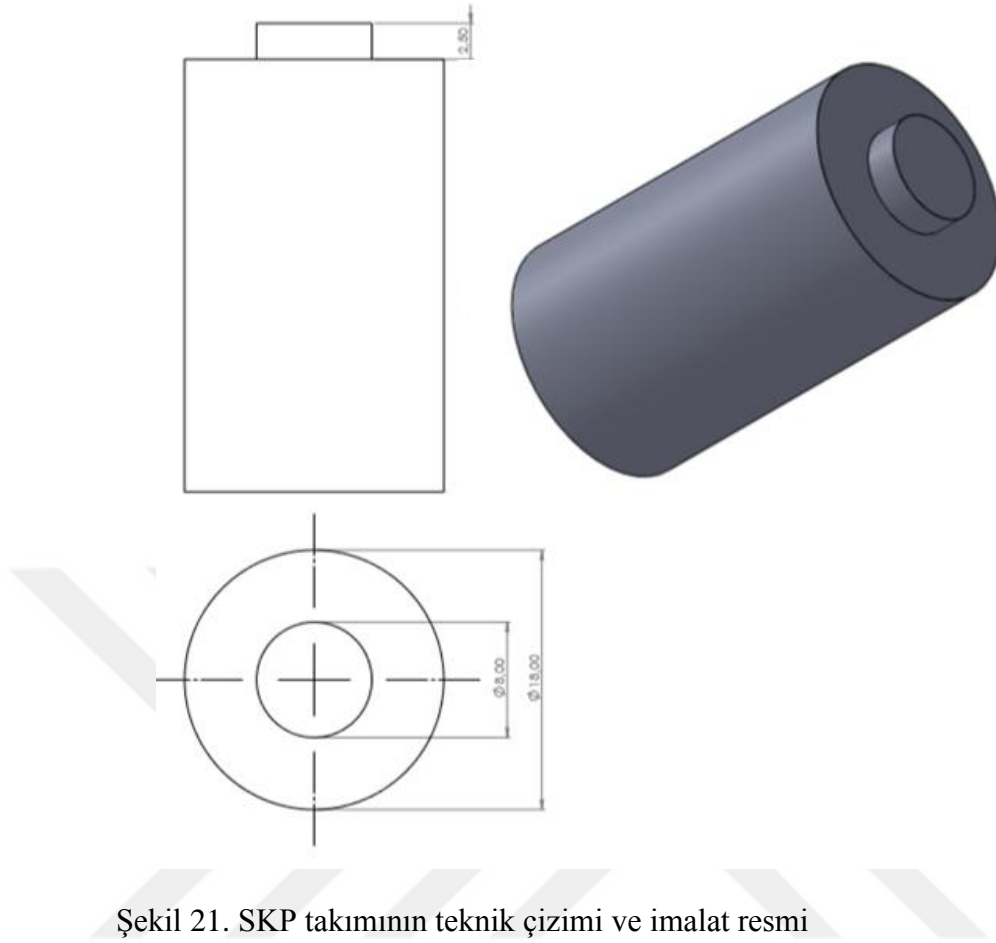
SKP düzeneği, üniversal bir freze tezgâhının dönüştürülmesiyle hazırlanmıştır. Freze tezgâhı 7,5 kW gücünde bir tahrik motoruna sahip olup, devir sayısı 50-1600 dev/dak arasında ve ilerleme hızı 35-1020 mm/dak arasında çalışabilmektedir. Tezgâh tablası üzerinde, SKP işleminde takım baskı kuvvetini istenilen mertebede elde etmek amacıyla hazırlanmış hidrolik tahrikli yükleme tablası bulunmaktadır. Kullanılan freze tezgâhında SKP'nın takım dönme hızı ve tezgâhın tablasına montaj edilmiş hidrolik tabla, takıma dik doğrultuda hareket ettirilerek takım ilerleme hızları kontrol edilmektedir.



Şekil 20. Sürtünme karıştırma işlemi tezgâh görüntüsü

2.3. Karıştırıcı Uç

Sürtünme karıştırma prosesi için karıştırıcı takım yüksek sıcaklıkta, yüksek sertlik ve mukavemete sahip olan Tungsten Karbür (WC) malzemeden imal edilmiş olup takım geometrisi Şekil 21'de verildiği gibi 2,5 mm uzunluğunda ve 8 mm çapında silindir şekilde hazırlanmıştır.



2.4. SKP Parametreleri

Uygulanacak SKP işleminde kullanılacak olan proses parametreleri, çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmaları ve gerçekleştirilen ön deneylerden elde edilen bulgular değerlendirilerek aşağıda Tablo 7’de gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler kullanılarak proses işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeyine parçacık takviyesini istenilen oranlarda yapabilmek için numune yüzeylerine pim ile taranan hacmin belirlenen oranı ölçüsünde kanallar açılmıştır. Numune yüzeyine açılan bu kanallara takviye parçacıkları (Al_2O_3 partükülleri) doldurularak, numuneler bağlama aparatı yardımıyla proses tablası üzerine sabitlenmiştir. Gerçekleştirilen proses işlemlerinin tümünde Tablo 7’de belirtilen deney parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 7. SKP parametreleri

| Takım devir sayısı (dev/dak) | Takım ilerleme hızı (mm/dk) | Takım Baskı Kuvveti (N) | Takım Açısı (derece) |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 800 | 45 | 5000 ±200 | -2° |

2.5. Deneyler İçin Hazırlanan Numuneler

Deneylerde kullanılmak üzere proseslerden elde edilen ana malzemedan metalografi, sertlik ve aşınma deney numuneleri, tel erozyon tezgâhı ile her bir numuneden bir adet metalografi, bir adet sertlik ve iki adet aşınma numunesi kesilerek hazırlandı.

Metalografi ve sertlik numuneleri dikkatli bir şekilde zımparalandı ve sonra 1µm alümina pasta ile parlatıldı. Aşınma numuneleri de kesilerek çıkartıldıktan sonra proses işleminin yüzeyde oluşturduğu ilerleme izlerini gidermek amacıyla yüzeysel olarak taşlama ile düzeltildi.

2.6. Mikro Sertlik Deneyi

Mikro sertlik ölçümleri mevcut STRUERS marka mikro sertlik ölçme cihazı ile yapıldı(Şekil 22). Sürtünme karıştırma prosesi uygulanan numunelerin proses yüzeyinden 0,5 mm altında olacak şekilde yüzeye paralel bir doğru boyunca 1 mm'lik aralıklarla yatay sertlik değerleri ölçülmüştür. Vickers sertlik yöntemi 4.91N yükte ve 5sn uygulama süresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 22. Mikro sertlik cihazı

2.7. Metalografik Deneyler

Metalografi numuneleri, standart metalografi teknikleri kullanılarak hazırlandı. Yüzeyi parlatmak için numuneler önce 1 μm alümina süspansiyon ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra dağlama işlemi için numuneler keller reaktifi ile dağlanarak metalografik inceleme için hazırlandı.

Dağlama işlemi, yaklaşık 4-5 saniye arasında numuneleri dağlayıcı içinde daldırıp sonra bol su ile yıkayarak kurutma şeklinde uygulanmıştır. Dağlanan numunelerin optik mikroskopu ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri çekilip, proses olan bölgede element dağılım haritası ile noktasal ve bölgesel mikro analizler SEM yardımıyla yapılmıştır.

2.8. Aşınma Testi

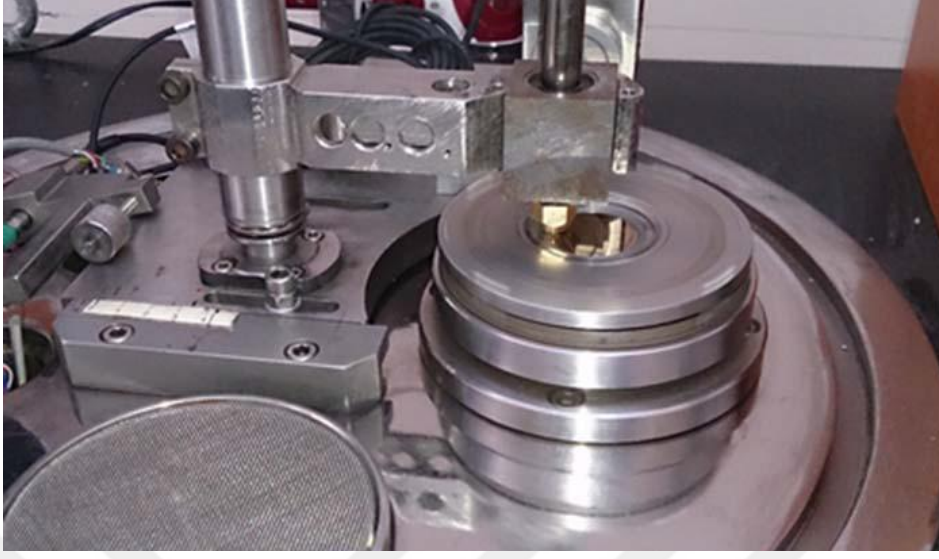
SKP sonrası yüzeyde oluşan kompozit tabakanın tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, genel görünümü Şekil 23'de ve ayrıntılı görünümü Şekil 24'de verilmiş olan, DUCOM marka bilgisayar kontrolü ile çalışan ball-on disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan parametreler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Triboloji deneyi parametreleri

| Parametreler | |
|--------------------------------|----------------------|
| Aşınma izi Orta Eksen Çapı | 10 mm |
| Uygulanan yük | 10 N |
| Aşındırıcı Bilye | Tungsten karbür (WC) |
| Aşındırıcı Bilyenin Çapı | 6 mm |
| Çevrimin Hızı | 318 ±2 devir/dakika |
| Deney Süresi (Çevrimin Sayısı) | 2000 devir |
| Çevresel Hız | 166 mm/s (0,17 m/s) |
| Deneyin yapıldığı ortam | Atmosfer |
| Deney ortamının Bağıl Nemi | %55-65 |
| Ortam Sıcaklığı | 20-25 °C |



Şekil 23. Ball-on-disk esaslı sürtünme ve aşınma deneyinin düzeneği



Şekil 24. Sürtünme aşınma deney düzeneğinin ayrıntı görünümü

3. BULGULAR ve İRDELEME

3.1. Ana Malzemenin Özelliklerinin Belirlenmesi

Piyasadan temin edilen AA7075-T651 alüminyum alaşım plakaların fiziksel özellikleri Tablo 9’da, kimyasal bileşimi ise Tablo 10’da verilmiştir. AA7075-T651 malzemenin sertlik ve kimyasal bileşim açısından incelenmiştir. AA7075-T651 alüminyum alaşımından elde edilen numunelerin sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Numunenin farklı bölgelerinde yapılan ölçümlerin ortalaması 154 VSD (Vickers Sertlik Değeri) bulunmuştur. Bulunan değerler tedarikçinin vermiş olduğu 155 VSD değerine yeterince yakın olduğu belirlenmiştir.

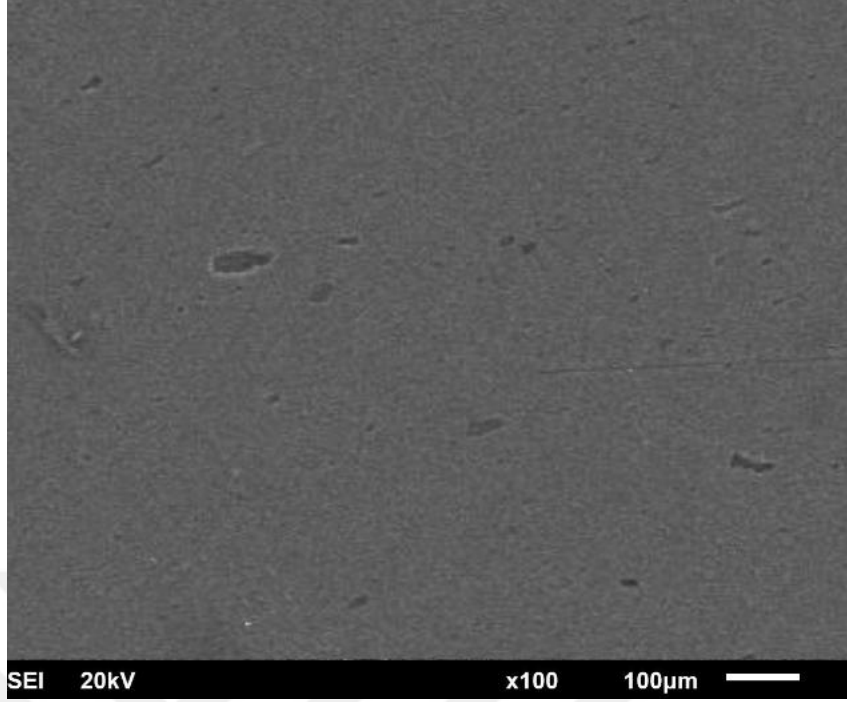
Tablo 9. AA7075-T651 alüminyum malzemenin fiziksel özellikleri

| | |
|----------------------|------------------|
| Yoğunluk | 2.81 g/cc |
| Üstün çekme dayanımı | 572 MPa |
| Gerilme dayanım gücü | 503 MPa |
| Elastisite modülü | 71.7 GPa |
| Poisson oranı | 0.33 |
| Yorulma mukavemeti | 159 MPa |
| Kayma modülü | 26.9 GPa |
| Kayma dayanımı | 331 MPa |
| Elektriksel direnç | 5.15e-006 ohm-cm |
| Özgül ısı kapasitesi | 0.96 J/g-°C |
| Termal iletkenlik | 130 W/m-K |
| Erime noktası | 477 - 635 °C |
| Solidus | 477 °C |
| Liquidus | 635 °C |

Tablo 10. AA7075-T651 alüminyum malzemenin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

| Zn | Cu | Mg | Fe | Mn | Cr | Si | Ti | Al |
|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| 6,02 | 1,41 | 2,48 | 0,19 | 0,03 | 0,20 | 0,06 | 0,1 | Kalan |

Şekil 25’de kullanılan AA7075-T651 alaşımının mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 25. Kullanılan ana malzeme AA7075-T651 alaşımının mikro yapısı

3.2. Takviye Malzemesi

Çalışmada kullanılan AA7075-T651 alaşımının yüzey takviyesi için Al_2O_3 bileşiği kullanılmıştır. Bu bileşiğin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi sırasıyla Tablo 11 ve Tablo 12’ de verilmiştir.

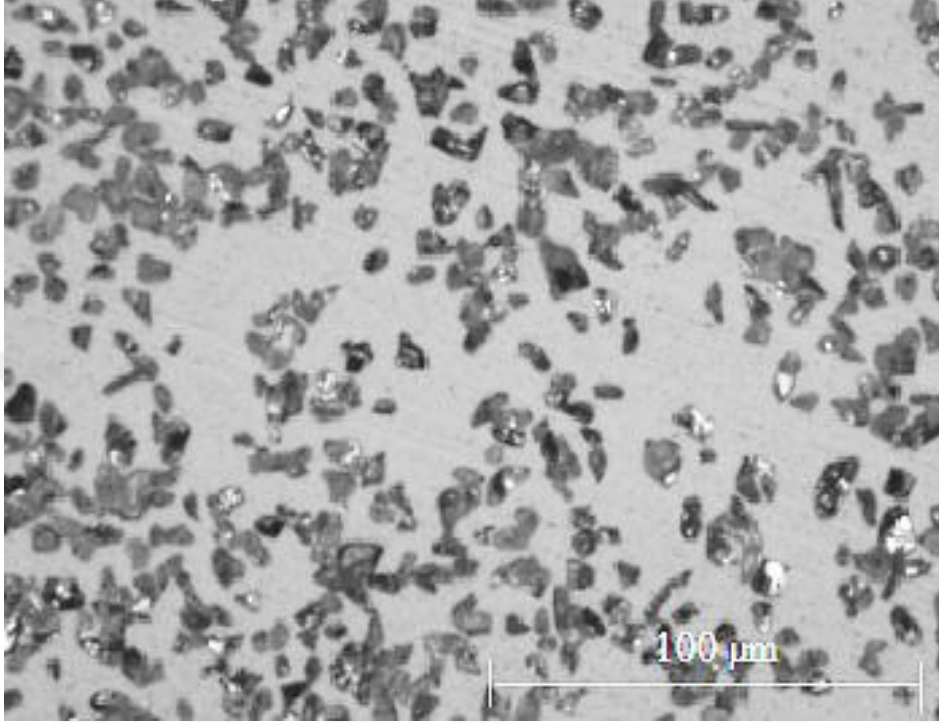
Tablo 11. Alümina tozunun fiziksel özellikleri [62]

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Yoğunluk | 3,92 g/cm ³ |
| Termal Genleşme katsayısı | 8.5 10-6 / K |
| Poisson oranı | 0.22 |
| Kırılma tokluğu | 4.2 MPa * m ^{1/2} |
| Maksimum kullanım sıcaklığı | 1750 ° C |
| Dielektrik sabiti | 9.8 |
| Dielektrik gücü | 22 KV / mm |
| 25 ° C Çekme Dayanımı | 248 MPa |

Tablo 12. Alümina tozunun kimyasal bileşimi [62]

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| Al₂O₃ | 99.5% |
| Cr₂O₃ | 0.15-1.50% |
| Na₂O | 0.50% |

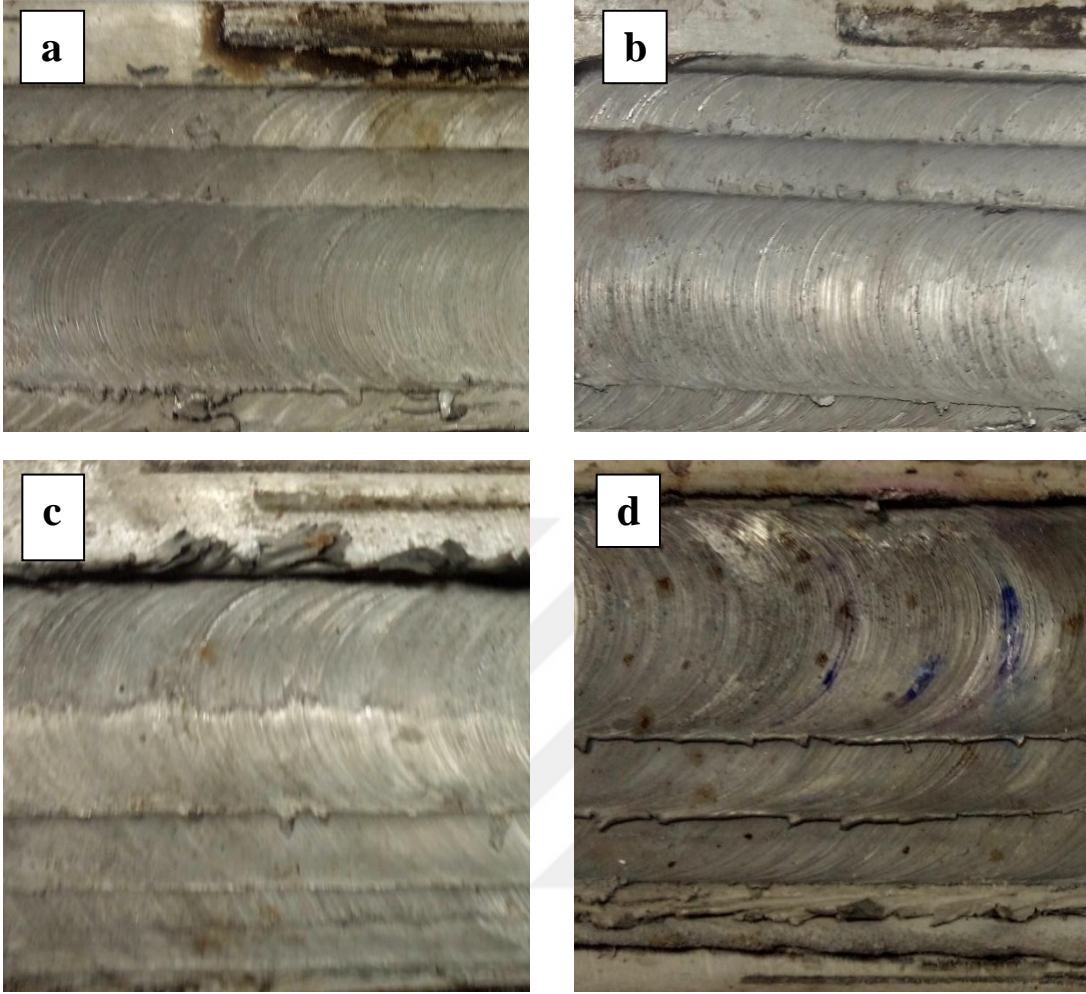
İşlem esnasında takviye elemanı olarak kullanılacak toz parçacıklar, 9 µm boyutlarında olup, piyasadan satın alınmıştır. Söz konusu Al₂O₃ tozlarına ait SEM görünümü Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26. Al₂O₃ toza ait SEM görünümü

3.3. Makro İncelemeler

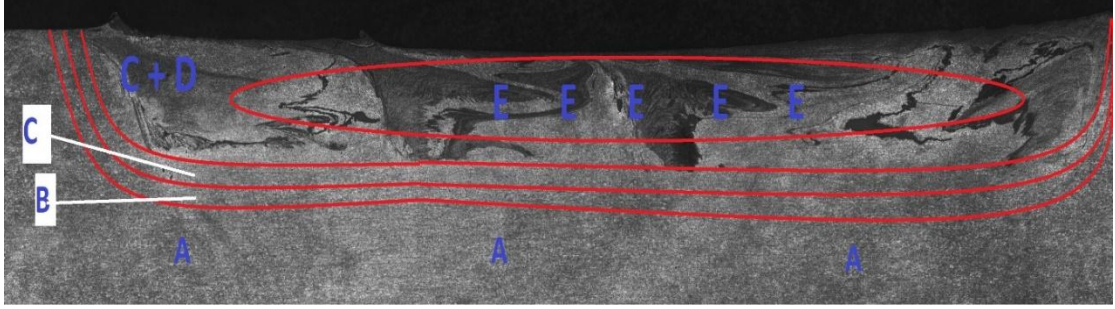
Yüzeysel kompozitin üretiminin ardından elde edilen numunelerin yüzey kısımlarının makro olarak incelemesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 27'de yapılmış olan deneylerden sağlanan numunelerin tümünün yüzeylerinin görüntüleri verilmiştir. Şekilde gösterilmiş olan 1, 2 ve 3 paso proses işlemi yapılmış numunelerin yüzeylerinin tamamının hata içermedikleri ve gerekli düzgünlüğü sağladıkları görülmektedir.



