



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SiC TAKVİYELİ AlSi7Mg2 METAL MATRİSLİ
KOMPOZİT MALZEMELERİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Erhan KUTSAL

Danışman
Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Temmuz-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail Erhan KUTSAL tarafından hazırlanan “SiC Takviyeli AlSi7Mg2 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliğinin Araştırılması” adlı tez çalışması 26/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

Danışman

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza
İsmail Erhan KUTSAL
Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SiC TAKVİYELİ AISi7Mg2 METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İsmail Erhan KUTSAL

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2022, 102 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI

SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitler (AMK'lar) düşük ağırlık, yüksek özgül mukavemet, yüksek özgül sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük ısıl genleşme katsayısı, iyi boyutsal kararlılık ve kontrol edilebilir mekanik özellikleri sayesinde birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bu kompozitler, üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen, SiC partiküllerin doğal özellikleri olan yüksek sertlik ve yüksek aşınma direnci AMK'ların işlenmesinde düşük takım ömrüne ve zayıf yüzey kalitesine yol açmaktadır. Bu durum, SiC takviyeli AMK'ların uygulanabilirliği ve kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır. Bu çalışmada, metal matrisli kompozitlerin (MMK'ların) işlenebilirliğini araştırmak için bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, ağırlıkça %15 SiC takviyeli AISi7Mg2 kompozitler tungsten karbür (WC), AlTiN kaplamalı WC ve yüksek hız çeliği (HSS) matkaplar kullanılarak üç farklı ilerleme ve dönme devrinde delinmiştir. Delme deneyleri kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Delme parametrelerine bağlı kesme kuvveti ve momenti, çap değişimi, çapak oluşumu, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve takım aşınması incelenmiştir. Ayrıca kesme kuvvetleri ve momentlerinin takım aşınması ile olan ilişkisi analiz edilmiştir. Talaş morfolojisi ve takım aşınması için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Artan ilerleme ile kesme kuvveti ve momentinin, çap değişiminin, çapak yüksekliğinin, yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Dönme devrindeki artış ise çapak yüksekliğini arttırmış, kesme kuvveti ve momentini, çap değişimini ve yüzey pürüzlülüğünü ise azaltmıştır. WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar arasında en iyi işlenebilirlik sonuçları AlTiN kaplı WC matkaplardan, en kötü ise HSS matkaplardan elde edilmiştir. Kompozit malzemelerin işlenmesinde, parametrelere bağlı olarak talaş yapılarında değişimler meydana gelmiştir. Düşük dönme devri ve ilerlemede oluşan talaş çaplarının daha düşük olduğu görülmüştür. İlerlemenin artması ile talaş çaplarının arttığı ve talaş yapılarında bozulmalar meydana gelmiştir. Talaş yüzeylerinde mikro ölçekli kırılmalar, çatlaklar, ara boşluklar ve ince oyuk şekillerinin varlığı dikkat çekmiştir. Talaşların serbest yüzeylerinde mikro ölçülerde testere diş oluşumları gözlenmiştir. Takım aşınması analizlerinde ise artan delik sayısına bağlı olarak kesici takımlara gelen kesme kuvveti ve moment ile takım aşınmasının arttığı görülmüştür. Daha yüksek kesme kuvveti ve momentine maruz kalan kesici takımda daha yüksek deformasyon ve aşınma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşlenebilirlik, Kesme Kuvveti, Metal Matrisli Kompozit, Moment, Takım Aşınması, Talaş morfolojisi, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

MS THESIS

RESEARCH ON THE MACHINABILITY OF SiC REINFORCED AlSi7Mg2 METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS

İsmail Erhan KUTSAL

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2022, 102 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

Asst. Prof. Dr. Haluk KEJANLI

SiC reinforced aluminum matrix composites (AMCs) are used in many application areas thanks to their low weight, high specific strength, high specific hardness, high wear resistance, low coefficient of thermal expansion, good dimensional stability, and controllable mechanical properties. Although these composites have superior mechanical and physical properties, the high hardness and high wear resistance, which are inherent properties of SiC particles, lead to low tool life and poor surface quality in the machining of AMCs. This situation limits the applicability and usability of SiC reinforced AMCs. In this study, a series of experimental studies were carried out to investigate the machinability of metal matrix composites (MMCs). In the experimental study, 15% by weight SiC reinforced AlSi7Mg2 composites were drilled using tungsten carbide (WC), AlTiN coated WC and high speed steel (HSS) drills at three different feed rates and rotation speeds. Drilling experiments were carried out in a dry environment. Cutting force and moment, diameter change, burr formation, surface roughness, chip morphology and tool wear were investigated depending on drilling parameters. In addition, the relationship of cutting forces and moments with tool wear was analyzed. Scanning electron microscopy (SEM) was used for chip morphology and tool wear. The cutting force and moment, diameter change, burr height and surface roughness were observed to increase with increasing feed rate. The increase in the rotation speed increased the burr height, decreased the cutting force and moment, diameter change and surface roughness. Among WC, AlTiN coated WC and HSS drills, the best machinability results were obtained with AlTiN coated WC drills, and the worst with HSS drills. In the machining of composite materials, changes in chip structures were occurred depending on the parameters. It has been observed that the chip diameters formed at low rotation speed and feed rate are lower. As the feed rate increased, the chip diameters increased, and the chip structures deteriorated. The presence of micro-scale fractures, cracks, interstices, and fine cavities on the chip surfaces were noted. Micro-sized saw tooth formations were observed on the free surfaces of the chips. In the tool wear analysis, it was seen that the cutting force and moment on the cutting tools and the tool wear increased depending on the increasing number of holes. Higher deformation and wear were observed in the cutting tool exposed to higher cutting force and moment.

Keywords: Chip Morphology, Cutting Force, Machinability, Metal Matrix Composite, Moment, Surface Roughness, Tool Wear.

ÖNSÖZ

Metal matris kompozitler, günümüzün vazgeçilmez mühendislik malzemeleri olduğundan dolayı farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım ihtiyacı, metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliğini ön plana çıkarmıştır. Bu yüzden yapılan bu yüksek lisans çalışmasında, kompozit malzemelerden bahsedilerek metal matrisli kompozit malzemeler ve üretim yöntemlerine değinilmiştir. Metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliği üzerine yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir. Yapılan literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin delinmesinde ayrıntılı çalışmaların yapılması gerektiği görülmüş ve kesici takım cinsi, ilerleme ve dönme devrinin kesme kuvveti ve momenti, çap değişimi, çapak yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve takım aşınmasına etkileri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Ayrıca kesme kuvvetleri ve momentlerinin takım aşınması ile olan ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen genel sonuçlar maddeler halinde verilerek işlenebilirlik hakkında yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Tez çalışmamın belirlenmesi ve devamı sürecinde bana güvenen, fikirleri ve tecrübesi ile yol gösteren, birikimlerini paylaşarak beni yönlendiren tez danışmanı saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e ve Prof. Dr. Erol KILIÇKAP'a Ayrıca deneysel çalışmalarına destek olan Dr. Öğr. Üyesi Oktay ADIYAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İsmail Erhan KUTSAL
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	3
2. GENEL BİLGİLER.....	13
2.1. Kompozit Malzemeler	13
2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı.....	13
2.3. Kompozit Malzeme Türleri	15
2.4. Metal Matrisli Kompozitler (MMK'lar)	19
2.4.1. Matris malzemeleri	19
2.4.2. Takviye elemanları	20
2.4.3. Üretim yöntemleri.....	22
2.5. İşlenebilirlik.....	28
2.5.1. İş malzemesinin durumu	29
2.5.2. İşlem süreci	31
2.5.3. Kesme kuvvetleri	33
2.5.4. Yüzey kalitesi	34
2.5.5. Talaş biçimi.....	34
2.6. Kesici Takımlarda Aşınma	35
2.6.1. Aşınma mekanizmaları	35
2.6.2. Aşınma tipleri	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Deney Malzemesi	39
3.2. Kesici Takımlar.....	39
3.3. Delme Deneylerinde Kullanılan Tezgâh ve Delme Parametreleri.....	40
3.4. Kesme Kuvveti ve Momentinin Belirlenmesi	41
3.5. Çap Değişimi ve Çapak Yüksekliği	42
3.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü.....	43
3.7. Talaş Şeklinin Analizi.....	43
3.8. Takım Aşınma Analizi.....	44
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	45

4.1. Delme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Kesme Momenti Üzerine Etkileri..	45
4.2. Delme Parametrelerinin Çap Değişimi ve Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi	53
4.3. Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	61
4.4. Delme Parametrelerinin Talaş Morfolojisi Üzerine Etkisi	64
4.5. Delme İşleminin Takım Aşınması Üzerine Etkisi	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
5.1. Sonuçlar	76
5.2. Öneriler	77
KAYNAKLAR	78
EKLER	84
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kompozit malzeme uygulamaları	1
Şekil 2.1. Kompozit malzeme oluşumu.....	13
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin yapısı	13
Şekil 2.3. Matris malzemesine göre kompozitler	15
Şekil 2.4. Takviye malzemesine göre kompozitler.....	18
Şekil 2.5. MMK’larda kullanılan takviye elemanları	20
Şekil 2.6. MMK üretim yöntemleri	22
Şekil 2.7. TM yönteminin şematik gösterimi	23
Şekil 2.8. Difüzyonla bağlama yönteminin şematik gösterimi.....	24
Şekil 2.9. Karıştırma döküm yönteminin şematik gösterimi	24
Şekil 2.10. Vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi	25
Şekil 2.11. Vakum Gaz basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi	26
Şekil 2.12. Sıkıştırılmalı döküm infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi	26
Şekil 2.13. Basınçlı döküm infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.14. İn-situ yönteminin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.15. Kesme işleminde işlenebilirliğe etki eden faktörler	31
Şekil 2.16. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra)	34
Şekil 2.17. Talaş oluşum mekanizmaları.....	35
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemeler.....	39
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar	40
Şekil 3.3. Üç eksenli VMC 1000 CNC dik işleme merkezi	40
Şekil 3.4. Kistler 9257B dinamometre	41
Şekil 3.5. Kistler 5070-A çok kanallı amplifier.....	42
Şekil 3.6. MMK’ların a) delik giriş ve b) delik çıkışlarındaki çapak görüntüleri	42

Şekil 3.7. Hexagon Metrology koordinat ölçüm cihazı ve çapak ölçümü.....	43
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	43
Şekil 3.9. SEM analizi için kesici takımların uygun ölçülere getirilmesi	44
Şekil 4.1. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde zamana bağlı kuvvet ve moment değişimi	46
Şekil 4.2. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi ($n=500$ dev/dak)	47
Şekil 4.3. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	47
Şekil 4.4. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi ($n=1500$ dev/dak)	47
Şekil 4.5. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,05$ mm/dev).....	48
Şekil 4.6. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	48
Şekil 4.7. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev).....	48
Şekil 4.8. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	49
Şekil 4.9. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	49
Şekil 4.10. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme momenti üzerine etkisi ($n=500$ dev/dak)	50
Şekil 4.11. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme momenti üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	51
Şekil 4.12. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme momenti üzerine etkisi ($n=1500$ dev/dak)	51
Şekil 4.13. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme momenti üzerine etkisi ($f=0,05$ mm/dev)	51
Şekil 4.14. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme momenti üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)	52
Şekil 4.15. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme momenti üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev)	52

