T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AlMg3/SiCp KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINDIRICILI SU JETİ İLE KESİLMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AHMET AKSU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YRD.DOÇ.DR. NİLHAN ÜRKMEZ TAŞKIN

EDİRNE 2012

AlMg3/SiCp KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINDIRICILI SU JETİ İLE KESİLMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AHMET AKSU

YÜKSEK LİSANS

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2012

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kabul ve onay sayfası

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN	……
Prof. Mehmet Emin YURCİ	……
Doç. Dr. Metin AYDOĞDU	……

Tarih: ...../……/…

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

28 /12 / 2012

Ahmet AKSU

Yüksek Lisans Tezi

AlMg3/SiCp Kompozit Malzemelerin Aşındırıcılı Su Jeti ile Kesilmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Alüminyum Matrisli Kompozit malzemelerin yapılarındaki aşındırıcı parçacıklar nedeniyle geleneksel imalat yöntemleri ile işlenmesi zor, özel takımlar ve ilave işlemler gerektirdiğinden yüksek maliyetlidir. Bu çalışmada, son zamanlarda teknik ve ekonomik üstünlükleri öne çıkan aşındırıcılı su jeti teknolojisi kullanılarak farklı takviye oranlarına sahip Alüminyum kompozit malzemelere kesme işlemi uygulanmıştır. Takviye oranlarının ve kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada, malzeme olarak doğrudan yarı-katı karıştırma ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş %10 ve %25 SiC takviyeli AlMg3 kompozit malzemeleri kullanılmıştır.

Yanal ilerleme hızı, aşındırıcı besleme oranı ve aşındırıcı boyutu kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Yüzey kalitesinin incelenmesi için yüzey pürüzlülük ölçümleri ve mikro yapı incelemeleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak, hem kalite hem de maliyet açısından aşındırıcılı su jeti teknolojisinin kompozit malzeme kesme ve biçimlendirme işlemlerinde başarı ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yıl : 2012

Sayfa Sayısı : 115

Anahtar Kelimeler : Alüminyum Matrisli Kompozit, Kesme Parametreleri, Aşındırıcılı Su Jeti, Yüzey Pürüzlülüğü, SiC

Master's Thesis

Effect of Cutting Parameters of Abrasive Water Jet Machining on the Surface Quality of AlMg3/SiCp Composites

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering

ABSTRACT

It is difficult to process aluminium metal matrix composite materials by conventional manufacturing processes due to abrasive particulates in their material structure. It is also expensive to process these materials due to special machining and extra processing. In this study, abrasive waterjet technology, whose usability in industry has been recently increaseddue to it's technical and economic advantages, is applied on Aluminium matrix composite materials with different reinforcement ratios. Effects of some reinforcement rates and cutting parameters on surface quality are investigated. Experimental studies were conducted by using 10% and 25% SiC reinforced AlMg3 composites which are produced by semi-solid mixing method and squeeze casting method.

Traverse speed, abrasive flow rate and abrasive length were chosen as cutting parameters. Surface roughness measurements and micro-structure investigations were conducted by using SEM to examine the surface quality. The results of the study show that abrasive water jet can be used as a cost-effective tool with better quality for cutting and forming processes of composite materials.

Year : 2012

Number of Pages : 115

Keywords : Aluminium Matrix Composites, Cutting Parameters, Abrasive Water Jet, Surface Roughness, SiC

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca daima destek gördüğüm çok değerli danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN'a ve Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN'a en içten dileklerimle teşekkür eder, saygılar sunarım.

Yüksek lisans tezimin deney aşamasında bana şirketinin her türlü atölye imkanını sağlayan CT Kesme Teknolojileri şirket sahibi Ata YALKILDAY'a, USEL MAKİNA'ya ve TÜBİTAK MAM çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, her zaman yanımda olan babam Mümin AKSU, annem Nursen AKSU ve kardeşim Nurselin AKSU'ya desteklerinden dolayı binlerce defa teşekkür ederim.

Aralık 2012

Ahmet AKSU

İÇİNDEKİLER

ÖZET I
ABSTRACT II
ÖNSÖZ III
İÇİNDEKİLER IV
SİMGE LİSTESİ VI
KISALTMA LİSTESİ VII
ŞEKİL LİSTESİ VIII
TABLO LİSTESİ X
1.GİRİŞ 1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3
3.METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER 11
3.1.Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri 12
3.2.Metal Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği 15
3.2.1.Geleneksel Yöntemler 17
3.2.2.Modern imalat yöntemleri 18
3.2.2.1.Mekanik enerjili yöntemler 22
3.2.2.2.Kimyasal enerjili yöntemler 22
3.2.2.3.Elektrokimyasal yöntemler 23
3.2.2.4.Isıl enerjili yöntemler 23
3.3.Su Jeti ile İşleme 23
3.3.1.Su jeti ve aşındırıcılı su jeti 26
3.3.1.1.Su jeti ile kesim 26
3.3.1.2.Aşındırıcılı su jeti ile kesim 26
3.3.2. Su jeti ve aşındırıcılı su jeti ile kesilebilecek malzemeler 31
3.3.2.1.Su jeti ile kesilen malzemeler 32
3.3.2.2.Aşındırıcılı su jeti ile kesilen malzemeler 32
3.3.3.Su jeti ile kesme prensibi ve sınıflandırma 33
3.3.4.Su jeti kesme cihazının kısımları 34
3.3.5.Aşındırıcı türleri 34
3.3.6. Su jetinin kullanım alanları 38
3.3.7. Aşındırıcılı su jetinin uygulamaları 40
3.3.7.1. Frezeleme 41
3.3.7.2.Tornalama 42
3.3.7.3. Delme 42
3.3.8. Aşındırıcılı su jetinin avantajları 43
3.3.9. Aşındırıcılı su jetinde işleme parametreleri 44
3.3.9.1. Yanal ilerleme hızının yüzey kalitesine etkisi 44
3.3.9.2. Aşındırıcı besleme oranının yüzey kalitesine etkisi 44
3.3.9.3. Meme-örnek mesafesinin yüzey kalitesine etkisi 45

3.3.9.4. Çalışma basıncının yüzey kalitesine etkisi 45
3.3.9.5. Aşındırıcı tane boyutunun yüzey kalitesine etkisi 46
3.3.10. Aşındırıcılı su jetinin diğer yöntemlerle karşılaştırılması ve avantajları 46

4.DENEYSEL ÇALIŞMA 48
4.1. Malzeme Seçimi 48
4.2. ASJ ile Kesme İşlemleri ve Numune Hazırlama 50
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri 54
4.4. Mikro Yapı İncelemeleri 56

5.DENEYSEL SONUÇLAR 59
5.1.Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları 59
5.1.1.Yanal ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi 59
5.1.2.Aşındırıcı partikül boyutunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi 64
5.1.3.Aşındırıcı besleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi 69
5.1.4.Takviye oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi 73
5.1.5. Kesit boyunca yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi 77
5.2.Mikro Yapı İncelemeleri 83
5.3.Kesme Süreleri 109
5.4.Talaş Kaldırma Mekanizması 111

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 113

KAYNAKLAR

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
ht	Penetrasyon derinliği
Mg	Magnezyum
MPa	Megapaskal
P_W	Suyun basıncı
R	Yük faktörü
Ra	Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri
Rda	Ortalama eğim
Rmr	Malzeme oranı
Rp	Profilin maksimum tepe yüksekliği
RPc	Tepe sayısı
Rsk	Çarpıklık
RSm	Profil elemanların ortalama genişliği
Rt	Maksimum yüzey pürüzlülüğü
Rz	En düşük 5 ve en yüksek 5 pürüzlülük değerinin ortalaması
SiC	Silisyum karbür
V_{WJ}	Su jetinin hızı
q_w	Suyun akış oranı
μm	Mikrometre
η	Momentumun kayıp faktörü
Ψ	Orifisin hız katsayısı
Φ	Orifisin boşaltım katsayısı
ρ_W	Suyun yoğunluğu
°C	Santigrat derece
°F	Fahrenhayt

KISALTMA LİSTESİ

Al_2O_3	Alümina
AMK	Alüminyum matrisli kompozitler
ASJ	Aşındırıcılı su jeti
EDM	Electro Discharge Machining
MMK	Metal matrisli kompozitler
WC	Wolfram karbür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Su jeti tezgahı 24
Şekil 3.2. Su jetinin kısımlarının şematik gösterimi 25
Şekil 3.3. ASJ'nin Bölümleri 26
Şekil 3.4. ASJ ile kesilmiş paslanmaz çelik(çelik blok kalınlığı=50mm) 27
Şekil 3.5. ASJ yöntemi ile üretilmiş karmaşık şekilli ürünler 27
Şekil 3.6. Su jeti ile kesilen karmaşık şekilli malzemeler 32
Şekil 3.7. ASJ'nin Çalışma Prensibi 33
Şekil 3.8. Aşındırıcı Şekilleri 35
Şekil 3.9. Garnet 35
Şekil 3.10. Garnet kumu 37
Şekil 3.11. ASJ uygulamaları 41
Şekil 3.12. ASJ ile frezeleme çalışmaları 41
Şekil 4.1. ASJ ile kesilen farklı takviye oranlarındaki $AlMg_3$ /SiCp malzemeler 49
Şekil 4.2. Kesim için işaretlenmiş $AlMg_3$ /SiCp kompozit malzemesi 51
Şekil 4.3. MMK'ların ASJ tezgahında kesilmesi 51
Şekil 4.4. ASJ tezgahında pabuçlarla sabitlenmiş $AlMg_3$/SiCp kompozit malzemelerin kesilmesi 52
Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği 54
Şekil 4.6.Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile yüzey pürüzlülük ölçümü 55
Şekil 4.7. Quorum Technologies SC7640 Sputter Coater Au/Pd: Altın/Paladyum kaplama cihazı 57
Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu ölçüm düzeneği 58
Şekil 5.1. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 59-60
Şekil 5.2. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 62-63
Şekil 5.3. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 64-65
Şekil 5.4. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 67-68
Şekil 5.5. Aşındırıcı besleme oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 69-70
Şekil 5.6. Aşındırıcı besleme oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 71-72
Şekil 5.7. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 73-74
Şekil 5.8. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi 75-76
Şekil 5.9. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi 78-79
Şekil 5.10.Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi 81-82
Şekil 5.11. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%0SiC 84-85
Şekil 5.12. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC 86-87
Şekil 5.13. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC 87-88
Şekil 5.14. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC 89-90
Şekil 5.15. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC 91-92

Şekil 5.16. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC 92-93
Şekil 5.17. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC 94-95
Şekil 5.18. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC 96-97
Şekil 5.19. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı. Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC 98-99
Şekil 5.20. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC 99-100
Şekil 5.21. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC (0-3mm) 101-102
Şekil 5.22. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC (3-6mm) 103-104
Şekil 5.23. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC (6-9mm) 104-105
Şekil 5.24. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC (9-12mm) 106-107
Şekil 5.25. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı.Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC (12-15mm) 108-109

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1.MMK'ların Üretim Yöntemleri 13
Tablo 3.2. MMK'ların İşlenebilirlik Kriterleri 17
Tablo 3.3. Su Jeti ve ASJ Kesim Hızları 31
Tablo 3.4. Garnet Aşındırıcının Kimyasal Bileşimi 35
Tablo 3.5. Garnet Aşındırıcısının Mineral Bileşimi 36
Tablo 3.6. Garnet Aşındırıcısının Fiziksel Bileşimi 36
Tablo 4.1. AA5754'ün Fiziksel Özellikleri 48
Tablo 4.2. Kompozit Üretiminde Kullanılan Matris Malzemesinin Kimyasal Bileşimi 49
Tablo 4.3. Kompozit Üretiminde Takviye Malzemesi Olarak Kullanılan Seramik Parçacıkların Karakteristik Özellikleri 49
Tablo 4.4. Kompozit Üretiminde Takviye Malzemesi Olarak Kullanılan SiC'nin Kimyasal Bileşimi 49
Tablo 4.5. Konsol Tip ASJ Tezgahının Teknik Özellikleri 52
Tablo 4.6. Deneylerde Kullanılan İşleme Parametreleri ve Deney Planı 53
Tablo 4.7. Yüzey Kalite Değerleri 55
Tablo 4.8. Surtronic Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazının Teknik Özellikleri 56
Tablo 4.9. Altın/Paladyum Kaplama Cihazının Teknik Özellikleri 57
Tablo 4.10. Taramalı Elektron Mikroskobunun Teknik Özellikleri 58
Tablo 5.1. Farklı numunenin farklı kesme hızlarında ve farklı boyutlardaki garnet partikülleri ile kesilmesi sonucu elde edilen kesme süreleri 111

1.GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte yeni malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmış ve malzeme araştırmacıları yeni malzemeler geliştirmek için araştırmalarını arttırmışlardır. Yeni nesil malzemeler olarak adlandırılan bu malzemelerde birkaç özelliği aynı anda tek bir yapı içerisinde bulundurmaları beklenir. Bu şekilde birden fazla özelliğin bir arada bulunduğu malzemeler kompozit malzemelerdir. Metal Matrisli Kompozit malzemeler özellikle de Alüminyum Matrisli Kompozit malzemeler hafif ve yüksek dayanımlı olmaları fiziksel ve mekanik özelliklerinin isteğe bağlı olarak belirlenebilmesi nedeniyle üzerinde en fazla çalışma yapılan kompozit malzeme çeşidi olarak öne çıkmaktadır.

MMK'lar seramikler ile takviye edildiklerinden içerdikleri sert fazlar ve homojen olmayan içyapıları nedeniyle geleneksel işleme yöntemleri ile işlenmeleri oldukça zordur. MMK malzemelerin işlenmesi için özel kaplamalar ya da bu amaç için özelleştirilmiş takımlar kullanılmasına rağmen takım aşınması ve takımların yüksek maliyeti söz konusu olmaktadır. MMK gibi özel malzemelerin düşük maliyetlerle ve en hassas şekilde işlenebilmeleri için geleneksel olmayan 50'den fazla imalat yöntemi geliştirilmiştir. Sert metallerin veya kompozitlerin işlenebilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Yapısal farklılıklar içeren aşındırıcılı su-jeti teknolojisi sağladığı teknik ve ekonomik faydalardan dolayı gelişmiş ülke endüstrilerinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Aşındırıcılı su jeti(ASJ) 1982'den sonra metal kesme endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu metot imalatın temel esaslarından olan düşük maliyet, yüksek kalitede ürün eldesi ve zamandan tasarruf sağlayarak üreticiler için oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada MMK'ların ASJ ile işlenmesi üzerinde durulmuştur. Geleneksel imalat yöntemlerinden aşındırıcılı su jeti yöntemi kullanılarak takviyesiz, %10SiCp takviyeli ve %25 SiCp takviyeli olmak üzere 3 çeşit AlMg3/SiCp kompozit malzemenin işlenebilirliği incelenmiştir. AlMg3 alaşımı geleneksel işleme yöntemleri ile işlenebilirliği yüksek bir alaşım olup içine katılan takviye malzemesi nedeniyle

aşındırıcı bir malzeme haline gelmektedir. İşlenebilmesi için sert karbür kaplamalı takımlar kullanılması gerekmektedir. Geleneksel takımlarla işlendiğinde takım aşınması 3-4 kat artmakta ve dolayısı ile takım ömrü azalmakta, takım maliyeti artmaktadır.

Yapılan çalışmada kullanılan farklı takviye oranlarındaki AlMg3//SiCp kompozit malzemelerinde takviye oranlarının yüzey pürüzlülüğüne etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Farklı boyutlardaki aşındırıcı malzemeler denenerek örnek numune üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir, yüzeyin SEM fotoğrafları çekilerek metalografik inceleme yapılmıştır. İşleme parametrelerinin değişiminin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiş, elde edilen deneysel sonuçlar literatürle karşılaştırılmıştır.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin ASJ ile işlenebilirliği incelenmiştir. Bu çalışmalarda; alışılmış talaşlı işleme yöntemlerinden farklı olarak takım aşınması gibi çok önemli bir sorunun ortadan kalktığı görülmüştür. Literatürde ASJ yönteminin diğer işleme yöntemlerine göre üstünlüklerini belirten çalışmalar bulunmaktadır. ASJ yöntemi ile diğer yöntemlerle işlenmesi imkansız olan tüm malzemeler işlenebilmektedir. Soğuk bir proses olmasından dolayı, termik nedenlerden kaynaklanabilecek, yanma, erime, sertleşme, şekil değiştirme gibi sorunlar yoktur. ASJ ile işlemede yüksek işleme hızlarında kaliteli yüzeyler elde edilebildiği görülmüştür. Yanal ilerleme hızının, basıncın, örnek mesafenin, aşındırıcı besleme oranının, aşındırıcı türü ve boyutunun yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. ASJ ile işlenen malzemelerin mikro yapı özelliklerini incelemek için çalışmalarda SEM mikroskobu kullanılmıştır. Optimum işleme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yapılan çalışmalarda yöntemin ilk yatırım maliyetinden, yeniden işleme gereksiniminin olmamasından, kesme kalınlığı ve kesme kalitesi yönünden kesin bir üstünlük sağladığından söz edilmiştir.

Akkurt ve Külekci'nin (2001) çalışmasında, ASJ ile kesilmek suretiyle elde edilen iş parçası yüzey kalitesi ile kesme parametreleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Makalede ASJ ile kesilen, alüminyum malzemenin yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. 0,76mm boyutundaki odaklama lülesi için en uygun kesme işlemi 0,25mm (0,010inch) veya 0,3mm (0,012inch) orifis boyutunda elde edilmiştir. Aşındırıcı olarak garnet 3 farklı boyutta (220-120-80mesh) denenmiştir. En hassas yüzeyin 220mesh'te elde edildiği görülmüştür. Su basıncı 127MPa ve 276MPa olarak denenmiştir. Kesme hızları; 127mm/dk ve 254mm/dk, aşındırıcı kütle oranı; 340g/dk ve 227g/dk olarak seçilmiştir. Aşındırıcı kütle oranı, 340g/dk ve 227g/dk'dır. Akkurt ve Külekci, kesme parametrelerinin optimizasyonu ile yüzey kalitesinin arttırılabileceğini belirtmişlerdir. [1]

Karakurt vd.'nin (2010) çalışmasında, ASJ ile kesmede, bazı kesme parametrelerinin granitlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, Taguchi deney tasarım tekniğine göre yapılmış ve her bir deney sonucunda, örnek kesme yüzeylerinin ortalama pürüzlülükleri (Ra) ölçülmüştür. Ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri kullanılarak her çalışma parametresinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek yanal ilerleme hızı ve meme-örnek mesafelerinde örnek yüzey pürüzlülüklerinin arttığı belirlenmiştir. Aşındırıcı besleme oranındaki artış yüzey pürüzlülüklerinin düşmesine neden olurken, çalışma basıncındaki artışın yüzey pürüzlülüklerinin artmasına neden olduğu görülmüştür.[2]

Shanmugam ve Masood'un (2008) çalışmasında, katmanlı kompozitlerin ASJ ile kesilmesinde çentik karakteristiği incelenmiştir. İlerleme hızı için 20-30-40-50mm/dk değerleri denenmiş ve hız arttıkça çentik koniklik açısının arttığı gözlenmiştir. Su basıncı için; 175-210-245-280MPa değerleri referans alınmış ve basınç arttıkça koniklik açısının azaldığı görülmüştür. Aşındırıcı akış oranı olarak 5,5-7-8,5-10g/s değerleri denenmiş ve aşındırıcı kütle akışı arttıkça konikliğin azaldığı görülmüştür. Meme-örnek mesafesi olarak 2-3-4-5mm değerleri denenmiş ve mesafe arttıkça koniklik açısının arttığı gözlenmiştir. [3]

Akkurt'un (2006) çalışmasında, ASJ ile kesme, endüstriyel amaçlı malzemelerdeki gelişmelere paralellik gösterecek şekilde, bilinen tüm malzemelerin özellikle de işlenmesi güç malzemelerin biçimlendirilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmıştır. Kesme yöntemlerindeki işleme kalitesi genel olarak; malzeme özelliklerindeki değişim, elde edilen yüzey özellikleri ve kesilen kanalın geometrisi ile karakterize edilmiştir. Bu çalışmada ASJ ile günümüzde gittikçe yaygınlaşan tornalama, frezeleme ve delme işlemleri ile bu işlemler sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar ortaya konmuştur. Aşındırıcı kütle akışının, tüm uygulama kriterlerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi olduğu görülmüştür. Yüksek aşındırıcı kütle akışının, işleme hızını arttırdığı ve daha düzgün yüzeyler oluşturduğu görülmüştür. Bunu yanal ilerleme hız oranı takip eder. Düşük yanal hız oranı, düzensiz bir dip yüzeyi topografyası oluşturduğundan yüzey daha pürüzsüz bir şekilde elde edilmiştir. Su basıncı; kesme derinliği ve yüzey dalgalılığını etkileyen bir faktör olarak bulunmuştur.

Ayrıca şekillendirilebilir malzemelerle yapılan deneylerde kesme derinliğinin, yüzey dalgalılığı ve pürüzlülüğünün, eğik bir jet açısından iyi yönde etkilendiği bulunmuştur. Mikroskobik yüzey özellikleri; toplam enerji aktarımını kontrol eden parametrelere aşındırıcı parçacıklara ve onların doğrultusuna bağlı bulunmuştur. 200MPa basınca kadar ve maksimum işleme hızında aşındırıcı/su oranı 0,30-0,35 olduğunda maksimum toleranslar elde edilmiştir. Daha yüksek basınçlarda oranın 0,5'e doğru kaydığı görülmüştür. Yüksek yanal hızla yapılan frezelemede talaş kaldırma oranı 0,100 – 0,125 olarak önerilmiştir. [4]

Akkurt'un (2009) çalışmasında, endüstride yaygın kullanılan AISI 1030 malzemeden hazırlanan farklı kalınlıklardaki(5-10-15-20mm) numuneler işleme parametrelerinden yanal hız değişken, diğer parametreler sabit tutularak, ASJ ile kesilmiş ve elde edilen yüzeylerin kesme önü geometrisi karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar dik kenar, keskin köşe ve benzeri yüzeylerin işlenmesinde ASJ ile kesme metodunun kullanılabileceğini göstermiştir. Makine imalat sektöründe yaygın kullanıma sahip AISI 1030 çelik malzemenin ASJ ile kesilebilirliliğini değerlendirmek, mekanik ve mikro yapı özelliklerini araştırmak için 5, 10, 15, 20mm kalınlığında hazırlanan numunelerin kesilen yüzeylerinin farklı kalite bölgelerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda 5mm kalınlığındaki AISI 1030 çelik grubu malzemenin ASJ ile kesilmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri, 135mm/dk hızda 6,35µm ve 20 mm/dk ortak yanal ilerleme hızında ise 2,55µm olarak ölçülmüştür. Derinlik arttıkça yüzey özelliklerinde bir bozulma olduğu ve kesilen yüzeylerin alt bölgesindeki pürüzlülük değerlerinin, üst bölgeye oranla çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, 5 mm kalınlıktaki numuneler hariç bir değerlendirme yapılacak olursa, malzeme kalınlığındaki artışa bağlı olarak, tavsiye edilen yanal hızlar düşürülmesine rağmen kesme derinliği ile birlikte yüzey kalitesinde bir bozulma gözlenmiştir. Bu durumda, tüm malzemelerde olduğu gibi AISI 1030 için ASJ ile kesme sırasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesilen malzeme kalınlığının önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. [5]

Yazıcıoğlu ve Yalçınkaya'nın (2003) çalışmasında, ASJ sisteminin çalışma ilkesi, endüstride uygulanması ve diğer üretim yöntemleri ile karşılaştırılması sunulmuştur. ASJ'nin imalat endüstrilerinde delme ve kesme gibi işlemler için tasarlandığı ve uygulandığı görülmüştür. Tipik bir ASJ sisteminin fiyatının 100 000 $ olduğu saptanmıştır. Tipik değerler olarak, 300-700m/s lülede su jeti hızı, az karbonlu 12mm kalınlıktaki çelik için 150-200mm/dk kesme hızı ve 2µm'den büyük yüzey pürüzlüğü örnek verilmiştir. ASJ için; kesme hızının plazmadan düşük, fakat tel elektro erozyondan yüksek olduğuna değinilmiştir. Kesme sırasında yüksek sıcaklık oluşmadığından ısıl çarpılma ve kısmi yapısal değişiklik gibi riskler söz konusu olmamıştır. Yüksek pompa basınçları uygulamada sorun çıkarmıştır. Basınç 200MPa olduğunda yüksek basınçlı contalarda 700-800 saat ömür elde edilmiştir. Basıncın 380MPa değerine yükselmesi conta ömrünü 150-200 saate düşürmüştür. [6]

Kumar vd.'nin (2009) çalışmasında, alüminyum matrisli kompozit(AMK)'lerin uzay ve otomotiv sanayisinde kullanıldığından bahsedilmiştir. AMK'ler içyapılarından dolayı işlenmesi oldukça zordur. AMK'ları geleneksel olmayan lazer jetle işlemek ve elektro erozyonla işlemek bile alt yüzeyde önemli hasarlar oluşturur. Bu çalışmada, A356/SiCp kompozit iş parçasının elektrokimyasal işleme prosesiyle işlenmesi anlatılmıştır. Ortalama 40 µm parçacık boyutunda olan SiCp takviyeli numuneler, takviye oranı ağırlıkça %5-10-15 olarak denenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak 54 adet deney uygulanmıştır. Çalışmada voltaj, elektrolit konsantrasyonu, besleme oranı, maksimum talaş kaldırma oranında takviye yüzdesi gibi çeşitli parametrelerin etkisi ayrı ayrı denenmiştir. Regresyon yöntemi kullanılarak matematiksel bir yöntem geliştirilmiştir. Sonuçları teyit etmek için yapılan deneylerde tahmin edilen datalarla elde edilen dataların yakın olduğu gözlenmiştir. [7]

Neusen vd.'nin (1987) çalışmasında, MMK'ların ASJ ile kesme karakteristikleri deneysel bir çalışmayla incelenmiştir. SiCp takviyeli AMK ve magnezyum esaslı kompozitler işlenmiştir. Kesilen yüzeyler MMK'ların Su jeti ile kesilme mekanizmasını anlamak için SEM mikroskobu altında incelenmiştir. Takviye malzemesinin sert olmasından dolayı, takviyenin hacimce yüzdesi ve dağılımı kesme performansını etkilediği görülmüştür. Kesme parametrelerinin etkisini anlayabilmek için her malzeme

diğer parametreler sabit olacak şekilde bir değişkenin değerleri değiştirilerek kesilmiştir. Su basıncı; 172MPa'dan 310MPa'a, yanal ilerleme hızı; 12.7mm/dk'dan 254mm/dk'ya, aşındırıcı besleme oranı; 0.23kg/dk'dan 1.1kg/dk'ya kadar çeşitli değerler denenmiştir. Sonuç olarak; aşındırıcı besleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü artırıcı etki yaptığı belirtilmiştir. [8]

Savrun ve Taya'nın (1988) çalışmasında, 2 farklı MMK olan SiC whisker/2124 alüminyum ve SiC whisker/Al2O3'nın ASJ ile işlenmesi incelenmiştir. Kompozitlerin işlenmiş yüzeyleri SEM mikroskobunda gözlemlenmiştir. MMK'ların mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. ASJ ile işleme metodu oldukça hızlı ve ekonomik bir metot olarak tespit edilmiştir. Mikro yapıdaki zararlar minimum bulunmuştur ve elde edilen yüzeyler oldukça düzgün kabul edilmiştir. (Kesme parametreleri için değerler şu şekildedir: SiCw/Al kompozit 6.3mm kalınlığındadır ve ASJ ile kesilmiştir. Yanal ilerleme hızı için; 127- 381-635 mm/dk değerleri seçilmiştir, basınç 400MPa, orifis boyutu 0.33mm, nozul çapı 1.19 mm, örnek mesafe 2.54mm, aşındırıcı boyutu 80mesh ve aşındırıcı besleme oranı 675g/dk olarak tercih edilmiştir. Diğer kompozit 7,5% SiCw/Al_2O_3 kompoziti yine aynı kalınlıkta olup kesme parametreleri; yanal ilerleme hızı 12,7-25,4-50,8mm/dk, aşındırıcı boyutu ve türü 70mesh SiC olarak belirlenmiştir. Aşındırıcı besleme oranı 4,95kg/dk'dır. Basınç, orifis boyutu, nozul çapı ve örnek mesafe gibi parametreler sabit tutulmuştur. [9]

Geren ve Tunç'un (2001) çalışmasında, gelişen ve zorlaşan günümüz rekabet şartlarında, ürünün piyasada istenen yeri edinebilmesi için, çoğu kez hammaddelere yüksek veya yeni teknoloji ilavesi gerektiği anlatılmıştır. Teknoloji seçiminde ileri teknolojilerin veya yeni teknolojiler tam olarak bilinmediği ve incelenmediği zaman da rekabet şansının yitirildiğinden söz edilmiştir fakat en uygun seçimin yapılmasının rekabet için önemli olduğundan bahsedilmiştir. Yapısal farklılıklar içeren su jeti teknolojisi sağladığı operasyonel ve ekonomik faydalardan dolayı gelişmiş ülke endüstrilerinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada daha iyi bir rekabet şansı için, kullanım amacına en uygun su jeti kesme sistemi seçiminin nasıl yapılması gerektiği açıklanmıştır. Ayrıca, ilgili uygulamalarda elde edilebilecek kazançlarda

verilerek bu teknolojinin ülkemizde daha iyi tanınması amaçlanmıştır. Su jeti sistemlerinin yapısı ve temel elemanları, kesilecek malzeme türü, kalınlığı ve istenen yüzey kalitesine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Su jeti teknolojisi gibi çok detaylı olarak bilinmeyen fakat en uygun seçimin birçok faktöre bağlı olduğu yeni teknolojilerde daha da önem kazanmıştır. Seçime etki eden temel parametreler kesilecek malzemenin tipi, kalınlığı, istenilen kesme hızı ve yüzey kalitesi olmuştur. En uygun sistem seçimi bu dört parametre ile birlikte krank pompalı, çift etkili ve fazlı çift etkili basınç yükseltme tekniklerinin özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi ile yapılabildiği görülmüştür. Genel olarak, yüzey kalitesinin önemli olmadığı uygulamalar için 3000 bara kadar çıkabilen pompalı sistemlerin kullanımı uygun ve ekonomik bulunmuştur. Çok yüksek kesme hızları ve iyi yüzey kalitesi için 3000Bar'ın üzerine çıkılması gerektiğinden çift etkili basınç arttırma yöntemini içeren sistemlerin tercih edilmesi gerektiğine değinilmiştir. En iyi yüzey kalitesi için ise (kesilen yüzeyde 50 μ derinliğinde izler) basınç dalgalanmasının hemen hiç olmadığı fazlı çift etkili basınç arttırma yöntemini kullanan sistemler kullanılması önerilmiştir. Aşındırıcılı veya sadece su jetli sistemin kullanımına karar vermenin daha kolay olduğu; takım çeliği, alüminyum gibi sert malzemeler aşındırıcılı sistemlerin kullanımını gerektirirken; sünger, yumuşak lastik/kauçuk gibi malzemeler ve gıda sanayisinde aşındırıcısız su jeti sistemleri kullanıldığı belirtilmiştir. Herhangi bir aşındırıcısız su jeti sistemine aşındırıcı-karışımı sağlayan nozul takılarak bütün malzemelerin aynı sistem ile kesiminin mümkün olacağı anlatılmıştır. [10]

Limbachiya ve Patel'in (2011) çalışmasında, ASJ yönteminin geleneksel olmayan bir işleme yöntemi olduğundan bahsedilmiştir. ASJ ile işlemenin yüksek basınçta (1500-4000bar) ve yüksek hızlarda yapıldığı anlatılmıştır. İş parçası üzerine kum taşı ve su ile erozyon etkisi oluşturarak işlem yapıldığından bahsedilmiştir. Bu çalışmada ilk önce teorik hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra deneysel çalışmalarla desteklenerek her iki sonuçta analiz edilmiştir. Teoride hesaplanan talaş kaldırma ile deneysel olarak kaldırılan talaş eşit bulunmuştur. Alüminyum malzeme için gerçekleştirilen yöntem Taguchi deney metodu olarak tanımlanmıştır. Deneyler L25 ortogonal dizisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir malzeme için ilerleme hızı ve aşındırıcı akış oranı sırasıyla değiştirilmiştir. Sonuç olarak; Alüminyum için talaş

kaldırma oranı aşındırıcı akış oranının artmasıyla artmıştır. Aşındırıcı akış oranı 290g/dk'dan 370g/dk'ya çıkarken talaş kaldırma oranı 44.08mm^3/dk'dan 55.43mm^3/dk'ya çıkmıştır. İlerleme hızının artmasıyla birim zamanda talaş kaldırma oranı artmıştır. Ayrıca tüm faktörlerin analizi için doğrulama testi kombinasyonuna ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. [11]

Rani ve Ahmad'ın (2009) çalışmasında, AMK malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanıldığından söz edilmiştir. AMK'ların bazı kısımları yumuşak bazı kısımları sert olduğundan işlenmesinin oldukça zor olduğu görülmüştür. Takımın aşırı sertlik farklılıklarından dolayı kırılabildiği saptanmıştır. Bu malzeme geleneksel olmayan işleme yöntemleriyle işlenememektedir. Bu araştırmada AMK'lar Electro Discharge Machining (EDM) ile çeşitli parametreleri değiştirilerek işlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar AMK'ların EDM ile düşük piklerde ve düşük akımlarda etkili bir şekilde işlenebildiğini göstermiştir. %30 takviyeli Al-A242 kompozit malzemesi EDM ile işlenmiştir. Bakır elektrolitle düşük akımda iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yüksek pik akımı, yüzey kısmında beyaz tabaka ve mikro çatlakları oluşturmuştur. Yüzey pürüzlüğü ve yüzey morfolojisi yüksek pik akımında az da olsa bozulmuştur. Bu malzeme için kesme değerleri EDM için gerekli elektrot boyutunu hesaplamada kullanılmıştır. Benzer şekilde talaş kaldırma oranının bilinmesiyle malzemenin işlenme süresi tahmin edilmiştir. [12]

Hashish'in (1987) çalışmasında, ASJ ile frezeleme işleminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Frezeleme deneylerinin sonuçları ASJ'nin büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir ve diğer yöntemlerde bulunmayan avantajlarının olduğu ortaya çıkmıştır. Doğrusal kesme deneyleri bir veri matrisi oluşturmak için ilk önce örnek malzemeler (alüminyum, titanyum, inconel) üzerinde frezeleme işlemi yapılmıştır. Kesme sonuçları, malzemeler arasındaki eğilimlerin bir benzerlik gösterdiği yönünde olmuştur. Çok jetli freze testleri alüminyum, cam, titanyum ve grafit kompozitler gibi malzemeler üzerinde yapılmıştır. Yüzey topografyasının kesmenin ve aşındırıcı parametrelerinin bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. İşlenmiş yüzeyde aşındırıcı parçacık boyutunun önemli bir parametre olduğu bulunmuştur. Diğer işleme teknikleri ile karşılaştırılmasına da bu çalışmada yer verilmiştir. Yapılan araştırma ve deneylerden

şu sonuçlar elde edilmiştir: Genellikle ASJ nozulları frezeleme işlemleri için yeterli bulunmuştur. ASJ tekniği ile düşük güç seviyelerinde talaş kaldırma işlemi yapılabilmiştir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır. ASJ'nin işlenmesi zor olan her türlü malzemeyi işleyebildiğinden büyük bir işleme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. [13]

Srivinas ve Babu'nun (2011) çalışmasında, SiC parçacık takviyeli AMK'ların ASJ ile işlenmesi 2 farklı tip aşındırıcı kullanılarak denenmiştir. Al-SiCp MMK'nın 4 farklı birleşiminin 60, 80, 120mesh'lik garnet ve SiC'le işlenip doğru tip ve boyuttaki aşındırıcı belirlenmeye çalışılmıştır. ASJ'nin maksimum penetrasyon kabiliyeti farklı MMK'larda karıştırma döküm şeklinde hazırlanan yöntemde kama şeklindeki Al/SiCp MMK numuneler üzerinde deneyler yapılarak muayene edilmiştir. MMK numuneleri optik mikroskoplarda ve SEM'de incelenmiştir. ASJ'nin kesme yüzeylerinde her iki aşındırıcı tipinin etkisi ve talaş kaldırma eğilimi açıklanmıştır. Kesilen Al-SiCp malzemeler 70mm kalınlığında ve %5-10-15 ve 20 SiC parçacık takviyeli malzemeler seçilmiştir. Sonuç olarak 80mesh boyutundaki SiC aşındırıcı ile ASJ yöntemi kullanılarak Al-SiCp MMK'nın en etkili şekilde işlendiği analiz edilmiştir. [14]

Müller ve Monaghan'ın (1999) çalışmasında, alışılmış işleme yöntemleriyle parçacık takviyeli MMK'ların işlenmesinin oldukça zor olduğu anlatılmıştır. SiC parçacık takviyeli AMK'ların Elektro deşarj ile işleme, lazerle kesim ve ASJ ile işlenmesi ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve sonuçlandırılmıştır. İncelenmek için; AA2618/SiC/20p ve A356/SiC/35p olmak üzere 2 tip kompozit malzeme seçilmiştir. ASJ ile işlemede; 1mm örnek mesafe seçilmiştir. Aşındırıcı boyutu olarak 80mesh elek boyutu referans alınmıştır. Aşındırıcı tipi olarak garnet kullanılmıştır. Aşındırıcı besleme oranı 450g/dk seçilmiştir. 3 farklı hız (250-350-450mm/dk) denenmiştir. Bu işlemlerin uygulandığı iş parçasının kalınlığı 3mm olarak tercih edilmiştir. Kompozit malzemenin yüzey yapısı ve sağlamlığı bu farklı işleme prosesleri ile tanımlanmıştır. Yöntemler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. İşleme prosesinde seramik parçacık takviyelerinin etkileri, takviyeli ve takviyesiz matris malzemelerine ayrı ayrı testler uygulanarak analiz edilmiştir. [15]

3.METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Genel olarak kompozit malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir. Metal matrisli kompozit malzeme; matris malzemesi metal olan seramik takviye malzemeleri ile kuvvetlendirilmiş özel malzemelerdir. [16]

MMK'ların önemi; MMK'larda matris ve takviye malzemelerinin çok çeşitli olmasından dolayı elde edilebilecek malzemelerin kombinasyonu da oldukça geniştir. Örnek olarak, seramik elyafla takviye edilen alüminyumun dayanım ve rijitlik özellikleri, ağırlığını pek fazla değiştirmeden %300 arttırılabilir, alüminyum metali 315°C sıcaklıkta dayanımının büyük bir kısmını kaybettiği halde, takviyeli alüminyum oda sıcaklığındaki dayanımının % 90'ını yüksek sıcaklıklarda korumaya devam etmektedir. Diğer bir örnek, uçaklarda kullanılan elektronik cihazların ambalajları veya montaj edildiği parçaların, düşük termal genleşme katsayısına, düşük termal iletkenliğe ve düşük yoğunluğa aynı anda sahip olması istenmekte, fakat oldukça pahalı ve toksik özelliklere sahip olan berilyum haricinde hiçbir metal bu üç özelliği aynı anda sağlayamamaktadır, MMK'lar uygulanabilir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Oldukça yüksek modüllere sahip (ultra-high modulus graphite) grafit ile kombine edilerek üretilen alüminyum bu istenen üç özelliği aynı anda sağlayarak ihtiyaca cevap vermektedir. Düşük özgül ağırlıklı ve yüksek yapısal özellikler gösteren uygulamalara olan taleplerin artmasından dolayı MMK'lar arasında en dinamik gelişmeyi gösteren kompozit türü alüminyum matrisli kompozit (AMK) malzemeler olmuşlardır. Takviye fazı olarak da elyaf, parçacık gibi formlarda seramik malzemeler kullanılmaktadır.

MMK'ların üretiminde kullanılan matris malzemeleri; Al, Mg, Cu, Ni, Ti, Co ve Zn gibi metaller ve bunların alaşımlarıdır. Al ve Mg alaşımları en çok kullanılan metallerdir. AMK'larda saf alüminyum ya da alüminyum alaşımları matris fazı olarak kullanılabilmektedir. AlSi, AlSiMg, AlMn, AlFe, AlMnFe, AlNi ve AlZn en fazla kullanılan alüminyum alaşımlarıdır.

MMK üretiminde kullanılan takviye malzemelerinin en yaygın olarak kullanılanları; Al_2O_3 ve SiC'dür. Bunların dışında; AlN, B_4C ve TiC'de MMK üretiminde tercih edilen takviye malzemeleridir.

MMK'lar içlerinde bulunan takviye malzemesinin geometrik yapısına göre:

- Partikül Takviyeli,
- Kısa Fiber Takviyeli,
- Sürekli Fiber Takviyeli MMK'lar olmak üzere 3 farklı şekilde sınıflandırılırlar.

MMK'lar kullanıcılarına sağladığı birçok avantajdan dolayı çeşitli uygulama alanlarında kullanılmışlardır. Uzay ve uçak sanayisinde; uzay yapıları, antenler, uçak gövde ve iç donanım parçaları, kompresör ve türbin kanatları, helikopter parçaları üretiminde MMK'lar kullanılmaktadır. Otomotiv sanayisinde; motor blokları, pistonlar, biyeller, akü plakaların yapılmasında MMK'lar kullanılır. Tıpta; protez yapımında, tekerlekli sandalye yapımında MMK malzemeler kullanılır. Bazı spor malzemelerinin yapımında, tekstil sanayisinde, aşındırıcı takımların yapımında da MMK malzemeler kullanılmaktadır. MMK malzemeler halen pahalı olmalarına karşın metal veya plastik kompozit malzemelerle karşılanamayan ileri teknoloji gerektiren yerlerde kullanılmaktadırlar.

3.1.MMK'ların Üretim Yöntemleri

MMK'lar, metal malzemelere ve alaşımlara göre üstün mekanik ve fiziksel özellikler gösterirler. İmalatçılar, MMK'ları üretebilmek için son yıllarda üstün uğraşlar göstermektedirler. Fakat hala MMK'ların üretim maliyetleri yüksektir. Her üretim yönteminin kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Geleneksel üretim yöntemleri ile kıyaslandığında kompozit üretim yöntemlerinin tümü daha karmaşıktır. MMK'ların hangi üretim yöntemi ile imal edilebileceğine karar vermek için imal edilecek malzemenin özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Üretim yöntemleri; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve diğer üretim yöntemleri olarak sınıflandırılabiliriz.