Şekil 27. SKP sonrası tüm numune yüzeylerinin makro görüntüleri a)%10'luk numune b)%20'lik numune c)%30'luk numune d)%40'lık numune

3.4. Mikro İnceleme

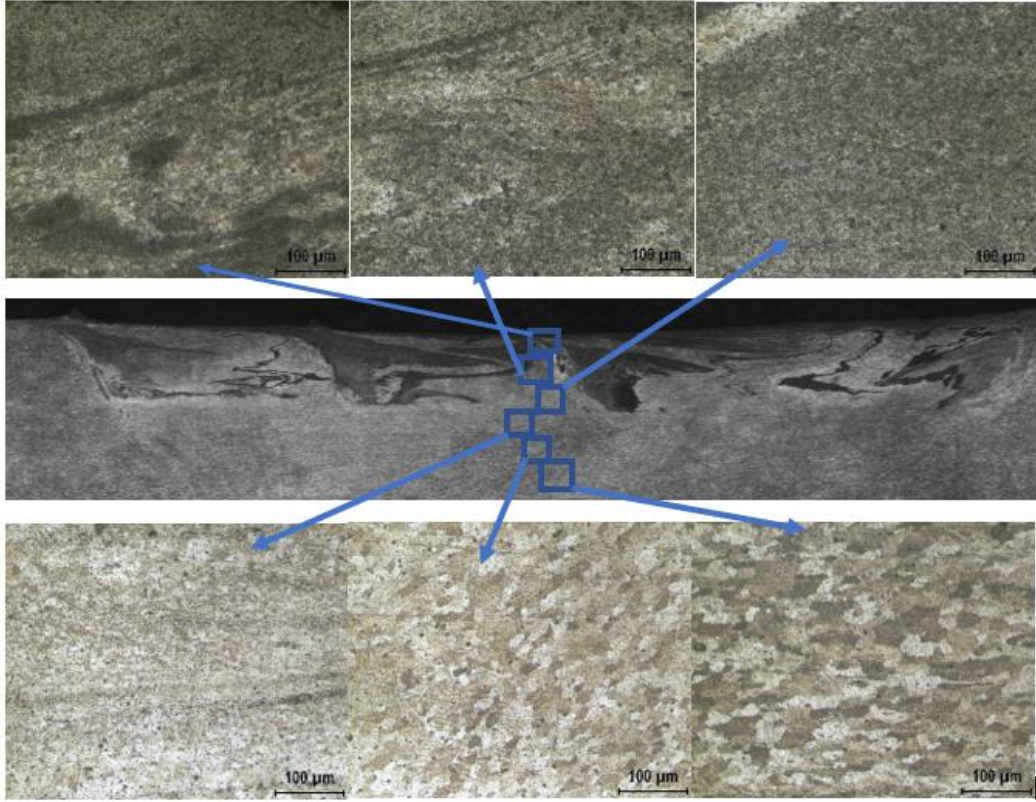
Kompozit üretiminde ortaya çıkan 5 farklı bölgenin optik mikroskop görüntüsünü Şekil 28' de karakteristik bir numune olan %40 takviyeli 3 paso proses edilmiş numune üzerinde örnek olarak gösterilmiştir. Burada A bölgesi ile temel malzeme (TM), B bölgesi ile ısıdan etkilenen bölge (IEB), C bölgesi ile termomekanik olarak etkilenmiş bölge (TEB), D bölgesi ile karıştırma bölgesi (KB) ve E bölgesi ile takviye tozun yoğun dağılım bölgesi kastedilmiştir. Bu bölgeler mikroyapısal olarak farklılıklar göstermektedir.



Şekil 28. Proses edilmiş olan numunede genel olarak oluşan farklı bölgelerin görüntüleri

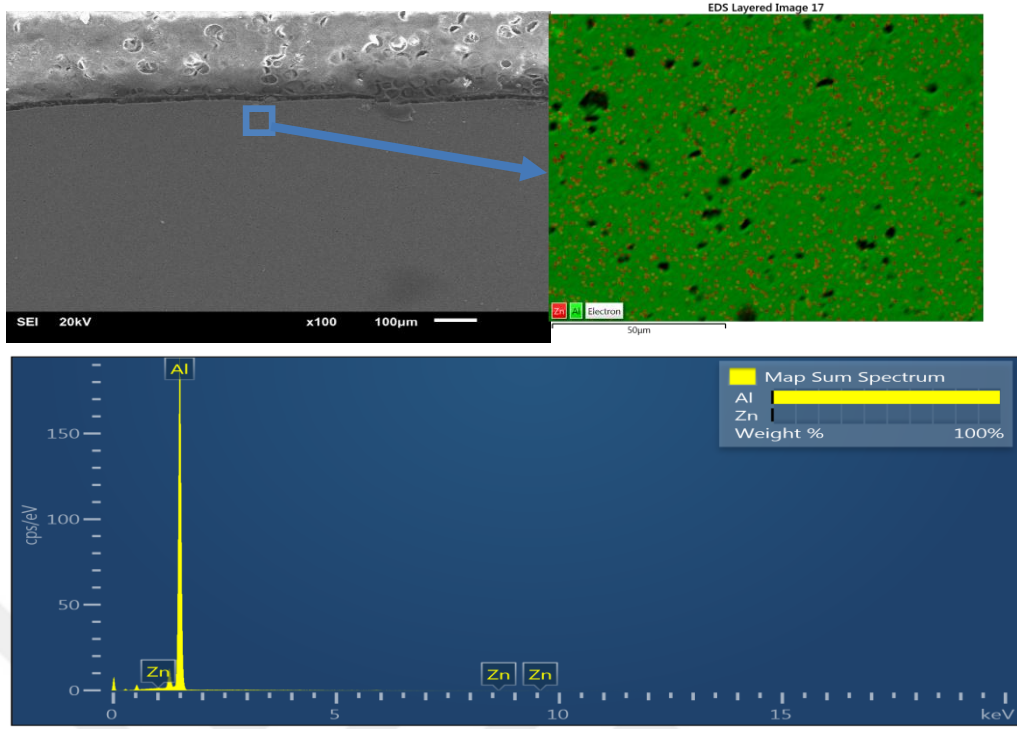
Tanımlanmış olan içyapı bilgilerini daha iyi açıklayabilmek için bu bölgelerden elde edilen daha yüksek çözünürlüklü görüntüler Şekil 29’ da verilmiştir. Proses edilmiş olan numunelerin SEM görüntüleri (Şekil 29-40) ve bu numunelerden elde edilen element dağılım haritaları (Şekil 29-40) incelendiğinde, yüzeye dik olarak açılmış olan kanal içerisindeki takviye parçacıklarının içyapıya gömülmüş olduğu ve karıştırıcı takımın sıvama etkisiyle yüzey bölgesine ana malzemenin tabaka şeklinde sıvandığı görülmüştür. Oluşan bu sıvama etkisinin proses işlemi sırasında takım piminin taradığı hacim dışında kalan bölgede, takım omuzunun dönerek sürtünmesi sırasında, kenar bölgedeki ana malzemeyi takviye edilen bölgenin üzerine sıvanması ile meydana geldiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, takviye elamanlarının yüzeyden içyapıya doğru gömülme etkisiyle yüzey bölgesinde miktarının azaldığı içyapı görüntülerinden de bariz olarak anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, proses işlemine tabi tutulan numunelerin yüzey bölgesinde takviye parçacıklarının etkisi oldukça azaldığı anlaşılmaktadır.

Kullanılan pim silindirik şekildedir. Pimin karıştırma etkinliğini artırmak için, literatürde de belirtilmekte olduğu gibi [56], pim silindirik yapıda hazırlanmasının beklenen karıştırma etkinliğini sağladığı görülmüştür.

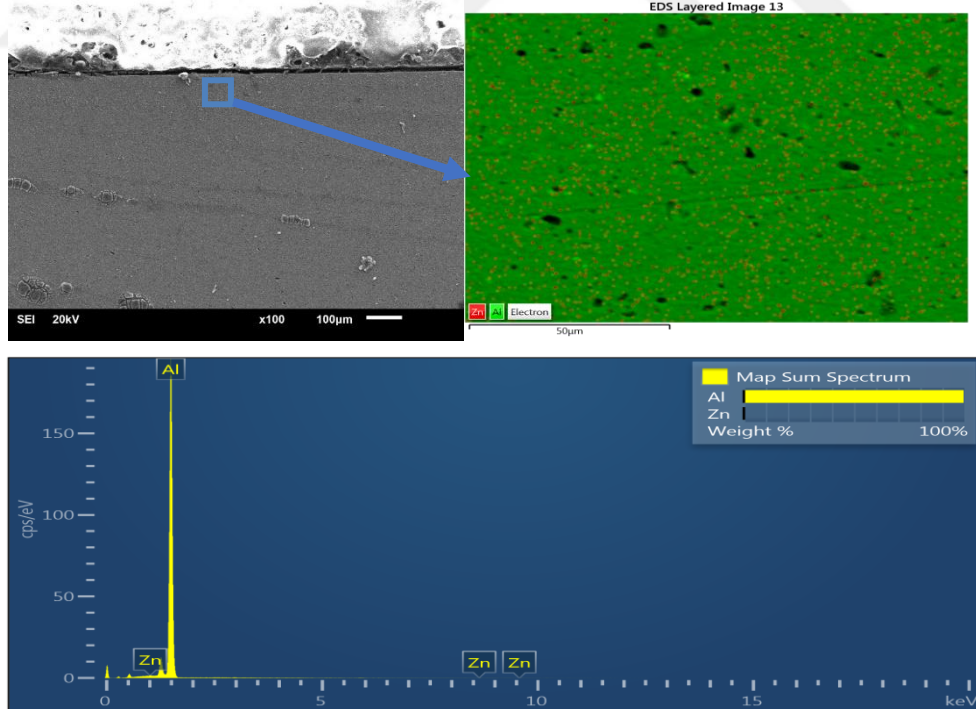


Şekil 29. % 40 oranında takviye parçacığı içeren 3 paso proses edilmiş durumdaki numunede oluşan farklı bölgelerin ayrıntılı optik mikroskop görüntüleri

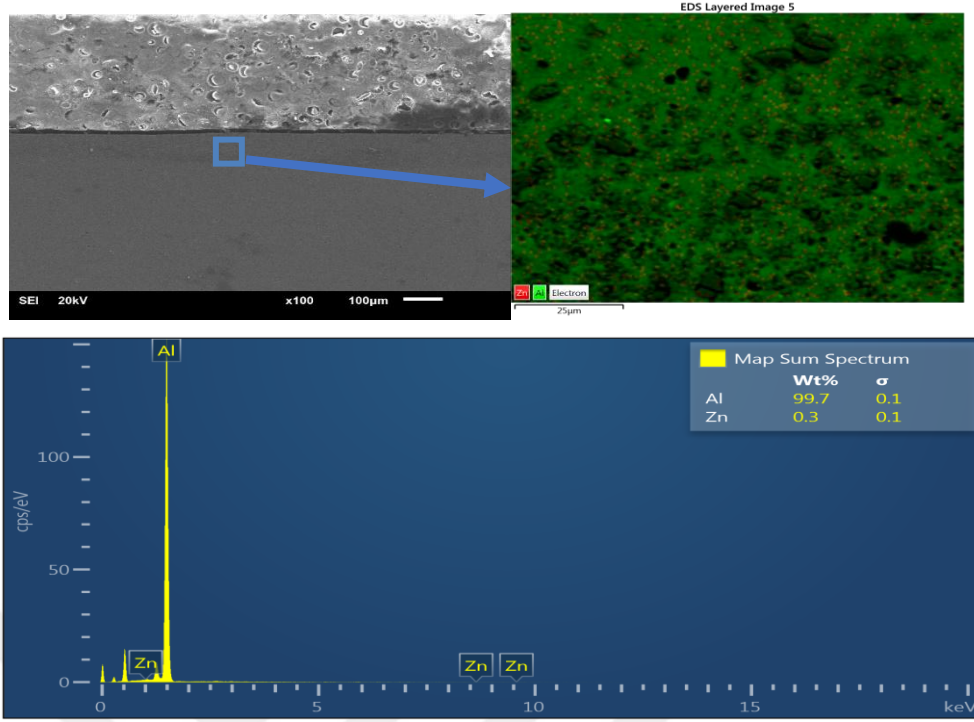
Farklı oranlarda (%10, %20, %30 ve %40) takviye edilen kompozit yapıları numunelerin 1, 2 ve 3 paso proses işlemine tabi tutulmuş durumdaki SEM görüntüleri ve bu numunelerden elde edilen EDS analizleri ile element dağılım haritaları Şekil 29-41'de verilmiştir. Bu haritalarda takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 tozlarının karıştırma proses işlemine göre malzeme içerisindeki dağılımları görülmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, AA7075-T651 alaşımının alaşım elementlerinden olan Al, Zn, elementlerinin iç yapının tümünde ana yapıdaki dağılıma benzer şekilde hemen hemen homojen bir dağılım oluşturmaktadırlar. Bu numunelerde takviye elemanı olarak kullanılmış olan Al_2O_3 parçacıklarının karıştırma etkisindeki bölgede karıştırma takım hareketi doğrultusunda homojen olmayan bir şekilde yayılmış olduğu görülmektedir. Bu yayılma etkisinin tüm takviye oranlarında birbirleriyle aynı şekilde olduğu belirlenmiştir. Takviye elemanı olarak kullanılmış olan Al_2O_3 parçacıklarının karıştırma etkisindeki bölgede karıştırma takımı hareketi doğrultusunda sınırlı bir bölge içerisinde bir paso uygulanmış numunelere oranda daha homojen olarak yayılmış oldukları görülmektedir. Bu yayılma etkisinin tüm takviye oranlarında birbirleriyle aynı şekilde olduğu gözlenmiştir.



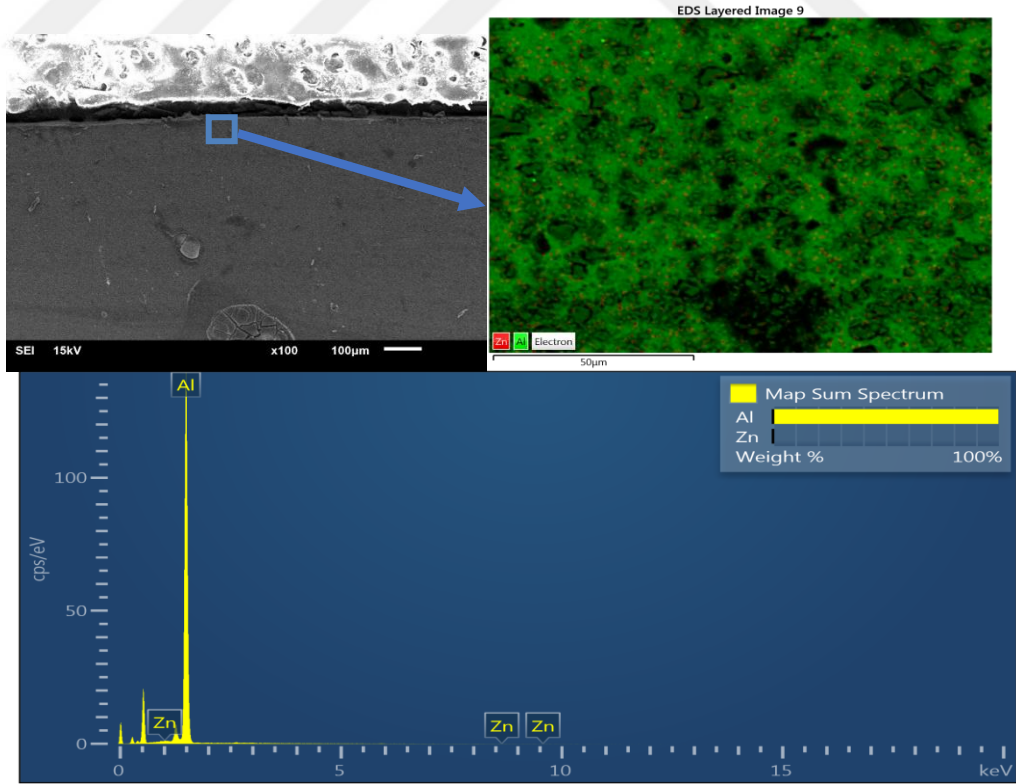
Şekil 30. %10 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