Şekil 4.16. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme momenti üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)	52
Şekil 4.17. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme momenti üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	53
Şekil 4.18. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çap değişimi üzerine etkisi ($n=500$ dev/dak)	54
Şekil 4.19. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çap değişimi üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	54
Şekil 4.20. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çap değişimi üzerine etkisi ($n=1500$ dev/dak)	54
Şekil 4.21. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çap değişimi üzerine etkisi ($f=0,05$ mm/dev)	55
Şekil 4.22. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çap değişimi üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)	55
Şekil 4.23. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çap değişimi üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev)	55
Şekil 4.24. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çap değişimi üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	56
Şekil 4.25. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çap değişimi üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	56
Şekil 4.26. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($n=500$ dev/dak)	57
Şekil 4.27. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	58
Şekil 4.28. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($n=1500$ dev/dak)	58
Şekil 4.29. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($f=0,05$ mm/dev).....	58
Şekil 4.30. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	59
Şekil 4.31. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev).....	59
Şekil 4.32. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	59

Şekil 4.33. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)	60
Şekil 4.34. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($n=500$ dev/dak).....	61
Şekil 4.35. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak).....	61
Şekil 4.36. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($n=1500$ dev/dak).....	62
Şekil 4.37. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($f=0,5$ mm/dev).....	62
Şekil 4.38. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	62
Şekil 4.39. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev).....	63
Şekil 4.40. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev).....	63
Şekil 4.41. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak).....	63
Şekil 4.42. Farklı Delme parametrelerinde elde edilen talaşların makro görüntüleri.....	65
Şekil 4.43. Farklı Delme parametrelerinde elde edilen talaşların SEM görüntüleri 100 X.....	66
Şekil 4.44. Farklı Delme parametrelerinde elde edilen talaşların SEM görüntüleri 1000 X.....	67
Şekil 4.45. WC takımlarda delik sayısına bağlı kuvvet değişim grafiği	69
Şekil 4.46. AlTiN kaplı WC takımlarda delik sayısına bağlı kuvvet değişim grafiği	69
Şekil 4.47. HSS takımlarda delik sayısına bağlı kuvvet değişim grafiği	70
Şekil 4.48. Delik sayısı ve kesici takım cinsine bağlı ortalama kesme kuvveti grafiği..	70
Şekil 4.49. WC takımlarda delik sayısına bağlı moment değişim grafiği	71
Şekil 4.50. AlTiN kaplı WC takımlarda delik sayısına bağlı moment değişim grafiği..	71
Şekil 4.51. HSS takımlarda delik sayısına bağlı moment değişim grafiği	72
Şekil 4.52. Delik sayısı ve kesici takım cinsine bağlı ortalama kesme momenti grafiği	72

Şekil 4.53. Delik sayısı ve kesici takım cinsine bağlı takım aşınma grafiği	73
Şekil 4.54. Referans takımın SEM görüntüsü	74
Şekil 4.55. Deneylerde kullanılan takımların makro boyutlu SEM görüntüleri.....	74
Şekil 4.56. Deneylerde kullanılan takımların mikro boyutlu SEM görüntüleri	75

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. AlSi7Mg2 alaşımının kimyasal bileşimi.....	39
Tablo 3.2. Delme işleminde kullanılan kesici takımların özellikleri	40
Tablo 3.3. Kesme parametreleri ve değerleri	41
Tablo 4.1. AlSi7Mg2/%15SiC MMK malzemelerin delinmesinden elde edilen deney sonuçları	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

d_1	: Matkap Çapı
E_c	: Kompozit Malzemenin Elastisite Modülü
E_m	: Matris Malzemenin Elastisite Modülü
E_r	: Takviye Elemanının Elastisite Modülü
f	: İlerleme
F	: Kesme Kuvveti
F_x	: X Yönündeki Kuvvet
F_y	: Y Yönündeki Kuvvet
F_z	: İlerleme Kuvveti (Z Yönündeki Kuvvet)
L_1	: Matkap Uzunluğu
L_2	: Matkap Helis Uzunluğu
M	: Kesme Momenti
M_x	: X Yönündeki Moment
M_y	: Y Yönündeki Moment
M_z	: Z Yönündeki Moment
n	: İş Mili Devri
V_m	: Matris Malzemesinin Hacim Miktarı
V_r	: Takviye Elemanının Hacim Miktarı
W_m	: Matris Malzemesinin Ağırlığı
W_r	: Takviye Elemanının Ağırlığı
X_c	: Kompozit Malzemenin Özelliği
X_m	: Matris Malzemesinin Özelliği
X_r	: Takviye Elemanının Özelliği
ρ_m	: Matris Malzemesinin Yoğunluğu
ρ_r	: Takviye Elemanının Yoğunluğu

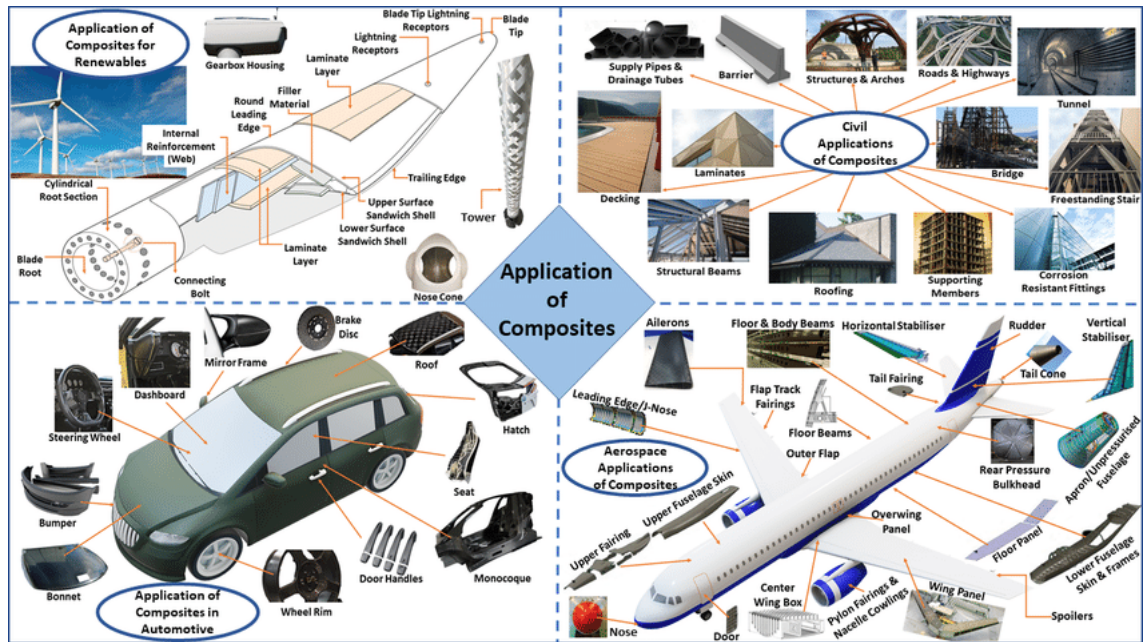
Kısaltmalar

AMK	: Alüminyum Matrisli Kompozit
ANOVA	: Varyans Analizi
BDD	: Bor Katkılı Elmas
BMTN	: Bor Katkılı Kademeli Elmas
BUE	: Yığıntı Talaş
CBN	: Kübik Bor Nitrür
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
MCD	: Mikrokristal Elmas
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
MQL	: Minimum Miktarda Yağlama
NCD	: Nanokristal Elmas
PCBN	: Polikristal Kübik Bor Nitrür
PCD	: Polikristalin Elmas
PMK	: Polimer Matrisli Kompozitler
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SMK	: Seramik Matrisli Kompozitler
TM	: Toz Metalurjisi
WC	: Tungsten Karbür

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, farklı kimyasal ve fiziksel niteliğe sahip malzemelerin temel özelliklerinin de korunarak bir araya getirilmesi ile oluşan malzemelerdir. Elde edilmesi ve sıra dışı özellikleri nedeniyle endüstride yaygın olarak tercih edilen kompozitler, tarihsel süreç içerisinde farklı aşamalardan geçerek günümüze kadar gelmiştir. Çamura saman karıştırılarak elde edilen kerpiç malzemeler, kompozitlerin ilk uygulama örneklerindendir. Ancak modern kompozit üretimi, yirminci yüzyılın ilk yarısında cam fiber üretimi ile başlamıştır. Günümüzde ise hafif, dayanıklı, ekonomik ve benzeri özelliklere sahip matris malzemelere mukavemet artırıcı mikro veya nano parçacık ve fiber takviye elemanları eklenerek üretilen kompozitler, her geçen gün gelişme aşamasını devam ettirmekte ve ticari uygulamalarda oldukça fazla bir şekilde kullanım alanı bulmaktadırlar (Salur ve ark., 2019; Kaya, 2016).

Kompozit malzemeler takviye elemanına göre ve matris tipine göre sınıflandırılmaktadır. Matris tipine göre sınıflandırma; polimer matrisli, seramik matrisli ve metal matrisli olarak yapılır. Son zamanlarda, metal matris kompozitler (MMK'lar) geleneksel metal malzemelerden daha fazla dikkat çekmektedir. MMK'lar hafifliği, yüksek mukavemeti, yüksek aşınma direnci ve spesifik mekanik özellikleri nedeniyle endüstride birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Salur ve ark., 2019; Kaya, 2016).



Şekil 1.1. Kompozit malzeme uygulamaları (Gupta ve ark., 2021)

Metal matris kompozitler, sıcak ekstrüzyon, soğuk ekstrüzyon, sıcak presleme ve soğuk presleme/sinterleme işlemi gibi çeşitli üretim yöntemleriyle üretilir. Alüminyum, bronz, çelik, magnezyum, dökme demir ve pirinç gibi metaller, metal matris kompozitlerin üretiminde bir matris veya takviye (güçlendirme) malzemesi olarak kullanılabilir (Salur ve ark., 2019).

Alüminyum ve alüminyum esaslı MMK'lar, mükemmel aşınma direnci, yüksek özgül mukavemet, sertlik ve kırılma tokluğu ile birlikte düşük yoğunlukları nedeniyle otomotiv, uzay, savunma ve havacılık uygulamalarında çok yararlı mühendislik malzemelerindendir. Ancak, matris yapısındaki sert ve aşındırıcı takviye elemanlarının varlığı ile MMK'ların işlenebilirliğinde problemler yaşanmaktadır.

Bor karbür (B_4C) ve silisyum karbür (SiC), yüksek sertlik, korozyon direnci ve iyi mekanik özelliklere sahip oldukça sert takviye malzemeleridir. Bu seramikler, nükleer sanayi, tank zırhı ve balistik korumalar gibi yüksek direnç gerektiren çok sayıda mühendislik uygulamasında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda birçok araştırmacı B_4C ve SiC ile güçlendirilmiş alüminyum bazlı kompozitlerin üretim ve işlenebilirlik gereksinimlerini araştırmıştır (Karabulut ve ark., 2018).