Tablo 3.1. MMK'ların Üretim Yöntemleri

MMK'ların ÜRETİM YÖNTEMLERİ		
Katı Faz Üretim Yöntemleri	**Sıvı Faz Üretim Yöntemleri**	**Diğer Yöntemler**
• Toz Metalurjisi Teknikleri • Difüzyon Bağı Yöntemi	• Sıvı Metal İnfiltrasyon • Sıkıştırma Döküm • Sıvı Metal Karıştırma • Plazma Püskürtme	•Çift Fazlı Üretim Yöntemleri • Vidalı Ekstrüzyon • In-Situ Tekniği • XD Tekniği

Toz metalurjisi tekniği; kompozit malzeme üretiminde özellikle süreksiz takviye malzemeleri ile üretilen seramik matrisli ya da metal matrisli kompozitlerin üretiminde en fazla kullanılan yöntemdir. Toz metalurjisi yönteminde bakır, nikel, alüminyum, kobalt, titanyum ve molibden alaşımları matris olarak, SiC, grafit, Ni, Ti, ve Mo takviye elementi olarak kullanılmaktadır. [17]

Difüzyon bağı oluşturma işlemi; katı hal kompozit üretim tekniklerinden birisidir. Difüzyon bağı yöntemi pratik bir yöntemdir. Bu yöntemde, matris malzemesi metal folyo veya levha şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar metal folyolar üzerine istenilen açıda ve miktarda yerleştirilebilmekte ve bu işlemler tamamlandıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklık altında basılarak veya haddelenerek matris ile elyaflar arasında bir bağ oluşturulmak suretiyle kompozit malzeme üretilmektedir.

Sıvı faz üretim yöntemleri; kompozit malzeme üretim işlemlerinin matris malzemesi sıvı halde iken yapıldığı bu tür üretim yöntemlerinde, özellikle de alüminyum alaşımlarının seramik malzemeler ile takviye edildiği uygulamalarda, katı seramik fazı ile sıvı alüminyum fazının iyi bir bağ oluşturması sıvı fazın katı fazı ıslatabilme kabiliyetine bağlıdır. Matris ve takviye arasında kuvvetli ara yüzey bağı, kuvvetlerin matris malzemesinden takviye malzemesine iyi bir şekilde aktarılmasını sağlar.

Sıvı metal infiltrasyon; MMK'ların üretim metotları arasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu metotta temel prensip, bir tüp içerisine yerleştirilmiş

elyaflar arasına sıvı halindeki metal matrisin emdirilmesidir. İlk işlem olarak istenilen profilde ön şekillendirme yapılmakta, elyafların yönlendirilmesi ve hacimsel oranı bu aşamada ayarlanmaktadır. Ön şekiller kalıba bir bağlayıcı ile tutturulduktan sonra kalıp içerisine ergimiş metal emdirilmekte ve katılaşmaya bırakılmaktadır. Elyaflar arası mesafenin az olduğu bu gibi durumlarda ergimiş metal ya basınç altında veya vakumla emdirilmektedir.

Sıkıştırma döküm yöntemi; metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle, kuvvet yardımıyla ergiyik metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan ergiyik metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir.

Sıvı metal karıştırma tekniklerinde; ön ısıtma yapılmış veya ön işlemlerden geçerek hazırlanmış takviye malzemeleri, sürekli karıştırılan ergimiş metal içerisine değişik yöntemlerle katılmakta ve daha sonra döküm işlemi yapılmaktadır. Ergimiş metalin kalıba döküldüğü an sıvı metal karıştırma tekniğine uygun bir uygulamadır.

Plazma püskürtme; özellikle parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretiminde denenmiş bir yöntemdir. Plazma püskürtme yöntemi, atomize edilmiş ergimiş metal parçacıklarının takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesi ile yapılır. Püskürtülen ergiyik metal parçacıkları, takviye elemanlarına yapışmakta ve hızla katılaşmaya başlamaktadır. Bu tip üretim yöntemi alüminyum gibi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanır.

Çift fazlı üretim yöntemleri; Matris malzemesi, karıştırma üniteli bir ergitme fırınının içine yerleştirilip ergime sıcaklığının 40-50 ºC üzerinde ısıtılmakta, karıştırma işlemi ile sıcaklık homojenize edilmekte ve sıvı metal sıcaklığı kontrollü olarak düşürülmektedir. Alaşım %40-50 katı hale geldiğinde matris malzemesinin içine takviye malzemesi eklenmeye başlanmaktadır. Takviyenin ilavesi esnasında sıcaklık yükseltilmeye başlamakta ve takviyenin tamamı iyi şekilde ıslatılıncaya kadar sıcaklık arttırılarak karıştırma işlemi devam etmektedir. Düşük vizkoziteye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir, bu durumda yöntem “Rheocasting” adını

almakta eğer karışım sıvı sıcaklığı üzerinde karıştırılarak döküm gerçekleştirilirse "Compocasting" yöntemidir.

Vidalı ekstrüzyon; Polimer ürünlerin işlemleri için geliştirilen ve kullanılan vidalı ekstrüzyon yöntemi Dow laboratuarları tarafından Mg alaşımı esaslı kompozit malzeme üretimi için kullanılmıştır. Bu yöntemde matris malzemesini oluşturacak olan Mg küçük parçacıklar halinde takviye tozları ile birlikte bir haznenin içine doldurulur. Haznenin ağzı, hazırlanan karışımın, vidalı ekstrüzyon sisteminin içerisine kolayca doldurulabilmesi için uygun bir geometride yapılmıştır. Bu hazneden beraberce ilerleyen matris ve takviye malzemesi aynı anda hem ısıtılıp hem de karıştırılmaktadır. İlerleme esnasında matris malzemesi ergime sıcaklığı civarına geldiğinde yarı katı haldeki karışım sistemin sonundaki kalıp içine beslenir.

In-Situ tekniğinde; bir ötektiğin yönlenmiş olarak katılaştırılması ile iki fazlı bir yapı ortaya çıkmaktadır. Fazlardan biri matris diğeri ise matris içine dağıtılmış plaka şeklindeki fazdır. Uygulamaların çoğu alüminyum, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak yapılmaktadır. Tek bir işlemle elde edilirler ve içyapıları oldukça kararlıdır.

XD tekniği; Martin Marietta tarafından geliştirilen yöntem, takviye fazın sıvı metal içersinde bir bileşik ilavesi ile oluşturulması ilkesine dayanmaktadır. XD tekniği ile sıvı metal fazı içerisinde pek çok seramik bileşik oluşturulabilmektedir. Partiküller sıvı metalin içinde oluşturulduğundan tek kristalli ve oksitlenmemiş ara yüzeylere sahiptir. [17]

3.2.MMK'ların İşlenebilirliği

İşlenebilirlik terimi talaşlı işlemde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu bir özellik olmayıp karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliğidir. Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı ve tezgah ile oluşturduğu talaşlı işlem sistemi, kesme koşullarıyla birlikte yeni oluşan iş parçasının yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler. İyi işlenebilir bir malzemenin talaşlı işleminde kısa sürede yüksek talaş hacmi ile işlenmesi

ve yeni oluşan yüzeyin kaliteli olması (düşük yüzey pürüzlülüğü göstermesi) beklenir. Aynı zamanda takım malzemesinin işlem esnasında az aşınması ve böylece uzun ömürlü olması gerekir. İyi işlenebilirlik daima maliyet faktörünü göz önünde tutarak talaşlı işlemin ekonomik olmasını ön görür. İşlenebilirlik adı altında arzulanan özellikler, kesme operasyonuna bağlı kalınarak optimum verim alınacak şekilde belirlenir.

İşlenebilirliği etkileyen parametreler; Kesme takım aşınması ve takım ömrü, işlenecek malzemenin türü, yüzey ve alt yüzey bütünlüğü, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumudur.

MMK'ların işlenmesi, farklı fiziksel ve mekanik özelliklerdeki malzemelerin yapı içinde beraber bulunmalarından dolayı oldukça zordur. İşlemin zor olmasının sebeplerinden birisi metal matris malzemesine katılan takviye malzemesinin genellikle seramik esaslı malzemeler olmasıdır. Seramik malzemeler yüksek sertlik ve yüksek elastiklik modülüne sahip olmalarından dolayı takım aşınmasına ve kırılmasına sebep olurlar. MMK'ların oluşumunda yapıdaki malzemelerin farklı tipte olmalarından dolayı işleme metodu yapıdaki her malzemeye tek tek uymalıdır. Bu malzemelerin işlenmesinin zor olmasının verdiği en büyük endişe işlemedeki zorlukların sektördeki uygulamaların sayısını sınırlanmasıdır. [18]

Son yıllarda MMK'lar gibi yeni nesil malzemeleri kolay ve düşük maliyetlerle işleyebilmek için Modern İmalat Yöntemleri kullanılmaktadır. MMK'ların işlenebilirliği yapısındaki malzemelerin karakteristiği ile ilgilidir.

Tablo3.2. MMK'ların işlenebilirlik kriterleri [18]

İŞLENEBİLİRLİK		
Takviye Malzemesi	**Matris Malzemesi**	**Ara yüz Karakteristiği**
Tip(Kimyasal Birleşim, Sertlik) Takviyenin Şekli(Fiber, Partikül) Takviyenin Boyutu Takviyenin Hacimce Yüzdesi Takviyenin Matris İçindeki Dağılımı	Alaşımların Birleşimi Mikro Yapı Pekleşme Özelliği	Matris(Mekanik Birleşim, Kimyasal Birleşim) Takviye(Mekanik Birleşim, Kimyasal Birleşim)

3.2.1.Geleneksel yöntemler

Geleneksel yöntemlerde malzemeden talaş kaldırma işlemi, torna kalemi, freze bıçağı, taşlama taşı gibi kesici takımlar kullanarak yapılır. Mekanik kuvvet kullanılarak ve zorlama ile genellikle malzeme içinde plastik deformasyon ve kayma gerilmeleri yaratarak, malzeme üzerinden talaş kaldırılır. Gerilme ile talaş kaldırma tüm geleneksel yöntemlerin ortak özelliğidir. Geleneksel yöntemlerde kesici takım ile iş malzemesi arasında talaş kaldırma işlemi sırasında sürekli olarak birbiri ile fiziksel temas halindedir. Talaş kaldırma işlemi özelliği olarak, geleneksel yöntemlerin işleme özellikleri ve sınırları, iş malzemesinin mekanik özellikleri ile sınırlıdır. Akma gerilmesi yüksek olan malzemelerin, geleneksel yöntemlerle işlenmesinde önemli sorunlar olabilir. Bu sorunların çözümü için çok pahalı ve özel takımlar gerekebilir. Takım ve iş malzemesi arasındaki göreli hareket, ya düzlemsel/doğrusal ya da daireseldir. Bu durumda elde edilen iş malzemesi yüzeyleri de, düzlem ya da silindirik olmaktadır. Böylece geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilebilecek iş parçası şekilleri sınırlı kalmaktadır. Takım ile malzeme arasındaki fiziksel temas ve kuvvet uygulanma zorunluluğu nedeni ile takım boyutlarının çok küçük olması mümkün

değildir. Bu nedenle küçük boyutlu işlerin geleneksel yöntemlerle işlenmesi zordur. Benzer nedenlerle çok büyük boyutlu malzemelerin de işlenmesi güçtür. Geleneksel yöntemler daha çok orta boyutlu işler için uygundur.

Geleneksel imalat yöntemlerinin ortak bazı sınırlamaları ve zayıflıkları şunlardır:

- Takım aşınması kaçınılmazdır.
- Takım aşınmasının önceden tahmini çok zordur.
- Takım malzemesi, iş malzemesinden daha sert ve daha yüksek nitelikli olmalıdır. Bu durum iş malzemelerinin çeşidini sınırlar.
- Yüksek dayanımlı malzemeler için yüksek kesme kuvvetleri gerekir. Bu durum hassasiyet sorunları ile birlikte tezgah tasarımında önemli kısıtlamalar ve teknolojik sorunlar yaratır.
- İşleme hızı malzeme dayanımı ile ters orantılıdır. Bu durum yeni gelişen üstün nitelikli malzemelerin kullanımını kısıtlar.
- Kesme bölgesindeki ısınma işleme hızını etkiler ve sınırlar.
- Talaş kaldırma sadece doğrusal ve dairesel olabilir.
- Takım titreşimi her zaman önemli bir sorun olur.
- Kesici takımların küçük boyutlarda üretimi mümkün değildir. Bu durum ise iş boyutlarını sınırlar.

3.2.2.Modern imalat yöntemleri

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte birçok sektörde teknolojik malzeme ihtiyacı da artış göstermiştir. İstenen bu teknolojik malzemeleri üretmek için, geleneksel imalat yöntemlerinden olan tornalama, frezeleme, taşlama vs. gibi yöntemler belli bir aşamadan sonra yetersiz kalmıştır. İmalatın temel gereği olan düşük maliyet ve yüksek ürün kalitesi ilkesini daha iyi bir şekilde karşılamak için arayışa giren imalatçılar yeni yöntemler geliştirerek 2.Dünya Savaşı sonrasında modern imalat yöntemlerini kullanmaya başlamışlardır. Günümüzde 80 civarında modern imalat yöntemi bulunmaktadır. Fakat bunlardan 56 tanesi deney aşamasını geçmiştir. [19]

Malzeme işleme yöntemleri; geleneksel imalat yöntemleri ve modern imalat yöntemleri olmak üzere 2 gruba ayrılır:

Geleneksel yöntemler kesici uçların belirli ilerleme hızlarıyla iş parçasına temas ederek talaş kaldırması esasına dayanırlar. Bu temas sonucunda önemli derecede takım aşınması meydana gelir. Bu da geleneksel imalat yöntemlerinin büyük bir dezavantajıdır.

Modern imalat yöntemleri üstünlüklerinden dolayı 1950'lerden günümüze geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Malzeme işleme kabiliyetlerinin çok yüksek olması imalatçıların en önemli tercih sebebidir. Minyatür boyutlardaki malzemeleri ayrıntılı bir şekilde kusursuz olarak işleyebilirler. [19]

Modern imalat yöntemlerinin sunduğu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek tamlık ve bitmiş yüzeyler,
- Takımın iş parçasına direkt temasının olmaması, böylece aşınmanın az olması,
- Takım ömrünün uzun olması,
- İşlemin daha sessiz olması,
- Çok küçük boyutlardaki malzemeler işlenebildiğinden malzeme sarfiyatının minimum olması

Modern imalat yöntemlerinin sunduğu dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması,
- Karmaşık bir kurulum,
- Nitelikli operatör ihtiyacı,

Modern imalat yöntemlerinin üstünlükleri şunlardır:

Bütün modern imalat yöntemlerinin kendi malzeme işleme mekanizmalarına ve teknolojik gelişmişliklerine göre çeşitli düzeylerde üstünlükleri ve sınırlamaları bulunmaktadır. Modern imalat yöntemleri bütün bir grup olarak ele alındığında, bu

yöntemlerin ortak özellikleri belirginleşmekte ve buna bağlı olarak modern imalat yöntemlerinin üstünlük ve sınırlamaları belirlenebilmektedir. Bu kapsamda belirlenen Modern imalat yöntemlerinin geleneksel yöntemlere göre genel düzeyde belirlenmiş üstünlükleri şunlardır:

Malzeme işlenebilirliği; Metalurji mühendisliğinde son yıllarda yaşanan gelişmeler sonunda geleneksel mühendislik malzemelerinden çok daha iyi özelliklere sahip yeni malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemeler, tasarım ve imalat mühendislerinin kullanımına sunulmuştur. Bu gelişmeler özellikle elektronik ve havacılık endüstrisinde yaşanmış ve teşvik edilmiştir. Geliştirilen yeni malzemeler geleneksel malzemelere göre genellikle daha sert ve daha yüksek dayanç özellikleri taşımaktadır. Bu malzemelere örnek olarak seramik ve seramik tabanlı takım malzemeleri, lif destekli kompozit malzemeler, karbidler, titanyum vb. malzemeler verilebilir. Yeni malzemelerin geleneksel takımlarla işlenmesinde karşılaşılan zorluklar imalat mühendislerini yeni imalat yöntemleri aramaya ve geliştirmeye yönlendirmiştir. Yeni imalat yöntemlerinin yeni malzemelerin sertlik, dayanım ve diğer mekanik özelliklerinden etkilenmemesi için işleme mekanizmasında ısıl enerji, elektrik enerjisi veya atomik boyutta mekanizmaların kullanılması sağlanmıştır. Böylece yeni malzemelerin işlenebilmesi başarılmış ve kullanımı yaygınlaşmıştır.

İş parçası şekli; modern imalat yöntemleri kesici takımlara verilen hareketlerin sınırlı olması nedeni ile birkaç ayrıcalık dışında düz yüzey veya silindirik yüzeylerle sınırlıdır. Buna örnek olarak, dairesel deliklerin modern yöntemlerle delinmesi veya açılması çok kolay olmasına karşın, dairesel olmayan (Örneği kare delik) deliklerin delinmesi çok zordur. Bu sınırlama birçok durumda tasarım değişikleri ile çözülmeye çalışılsa da her zaman için önemli bir sınırlama olmaktadır. Buna karşın dairesel olmayan deliklerin modern imalat yöntemleri ile delinmesi veya açılması dairesel delikler kadar kolay ve basit bir işlemdir. Benzer şekilde geleneksel yöntemlerle ulaşılamayan alanların işlenmesi, çok küçük boyutlu hacimlerin işlenmesi, çok küçük boyutlu deliklerin delinmesi modern imalat yöntemleri için kolay ve basit uygulamalar olmaktadır.

Otomatik veri aktarımı; geleneksel yöntemler temel olarak mekanik kuvvet uygulaması ilkesine dayandığı için, kesme, tezgah ve takım kuvvetlerinin çağdaş NC,

CNC, CAD/CAM veya CIM gibi çağdaş denetim sistemlerine veri ve bilgi aktarılmasında zorluklar bulunmaktadır. Anılan denetim sistemlerinin imalat mühendisliğinde çok önemli olumlu katkılar yaptığı ve imalat giderlerini azalttığı bilindiğinden bu yöntemlerin uygulamasının yaygınlaşması istenmektedir. modern imalat yöntemleri işleme mekanizmalarının gereği veri aktarımına uygun özellikler taşımaktadır. Bu nedenle de çağdaş denetim teknolojilerine kolay uyum sağlanabilmiştir. Hemen hemen bütün modern imalat yöntemleri gelişme aşamalarında bu yöntemleri uygulamış ve bu yöntemlerin sağladığı üstünlükleri kullanmışlardır.

Hassasiyet istemleri; Tasarım mühendisliği ve müşteri istemlerinin eğilimi giderek daha hassas malzeme işleme mekanizmaları gerektirmektedir. Bu eğilimin önümüzdeki yıllardaki beklentisi alışılmış talaş kaldırma boyutlarının çok altında, atomik parçacıklar düzeyinde işleme olanağının sağlanmasıdır. Nanoteknoloji olarak bilinen bu boyutlarda geleneksel yöntemlerin ve hatta bazı modern imalat yöntemlerinin de kullanılma olanağı kalmamakta, bu yöntemlerin yerini atom düzeyinde parçacıkların yer değiştirmesine dayalı işleme yöntemleri almaktadır. Bu olağanüstü durum gerek yeni tasarımlarda ve gerekse ürün bazında müşteri beklentilerinde devrim yaratacak bir niteliktedir. Bazı modern imalat yöntemlerinin ise malzemeleri ince yüzey tabakalarında işleme olanağı vermesi sonucu yine geleneksel yöntemlere göre karşılaştırma yapılamayacak düzeyde hassas işleme olanağı sağlamaktadır. Sağlanan bu hassas işleme olanaklarının doğal sonucu olarak giderek ürün nitelikleri ve buna bağlı performansları değişmiş ve gelişmiştir.

Minyatürleşme; Son yıllarda gözlenen bir başka eğilim ise giderek iş parçası boyutlarının küçülmesidir. Bunun sonucu olarak daha az malzeme kullanılmakta ve daha hızlı işleme sağlanmaktadır. Bu durumda imalat maliyetleri azaltıldığı gibi çok daha iyi nitelikli fakat pahalı malzeme kullanma olanağı doğmaktadır. Ayrıca gelişen mikro makineler ile daha önce olanaksız olarak kabul edilen yeni uygulama alanları ve teknolojiler yaratılmıştır. Gelişen duyucu (sensör) teknolojisi ile bu eğilim daha da kuvvetlenmiştir. Bugün çok küçük boyutlu sensörlerin ve motorların mekatronik kavramlar çerçevesinde entegrasyonu ile daha önceleri yapımı olanaksız kabul edilen birçok ürün geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. [19]

Modern imalat yöntemleri yaygın olarak kullandıkları enerjiye göre sınıflandırılırlar:

- Mekanik enerji kullanan yöntemler
- Elektrokimyasal enerji kullanan yöntemler
- Kimyasal enerji kullanan yöntemler
- Isıl enerji kullanan yöntemler

3.2.2.1.Mekanik enerjili yöntemler

İş parçası üzerinden malzeme işlemek için mekanik enerji kullanan yöntemlerdir. Çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme yaratması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su ya da havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerin elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğüdür. Mekanik enerjili yöntemlerin içinde en geniş endüstriyel uygulama alanı bulmuş yöntemler Aşındırıcılı Su Jeti, Su Jeti ve Aşındırıcılı Jet ile işlemedir. Diğer yöntemler özel endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

3.2.2.2.Kimyasal enerjili yöntemler

Kimyasal enerji kullanan modern imalat yöntemlerinin ortak özelliği, kontrollü kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenebilmesidir. Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür ya da iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı/ derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025mm/dk doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır.

3.2.2.3.Elektrokimyasal yöntemler

Elektro-kimyasal işleme yöntemleri, geleneksel olmayan işleme yöntemleri içinde potansiyel olarak en yüksek değere sahiptir. Halen görülen bazı sorunların çözülmesi durumunda bu grup yöntemler birçok işlemlerin yerini alacaktır.

Elektro-kimyasal işleme yöntemlerinin malzeme işleme ilkesi çok eskidir. Temel olarak elektroliz olayına dayanır. Anot (+ kutup) iş parçası olarak, katot (- kutup) ise şekilli takım elektrot olarak uygun bir elektrolitik sıvı içine daldırılır. Elektrotlar arasına uygulanan düşük gerilim (4-30 V de) ve yüksek akım (20000 ampere kadar) elektrik potansiyeli sonucu anottan (+) iyonlar elektrolitik sıvı içine dağılır. Genellikle seyreltik tuz eriyiği olan elektrolitik sıvı içinde bu iyonlar metal-hidroksitleri oluşturur. Anottaki iyon oluşumu akım yoğunluğuna bağlı olduğundan, takım elektrot (katot) şeklinin dişisi, iş parçasına (anot) işlenmiş olur. Sıvı içindeki metal-hidroksitler, sıvı ile taşınarak filtre edilir.

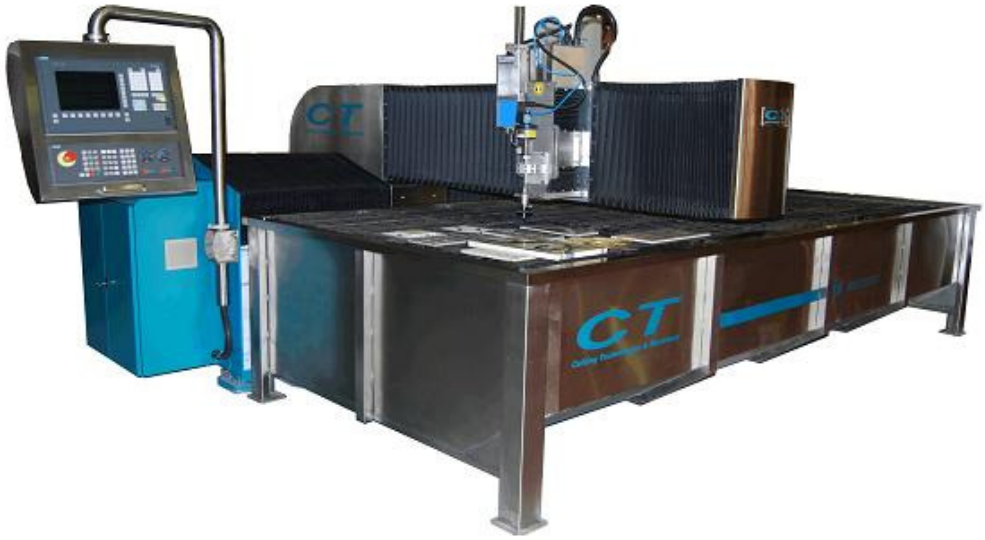
3.2.2.4.Isıl enerjili yöntemler

İş parçasından malzeme işlemek için yoğunlaştırılmış ısıl enerji kullanan yöntemlerdir. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron hüzmesi ve laser ışını gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bütün yöntemlerde ulaşılan odak sıcaklıkları, bilinen bütün malzemelerin ergime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısıl enerji kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemeleri işlemek mümkündür. Bu gruba giren yöntemler, işleme mekanizması bakımından diğer gruplara göre daha fazla çeşitlilik gösterirler. Grup içinde özellikle Electro Discharge Machining ve Laser Beam Machining çağdaş teknolojide çok önemli bir yer almıştır. Diğer yöntemlerin de endüstriyel uygulamaları çok fazladır.

3.3.Su Jeti ile İşleme

Mekanik enerjili yöntemlerden olan su jeti ile işleme metodu sağladığı avantajlardan dolayı son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu yöntemde su, herhangi bir malzemeye belli bir basınç ve hızla sürekli temas

ettiğinde malzemede aşınmadan dolayı deformasyona sebep olur. Basınç ve hız parametrelerini işlenmek istenen malzemenin dayanımına göre yeterli oranlarda artırırsak su jeti teknolojisinin temel mantığını uygulamış oluruz. Ancak, bazı durumlarda malzemeye yüksek hız ve yüksek basınç takviyesi yapsak dahi malzemeyi işlemek mümkün olmaz. Böyle durumlarda suyun içine aşındırıcı malzeme katmak gerekir. Suya katılan aşındırıcı malzeme basıncın etkisiyle yüksek hızlarda malzeme yüzeyine çarparak deformasyon oluşturur. Bu deformasyon sayesinde malzeme işlenmiş olur. Bu şekilde, suya aşındırıcı katılarak yüksek basınç ve hızlarda malzeme işlemeye 'aşındırıcılı su jeti ile işleme'(ASJ) adı verilir. İstenen her türlü malzeme bu yöntemle işlenebilir. Su jeti sayesinde en az malzeme kaybı ile yüzeyde ısıl gerilmeler oluşturmadan işlem yapılabilir. Malzeme işlendikten sonra yerine farklı tip bir malzeme işlenmek istenirse makinenin ayar süresi ve operasyonel işlemler kolaylıkla yapılabilir. Böylece zamandan tasarruf sağlanır. Konvensiyonel tezgahlardaki gibi takım aşınması olmadığından takım maliyeti ortadan kalkmış olur. İşlenecek malzeme ile su jetinin nozulu birbirine temas etmeden operasyon tamamlanmış olur.

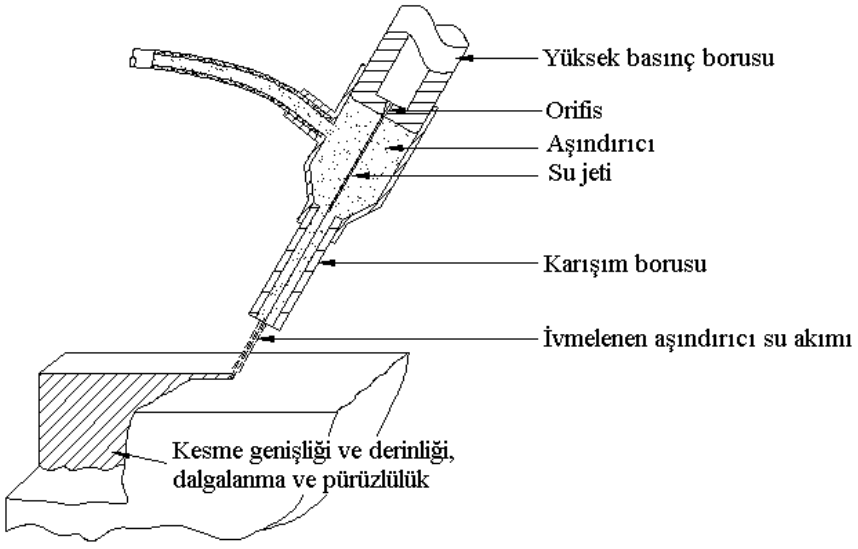


Şekil 3.1. Su jeti tezgahı [20]

Su jeti ile kesme yöntemi, kalınlıkları 0,1 mm'den 200 mm'ye kadar sert veya yumuşak ayrımı olmaksızın, yeryüzündeki tüm malzemeleri 0,1 ila 1,1 mm arasında su veya su-aşındırıcı karışımı hüzmesi ile kesebilen bir teknolojidir. [20]

Su jeti teknolojisi aşındırıcılı ve aşındırıcısız sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. İlk defa 1970' lerde kullanıma giren aşındırıcısız sistemler sadece Su jeti sistemleri olarak da adlandırılırlar. Isıl gerilmeler ve radyasyon oluşturmadan parlak ve kompozit malzemeler dahil, hemen her türlü malzemeyi kesip işleyebilen ASJ sistemleri 1982'den sonra metal endüstrisinde ön plana çıkmıştır. ASJ sistemlerinin lazer, elektron ışınlı ve plazma ark kesme sistemlerine göre ilk yatırım maliyetleri ve içerdiği kesme özellikleri yönünden kesin üstünlük sağlamaları aşındırıcılı sistemlerin kullanımlarının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Ayrıca, frezeleme işlemlerinde konvensiyonel talaş kaldırma sistemlerine, kesme kalitesi ve karmaşık şekilleri kesme yönünden üstünlük sağlamışlardır.

Su jeti sistemleri kesilen yüzey kalitesi, kesme hızı, uçucu kesme tozu çıkarmaması; aşındırıcısız sistemlerin gıda endüstrisi gibi sıhhi uygulamalarda kullanılabilir olması, kesme kuvvetlerinin çok küçük olması, sert, yumuşak, yapışkan malzemelerin aynı nozulla kesilebilmeleri, ince parçaların üst üste konularak aynı anda kesilebilmeleri gibi çok sayıda üstünlük sağlarlar.



Şekil 3.2. Su jetinin kısımlarının şematik gösterimi[13]

3.3.1.Su jeti ve Aşındırıcılı su jeti

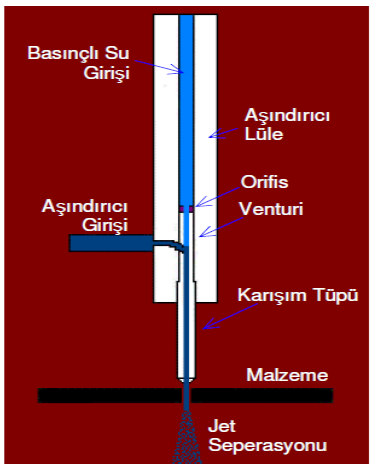
Su jeti teknolojisi ile yalın su ile kesim ve abrasivli kesim olmak üzere iki temel kesme çeşidi vardır.

3.3.1.1.Su jeti ile kesim:

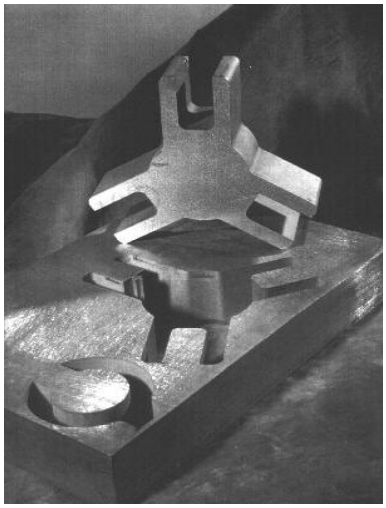
Malzeme üzerine fışkırtılan suyun içine herhangi bir yardımcı madde karıştırılmadan yapılan kesimdir. Nispeten yumuşak maddeler diyebileceğimiz; lastik, kauçuk, kumaş, deri, ince plastik, sünger, et, balık, kek, dondurma gibi malzemeleri kesmek için kullanılır. Kullanılan meme çapının küçük olması nedeniyle, küçük güçlü pompalar veya orta güçte pompalarla birçok kesme kafası kullanılabilir.

3.3.1.2.Aşındırıcılı su jeti ile kesim:

Fışkırtılan suyun içine abrasiv (granat, garnet adı verilen bir çeşit quarz kum) karıştırılarak yapılan kesimdir. Çok sert ve kalın malzemeler de olmak üzere, çelik, cam, granit, mermer, seramik, titanyum, alüminyum, tüm renkli metaller, ahşap, plastik gibi neredeyse yeryüzündeki tüm malzemeleri ASJ ile kesmek mümkündür.



Şekil 3.3. ASJ'nin Bölümleri



Şekil 3.4. ASJ ile kesilmiş paslanmaz çelik (çelik blok kalınlığı=50mm) [21]



Şekil 3.5. ASJ yöntemi ile kesilmiş karmaşık şekilli ürünler [21]

Bazı endüstricilerin ve üreticilerin söylediğine göre ASJ'nin freze ile yüzeyde serbest formda kullanılması başarılı bir üretim sağlar.

Su jeti ve ASJ üretim endüstrisinde başarılı nüfuz etme açısından önemli karakteristik avantajlar gösterir. Hızlı kurulum ve programlamaya elverişlidir. Çok küçük parçaları kesebilir. İşleme boyunca çok düşük güçler harcanarak çalışılabilir. Hemen hemen ısıya hiç ihtiyaç duyulmaz. Kalın plakalar işlenebilir.

Su jeti hesaplamalarında aşağıdaki formüllerden yararlanılmaktadır:

Su jetinin hızı;

$$v_{wj} = \Psi \sqrt{\frac{2p_w}{\rho_w}} \quad \textbf{(3.1)}$$

eşitliğinden hesaplanabilir.

Burada;

v_{wj} = Su jetinin hızı,

P_w =suyun basıncı,

ρ_w = suyun yoğunluğunu ifade eder.

Ψ =Orifisin hız kat sayısıdır.

Suyun akış oranı;

$q_w = \emptyset \times v_{wj} \times A_{orifice}$ formülünden hesaplanır. **(3.2)**

Bu formülde;

ϕ= vena-contracta kat sayısı,

c_d= orifisin boşaltım kat sayısı,

q_w =Suyun akış oranıdır.

Su jetinin toplam gücü,

$$P_{wj} = p_w \times q_w \quad \textbf{(3.3)}$$

$$q_w = c_d \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \times \sqrt{\frac{2p_w}{\rho_w}} \quad \textbf{(3.4)}$$

$$P_{wj} = c_d \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \times \sqrt{\frac{2p_w^3}{\rho_w}} \quad \textbf{(3.5)}$$

formülleri ile bulunur.

R=Yük faktörü

$$R = \frac{m_{abr}}{m_w} \tag{3.6}$$

ASJ'nin hızını;

$$v_{awj} = \eta \frac{1}{(1+R)} v_{wj} \tag{3.7}$$

Burada η=Momentumun kayıp faktörüdür.

ASJ ile işleme sisteminde kullanılan parametre aralıkları aşağıda:

Orifis-Safir: 0.1mm-0.3mm

Odaklama tüpü: WC-0.8mm-2.4mm

Basınç: 2500bar- 4000bar

Aşındırıcı-garnet ve olivin: 125mesh-60mesh

Aşındırıcı akışı: 0.1Kg/dk-1 Kg/dk

Uzaklık mesafesi: 1mm-2 mm

İşleme darbe açısı: $60^{o'}$ - $90^{o'}$

İlerleme hızı: 100mm/dk-5m/dk

Kesme derinliği: 1mm-250mm olarak verilmiştir.

Sünek malzemelerin ASJ ile işlenmesinde talaş kaldırma genellikle düşük açılar ile aşındırıcılı parçacıklar sürülerek ve mikro kesme ile yapılır. Gereğinden daha fazla açıyla çalışılması malzemede plastik deformasyona ulaşmada sorun yaratır. ASJ'de gevrek malzemelerde talaş kaldırılırken malzemeler çatlamaya başlar ve çatlak yayılır. Çünkü malzeme kırılgandır.

Su jeti ile işlemede talaş kaldırma oranı Su jetinin gücü ile orantılıdır.

$$MRR = u \times c_d \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \times \sqrt{\frac{2p_w^3}{\rho_w}} \tag{3.8}$$

$$P_{abr} = \frac{1}{2} m_{abr} v_{awj}^2 \tag{3.9}$$

$$P_{abr} = c_d \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \times R\left(\frac{\eta}{1+R}\right)^2 p_w^{3/2} \sqrt{\frac{2}{\rho_w}} \tag{3.10}$$

$$MRR = Q = \frac{P_{abr}}{u_{job}} \quad \textbf{(3.11)}$$

Formülde,

U_{job}=ASJ'de bir malzemeden talaş kaldırmak için gereken özel enerjidir.

Talaş kaldırma oranı;

$$MRR = h_t \times w \times V_f \quad \textbf{(3.12)}$$

h_t =delme derinliği

w=çentiğin genişliği

d_i =odaklama tüpünün ya da nozulun çapı

V_f =ASJ'nin ya da kesme hızının hareket hızı

Böylece,

$$MRR = h_t \times d_i \times V_f \quad \textbf{(3.13)}$$

$$h_t = c_d \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \times R\left(\frac{\eta}{1+R}\right)^2 \frac{p_w^{3/2}}{u_{job} d_i v_f} \sqrt{\frac{2}{\rho_w}} \quad \textbf{(3.14)}$$

Genellikle talaş kaldırma oranı aşağıdaki formül ile hesaplanır

$$MRR = \xi \frac{P_{abr}}{u_{job}} \quad \textbf{(3.15)}$$

Burada ξ katsayı, birkaç faktör için hesaplanır; aşındırıcının sertliği ve ağırlığı, aşındırıcının gevrekliği, uzaklık, homojenlik prosesi vb…

Bu yüzden,

$$h_t = \xi c_d \times \frac{\pi}{4} d_0^2 \times R\left(\frac{\eta}{1+R}\right)^2 \frac{p_w^{3/2}}{u_{job} d_i v_f} \sqrt{\frac{2}{\rho_w}} \quad \textbf{(3.16)}$$

$$h_t = K \frac{R^2}{(1+R)^2}$$

Burada K sabittir.

$$\frac{\partial h_t}{\partial R} = K(1+R)^2 - 2R - 2(1+R)R^2 = 0$$

R=1

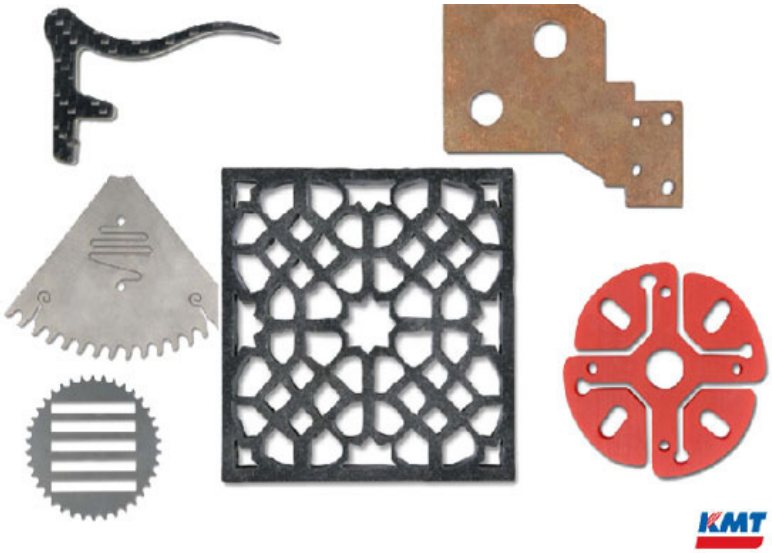
Böylece, meydana gelen penetrasyonun maksimum teorik derinliği R=1'dedir. Bununla birlikte, pratikte maksimum ht değeri R=0,5'ten 0,6'ya giderken elde edilmiştir.

Tablo 3.3. Su jeti ve ASJ kesim hızları [20]

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme Hızları (mm/dk)
Yalın su ile kesim		
Kauçuk	2	25.000
	10	10.000
	20	2.000
Plastik PU	2	20.000
	5	8.000
	10	3.000
Plastik PTFE , PVC	2	6.000
	5	2.000
	10	800
Kontraplak	2	25.000
	5	4.000
	10	500
Kontraplak	10	25.000
	100	5.000
Abrasivli Kesim		
Paslanmaz Çelik	10	230
	40	50
	100 (max.)	5
Titanyum	10	270
	40	55
	100 (max.)	20
Alüminyum	10	700
	40	140
	120 (max.)	35
Mermer	10	800
	40	150
	120 (max.)	40
Cam	10	600
	40	120
	102 (max.)	33

3.3.2. Su jeti ve aşındırıcı su jeti ile kesilebilecek malzemeler:

İleri imalat yöntemlerinden olan su jeti ile hemen hemen her türlü malzemeyi en ayrıntılı şekilde kesmek ve işlemek mümkündür. Saf su ile kesimin yetersiz olduğu bazı durumlarda sert malzemeleri kesmek için suya çeşitli aşındırıcı malzemeler katılıp kesme işlemi tamamlanır.