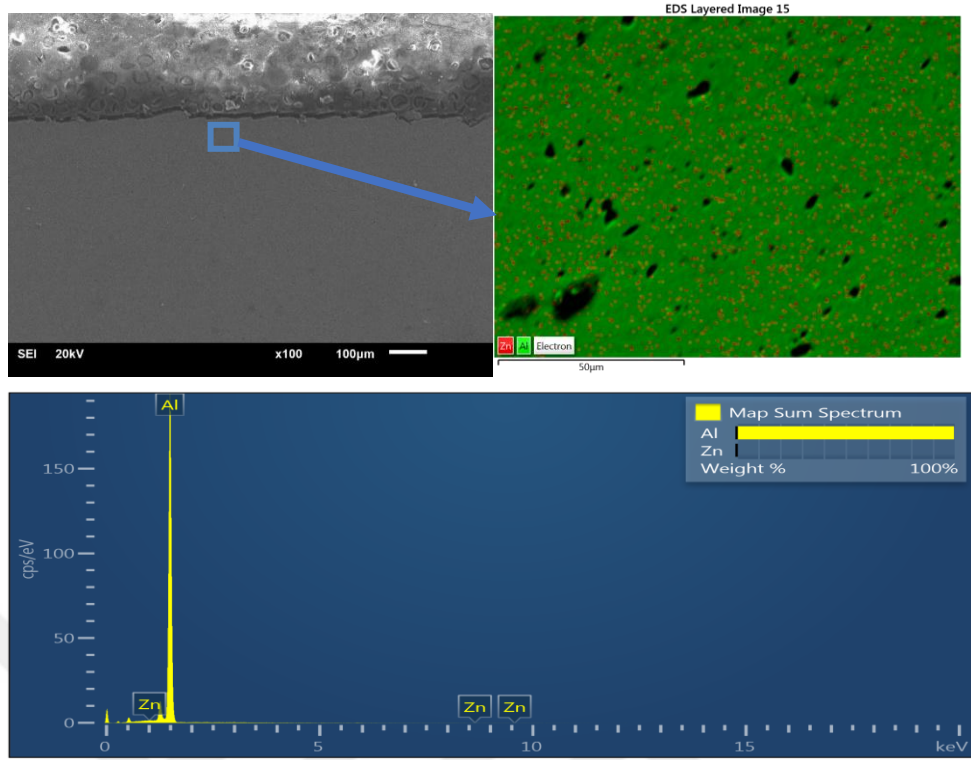
Şekil 31. %20 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



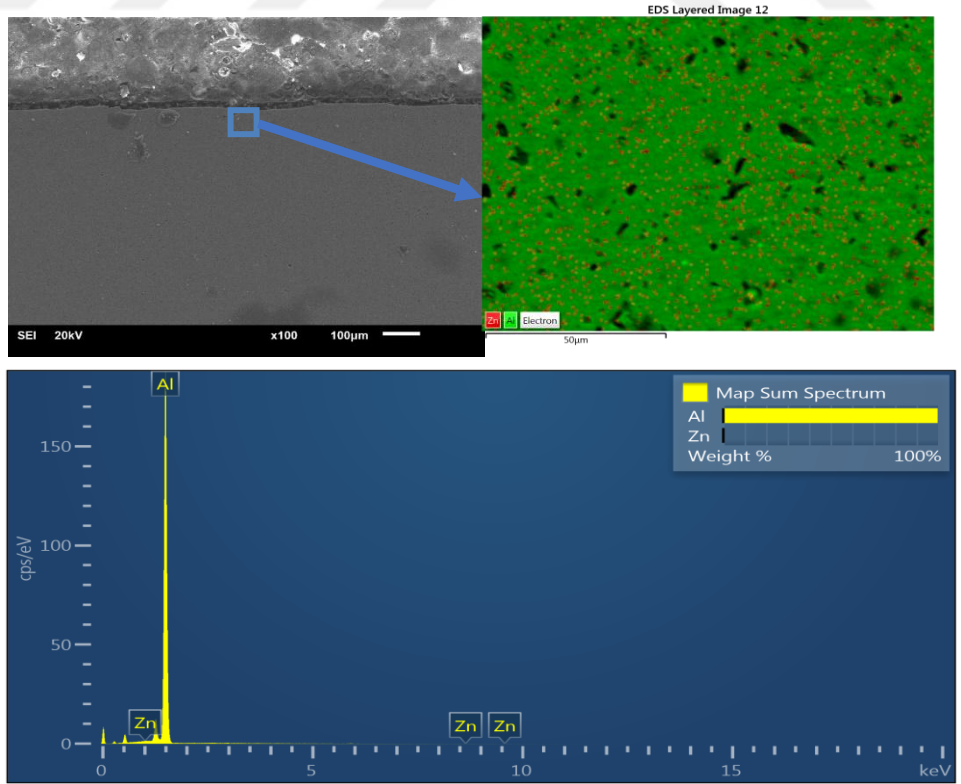
Şekil 32. %30 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



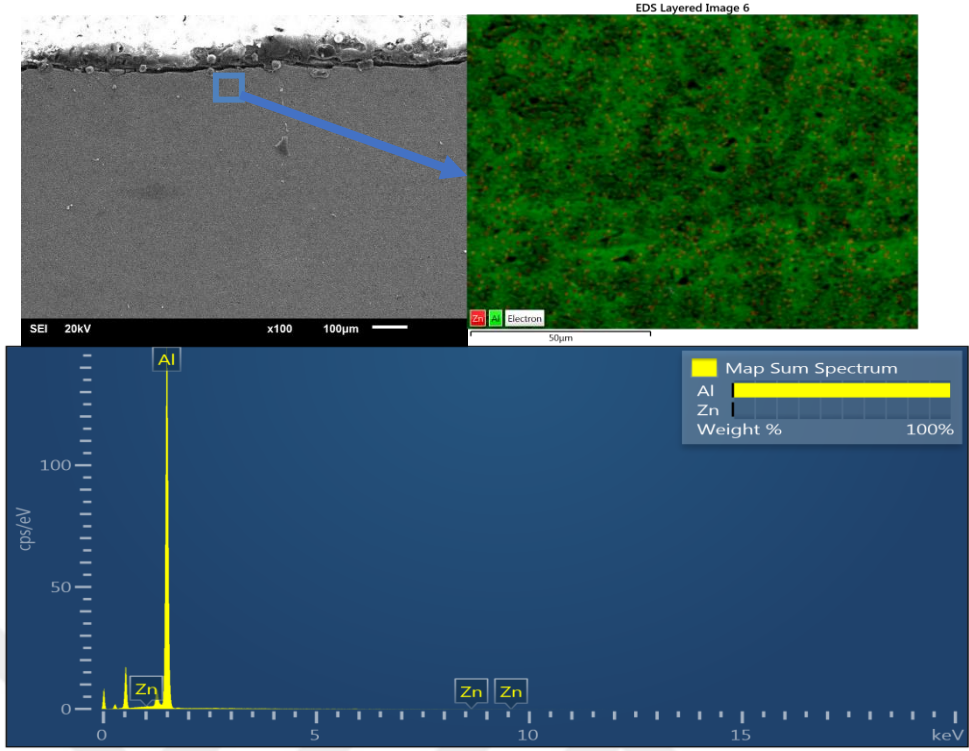
Şekil 33. %40 takviye oranı içeren, 1 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



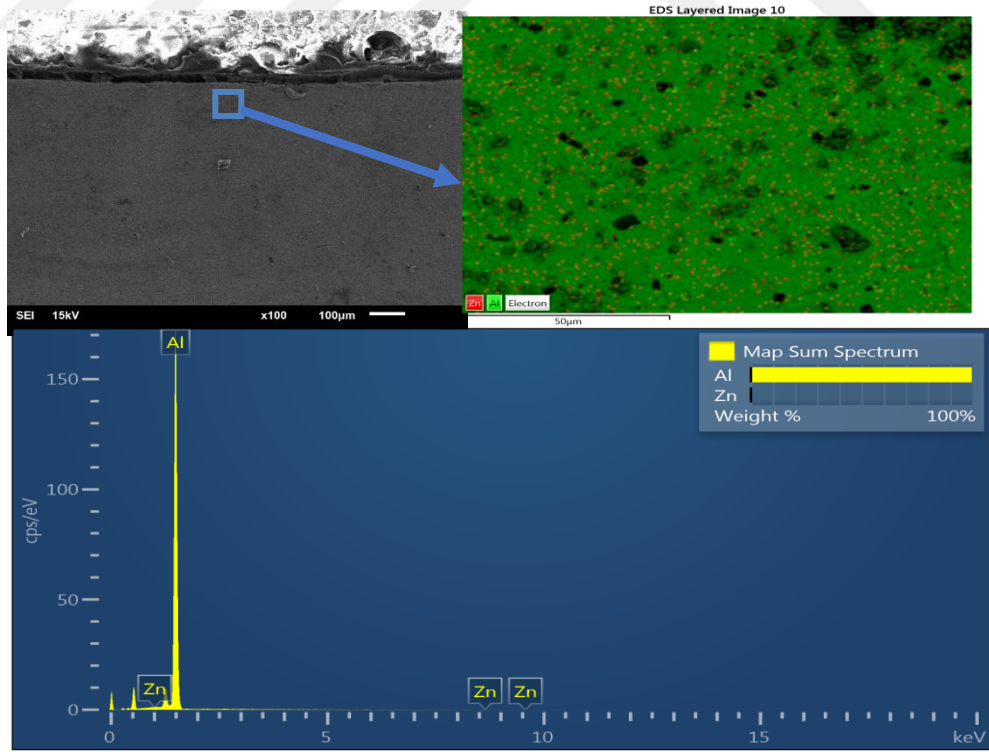
Şekil 34. %10 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



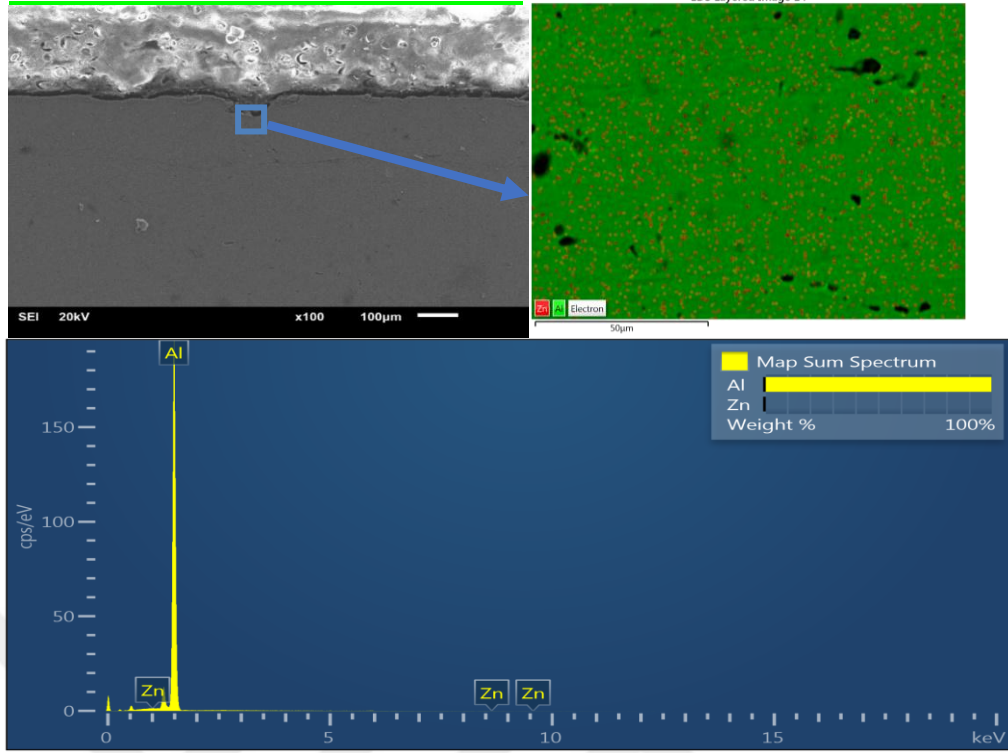
Şekil 35. %20 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



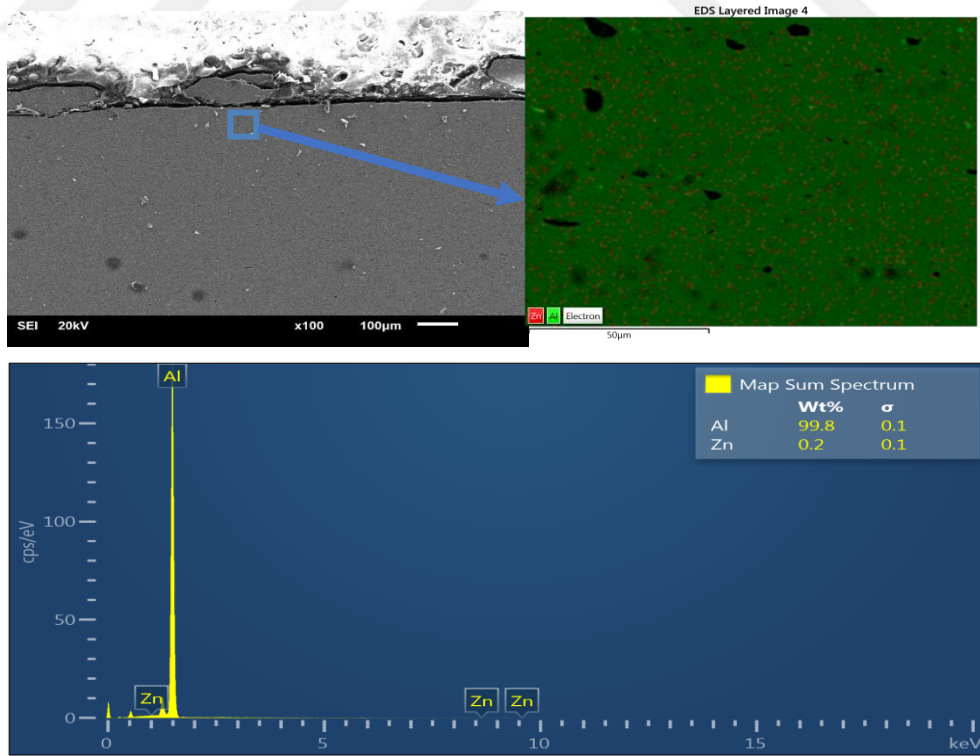
Şekil 36. %30 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



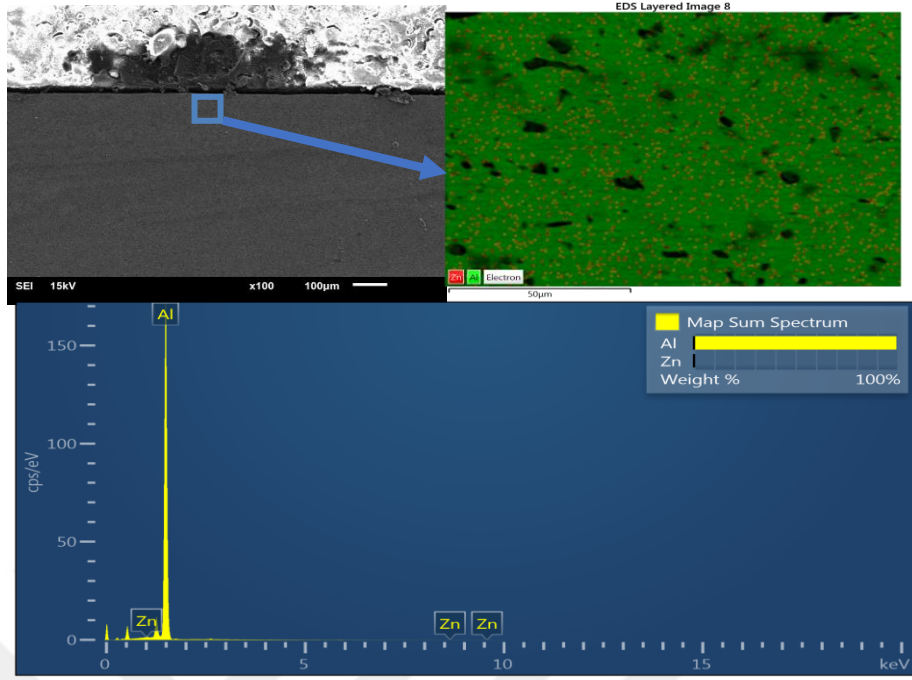
Şekil 37. %40 takviye oranı içeren, 2 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



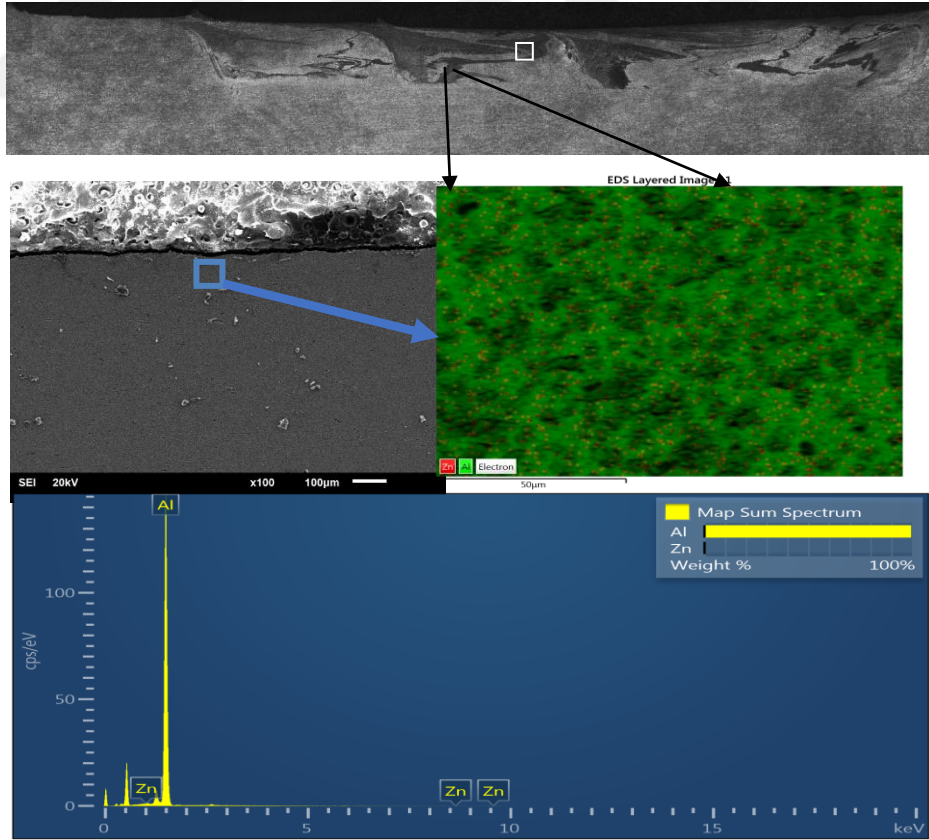
Şekil 38. %10 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



Şekil 39. %20 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



Şekil 40. %30 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü



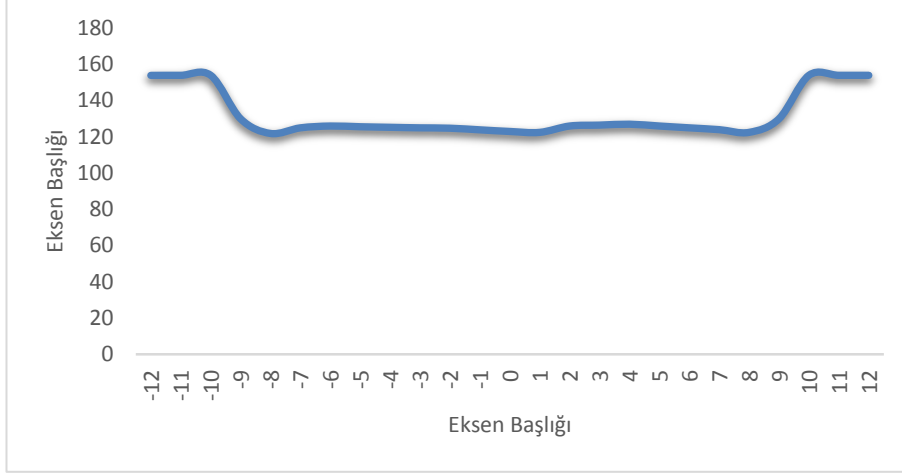
Şekil 41. %40 takviye oranı içeren, 3 pasonun proses bölgesinde SEM-EDS görüntüsü

3.5. Mikrosertlik İncelemeleri

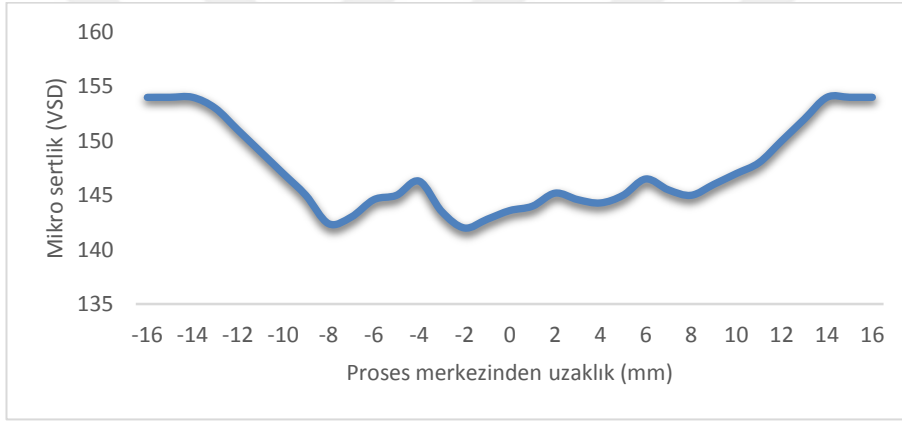
Optik mikroskop ve SEM ile yüzeysel kompozitin üretilmesinin ardından ortaya çıkan farklı mikroyapısal bölgeler incelenmiştir. Bu yöntemde proses bölgesinde yapılara ait bölge Şekil 28' de örnek bir parçanın optik mikroskop görünümü verilmiştir. Bu kısımda karıştırma bölgesi, takviyeli bölge, termomekanik etkilenmiş bölge (TEB) ve ana malzeme kısmı bulunmaktadır. Bu kısımların haricinde işlem esnasında meydana gelen sıcaklıktan etkilenmiş ısıdan etkilenmiş kısım ortaya çıkmıştır. Bu kısımların fiziksel ve mikroyapısal açıdan farklı oldukları incelemede görülmüştür.