SiC takviyeli Al matris kompozitler düşük ağırlık, yüksek özgül mukavemet, yüksek özgül sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük ısıl genleşme katsayısı, iyi boyutsal kararlılık ve kontrol edilebilir mekanik özellikler ile önemli avantajlara sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı havacılık, askeri ekipmanlar, optik bileşenler, otomobil imalatı, hassas aletlerde ve elektronik sistemlerde kullanılmaktadırlar. SiC takviyeli Al matris kompozitler sayısız mükemmel fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasına rağmen, SiC partiküllerin doğal özellikleri olan yüksek sertlik ve yüksek aşınma dirençleri, özellikle yüksek hacimde SiC partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin (AMK'ların) işlenmesinde düşük takım ömrüne ve zayıf yüzey kalitesine yol açmaktadır. Bu nedenle mühendislikte SiC takviyeli Al kompozitlerin uygulanabilirliği ve kullanılabilirliği yüksek oranda kısıtlanmaktadır. Ayrıca SiC takviyeli Al kompozitlerin işlenmesinde yüksek takım aşınması nedeniyle parça kalitesi, proses güvenilirliği ve maliyet etkenleri olumsuz etkilenmektedir (Xiang ve ark., 2018).

1.1. Literatür Taraması

Alüminyum alaşımlarının ve AMK'ların üretimi ve işlenebilirliği ile ilgili son yıllarda yapılan bazı bilimsel çalışmalar aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Rajmohan ve arkadaşları (2012), karıştırma döküm yöntemi ile üretilen Al356/10SiC (ağırlıkça %) metal matrisli ve Al356/10SiC-3mika (ağırlıkça %) hibrit metal matrisli kompozit malzemelere delik delme işlemleri yaparak malzeme yüzeylerinde oluşan hasarları incelemişlerdir. Delme işlemleri için 100mm x 100mm x 10mm ebatlarında numuneler hazırlamışlardır. Deneyleri kesme hızı, ilerleme ve takım cinsine bağlı olarak 3 farklı seviyede gerçekleştirmişler, işlem sonrası malzemede oluşan yüzey kalitesi ve deformasyon miktarını Taguchi yöntemine göre analiz etmişlerdir. Delme işlemi sonrası yüzey kalitesini, karbür ve TiN kaplı karbür kesici takımlara göre polikristalin elmas (PCD) kesici takımda daha iyi elde etmişlerdir. Talaş yapışma miktarının ise karbür ve TiN kaplı karbür takımlarda daha fazla oluştuğunu, bunun da iş parçasında oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca kompozite mika ilavesi ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün artan ilerleme ile arttığını ve artan kesme hızı ile azaldığını belirtmişlerdir.

Taskesen ve arkadaşları (2013), %10, %15 ve %25 oranlarında B₄C takviyesi içeren AMK malzemeleri yüksek hız çeliği (HSS), karbür ve TiAlN kaplı karbür matkap uçları kullanarak farklı ilerleme (0,1; 0,2 ve 0,3 mm/dev) ve dönme devri (1500, 2000 ve 2500 dev/dak) değerlerinde delmişlerdir. Deneylerini CNC dik işleme merkezinde kuru kesme ortamında gerçekleştirmişlerdir. İşlem parametrelerinin takım aşınması ve delik çaplarının boyutsal kararlılığı üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre kullanılan takımlarda çoğunlukla abrasiv aşınma ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu gözlemlemişlerdir. Ayrıca takım aşınmasının takviye elemanı oranı ile artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Gözlemlerine göre diğer takımlara oranla HSS takımlarda daha yüksek miktarlarda BUE formu oluşmuştur. Delik çaplarındaki değişimlerin BUE oluşumundan ve takım aşınmasından negatif olarak etkilendiği ve en iyi sonucun ise TiAlN kaplı karbür takımlardan elde edildiğini açıklamışlardır.

Mahamani (2014), döküm yöntemiyle üretilmiş olan AA2219-TiB₂/ZrB₂ metal matrisli kompozit malzemelerin farklı parametre ve seviyelerde delinmesiyle oluşan yüzey pürüzlülüğü ve çap değişim değerlerini incelemiştir. Deneylerinde kullandığı

parametreleri, dönme devri (695, 1200, 2000 ve 3390 dev/dak), ilerleme (0,05; 0,10; 0,15 ve 0,20 mm/dev), matkap uç açısı (100° , 110° , 120° ve 130°) ve matkap ucu çapı (6, 8, 10 ve 12 mm) belirlemiştir. Deney sonucunda, ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını, uç açısı 100° olan matkaplarda oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin diğer uç açılara sahip matkaplarla yapılan işlemeye göre daha az olduğunu ve malzemedeki takviye elemanı yüzdesi artışıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca dönme devir sayısı, ilerleme ve matkap uç açılarının artışıyla çap değişim değerlerinin de arttığı sonucuna varmıştır.

Palanikumar ve arkadaşları (2014), karıştırma döküm yöntemi ile Al tabanlı ve %15SiC-%4 grafit takviye elemanlı hibrit metal matrisli kompozitlerin delinmesinde oluşan itme kuvvetlerini deneysel olarak araştırmış ve analiz etmişlerdir. Deneylerini CNC dik işleme merkezinde kuru ortamda ve 4, 8, 12 mm çapta TiN kaplamalı matkaplar kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde elde ettikleri sonuçlara göre itme kuvvetini etkileyen ana faktörün ilerleme olduğunu, ilerlemenin artmasıyla itme kuvvetinin arttığını, iş mili hızının ilerlemeye göre nispeten daha az etkili olduğunu, takviye elemanı olarak kullanılan SiC partiküllerinin kullanılan takımlardaki kaplamaları aşındırdığını bildirmişlerdir.

Bansal ve arkadaşları (2016), alümina (Al_2O_3) takviyeli Al2024 alaşımın matrisli kompozit malzemelerin tornalanmasında, işleme parametrelerinin takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve metal kaldırma oranına etkilerini incelemişlerdir. Tornalama deneylerini dört parametre ve her bir parametre için üç seviye belirleyerek kaplamalı ve kaplamasız takımlarla gerçekleştirmişlerdir. Kaplamalı takımlardaki takım aşınmasının kaplamasız takımlara göre daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin dönme devri dışındaki parametrelerde seviyelerin artmasıyla yükseldiğini, ayrıca malzeme kaldırma oranının takviye elemanı artışı ile azaldığını diğer parametrelerle arttığını belirtmişlerdir.

Song ve arkadaşları (2016), TiB_2 ile takviye edilmiş AMK'ların işlenebilirliği üzerine yaptıkları araştırmada, belirledikleri deney parametrelerinin takım aşınması, işlenen yüzey kalitesi ve talaş oluşumunu üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerini farklı seviyelerde belirlemişler ve talaş kaldırma işlemleri için üç farklı kesici takım kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, PCD kesici takımların sertlik ve aşınma direnci gibi üstün özelliklerini vurgulayarak bu takımların polikristal kübik bor nitrür (PCBN) ve

kaplamalı karbür takımlara kıyasla daha az aşındığını ifade etmişlerdir. Yüksek kesme sıcaklıklarında ve kesme kuvvetlerinde kesici takımlarda difüzyon ve oksidasyon aşınması oluşumlarını gözlemlemişlerdir. Ayrıca her üç kesici takım için kesme hızının artması ve ilerlemenin azalması ile işlenmiş yüzey kalitesinin arttığını belirtmişlerdir. İşleme sonrası talaş formlarının kesme parametrelerinden etkilendiğini özellikle talaşların serbest yüzeyinde mikro ölçüde testere dişi ve kırılma yüzeylerinde ise çok sayıda boşluk oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Thakre ve arkadaşları (2016), yanıt yüzey yöntemi kullanarak Al matrisli SiC takviyeli MMK malzemelerin delinmesinde çapak boyutu oluşumunu modellemişlerdir. Delme işleminde kullandıkları parametreleri kesme hızı (40, 60 ve 80 m/dak), ilerleme (0,1; 0,15 ve 0,2 mm/dev), ilave edilen takviye elemanı (%0, %15 ve %30) ve matkap uç açısı (96°, 118° ve 140°) olarak belirlemişlerdir. Deneyler için Minitab yazılımı kullanarak regresyon değerleri oluşturmuşlar ve ANOVA ile çapak kalınlığı ve çapak yüksekliğine etki eden parametreleri analiz etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre delinen yüzeylerde düzensiz çapakların oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca kullandıkları parametrelere göre düşük ilerleme, yüksek matkap uç açısı ve yüksek takviye elemanı konsantrasyonunda çapak boyutlarını minimum olarak ölçmüşlerdir. Yaptıkları ANOVA analizi ile minimum çapak yüksekliği oluşumunda en etkili parametrenin ilerleme olduğu ve bunu takip eden parametrenin ise matkap uç açısı olduğunu belirtmişlerdir.

Ekici ve arkadaşları (2017), Al/10B₄C ve Al/10B₄C/5Gr MMK malzemelerin delinmesi sırasında kullanılan kesme parametrelerinin işleme kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini kaplamasız karbür matkaplar ile kuru kesme ortamında üç farklı kesme hızı (18, 25 ve 35 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,08; 0,112 ve 0,16 mm/dev) değerlerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarla elde edilen itme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülük değerlerini, çap değişimi ve çapak oluşum mekanizmalarını incelemişlerdir. Kesme/delme parametrelerinin ve değişkenlerinin işleme kalitesi üzerindeki yüzdesel katkılarını ANOVA kullanılarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre ilerleme artışına paralel olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametrenin takviye elemanı olduğunu analiz etmişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerine göre delik yüzeylerinde çiziklerin, ince oyukların ve BUE oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca çap değişiminde %59 oranla kesme hızının en önemli parametre olduğunu, çapak

oluşumunda ise en önemli parametrenin %56,2 ile ilerleme olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ravindranath ve arkadaşları (2017), Al/B₄C ve Al/B₄C/Gr MMK malzemelerin delme işlemlerini optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deneylerini CNC dik işleme merkezinde kuru ortamda ve 5 mm çapta TiN, M42 ve karbür takımlar kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Delme parametreleri olarak üç farklı dönme devri (1000, 1500 ve 2000 dev/dak) ve üç farklı ilerleme oranı (0,1 mm/dev, 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev) belirlemişler ve işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti ve çapak oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre dönme devri artışıyla yüzey pürüzlülük, itme kuvveti ve çapak yüksekliği değerlerinin azaldığını, ilerlemenin artmasıyla bu değerlerin arttığını, kullandıkları diğer takımlara kıyasla karbür takımlardan daha iyi sonuçlar elde ettiklerini gözlemlemişlerdir. İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği üzerinde, ilerlemenin daha önemli bir faktör olduğunu ve bunu sırasıyla dönme devri ve matkap takım malzemesi takip ettiğini ifade etmişlerdir.