Şekil 3.6. Su jeti ile kesilen karmaşık şekilli malzemeler [4]

3.3.2.1.Su jeti ile kesilen malzemeler:

- Lastik, plastik türevleri
- Ağaç ve ağaç ürünleri
- Yer kaplama malzemeleri
- Sünger, polyurethan, köpük
- Kumaş, deri – tekstil ürünleri
- Paspas, halı
- İzolasyon malzemeleri
- Conta malzemeleri
- Dondurma, kek, balık, et

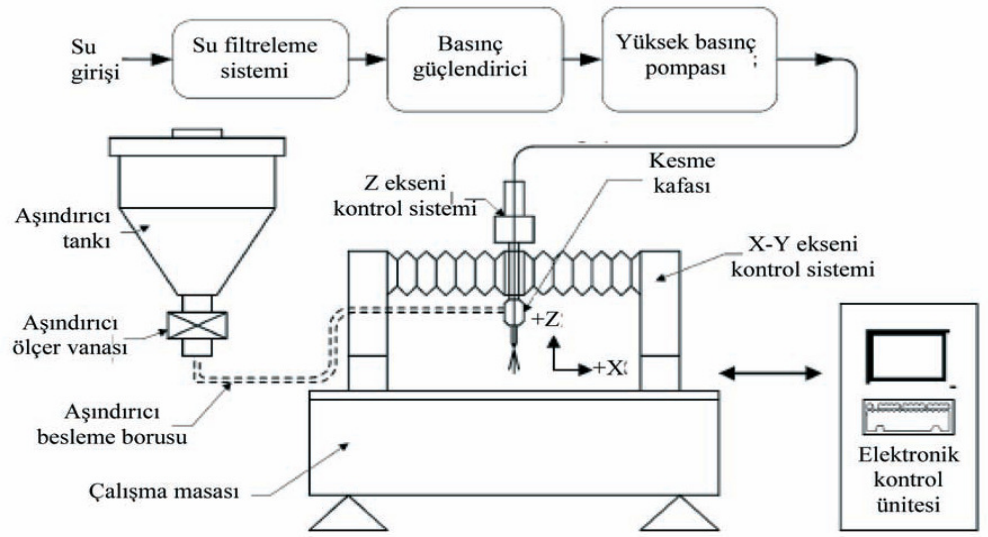
3.3.2.2.Aşındırıcılı su jeti ile kesilen malzemeler:

- Karbonlu ve paslanmaz çelikler
- Titanyum, tungsten alaşımları, tüm sert metaller
- Alüminyum, bakır, pirinç, kurşun, bronz tüm yumuşak metaller
- Karbon, Kevlar, Lastik kaplı metaller, kompozitler
- Mermer, Granit, Seramik, PVC, teflon

- Kurşun geçirmez, lamine camlar
- Yeryüzündeki tüm malzemeler

3.3.3.Su jeti ile kesme prensibi ve sınıflandırma

Su jeti kesme sistemi, basıncı artırılan suyun bir lüleden geçirilmesiyle elde edilen yüksek hızlardaki su jeti hüzmesinin veya aşındırıcı ile su jeti karışımının, çarpma etkisiyle malzemeden parçacıklar aşındırması ve bunun sonucu olarak parçanın işlenmesi esasına dayanır. Kısaca, Su jeti teknolojisi aşındırıcılı ve aşındırıcısız sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Su jeti ile kesme teknolojisi 1970'li yılların başından itibaren, ASJ ise 10 yıl kadar sonra ortaya çıkmışlardır. Her iki teknoloji de yukarıda da bahsedildiği üzere temel prensip olarak çok yüksek basınçlardaki suyun çok küçük çaplı bir delikten geçirilmek suretiyle hızlarının arttırılması sonucu kazandıkları enerji ile kesme işlemini gerçekleştirirler. Su jeti 'orifis' diye tabir edilen lüleden çıkan su hüzmesini yumuşak malzemelerin kesiminde kullanır. Fakat Su jeti sert malzemelerin kesimi için uygun değildir. Su genelde 1300-4000 bar gibi bir basınçlara yükseltilir ve 0,18-0-4mm çaplı bir nozuldan çıkması sağlanarak hızı arttırılır. ASJ ise, aynı su hüzmesi aşındırıcı parçacıklara, iş parçasını kesilebilmesi için yeterli hızı kazandırır.



Şekil 3.7. ASJ'nin Çalışma Prensibi[2]

3.3.4. Su jetinin kısımları

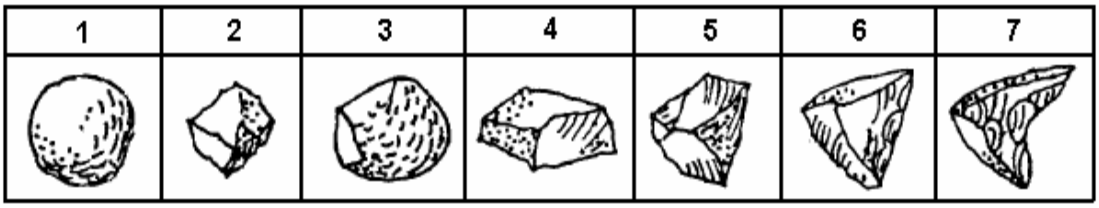
Bu sistemlerin temel elemanları su arıtma ünitesi, düşük basınçlı su pompası ve elektrik motoru, hassas ve çok kademeli su filtreleme sistemi, basınç yükseltme ünitesi ve ilgili kontrol ünitesi, yüksek basınç hortum ve çek-valfleri, aşındırıcı besleme, aşındırıcı geri kazanma, lüle ve karıştırma tüpünü içeren nozul ve nozulun hareketini sağlayan nümerik kontrollü X-Y-Z tablasından oluşur. ASJ sistemlerinin en önemli elemanı basınç yükseltme ünitesidir. Basınç yükseltme ünitesinde yüksek basınç, pistonlu pompalar grubu, çift etkili ve fazlı-çift etkili basınç arttırma yöntemlerinden biri kullanılarak elde edilir. Aşındırıcılı sistemlerde çapı 0.25mm ile 0.40 mm arasında değişen lüleden yüksek hızla itilen suya lüle çıkışında, çapları 10 ile 150 mm arasında değişen aşındırıcılar eklenir. Su ve aşındırıcı, karıştırıcı adı verilen kısımda karıştırılır ve karışım tekrar odaklanabilmesi amacıyla odaklama tüpü adı verilen tüpten geçirilerek işlenecek yüzeye gönderilir. Lüle, karışım ve odaklama tüpü gibi elemanlardan oluşan kesici kısım ise nozul olarak adlandırılır. Aşındırıcı katkısı ile suyun sahip olduğu kesme kabiliyeti arttırılmıştır. Bu nedenle aşındırıcılı su jeti, katmanlarına ayrılmayan malzemeler hariç hemen tüm malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir. En sık kullanılan aşındırıcılar silis (kuvars) kumu, silisyum karbid (karbür), cam, çelik, titanyum ve grena (garnet) taşı tanecikleridir. Aşındırıcılar, şekillendirilmiş ve sınıflandırılmış olarak temin edilebilirler.

3.3.5. Aşındırıcı türleri

Aşındırıcı malzemenin karakteristiğini oluşturan ve ASJ performansını önemli ölçüde etkileyen aşındırıcı tane özellikleri şunlardır:

- Tane yapısı (Kafes yapısı, kristalografik grup ve simetri, kimyasal içerik, kırılma özellikleri)
- Tane sertliği
- Tane mekanik özellikleri
- Tane şekli
- Tane boyut dağılımı
- Ortalama tane boyutu

Aşındırıcı tozun keskin köşeli oluşu talaş kaldırma işlemini önemli ölçüde kolaylaştırır.



Şekil 3.8. Aşındırıcı Şekilleri

Garnet; ($Fe_2O_3Al_2(SiO_4)_3$), ASJ ile kesme işleminde en yaygın kullanılan aşındırıcıdır. Fiyatı, ortalama 1€/kg'dır. Fakat bazı özel durumlarda daha hassas işleme istendiğinde küçük elek boyutunda garnet kullanmak gerekir. Bu tip özel durumlarda daha küçük boyutlu garnetlerin fiyatları da artış göstermektedir. Garnet genellikle; Avustralya ve Hindistan'dan temin edilmektedir. [22]



Şekil 3.9. Garnet

Aşağıda garnet tozuna ait özellikler verilmiştir.

Tablo3.4. Garnet aşındırıcının kimyasal bileşimi

GARNET KİMYASAL BİLEŞİMİ	
SiO_2	36%
Al_2O_3	20%
FeO	30%
Fe_2O_3	2%
TiO_2	1%
MnO	1%
CaO	2%
MgO	6%
Toplam klorür	< 0,0025%
Serbest demir	< 0,01%
Bakır	< 0,01%
Diğer ağır metaller	< 0,01%
Sülfür	< 0,01%

Tablo3.5. Garnet aşındırıcısının mineral bileşimi

GARNET MİNERAL BİLEŞİMİ	
Garnet (almandit)	97-98%
Ilmenit	1-2%
Zirkon	< 0,2%
Kuvars (serbest silica)	< 0,5%
Diğer mineraller	<0,25%

Tablo3.6. Garnet aşındırıcısının fiziksel bileşimi

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Kütle yoğunluğu	2,38 T/m^3
Özgül ağırlık	4,10 g/cm^3
Sertlik	7,5-8 mohs
Ergime noktası	1250 ^oC
Şekil	Düzensiz, keskin köşeli, kübik yapılı
Renk	Kırmızı-pembe





Şekil 3.10. Garnet kumu

Garnetin Avantajları;

- Ağır metaller veya toksik maddeler ihtiva etmez ve tüm İşçi Sağlığı ve İş güvenliği gerekliliklerini karşılar.
- Tane büyüklüğü, yoğunluk ve sertlik/dayanıklılık arasında mükemmel uyumu yakalamıştır. Bu sayede güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamında yüksek üretim hızı, düşük aşındırıcı tüketimi ile optimum aşındırıcı verimliliği sağlanmıştır.
- Düşük tüketim(kg/m2) ve yüksek üretim sağlaması nedeniyle silika kumu, çelik ve mineral gritlerine nazaran ekonomik bir seçenektir.
- Düşük kırılganlık ve yüksek sertliği sayesinde, yapılan uygulamaya bağlı olarak 5-10 defa tekrar kullanılabilir.
- Mineral saflığının yüksek tutulması için en yüksek standartlarda işlenir ve ISO 11126-10:2000E 'nin klorür ve serbest silika içeriği ile ilgili sınırlamalarını fazlasıyla karşılar.

- Metalik demir içermez, bu sayede paslanmaz çelik, anti-manyetik çelik ve tüm özel alaşımların yüzey hazırlığında kullanılabilir. Özel ince taneli Garnet kullanılarak, alüminyum, türbin kanatçıkları, fiberglas ve diğer özel yüzeyler hazırlanabilir.

Garnet, sektörlerinin önde gelen tersaneleri, petrol şirketleri ve boya üretici firmaları tarafından onaylanmış ve kullanılmaktadır.

3.3.6. Su jetinin kullanım alanları:

Elektronik sektörü; Su jeti kesme sistemleri, elektronik sektöründe, Avrupa'nın lider elektronik kart ve bilgisayar üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Sistem, tüm elektronik kart malzemeleri üzerinde denenmiş ve üretim hızını önemli ölçüde artırdığı, kesme yüzey kalitesini iyileştirdiği ve toz oluşumunu elemine ettiği kullanıcılar tarafından tespit ve ifade edilmiştir.

Otomotiv sektörü ve yan sanayi; Su jeti ile kesme sistemleri otomotiv sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Sistem halı, araba ön paneli, gösterge panosu, fiberglas yaylar, yakıt tankı korumaları, koltuk arkalıkları ve asbestos fren balataları gibi metal, kompozit ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Tekstil ve giyim sektörü; Kumaş, çok esnek ve yumuşak olduğu için sistemde beslenmesi ve kesimi geleneksel yöntemlerle oldukça zordur. Çünkü, kumaşla temas halindeki kesici bıçak kesimi güçleştirir. Bu işlemi basitleştirmesi ve hızlandırması nedeniyle su jeti kesme sistemleri daha uygundur. Normal kesicilerle daha doğrusal kesimler yapılabilirken, su jeti kesme sistemiyle daha kompleks ve detaylı parçalar daha hassas şekilde işlenebilmektedir. Farklı modeller arasında geçiş bilgisayar kontrollü su jeti sistemleriyle daha da kolay olmakta, işlem hızı, kesici uç değiştirme gibi bir problem söz konusu olmadığı için oldukça artmaktadır.

Demir-çelik ve metal sanayi; Su jeti ile kesme sistemleri işçilik hatalarını yok etmek ve genel çalışma şartlarını iyileştirmek üzere, daha çok manuel ve robotik

uygulamalar olarak, komplike parçaların işlenmesinde, zor alanların temizlenmesinde, döküm parçaların iç yüzeylerinde ve dar rahatlıkla kullanılmaktadır. Sistem en çok şu malzemelerin işlenmesinde tercih edilmektedir; Alaşımlı Çelikler, Bakır, Alüminyum, Titan, Paslanmaz Metaller, Dişli Çarklar, Döküm Parçalar, vb…

Uzay ve havacılık sektörü; SKORSKY Havacılık, su jeti kesme sistemini, başlangıçta sadece askeri ve ticari helikopterlerde kullanılan aramid (kevlar) destekli kompozit parçaları işlemekte kullanırken, üretkenliklerinin % 80 oranında artması nedeniyle sistemi şimdi tüm kompozit parçaları işlemek için kullanmaktadır. Su jeti kesme sistemleri, AIRBUS Havacılık tarafından da kullanılmaktadır. Sistem, çok hassas işleme yapabildiği için üretilen parçaların ağırlıklarında ortalama % 23 oranında düşme olmuş ve üretim süresi %15-%20 oranında azalmıştır.

Cam, mermer, granit, ve seramik sektörü; Cam, mermer, granit ve seramik türü malzemelerin en büyük özelliği kırılgan olmalarıdır. Geleneksel yöntemlerle yapılan işlemler sırasında, malzemeler çok kolay deforme olmakta ve yüksek oranlarda hurda oluşmaktadır. Bu nedenle sektör, su jeti kesme sistemlerinin çok avantajlı kullanım alanlarından birini oluşturmaktadır. Mermer işleme uygulamalarında karşılaşılan büyük malzeme kayıplarını azaltmak geleneksel yöntemlerle mümkün olamamaktadır. Su jeti kesme sisteminin, işlem sırasında malzeme üzerine gelen kesme kuvvetini azaltarak deformasyonu önlediği ve malzeme sarfiyatını oldukça azalttığı bilinmektedir.

Gıda sektörü; Su jeti kesme sistemleri, değişik kesme problemlerini yok etmek üzere gıda sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu sistemle, kesilecek ürünün kesici metale yapışarak deforme olması ve bu nedenle meydana gelecek ürün kaybı önlenir. Ayrıca, taze, kuru, paketlenmiş ya da dondurulmuş gıdalar kolaylıkla işlenebilir. Su jeti ile kesme sisteminin çok başarılı uygulamalarının yapıldığı gıda sektöründe, karşılaşılabilecek problem, kesilen üründe herhangi bir nem artışının söz konusu olup olmayacağıdır. Ancak, yapılan deneyler göstermiştir ki, üründe gözlemlenebilir hiçbir nem artışı söz konusu olmamaktadır (bu sonuç, gıda prosesi ekipmanları tasarımı yapan Design Systems Inc. tarafından açıklanmıştır). Yapılan uygulamalardan biri donmuş balıkların paketlenmesi için yapılan kesme işlemidir. Bu

uygulamada su jeti kesme sistemi kullanımı sayesinde ürün kaybı %20 daha az olmuştur.

İzolasyon uygulamaları; Su jeti kesme sistemleri özellikle tavan ve taban döşemelerinde kullanılan cam yünü malzemelerinin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Ayakkabı sektörü; Su jeti kesme sistemleri ayakkabı imalatı yapılan iki fabrikada malzemeler üzerinde denemiş ve %5 ile %15 arasında malzeme sarfiyatının azaldığını tespit etmiştir. Böylece, ayakkabı kalıbı hazırlama masrafları, zaman kaybı ve kalıplar çıkarılırken meydana gelecek malzeme israfı da bu şekilde en aza indirilmiştir.

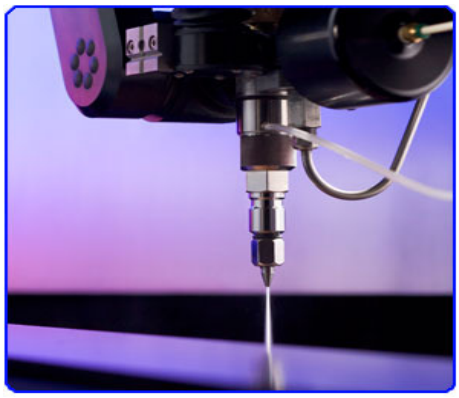
Kağıt ve mukavva sanayi; Su jeti sistemleri, özellikle karton kutu imalatında, buruşmayan, kenarların yırtılmasına ve katların açılmasına neden olmadığı için tercih edilmektedir. Sistemin en büyük özelliği, mekanik sistemlerin kesim sırasında malzemeye vereceği tahribatı yok etmesidir. Çünkü mekanik işleme sırasında katlanma ve yırtılma yaklaşık 0,5mm olurken, bu yırtılma, su jeti sistemleri ile 0,1 mm'ye indirilmiştir.

Plastik sanayi; Su jeti kesme sistemleri, tüm ipliksi, gözenekli, taneli ve yumuşak malzemelerin işlenmesinde de kullanılır. Uygun lüle hareketiyle, malzemeyi üç boyutlu olarak işlemek mümkündür. Özellikle, kapı ve pencere imalatında kullanılan PVC türü malzemelerin işlenmesinde bu sistemlerden yararlanılmaktadır.

Bazı Özel Uygulamalar; Uzay mekiği kaplama malzemeleri, teflon bakır, kauçuk malzemeler, balmumu, petek, sebze, gözlük camı.[20]

3.3.7. ASJ'nin uygulamaları

ASJ'nin tüm mühendislik malzemelerini kesme yeteneğinin yanı sıra frezeleme, tornalama ve delme gibi pek çok mekanik işlemde kullanılabiliyor olması ve bu işlemlerin tümünün aynı takımla yapılabilmesi, takım seçimini de kolaylaştırır. [4]



Şekil 3.11. ASJ uygulamaları [21]

3.3.7.1. Frezeleme

Frezeleme işleminde amaç, istenilen ölçüde bir oyuk oluşturmaktır. ASJ ile frezeleme, jetin malzemeyi tamamen delmesini engelleyip istenen derinliğe kadar girmesini sağlayarak gerçekleştirilir. Bu, jetin nispeten büyük bir hızla hareket ettirilmesiyle sağlanır. Kesme işlemi büyük oranda parçacık erozyonuyla gerçekleştirildiği gibi frezeleme operasyonu için uygun bir diğer terim, üç boyutlu kontrollü erozyondur. Bu işlem çeşitli yollarla gerçekleştirilebilir. ASJ ile çalışırken en büyük engel, düzensiz kesme derinlikleridir. Bu jetin rastlantısal doğasından, teknik düzensizlikler ve hassasiyetinden (aşındırıcı şekli ve miktarı, su basıncı gibi) kaynaklanır. Daha iyi yüzey kalitesi için bu düzensizlikler kontrol altına alınmalı veya etkisi azaltılmalıdır. Yüksek yanal hızla frezeleme, günümüzün en başarılı tekniğidir. Derinlik hassasiyeti yaklaşık 0.025 mm'dir. Dip yüzeylere eğim vermek için, yanal hızı arttırılıp azaltılabilir. [4]



Şekil 3.12. ASJ ile frezeleme çalışmaları [21]

3.3.7.2.Tornalama

Düz yüzeylerde yapılan kesme ve frezeleme işlemleri gibi, dönmekte olan iş parçalarına ASJ uygulanabilir. Bu durumda jet, torna kalemi şeklinde davranır. Bununla birlikte ASJ ile geleneksel torna kalemi arasında temel bir fark vardır. Jet, iş parçasının yüzeyi aracılığıyla yansıtılmakta malzemenin talaş alma miktarını etkiler. Çok sert alaşımlar, seramikler ve karmaşık metal kompozitleri gibi kesilmesi zor metallerden döner simetrilerin üretimini kolaylaştırabilir. İşleme; jetin, bir x-y-z modelinde sürekli kaydırılması sırasında çalışılan parçanın döndürülmesiyle gerçekleştirilir. ASJ tornalamanın (sistem hatalarının tutarlılığından ve tornalama işlemin tekrarlanabilirliğinden dolayı) tekrarlanabilir olması; toleransı 0.025mm'de tutar. Parametrik optimizasyon: Frezelemede olduğu gibi tornalamamada da işlem sonuçları; su basıncı, aşındırıcı akış miktarı, yanal hız oranı gibi işleme parametrelerinin kararlılığına bağlıdır. Genellikle yanal ilerleme hızını arttırmanın, yüzey dalgalılığını arttırdığı gözlenmiştir. [4]

3.3.7.3. Delme

Delik açmada iki değişik yöntem uygulanmaktadır. Eğer açılacak delik çapı, ASJ'nin çap ölçüleri içindeyse, iş parçası üzerinde herhangi bir hareket olmaksızın açma kapama (jetin) yapılarak delik açılır. Bu işlem, 0,6mm' den daha küçük çaplardaki deliklerin açılmasını sağlar. Eğer açılacak deliğin çapı, jet çapını aşıyorsa, matkap deliğinin daha önce anlatılan şekilde delinmesinden sonra bir daire kesilerek deliğin üretilmesi gerçekleştirilebilir. Malzemenin gevrekliğine bağlı olarak delme basıncının değiştirilmesi zorunludur. Özellikle delme işleminin başlangıcında doğru basıncın seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Yüksek delme basıncı yardımıyla aşırı gerilim üretilmesi, malzemenin kırılmasına yol açacaktır. Eğer ilk açıklık delinirse, su jeti akıp gidebilir ve basınç seviyesi yükselebilir. Eğer basınç seviyesi doğru saha içersinde korunursa, geleneksel yöntemlerle delinemeyen malzemeler delinebilir.

3.3.8. ASJ'nin avantajları

- Soğuk bir proses olması sayesinde, termik nedenlerden kaynaklanabilecek, yanma, damlacık oluşması(erime), sertleşme şekil değiştirme gibi sorunlar olmayacaktır.
- Lazer ile kesilemeyecek farklı yanma veya erime sıcaklıklarına sahip malzeme çiftleri, sandviç malzemeler su jeti ile kesilebilir.
- Malzeme yanması veya erimesi olmadığından, işlem sırasında hiçbir kimyasal kirlilik oluşmaz. Bu avantajı sayesinde, gaz emme, arıtma, filtrasyon gibi ek yatırıma gerek göstermez.
- Kesim izi aralığının çok dar (max1,1mm) olması sayesinde malzeme kayıpları en aza indirilir.
- Kesici unsur olan su jeti hüzme çapına bağlı olarak, çok dar ve keskin köşelerin işlenmesi (kesilmesi)mümkündür.
- Diğer yöntemlerle kesilemeyecek petek dokulu tüm malzemeler, SJ ile kesilebilir.
- Kesilme kesitinde, alt veya üst tarafında çapak oluşmaz, böylelikle ek bir taşlama, düzeltme işlemi gerekmez.
- Erime veya yanma riski olmaması sayesinde çok ince malzemeler kesilebilir.
- Aynı kesme donanımı ile hiç bir değişiklik yapmaksızın, yalnızca kesme hızlarını değiştirmek suretiyle bir malzemeden diğer malzemeye geçilebilir, böylelikle, özellikle fason amaçlı kesimde makine ve donanım ayar zamanları tamamen ortadan kaldırılmış olur.
- Malzeme ile kesme ucu arasındaki toleransın nispeten büyük olması sayesinde özellikle üç boyutlu (hacimsel) kesimlerde, mesafe kontrol hatalarından oluşabilecek kesim düzgünsüzlükleri meydana gelmez. [6]

Dezavantajlar:

- İlk yatırım maliyetinin nispeten yüksek olması,
- SJ teknolojisinin benzersiz avantajları olmasına rağmen ülkemizde yeterli ilgiyi görmemesi, yeterince tanınmaması.

3.3.9. ASJ'de işleme parametreleri

Tüm işleme yöntemlerinde olduğu gibi ASJ ile işlemede de kesilen malzemelerde düzgün yüzeyler elde etmek istenir. Bu durumda optimum işleme parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir. ASJ ile işleme yönteminde işleme parametreleri; yanal ilerleme hızı, aşındırıcı besleme oranı, meme-örnek mesafesi, çalışma basıncı, aşındırıcı tane boyutu ve aşındırıcı türüdür.

3.3.9.1. Yanal ilerleme hızının yüzey kalitesine etkisi

Yanal ilerleme hızı, su jeti hüzmesinin malzeme kesilirken birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanabilir. Yanal ilerleme hızı malzemenin yüzey kalitesini etkileyen önemli bir parametredir. Genellikle düşük hızlarda kesilen numunelerde daha düzgün yüzeyler elde edilirken yüksek hızlarda kesilen malzemelerin yüzey pürüzlülüğünde artış görülür. Yanal ilerleme hızı, basitçe, malzemenin Su jetinin aşındırma/ kesme etkisine maruz kaldığı süre olarak ifade edilebilir. Yanal ilerleme hızının azalması malzeme üzerindeki bir noktanın daha uzun süre su jeti etkisinde kalması anlamına gelir. Böylelikle kesilen yüzeyde birim alana düşen parçacık sayısı artmakta, buna paralel olarak kesme aşınma bölgesi genişlemekte ve geriden gelen partiküller daha önceki aşamalarda kabaca kesilen kısımları düzelterek yüzey pürüzlülük kalitesini arttırmaktadır. [1]

3.3.9.2. Aşındırıcı besleme oranının yüzey kalitesine etkisi

Aşındırıcı besleme oranı birim zamanda jet içerisine akan aşındırıcının gram/dakika cinsinden oranıdır. Su jetinin yetersiz kaldığı yerlerde sert malzemeleri kesmek için suya katılan bir miktar aşındırıcı ile kesme işlemlerine devam edilebilir. Aşındırıcı besleme oranını artırmak birim alana çarpan tanecik sayısını artırıcı etki yapacağından yüzey pürüzlülüğünü azaltır. Ancak, en kaliteli yüzeyi elde etmek için optimum aşındırıcı miktarı belirlenmelidir. Eklenen aşındırıcı miktarında belli bir eşik değerin üzerine çıkılması durumunda aşındırıcı ilavesi işe yaramaz ve yüzey pürüzlülüğü sabit kalır.

3.3.9.3. Meme-örnek mesafesinin yüzey kalitesine etkisi

Su jeti nozulunun uç kısmı ile kesilecek malzeme arasındaki mesafedir. Meme-örnek mesafesi, Su jetinin malzemeye temas ettiği alanın genişliğini belirlemesi açısından önemli bir parametredir. Su akışının gerçekleştiği aralığı terk eden su+aşındırıcı karışımı, malzemeye doğru yol alırken karışımın çapı genişler. Malzemeye temas ettiği an en geniş çapa ulaşır. Artan Meme-örnek mesafesi değeri, Su jetinin malzemeye temas ettiği andaki çapının büyümesi anlamına gelmektedir. Jet çapının büyümesinin sonucunda aşındırıcı tanecikleri daha geniş bir alanda dağılırlar. Artan Meme-örnek mesafesi, dağılma/yayılma durumuna bağlı olarak, Su jetinin temas ettiği yüzeyde birim alana uygulayacağı darbe etkisinin azalmasına neden olur. Bağlı olarak kesilen yüzeylerde kalite düşüşlerine, ya da pürüzlülük artışlarına sebep olabilir. Ayrıca geniş alana yayılma sonucu malzemenin istenmeyen bazı bölgeleri de kesileceğinden gereksiz malzeme kayıplarına da neden olur. Farklı malzemelerle gerçekleştirilen pek çok çalışma düşük Meme-örnek mesafesi seçiminin, yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde uygun seçenek olmasının yanı sıra, örnek kesme derinliği ve kesme genişliği üzerinde de olumlu etki yarattığını doğrulamıştır [2]

3.3.9.4. Çalışma basıncının yüzey kalitesine etkisi

Basınç artırıcılar yardımı ile malzemeden talaş kaldırmak için jetten çıkan basınç çalışma basıncı olarak adlandırılır. Çalışma basıncının artışıyla yüzey pürüzlülüklerinde de artış gözlenmiştir. Çalışma basıncına bağlı olarak kaliteli yüzeyler elde etmek için yapılan araştırmalarda düşük basınçlarda kesilen malzemenin üst kısımlarında daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. Daha düşük basınçlarda daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesi ters gibi gelebilir, ancak elde edilen yüzey kalitesi, aşındırma parçacık hızı ve birim alana çarpan parçacık çapı gibi parametrelere bağlıdır. Düşük hıza sahip parçacıklar yüzeyde daha az hasar meydana getireceklerdir. Buna ilave olarak bir hedefe yönlendirilen parçacıklardan bir kısmı malzemeden parçacıklar koparırken geriden gelen diğerleri yüzeyin bitirme işlemini gerçekleştirmiş olacaklardır. [1]

3.3.9.5. Aşındırıcı tane boyutunun yüzey kalitesine etkisi

Aşındırıcı tane boyutu 'mesh' denilen birim ile ölçülür. Mesh miktarı arttıkça tane boyutunun küçüldüğü anlaşılır. Yapılan çalışmalarda kaba tanelerin talaş kaldırma miktarının ince tanelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak oluşan yüzeylerin pürüzlülüğü fazladır [1]

3.3.10. ASJ'nin diğer yöntemlerle karşılaştırılması ve avantajları

Aşındırıcılı su jeti ile kesme önemli bir kesme tekniğidir. Genellikle, üstün kesme kalitesi ile ısıl kesme yöntemlerinden daha düşük maliyetlerde ve Electro Discharge Machining'e göre daha kaliteli kesimler elde edilmesini sağlar. ASJ'nin diğer yöntemlerle karşılaştırılması şu şekilde yapılabilir:

ASJ'nin kesme kalitesi ve hassasiyeti ince metaller için lazerle kesme yöntemiyle benzer, diğer kesme metotlarından (Electro Discharge Machining vs.) üstündür.

ASJ iletken olmayan malzemelerde ısıl kesme tekniklerinden daha yavaştır ve alüminyum gibi iletken malzemelerde kesme hızları ısıl kesme teknikleri ile aynıdır.

Yüksek güçteki plazma ve lazer yöntemleri bile kalın parçaları kesmede belli sınırların dışına çıkmazlar. Ancak ASJ yöntemi bu konuda neredeyse limitsiz çalışma olanağı verir.

Çelik ve paslanmaz çelikte, ASJ'nini inç başına kesme maliyeti lazer ve plazma yöntemlerine göre daha pahalıdır. Çünkü ASJ'nin kesme hızı plazma ve lazer yöntemine göre daha düşüktür. Düşük hız operasyon maliyetini artırır.

ASJ'de ısıl kesme proseslerinde olduğu gibi işlenen malzemede yanma meydana gelmez.

ASJ uygulamalarında ısı kullanılmamasından dolayı yüksek hassasiyetle kesim yapmak eşsiz bir kabiliyettir. Bu uygulamalar yüksek parça kalitesi ve ikincil işlemlerin ortadan kaldırılmasından dolayı tercih edilmektedirler. Tüm maliyetler hesaplandığında ASJ ile kesme çoğu uygulama için avantajlı bir yöntemdir.[6]

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalarda hacimce %10 ve %25 takviyeli AlMg3/SiCp kompozit malzemelerin ASJ tezgahında işlenmesi incelenmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için takviyesiz AlMg3 alaşımı da ASJ tezgahında kesilmiştir. AlMg3/SiCp kompozit malzemesi ASJ yöntemi ile işlenirken; yanal ilerleme hızı, aşındırıcı besleme oranı, aşındırıcı boyutu gibi işleme parametreleri değiştirilerek her bir numunenin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. ASJ tezgahında kesilip, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yüzey pürüzlülükleri ölçülen numunelerin mikro yapıları hakkında yorum yapabilmek amacı ile numunelere SEM analizi yapılmıştır.

4.1. Malzeme Seçimi

ASJ ile kompozit malzemelerin kesilmesinde yüzey özelliklerini etkileyen parametreleri tespit etmek ve takviye oranlarının kesme işlemine ve yüzey özelliklerine etkisini incelemek amacı ile %10 ve %25SiC takviyeli AlMg3/SiCp kompozit blokları kullanılmıştır. Aynı deneysel şartlarda üretilmiş takviyesiz AlMg3 alüminyum blokları da ASJ ile kesilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 4.1. AA5754'ün Fiziksel Özellikleri

AA5754'ün Fiziksel Özellikleri		
Özgül Ağırlık	2,66	g/cm^3
Elastiklik Modülü	68–72	GPa
Kayma Modülü	27	GPa
Ergime Aralığı	600–620	^0C
Özgül Isı (273-373^{0}K)	0,97	
Lineer Genleşme Katsayısı (293-373^{0}K)	$24x10^{-6}$	$1/^0K$
Termal İletkenlik (373-673^{0}K)	147–168	W/m^0
Direnç (293^{0}K)	$0,049x10^{-6}$	Ωm

Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'nin tane büyüklüğü yaklaşık 13 µm (500 Mesh) 'dir.



Şekil.4.1. ASJ ile kesilen farklı takviye oranlarındaki $AlMg_3$/SiCp malzemeler a)%0SiC takviyeli b)%10SiC takviyeli c)%25SiC takviyeli

Tablo 4.2. Kompozit üretiminde kullanılan matris malzemesinin kimyasal bileşimi

Mg	Si	Fe	Mn	Diğer(Toplam)
2,6-3,2	0,40	0,40	0,50	0,15

Tablo 4.3. Kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan seramik parçacıkların karakteristik özellikleri

Parçacık Cinsi	Boyut (µm)	Özgül Ağırlık (g/ cm^3)	Çekme Dayanımı (GPa)	E-Modülü (GPa)
SiC	15-340	3,2	3	480

Tablo 4.4. Kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan SiC'nin kimyasal bileşimi

Ürün	Tane İriliği	%SiC	%Serbest C	%SiC	% SO_2	Fe_2O_3
GW Micro	F240-F800	99,5	0,10	0,10	0,10	0,05

ASJ yöntemi ile işlenebilirliği incelenmiş olan kompozit malzemeler doğrudan yarı-katı karıştırma ve sıkıştırma döküm yöntemi uygulanarak (140x110x30mm) üretilmişlerdir. %10SiCp, %25 SiCp (hacimsel) takviyeli kompozit malzemeler

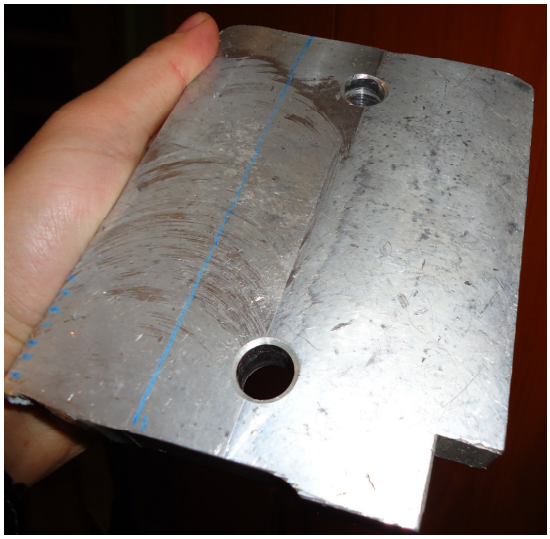
kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve aynı deneyler karşılatırma amacı ile takviyesiz AlMg3 alaşımından aynı şartlarda üretilmiş takviyesiz numuneler için de tekrarlanmıştır.

4.2. ASJ ile Kesme İşlemleri ve Numune Hazırlama

Literatürden yararlanarak oluşturulan deney planında işleme parametrelerine karar verilmiştir. Deney planındaki işleme parametreleri yanal ilerleme hızı, aşındırıcı besleme oranı, çalışma basıncı, meme-örnek mesafesi, aşındırıcı boyutu ve takviye oranlarıdır.

Deneyler için seçilen takviyesiz AA5754, %10SiC takviyeli $AlMg_3$ ve %25SiC takviyeli AlMg3 malzemelerinin boyutları (140x110x30)mm'dir. Farklı takviye oranlarındaki numunelerin her birinden 12'şer parça kesilmiştir. Kesilen numunelerin boyutları takviyesiz AA5754 (20x39x4)mm; %10SiC takviyeli AlMg3(20x39x4)mm; %25SiC takviyeli AlMg3 (16x40x3)mm'dir.

Kesme işlemi yapılırken numune ASJ tezgahına pabuçlarla sabitlenmiştir. ASJ tezgahı bilgisayar kontrollüdür. Numuneler kesmek istediğimiz ölçü ve şekillerde çizim programında tasarlanmıştır. Tasarlanan çizim dosyası tezgahın hafızasına yüklenmiştir. LCD kontrol ünitesinden; yanal ilerleme hızı, basınç, meme-örnek mesafesi, aşındırıcı besleme oranı ve aşındırıcı boyutu ayarlanabilmektedir. Kesimler sırasında malzeme türü ve kalınlığı dikkate alınarak yanal ilerleme hızı 40 ve 80mm/dk seçilmiştir. Su jetinin basıncı 380MPa seçilip tüm kesme işlemlerinde sabit basınç uygulanmıştır. Meme-örnek mesafesi kesme işlemlerinin tamamında 2mm olarak uygulanmıştır. Kullanılan meme çapı 1.1mm'dir. Kesimler sırasında 3 farklı aşındırıcı besleme oranı tercih edilmiştir. Bu değerler sırası ile 300g/dk, 400g/dk ve 500g/dk'dır. Endüstride ASJ uygulamalarında en sık kullanılan aşındırıcı türü garnettir. Deneysel çalışmada aşındırıcı olarak garnet tercih edilmiştir. Yüzey kalitesini etkileyen diğer bir parametre de aşındırıcı boyutudur. Aşındırıcı boyutunun yüzey kalitesine etkisini kıyaslayabilmek için 80 ve 180 mesh boyutlarındaki garnetler denenmiştir. Deney planındaki 1'den 36'ya kadarki tüm deneyler sırası ile yapılmıştır. Kesilen her numune kesildikten hemen sonra markalama kalemi ile numaralandırılmıştır.

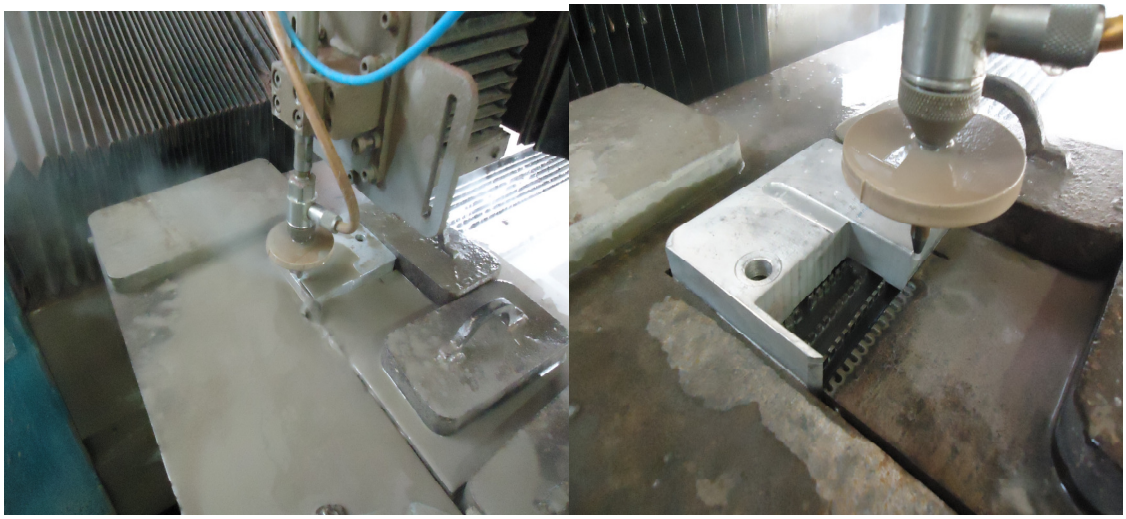


Şekil4.2. Kesim için işaretlenmiş $AlMg_3$ /SiCp kompozit malzemesi

Numuneleri kestiğimiz su jeti tezgahı konsol tip tezgahtır. Konsol tip makineler, orta ve küçük ölçülü makinelerdir. Yataklama ve tahrik tek gövdede, köprünün bir tarafı şaseye bağlı diğer tarafı boştadır. Portal makinelere göre daha yüksek hızlı makinelerdir. Kesim alanının üç tarafı açıktır. Kesimi biten parça, makineden kaldırılmadan diğer bir parçanın kesimine başlanabilmesi, makine geometrisinin, boyutlarının ve üç tarafı açık çalışma ortamının sağladığı önemli bir avantajdır. Makine dışına konan destek ayakları ile makinenin net kesme ölçüsünden çok daha büyük ölçülerde plakalar makineye yerleştirilebilir ve net kesme ölçüsünü geçmeyen boyutlarda kesim yapılabilir. Alışılmış konsol makine ölçüleri; (ilk yazılan ölçü köprü ekseni strokunu, ikinci ölçü, gövde strokunu tanımlar, gövde stroku ölçüleri gerektiğinde 5000mm'ye kadar büyütülebilir) 1500x3000 mm ve 1000x2000mm'dir.



Şekil 4.3. MMK'ların ASJ tezgahında kesilmesi



Şekil 4.4. ASJ tezgahında pabuçlarla sabitlenmiş AlMg3/SiCp kompozit malzemelerin kesilmesi

Konsol Tip S-HP Makina Teknik özellikleri

Tablo 4.5. Deneylerde kullanılan konsol tip ASJ tezgahının teknik özellikleri

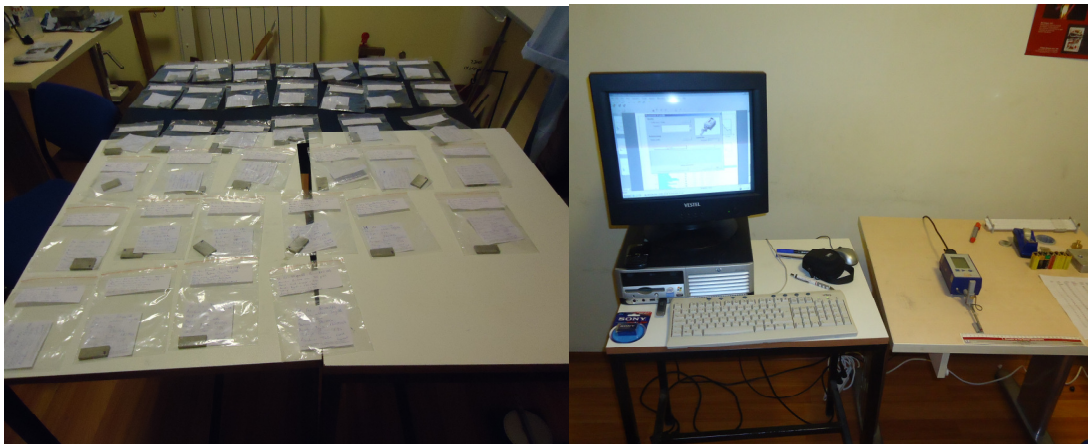
Konsol Tip Makine Özellikleri	S-HP Boşluksuz vidalı mil- Yüksek performans(Ball-screw)
CNC Kontrol sistemi	Siemens 840D 10’’4 Renkli ekran
Ana eksen motoru	1xAC servo motor (SIEMENS) (Made in Germany)
Ana eksen tahrik mekanizması	Boşluksuz vidalı mil (INA) (Made in Germany)
Ana eksen yataklama mekanizması	Bilya sirkülasyonlu ağır tip doğrusal yatak(INA)(Made in Germany)
Köprü eksen motoru	1xAC servo motor (SIEMENS) (Made in Germany)
Köprü eksen tahrik mekanizması	Boşluksuz vidalı mil (INA) (Made in Germany)
Köprü eksen yataklama mekanizması	Bilya sirkülasyonlu ağır tip doğrusal yatak(INA)(Made in Germany)
Max pozisyonlama hızı	30000mm/dk
Max hatasız kesme hızı	12000mm/dk
Pozisyonlama hassasiyeti	0,01mm
Yüksek basınç sistemi	Pompa: KMT 50HP Plus 4136 bar Kesme kafası: KMT
Basınç(nominal)	4136bar
Basınç(sürekli)	4000bar
Pompa debisi	Qmax:3,8lt/min 37kW(50HP)

Tablo 4.6. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri ve deney planı

Deney No	Yanal İlerleme Hızı(mm/dk)	Aşındırıcı Besleme Oranı (g/dk)	Çalışma Basıncı(MPa)	Aşındırıcı Boyutu(mesh)	Takviye Oranı (%SiC)
1	40	500	380	80	0
2	40	400	380	80	0
3	40	300	380	80	0
4	80	500	380	80	0
5	80	400	380	80	0
6	80	300	380	80	0
7	40	500	380	80	10
8	40	400	380	80	10
9	40	300	380	80	10
10	80	500	380	80	10
11	80	400	380	80	10
12	80	300	380	80	10
13	40	500	380	80	25
14	40	400	380	80	25
15	40	300	380	80	25
16	80	500	380	80	25
17	80	400	380	80	25
18	80	300	380	80	25
19	40	500	380	180	0
20	40	400	380	180	0
21	40	300	380	180	0
22	80	500	380	180	0
23	80	400	380	180	0
24	80	300	380	180	0
25	40	500	380	180	10
26	40	400	380	180	10
27	40	300	380	180	10
28	80	500	380	180	10
29	80	400	380	180	10
30	80	300	380	180	10
31	40	500	380	180	25
32	40	400	380	180	25
33	40	300	380	180	25
34	80	500	380	180	25
35	80	400	380	180	25
36	80	300	380	180	25

4.3.Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

ASJ tezgahında kesilen 36adet AlMg3/SiCp kompozit malzemelerinin her numuneden 2 adet olmak üzere yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile toplam 72 adet yüzeyde pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce cihaz kalibrasyonu yapılmıştır. Yapılan deneylerde her bir yüzeyden en az 5ayrı ölçüm alınmıştır. Yüzeyde yapılan ölçümlerde elmas uç enine 3mm kaydırılarak pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Deneylerde değerlendirme uzunluğu (evaluation length) cihazın menüsünden 8mm olarak seçilmiştir. Ölçümler; 100µm ölçüm aralığında, 0.01µm ölçüm hassasiyeti ile yapılmıştır. yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı bilgisayar kontrollü çalışmaktadır. Bilgisayardaki ölçüm programı sayesinde yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına komut gönderilerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir. Cihazda elmas uç yüzeyde ölçüm yaparken önce sabitlenen noktadan 8mm ileriye doğru gider. Bu sırada datalar hafızaya alınmaktadır. Daha sonra elmas uç ulaştığı son noktadan başlangıç noktasına(8mm geriye) geri döner. Ölçme işlemi bittikten sonra datalar bilgisayara iletilir. Bilgisayarda 1ölçüm sonucunda 10'dan fazla pürüzlülük parametresi elde edilebilmektedir. Kesilen yüzeylerin hepsi farklı işleme parametreleri ile işlendiğinden birbirinden farklı yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri karşılaştırılarak parametre optimizasyonu yapılmıştır.