İşlem görmüş olan numunelerin sertlik profillerinin oluşturulması için hazırlanmış olan numuneler üzerinden işlem bölgesi merkezden başlayarak yatay ölçümler yapılmıştır. Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda oluşan sertlik profilinin gerçeğe en yakın şekilde sağlanmasında birbirine yaklaşık sertlik ölçümleri yapabilmek amacıyla 0,5 kg'lık yük kullanılmıştır. Bulunan sertlik değerlerini gösteren grafikler uygulanmış olan paso sayısına göre farklı farklı gruplanmış halde Şekil 42-53 'de aşağıda verilmiştir.

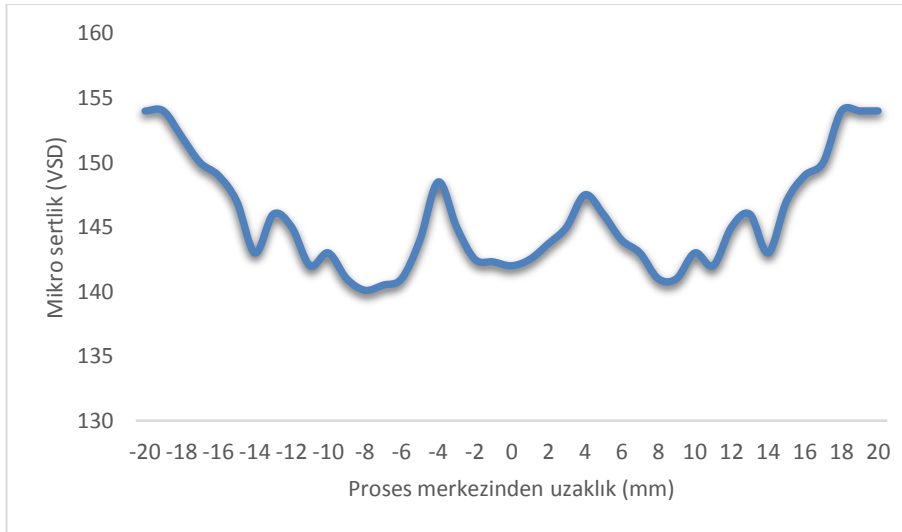
Elde edilen sertlik profilleri incelendiğinde yüzey bölgelerin sertlik değerlerinin hemen hemen takviye oranından bağımsız olarak yaklaşık aynı mertebelerde elde edildiği görülmektedir. Numunelerin takviye elemanı içeren bölgelerindeki sertlik değerlerinin beklenildiği gibi artan takviye elemanı oranı ile artmakta olduğu ve uygulanan proses sayısı ile önemli oranda değişmediği tespit edilmiştir. Numunelerin dik doğrultudaki sertlik profilleri incelendiğinde artan takviye elemanı oranı ve proses sayısı ile yüksek sertliğe sahip olan bölgenin genişlemekte olduğunu bariz bir şekilde göstermektedir. Bu sertlik dağılımındaki istikrarsızlığın takviye elemanlarının yapıda homojen olarak dağıtılabileceğinin sağlanması ile önemli oranda giderilebileceği düşünülmektedir.



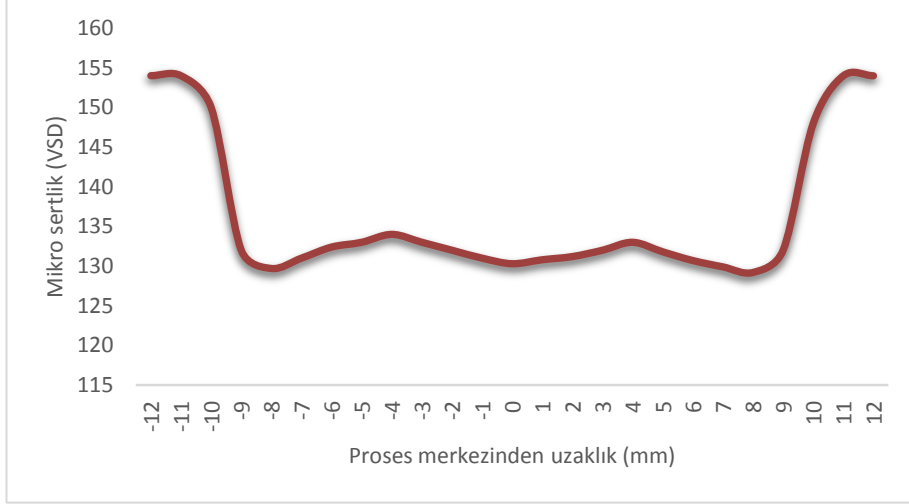
Şekil 42. %10 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü



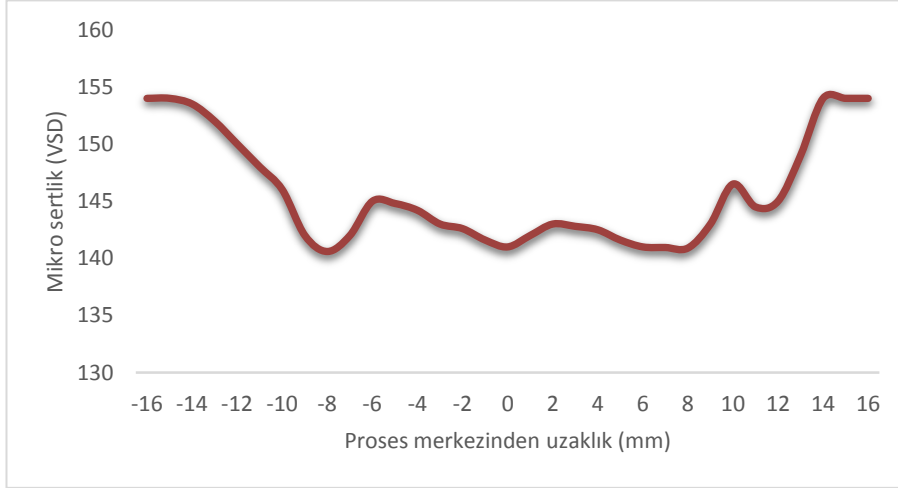
Şekil 43. %10 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü



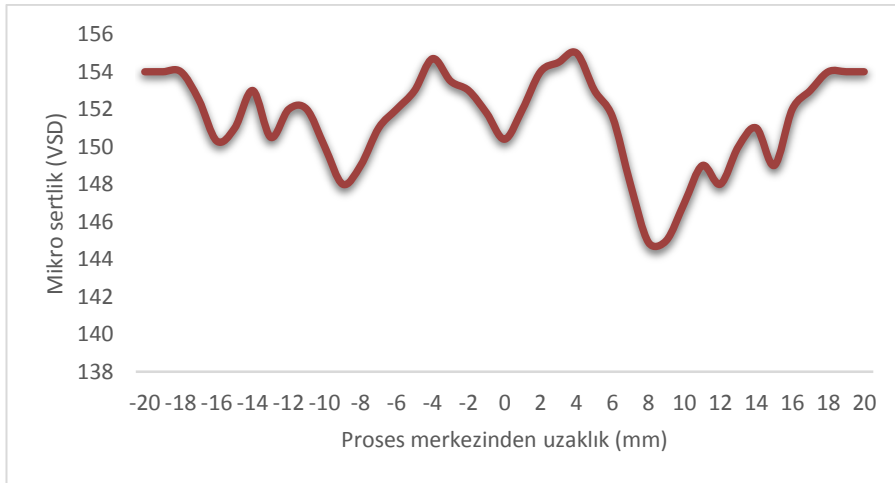
Şekil 44. %10 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü



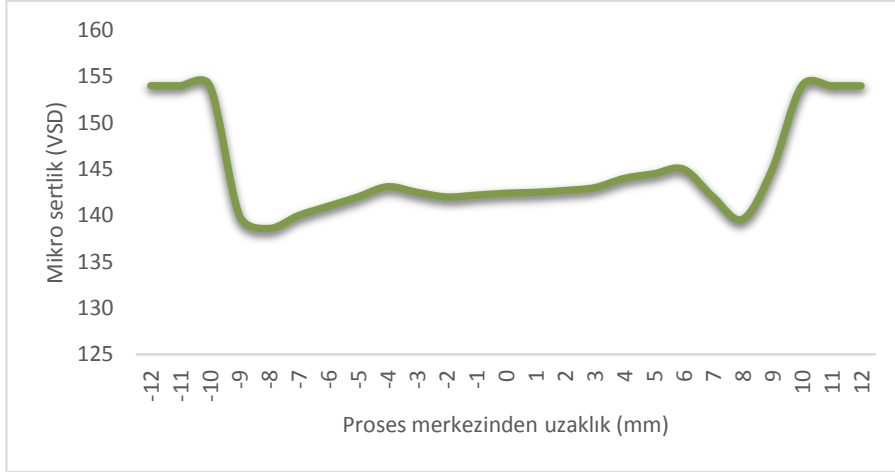
Şekil 45. %20 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü



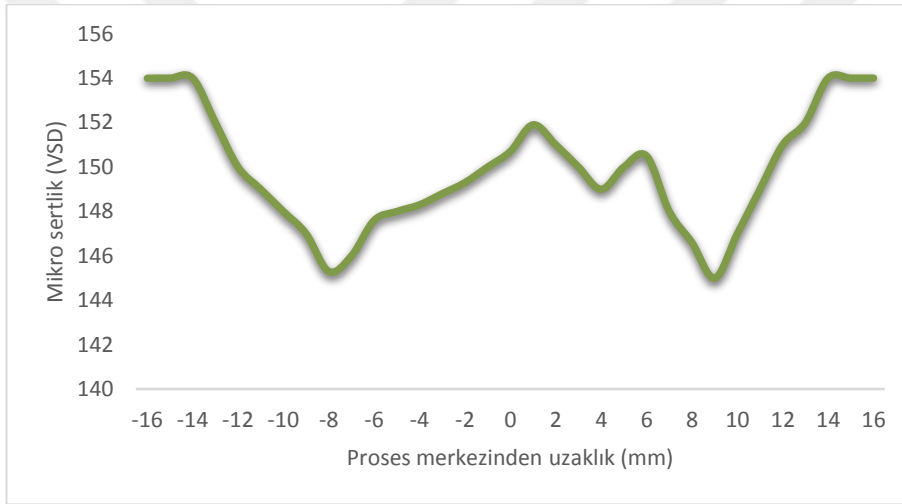
Şekil 46. %20 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü



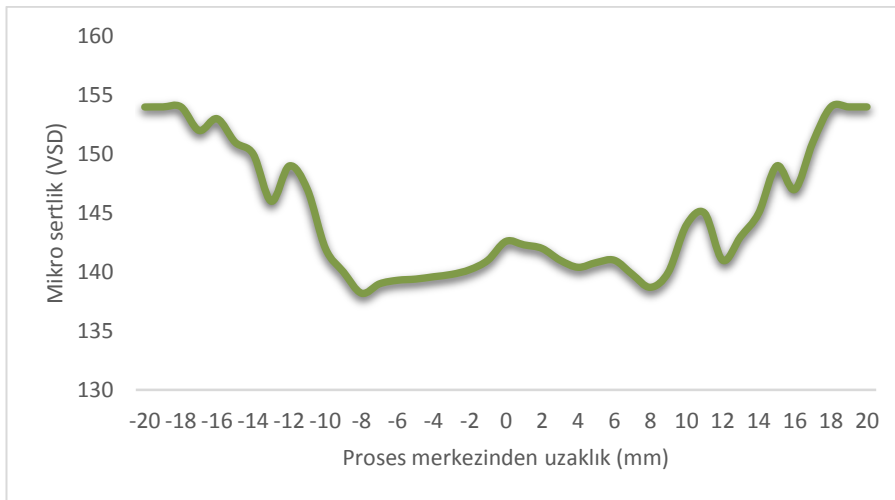
Şekil 47. %20 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü



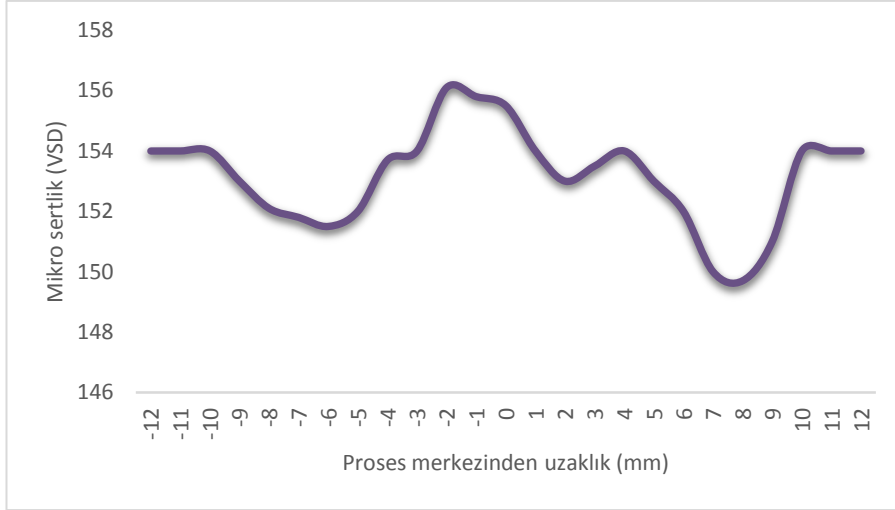
Şekil 48. %30 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü



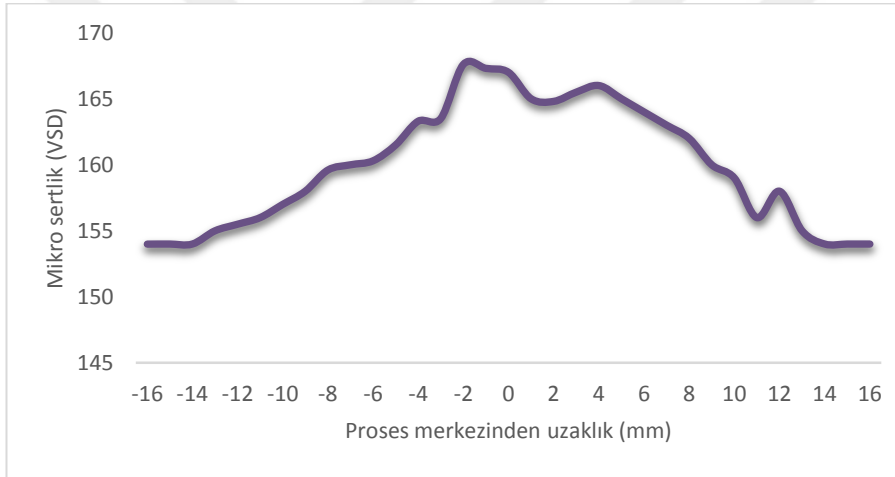
Şekil 49. %30 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü



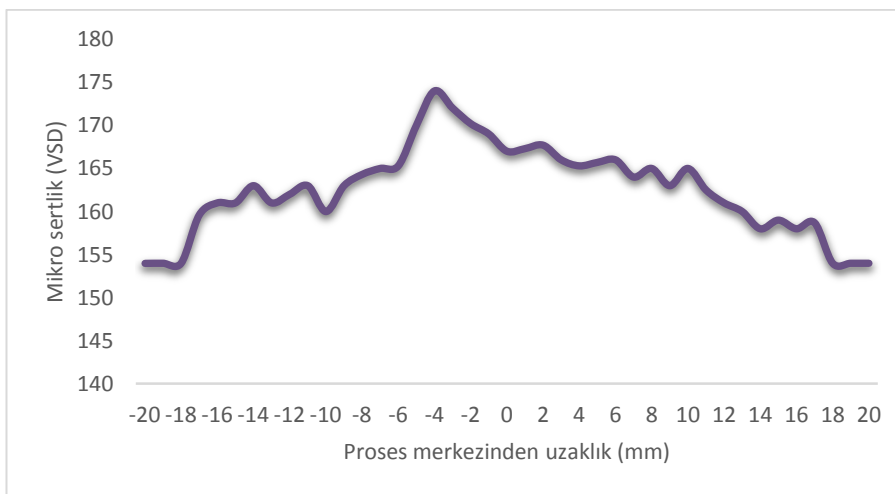
Şekil 50. %30 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü



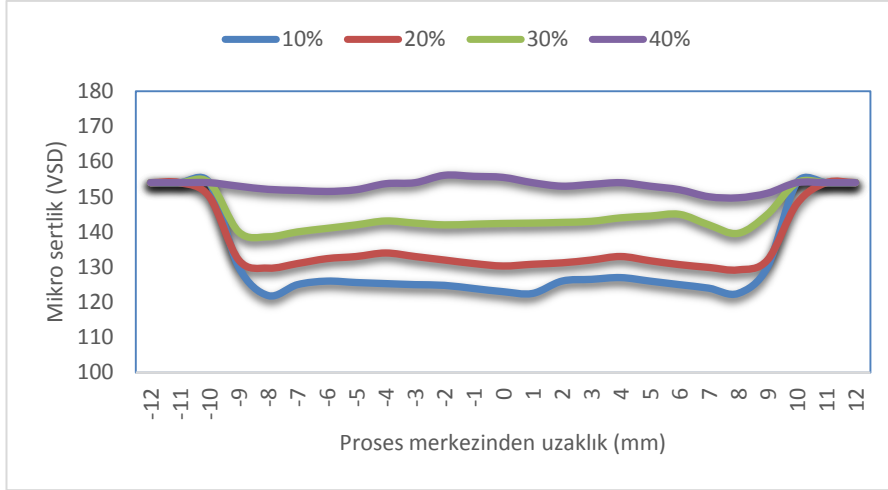
Şekil 51. %40 takviye olunmuş, 1 pasonun yatay sertlik ölçümü