Jadhav ve arkadaşları (2018), Al6061/Al₂O_{3p} MMK malzemelerin delinmesinde, dönme devri, ilerleme, matkap geometrisi ve takviye elemanı yüzdesinin yüzey kalitesine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneylerini Taguchi yönteminin L₁₈ ortogonal dizilimine göre tasarlamışlardır. Deney sonuçlarına göre matris malzemeye ilave edilen takviye elemanı yüzdesinin artmasıyla yüzey kalitesinin bozulduğunu, daha küçük uç açılarında sahip matkapların kullanıldığı deneylerde, düşük ilerleme ve yüksek dönme devirleriyle yapılan delme işlemlerinde daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca daha küçük matkap uç açılarında ve daha düşük ilerleme ve iş mili devirlerinde, ortalama kuvvet ve tork değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Kishore ve arkadaşları (2018), karıştırma döküm yöntemi ile ürettikleri Al6061-10TiC (ağırlıkça %) MMK'ların PCD kesici takımlarla kuru ortam şartlarında tornalanması işlemlerinde, Taguchi yöntemi ve ANOVA yöntemini kullanarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneysel tasarımlarını Taguchi'nin L₂₇ ortogonal dizilimine göre planlamışlardır. Ayrıca deneyel verileri yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinde daha iyi seviyede olduğunu görmüşlerdir. ANOVA yöntemi ile kesme hızının %43, kesme derinliğinin %31 ve ilerlemenin ise %26 oranında yüzey pürüzlülüğüne etki ettiğini analiz etmişlerdir.

Modelleme yaparak buldukları tahmini yüzey pürüzlülük değerleri ile deneylerden elde ettikleri değerler arasında ortalama %1,51 hata payı olduğunu ifade etmişlerdir.

Lingamurthy ve arkadaşları (2018), karıştırmalı döküm yöntemiyle ürettikleri %2, %4 ve %6 oranında Al_2O_3 içeren Al7075 MMK malzemelerin işlenmesinde, delme parametrelerinin optimizasyonunu ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deneyler sonucunda Taguchi yöntemi ile en iyi yüzey pürüzlülük değerlerini %4 takviye elemanı kullandıkları iş parçasının 355 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerleme değerlerinde işlenmesiyle elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca talaş oluşumunun iş malzemelerinin mekanik ve morfolojik özelliklerinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Rana ve arkadaşları (2018), karıştırma döküm yöntemi ile üretilen Al-MgO MMK kompozit malzemelere üç farklı parametre ve seviyede delme işlemi uygulamışlar ve genetik algoritma tekniği kullanarak delme bölgesi sıcaklığı, çap değişimi ve çapak yüksekliği etkilerini optimize etmişlerdir. İşleme parametresi olarak delme derinliği (5, 7 ve 9 mm), matkap çapı (6, 9 ve 12 mm) ve dönme devri (660, 1110 ve 1320 dev/dak) değerlerini kullanmışlardır. Deney sonucunda, düşük çaplı matkapla yapılan delme işleminde yüksek kesme hızı ve kesme derinliğinde çapak yüksekliği değerinin minimum olduğunu, ayrıca minimum kesme sıcaklığı değerinin ise düşük çaplı matkapla yapılan delme işleminde düşük dönme devri ve kesme derinliğinde oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Bai ve arkadaşları (2019), hibrit tornalama yöntemi ile SiC takviyeli AMK'ların işlenebilirliğini araştırmışlardır. Bu yöntemde tungsten karbür (WC) ve PCD kesici takımlara yüksek frekans ve düşük genlikte titreşim hareketi vererek ultrasonik destekli, titreşim vermeyerek geleneksel tornalama işlemlerini yapmışlardır. Ayrıca tornalama işlemlerini kuru ve minimum miktarda yağlama (MQL) ortamlarında gerçekleştirmişlerdir. Kesici takım, titreşim ve soğutma ortamının yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, takım aşınması ve talaş oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ultrasonik titreşimin kesme sıcaklığında hafif bir artış ve kesme kuvvetinde önemli bir azalma sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca ultrasonik titreşimli tornalama işlemlerinde, daha iyi yüzey topografyası ile sürekli ve yarı sürekli talaşlar elde etmişlerdir. WC kesici takımlarda abrasif ve adhezif aşınma tiplerinin oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, ultrasonik titreşim ve WC kesici takımlarla tornalanmış

yüzeylerin PCD takımlarla tornalanan yüzeylerden bazen daha iyi elde edildiğini vurgulamışlardır.

Başar ve arkadaşları (2019), Al5083 alaşımlarını CNC freze tezgâhında 40 mm çaplı takımla frezelemişler ve işlem sırasında soğutucu sıvı olarak bor yağı kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerine ilerleme, dönme devri ve kesme derinliğinin etkilerini araştırmışlar ve yanıt yüzey yöntemi ile matematiksel modellemişlerdir. Ayrıca kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini ANOVA ile analiz etmişlerdir. ANOVA sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerine ilerleme ve dönme devrinin önemli parametreler olduğunu, kesme derinliğinin ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün artan dönme devri ile azaldığını, artan ilerleme ile arttığını ifade etmişlerdir.

Daniel ve arkadaşları (2019), Al5059 matrisli SiC ve MoS₂ takviye elemanlı kompozit malzemeleri CNC freze tezgâhında farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinde frezelemişlerdir. İlerleme, kesme hızı, kesme derinliği ve SiC takviye oranının kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık ve kaldırılan talaş oranı üzerine etkilerini incelemişlerdir. CNC tezgâhında kesme kuvvetlerini Kistler 9257B marka dinamometre ile ölçmüşlerdir. Deney sayılarını minimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlar ve deneysel elde ettikleri verileri yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Deneyler sonucunda kompozite ilave edilen takviye elemanı oranı arttıkça yüzey pürüzlülük, sıcaklık ve kesme kuvveti değerlerinin arttığını ve talaş kaldırma oranının azaldığı gözlemlemişlerdir. ANOVA sonuçlarına göre en etkili parametrelerin sırasıyla ağırlıkça % SiC miktarı, ilerleme ve kesme derinliği olduğunu belirtmişlerdir.

Marimuthu ve arkadaşları (2019), SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin lazerle delinmesinde oluşan delik biçiminin karakteristiklerini enerji, atım süresi, frekans, hız, gaz kompozisyonu gibi parametrelere bağlı olarak incelemişlerdir. Deneyler sonucunda lazer delme ile AMK'ların yüksek hız ve kalitede delinebileceğini gözlemlemişlerdir. Lazerle delme işleminde alüminyum matrisi ve SiC partikülleri arasında metalurjik bir etkileşim görmemişlerdir. İyi delik delme karakteristiklerini 2 ms atım ve 2,5 kW güç kullanımında elde etmişlerdir.

Ramasubramanian ve arkadaşları (2019), %25 SiCp takviyeli Al2124 MMK malzemeye uyguladıkları tornalama işlemlerini bor katkılı kademeli elmas (BMTN), mikrokristal elmas (MCD), nanokristal elmas (NCD) ve bor katkılı elmas (BDD) kaplı

WC-Co kesici takımlarla gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca bu takımların işleme performanslarını endüstride sıkça kullanılan PCD takımların performanslarıyla karşılaştırmışlardır. İşlenen parçaların yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerlerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda BMTN kaplı takımın diğer takımlara kıyasla en az takım aşınması gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca Al-SiC MMK malzemelerin BMTN takımlar kullanılarak işlenmesinin etkili ve verimli bir tercih olacağını belirtmişlerdir.

Samtaş ve Korucu (2019), alüminyum 5754 alaşımını kaplamasız, Al_2O_3 -TiCN-TiN kaplı ve TiAlN nano kaplı kesici takımlarla farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametrelerde frezelemişlerdir. Frezeleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerini Taguchi yönteminin L_{27} ortogonal dizilimine göre gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda elde ettikleri değerleri, sinyal gürültü, ANOVA ve regresyon yöntemi analiz etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkili faktörün %77,47 oranla kesici takım olduğunu ve bunu %13,25 oranla kesme derinliği takip ettiğini belirtmişlerdir.

Bhushan (2020), AA7075/SiC kompozit malzemelerin işlenmesinde takım aşınma parametrelerine farklı optimizasyon yöntemleri ile yaklaşımda bulunmuştur. Deneyler için içerisinde ağırlıkça %10 SiC takviyesi içeren AMK malzemeleri farklı uç açılarına sahip WC takımlarla farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinde tormalamıştır. Deney sonrası takım aşınmalarını tespit etmek için SEM kullanmıştır. Kesme hızının aşınma için önemli bir parametre olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca ele aldığı optimizasyon yöntemlerinin aşınma tahmini için oldukça iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Das ve arkadaşları (2020), karıştırma döküm yöntemi ile üretilen ağırlıkça %15 SiC takviyeli Al7075 alaşım matrisli kompozit malzemelerin TiN kaplı WC kesici takımlarla kuru tormalanmasında, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyler için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerini dört farklı seviyede seçerek Taguchi yöntemi ile analiz etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri sonuçları ANOVA ile incelemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını ve kesme kuvveti için en önemli parametrenin ilerleme olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca ilerlemenin takım aşınmasında da oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu, yüksek kesme hızlarında abrasif ve daha düşük kesme hızlarında ise adhezif aşınma

mekanizmalarının gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Optimum parametrelerin düşük kesme hızı (40 m/dak), ilerleme (0.05 mm/dev) ve kesme derinliğinden (0,2 mm) elde edildiğini vurgulamışlardır. ANOVA sonuçlarına göre kesme hızından sonra en etkili parametrenin ilerleme olduğunu, ancak takım aşınmana kesme derinliğinin önemli bir etkisinin olmadığını analiz etmişlerdir.

Juliyana ve arkadaşları (2020), karıştırma döküm yöntemi ile LM5 alüminyum alaşımına üç farklı oranda zirkonyum dioksit ilave edilerek elde ettikleri MMK malzemeleri farklı parametre ve seviyelerde delmişlerdir. Delme deneylerini Taguchi yönteminin L_{27} ortogonal dizilimine göre gerçekleştirmişlerdir. Deney sonucunda elde ettikleri değerleri, Minitab yazılımı kullanarak sinyal gürültü grafiği ile analiz etmişlerdir. İtme kuvvetine etki eden en önemli parametrelerin ilerleme ve dönme devri olduğunu belirtmişlerdir.

Kannan ve arkadaşları (2020), yapmış oldukları çalışmada hibrit ($Al7075 + SiC + Gr$) olarak üretilen MMK'ların tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti üzerine etkilerini incelemişlerdir. Tornalama deneyleri için dört parametre ve her bir parametre için üç farklı seviye belirlemişlerdir. Deneylerini L_{27} ortogonal dizi tasarımına göre gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre kesme hızı (40 m/dak), ilerleme (0,1 mm/dev), kesme derinliği (0,3 mm) ve $\%3SiC \times \%7Gr$ malzeme bileşimi kullanılarak yapılan talaş kaldırma işlemlerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti değerlerini elde etmişlerdir.