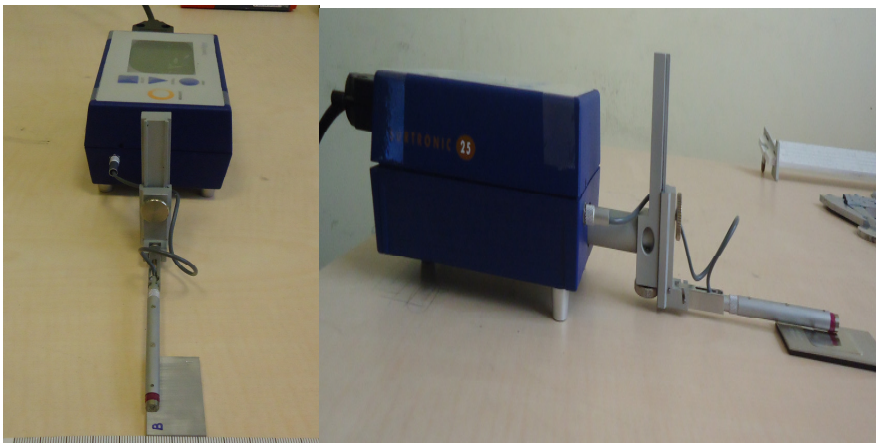


Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği

Uygulamadaki farklılıkları önlemek için, yüzey kaliteleri standartlaştırılmıştır. Standart 12 yüzey kalitesi belirlenmiştir.

Tablo 4.7. Yüzey kalite değerleri

YÜZEY KALİTELERİ(ISO1302, TS 2040)		
Ra pürüzlülük değerleri(µm)	µin(mikro inç)	Pürüzlülük sınıf numarası
50	2000	N12
25	1000	N11
12,5	500	N10
6,3	250	N9
3,2	125	N8
1,6	63	N7
0,8	32	N6
0,4	16	N5
0,2	8	N4
0,1	4	N3
0,05	2	N2
0,025	1	N1



Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile yüzey pürüzlülük ölçümü

Surtronic25, ölçme işlemi boyunca 10'dan fazla parametreyi hesaplayabilir.

Dikey parametreler;

Ra= ortalama yüzey pürüzlülüğü

Rsk=çarpıklık

Rz=en düşük 5 ve en yüksek 5 pürüzlülük değerinin ortalaması

Rt=max. Yüzey pürüzlülüğü

Rp=profilin max.tepe yüksekliği

Yatay parametreler;

RPc=Tepe sayısı

RSm=Profil elemanların ortalama genişliği

Karma parametreler(Yatay ve dikey)

Rmr=Malzeme oranı

Rda R delta a= ortalama eğim

Ekranda aynı anda tüm menü görüntülenebilir ve sonuçlar izlenebilir. MEASURE düğmesine basılarak seçim yapılır. Tüm ölçümler ve sonuçlar bir bilgisayardan çıktı almaya hazır şekilde ekranda açıkça gösterilir.

Tablo 4.8. Surtronic25 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Algılama	
Ölçme aralığı	300 µm
Ölçüm hassasiyeti	0,01 µm
Elmas uç	aksi belirtilmediği sürece 5 µm
Cihaz	
Kesme değerleri	0,25-0,8-2,5
İlerleme uzunluğu	0,25-25mm
İlerleme hızı	1mm/s
Gösterge ünitesi	µm/µinç
Parametreler	
Ra, Rz, Rt, Rp, Rmr, Rpc, Rsm, Rz1max, Rsk, Rda	
Ölçüler	
Kapsamlı ölçüler	127 x85x60mm(5 x3,35x2,4in)
Ağırlık	450gr

4.4.Mikro Yapı İncelemeleri

ASJ tezgahında kesilmiş numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile yüzey kaliteleri değerlendirildikten sonra yüzeylerin mikro yapıları hakkında yorum yapabilmek için SEM analizi yapılmıştır. SEM analizi ile mikro yapı ölçümü yapabilmek için 40x20mm boyutlarındaki numuneler hassas kesme cihazı ile 20x20mm boyutlarına getirilmiştir.

Altın, altın-paladyum, platin ve karbon kaplama cihazları iletken olmayan numunelerin elektron mikroskobunda incelenebilmesi ve daha iyi görüntü alınabilmesi için numune yüzeyine iletkenlik kazandırmak amacı ile kullanılmıştır. Nemli numunelerin elektron mikroskobunda incelenmeden önce kurutulması gerekmektedir.

Kaplanan numuneler SEM'de 50x, 250x, 500x ve 5000x büyütülerek mikro yapılarına bakılmıştır. FEG-SEM JEOL JSM 6335F taramalı elektron mikroskobu; toz numunelerin ve kütle malzemelerin metalografik tekniklerle parlatılmış yüzey ve kesitlerinin veya kırık yüzeylerinin nanometre boyutuna kadar mikro yapısal veya morfolojik karakterizasyonu yapılabileceği gibi, malzeme yapısında bulunan her türlü hatanın mikro analizi yapabilmektedir.

Quorum technologies SC7640 sputter coater Au/Pd: altın/paladyum kaplama cihazı;



Şekil4.7. Quorum Technologies SC7640 Sputter Coater Au/Pd: Altın/Paladyum kaplama cihazı

Tablo4.9. Altın/Paladyum Kaplama Cihazının Teknik Özellikleri

Ünite Ölçüleri	Genişlik:455mm, Derinlik:375mm, Yükseklik:375mm
Vakum çemberi	İç çap:150mm, Yükseklik:135mm
Ağırlık	35Kg
Gerekli Güç	50/60Hz'de 230V
Hedef uzaklık	45mm
Güç kaynağı	20mA'de 2400V veya 10mA'de 800V
Maksimum çıkış	2800v
Sistem denetimi	1saniye çözünürlük ile 999 saniyelik zaman ayarı-otomatik veya manuel
Pompa gereksinimi	Pompa tahliyesi için 10^-3mbar'dan büyük
Püskürtme oranları	Altın/Paladyum oranı 20mA'de ve 2.5kV'de dakikada 10nm kaplama boyutu
Kaplama kalınlığı	Şarj olmadan:2-3nm
Bütünlük	%10 daha iyi
Gaz ortamı	Argon



Şekil4.8. Taramalı elektron mikroskobu ölçüm düzeneği

Tablo4.10. Taramalı Elektron Mikroskobunun Teknik Özellikleri

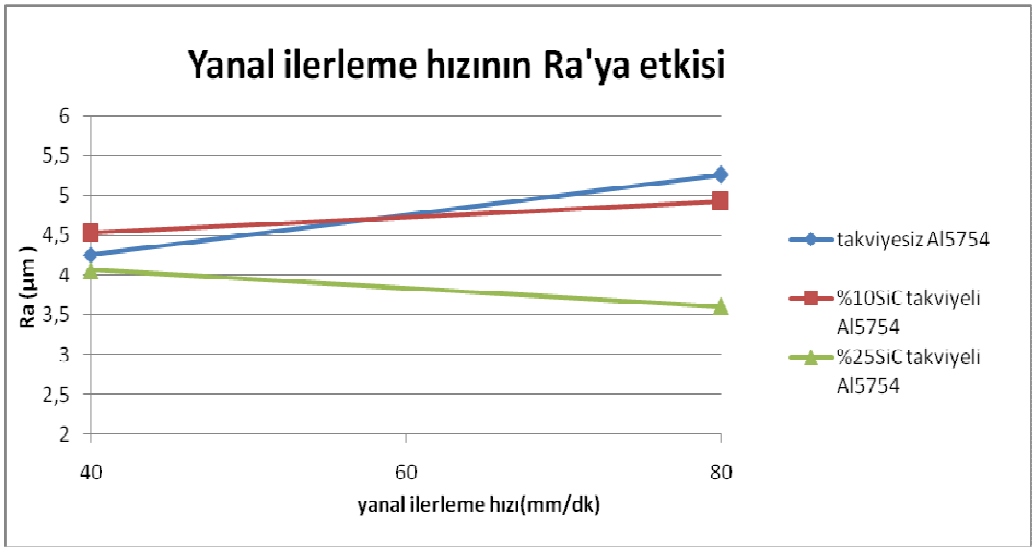
Cihazın marka ve modeli	JEOL JSM 6335F FEG-SEM
Cihazın komponentleri	SEM ve buna bağlı Oxford Instruments enerji saçınımlı X-ışını Spektroskobisi(EDS) Oxford Instruments elektron geri yansıma difraksiyonu(EBSD)
Kullanılan yazılım	Oxford-INCA/ISIS
Kullanılan dedektörler	İkincil elektron(SEI),Geri yansıyan elektron(BSE), EDS, EBSD
Elektron tabancası	FEG(Field Emission Gun)
Hızlandırma voltajı	0,5-20kV
Büyütme	10-500000X
Ayırma gücü	15kV'de 1.5nm-1kV'de 5.0nm
Analiz hassasiyeti	Atom no≥C

5.DENEYSEL SONUÇLAR

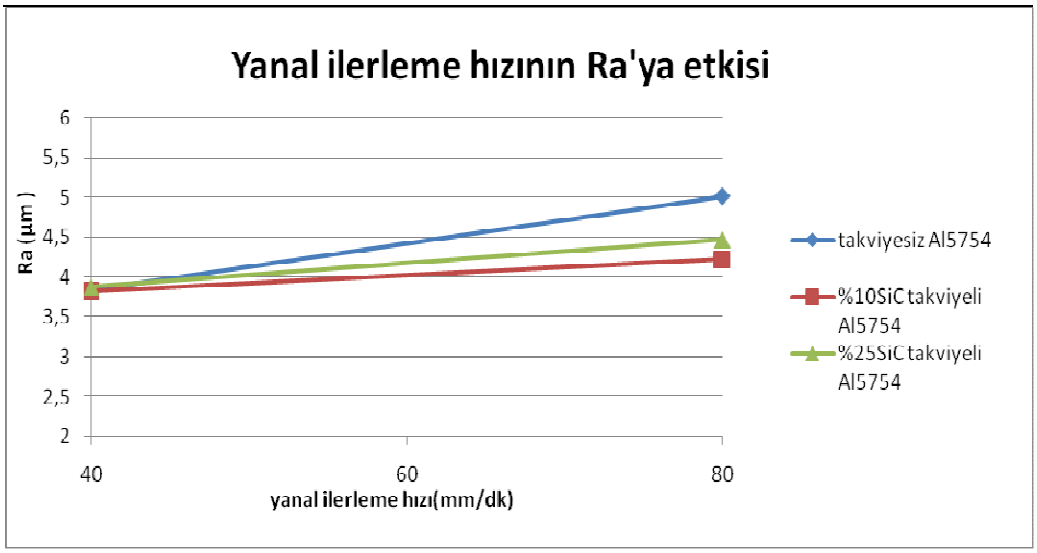
Farklı takviye oranlarına sahip AlMg3/SiCp kompozit malzemeler ASJ yöntemi ile kesilerek takviye oranlarının ve kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri incelenmiştir. Kesilen numunelerin yüzey kalitelerini değerlendirebilmek için yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Ayrıca, numunelerin mikro yapılarının yorumlanabilmesi için SEM analizi yapılmıştır.

5.1.Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

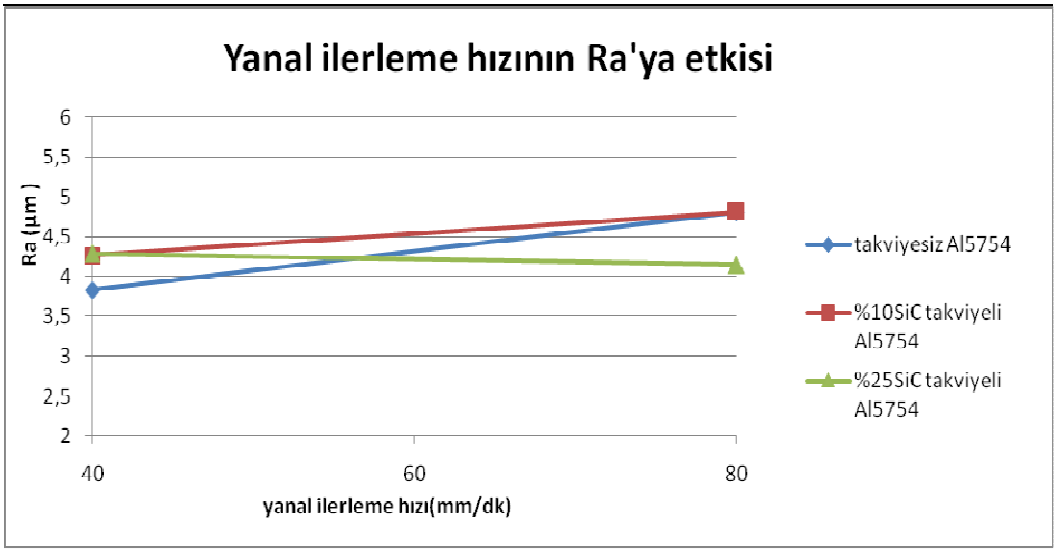
5.1.1.Yanal ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 5.1a. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi
Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh



Şekil 5.1b. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh



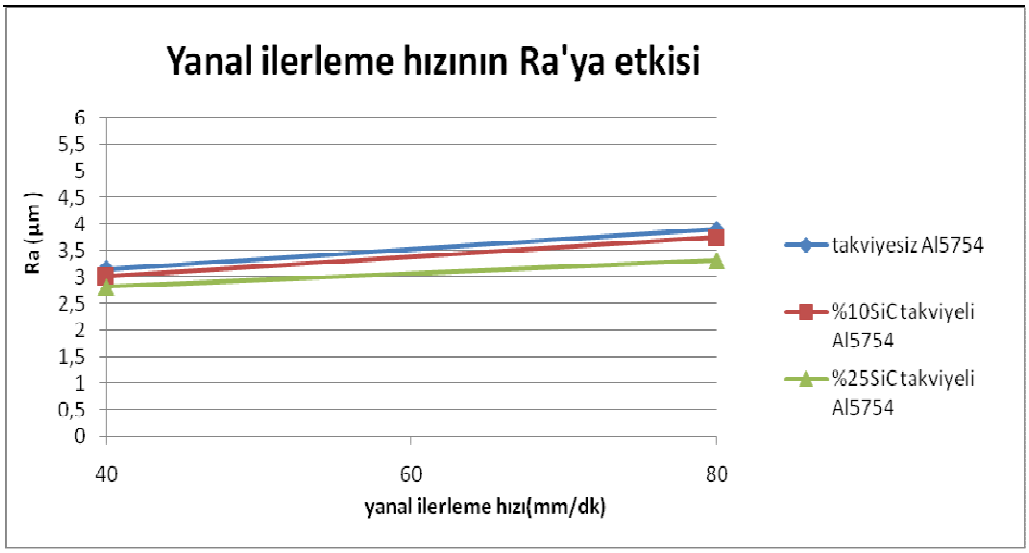
Şekil 5.1c. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh

Şekil 5.1a'da 40mm/dk ve 80mm/dk hızda kesilen takviyesiz, %10 ve %25 takviyeli olmak üzere 3 farklı Al/SiCp numunenin ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri görülmektedir. 40mm/dk hızla yapılan kesimlerde takviyesiz ve %10 takviyeli numunelerin Ra değerleri 80mm/dk'da yapılan kesime göre daha düşük çıkmıştır. Literatürde belirtildiği gibi düşük ilerleme hızlarında yapılan kesimlerde daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmektedir ve daha hassas kesimler yapılabilmektedir. Fakat

%25 takviyeli numunede 80mm/dk yanal ilerleme hızı ile yapılan kesimde yüzey pürüzlülüğünün daha az olduğu görülmüştür. 3 farklı numunenin kesiminde en düşük pürüzlülük değeri 80mm/dk hızda %25SiC takviyeli Al kompozitte elde edilmiştir ve 3.6µm'dir. En yüksek ölçülen pürüzlülük değeri ise takviyesiz Al malzemede görülmüştür, Ra=5.25µm'dir. Bu kesimler sırasında aşındırıcı besleme oranı 300g/dk, aşındırıcı boyutu da 80mesh olarak sabit tutulmuştur.

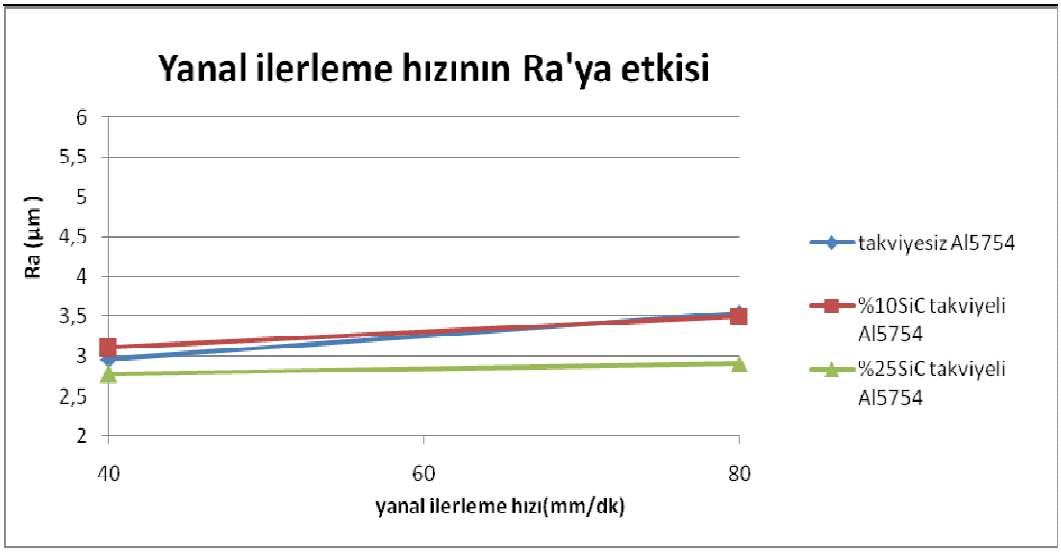
Şekil 5.1b'de 40mm/dk ve 80mm/dk hızda kesilen takviyesiz, %10 ve %25 SiC takviyeli olmak üzere 3 farklı Al/SiCp numunenin ortalama yüzey pürüzlülük(Ra) değerleri görülmektedir. 40mm/dk hızla yapılan kesimlerde 3numunenin de Ra değerleri 80mm/dk'da yapılan kesime göre daha düşük çıkmıştır. Literatürde belirtildiği gibi düşük ilerleme hızlarında yapılan kesimlerde daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir ve daha hassas kesimler yapılmıştır. Bunun sebebi; nozul kestiği yüzeyden daha yavaş geçerek birim zamanda yüzeye daha fazla aşındırıcı teması sağlamıştır. Böylece kesilen yüzey daha pürüzsüz olur. 3 farklı numunenin kesiminde en düşük pürüzlülük değeri 40mm/dk hızda %10SiC takviyeli Al kompozitte elde edilmiştir ve 3.81µm'dir. En yüksek ölçülen pürüzlülük değeri ise 80mm/dk hızla kesilen takviyesiz Al malzemede görülmüştür, Ra=5.01µm'dir. 3 numune de kesilirken aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, aşındırıcı boyutu ise 80mesh olarak sabit tutulmuştur.

Şekil 5.1c'de 40mm/dk kesme hızında, aşındırıcı besleme oranı 500g/dk ve aşındırıcı parçacık boyutu 80mesh iken en küçük Ra değeri takviyesiz Al5754 için 3.83µm'dir. 80mm/dk kesme hızında ise en düşük Ra pürüzlülük değeri %25SiC takviyeli Al kompoziti için 4.14µm ölçülmüştür. Bu kesim sırasında hız artışı ile beraber takviyesiz Al5754 ve %10SiC takviyeli Al kompoziti için yüzey pürüzlülüklerinde doğrusal bir artış görülürken, %25SiC takviyeli numunede ise yüzey pürüzlülüğü dikkate alınacak ölçüde değişmezken hız artışı ile beraber 4,29 µm'den 4,14 µm'ye düşmüştür.



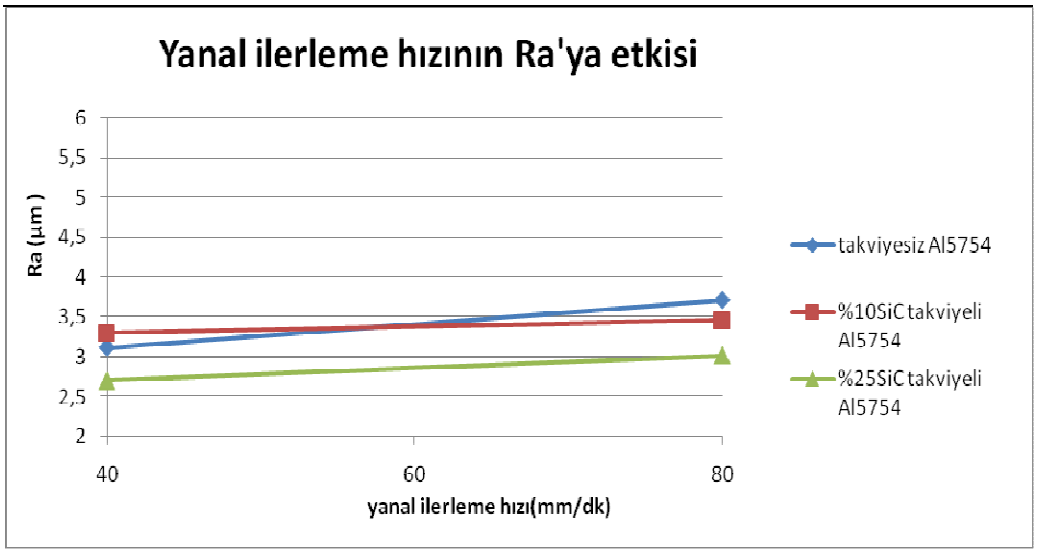
Şekil 5.2a. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi

Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh



Şekil 5.2b. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi

Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh



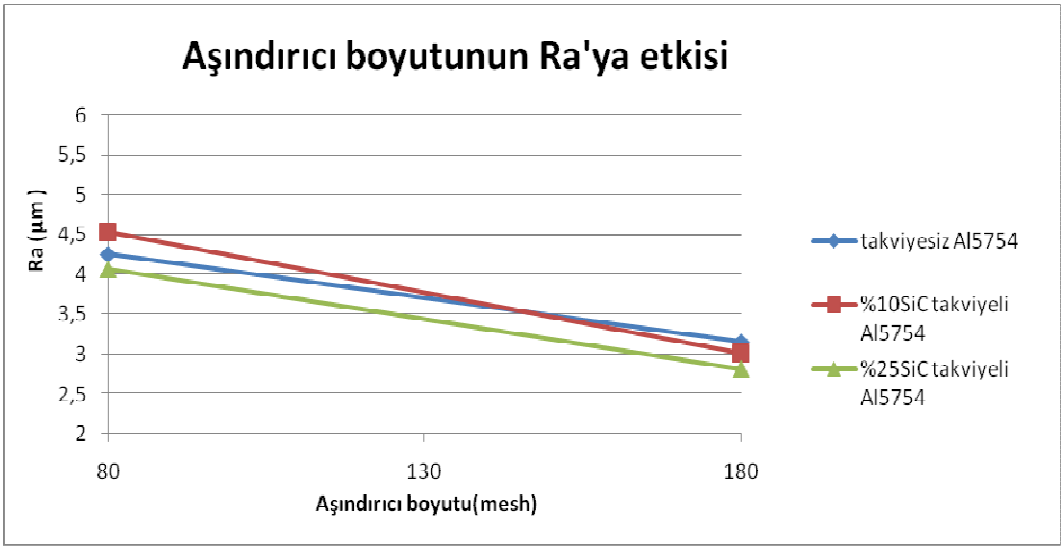
Şekil 5.2c. Yanal ilerleme hızının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi
Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh

Şekil 5.2a'da 3 numunenin de hızın artması ile beraber Ra değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmiştir.40mm/dk'da en düşük Ra değeri %25SiC takviyeli numune için 2,81µm ve en yüksek Ra değeri de takviyesiz Al5754'te 3,15µm olarak ölçülmüştür. 80mm/dk hızda en yüksek Ra değeri takviyesiz numunede 3,9µm ve en düşük Ra değeri %25SiC takviyeli numunede 3,31µm olarak ölçülmüştür. Bu grafiğe bakılarak ilerleme hızı sabit tutulduğunda kesilen malzemeler için yüksek takviye oranına sahip malzemelerin takviyesiz veya daha düşük takviye oranına sahip malzemelere göre daha pürüzsüz kesilebildiği sonucuna varılmıştır.

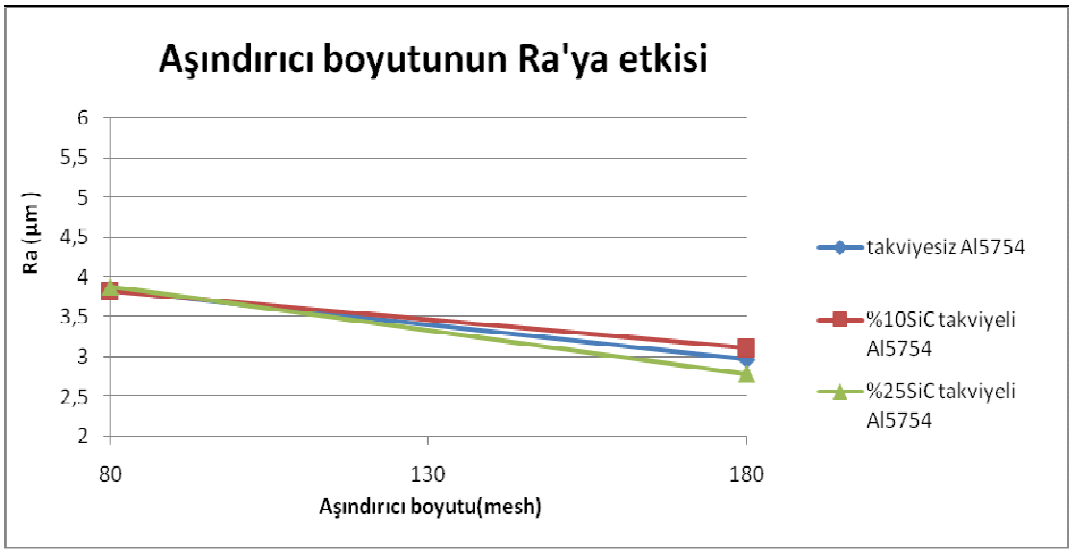
Şekil 5.2b.'de %25SiC takviyeli numunenin 40 ve 80mm/dk hızda kesilmesi sonucu 2,78µm-2,9µm Ra değerleri elde edilmiştir. Bu değerleri takviyesiz ve %10SiC takviyeli numuneye göre daha düşüktür. Hız artışı ile beraber %25SiC takviyeli numunenin Ra değerinde çok büyük bir artış gözlenmemiştir. Fakat diğer numunelerde hız artışı ile birlikte ortaya çıkan pürüzlülük artışı da belirginleşmiştir. Takviyesiz numunede hız 40mm/dk'dan 80mm/dk'ya çıkınca pürüzlülük 2,96µm'den 3,54'µm'ye, %10SiC takviyeli numunede ise 3,1µm'den 3,5µm'ye çıkmıştır. Hız artışı 3 numuneden en az %25SiC takviyeli numuneyi etkilemiştir.

Şekil 5.2c'de takviye oranı en fazla olan %25 takviyeli numunede pürüzlülük değerleri 40mm/dk'da ve 80mm/dk'da en düşük çıkmıştır. 40mm/dk hızla yapılan kesimde takviyesiz numunenin pürüzlülüğü 3,11µm iken %10takviyeli numunenin ki 3,29µm'dir. 80mm/dk hızda yapılan kesimde bu 2 numuneyi kıyaslarsak takviyesiz numunenin pürüzlülüğü 3,71µm iken %10 takviyeli numunenin pürüzlülüğü 3,45µm olarak ölçülmüştür. Bu grafiğe bakılarak takviyesiz numunenin yüzey pürüzlülüğünün takviyeli numunelere göre hız artışından daha fazla etkilendiğini söylemek mümkün olmuştur.

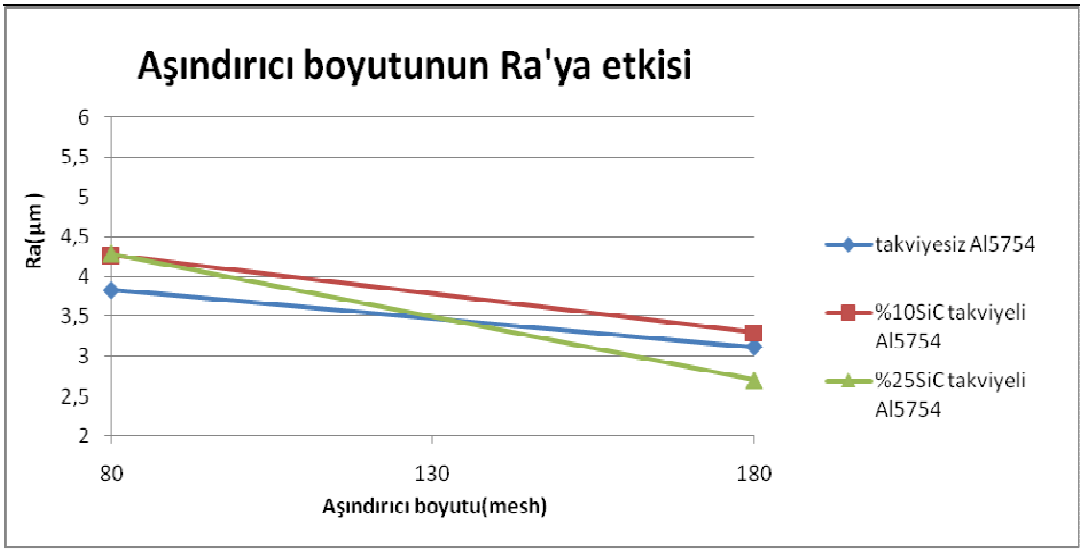
5.1.2.Aşındırıcı partikül boyutunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 5.3a. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi
Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, hız=40mm/dk



Şekil 5.3b. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, hız=40mm/dk



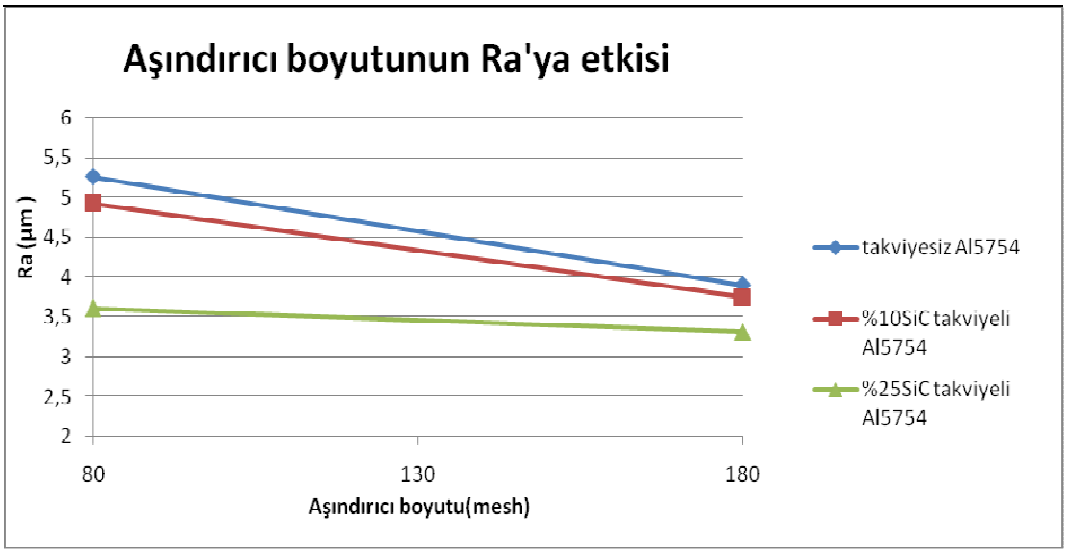
Şekil 5.3c. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, hız=40mm/dk

Şekil 5.3a'da aşındırıcılı su jeti için önemli parametrelerden birisi olan aşındırıcı partikül boyutunun yüzey pürüzlülüğüne etkileri görülmüştür. Burada 80 ve 180mesh boyutunda 2 farklı garnet aşındırıcı kullanılmıştır. 80mesh aşındırıcı boyutundan 180mesh aşındırıcıya geçişte yüzey pürüzlülüğünde önemli bir hassasiyet farkı ortaya çıkmıştır. 180mesh aşındırıcı ile işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri oldukça düşük çıkmıştır ve yüzeyler daha pürüzsüzdür. 80mesh için en düşük Ra değeri %25SiC

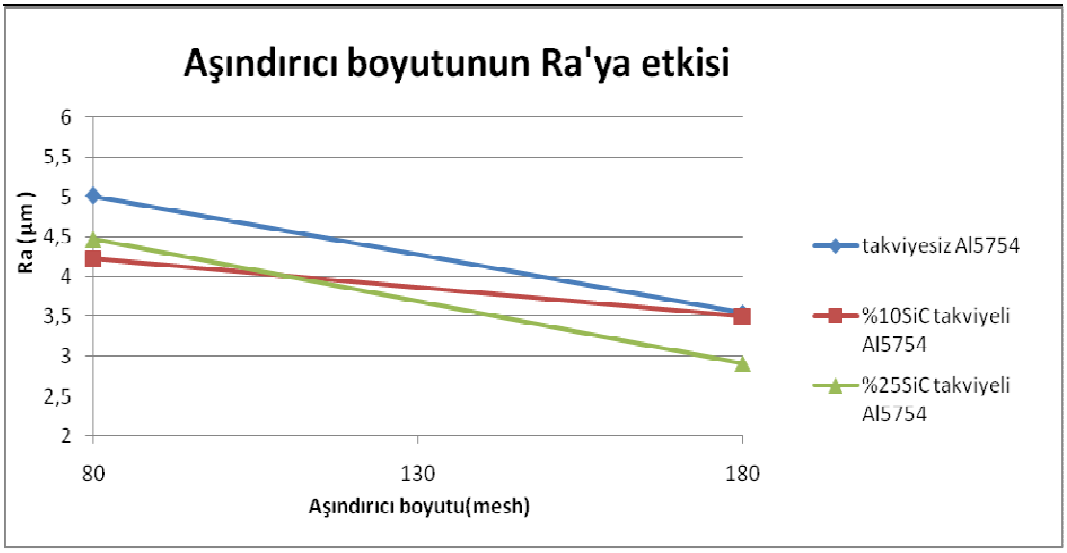
takviyeli numunede elde edilmiştir ve 4,06µm'dir.80mesh ile yapılan kesimlerde yüzey pürüzlülüğü en fazla çıkan numune %10SiC takviyeli Al kompozit malzemedir ve Ra değeri 4,52µm'dir. 180mesh boyutundaki garnet ile yapılan kesimlerde yine %25 takviyeli numunenin yüzey pürüzlülüğü diğerlerine oranla daha düşük çıkmış ve 2,81µm olarak elde edilmiştir. 180mesh garnet ile yapılan kesme işleminde en yüksek pürüzlülük değeri takviyesiz numunede 3,15µm olarak ölçülmüştür. Buradan elde edilen sonuç, daha hassas yüzeyler elde edilmek istendiğinde daha küçük taneli aşındırıcı malzeme kullanmak etkili bir çözüm olacaktır. Şekil 5.3a'da kullanılan diğer parametreler ise aşındırıcı besleme oranı 300g/dk ve hız 40mm/dk'dır.

Şekil 5.3b'de 80mesh garnet ile yapılan kesme işleminde; takviyesiz Al5754, %10SiC takviyeli Al kompozit ve %25 takviyeli Al kompozit için ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra) sırasıyla 3,83-3,81-3,87µm olarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüklerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. 180mesh ile aynı numuneler işlendiğinde elde edilen yüzey pürüzlülükleri 3 numune içinde doğrusal bir düşüş göstermiştir. Takviyesiz numunenin 180mesh garnet ile işlenmesi sonucu Ra değeri 2,96µm, %10SiC takviyeli Al kompozit ve %25SiC takviyeli Al kompozit için ise Ra değerleri sırasıyla 3,1 ve 2,78µm'dir. 180mesh ile yapılan kesme işleminde 3 numune içinde daha düşük Ra değerleri elde edilmiştir. 80mesh ile yapılan kesme işleminden 180mesh'e geçişte en çok pürüzlülük farkı %25takviyeli numunede görülmüştür. İlk kesmede 3,87µm olan Ra değeri 2. kesmede 2,78µm'ye kadar düşmüştür. Şekil 5,8'de kullanılan diğer işleme parametreleri ise 400g/dk aşındırıcı besleme oranı ve 40mm/dk ilerleme hızıdır.

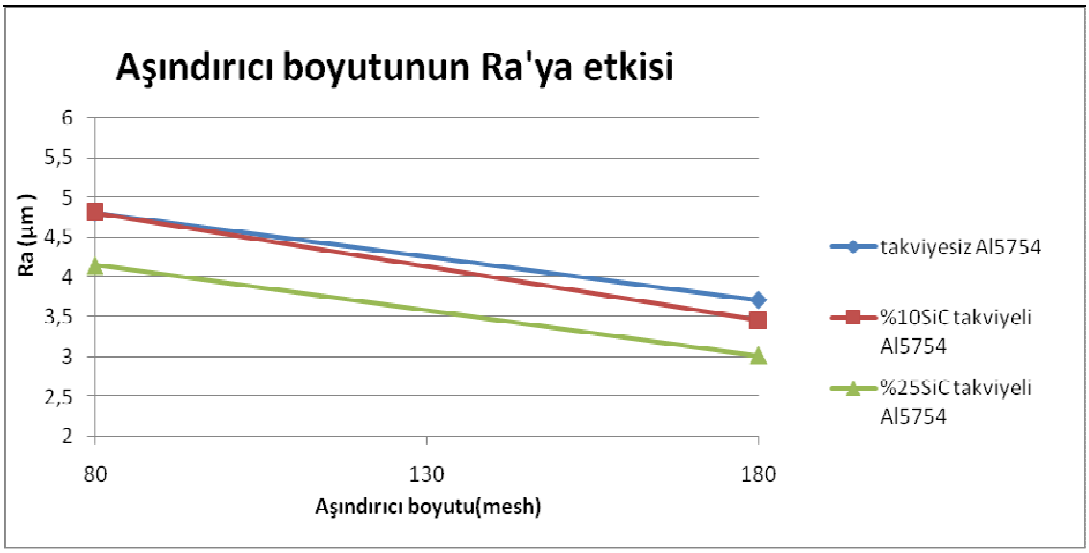
Şekil 5.3c'de 500g/dk'da ve 40mm/dk hızla işlenen numunelerin 80mesh ve 180mesh garnetle işlenmesi sonucu elde edilen Ra değerleri görülmektedir. Daha hassas garnet ile işlemek grafikte görüldüğü gibi en fazla %25 takviyeli numuneyi etkilemiştir. 80mesh ile işlenen numunenin Ra değeri 4,29µm iken 180mesh ile işlenince 2,7µm'ye kadar düşmüştür. Yüzey pürüzlülüğünde %37'ye varan bir düşüş elde edilmiştir. Takviyesiz numunede Ra değeri 3,83µm'den 3,11µm'ye; %10takviyeli numunede ise Ra değeri 4,26µm'den 3,29 µm'ye belirgin bir düşüş göstermiştir.