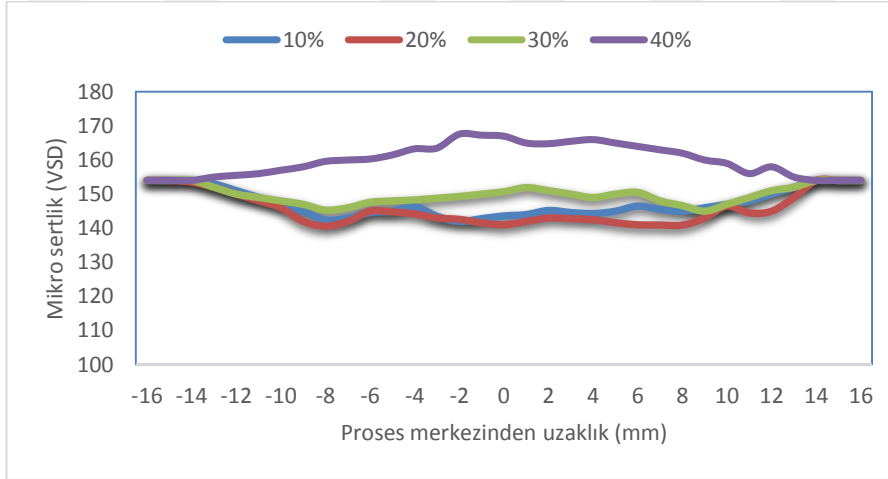
Şekil 52. %40 takviye olunmuş, 2 pasonun yatay sertlik ölçümü



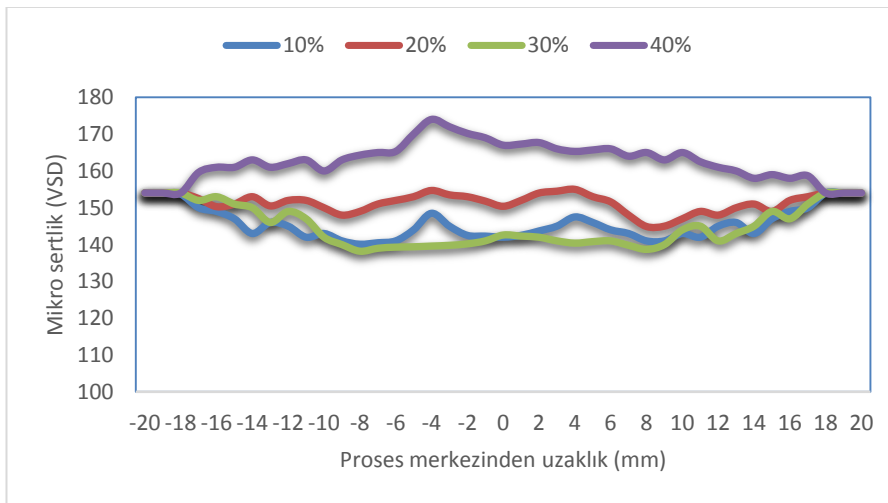
Şekil 53. %40 takviye olunmuş, 3 pasonun yatay sertlik ölçümü



Şekil 54. 1 paso olan numunelerin yatay sertlik ölçümleri



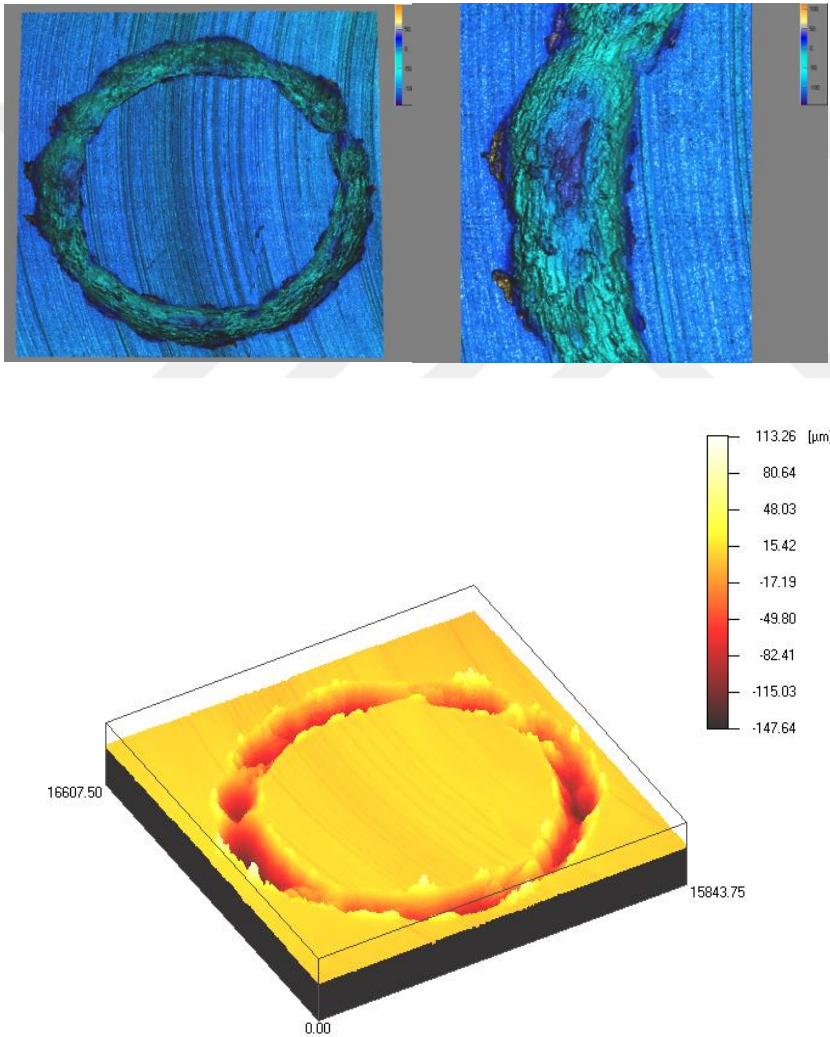
Şekil 55. 2 paso olan numunelerin yatay sertlik ölçümleri



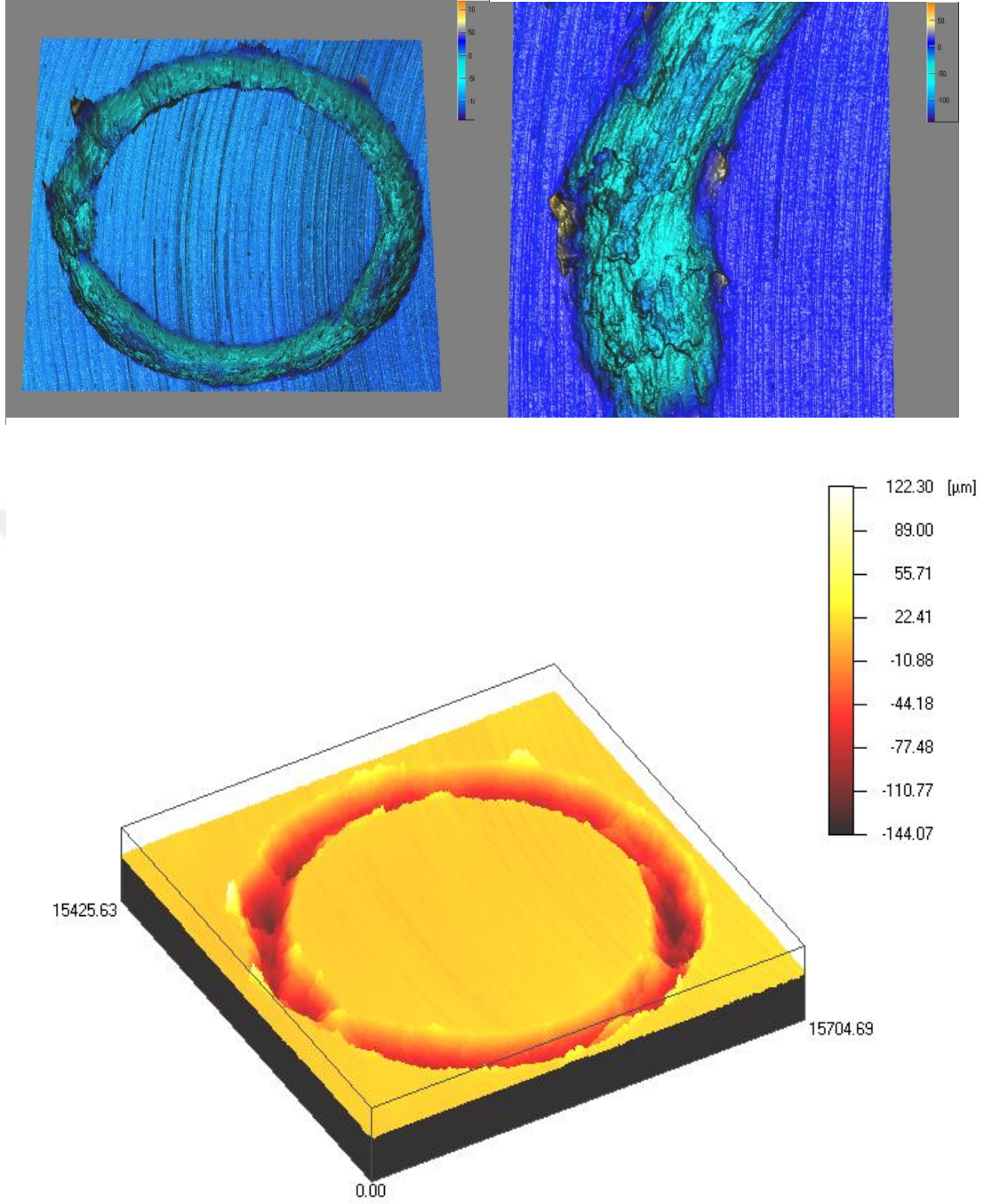
Şekil 56. 3 paso olan numunelerin yatay sertlik ölçümleri

3.6. Aşınma Deneyi

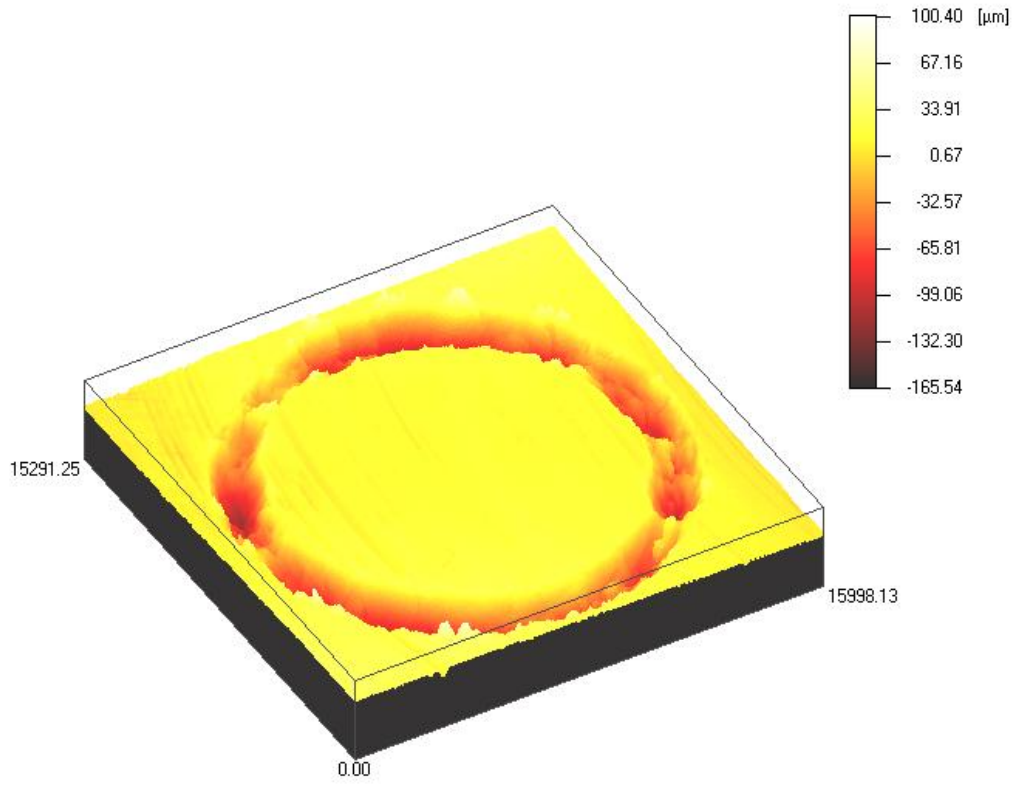
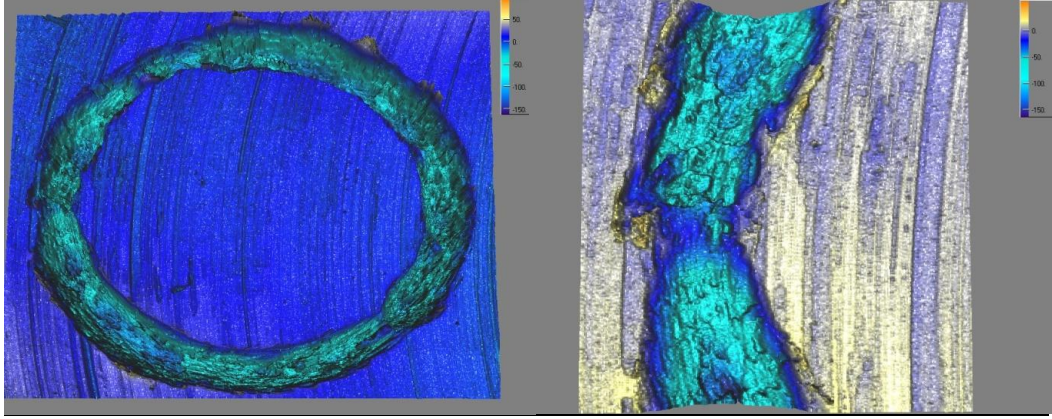
Bu çalışmada gerçekleştirilen aşınma deneylerinde karşı yüzey olarak tungsten karbür (WC) bilye, Al_2O_3 parçacıklarıyla oluşturulan kompozit malzemenin aşındırılmasında, metalik karakterli (tungsten karbür-WC) bir karşı yüzeyin kullanılmış olmasını sağlamak için tercih edilmiştir. Aynı zamanda, tungsten karbür (WC) bilye, sertlik değeri açısından takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 parçacıkları dikkate alındığında sertlik ve aşınma direncini açısından uygun karşı yüzey olacaktır.



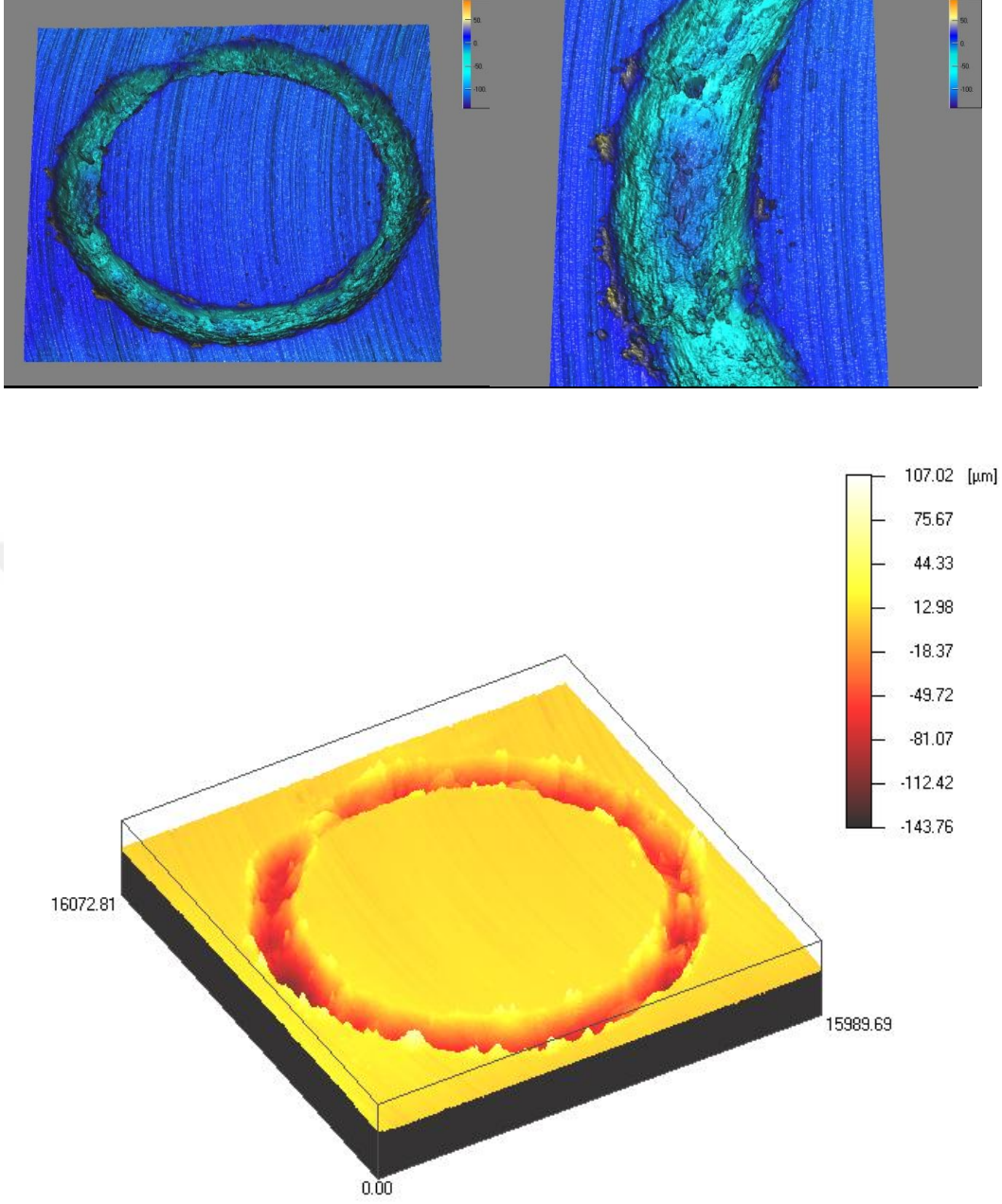
Şekil 57. %10 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri



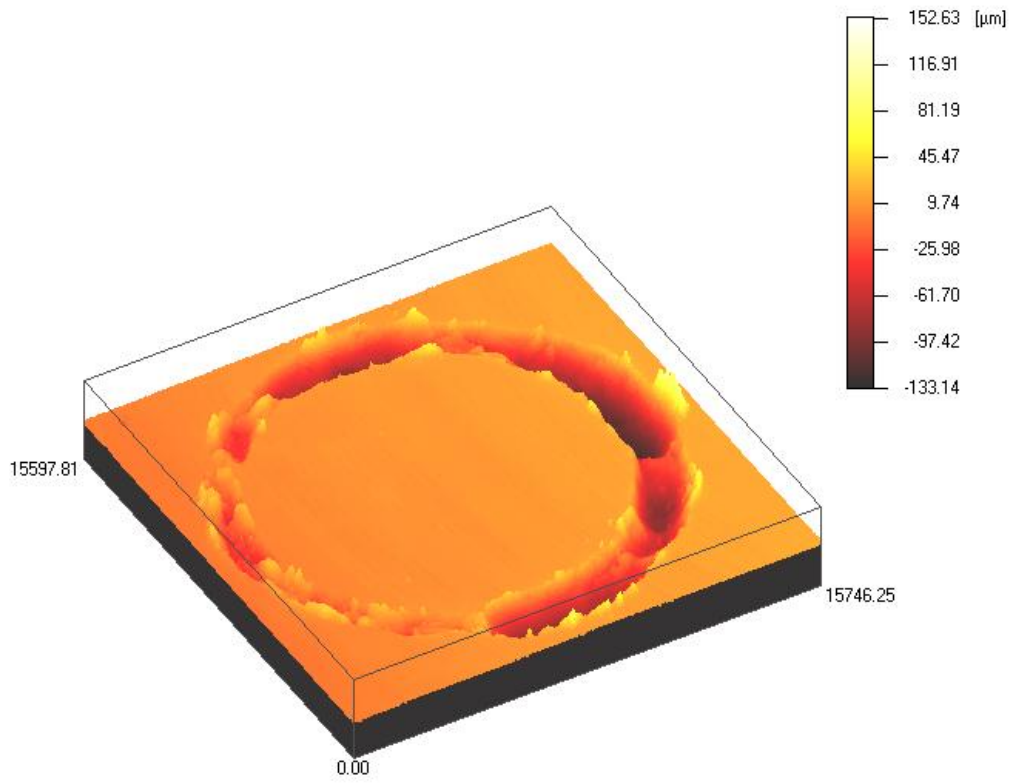
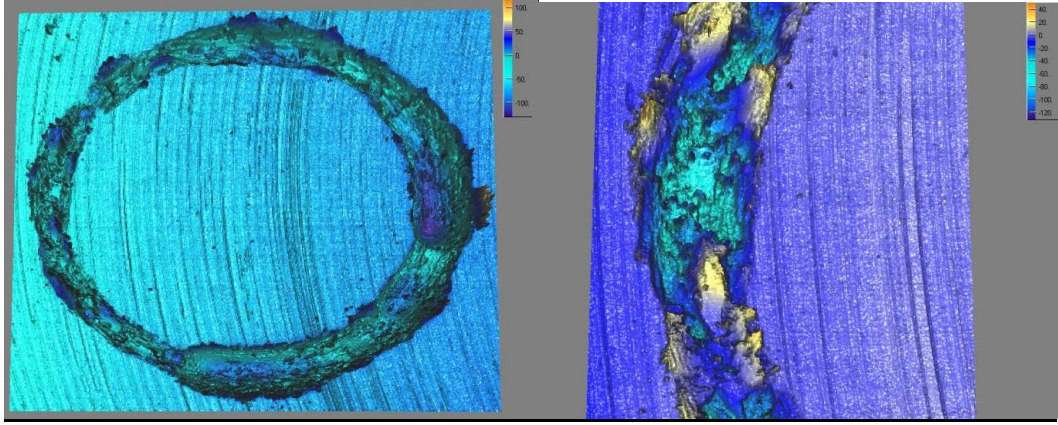
Şekil 58. %10 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri



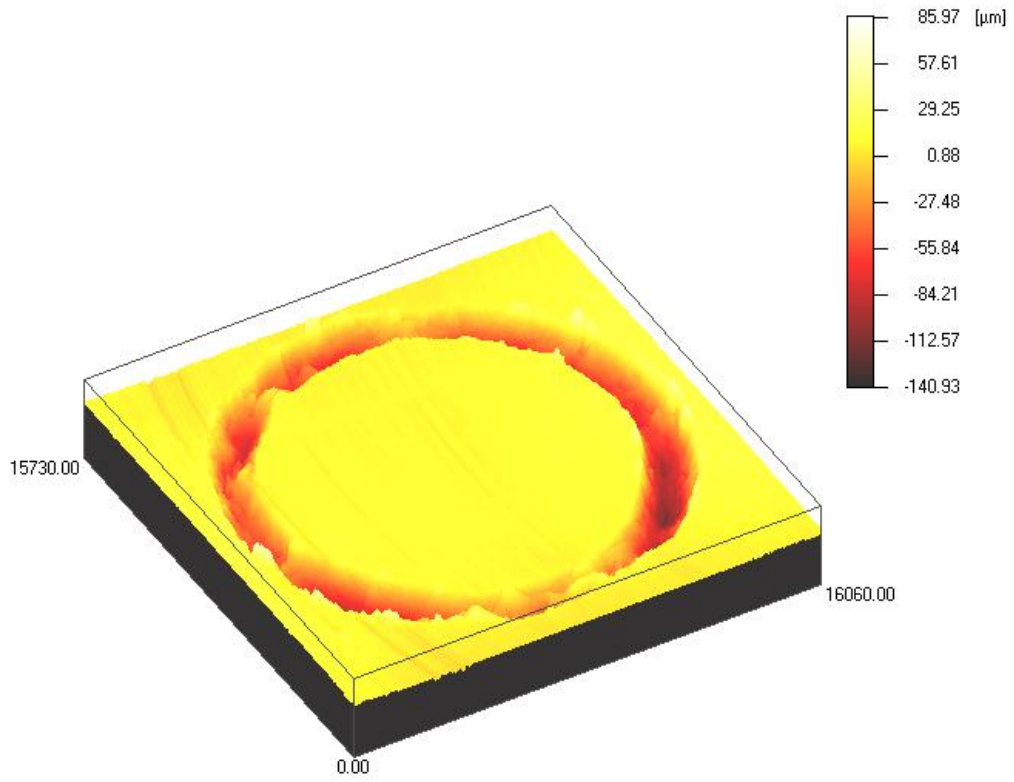
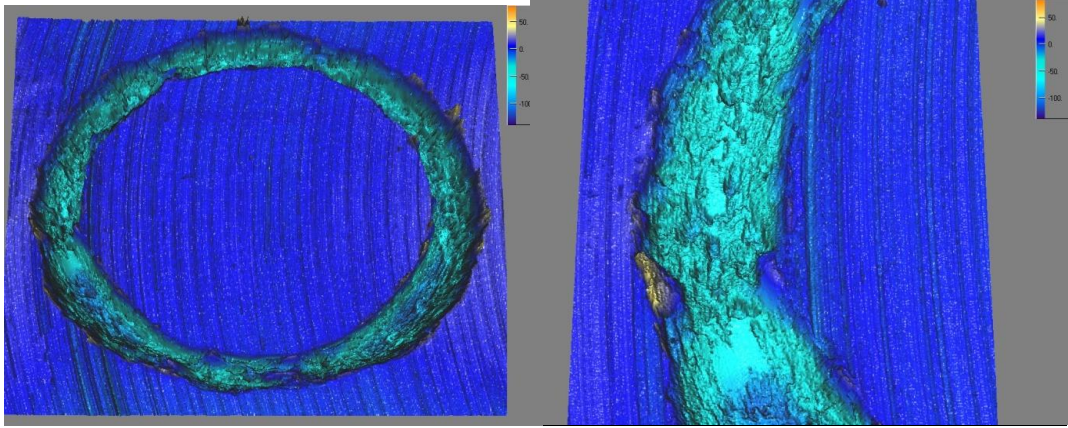
Şekil 59. %10 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri



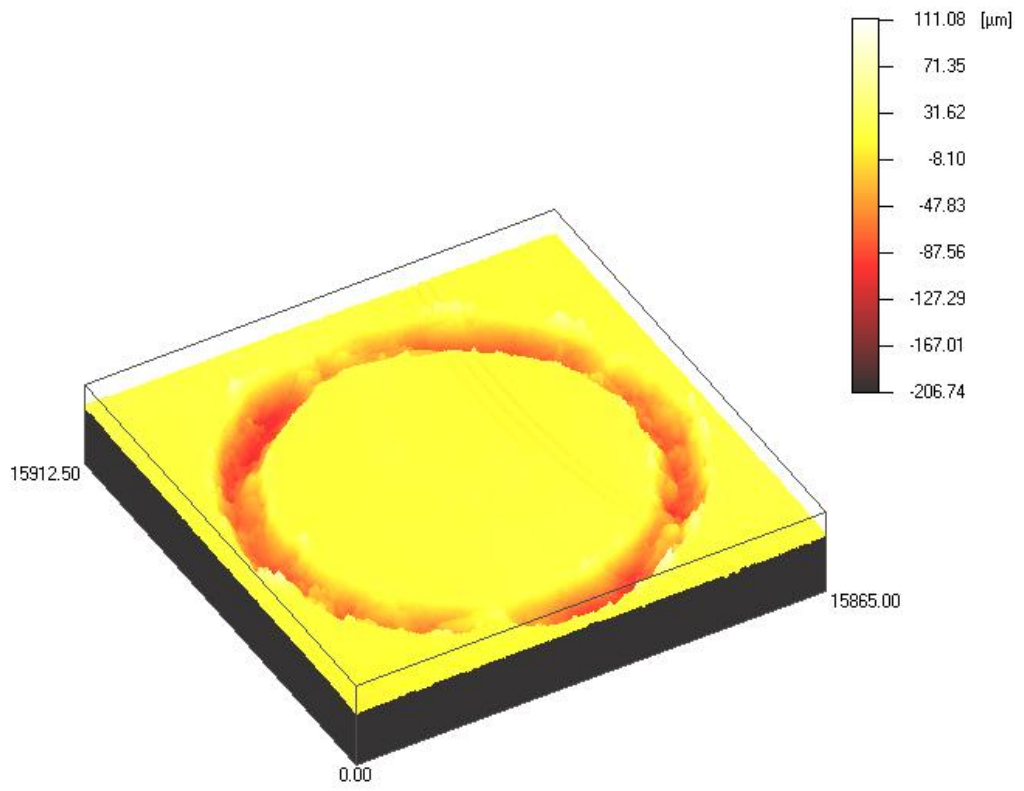
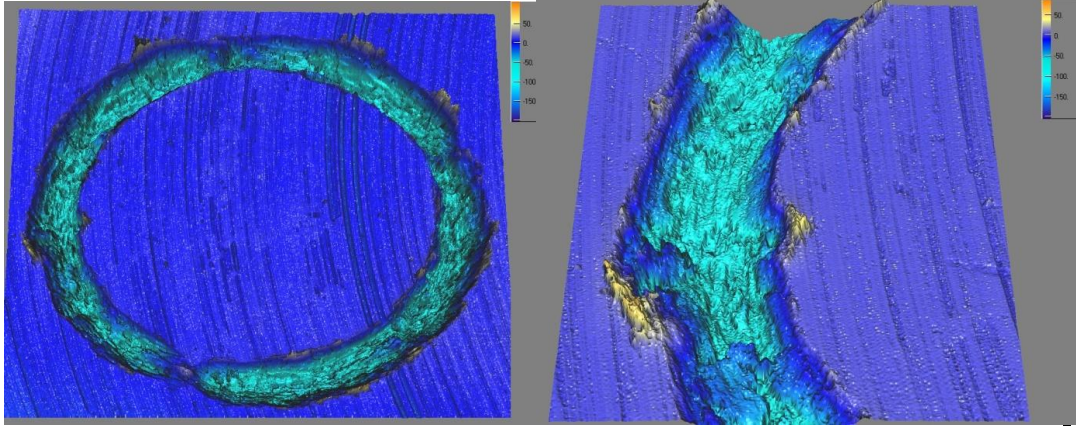
Şekil 60. %20 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri



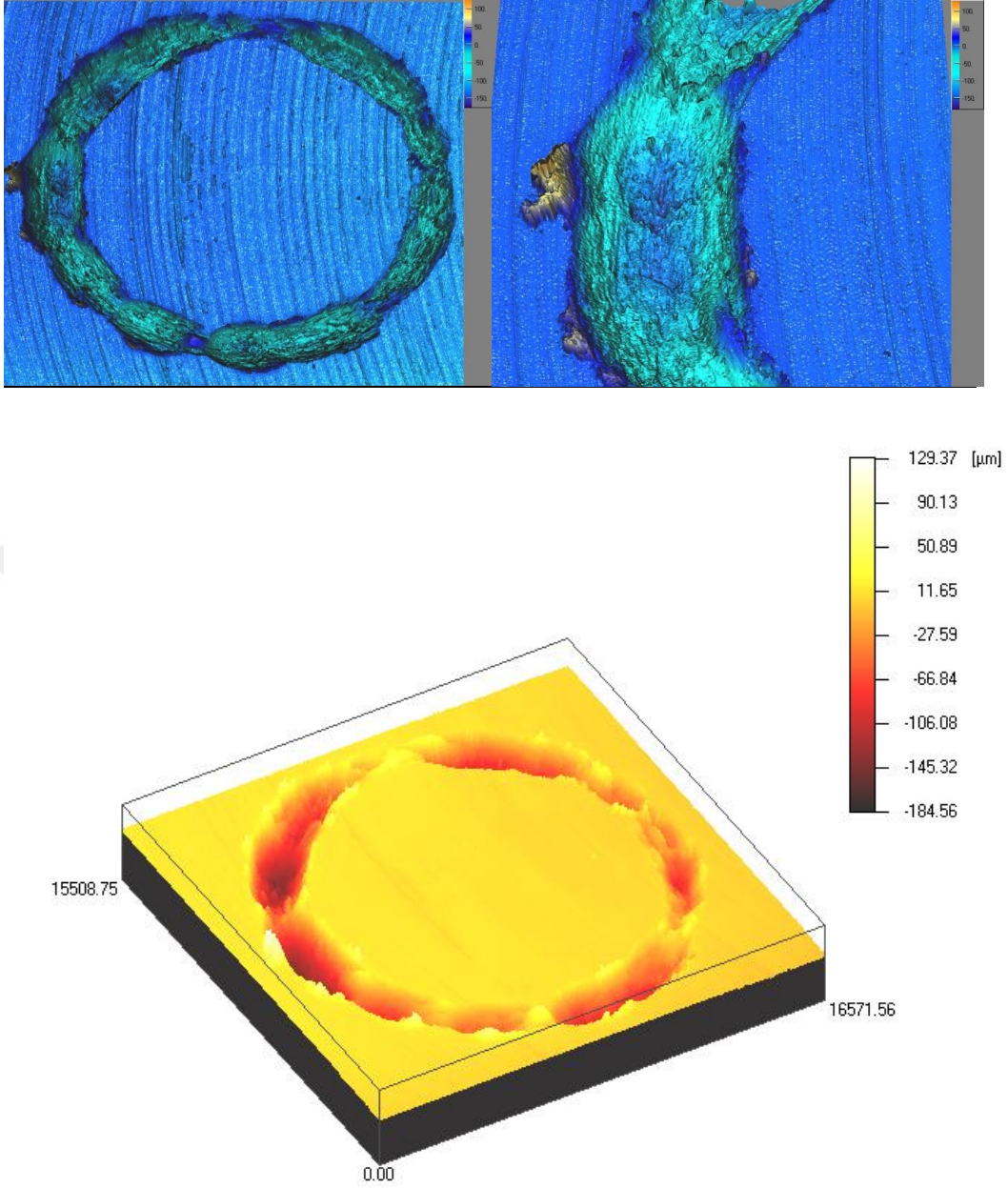
Şekil 61. %20 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri



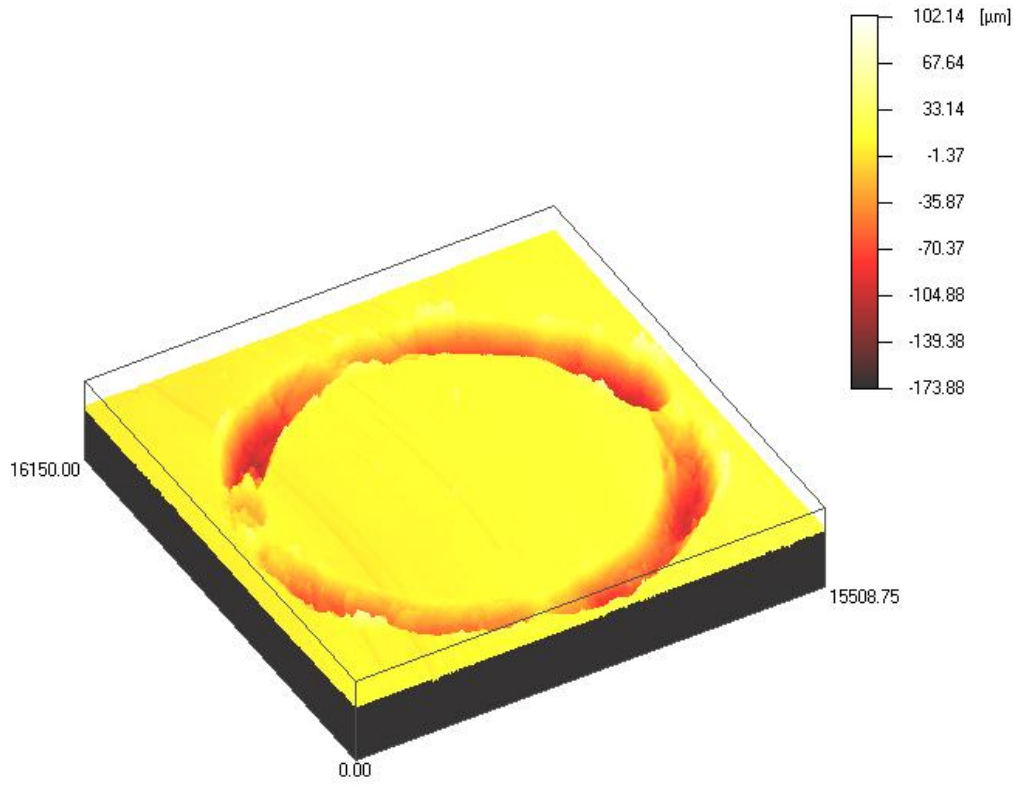
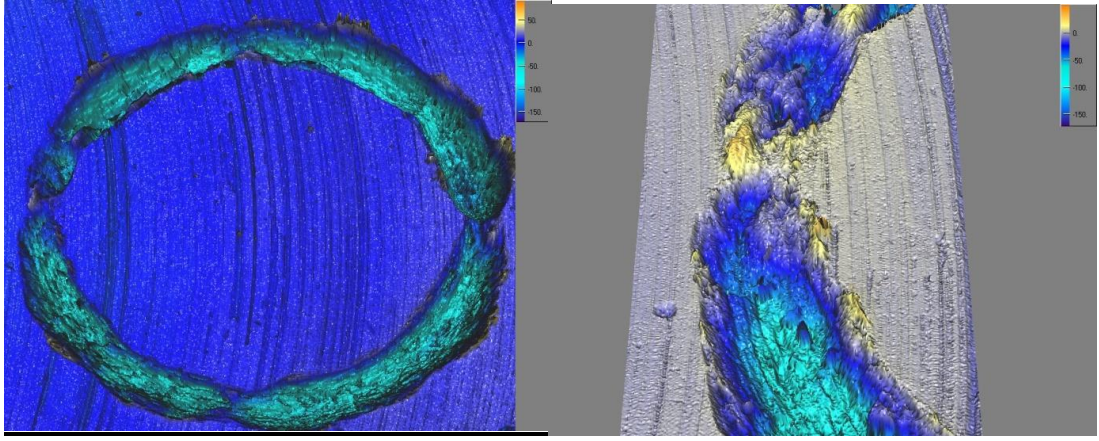
Şekil 62. %20 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri



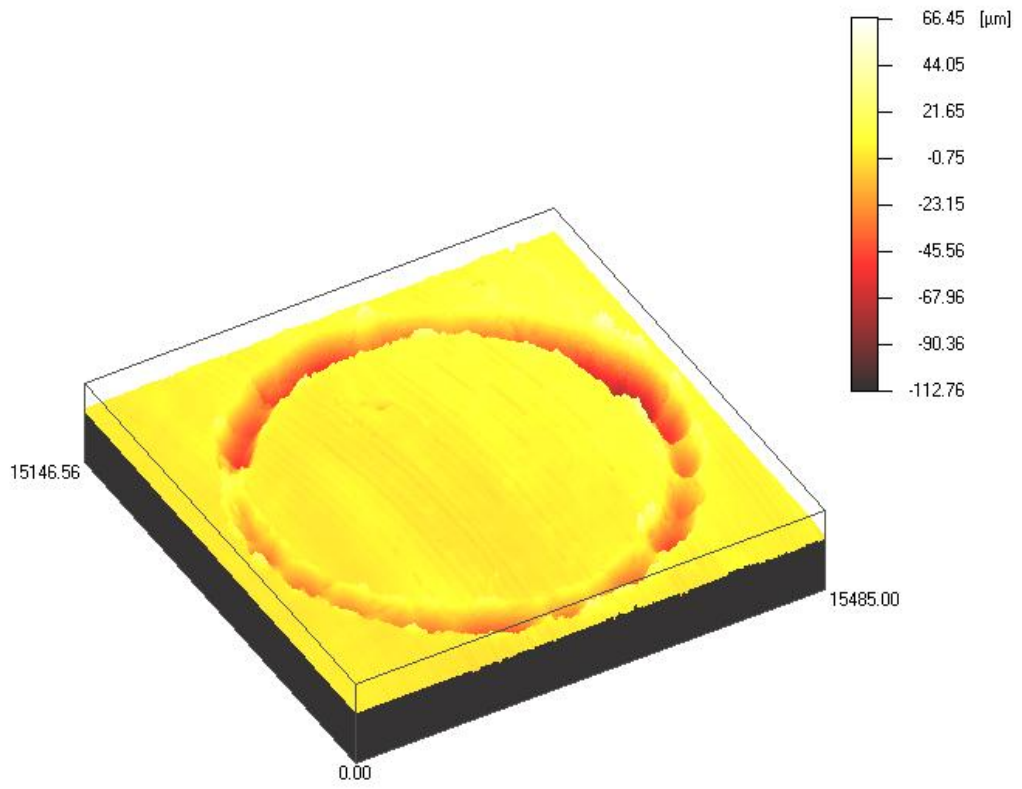
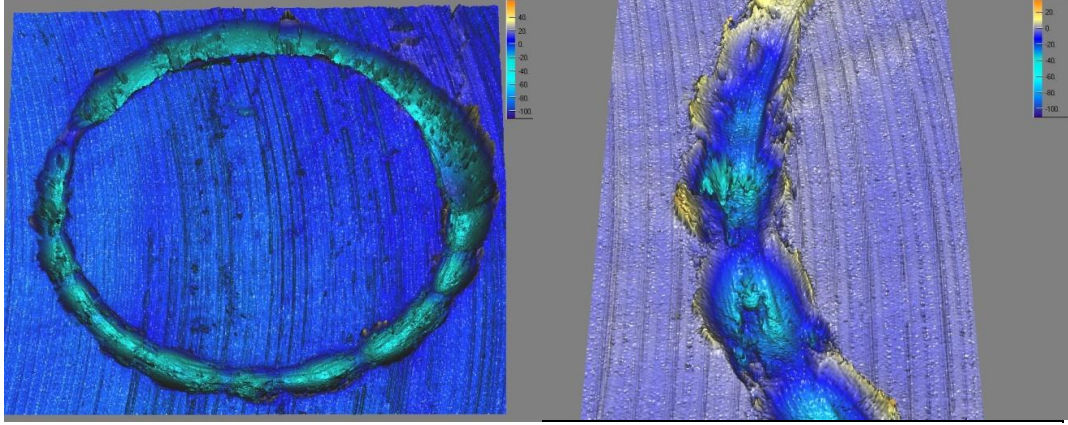
Şekil 63. %30 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri



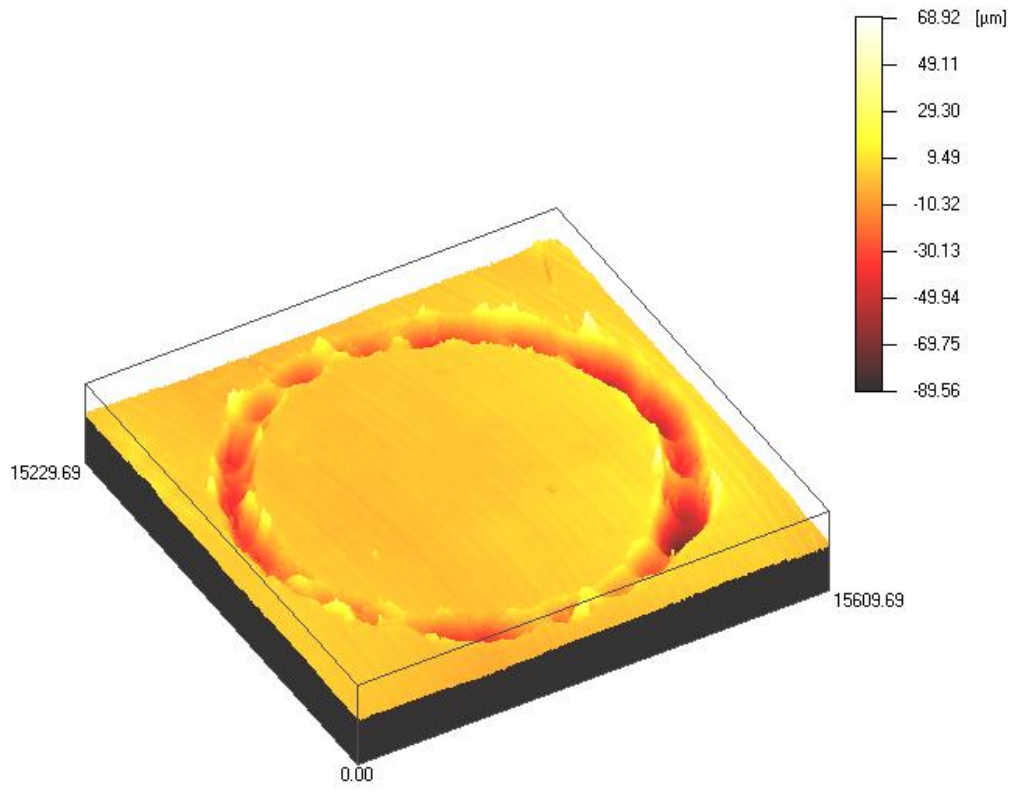
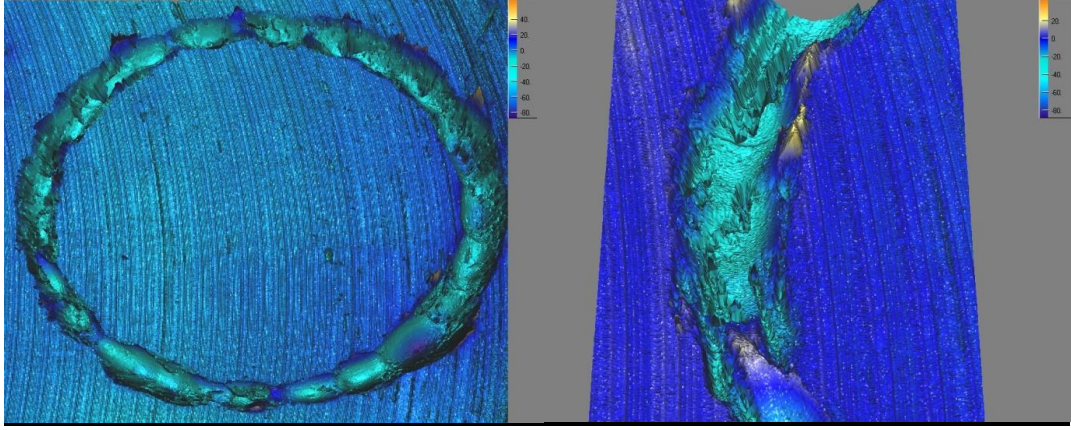
Şekil 64. %30 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri



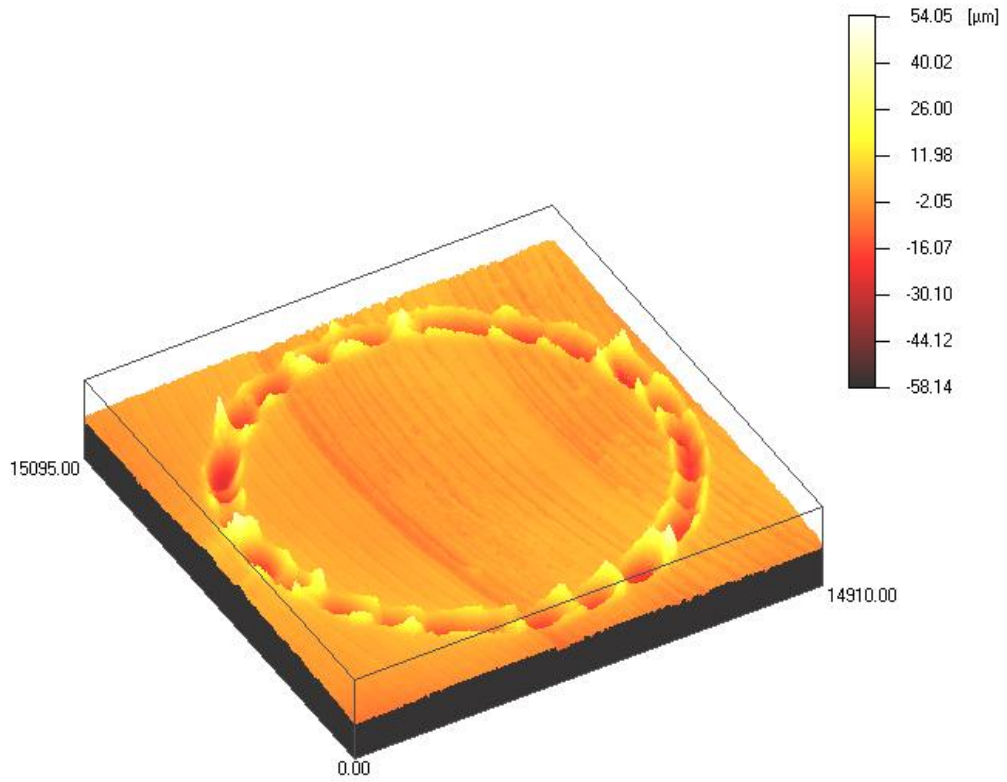
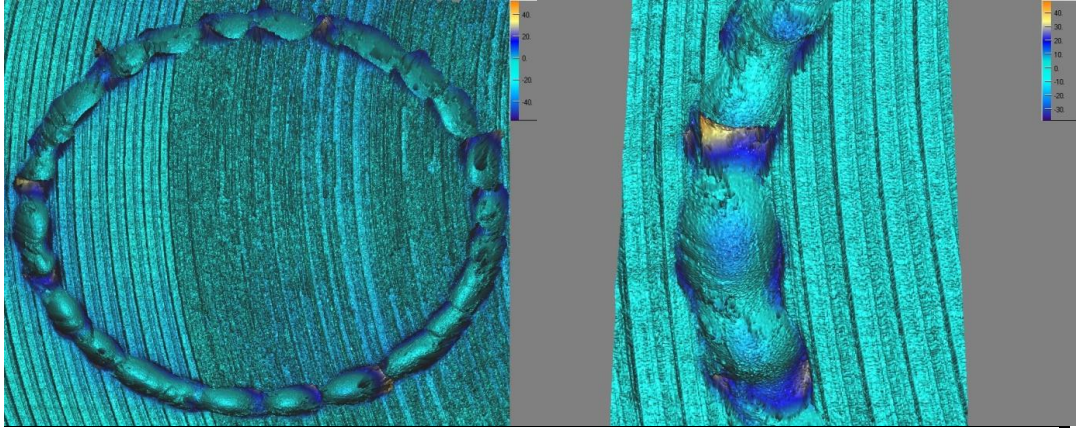
Şekil 65. %30 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri



Şekil 66. %40 takviye olunmuş, 1 pasonun optik profilometre görüntüleri



Şekil 67. %40 takviye olunmuş, 2 pasonun optik profilometre görüntüleri



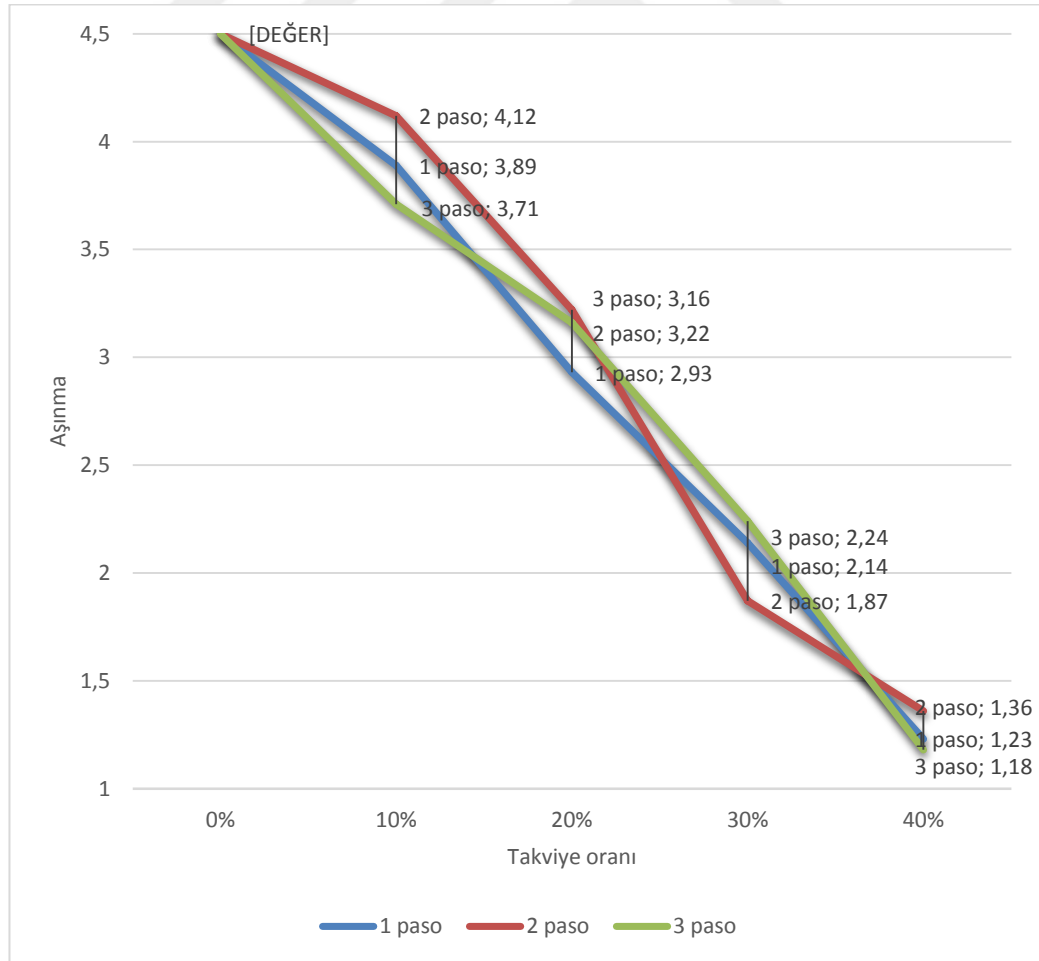
Şekil 68. %40 takviye olunmuş, 3 pasonun optik profilometre görüntüleri

Aşınma miktarından elde edilen sonuçlara (Tablo 13 ve Tablo 14) göre, proses edilen takviyesiz ve düşük oranda takviye içeren numunelerin takviye oranının artışıyla aşınma miktarlarında dikkate değer azalmalar görülmüştür. Paso sayısı ile hacim kaybında bu değerlere göre en yüksek aşınma direnci %40 takviye içeren, 3 paso işlem görmüş AA7075-T651 numunesinde en yüksek değere ulaşmaktadır.

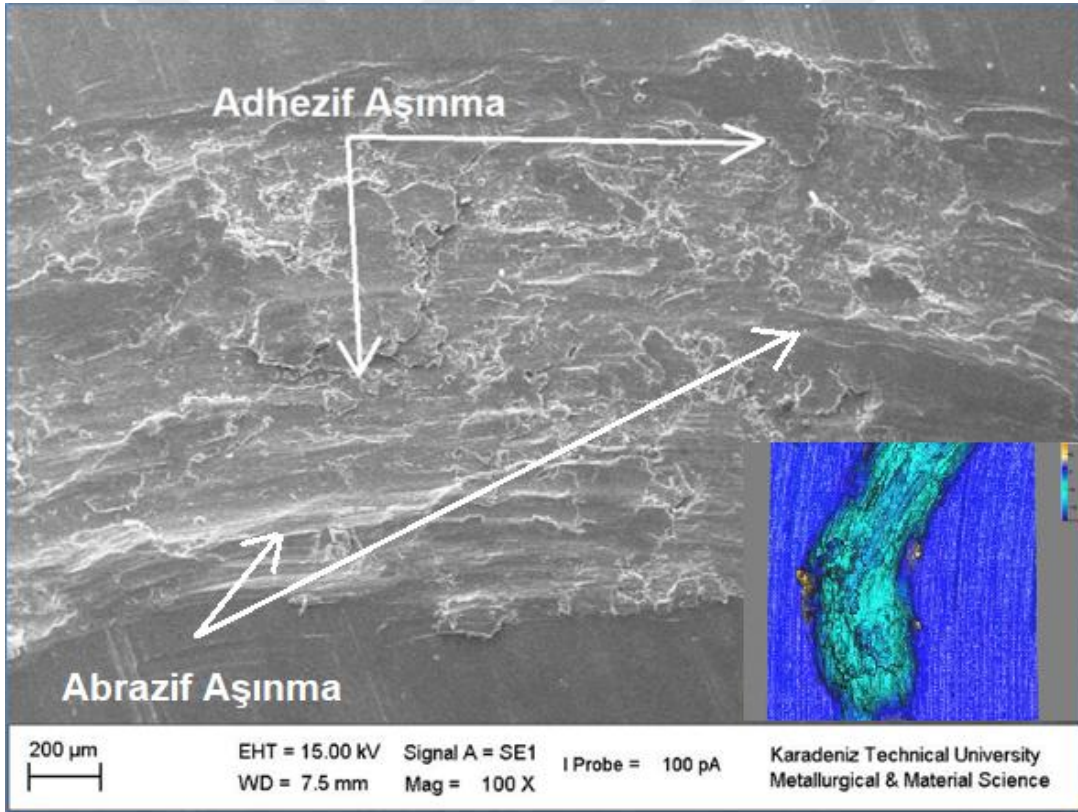
Tablo 13. Hacimsel Aşınma Değerleri

| | NUMUNE | HACİM KAYBI MM ³ | |
|----------------------|--------|--------------------------------|------|
| TAKVİYE ORANI | 10% | 1 Paso | 3,89 |
| | | 2 Paso | 4,12 |
| | | 3 Paso | 3,71 |
| | 20% | 1 Paso | 2,93 |
| | | 2 Paso | 3,22 |
| | | 3 Paso | 3,16 |
| | 30% | 1 Paso | 2,14 |
| | | 2 Paso | 1,87 |
| | | 3 Paso | 2,24 |
| | 40% | 1 Paso | 1,23 |
| | | 2 Paso | 1,36 |
| | | 3 Paso | 1,18 |