Pul ve Baydaroğlu (2020), toz metalurjisi (TM) yöntemiyle ürettikleri B_4C/SiC takviyeli $Al7075$ alaşım matrisli kompozitlerde sinterleme süresi, takviye oranı ve cinsinin kompozitin mikroyapı, sertlik, kırılma yükü ve aşınma davranışı üzerine etkilerini deneysel olarak, balistik performans üzerine etkilerini ise ANSYS sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. B_4C takviyeli kompozitlerin SiC takviyeli kompozitlerden daha yüksek sertliğe sahip olduklarını, artan takviye oranı ile sertliğin arttığını, ancak artan sinterleme süresi ile sertliğin azaldığını belirtmişlerdir. Düşük takviye oranına ve yüksek sinterleme süresine sahip kompozitlerin yüksek takviye oranı ve düşük sinterleme süresine sahip kompozitlerden daha yüksek kırılma dayanımına sahip olduklarını gözlemlenmiştir. Artan takviye oranı ve sinterleme süresiyle aşınma miktarının arttığını ifade etmişlerdir. Balistik analiz sonuçlarında ise diğer kompozitlere

göre %20 ve %40 takviye oranına sahip kompozitlerden daha iyi sonuçlar elde edildiğini analiz etmişlerdir.

Skoczypieca ve arkadaşları (2020), %15 SiC takviyeli AA6351 alaşım matrisli kompozitlerin elektro erozyon yöntemi ile işlenmesinde çalışma voltajı, akım genliği ve atım suresi faktörlerinin işleme hızı, duyarlılığı, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda akım genliği ve çalışma voltajının işlemede önemli parametreler olduğunu, ayrıca malzeme atımında elektrolit olarak kullanılan diyonize edilmiş suyun da önem taşıdığını belirtmişlerdir.

Suthar ve arkadaşları (2020), alüminyum hibrit metal matrisli kompozitlerin işlenmesinde takım aşınması ve talaş oluşumunu analiz etmişlerdir. Deneylerinde kullanmak üzere saf alüminyum matris malzemesi olarak seçmişler ve takviye elemanı olarak çeşitli oranlarda B₄C, Mg, Ti ve Grafit kullanmışlardır. İşleme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemek için karbür ve PCD kaplamalı takımlar kullanmışlardır. Deney sonucunda uygun olmayan işleme parametrelerinin takım ömrünü önemli ölçüde azalttığını ve PCD takımlara göre karbür takımlarda takım ömrünün daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüksek ilerleme ve düşük dönme devri parametrelerinde istenmeyen talaş formlarının oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Umamaheswarrao ve arkadaşları (2020), karıştırma döküm yöntemi ile üretilen ağırlıkça %4, %8, %12, %16 ve %20 SiC takviyeli Al6061 alaşım matrisli kompozitlerin frezelenmesinde, dönme devri (500, 1000, 1500, 2000 ve 2500 dev/dak), ilerleme (10, 20, 30, 40 ve 50 mm/dev) ve kesme derinliğinin (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 ve 1 mm) kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deney sayılarını minimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deneyler sonucunda ilerlemenin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli faktör olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri için optimum kombinasyon parametrelerinin 1000 dev/dak dönme devri, 10 mm/dev ilerleme, 0,2 mm kesme derinliği ve %4 takviye oranından elde edildiğini belirtmişlerdir.

Okay ve arkadaşları (2021), TM yöntemi ile üretilen Al matrisli B₄C takviyeli MMK malzemeye 5 mm çapındaki HSS matkaplarla delikler delmişler ve işlem parametrelerinin itme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerinde kesme hızlarını 20, 30, 40 ve 50 m/dak ve ilerleme değerlerini 0,1; 0,2; 0,3 ve 0,4 mm/dev olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri verilere göre

matris malzemesine B₄C ilave edilmesi ile ilerleme kuvveti ve moment değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca artan ilerleme ile itme kuvveti ve moment değerlerinde yükselme meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün ilerlemenin artmasıyla arttığını, kesme hızı değerinin artmasıyla birlikte azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca minimum yüzey pürüzlülüğünü B₄C takviyeli kompozitin yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinde işlenmesinde 2,448 µm olarak ölçmüşlerdir.

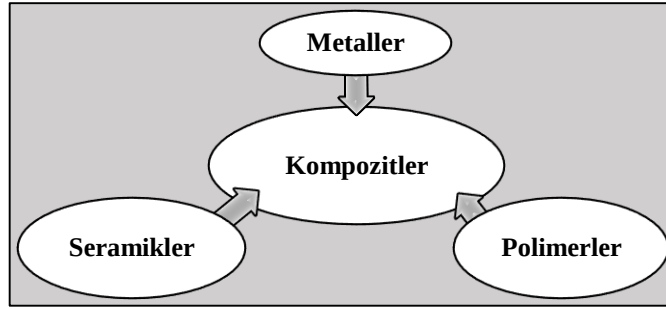
Prakash ve arkadaşları (2021), karıştırma döküm yöntemi ile ürettikleri LM6 alüminyum alaşım matrisli B₄C ve uçucu kül takviyeli hibrit MMK'ların gri ilişkiler analiz yöntemi kullanarak delinmesinde, her biri üç seviyeden oluşan takviye elemanı oranı, kesici takım cinsi, ilerleme ve dönme devrinin ilerleme kuvveti ve çapak yüksekliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu parametrelere göre 81 deney yapmaları gerekirken Taguchi yönteminin L₂₇ ortogonal dizilimine göre 27 deney yapmışlardır. İlerleme kuvveti ve çapak yüksekliği üzerine ilerlemenin %33,3 ile en yüksek istatistiksel etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunu %26,3 ile takviye oranı, %11,3 ile dönme devri ve %5,9 ile kesici takım cinsi takip ettiğini vurgulamışlardır.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, alüminyum ve alaşımlarına farklı takviye elemanları ilave edilerek oluşturulan MMK malzemelerin tornalama, frezeleme ve delme işlemine tabi tutuldukları görülmüştür. Literatür çalışmalarında farklı kesme hızı, ilerleme ve takım cinsi gibi işlem parametrelerinin işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Ancak takımda meydana gelen kuvvetler ve momentler, bu kuvvet ve momentlerin takım aşınması ile ilişkisi başta olmak üzere işlenebilirlikle ilgili ayrıntılı çalışmaların yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 kompozitler, WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplarla, üç farklı ilerleme ve dönme devri seçilerek kuru ortamda delinmiştir. Deneylerde kullanılan delme parametrelerinin, kesme kuvvetine ve momentine, çap değişimine, çapak oluşumuna, yüzey pürüzlülüğüne, talaş biçimi ile morfolojisine ve takım aşınmasına olan etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca kesme kuvvetleri ve momentlerinin takım aşınması ile olan ilişkisi sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

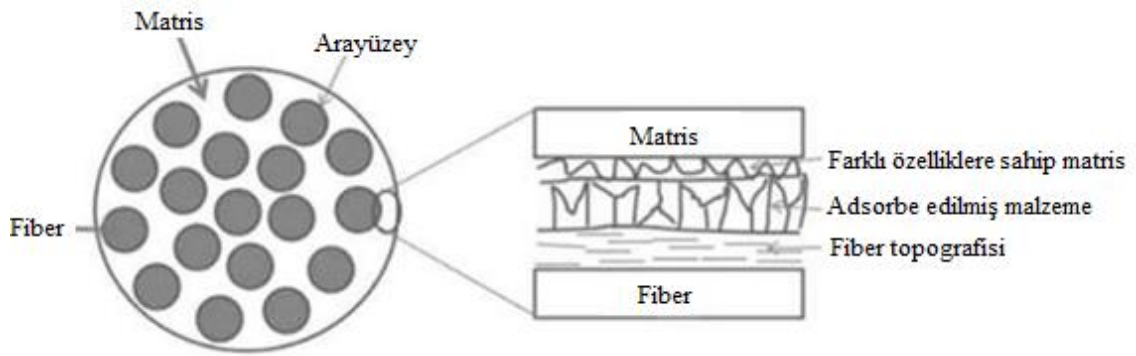
Metal, seramik ve plastik malzemelerden iki veya daha fazlasının belirlenen özelliklerini tek bir malzemede toplamak veya yeni mekanik özelliklere sahip farklı bir malzeme üretmek için farklı işlem prosesleriyle birleştirilen heterojen malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemelerin oluşumu Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kompozit malzeme oluşumu

2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozitler, iki veya daha fazla fiziksel ve/veya kimyasal olarak farklı materyalden oluşur. Bir kompozitin üç bileşeni vardır. Bunlar; matris malzemesi, takviye elemanı ve matris malzemesi ile takviye elemanı arasındaki arayüzdür (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin yapısı (Lee ve ark., 2021)

Bu üç bileşen kompozitin özelliklerini belirleyen ana faktörlerdir. Matris malzemesi, kompozitlerin sürekli bir fazıdır ve takviye elemanlarını önceden belirlenmiş yönde tutmaya yarar. Takviye elemanı, kompozitlerin süreksiz fazıdır ve matris malzemesi içerisinde dağıtılan daha güçlü bir malzemedir. Matris malzemesi ve takviye elemanları kimyasal olarak bağlanır veya mekanik olarak birbirine kilitlenir. Matris malzemesinin özellikleri kompozit yapım sürecinde değiştirilirken, çok yüksek sıcaklıkta nadiren işleme

durumları dışında, takviye malzemelerinin özellikleri aynı kalır (Balasubramanian, 2016).

Kompozitlerde kullanılan birçok takviye elemanı ve matris malzemesi mevcuttur. Uygun bir takviye elemanı ve matris malzemesi seçimi ile nihai kompozitten istenen özellikleri elde etmek mümkündür. Örneğin lifler takviye olarak kullanıldığında, lif takviyesi istenilen yönde hizalanarak yönsel özelliklere sahip bir kompozit elde edilebilir. Bu tip kompozitler, farklı yönlerde farklı özellikler gerektiren yapılar için çok kullanışlıdır. Bu durum kompozit malzemeleri geleneksel malzemelere göre avantajlı kılmaktadır.

Kompozitler üretmek için çeşitli üretim teknikleri mevcuttur. Bu nedenle, karmaşık şekillere sahip kompozitler üretmek kolaydır. Kompozitler, yüksek özgül mukavemetlerine ve sertliklerine ilaveten ağırlıkta önemli avantajlar sunarlar. Mevcut enerji krizi ve çevre bilinci düşünüldüğünde, ulaşım araçlarının yakıt verimliliğini artırmak kompozitlerle mümkün olmaktadır.

Kompozit malzemenin nihai özelliklerini kontrol eden birçok faktör vardır. En önemli faktör, takviye ve matris bileşenlerin özellikleridir. Bir diğer önemli faktör ise takviye ve matris konsantrasyonu, yani miktarıdır. Bu faktörlerin dışında takviye dağılımının boyutu, şekli, yönü ve doğası da kompozitlerin özelliklerinin kontrolünde önemli rol oynamaktadır. Kompozitlerde iyi ve güvenilir özellikler elde etmek için matris boyunca muntazam bir şekilde dağıtılan çok ince lifli takviyelerin kullanılması arzu edilir. Takviye elemanının yönü yön özelliklerini kontrol eder. Takviye liflerini yükleme yönü boyunca hizalayarak çok yüksek mekanik özellikler elde etmek mümkündür. Genel olarak, takviyeler matris malzemelerden daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, bazı durumlarda daha yüksek miktarda takviye elemanına sahip kompozitler, daha az miktarda takviye elemanı içeren kompozitlere göre daha iyi mekanik özellikler sergilerler.