Şekil 5.4a. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, hız=80mm/dk



Şekil 5.4b. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, hız=80mm/dk



Şekil 5.4c. Aşındırıcı partikül boyutunun Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, hız=80mm/dk

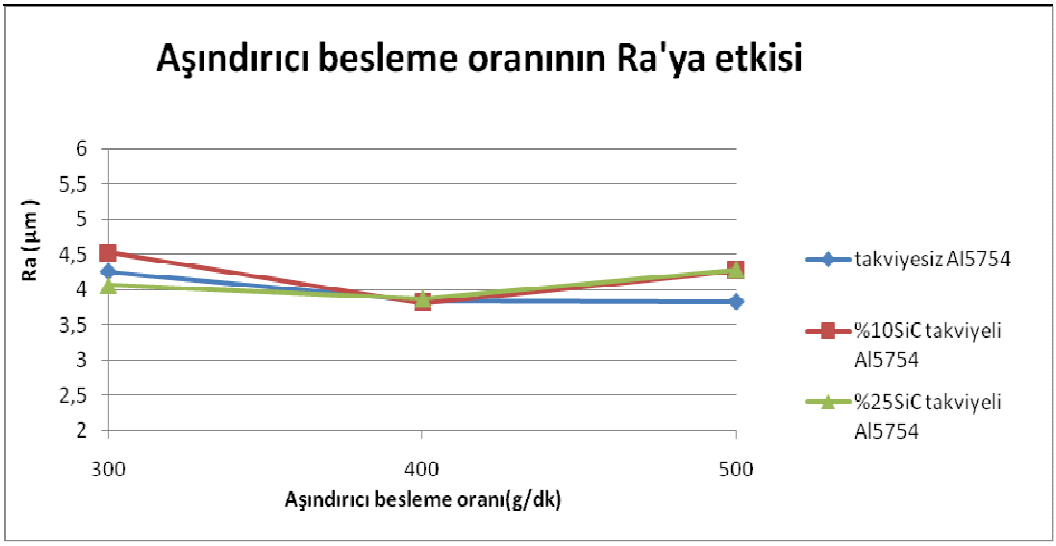
Şekil 5.4a'da aşındırıcı besleme oranı 300g/dk ve 80mm/dk hız denenmiştir. Takviyesiz malzemenin Ra değerleri 80mesh'te ve 180mesh'te diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. 80mesh ile işlenen malzemenin Ra değeri 5,25µm ve 180 mesh ile işlenirken Ra değeri 3,9µm olarak ölçülmüştür. Daha küçük taneli garnet kullanılması ile birlikte %25 daha hassas bir yüzey elde edilmiştir. %10 takviyeli malzeme aşındırıcı boyutu değişimi ile 4,92µm'den 3,74µm'ye azalmıştır. Yine burada da %24 civarında daha hassas bir yüzey elde edilmiştir. %25 takviyeli malzemede ise daha küçük taneli garnet kullanmak Ra değerini diğer numunelerde olduğu kadar düşürmese de 3,6µm'den 3,31µm'ye kadar düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 5.4b'de 80mesh garnet ile en yüksek Ra değeri takviyesiz malzemede 5,01µm olarak ölçülmüştür. 80mesh'te en düşük Ra değeri ise %10 takviyeli malzemede 4,22µm olarak ölçülmüştür. 180mesh ile yapılan kesmede en yüksek Ra değeri takviyesiz malzemede 3,54µm olarak ölçülmüştür. En düşük Ra değeri %25 takviyelide 2,9µm ölçülmüştür. Diğer grafiklerde olduğu gibi bu grafikte de göze çarpan daha küçük parçacık boyutundaki aşındırıcı garnet yüzey pürüzlülüğünü düşürmüştür.

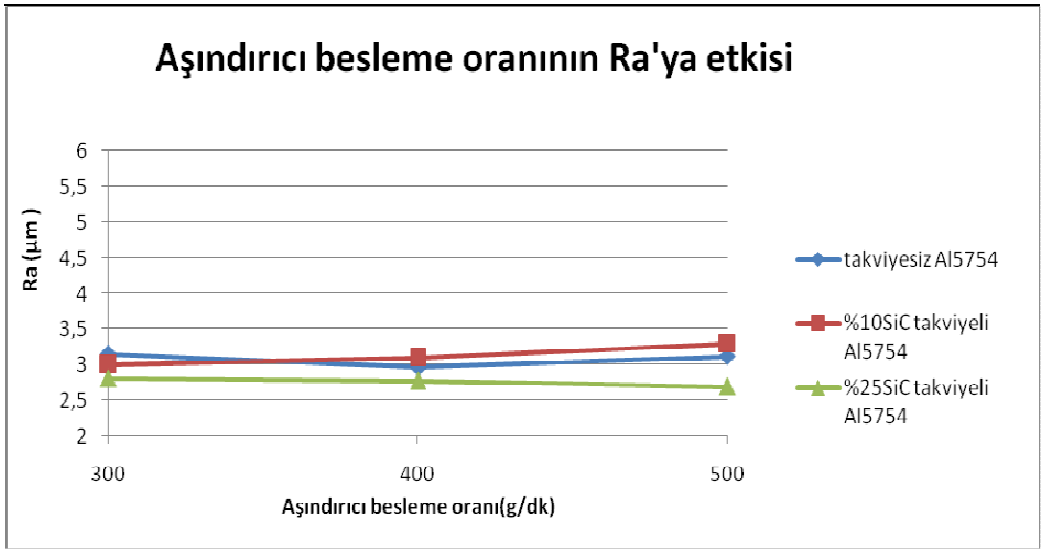
Şekil 5.4c'de aşındırıcı besleme oranı 500g/dk iken hız 80mm/dk olarak ayarlanmıştır. Tüm numunelerin Ra değerlerinde doğrusal bir düşüş gözlenmektedir.

80mesh'te en yüksek Ra değeri %10takviyeli malzemede 4,81µm olarak ölçülmüştür. 180mesh'te ise en yüksek Ra değeri takviyesiz numunede 3,71µm olarak ölçülmüştür. Takviyesiz numune ile %10 takviyeli numunenin doğruları birbirine çok yakın iken %25 takviye numunenin pürüzlülük değerleri diğerlerinden belirgin bir şekilde daha düşük çıkmıştır.

5.1.3.Aşındırıcı besleme oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 5.5a. Aşındırıcı besleme oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh

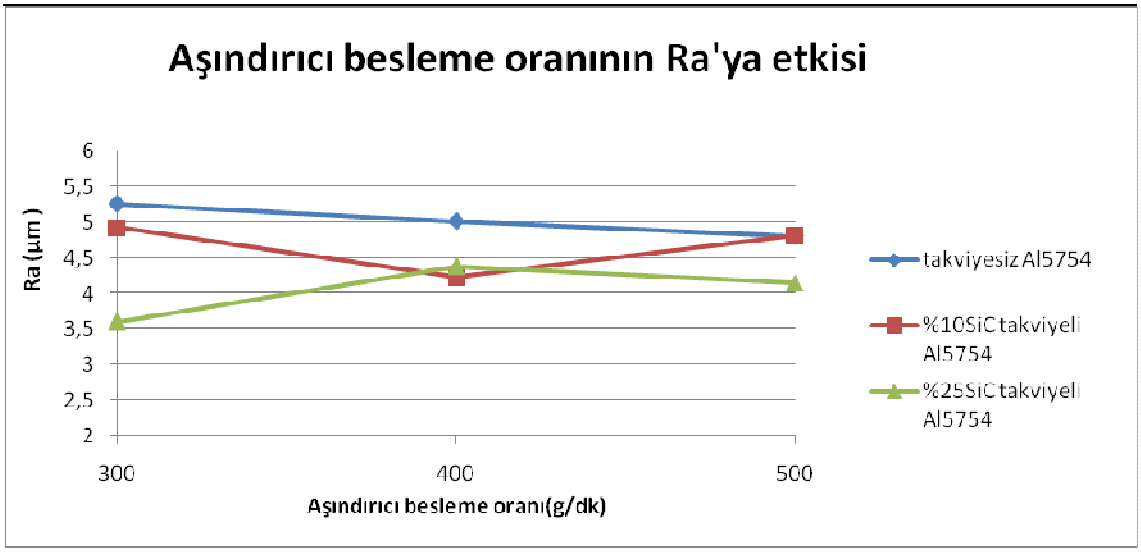


Şekil 5.5b. Aşındırıcı besleme oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh

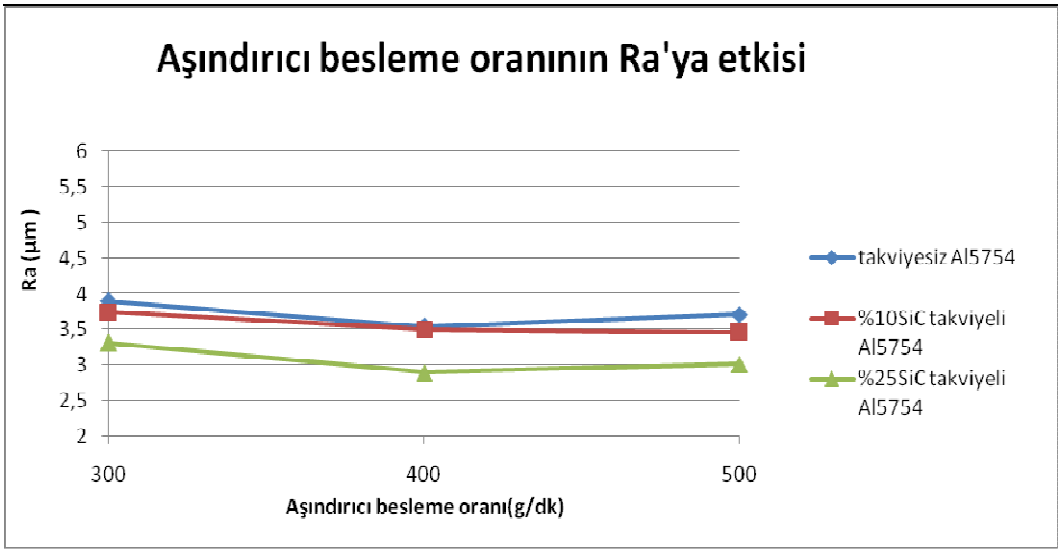
Şekil 5.5a'da aşındırıcı besleme oranının artışı ile Ra değerinin değişimi incelenmiştir. Aşındırıcı besleme oranı, birim zamanda nozuldan geçen aşındırıcı garnet taneciklerini ifade eder. Bazı kaynaklarda bu parametreyi aşındırıcı debisi olarak da görmek mümkündür. Aşındırıcı besleme oranının pürüzlülüğe etkisi, hız ve aşındırıcı boyutu parametreleri kadar belirgin olmamıştır. Kesin bir artmadan veya kesin bir azalmadan söz etmek bu parametre için zordur. Çünkü hassas bir yüzey elde etmek için her numunenin kesiminde optimum Aşındırıcı besleme oranını tutturmak gerekir. Örneğin; bir malzemeyi işlerken 300g/dk aşındırıcı besleme oranı ile çalışılırken bunu 400g/dk'ya çıkartmak Ra değerini azaltıcı etki yaparken, 400g/dk'dan 500g/dk'ya çıkartmak yüzey pürüzlülüğünü artıcı etki yapabilir. Bunun için bu parametre için optimum değer belirlenip kesme işlemi bu optimum değere göre yapılmalıdır. Şekil 5.5a'da 300g/dk aşındırıcı besleme oranında en düşük Ra değeri %25 takviyeli malzemede 4,06µm ve en yüksek Ra değeri %10takviyeli malzemede 4,52µm ölçülmüştür. 400g/dk'da en düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bunlar sırasıyla takviyesiz, %10 ve %25 takviyeli malzeme için; 3,83-3,81 ve 3,87µm olarak ölçülmüştür. 500g/dk'da değerler ise takviyesiz, %10 takviyeli ve %25 takviyeli malzeme için; 3,83-4,26-4,29µm'dir. Takviyesiz numune 300g/dk'dan sonra düşmüş, 400 ve 500g/dk için sabit kalmıştır. %10 takviyeli malzeme 300g/dk'dan 400g/dk'ya geçerken pürüzlülük düşmüş, 400g/dk'dan 500g/dk'ya geçerken geçerken pürüzlülük artmıştır. %25 takviyeli malzeme için 300g/dk'dan 400g/dk'ya geçerken pürüzlülük düşmüş, 400g/dk'dan 500g/dk'ya geçerken pürüzlülük artmıştır. 3 malzeme için de optimum aşındırıcı besleme oranı 400g/dk olarak görülmüştür.

Şekil5.5b'de 300g/dk'da en düşük pürüzlülük değeri %25 takviyeli malzemede 2,81µm olarak ölçülmüştür. 300g/dk en yüksek pürüzlülük değeri ise takviyesiz malzemede 3,15µm olarak göze çarpmaktadır. %25 takviyeli malzeme aşındırıcı besleme oranının artışından en az etkilenen malzeme olmuştur. 400g/dk'da pürüzlülük değerleri takviyesiz, %10takviyeli ve %25 takviyeli için 2,96-3,1-2,78µm olarak ölçülmüştür.500g/dk için pürüzlülük değerleri sırasıyla; 3,11-3,29-2,7 olarak ölçülmüştür. Burada %10 taviyeli malzemenin aşındırıcı besleme oranı artışı ile Ra

değeri de giderek artmıştır. Ayrıca göze çarpan diğer bir durum ise 180mesh garnet ile işleme yapıldığından Ra değerleri 2,7-3,29 gibi düşük değerler çıkmıştır.



Şekil 5.6a. Aşındırıcı besleme oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh

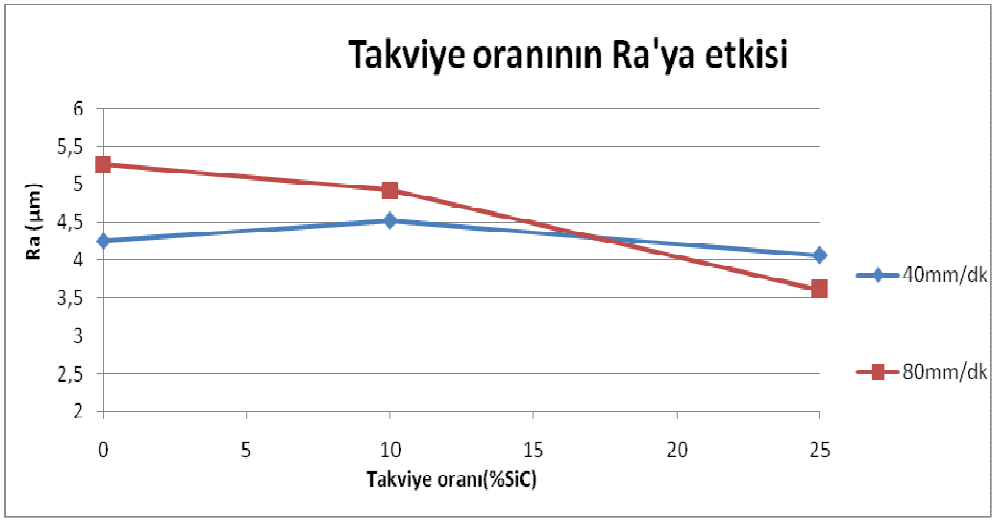


Şekil 5.6b. Aşındırıcı besleme oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh

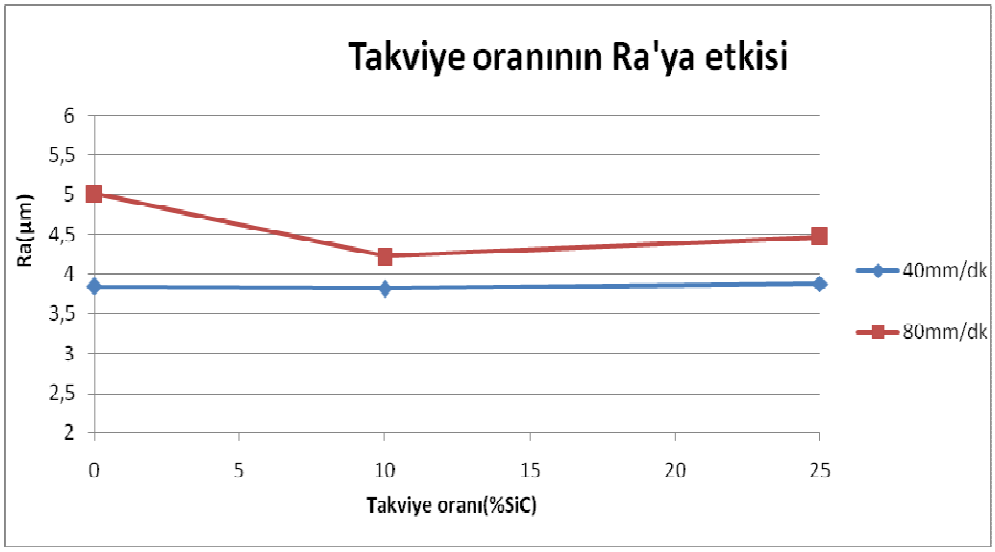
Şekil 5.6a'da takviyesiz malzemenin Ra'sı artan aşındırıcı besleme oranı ile giderek azalmış, %10takviyeli malzemenin Ra'sı 300g/dk'dan 400g/dk'ya çıkarken azalmış 400g/dk'dan 500g/dk'ya çıkarken artış göstermiştir. %25 takviyeli malzeme için Ra değeri 300g/dk'da en düşük iken 400g/dk'da maksimum değerine ulaşmış ve 500g/dk'da azalma eğilimi göstermiştir. 300g/dk aşındırıcı besleme oranında en düşük Ra değeri %25 takviyelide ölçülmüş ve 3,6µm'dir. 400g/dk'da en düşük Ra değeri %10 takviyeli malzemede 4,22µm olarak ölçülmüştür. 500g/dk ise %25 takviyeli malzemenin Ra'sı en düşük ve 4,14µm'dir. Grafikten de görüldüğü gibi aşındırıcı besleme oranının artışı ile Ra arasında kesin bir bağıntı kurmak mümkün olmamıştır.

Şekil 5.6b'de aşındırıcı besleme oranı 300g/dk iken, en düşük Ra değeri %25takviyeli malzemede görülmüştür ve 3,31µm'dir. 400g/dk'da ve 500g/dk'da en düşük Ra değerleri yine %25takviyeli malzemede ölçülmüştür, sırasıyla 2,9 ve 3,1µm'dir. %10 takviyeli malzemede de aşındırıcı besleme oranı artışı ile pürüzlülük değerleri sırasıyla 3,74-3,5 ve 3,45µm olarak azalmıştır. En yüksek Ra değerleri Şekil 5.29'da takviyesiz malzeme için ölçülmüştür. Artan aşındırıcı besleme oranı değerlerine göre takviyesiz malzemenin Ra değerleri sırasıyla 3,9-3,54 ve 3,71'dir.

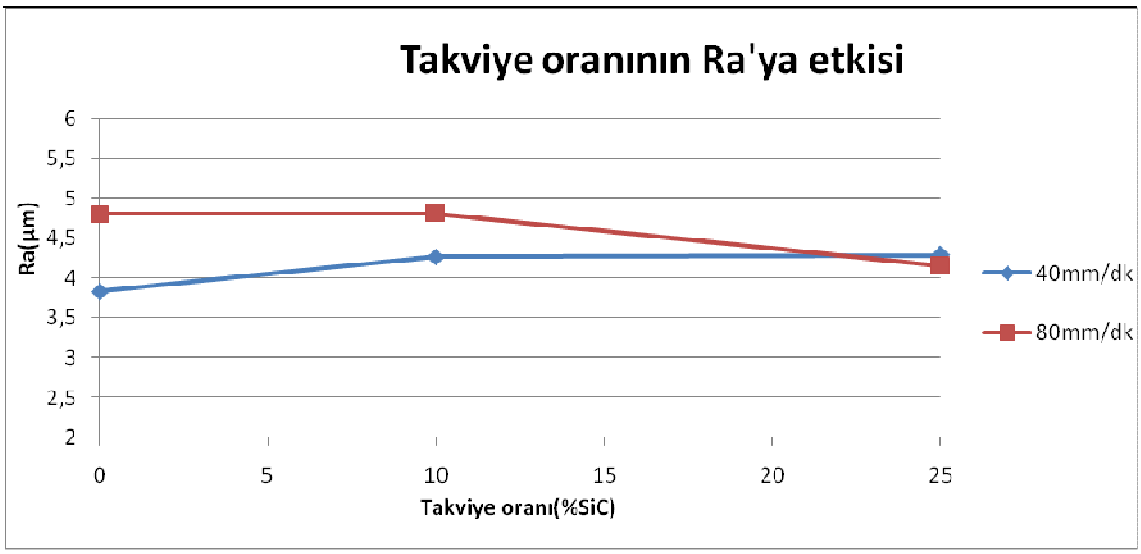
5.1.4.Takviye oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 5.7a. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi
Aşındırıcı boyutu=80mesh, Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk



Şekil 5.7b. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı boyutu=80mesh, Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk

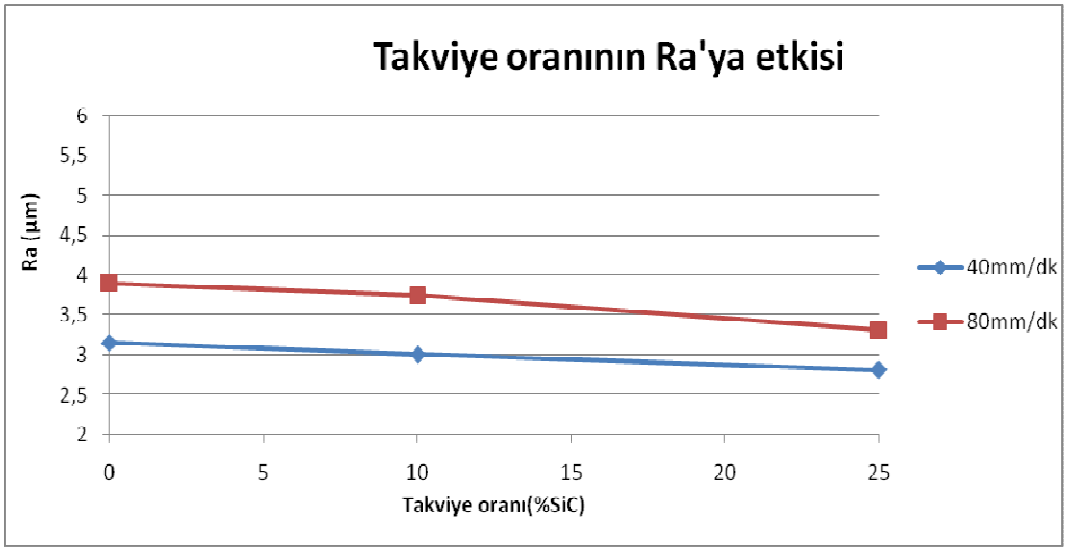


Şekil 5.7c. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi Aşındırıcı boyutu=80mesh, Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk

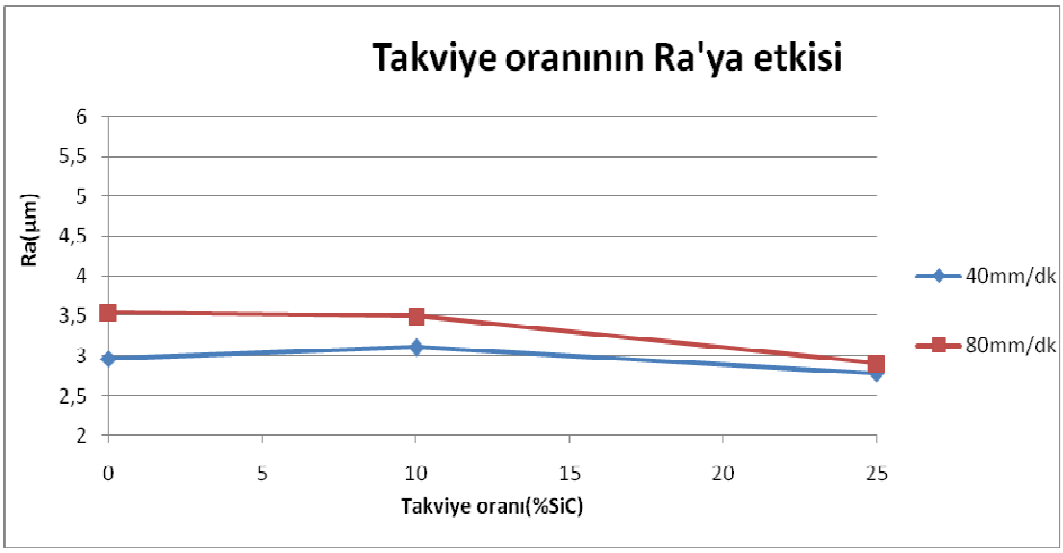
Şekil 5.7a'da 3farklı takviye oranında işlenmiş (takviyesiz, %10SiC takviyeli ve %25SiC takviyeli) Al kompozitlerin 300g/dk aşındırıcı besleme oranında ve 80mesh aşındırıcı boyutunda işlenmesi ile elde edilen Ra değerleri verilmiştir. 40mm/dk hızda işlenen malzemelere baktığımızda takviyesiz malzemenin Ra'sı 4,25µm'dir. %10takviyeli bu değer 4,52µm ve %25 takviyede 4,06µm ölçülmüştür. En yüksek Ra

%10takviyeli malzemede görülmüştür. 80mm/dk hızda işlenen malzemelerde en yüksek Ra değeri takviyesiz malzemede 5,25µm olarak belirlenmiştir. Daha sonra %10takviyelide 4,92µm'ye düşmüştür. Son olarak da %25 takviyeli büyük bir düşüş göstererek 3,6µm kadar düşmüştür.

Şekil 5.7b'de 40mm/dk kesme hızında işlenen malzemelerde takviyesiz, %10takviyeli ve %25takviyeli malzemeler için Ra değerleri sırasıyla 3,83-3,81-3,87µm'dir ve çok küçük değişiklikler görülmüştür. Fakat 80mm/dk ilerleme hızı ile işlenen malzemelerde durum daha farklıdır. Takviyesiz malzemenin yüzey pürüzlülüğü 5,01µm olarak ölçülmüştür. Daha sonra %10takviyeli ve %25takviyeli malzemelerde takviyesiz malzemeye göre Ra değerlerinde belirgin düşmeler görülmüştür. %10takviyelinin Ra'sı 4,22µm ve %25takviyelinin Ra'sı 4,46µm'dir. Parametrelerin değiştirilmesi içinde takviye malzemesi bulunan numunelerin pürüzlülüğünü daha az değiştirirken takviyesiz numunenin pürüzlülüğü daha fazla etkilemiştir.

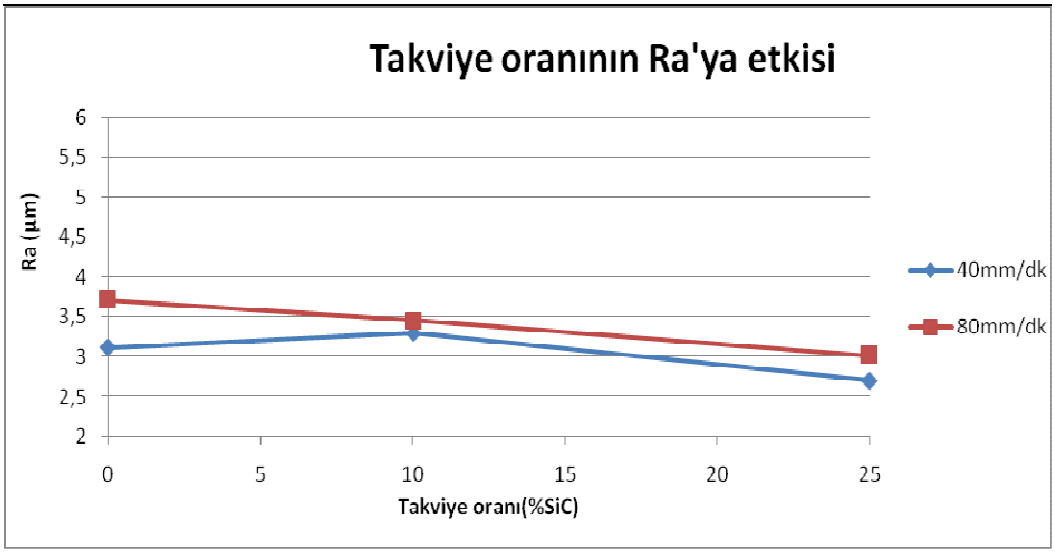


Şekil 5.8a. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi
Aşındırıcı boyutu=180mesh, Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk



Şekil 5.8b. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi

Aşındırıcı boyutu=180mesh, Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk



Şekil 5.8c. Takviye oranının Ra ortalama pürüzlülük değerine etkisi

Aşındırıcı boyutu=180mesh, Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk

Şekil 5.8a'da 40mm/dk hızla kesilen 3 farklı malzemeden en düşük Ra değeri takviyesiz malzemede(3,83µm) ve en yüksek Ra değeri %10takviyeli malzemede (4,26µm) ölçülmüştür. 80mm/dk hızla kesilen malzemelerden en düşük Ra değeri %25takviyeli malzemede(4,14µm) ve en yüksek Ra değeri %10takviyeli malzemede (4,81µm) ölçülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken konulardan birisi; takviye oranı arttıkça hız artışı malzemeyi daha az etkilemiştir. Şekil 5.20'de de görüldüğü gibi

takviyesiz malzemeden %25takviyeli malzemeye doğru gidildikçe pürüzlülük farkları azalmıştır.

Şekil 5.8b'de 40 ve 80mm/dk hızda kesilen aşındırıcı besleme oranı 300g/dk ve aşındırıcı boyutu 180mesh garnet olan 3 farklı numunenin Ra değerleri görülmektedir. 40mm/dk ve 80mm/dk'da 2 kesimde de takviye oranı artışına bağlı olarak Ra değerleri azalmıştır. 40mm/dk'da yapılan kesimde Ra değerleri takviye artışına göre sırasıyla; 3,15-3-2,81µm olarak ölçülmüştür. Değerlerde düzgün bir azalma göze çarpmıştır. 80mm/dk'da ki kesimde ise Ra değerleri takviye artışına göre sırasıyla verilirse; 3,9-3,74-3,31'dir. Bu hızla kesimde de takviye oranı artışına bağlı olarak düzgün bir azalma vardır. Bu grafiğe göre; takviye oranı artışı aynı şartlarda işlenen numunelerde yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğü görülmüştür.

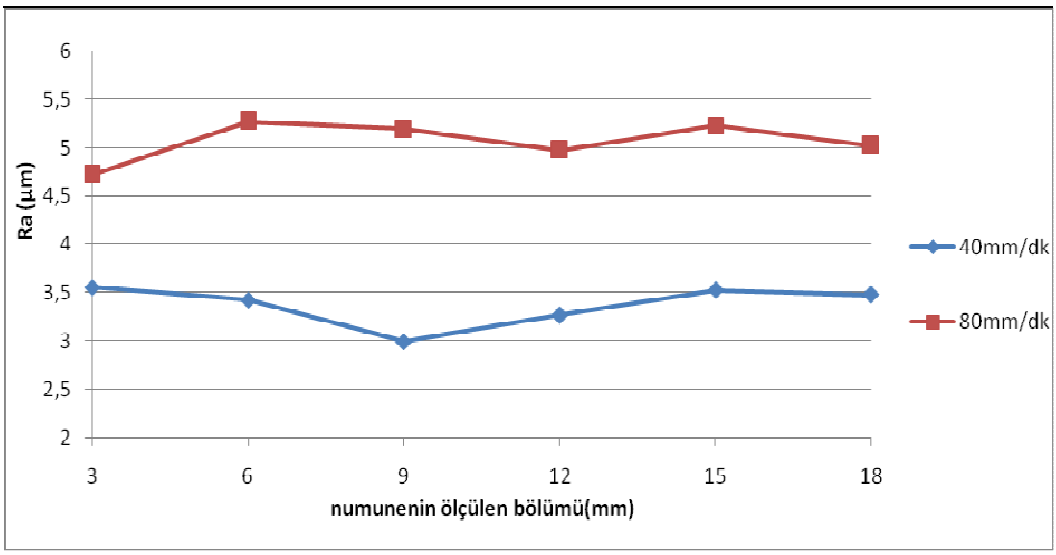
Şekil 5.8b'de 40mm/dk hızla yapılan kesimde en yüksek Ra değeri(3,1µm) %10takviyeli numune için elde edilmiştir. 80mm/dk hızda takviyesiz malzemede en yüksek Ra(3,54µm) değeri görülmüştür. Hızı 40mm/dk'dan 80mm/dk'ya çıkarınca takviyesiz malzemenin pürüzlülüğünde %16artma, %10takviyelide %11artma ve %25takviyelide ise %4'lük bir artış görülmüştür. Burada takviye oranının artması ile birlikte hız artışının yüzey pürüzlülüğüne etkisi azalmıştır.

Şekil 5.8c'de 180mesh boyutundaki garnet ile 500g/dk aşındırıcı besleme oranında yapılan kesimler sonucunda Ra değerleri verilmiştir. Takviyesiz malzeme 40mm/dk'da kesilince Ra değeri 3,11µm 80mm/dk'da kesilince Ra değeri 3,71µm olmuştur. %10takviyelide hız artışıyla Ra değeri 3,29µm'den 3,45µm'ye çıkmaktadır. %25 takviyeli malzeme için Ra değeri artan hızla birlikte 2,7µm'den 3,01µm'ye çıkmıştır. Aynı şekilde Şekil 5.8c'de de takviye artışı ile birlikte hızın artışı pürüzlülük artışını daha az etkilemiştir. En yüksek pürüzlülük değerleri takviyesiz malzemede görülürken en düşük pürüzlülük değerleri ise %25takviyeli malzemede görülmüştür.

5.1.5. Kesit boyunca yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

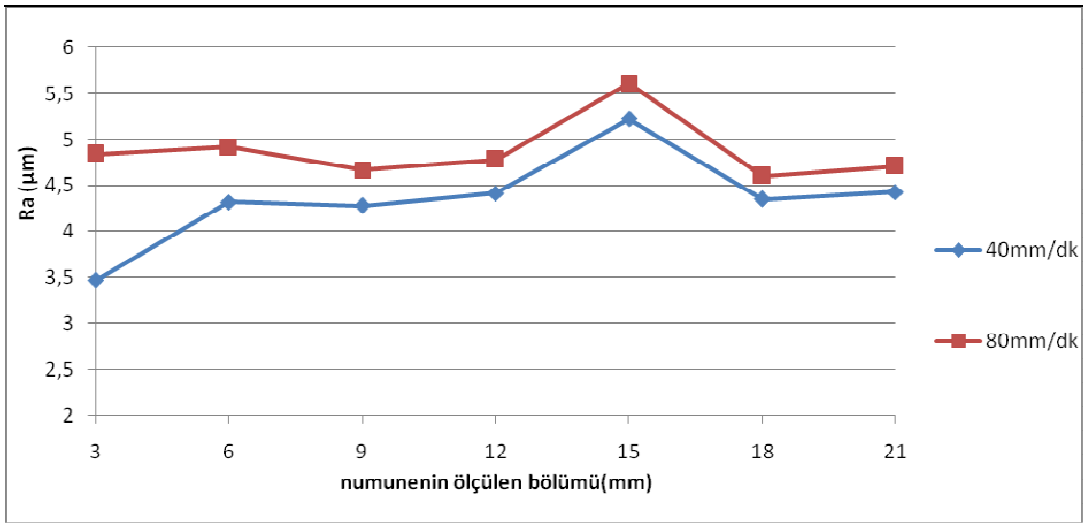
Kesit boyunca pürüzlülük değişimi ASJ yönteminde istenilen yüzey kalitesini elde etmek için irdelenmesi gereken önemli konulardan birisidir. Kesit boyunca aynı kalitede yüzey elde etmek oldukça zordur. Çünkü su jetinin en büyük eksikliklerinden birisi jetin malzemeye giriş noktasından itibaren çıkışa kadar genellikle aynı kalitede kesim yapamamasıdır. Bu eksikliği gidermek için optimum kesme parametrelerinin tamamını yerine getirmek ve malzemenin özelliklerini çok iyi bilmek gerekir.

Kesit boyunca yüzey pürüzlülüğünün değişiminin incelenmesi için 6 adet grafik aşağıda verilmiştir.



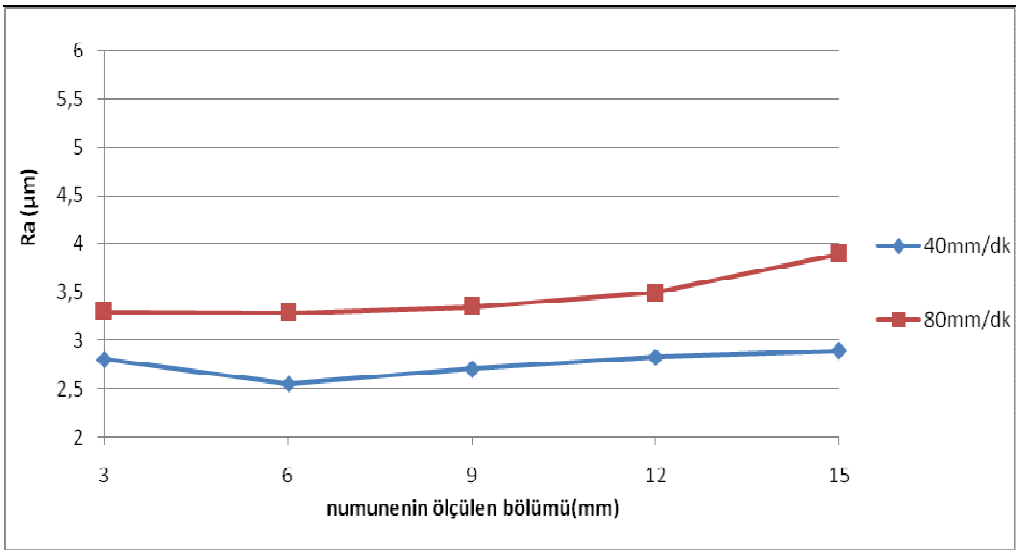
Şekil 5.9a. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi

Aşındırıcı besleme oranı=400g/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%0SiC



Şekil 5.9b. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi

Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC



Şekil 5.9c. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi

Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%25SiC

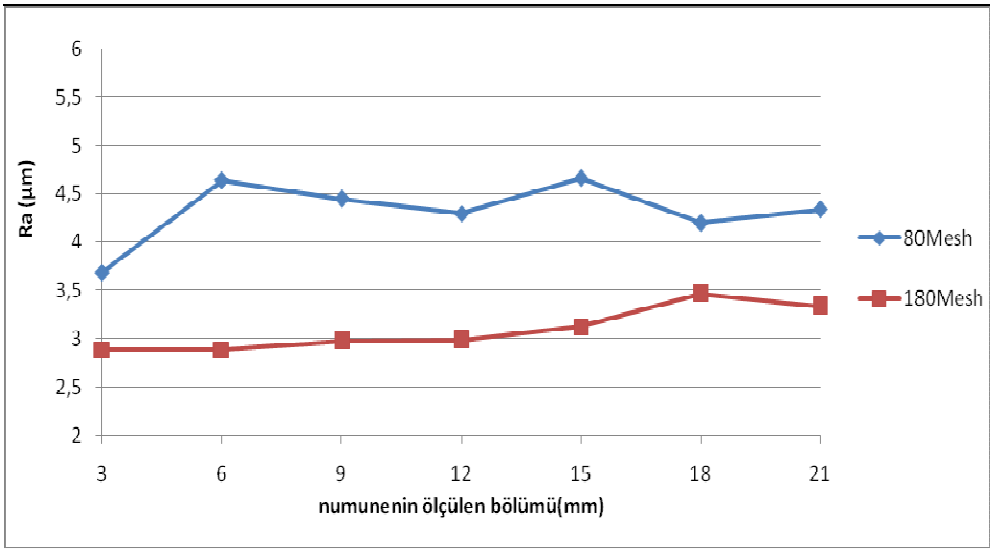
Şekil 5.9a'da 400g/dk aşındırıcı besleme oranında, aşındırıcı boyutu 80mesh ve takviyesiz malzeme 40-80mm/dk hızlarda kesilmiş ve ortaya çıkan Ra değerleri incelenmiştir. Kesit boyunca pürüzlülüğü sırasıyla 3-6-9-12-15 ve 18.mm'de inceledik. 40mm/dk kesim hızında pürüzlülük değerleri kesitten içeriye doğru girildikçe sırasıyla; 3,56-3,43-3-3,27-3,53-3,43µm olarak ölçülmüştür. Seçilen parametrelere göre kesit boyunca maksimum pürüzlülük 3,56µm, minimum 3µm ölçülmüştür. 80mm/dk kesim

hızında pürüzlülük değerleri kesitten içeriye doğru girildikçe sırasıyla; 4,72-5,27-5,19-4,97-5,23-5,02µm olarak ölçülmüştür. Seçilen parametrelere göre kesit boyunca maksimum pürüzlülük 5,27µm, minimum 4,72µm ölçülmüştür. Literatürde teorik olarak jetin malzemeye girdiği noktadan çıkış noktasına kadar pürüzlülüğün giderek artması gerektiğinden bahsedilmiştir. Fakat şekil 5.9a'da bu şekilde bir sonuca ulaşılmamıştır. Pürüzlülük değerleri kesit boyunca doğrusal bir artış göstermemiştir. Kesit boyunca pürüzlülüğünün giderek artmaması seçilen kesme parametrelerinin bu malzeme için uygun olması ile açıklanabilir.

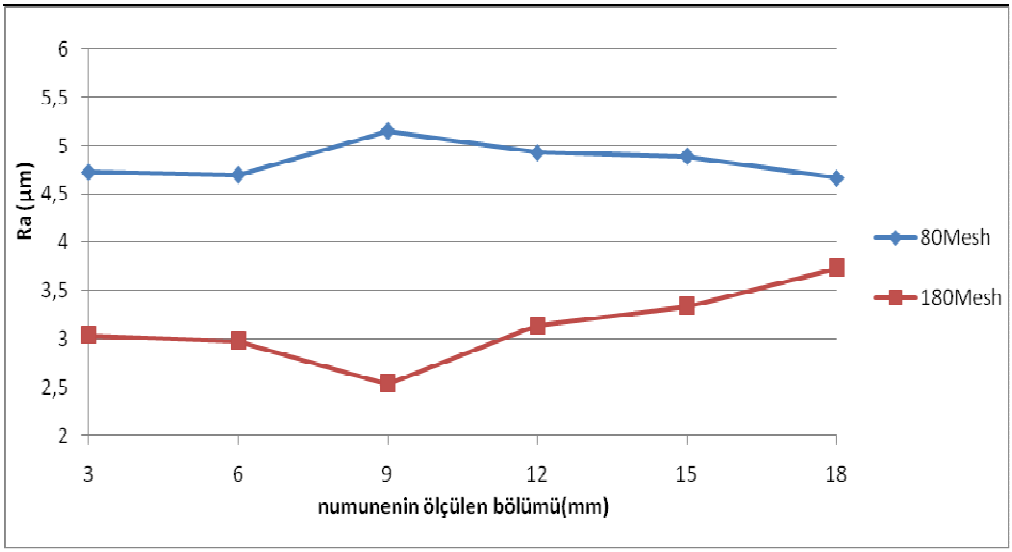
Şekil 5.9b'de 300g/dk aşındırıcı besleme oranında, aşındırıcı parçacık boyutu 80mesh iken 40 ve 80mm/dk hızlarda kesilmiş malzemenin Ra değerleri incelenmiştir. Malzeme 40mm/dk hızla kesilirken 3.mm'deki pürüzlülük değeri 3,47µm'dir. Daha sonra 6, 9 ve 12.mm'lerde yapılan pürüzlülük ölçümlerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bu değerler sırası ile 4,32-4,28-4,42 olarak ölçülmüştür. 15.mm'de yapılan ölçümde maksimum değer ölçülmüştür ve 5,22µm'dur. 15.mm'deki ani pürüzlülük artışının kesim sırasında yüzeye saplanan aşındırıcı garnet parçacıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. 18 ve 21.mm'de yapılan ölçümlerde ise daha öncekilere yakın değerler elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 4,35 ve 4,43µm'dur. 80mm/dk kesim yaparken kesit boyunca 3-6-9-12.mm'lerde yapılan ölçümlerde sırasıyla 4,84-4,92-4,67-4,78µm pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler arasında çok büyük farklar görülmemiştir. Ancak 15.mm'de ani bir artış gözlenmiş ve Ra değeri 5,61µm olarak ölçülmüştür. Bunun sebebinin aynı şekilde 40mm/dk'da olduğu gibi yüzeye saplanan garnet parçacıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Son 2 ölçümde Ra değerleri 4,6 ve 4,71µm olarak ölçülmüştür. Bu değerler ilk 4 ölçümle yakındır.