Tablo 14. Hacimsel Aşınma Grafiği



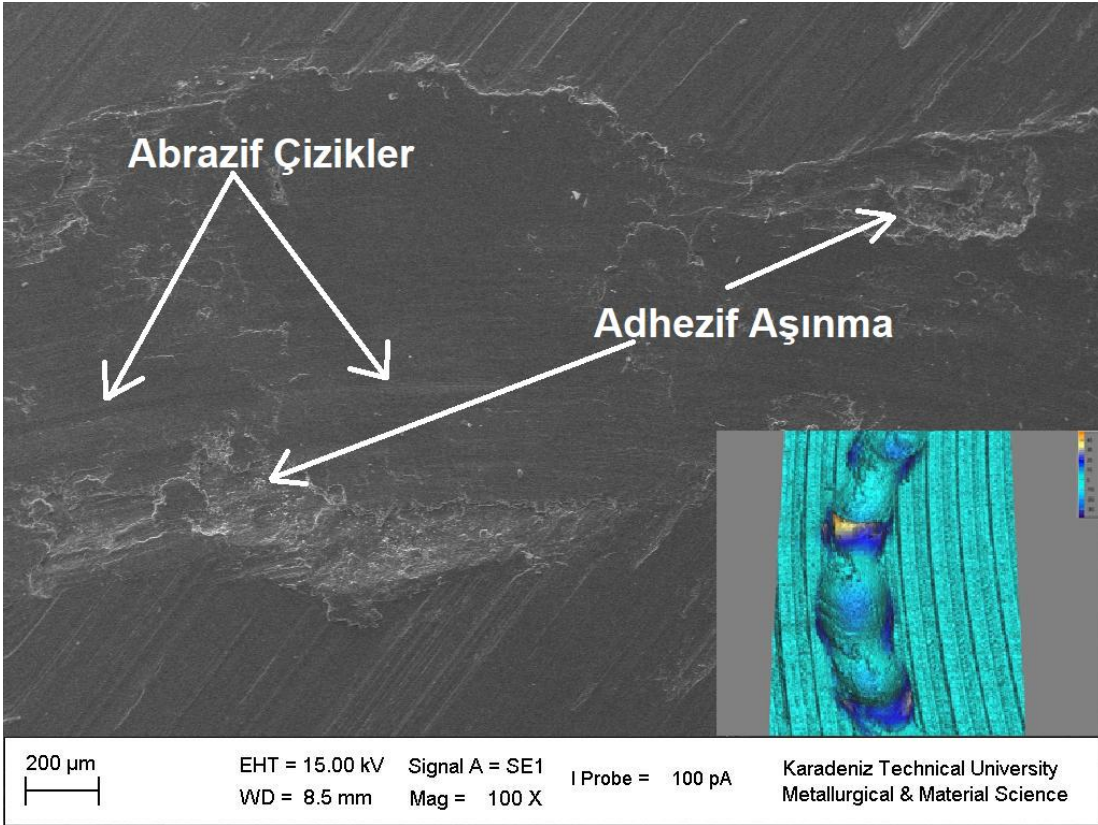
Aşınma deneylerinden sonra elde edilen aşınma yüzeylerinin taramalı elektron görüntüleri Şekil 69-70' de verilmiştir. En düşük aşınma direncine sahip %10 takviyeli 2 paso numunesinin Şekil 69' da verilen aşınma yüzeyine bakıldığında baskın adhezif aşınmaya ek olarak oldukça yoğun abrazif aşınma mekanizmasının olduğu gözlenmiştir. Aynı durum Şekil 58'de verilen optik profilometre görüntüsünden de anlaşılacağı gibi kompozit yüzey ile aşındırıcı eleman arasında ortaya çıkan yapışma ve kopmanın etkileri bariz olarak görülmektedir. Bu gözlem, karşı yüzey olarak kullanılan WC ile bu çalışmada kullanılan alüminyum alaşımı arasındaki çalışma koşullarına bağlı olarak oluşan adhezif etkileşime girmesinden ve hareket sürekliliğinin ortaya çıkardığı kopma (parçacık taşınımı) etkileri ile oluşan abrazif etkilerden oluştuğu düşünülmektedir. Bu görüş Nino ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde yorumlanmıştır [66].



Şekil 69. %10 Takviye Olunmuş, 2 Paso İle Elde Edilmiş Numunenin Aşınma Yolunun SEM Görüntüsü ve Optik Profilometre Görüntüsü

İncelemelerde en yüksek aşınma direncine sahip olduğu belirlenen % 40 takviyeli 3 paso numunesinin Şekil 70'de verilen aşınma yüzeyine bakıldığında baskın mekanizmanın aynı şekilde adhezif aşınma karakterli olduğu, Şekil 68'de numunenin aşınma yoluna ait

optik profilometre görüntüsünden de anlaşılacağı gibi kompozit yüzey ile aşındırıcı eleman arasında ortaya çıkan yapışma ve hareketin sürekliliği ile oluşan kopmanın oluşturduğu bariz etkiler görülmektedir. Şekil 70'de görülen adhezif aşınmaya ek olarak kompozit yüzeyden kopan parçacıkların oluşturduğu üçüncü cisim etkisi ile oluşan kısmi abrazif aşınmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek aşınma direncine sahip olan bu numunenin aşınma yüzeyinde diğer numunelere oranla daha yoğun sıvama etkilerinin olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 70. %40 Takviye Olunmuş, 3 Paso İle Elde Edilmiş Numunenin Aşınma Yolunun SEM Görüntüsü ve Optik Profilometre Görüntüsü

Gerçekleştirilmiş olunan bu çalışmada, ısı işlem ile dayanımı artırılmış olan AA7075-T651 Alüminyum Alaşımının yüzeyinde Al_2O_3 parçacıklarıyla oluşturulan kompozit yapı sayesinde alüminyum alaşımının aşınma direncinin teknik olarak anlamlı seviyede artırılacağı belirlenmiştir. Ancak bu yapının teknik olarak uygulanabilirliği, işleme tabi tutulan yüzeyin dekoratif görünümü ve elde edilecek ekonomik kazanımları konusundaki incelemeler devam etmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan, AA7075-T651 Alüminyum Alaşımın yüzeyine açılan kanallara yerleştirilen otalama tane boyutu $9\pm 1 \mu\text{m}$ olan Al_2O_3 parçacıklarıyla %10, %20, %30 ve %40 oranlarında takviye edilmiştir. 800 dev/dak dönme hızı, 45 mm/dak ilerleme hızı, 5000 N takım baskı kuvveti ve 2° 'lik takım açısıyla 1, 2 ve 3 paso olarak uygulanan sürtünme karıştırma prosesine tabi tutulan numunelerin incelenmesinden elde edilen bulgular değerlendirilerek aşağıda verilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Sürtünme Karıştırma Prosesi kullanılarak AA7075-T651 alüminyum alaşımın yüzeyinde kompozit bir tabaka başarılı bir şekilde elde edilebilir.

2. Alüminyum alaşımına uygulanan sürtünme karıştırma prosesinde meydana gelen içyapılar, sürtünme karıştırma kaynak işleminde elde edilen içyapılar ile benzer şekilde oluşur.

3. SKP işleminde kullanılan proses parametreleri ve takviye elemanı miktarı yüzeyin aşınma direncini etkileyen önemli bir parametredir.

4. Yüzeydeki takviye oranının ve proses sayısının artması yüzey bölgesinde daha homojen bir kompozit yapı oluşumunu sağlar.

5. Al_2O_3 takviyeli AA7075-T651 alüminyum alaşımının aşınma deneyleri neticesinde baskın aşınma mekanizması takviye oranından ve paso sayısından bağımsız olarak adhezif aşınmadır.

6. Artan takviye oranı aşınma direncini artırır (Aşınma miktarı azalır).

7. Artan proses sayısı takviye parçacıklarının homojen dağılımını sağlamakla birlikte, elde edilen kompozit yapının aşınma direncini artırır.

8. En yüksek aşınma direnci %40 Al_2O_3 takviye oranında elde edilir.

5. ÖNERİLER

Sürtünme Karıştırma Proses yöntemi kullanılarak elde edilmek istenilen parçacık takviyeli kompozit bir yapının oluşturulması çalışmalarında incelenmesi önerilen konular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. SKP işlemlerinde kullanılacak takım geometrisinin ve karıştırıcı etkisinin ayrıntılı olarak incelenmesi gereklidir.

2.Etkin bir karışma ve homojen dağılım elde edebilmek için uygulanması gereken en uygun proses sayısı ve işlem adımları araştırılması gereklidir.

3.SKP yöntemi kullanılarak parçacık takviyeli kompozit yapının elde edilmesinde kullanılacak takviye elemanı türü ve parçacık boyutunun etkisi araştırılmalıdır.

6. KAYNAKÇA

1. Campbell, F.C., Manufacturing Technology For Aerospace Structural Materials, Elsevier Ltd., 600p. 2006.
2. Kaufman, J.G., Introduction to Aluminum Alloys and Tempers, United States of America, Asm International®, 248p. 2000.
3. SERT A., Sürtünme Karıştırma Prosesi ile Yüzeyine SiC Partikül Takviye Edilmiş Al 7075-T651 Alüminyum Alaşımının Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi 2010.
4. Şahin y., Kompozit malzemelere giriş, Gazi Üniversitesi, Ankara. 2006.
5. Kınıkoğlu, N.G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, 855 s. 2001.
6. Kaya, I., Al 7075 Alaşımının Şekillenme ve Isıl İşleme Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s
7. Deuis, R.L., Subramanian, C. and Yellup, J.M., Dry sliding wear of aluminium composites-A review, Composites Science and Technology, 57, 1997. 415-435.
8. Miracle, D.B., Metal matrix composites – From science to technological significance, Composite and Science Technology, 65, 2005. 2526-2540.
9. Ipek, R., Adhesive wear behaviour of B4C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/ B4C-Al/ SiC), Journal of Materials Processing Technology, 2005. 162-163, 71-75.
10. Mahmoud, E.R.I, Takahashi, M., Shibayanagi, T. and Ikeuchi, K., Wear characteristics of surface-hybrid-MMCs layer fabricated on aluminum plate by friction stir processing, Wear, 268, 2010. 1111-1121.
11. Dasgupta, R. and Meenai, H., SiC particulate dispersed composites of an Al- Zn-Mg-Cu alloy: Property comparison with parent alloy, Materials Characterization, 54, 2005. 438-445.

12. Igdır, M.A., Sürtünme Karıştırma Prosesi Kullanılarak Yüzeyine SiC Parçacık Takviye Edilen Nab Alaşımının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, KTÜ, Trabzon. 2016.
13. Nunes, R., Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, United States of America, Asm International®, 3469 p. 1992.
14. Kumar, A. S., Durai, A. R., Sornakumar, T. Development of Alumina-Ceria Ceramic Composite Tool, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 22, pp. (2004). 17-20.
15. Bilgiç, B.Z., Al₂O₃ – ZrO₂ – CeO₂ Kompozitlerinin Spark Plazma Sinterleme (Sps) Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu, İTÜ. 2012.
16. Url-1 <http://www.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-8A.pdf>
17. Callister W. D., Materials Science and Engineering, An Introduction. York, PA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
18. Krock, R. H., in ASTM Proceeding Philadelphia, PA, 1963.
19. Kainer, K. U., Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006.
20. Çam, G. Friction Stir Welded Structural Materials: Beyond Al alloys, International Materials Reviews, 56 1-48.
21. Rosso, M., (2006). Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties, Materials Processing Technology, 175 (2011). 364–375.
22. Cardarelli, F., Materials Handbook A Concise Desktop Reference. London: Springer- Verlag London Limited, 2008.
23. İnternet: Alumina(Al₂O₃), <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=52> (2006).
24. Bever, M. B., “Encyclopedia of Materials Science and Engineering”, Pergamon Pres, New York, 1059, (1986).

25. Nourbakhsh, S., Liang, F. L. ve Margolin, H., Interaction of Al₂O₃-ZrO₂ fibres with a Ti-Al matrix during pressure casting, *Metallurgical Transactions A*, 21 (1990). 213–219.
26. Chawla, K. k. ve Godfroid, L. B., Fracture behavior of Al 1100/Al 2024 laminate Composites in Proceedings of the 6th International Conference on Fracture (ICF6), New Delhi, India, 1984.
27. Hunt, W. H., Processing and Fabrication of Advanced Materials, in *The Minerals and Metal Materials Society*, 1994. 663–683.
28. Chawla, N., Williams, J. J. ve Saha, R., *J. Light Metals*, 2 (2002). 215-227.
29. Feng A. H. ve Ma Z. Y., Enhanced mechanical properties of Mg-Al-Zn cast alloy via friction stir processing, *Scripta Materialia*, 56 (2007). 397-400.
30. Cavaliere P., ve De Marco P. P., Friction stir processing of AM60B magnesium alloy sheets, *Materials Science and Engineering*, 462 (2007). 393-397.
31. Mishra, R. S., Mahoney, M. W., McFadden, S. X., Mara, N. A. ve Mukherjee, A. K., High strain rate superplasticity in a friction stir processed 7075 Al alloy, *Scripta Materialia*, 42 (2000). 163-168.
32. Ma, Z. Y., Mishra, R. S. ve Mahoney M. W., Superplastic deformation behaviour of friction stir processed 7075Al alloy, *Acta Materialia*, 50 (2002). 4419-4430.
33. Tsujikawa M., Chung S. W., Tanaka M., Takigawa Y., Oki S., ve Higashi K., Highstrengthening of Mg - 5.5 mass % Y-4.3 mass % Zn cast alloy by friction stir processing, *Materials Transactions*, 46 (2005). 3081-3084.
34. Lee, C. J., Huang, J. C. ve Hsieh P. J., Mg based nano-composites fabricated by friction stir processing, *Scripta Materialia*, 54 (2006). 1415-1420.
35. Mishra, R. S., Ma, Z. Y. ve Charit, I., Friction stir processing: A novel technique for fabrication of surface composite, *Materials Science and Engineering A*, 341 (2003). 307-310.
36. Liu, P., Shi, Q., X. Bian, Xu, S. ve Ren, G., Microstructure of a novel Al-based amorphous reinforced aluminum metal matrix composite, *Hanjie Xuebao/Transactions of the China Welding Institution*, 30 (2009). 13-16.

37. Shafiei-Zarghani A., Kashani-Bozorg S. F. ve Zarei-Hanzaki, A., Microstructures and mechanical properties of Al/Al₂O₃ surface nano-composite layer produced by friction stir processing, *Materials Science and Engineering A*, 500 (2009). 84-91.
38. 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 (2010). 4431-4438.
39. Dixit, M., Newkirk, J. W. ve Mishra, R. S., Properties of friction stir-processed Al 1100-NiTi composite, *Scripta Materialia*, 56 (2007).541-544.
40. Lim D. K., Shibayanagi T. ve A. P. Gerlich, Synthesis of multi-walled CNT reinforced aluminium alloy composite via friction stir processing, *Materials Science and Engineering A*, 507 (2009) 194-199.
41. Johannes, L. B., Yowell, L. L., Sosa, E., Arepalli, S. ve Mishra, R. S., Survivability of single-walled carbon nanotubes during friction stir processing, *Nanotechnology*, 17 (2006). 3081-3084.
42. 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 (2012). 4744-4749.
43. Morisada, Y., Fujii, H., Nagaoka, T., Nogi, K. ve Fukusumi , M., Fullerene/A5083 composites fabricated by material flow during friction stir processing, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38 (2007). 2097-2101.
44. Morisada, Y., Fujii, H., Nagaoka, T. ve Fukusumi, M., Nanocrystallized magnesium alloy-uniform dispersion of C molecules, *Scripta Materialia*, 55 (2006). 1067-1070.
45. Barmouz, M., Besharati Givi, M. K. ve Seyfi, J., On the role of processing parameters in producing Cu/SiC metal matrix composites via friction stir processing: Investigating microstructure, microhardness, wear and tensile behavior, *Materials Characterization*, 62 (2011). 108-117.
46. Chen, W., Huang, C. ve Ke L., A novel way to fabricate carbon nanotubes reinforced copper matrix composites by Friction Stir Processing, vol. 391-392, ed. Shenyang, Liaoning, 2012, 524-529.

47. Salekrostam, R., Givi, M. K. B., Asadi, P. ve Bahemmat, P., Influence of friction stir processing parameters on the fabrication of SiC/316L surface composite Defects and Diffusion Forum, (2010). 297-301 221-226.
48. Morisada, Y., Fujii, H., Nagaoka, T. ve Fukusumi, M., MWCNTs/AZ31 surface composites fabricated by friction stir processing, Materials Science and Engineering A, 419 (2006). 344-348.
49. Ghasemi-Kahrizsangi, A. ve Kashani-Bozorg ,S. F., Microstructure and mechanical properties of steel/TiC nano-composite surface layer produced by friction stir processing, Surface and Coatings Technology, 209 (2012). 15-22.
50. Mahmoud, E. R. I., 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 and Joining, 14 (2009). 413-425.
51. Ke, L., Huang, C., Xing, L. ve Huang K., Al-Ni intermetallic composites produced in situ by friction stir processing, Journal of Alloys and Compounds, 503 (2010). 494–499.
52. Hsu C. J., Kao P. W. ve Ho N. J., Ultrafine-grained Al-Al₂Cu composite produced in situ by friction stir processing, Scripta Materialia, 53 (2005). 341-345
53. Hsu, C. J., Chang, C. Y., Kao, P. W., Ho N. J., ve C. P. Chang, Al-Al₃Ti nanocomposites produced in situ by friction stir processing, Acta Materialia, 54 (2006). 5241-5249.
54. Hsu, C. J., Kao, P. W. ve Ho, J., Intermetallic-reinforced aluminum matrix composites produced in situ by friction stir processing, Materials Letters, 61 (2007). 1315-1318.
55. Mahmoud, E. R. I., Ikeuchi, K. ve Takahashi, M., Fabrication of SiC particle reinforced composite on aluminium surface by friction stir processing, Science and Technology of Welding and Joining, 13 (2008). 607-618.
56. Mishra R. S. ve Ma Z. Y., Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering, 50 (2005). 1-78.

57. Azizieh, M., Kokabi, A. H. ve Abachi, P., Effect of rotational speed and probe profile on microstructure and hardness of AZ31/Al 2O₃ nanocomposites fabricated by friction stir processing, *Materials and Design*, 32 (2011). 2034-2041.
58. Izadi H., Effect of Friction Stir Processing Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of AL 5059, in 9. International Conference on Trends in Welding Research, 2012.
59. Arora H. S., Singh H., ve Dhindaw B. K., Some observations on microstructural changes in a Mg-based AE42 alloy subjected to friction stir processing, *Metallurgical and Materials Transactions*, 43 (2012). 92-108.
60. Sharma ,V., Prakash, U. ve Manoj Kumar, B.V, Surface composites by friction stir processing *Journal of Materials Processing Technology*, 224 (2015). 117–134.
61. Zafer B., 7075-T651 Alüminyum Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağında Takım İlerleme Hızının Kaynak Özelliklerine Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye 2015.
62. L.D. HART, “Alumina Chemicals: Science and Technology Handbook”, Westerville, Ohio, American Ceramic Society 1990.
63. Çalın, R., “Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi,” Y.Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.*, Ankara, (2006).
64. Şık, A. ve Kayabaş, Ö., “Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan alüminyumun kaynağında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(12): (2003). 30-43
65. Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi”, *Mühendis ve Makine* (46): (2005). 541,
66. Nino, A., Nakaibayashi, Y., Sugiyama, S. ve Taimatsu, H., Microstructure and Mechanical Properties of WC-SiC Composites, *Materials Transaction*, 52 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Makine Mühendisi Kadir HATİPOĞLU, 29 Haziran 1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 2001 yılında üniversite öğrenimine başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında "Makine Mühendisi" unvanı ile mezun oldu. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

Halen Trabzon Büyükşehir Belediyesi Yatırım ve İnşaat Dairesi'nde görevine devam etmekte ve İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.