Kompozit malzemelerin yaklaşık özellikleri, Eşitlik 2.1'de verilen karışımlar kuralı kullanılarak tahmin edilebilir.

$$X_c = V_r X_r + V_m X_m \quad (2.1)$$

Burada, X_c kompozit malzemenin özelliğidir ve X_r ve X_m sırasıyla takviye elemanı ve matris malzemesinin özellikleridir. V_r ve V_m takviye elemanı ve matris malzemesinin hacim miktarlarıdır. Bir kompozit malzemenin elastisite modülü (E_c);

$$E_c = V_r E_r + V_m E_m \quad (2.2)$$

ile hesaplanır. Burada E_r ve E_m sırasıyla takviye elemanı ve matris malzemesinin elastisite modülüdür.

Uygulamada takviye elemanı ve matris malzemesini hacim bazında almak çok zordur. Malzemelerin ağırlığı, hacmi ve yoğunluğu birbirleri ile ilişkilidir. Bileşenlerin yoğunluk değerleri mevcut olduğunda, Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4'teki denklemleri kullanarak ağırlığı hacimden bulmak veya bunun tersini almak mümkündür.

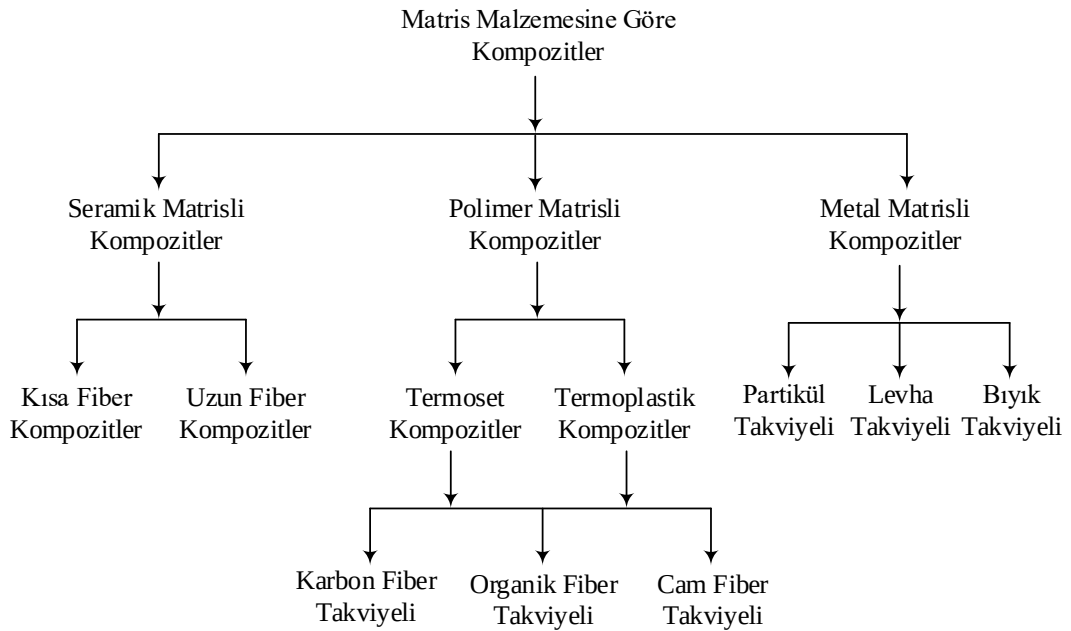
$$W_r = \frac{V_r \rho_r}{V_r \rho_r + V_m \rho_m} \quad (2.3)$$

$$V_r = \frac{W_r / \rho_r}{W_r / \rho_r + W_m / \rho_m} \quad (2.4)$$

Burada, ρ_r ve ρ_m sırasıyla takviye elemanı ve matris malzemesinin yoğunluğu, W_r ve W_m ise sırasıyla takviye elemanı ve matris malzemesinin ağırlığıdır (Balasubramanian, 2016).

2.3. Kompozit Malzeme Türleri

Kompozit malzemeler, matris malzemesine göre polimer matris kompozitler (PMK), metal matris kompozitler (MMK) ve seramik matris kompozitler (SMK) olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Matris malzemesine göre kompozitler (Singh, 2020)

Bu üç kompozit arasında, düşük üretim sıcaklığı ve maliyeti nedeniyle PMK'ların kullanımları yaygındır. Çoğu PMK, oda sıcaklığında üretilmektedir. Bununla birlikte, PMK'lar yalnızca oda sıcaklığında veya oda sıcaklığının biraz üzerinde kullanılabilirler. PMK için maksimum kullanım sıcaklığı yaklaşık 300 °C'dir. Ana matris malzemesi polimerdir. Polimer, çok sayıda tekrar eden bir veya daha fazla birimden oluşan bir makromoleküldür. Örneğin, çok yaygın bir polimer olan polietilen yüzlerce tekrar eden etilen ($-CH_2 - CH_2-$) biriminden oluşmaktadır. Polimerik bir malzeme, benzer kimyasal yapıya sahip birçok polimerik molekülün bir araya toplanmasıdır. Polimerik zincirler, bir polimerik malzemede bir miktar zincir oryantasyonu ile oluşur veya rastgele düzenlenir. İşlem koşullarına bağlı olarak polimerler şekilsiz veya yarı kristal halde elde edilebilir. Polimerler, termoset (ısıyla sertleşen) ve termoplastik polimerler olarak sınıflandırılır. Isıyla sertleşen bir polimerde polimer molekülleri, zincirler arasında güçlü kovalent bağlarla üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Bu tür bir ağ yapısı oluşturulduktan sonra malzemeyi deforme etmek çok zordur (Balasubramanian,2016).

Kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılan termoset polimerler birçok avantaja sahiptirler ve bu nedenle termoplastiklere kıyasla daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Avantajlardan bazıları şunlardır;

- ✓ Sıvı formda mevcut olduklarından bu polimer ile üretilen kompozitlerin imalatı kolaydır,
- ✓ Takviyeleri iyi ıslatır,
- ✓ Termal kararlılığı yüksektir,
- ✓ Sürünme direnci iyidir,
- ✓ İyi kimyasal dirence sahiptir.

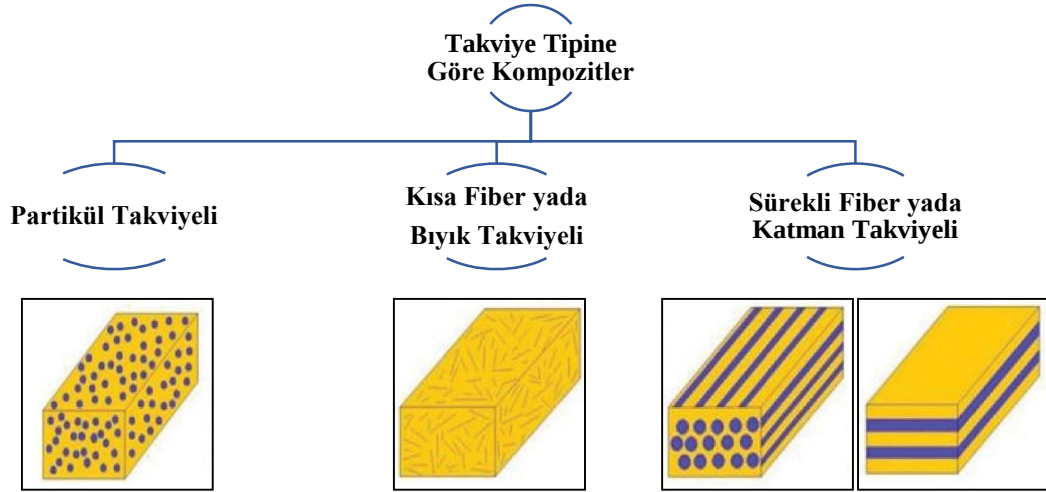
Bununla birlikte, dezavantajları da vardır. Bunlar;

- ✓ Yüksek kırılgen yapı,
- ✓ Uzun üretim süresi,
- ✓ Nispeten kısa depolama ömrüdür.

Termoplastik bir malzemede ise polimer molekülleri zayıf van der Waals kuvvetleriyle bir arada tutulmaktadır. Bu nedenle, ısı ve güç uygulayarak termoplastik bir malzemeyi deforme etmek kolaydır ve bu malzemelerin yeniden şekil verilerek kullanılması mümkün olmaktadır. Bu nedenle, bu malzemelerin tek aşamalı bir işleme imal edilmesi gerekmemektedir. Bu avantajın dışında bazı ek avantajlar da vardır. Termoplastikler ile imalat süresi kısalmaktadır ve bu malzemeler iyi bir tokluğa

sahiptirler. Ayrıca Termoplastik malzemeler daha uzun süre saklanabilmektedirler. Yüksek işleme sıcaklıkları ve yüksek erime viskozitesi gerekliliği olsa da termoplastik matrisli kompozitlerin kullanımları da popüler hale gelmektedir. Bunun yanı sıra MMK'lar, 1200 °C'ye kadar kullanılabilir. MMK'ların imalatı, PMK'lara kıyasla biraz daha zordur. MMK'lar hakkında daha geniş bilgi bölüm 2.4'te verilmiştir. SMK'lar ise 1200 °C'nin üzerinde kullanılabilir. Fakat üretim sıcaklıkları yüksektir ve bazı özel üretim tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle SMK'lar çok pahalı malzemelerdir. SMK kategorisine giren sementit esaslı kompozitler ise oda sıcaklığında imal edilebilmektedir. SMK'larda kullanılan genel matris malzemeleri, metallerin oksitleri, karbürleri ve nitrürleridir. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilirler. Oksidasyon ve kimyasal direnci çok iyidir. Seramik malzemelerin elastik modül ve mukavemet değerleri yüksek olduğu için kompozitlerin oluşturulmasındaki temel amaç kırılma tokluğunu arttırmaktır. Diğer bir deyişle, bir seramik malzemedeki takviyelerin varlığı, çatlakların ilerlemesini birçok yönden engelleyebilir ve böylece kırılma tokluğunu artırabilir. SMK'larda çalışan sertleştirme mekanizmalarından bazıları çatlak saptırma, çatlak köprüleme, lif çekme ve dönüştürme sertleştirmesidir. Takviyeler daha yüksek kırılma tokluğuna sahip olduğunda, çatlakların içlerinden geçmesine izin vermeyeceklerdir. Ya çatlak öne doğru eğilir ya da yön değiştirir. Bu şekilde çatlak ilerlemesi geciktirilir. Lifli takviyeler bir seramik matris içinde bulunduğunda, çatlak yüzeylerini köprüleyebilir ve böylece kolay çatlak ilerlemesini önleyebilir. Özel bir arayüz, lifli takviyelerin çekilmesine izin verecektir. Dolayısıyla, bu işlem için kullanılan enerjinin bir kısmı ve çatlak ilerlemesi geciktirilir. Dönüşüm sertleştirme mekanizması, zirkonya ile sertleştirilmiş seramiklerde çalışır. Zirkonya üç kristal formda, yani kübik, tetragonal ve monoklinik formlarda bulunur. Tetragonal formdan monoklinik forma dönüşüm yaklaşık %4'lük bir hacim genişlemesi içerir. Tetragonal zirkonya parçacıkları bir seramik matris içinde bulunduğunda, yükleme sırasında monoklinik forma dönüşebilirler. Bölgede stres yoğunluğu yüksek olduğundan bu genellikle çatlak ucunun yakınında olur. Hacim genişlemesiyle ilişkili dönüşüm, çatlakları kapatmaya çalışacak ve böylece kolay yayılmayı önleyecektir (Balasubramanian, 2016).