Kesit boyunca pürüzlülüğün incelendiği Şekil 5.9c'de malzeme işlenirken aşındırıcı besleme oranı 500g/dk, aşındırıcı boyutu 180mesh olarak ayarlanmıştır. %25SiC takviyeli kompozit malzemenin Ra değerleri incelenirken tabloda göze ilk çarpan 40mm/dk'da yapılan işleme sonucu ölçülen Ra değerlerinin 80mm/dk'ya göre daha düşük çıkmasıdır. 40mm/dk'da yapılan işleme ile daha pürüzsüz yüzeyler elde edilebildiği net bir şekilde görülmüştür. Alttaki eğride ölçülen Ra değerleri sırası ile

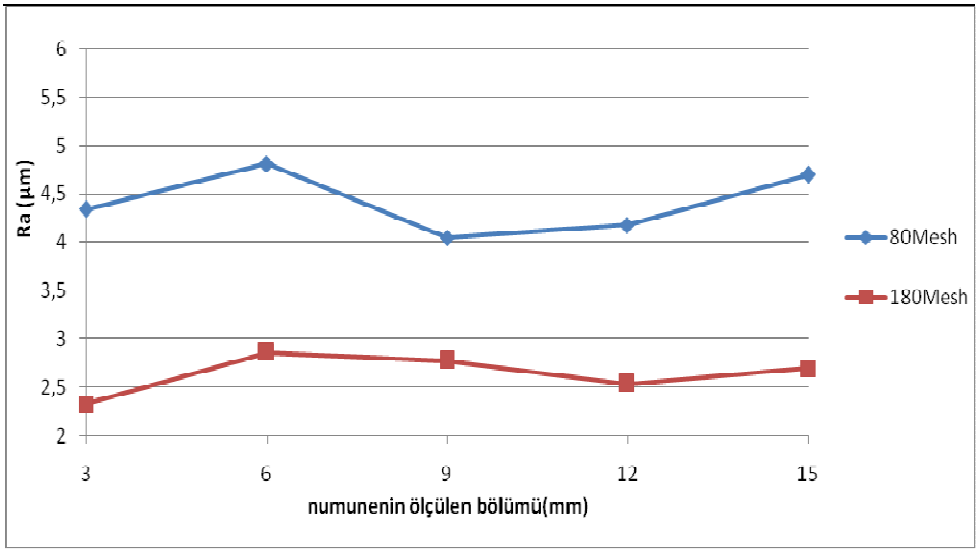
2,81-2,56-2,71-2,83-2,9µm'dir. 2.ölçüm dışındaki ölçümlerde doğrusal bir artış görülmektedir. Bu sonuçlar literatürde anlatıldığı gibi kesit boyunca pürüzlülük artışını doğrulamıştır. Üstteki eğriyi incelersek ölçümlerin tamamında doğrusal bir artış olduğu görülmüştür. Kesit boyunca malzemede pürüzlülük artışı gözlenmiştir. Ra değerleri sırası ile 3,3-3,29-3,35-3,5-3,9µm'dir.



Şekil 5.10a. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi
Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Takviye oranı=%0SiC



Şekil 5.10b. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi
Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=80mm/dk, Takviye oranı=%10SiC



Şekil 5.10c. Kesit boyunca Ra ortalama pürüzlülük değerinin değişimi
Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, Hız=40mm/dk, Takviye oranı=%25SiC

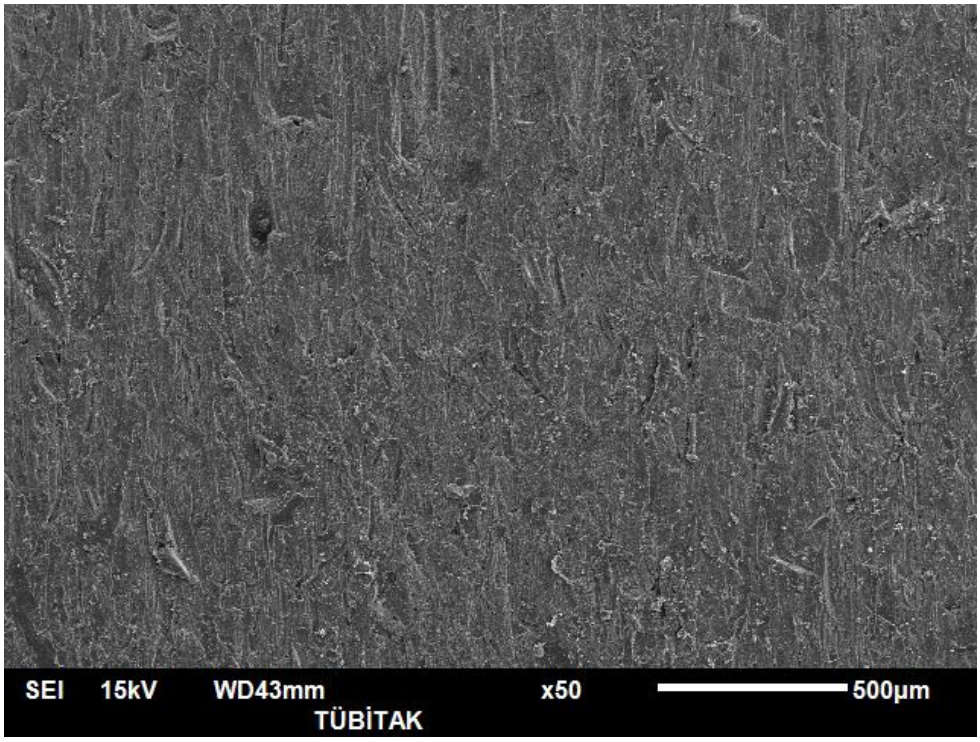
Şekil 5.10a'da 80 ve 180mesh boyutundaki aşındırıcı garnet parçacıkları ile yapılan kesmede; aşındırıcı besleme oranı 500g/dk, hız 40mm/dk olarak uygulanmıştır. 180mesh garnet ile yapılan kesimde daha hassas bir yüzey elde edildiği net bir şekilde görülmüştür. Küçük taneli aşındırıcılarla yapılan kesmede tıpkı ince tornalama yapar gibi yüzey daha pürüzsüz bir şekilde işlenmiştir. 180mesh garnet ile işlenen yüzeyin Ra değerleri kesit boyunca; 2,89-2,89-2,98-2,99-3,13-3,47-3,34µm olarak ölçülmüştür. 80mesh garnet ile işlenen yüzeyde kesit boyunca Ra değerleri sırası ile; 3,69-4,64-4,45-4,3-4,66-4,2-4,34µm olarak ölçülmüştür. 180mesh garnet ile yapılan kesimde Ra değerleri son ölçüme kadar doğrusal bir şekilde artmıştır. İlk 4 ölçümde Ra değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Son ölçümde Ra değeri 3,47µm 'den 3,34 µm'ye bir miktar düşüş göstermiştir. 80mesh garnet ile işlenen yüzeyde ise en düşük Ra değeri; 3,69µm en yüksek Ra değeri ise; 4,66µm ölçülmüştür. Bu sonuçlar 80mesh garnet ile hiçbir zaman kesme işlemi yapmamız gerektiği anlamına gelmez aksine günümüzde özel sektördeki firmaların çoğu genel olarak 80mesh garnet aşındırıcı ile çalışmaktadırlar. Aşındırıcı boyutunu yapacağımız işleme göre seçmek en doğru karar olacaktır. Çünkü çok hassas bir yüzey gerekmediği sürece küçük boyutlu aşındırıcı kullanmak maliyeti artıracağından fayda yerine zarar sağlar.

Şekil 5.10b'de 80mesh ve 180mesh elek boyutundaki aşındırıcı garnet parçacıkları ile yapılan kesme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Diğer işleme parametreleri 500g/dk aşındırıcı besleme oranı, 80mm/dk hızdır. Malzeme, %10SiC takviyeli Al kompozit malzemedir. 180mesh garnet tozu ile yapılan kesme sonucunda pürüzlülük değerleri 80mesh garnet ile kesilen yüzeye göre daha düşük çıkmıştır. 80mesh garnet ile yapılan kesmede Ra değerleri kesit boyunca; 4,73-4,7-5,15-4,93-4,89-4,67µm'dir. Eğri ilk 2 ölçümde sabit görünürken 3.ölçümde yükselmiş, daha sonraki ölçümlerde sürekli azalmıştır. 180mesh garnet ile yapılan kesme işleminde ise Ra değerleri; 3,04-2,98-2,54-3,14-3,34-3,73µm'dir. Bu eğride ilk 3 ölçümde değerlerde düşüş görülmüş, 4.ölçüm ve daha sonrası için sürekli bir artış görülmüştür.

Şekil 5.10c'de %25SiC takviyeli Al kompozit malzemede 500g/dk aşındırıcı besleme oranında, 40mm/dk hızla yapılan kesimde 80 ve 180mesh aşındırıcı garnet kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin kesit boyunca değişim incelenmiştir. Kaba taneli (80mesh boyutunda) garnet tozla yapılan kesme işleminde elde edilen Ra değerleri hepsi 4µm'nin üzerindedir. Üstteki eğri için kesit boyunca pürüzlülük değerleri; 4,34-4,81-4,05-4,18-4,7µm'dir. Pürüzlülük değerlerindeki değişkenliğin kesim sırasında yüzeye saplanan garnet tanelerinden ve malzeme içindeki takviye malzemesi olan SiC'ün homojen dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 180mesh garnet ile yapılan kesme işleminde tüm Ra değerleri 3µm'nin altında olduğu görülmüştür. Değerlerin kesit boyunca değişimi sırası ile şöyledir; 2,33-2,86-2,78-2,54 ve 2,7µm'dir.

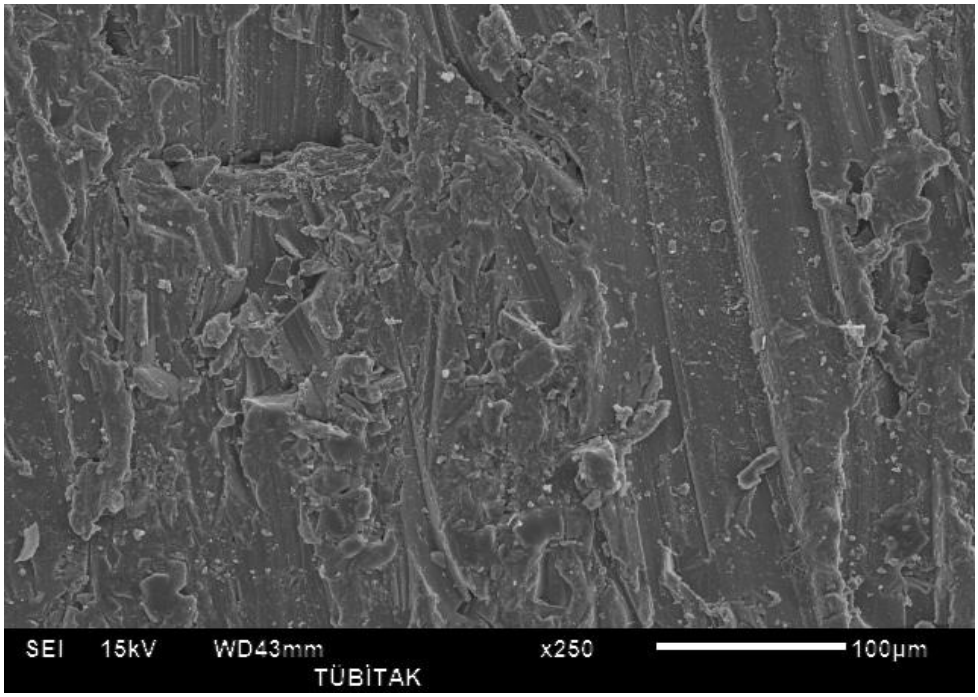
5.2. Mikro Yapı İncelemeleri

Şekil5.11a, şekil5.11b, şekil5.11c ve şekil 5.11d'de takviyesiz Al malzemenin 300g/dk aşındırıcı besleme oranında, 40mm/dk hızla, 80mesh aşındırıcı parçacık boyutunda işlenmesi sonucu elde edilen yüzeyin 50x, 250x, 500x, 5000x gibi büyütmelerdeki SEM fotoğrafları gösterilmiştir.



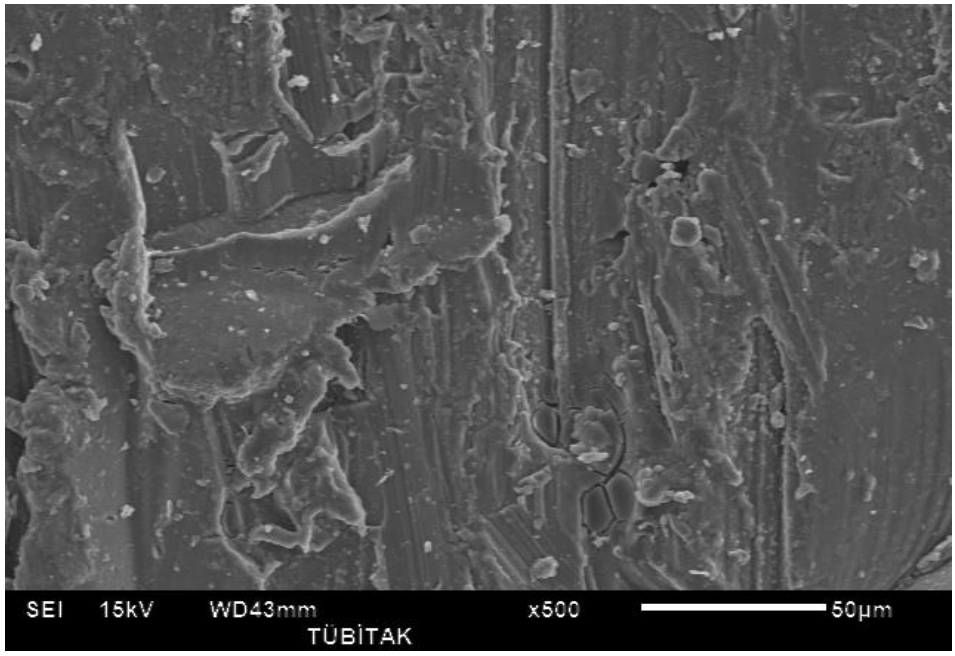
Şekil 5.11a. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%0SiC, 50X büyütme



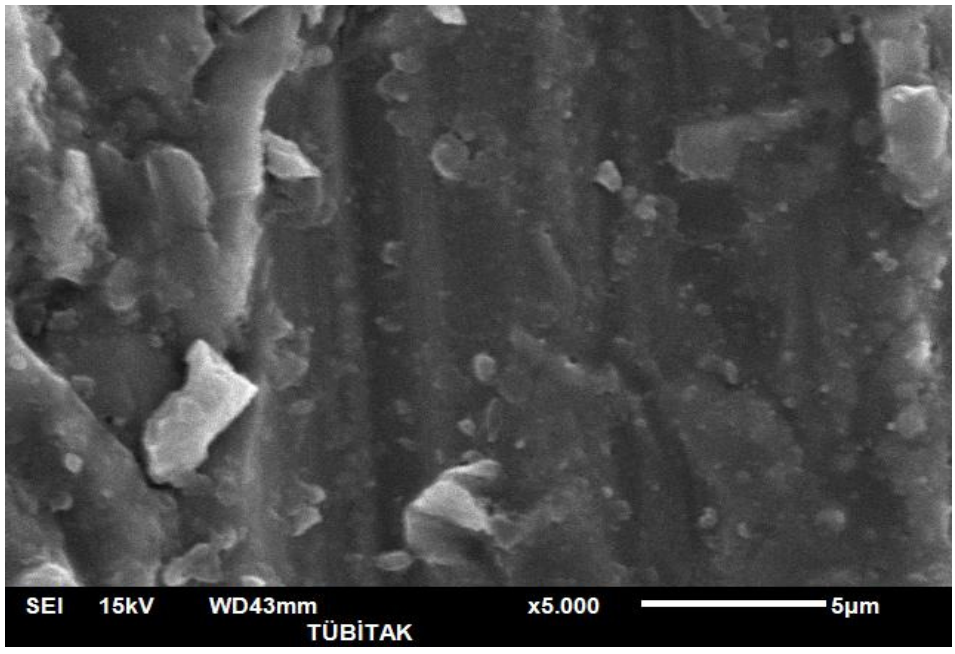
Şekil 5.11b. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%0SiC, 250X büyütme



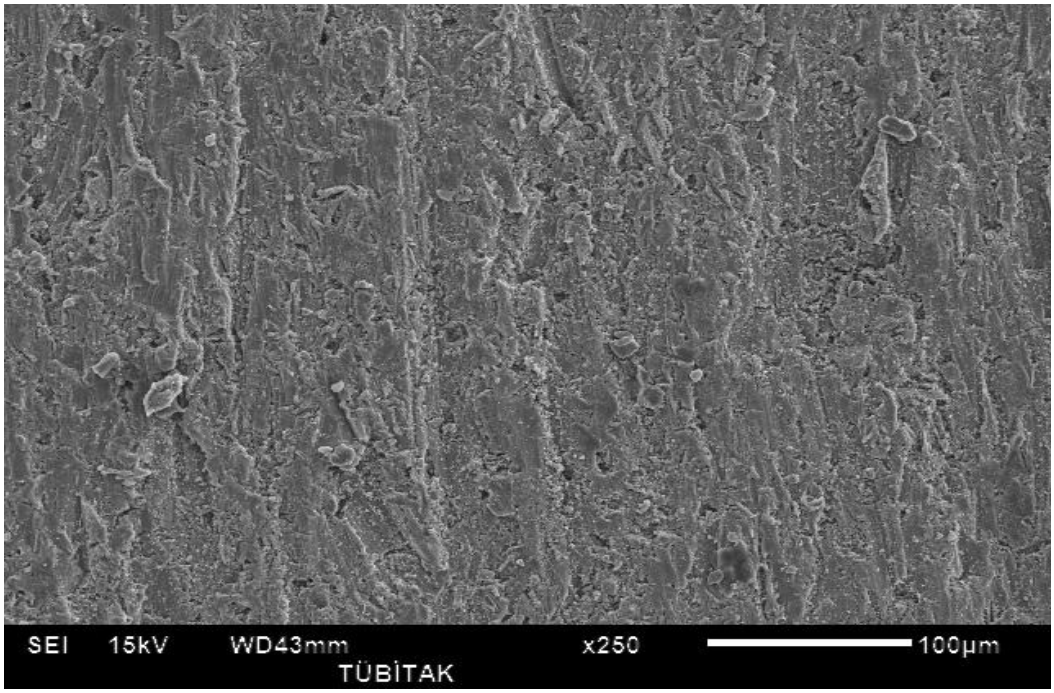
Şekil 5.11c. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%0SiC, 500X büyütme

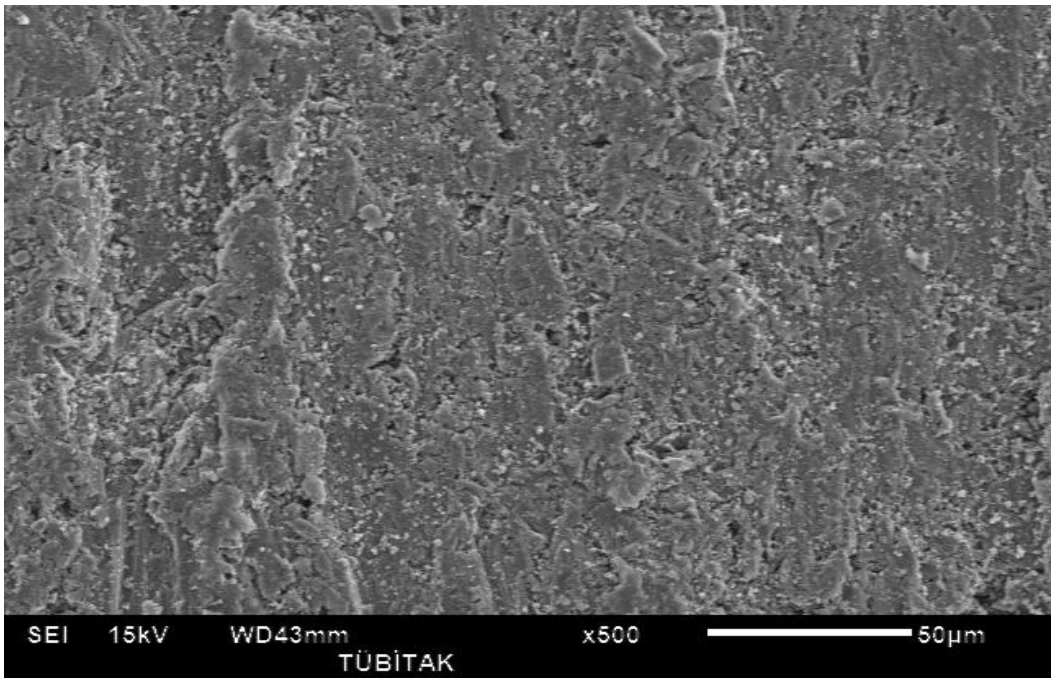


Şekil 5.11d. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı

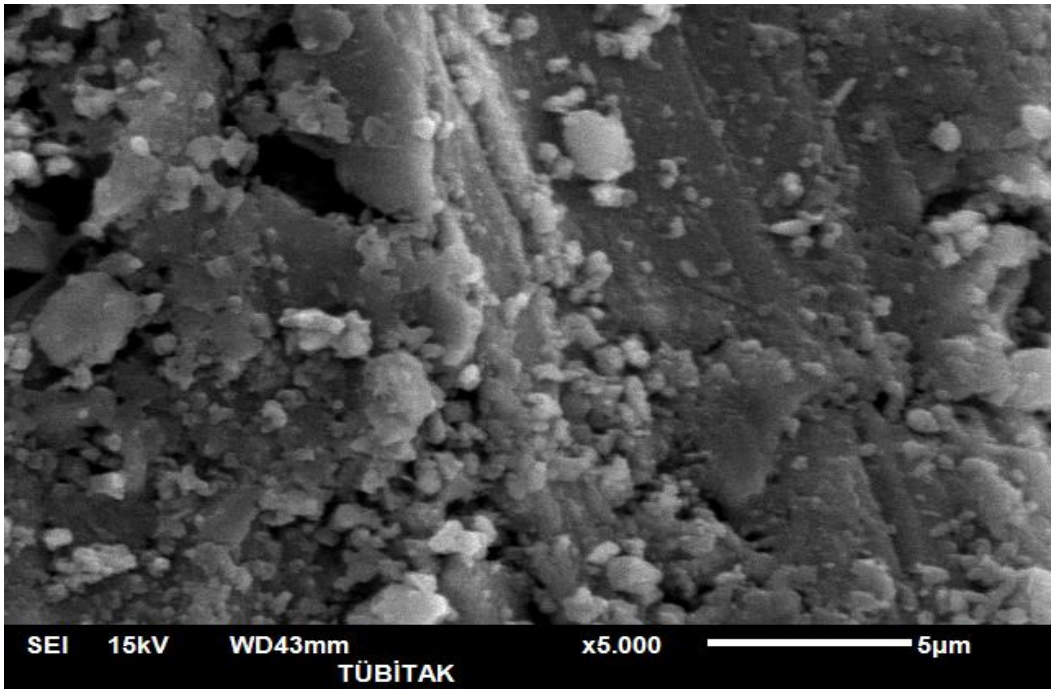
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%0SiC, 5000X büyütme



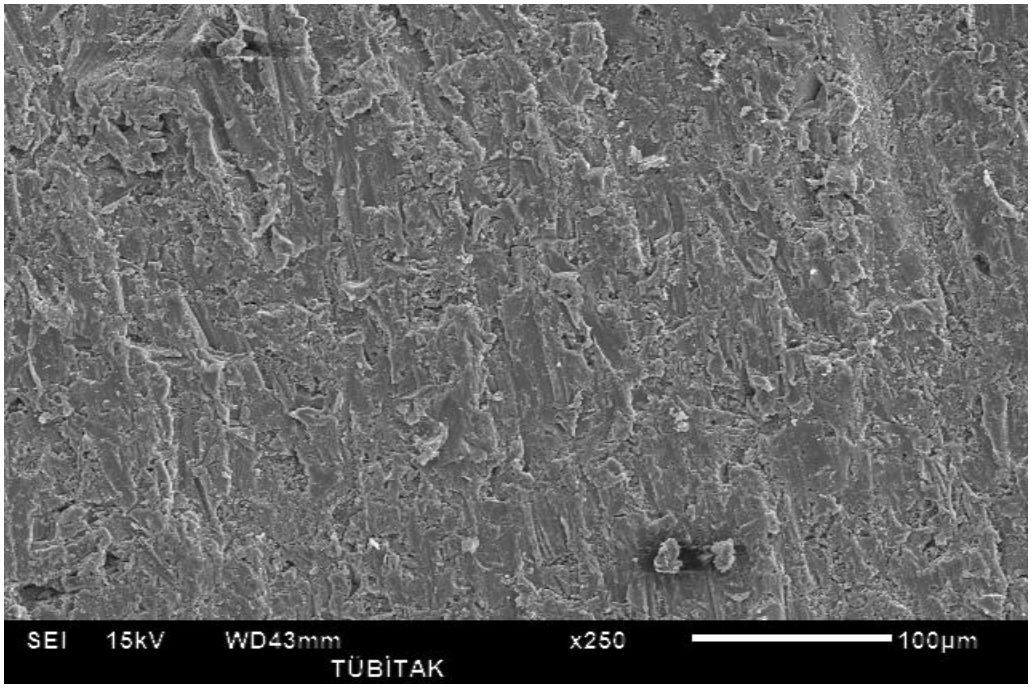
Şekil5.12a. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 250X büyütme



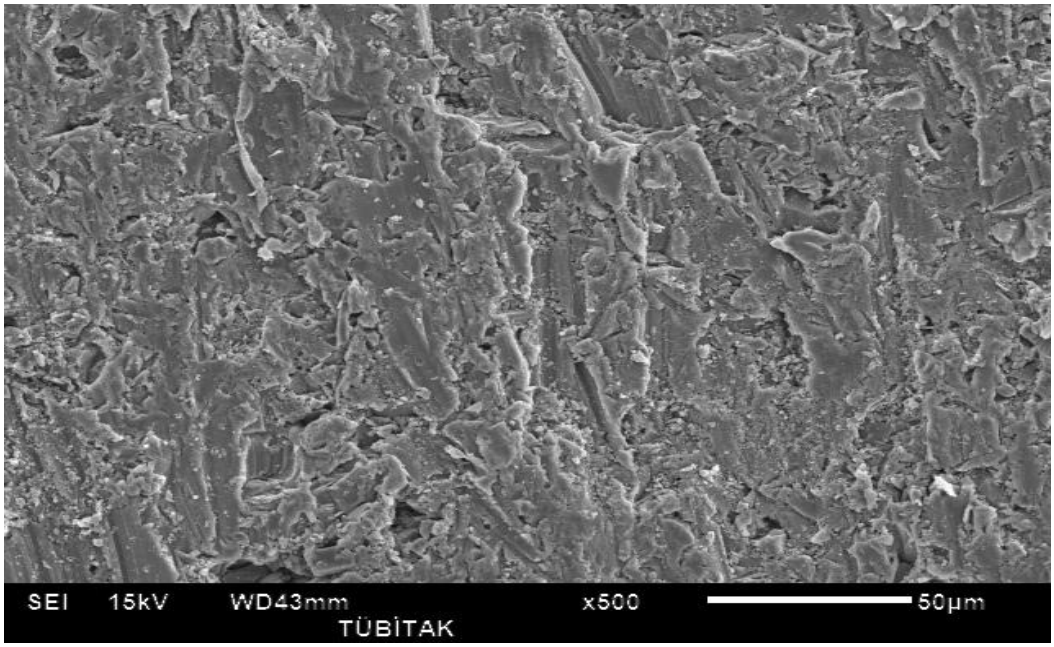
Şekil5.12b. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 500X büyütme



Şekil5.12c. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 5000X büyütme

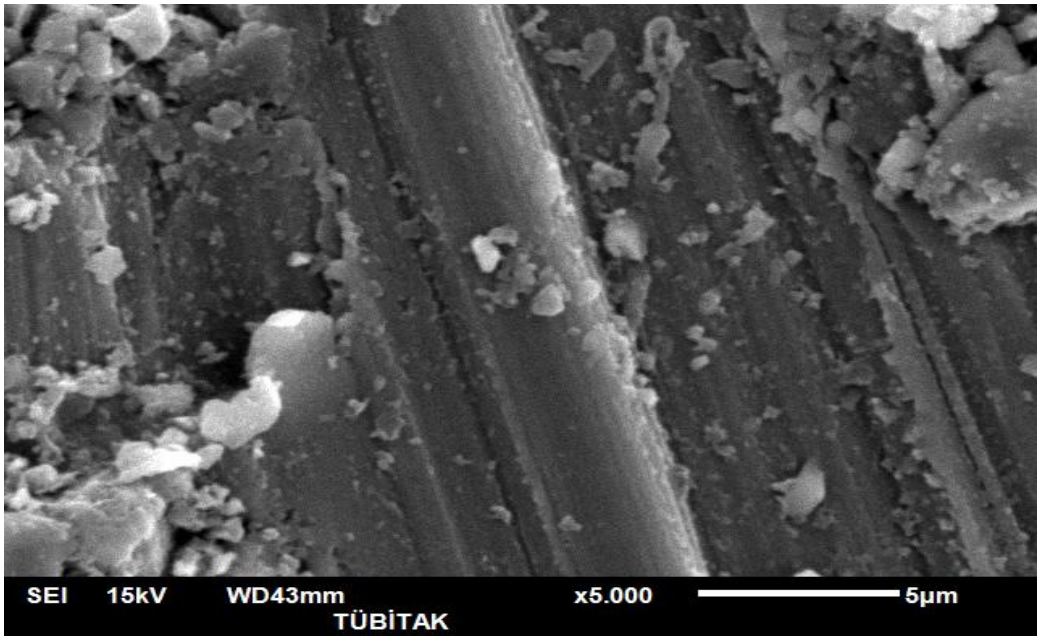


Şekil 5.13a. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 250X büyütme



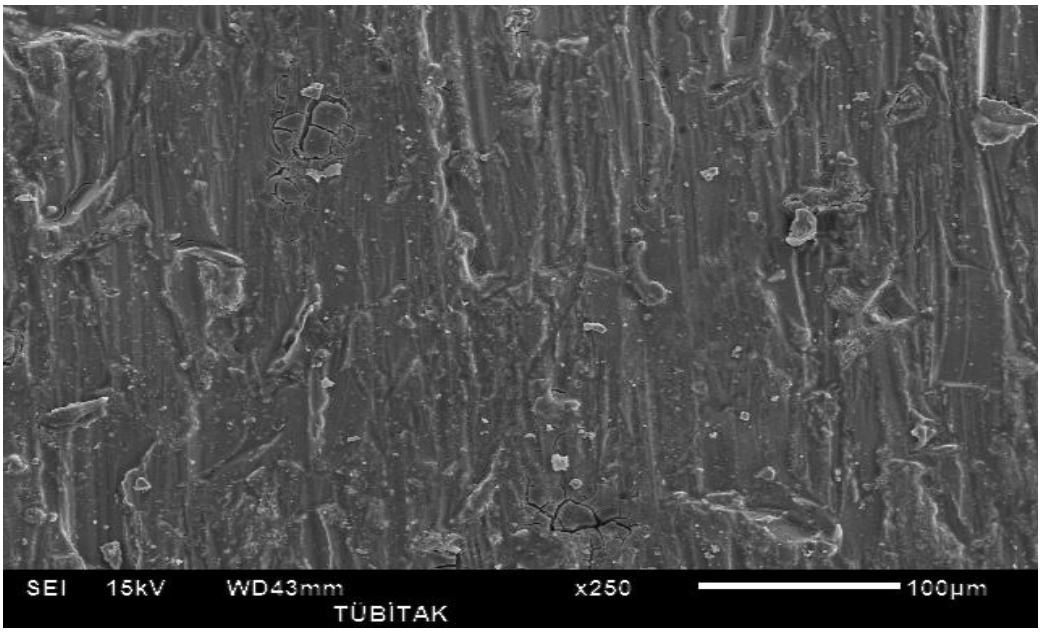
Şekil 5.13b. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 500X büyütme

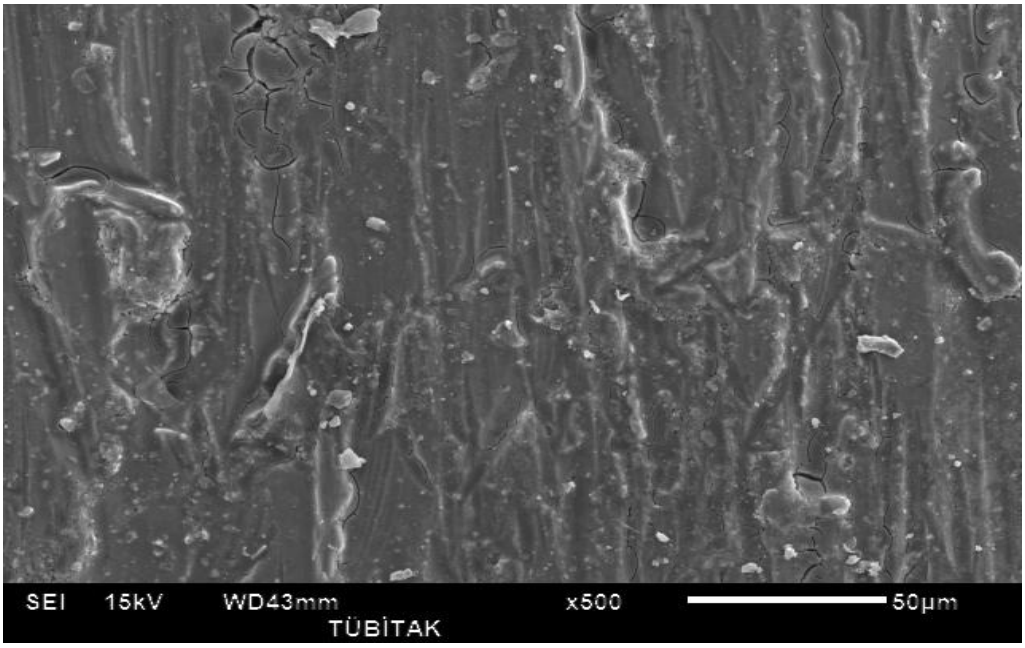


Şekil 5.13c. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

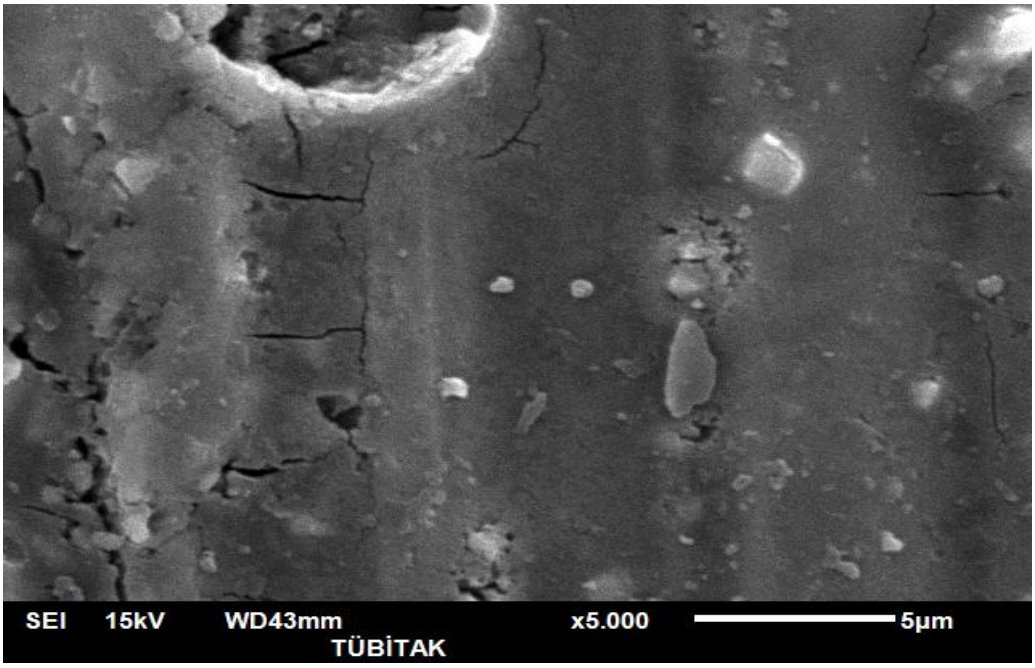
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 5000X büyütme



Şekil 5.14a. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 250X büyütme



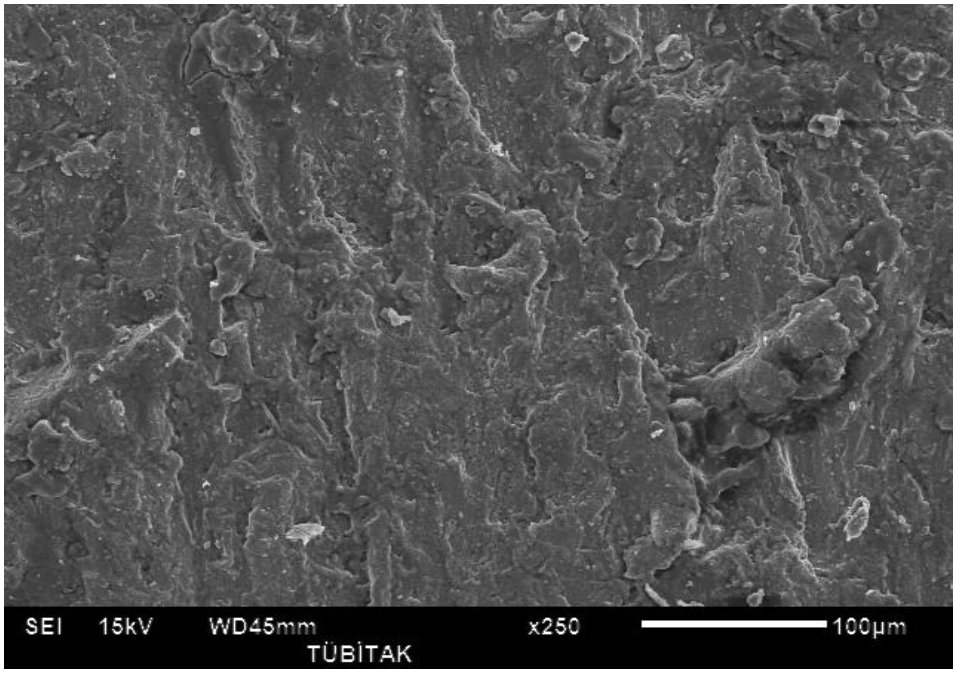
Şekil 5.14b. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 500X büyütme



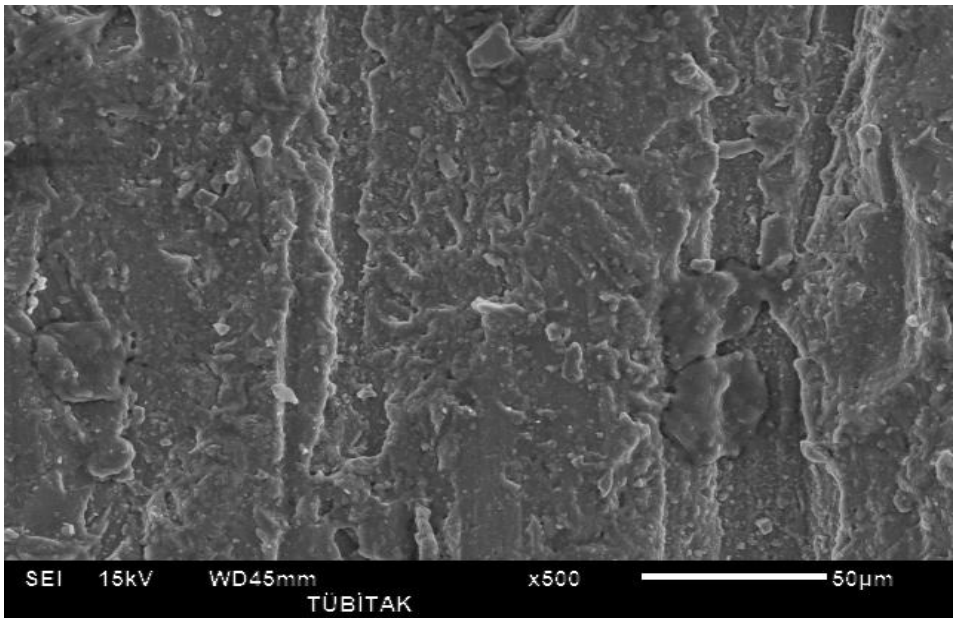
Şekil 5.14c. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 5000X büyütme

Şekil5.14a, şekil5.14b ve şekil5.14c'de ABO=300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC olan malzemenin 250x, 500x ve 5000x büyütülmüş SEM fotoğrafları görülmektedir. 3 şekilde de imalat sırasında oluşmuş mikro çatlaklar görülmüştür. Ayrıca şekil5.14c'de yüzeye saplanmış garnet parçacıklarına rastlanmıştır.

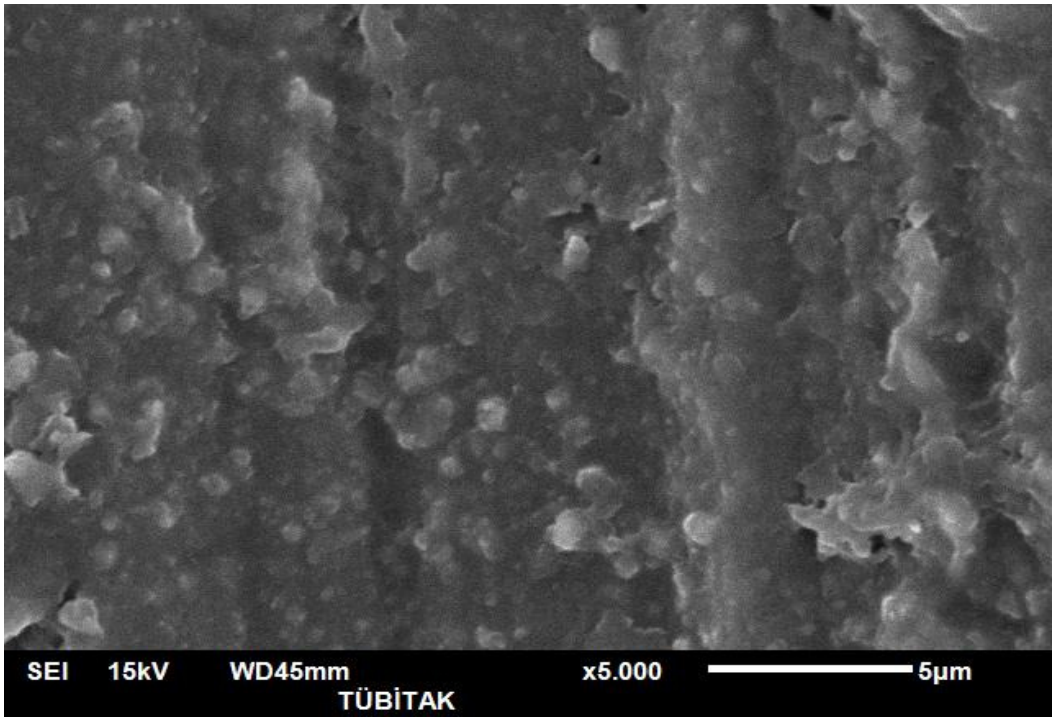
Şekil5.15a, 5.15b ve 5.15c'de aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh işleme parametreleri ile işlenmiş %10SiC takviyeli Al kompozitin 250x, 500x ve 5000x büyütmedeki SEM fotoğrafları görülmektedir. Yüzeyin çeşitli yerlerine dağılmış garnet parçacıklarına rastlanmaktadır. 5000x büyütmede yüzeye saplanmış çok sayıda garnet görüntüsü elde edilmiştir.



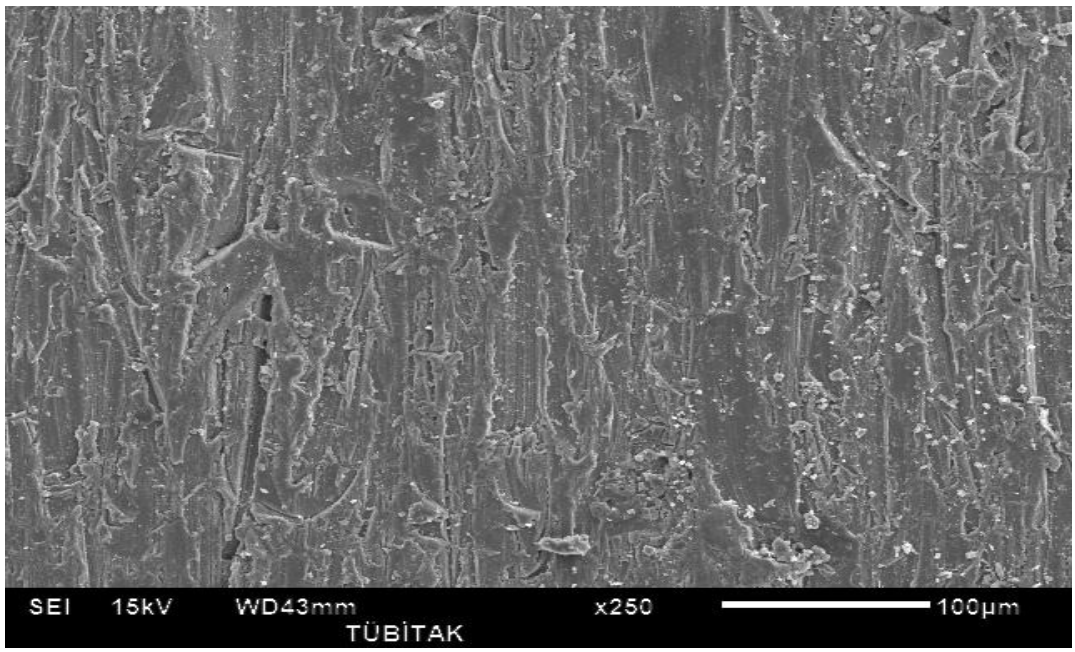
Şekil 5.15a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme



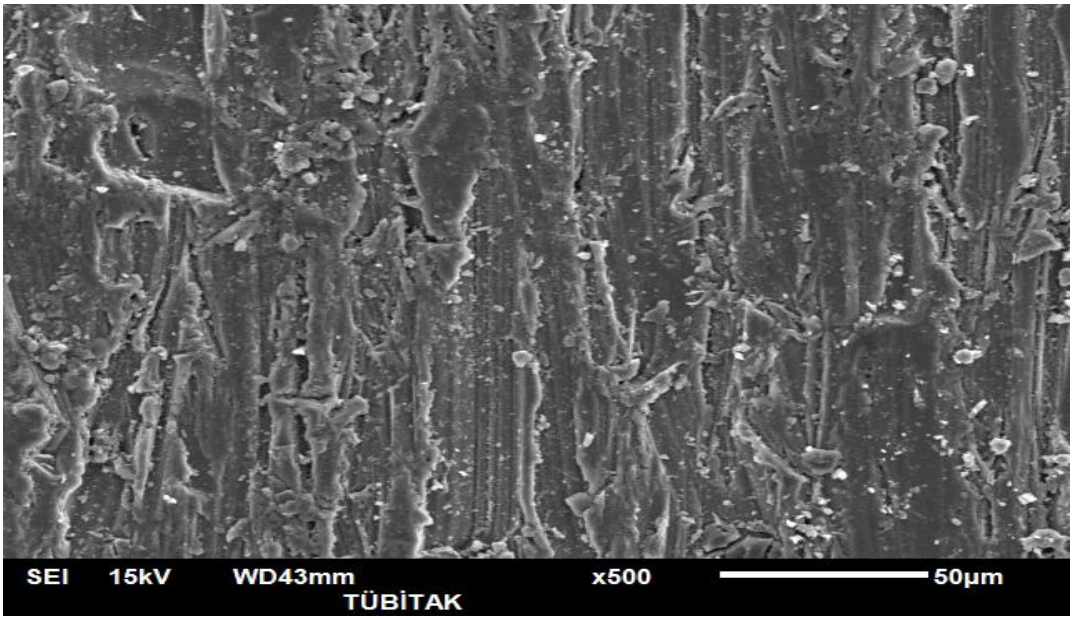
Şekil 5.15b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme



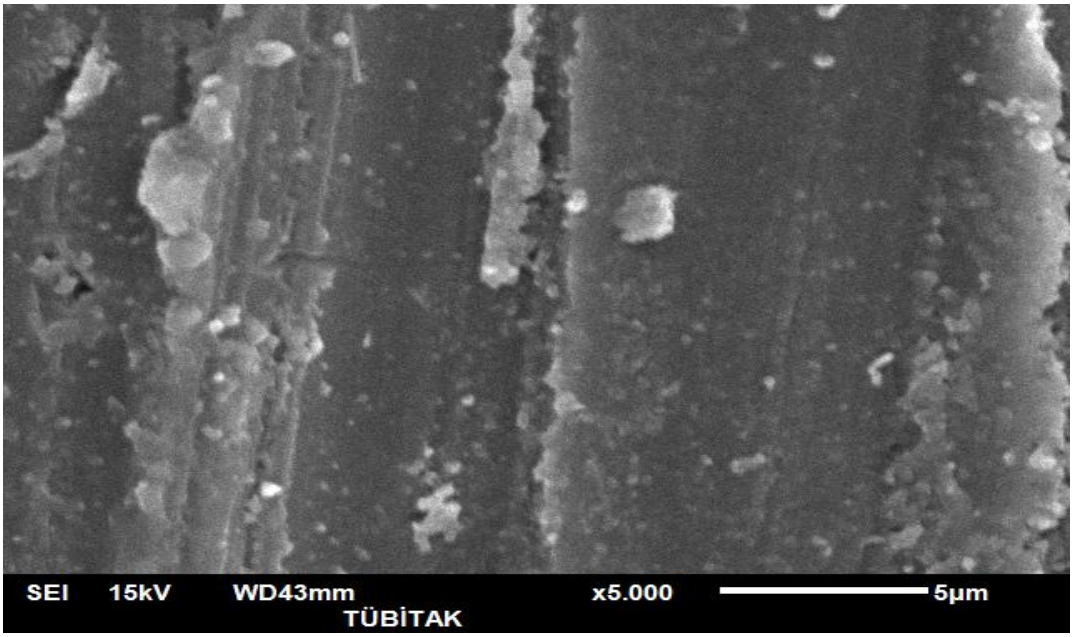
Şekil 5.15c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme



Şekil 5.16a. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 250X büyütme



Şekil 5.16b. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 500X büyütme



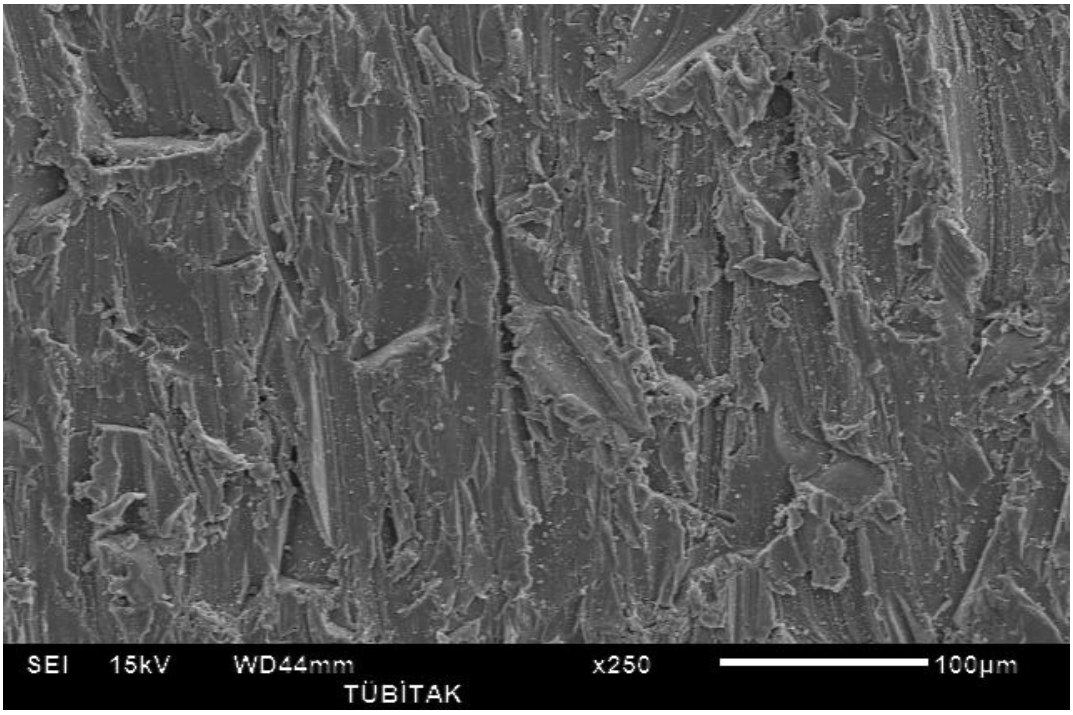
Şekil 5.16c. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 5000X büyütme

Şekil 5.16a, 5.16b ve 5.16c'de takviyesiz Al malzemenin aşındırıcı besleme oranı =400g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh olan işleme parametreleri

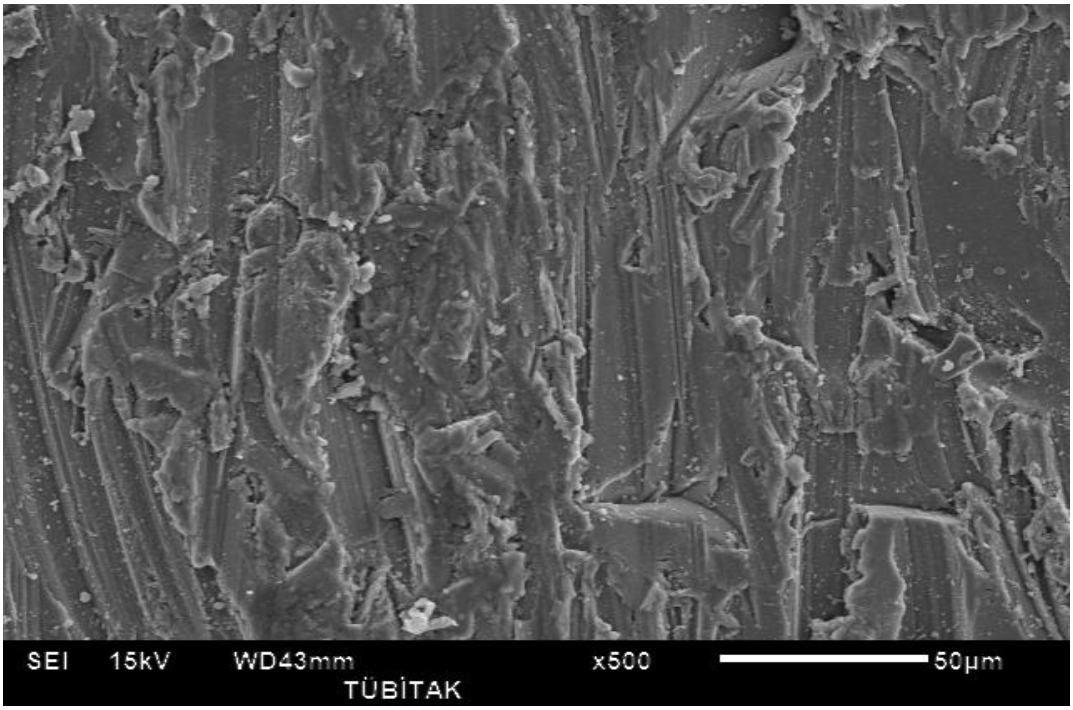
ile işlendiği SEM fotoğrafları 250x,500x ve 5000x büyütme yapılarak incelenmiştir. 5000x büyütme yapılmış şekil5.16c'de kesim izi çizgileri net bir şekilde görülmektedir.

Şekil5.17a, 5.17b ve 5.17c'de takviyesiz Al malzeme 80mm/dk kesme hızında ve 180mesh boyutundaki garnetle işlenmiştir. Aşındırıcı besleme oranı 500g/dk seçilmiştir. 250x, 500x ve 5000x büyütme yapılarak malzemenin SEM fotoğrafları incelenmiştir. Şekil 5.17c'de görüldüğü gibi kesim sırasında yüzeyin tamamına garnet parçacıkları saplanmıştır.

Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC

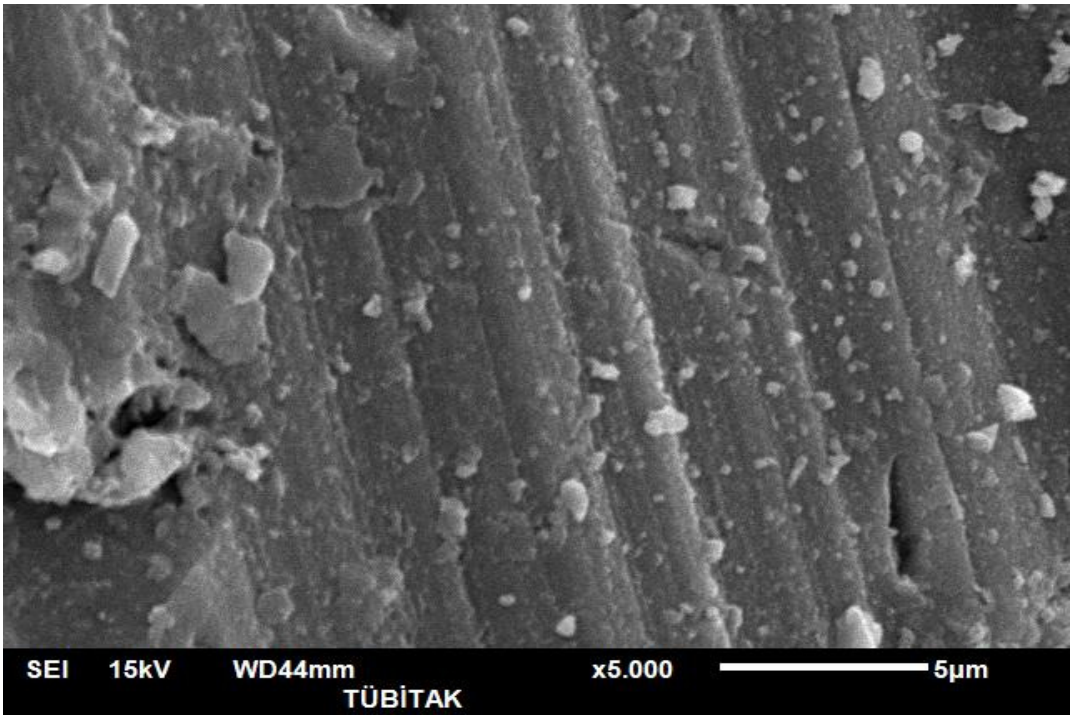


Şekil 5.17a. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 250X büyütme



Şekil 5.17b. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı

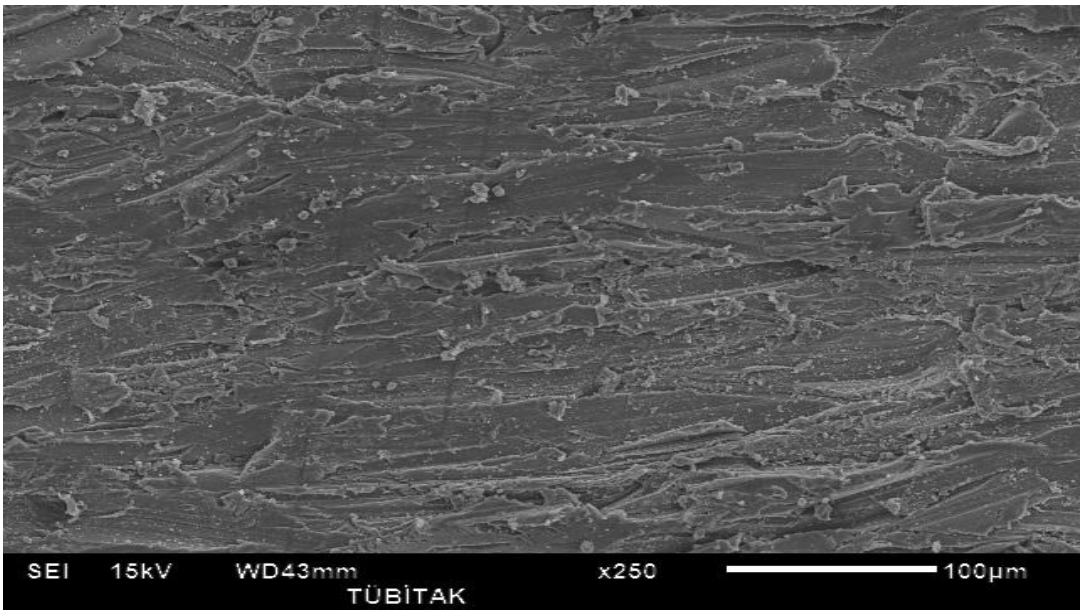
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 500X büyütme



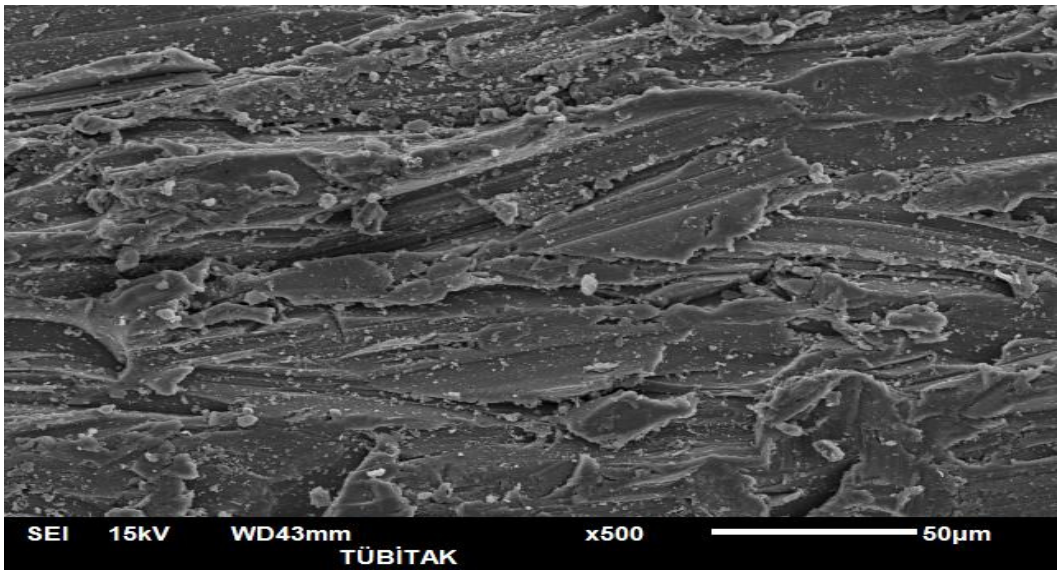
Şekil 5.17c. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 5000X büyütme

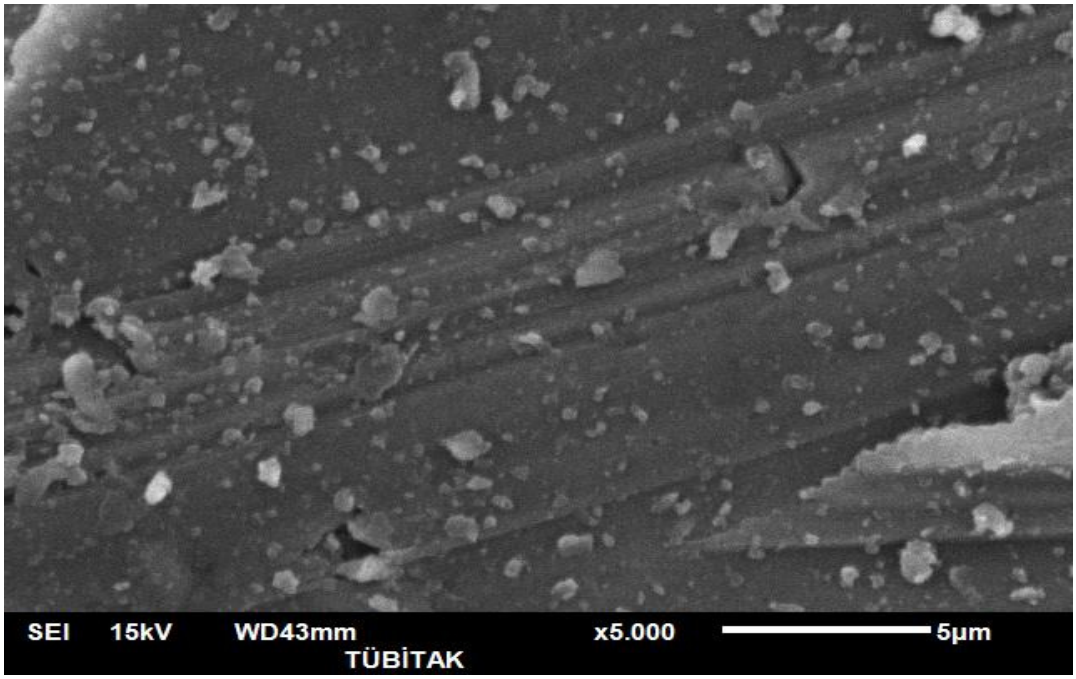
Şekil 5.18a, Şekil5.18b ve şekil5.18c'de SEM fotoğrafları verilmiş olan takviyesiz Al malzeme aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh olan işleme şartlarında işlenmiştir.



Şekil 5. 18a. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 250X büyütme

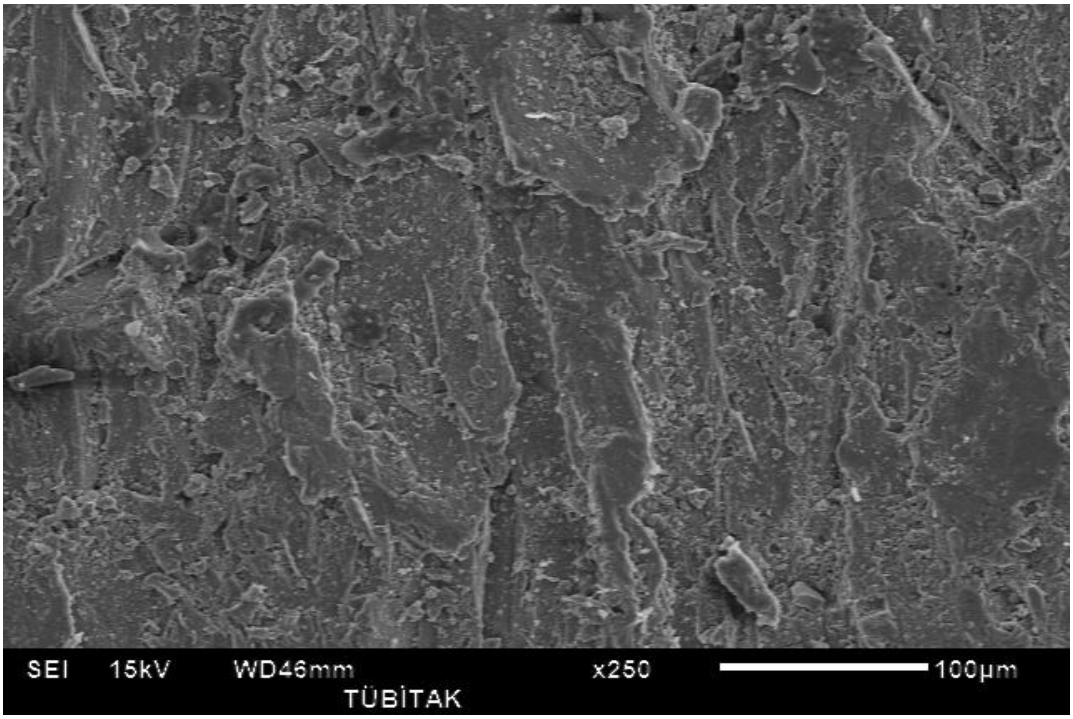


Şekil 5.18b. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%0SiC, 500X büyütme



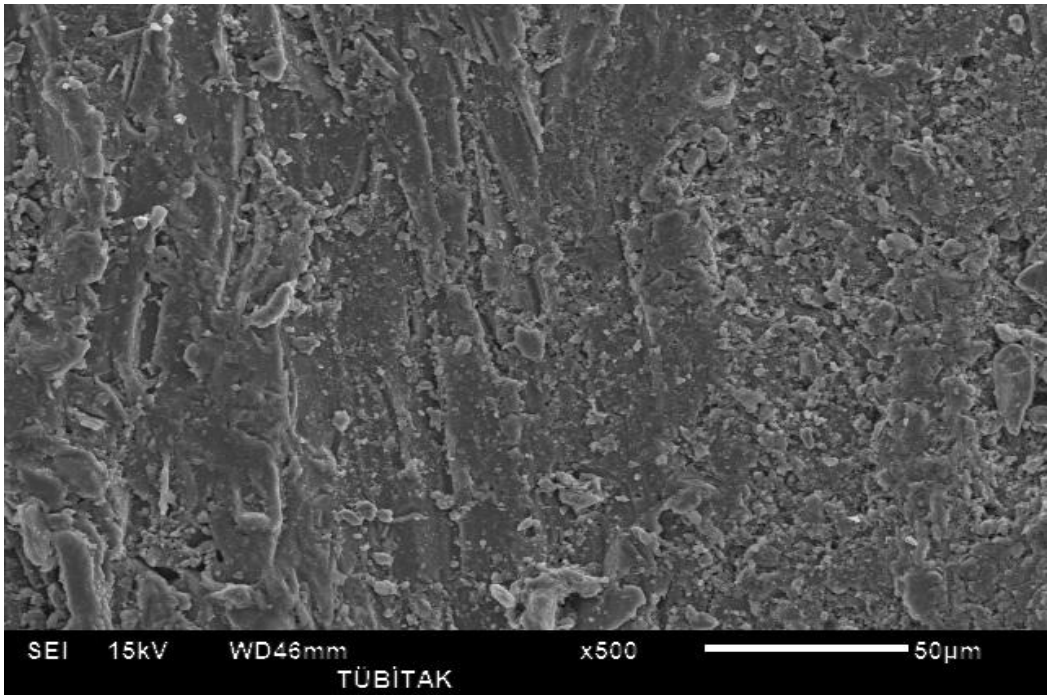
Şekil 5.18c. Takviyesiz Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=80mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%0SiC, 5000X büyütme

Şekil5.19a, 5.19b ve 5.19c'de hacimce %10SiC takviyeli Al kompozit malzemenin aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh iken işlendiği 3 farklı büyütmenin uygulandığı SEM fotoğrafları gösterilmiştir. Şekil5.19a incelendiğinde 250x büyütmede SiC parçacıkları göze çarpmaktadır. Şekil5.19c'de 5000x büyütme kesim izleri, garnet parçacıkları ve imalat sırasında oluşmuş yüzey boşluklarından söz etmek mümkün olmuştur.



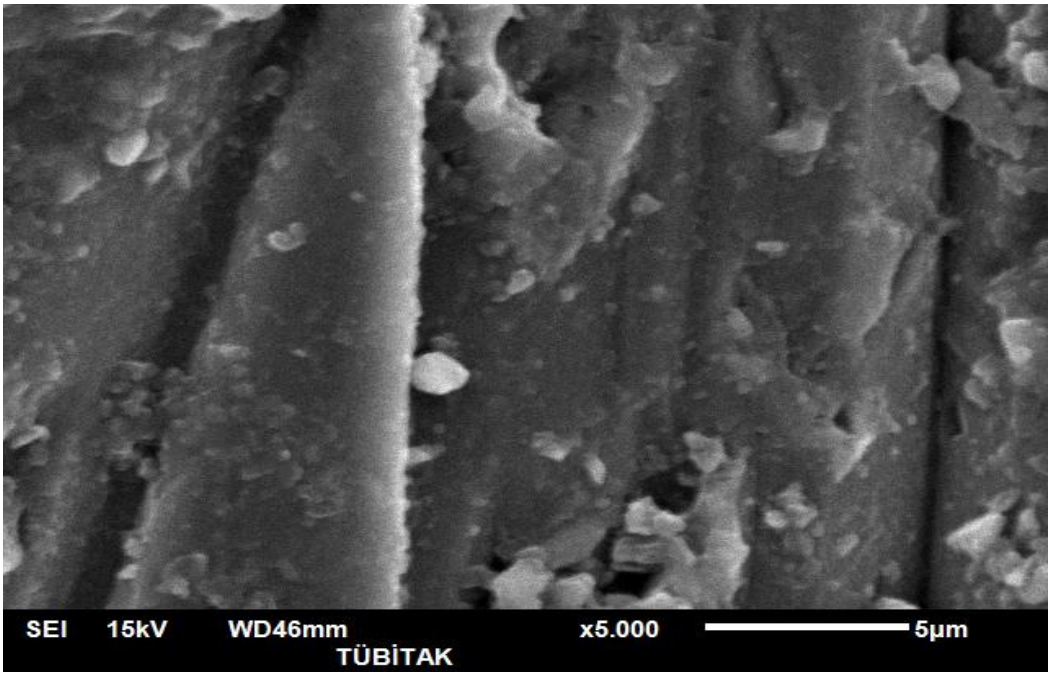
Şekil 5.19a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme



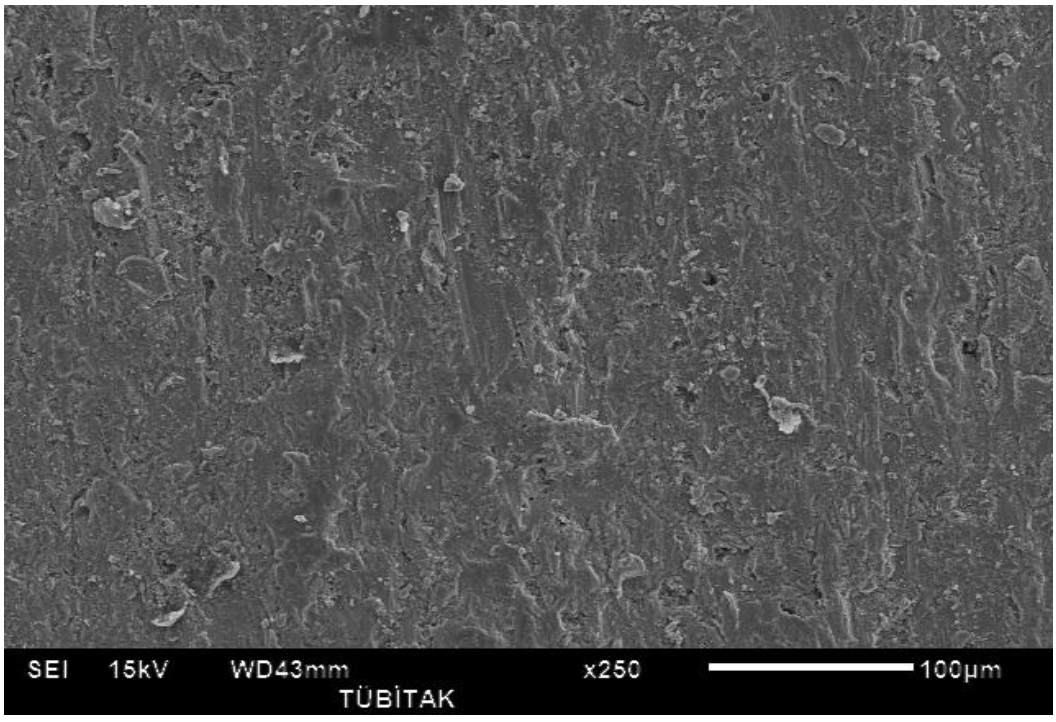
Şekil 5.19b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme



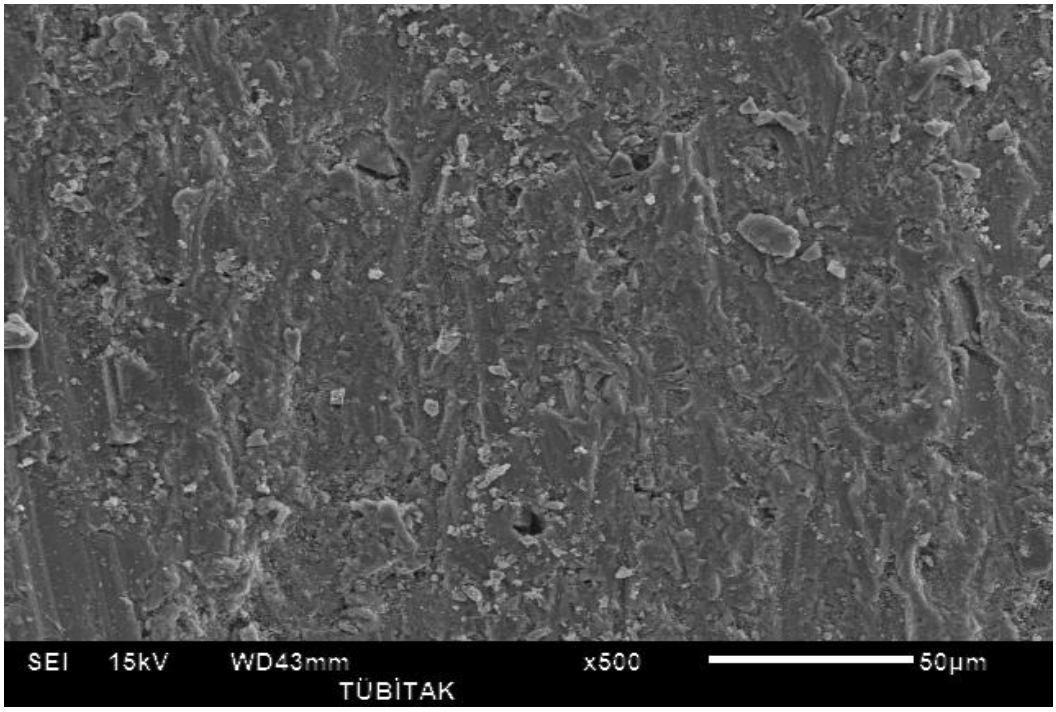
Şekil 5.19c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme



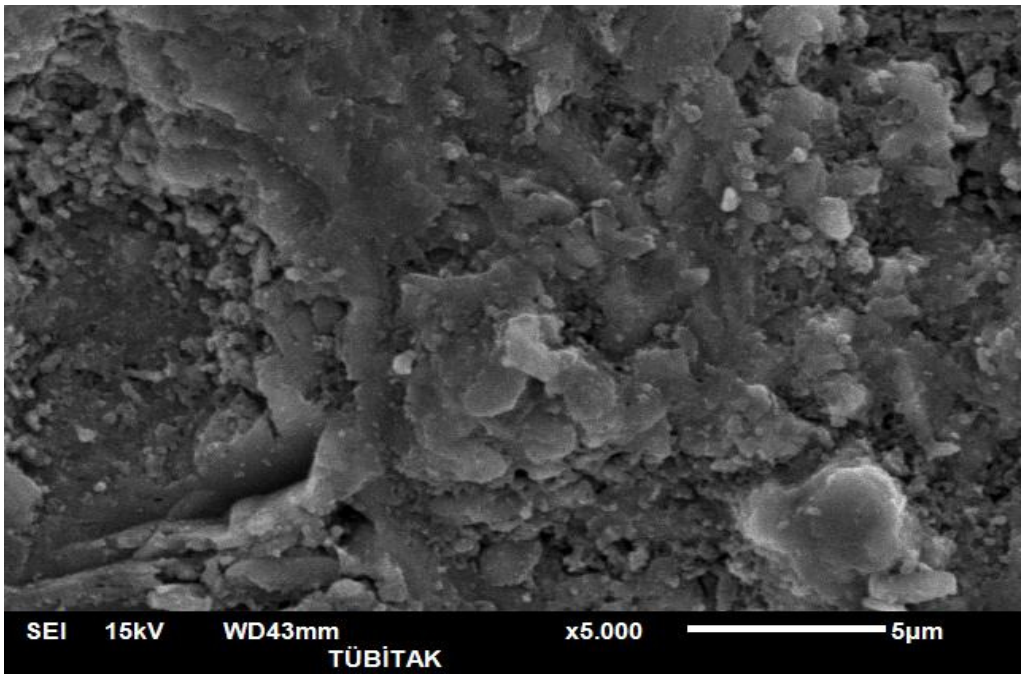
Şekil 5.20a. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 250X büyütme



Şekil 5.20b. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 500X büyütme

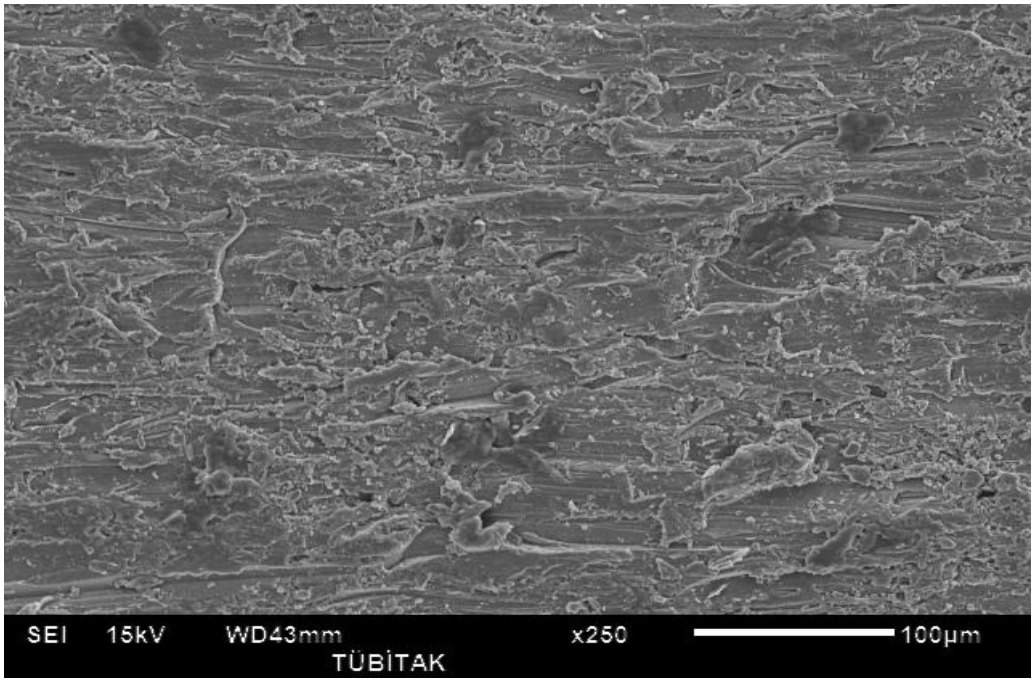


Şekil 5.20c. %25SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı

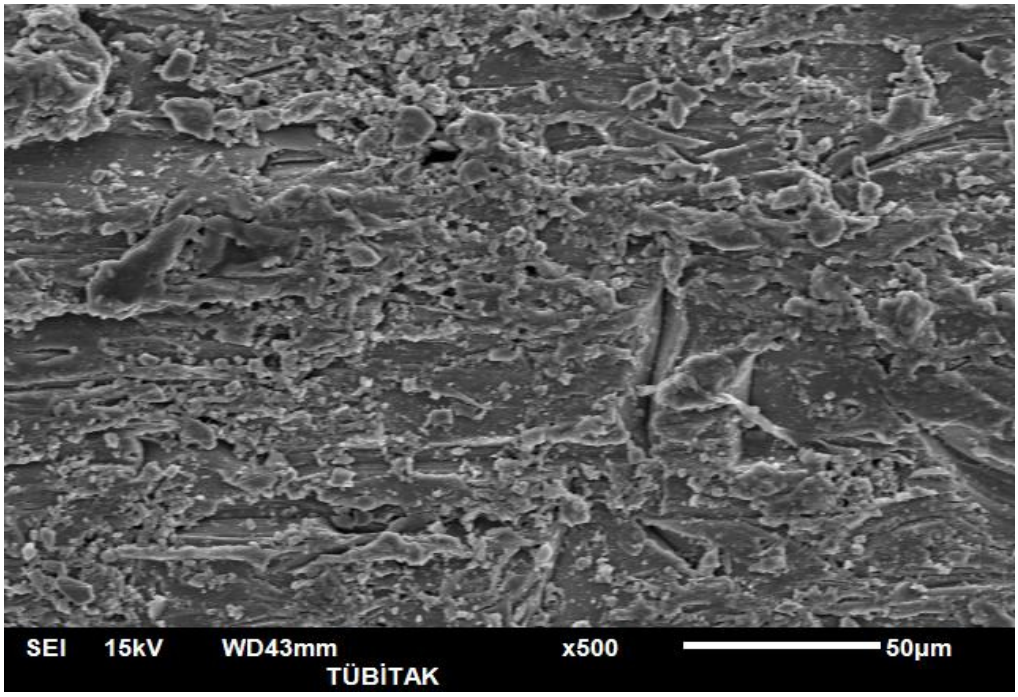
Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh, Takviye oranı=%25SiC, 5000X büyütme

Şekil5.20a, 5.20b ve 5.20c'da hacimce %25SiC takviyeli Al kompozit malzemenin Aşındırıcı besleme oranı =300g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=80mesh iken işlendiği 3 farklı büyütmenin yapıldığı SEM analizi gösterilmiştir. Şekil5.20c'de 5000x büyütme altında şeklin sol kısmındaki boşluğun yüzeyden koparılmış bir SiC partikülü olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yüzeye bakıldığında çok sayıda garnet parçacığı da görülmüştür.