Kompozit malzemeleri takviye tipine bağlı olarak da sıralamak mümkündür. Takviye tipine bağlı olarak kompozitler, partikül takviyeli kompozitler, kısa fiber takviyeli kompozitler ve sürekli fiber ya da katman takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Takviye malzemesine göre kompozitler (Mistry ve Gohil, 2018)

Fiber takviyeli kompozitlerin performans seviyesi, partikül kompozitlere göre daha yüksektir. Fiber takviyeli kompozitler, kısa fiber takviyeli kompozitler ve sürekli fiber takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılabilir. Fiberlerin hizalanmasına bağlı olarak iki kısa fiber takviyeli kompozit kategorisi vardır. Bunlar hizalanmış ve rastgele yönlendirilmiş kısa fiber takviyeli kompozitlerdir. Bıyıklar da kısa lifler olarak düşünülebilir ancak her lif tek bir kristaldir. Kesintisiz fiber takviyeli kompozitler ayrıca fiberlerin yönüne bağlı olarak tek yönlü, çift yönlü ve çok yönlü kompozitler olarak sınıflandırılabilmektedir.

Laminatlar ve sandviç kompozitler olmak üzere iki tür yapısal kompozit vardır. Laminatlar, liflerin her katmanda aynı veya farklı yönlerde yönlendirildiği çok katmanlı kompozitlerdir. Sandviç kompozitler, hafif bir çekirdek malzemeye sahip kompozit yüzey katmanlarından oluşur. Çekirdek, uygulamaya bağlı olarak köpük veya bal peteği yapısında olabilir. Sandviç kompozitler hafiftir ve yüksek sertliğe sahiptir. Birden fazla tip takviye kullanıldığında, kompozit hibrit kompozit olarak adlandırılmaktadır.

Kompozitler ayrıca takviye boyutuna göre makro, mikro ve nanokompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Makro kompozitlerde milimetreden fazla boyuttaki takviye elemanları kullanılmaktadır. Mikro kompozitlerde mikrometre boyutlu takviye elemanları kullanılmaktadır. Mikro kompozitlere Cam ve karbon fiber takviyeli kompozitler örnek olarak verilebilir. Nanokompozitlerde ise kullanılan takviye elemanı boyutlarından en az biri 100 nm'den az olmalıdır. Nanokompozitler ayrıca takviye boyutuna bağlı olarak sıfır, bir, iki ve üç boyutlu nanokompozitler olarak gruplara ayrılmaktadır. Takviye elemanlarındaki önemli gelişmeler nedeniyle nanokompozitler

günümüzde popüler hale gelmekte ve matris malzemesi için kullanılan aynı üretim ekipmanları ile nanokompozitler üretilebilmektedir (Balasubramanian, 2016).

2.4. Metal Matrisli Kompozitler (MMK'lar)

2.4.1. Matris malzemeleri

Metal matrisler, metalleri, alaşımları ve bileşikleri içerir. Bir alaşım ile bileşik arasındaki temel fark, alaşımın değişken bileşime sahip olabilmesi ve metaller arası bileşiğin sabit bir bileşime sahip olması gerektiğidir. Alaşımlar gibi, çok iyi termal ve elektrik iletkenliğine sahiptirler, ancak süneklikleri çok zayıftır. Süneklik, hızlı soğutma yoluyla camsı intermetalikler oluşturarak veya bor gibi elementler ekleyerek geliştirilebilir. Matris olarak kullanılan intermetaliklerin bazıları NiAl, TiAl ve benzeridir. Metallerde kullanılan matris malzemeleri, polimerik malzemelerden daha fazla tokluğa ve sertliğe sahiptir. Dahası, daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bununla birlikte, imalat sıcaklıkları yüksektir (600 °C'den fazla). MMK'lardaki matris malzemelerinin çoğu alüminyum, magnezyum ve titanyum alaşımlarına ve bazı intermetalik malzemelere dayanmaktadır. Bu matrislere ait bazılarının detayları aşağıda verilmiştir.

Alüminyum ve Alaşımları: En yaygın kullanılan metal matrislerdir. Bu alaşımlar çok iyi korozyon direncine ve mekanik özelliklere sahiptir. MMK'larda kullanılan diğer matrislere kıyasla hafif ve nispeten ucuzdurlar. Alüminyum-silikon alaşımlı kompozitler eriyik yoluyla imal edilirken alüminyum-bakır veya alüminyum magnezyum alaşımlı kompozitler TM yöntemi ile imal edilerek kullanılmaktadırlar (Balasubramanian, 2016).

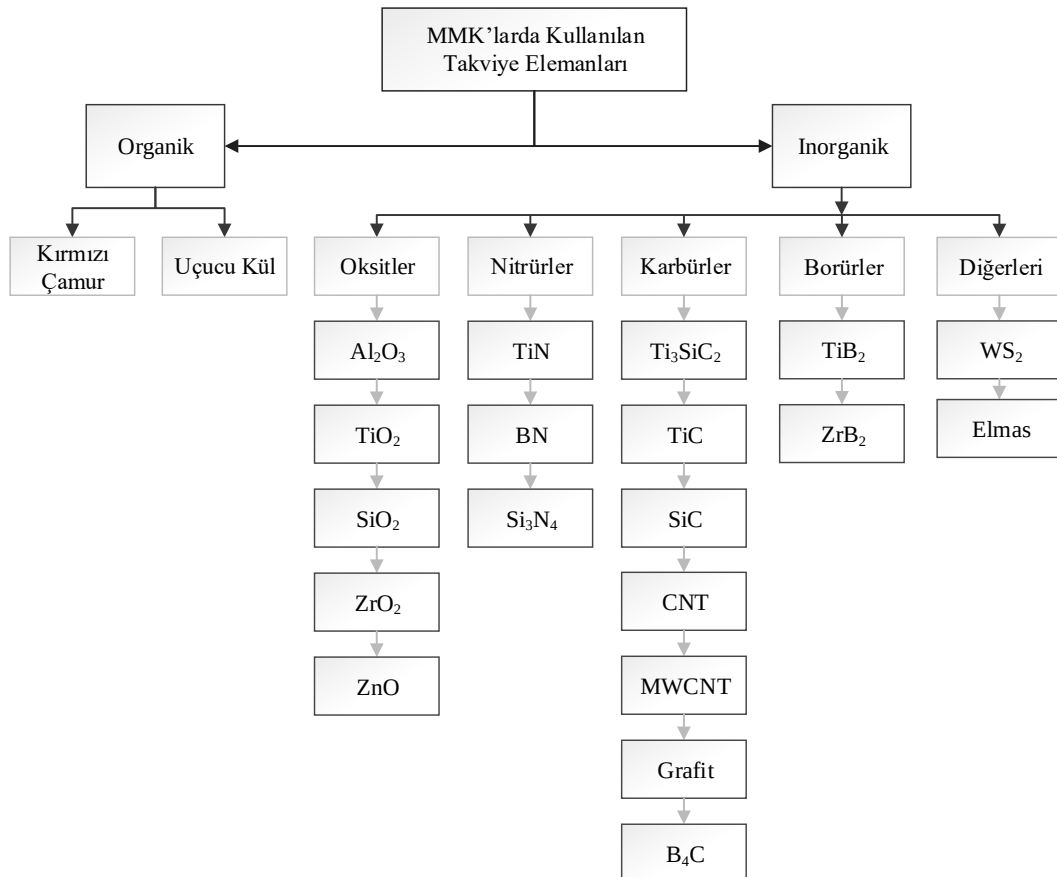
Magnezyum ve Alaşımları: 1,74 g/cm³ yoğunluğa sahip en hafif metallerden biridir. Magnezyum hegzaonal sıkı paket bir yapıya sahip olduğu için bu malzemenin oda sıcaklığında deforme olması çok zordur. Bu alaşımlarla kompozitlerin imalatı sırasında büyük özen gösterilmelidir. Çünkü bunlar oksijen ile şiddetli reaksiyona girerler ve bazen patlamayı tetiklerler.

Titanyum ve Alaşımları: Alüminyum ve magnezyum matrisli kompozitler, oda sıcaklığı veya oda sıcaklığının biraz üzerindeki uygulamalar için kullanışlıdır. Servis sıcaklığı 300 °C'den fazla olduğunda bu matrisler uygun olmayabilir. Titanyumun erime noktası 1672 °C olduğu için 1000 °C'ye kadar kullanılabilir. Örneğin, süpersonik uçağın cilt sıcaklığı 300 °C'nin üzerine çıkabilir. Alüminyum alaşım matrisli kompozitler bu uygulama için

uygun değildir, oysa titanyum alaşımlı matrisli kompozitler uygundur. Titanyum iki kristal formda bulunur. Bunlar α ve β formlarıdır. α formu altıgen yapıya sahiptir ve 885 °C'ye kadar stabildir, oysa β formu ise 885 °C'nin üzerinde stabil olan kübik yapıya sahiptir. Alaşım elementleri bu dönüşüm sıcaklığını değiştirebilir. Alüminyum, α formunu stabilize eder ve dolayısıyla dönüşüm sıcaklığı 885 °C'nin üzerine çıkar. Volfram gibi elementler β formunu stabilize eder ve dolayısıyla dönüşüm sıcaklığı azalır. Çok yaygın bir titanyum alaşımı Ti-6Al-4V alaşımıdır. Bu alaşım α ve β formlarının bir karışımına sahiptir. Ti alaşımlarının korozyon direnci iyi olmasına rağmen, yüksek sıcaklıklarda O_2 ve H_2 gibi gazlara büyük afiniteye sahiptirler. Bu nedenle, kompozitlerin işlenmesi oldukça inert koşullar altında gerçekleştirilmelidir (Balasubramanian, 2016).

2.4.2. Takviye elemanları

Kompozitlerin imalatı için çeşitli takviye elemanları mevcuttur. Uygulama ve maliyete bağlı olarak uygun bir takviye elemanı seçilebilir. MMK'larda genellikle büyük dahil seramik partiküller ve kısa lifler kullanılır. Metal matris, takviyelerle iyi ıslanabilirliğe sahip olmalı, ancak aralarında herhangi bir ters reaksiyon olmamalıdır (Özben, 2001). Şekil 2.5'te takviye elemanlarının ayrıntılı sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.5. MMK'larda kullanılan takviye elemanları (Arunachalam, 2019)

MMK'larda kullanılan takviyeler genel olarak organik ve inorganik olarak sınıflandırılabilir. Organikler kırmızı çamur ve uçucu küldür. Inorganikler ise oksitler, nitrürler, boridler ve diğerleri olarak kendi içlerinde sınıflandırılmaktadır. Bunlar içerisinde en çok kullanılanları Al_2O_3 , SiC, SiN ve B_4C 'dir (Topcu ve ark., 2009; Zhang ve ark., 2017).