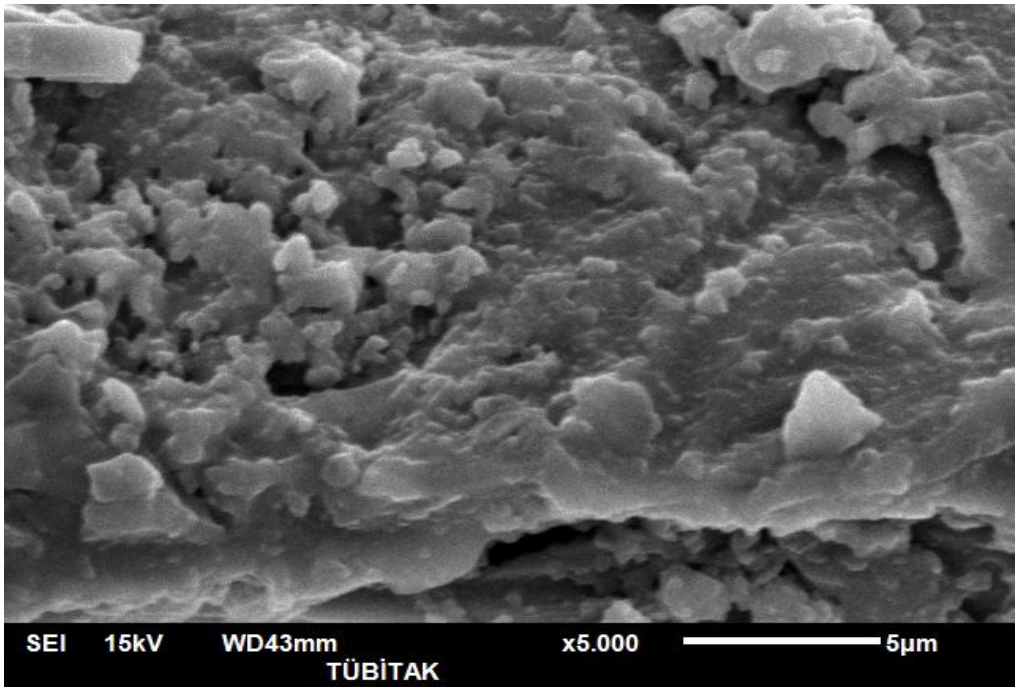
0-3mm aralığında 250x, 500x ve 5000x büyütme ile SEM analizi



Şekil 5.21a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme

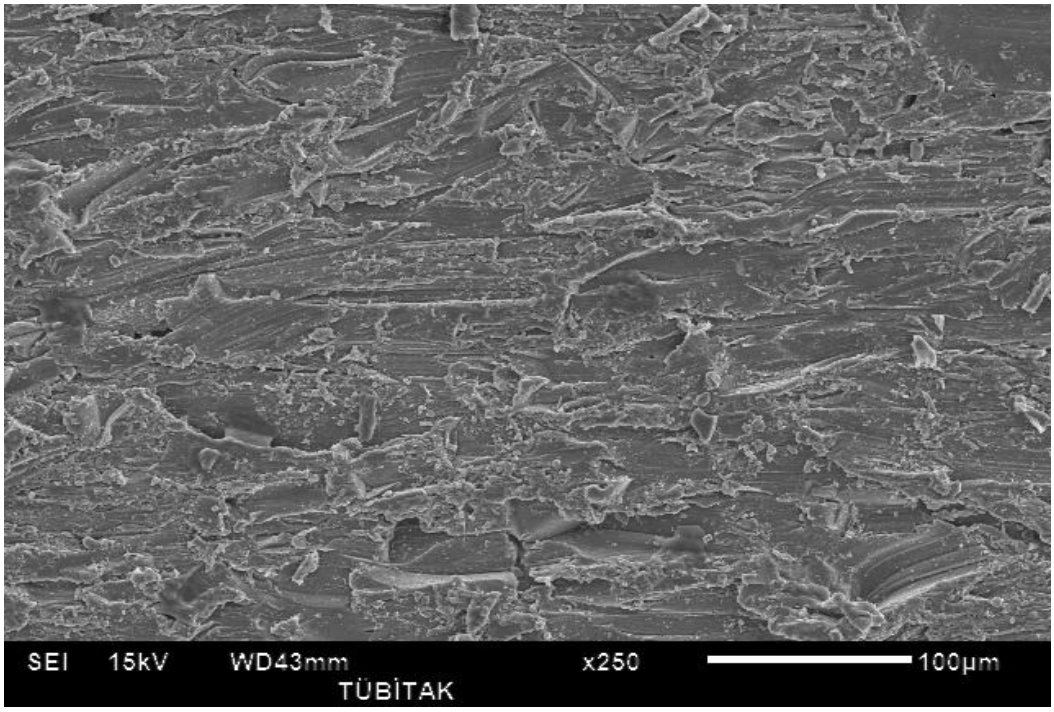


Şekil 5.21b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme

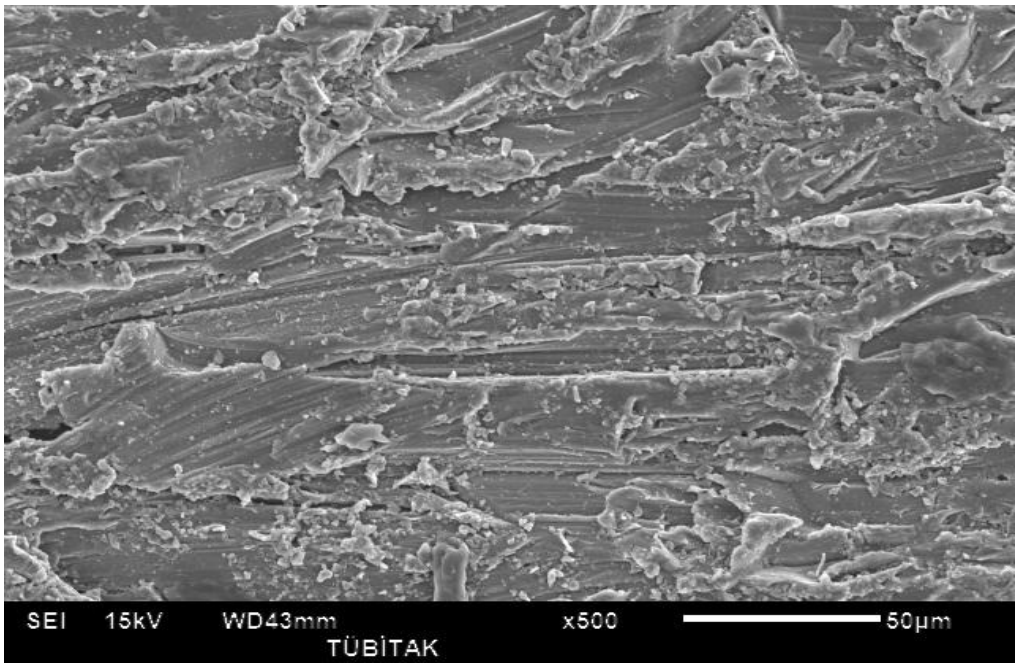


Şekil 5.21c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme

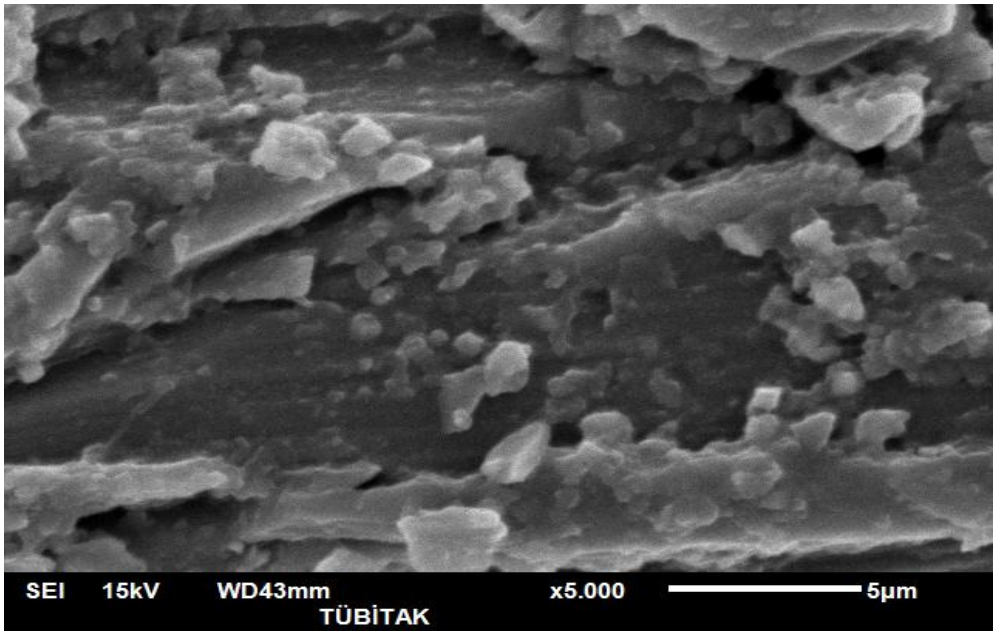
3-6mm aralığında 250x, 500x ve 5000x büyütme ile SEM analizi



Şekil 5.22a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme

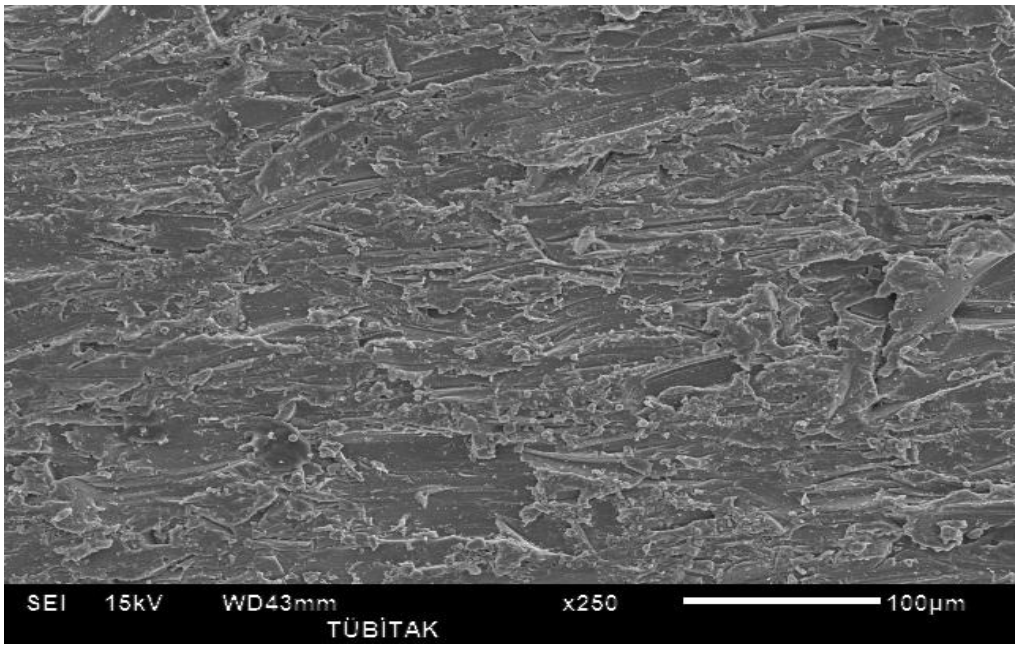


Şekil 5.22b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme

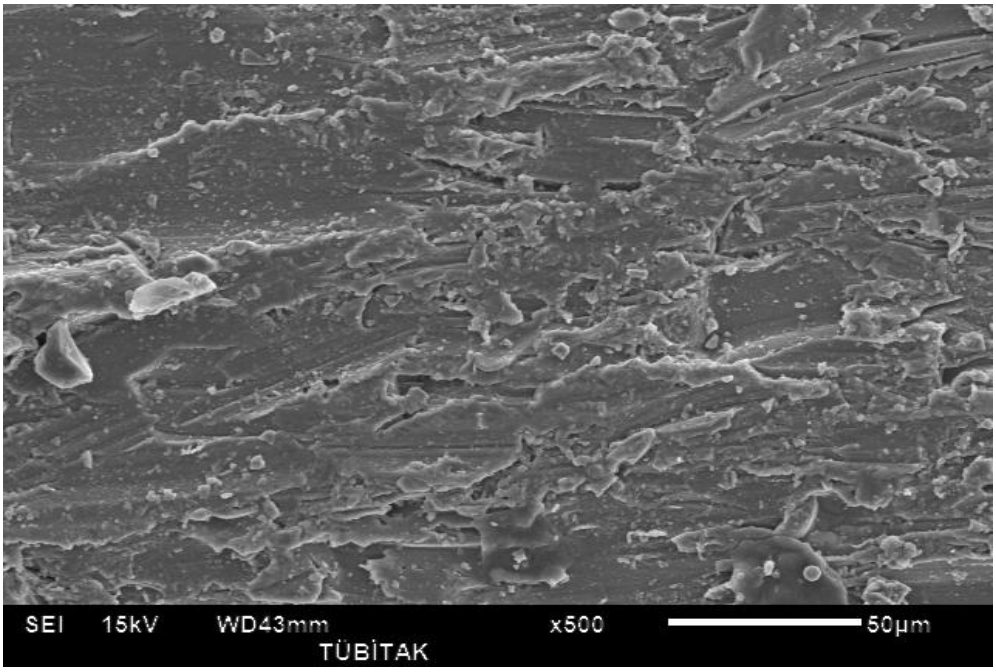


Şekil 5.22c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme

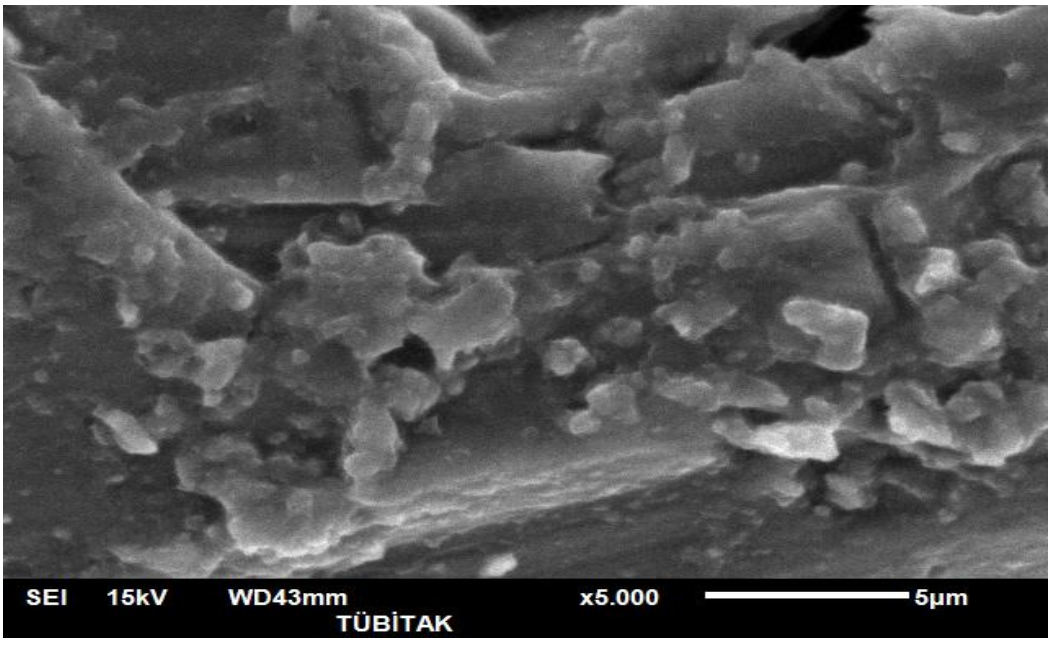
6-9mm aralığında 250x, 500x ve 5000x büyütme ile SEM analizi



Şekil 5.23a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme



Şekil 5.23b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme

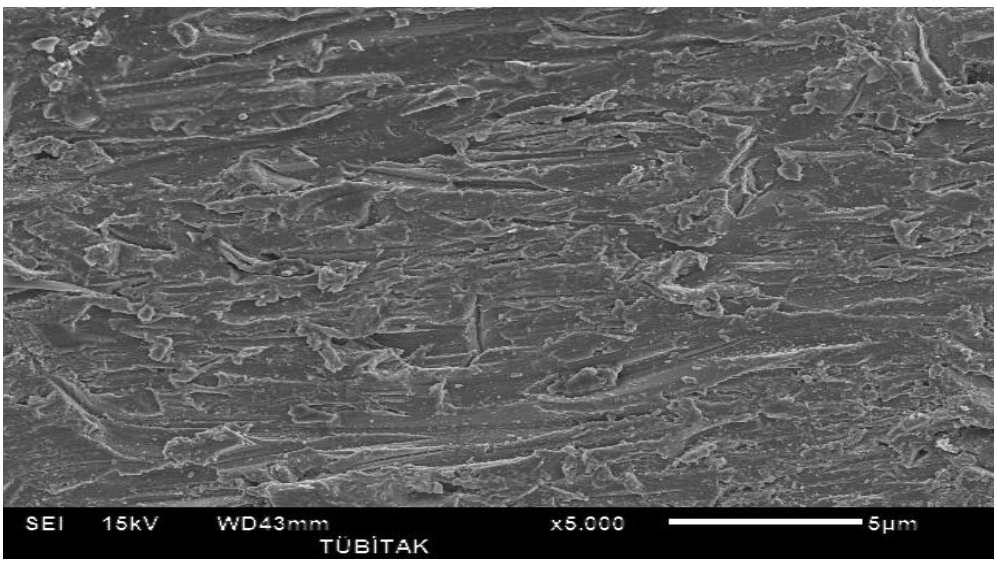


Şekil 5.23c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme

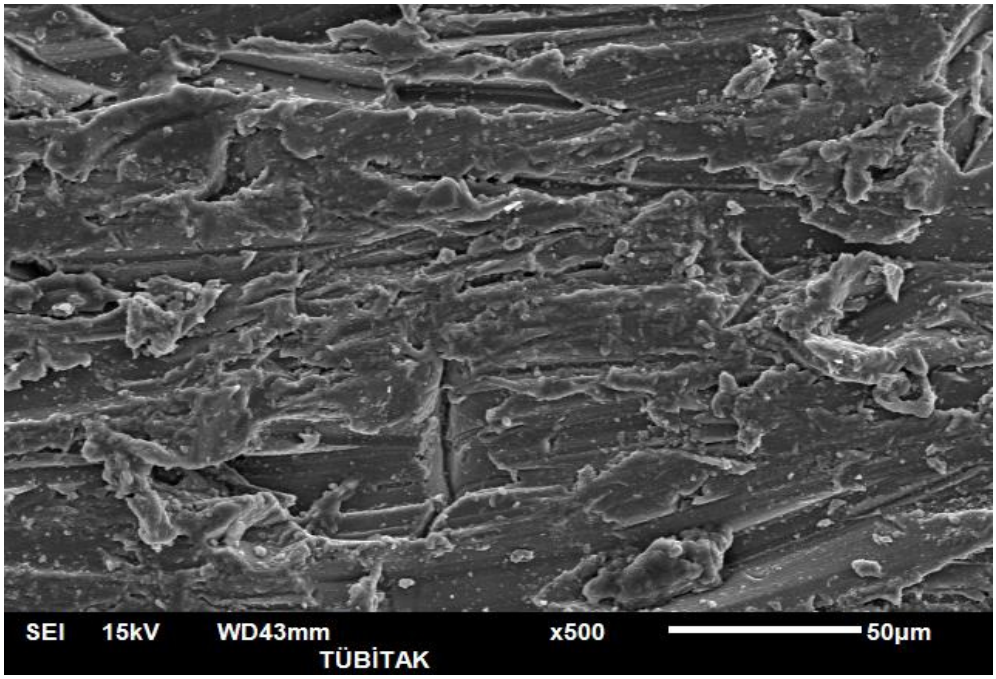
Şekil5.23a, şekil5.23b, şekil5.23c'de %10SiC takviyeli Al kompozitin aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh ile yapılan işlemeden sonra 3 farklı büyütmede alınan SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil5.23a'da yüzeyin belirli kısımlarında SiC taneleri, garnet parçacıkları ve kesim izleri dikkat çekmiştir. Şekil5.23b'de 500x büyütme en belirgin olarak göze çarpan ayrıntı soldan sağa doğru gidildikçe pürüzlülüğün artmış olmasıdır. Fotoğrafın sol kısmında SiC tanesi net bir şekilde görülmüştür. Şekil5.23c'de SEM görüntüsü alınmış kısımda ise garnet tanelerinin oldukça yoğun bir şekilde biriktiğini söylemek mümkündür.

Şekil5.24a, şekil5.24b ve şekil5.24c'de %10SiC takviyeli Al kompozit malzemenin 250x, 500x, 5000x büyütme yapılarak alınmış SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil5.24b'de yüzeyde kesim izi çizgileri belirgin bir şekilde göze çarpmaktadır. Yüzeyin belirli kısımlarında ise daha derin kesme izlerine rastlanmaktadır. Bu derin izlerin oluşmasındaki temel sebep aşındırıcı besleme oranının 500g/dk gibi yüksek bir değer kullanılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Böylece birim zamanda yüzeye daha fazla garnet parçacığı çarparak yüzeyde daha fazla erozyon yaratmaktadır.

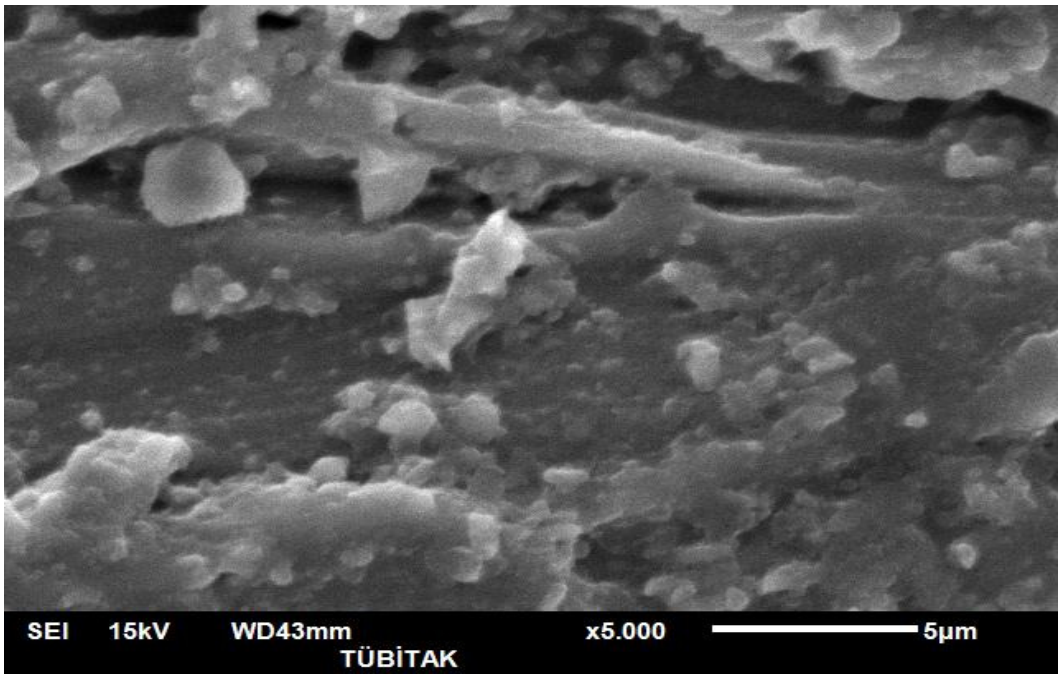
9-12mm aralığında 250x, 500x ve 5000x büyütme ile SEM analizi



Şekil 5.24a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme

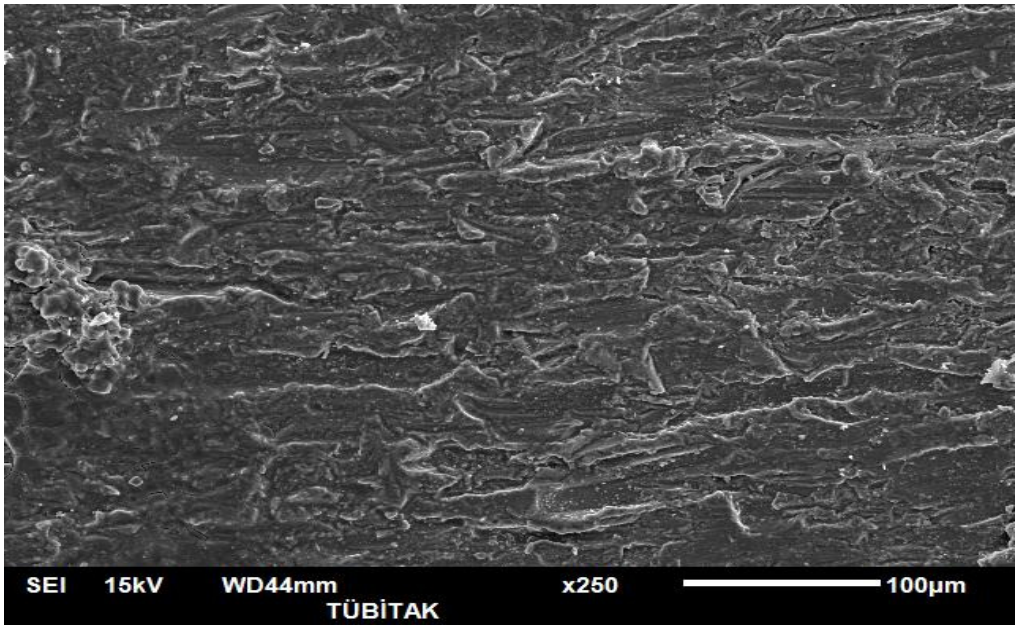


Şekil 5.24b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme

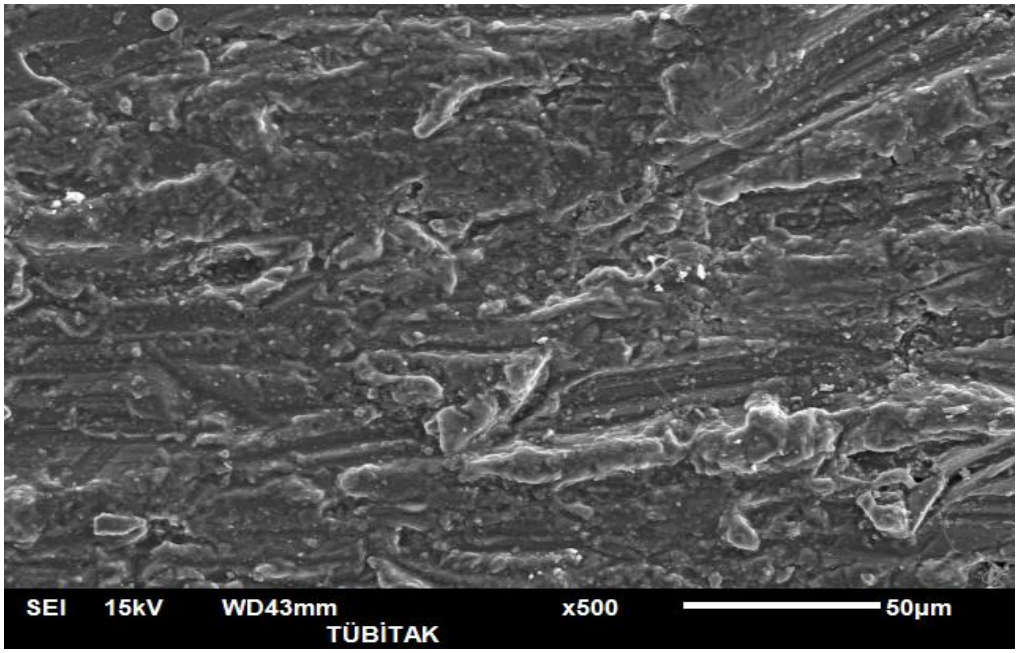


Şekil 5.24c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme

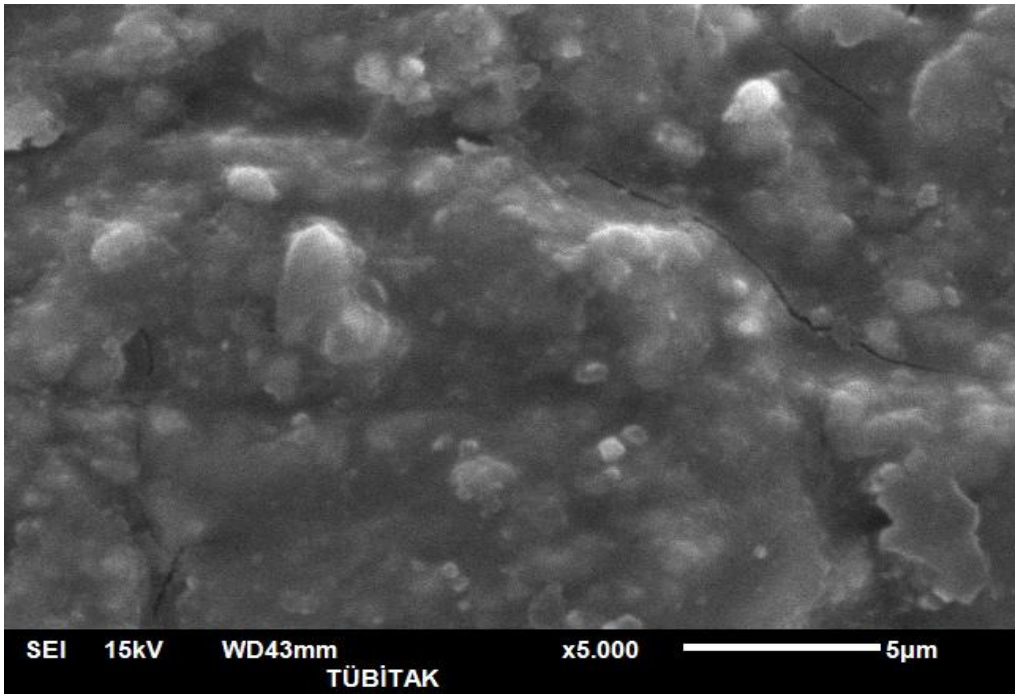
12-15mm aralığında 250x, 500x ve 5000x büyütme ile SEM analizi



Şekil 5.25a. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC, 250X büyütme



Şekil 5.25b. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh, Takviye oranı=%10SiC, 500X büyütme



Şekil 5.25c. %10SiC Takviyeli Al Numunenin SEM Fotoğrafı
Aşındırıcı besleme oranı =500g/dk, Hız=40mm/dk, Aşındırıcı boyutu=180mesh,
Takviye oranı=%10SiC, 5000X büyütme

Şekil5.25a, şekil5.25b ve şekil5.25c'de %10SiC takviyeli Al kompozit malzemenin 250x, 500x ve 5000x büyütme yapılarak alınmış SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil5.25a'da mikro çatlaklar ve belirli kısımlarda yüzeye saplanmış garnet tanelerinden bahsedilebilir. Şekil5.25b'de göze çarpan boşluk kesme sırasında erozyona uğramış bir SiC tanesinin boşluğudur. Şekil5.25c'de 5000x büyütmede görüntü incelendiğinde belli kısımlardaki mikro çatlaklar görülmüştür.

5.3.Kesme Süreleri

Deneylerde; takviyesiz Al, %10 takviyeli Al kompozit ve %25 takviyeli Al kompozit malzemeler kullanılmıştır. Sabit basınç altında(380MPa) ve sabit meme-örnek mesafesinde (2mm) yapılan kesimlerde, 80mesh ve 180mesh boyutunda garnet parçacıkları aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Numuneler kesilirken 40mm/dk ve 80mm/dk olmak üzere 2 farklı kesme hızı denenmiştir. Bu şekilde değişik işleme

parametreleri ile farklı takviye oranlarındaki numuneleri ASJ ile keserken kesme sürelerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Numunelerin kesilen uzunluğu 40mm'dir.

Tablo5.31'de 40mm/dk ve 80mm/dk kesme hızlarında, aşındırıcı boyutu 80 veya 180mesh garnet ile kesilmiş 3farklı numunenin kesme süreleri verilmiştir. 40mm/dk hızla kesilen numunelerde en uzun sürede kesilen numune takviyesiz Al'dur. 40mm uzunluğundaki numune 179sn'de kesilmiştir. Bu numune dışında 40mm/dk hızla kesilen diğer numuneler 145-146-140-144 ve 142sn. gibi birbirine çok yakın sürelerde kesilmiştir. Bu değerlere bakılarak yorum yapmak gerekirse malzemenin ASJ ile kesilmesinde takviye oranının etkisinin çok az olduğu görülmüştür. Fakat buradaki değerlendirme 40mm uzunluğundaki bir adet numune için yapılmaktadır. Seri üretim yapan bir ASJ firmasında binlerce kesim yapıldığı düşünülürse 1sn'nin bile büyük önem taşıdığına dikkat edilmelidir. 80mm/dk hızla kesilen numunelerde yine göze çarpan takviyesiz Al5754'ün 80mesh garnet ile kesilen numunesi 87sn'de kesilmiştir. Bu değer 80mm/dk hızla kesilen diğer numunelere oranla oldukça fazla bir süredir. Yukarıdaki tabloda bulunan tüm kesme süreleri ve işleme parametreleri ele alındığında takviyesiz Al5754'ün 80mesh ile kesilen numuneleri hariç tüm numunelerde ASJ ile yapılan kesimlerde işletme parametreleri ve takviye oranlarının kesme süresine etkisi yok denecek kadar azdır. Bu da ASJ'nin önemli bir özelliği olan her türlü malzemeyi kesebilme yeteneğini ön plana çıkarmıştır.

Tablo5.1. Farklı numunenin farklı kesme hızlarında ve farklı boyutlardaki garnet partikülleri ile kesilmesi sonucu elde edilen kesme süreleri

	Hız(mm/dk)	Aşındırıcı Boyutu(mesh)	Kesme Süresi(sn)
Takviyesiz Al5754	40	80	179
%10SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	40	80	145
%25SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	40	80	146
Takviyesiz Al5754	40	180	140
%10SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	40	180	144
%25SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	40	180	142
Takviyesiz Al5754	80	80	87
%10SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	80	80	73
%25SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	80	80	72
Takviyesiz Al5754	80	180	73
%10SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	80	180	73
%25SiC takviyeli $AlMg_3$ kompoziti	80	180	72

5.4. Talaş Kaldırma Mekanizması

Deneyler sırasında kullandığımız bazı kesme parametrelerine göre Talaş Kaldırma Miktarını (MRR=Material Removal Rate) hesaplarsak:

Aşındırıcı besleme oranı=500g/dk, orifisin iç çapı do=0,7mm, orifisin dış çapı di=1,1mm, U_{job}=2,9J/mm^3 (alüminyum için) alınmıştır.

3800bar su basıncı ile yapılan kesme işleminde su jetinin hızı;

$v_{wj} = \sqrt{\frac{2p_w}{\rho_w}}$ eşitliğinden;

$v_{wj} = \sqrt{\frac{2\times3800\times10^5}{10^3}}$=871,78m/s olmaktadır.

Birim zamanda orifisten geçen suyun kütlesi;

$m_w = \rho_w \times Q_w = \rho_w \frac{\pi}{4} d_0^2 v_w = 1000 \times \frac{\pi}{4} \times (0{,}7 \times 10^{-3})^2 \times 871{,}78$

=20,13kg/dk bulunur.

Yük faktörü;

$R = \frac{m_{abr}}{m_w} = \frac{0{,}5}{20{,}13}$=0,024'dir.

ASJ'nin hızı da;

$v_{awj} = \frac{1}{(1+R)} v_{wj}$=850,65m/s'dir.

Kesme sırasında ASJ'nin oluşturduğu penetrasyon derinliği;

$$h_t = \frac{\pi}{4} d_0^2 \times R\left(\frac{1}{1+R}\right)^2 \frac{p_w^{3/2}}{u_{job} d_i v_f} \sqrt{\frac{2}{\rho_w}}$$

d_o=0,7mm, d_i =1,1mm, Alüminyum için u_{job} =2,9J/mm^3 alınmıştır.

h_t=15,29mm'dir.

Buradan Talaş Kaldırma Miktarı;

$MRR = h_t \times d_i \times V_f$ =15,29x1,1x80=1345,52mm^3/dk bulunur.

(1345,52 mm^3/dk)/60= 22,42mm^3/s

1s'de 22,42mm^3 hacminde talaş kaldırılırsa;

$m = \rho_{Al} x V$ =2,7x10^{-3}x22,42=0,06g saniyede kaldırılan talaşın kütlesi bulunur.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Aşındırıcılı su jeti yöntemi kullanılarak alüminyum, çelik gibi malzemelerin yanı sıra AlMg3/SiCp kompozitinin de kesilebildiği görülmüştür.
- Yanal ilerleme hızının artışı, yüzey pürüzlülüğünü artırdığından yüzey kalitesini düşürmektedir.
- Kaba taneli parçacıklarla yapılan kesme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü daha yüksek olmaktadır. Aşındırıcı parçacık boyutu arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Kompozit malzemeden yapılmış numunelerin, kesme işlemlerinde istenen yüzey kalitesi önceden belirlendiği takdirde, yüzey kalitesini sağlayacak kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılabilir.
- Kesim izi aralığı çok dar tutulabildiğinden (1mm civarında), kesme sırasında malzeme kaybı minimum düzeyde olmaktadır.
- Aşındırıcı besleme oranı, genel olarak yüzey pürüzlülüğünü belirli bir eşik değere kadar düşürmektedir. Bahsedilen eşik değere erişildikten sonra pürüzlülük sabit kalmaktadır.
- Kesme işlemine malzemenin istenilen herhangi bir noktasından başlanabilmektedir.
- Farklı takviye oranlarına sahip Al kompozitler eşit sürelerde kesilebilmektedir.
- Takviye oranındaki değişim ASJ yöntemi ile kesme süresini etkilememektedir.
- Pürüzlülük ölçümleri sonucunda, genel olarak yüksek takviye oranlarında daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Akkurt M., Külekci M.K.,‘‘Aşındırıcılı su jeti ile kesilerek elde edilen yüzey kalitesinin değerlendirilmesi ’’, Niğde Üniv. Müh. Dergisi, Cilt 5 Sayı 2, 13-24 (2001)

[2] Karakurt İ., Aydın G., Aydıner K.,‘‘Aşındırıcılı su jeti ile kesmede kesme parametrelerinin granit yüzey pürüzlülüğüne etkisi’’Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri, 31 (2), 99–110, (2010)

[3] Shanmugam D.K., Masood S.H., ‘‘ An investigation on kerf characteristic in abrasive waterjet cutting of layered composites’’Volume 209, Issue 8, (2008)

[4] Akkurt, M., ‘‘Aşındırıcılı su jeti uygulamaları ve üretimde yoğun kullanıma sahip malzemelerin delinmesi ’’ Trakya Univ J Sci, 7(2): 161-169, (2006)

[5] Akkurt, M., ‘‘AlSl 1030 çeliğinin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesinde yüzey pürüzlülüğünün ve kesme önü geometrisinin incelenmesi’’,Cilt:15, 1-11 (2009)

[6] Yazıcıoğlu, O. ve Yalçınkaya, S. : Endüstride aşındırıcılı su jeti tasarımları. Mühendis ve Makine Dergisi 522: 44-48,2003.

[7] Kumar, K.L., Sivasubramanian, R., Kalaiselvan, K., ‘‘Selection of optimum parameters in non conventional machining of metal matrix composite’’, Portugaliae Electrochimica Acta27(4), 477-486 (2009)

[8] Neusen, K.F., Rohatgi, P.K., Vaidyanathan, C., Alberts, D., ‘‘Abrasive waterjet cutting of metal matrix composites’’, (1987)

[9] Savrun, E., Taya, M., ., ‘‘Surface characterization of SiC whisker/2124 aluminium and Al_2O_3 composites machined by abrasive water jet’’, (1988)

[10]Geren,N.ve Tunç, T.,“Yapısal farklılıklar içeren sujeti kesme sistemlerinin en uygu nunun belirlenmesi”, Mühendis ve Makine, 42, 42-49, (2001)

[11] Limbachiya, V.J., Patel, D.M., ‘‘Parametric analysis of abrasive water jet machine of aluminium material’’,Vol. 1, Issue 2, pp.282-286 (2011)

[12] Rani, A.M.A., Nanimina, A.M., Ahmad, F., ‘‘Non-conventional machining of aluminium metal matrix composite’’, (2009)

[13] Hashish, M., ‘‘Milling with abrasive-waterjets:a preliminary investigation’’, (1987)

[14] Srinivas, S., Babu, N.R.,‘‘Role of garnet and silicon carbide abrasives in abrasive waterjet cutting of aluminium-silicon carbide particulate metal matrix composites’’, International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering, Vol. 1, Issue 1 (2011)

[15] Müler, F., Monaghan, J., ‘‘Non-conventional machining of particle reinforced metal matrix composite’’, International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol. 40, Issue 9, (2000)

[16] www.teknolojikarastirmalar.com

[17] Ürkmez Taşkın, N. ‘AlMg3/SiCp Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerdeki Değişimlerin İncelenmesi’, 22-31, 2004

[18] Di Ilio, A., Paoletti, A., “Machinability Aspects of Metal Matrix Composites” Machining of Metal Matrix Composites, pp 63-77, Springer (2012)

[19] Erden, Abdulkadir ‘Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri’ Atılım Üniversitesi, Mekatronik Bölümü, Ankara

[20]www.c-t.com.tr

[21] www.omax.com

[22] www.garnetsales.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	22.04.1987
Doğum Yeri	Filibe/Bulgaristan
Lise	2001-2004 Lüleburgaz Lisesi
Lisans	2005-2009 Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2009- Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

2011-	Özel Şirket Makine Mühendisi