Alumina (Al_2O_3): Alümina veya alüminyum oksit, en yaygın kullanılan gelişmiş seramik malzemelerden biridir. γ , θ , δ ve α gibi çeşitli formlarda bulunur. α alümina kararlı formdur ve diğer formlar geçişli alüminallerdir. Alüminanın diğer formları, yüksek sıcaklıkta ısıtılarak α alüminaya dönüştürülebilir. Alüminanın erime noktası $2020\text{ }^{\circ}C$ 'dir. α -formu altıgen, diğer formları kübik yapıdadır. Aynı zamanda yüksek sertlik ve mukavemete sahiptir. Genellikle boksit cevherinden üretilir. Yüksek sıcaklıkta bile çok iyi kimyasal dirence sahiptir.

Silisyum Karbür (SiC): Silisyum karbür, işleme koşullarına bağlı olarak ya α biçiminde ya da β biçiminde olmak üzere iki kristal formda bulunur. α -SiC hegzagonaldir, β -SiC ise kübiktir. Bu malzeme aynı zamanda yüksek sertliğe ve mukavemete sahiptir. SiC'nin ısı iletkenliği de yüksektir. Büyük miktarda SiC, bir ark fırınında karbon kullanılarak silisin karotermal indirgenmesi ile üretilir. Taşlama taşları ve aşındırıcı kâğıtlarda kullanılan yaygın aşındırıcı malzemelerden biridir. Bu malzeme aynı zamanda düşük kırılma tokluğuna sahiptir. SiC lifleri ve kolları genellikle kompozit malzemelerde için takviye olarak kullanılır.

Silisyum Nitrür (SiN): Yüksek sertlik ve mukavemetin yanı sıra düşük ısıl genleşme katsayısına sahiptir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda iyi oksidasyon direncine sergiler. Yüksek termal kararlılığı nedeniyle birçok motor bileşeni bu malzeme ile yapılır. Silisyum nitrür seramik bileşenlerini üretmek için sıkıştırma ve sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme gibi çeşitli yöntemler kullanılır.

Bor Karbür (B_4C): Elmas ve kübik bor nitrürden sonra doğada bilinen en sert seramik malzeme olan bor karbür, metalik parlak siyah renge sahiptir. Ark ocağında karbonun B_2O_3 ile tepkimeye girmesiyle elde edilir. Bor karbür, romboedrik kristal kafes yapısına sahiptir. Kimyasal kararlılığı ve mukavemeti oldukça yüksektir. Ayrıca yüksek termal iletkenlik ve yüksek nötron emilim kesitine sahiptir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak düşük kırılma tokluğu onun en önemli dezavantajıdır (Topcu ve ark., 2009; Zhang ve ark., 2017).

2.4.3. Üretim yöntemleri

MMK'ların üretimi temel olarak üç kısımda incelenmektedir. Bunlar, Şekil 2.6'da gösterildiği gibi;

1. Katı Faz Üretim Tekniği,
2. Sıvı Faz Üretim Tekniği,
3. Yerinde İşleme Tekniğidir.

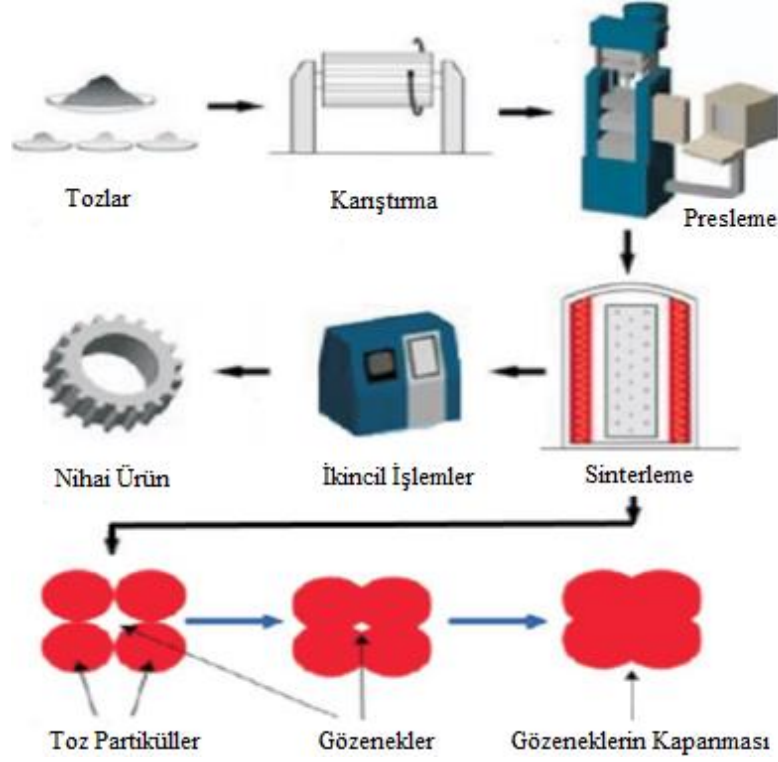


Şekil 2.6. MMK üretim yöntemleri (Arunachalam, 2019)

Katı faz üretim teknikleri; toz metalurjisi, difüzyonla bağlama, sıcak presleme ve ekstrüzyondur. Sıvı faz üretim teknikleri; karıştırma döküm, sıkıştırma döküm, infiltrasyon (eriyik infiltrasyonu, basınç infiltrasyonu, gaz basınç infiltrasyonu, vakum infiltrasyonu, vakum basınçlı infiltrasyonu, mekanik basınçlı metal enjeksiyon infiltrasyonu, sıkıştırılmalı döküm infiltrasyonu) ve vakum kalıba dökümdür. Yerinde işleme tekniği ise In Situ'dur. MMK üretiminde uygun yönteme karar vermek için aranan özellikler, sınıf, maliyet, ürün sayısı, takviye malzemesi dağılımı (partikül ya da fiber), matris malzemesi ve uygulama alanıdır. MMK üretim yönteminin tercih edilmesinde işleme adımı da göz önüne alınması gereken diğer bir özelliktir (Özben, 2001; Güneş, 2010).

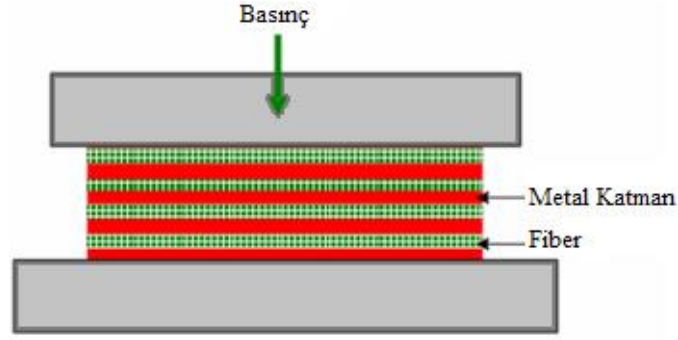
Toz Metalurjisi Yöntemi (TM): Toz metalurjisi yöntemi; metal, alaşım veya bileşik tozlarının ve/veya bu tozlara takviye elemanı eklenerek elde edilen kompozitlerin üretimi işlemine dayanır. Bu yöntem prensip olarak toz üretimi aşaması ile başlar, üretilen

tozların homojen bir şekilde karıştırılması, elde edilen tozların preslenmesi, sinterlemesi ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan geçer. TM yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.7’de verilmiştir (Güneş, 2010).



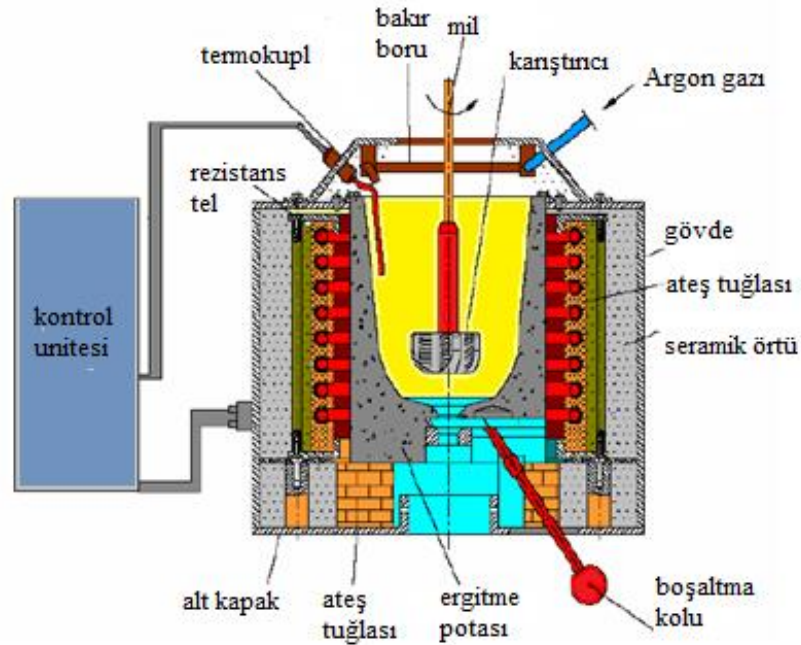
Şekil 2.7. TM yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

Difüzyon Bağlama Yöntemi: Bu yöntemle yüksek basınç ve sıcaklıkta birleştirme işlemi yapılmaktadır. B_4C , SiC , C ve Al_2O_3 gibi tek katmanlı fiber ve fiber demetlerinin titanyum veya alüminyum gibi matris malzemeleriyle katmanlar halinde yüksek basınç ve sıcaklıkta bağlanması sonucu üretilen kompozitler örnek olarak verilebilir. Bu yöntemin çalışma prensibine baktığımızda öncelikle levha şeklindeki metal veya metal alaşımları ile elyaf şeklindeki takviye malzemesi, ara difüzyonun etkinliği için kimyasal olarak yüzey işlemine tabi tutulmaktadır, daha sonra lifler önceden belirlenmiş bir doğrultuda metal folyo üzerine yerleştirilmekte ve Şekil 2.8’de gösterildiği gibi doğrudan presle şekillendirme ile yapıştırma gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bazı durumlarda lifler, difüzyon ile bağlanmadan önce bağlanma mukavemetini arttırmak için plazma püskürtme veya iyon kaplama yöntemleri ile kaplanmaktadır. Uygulanan basınç ve sıcaklık ile bunların difüzyon bağının oluşma süreleri kompozit sistemlere göre değişim göstermektedir (Prasad, 2006; Güneş, 2010).



Şekil 2.8. Difüzyonla bağlama yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

Karıştırma (Vorteks) Döküm Yöntemi: Şekil 2.9’da şematik gösterimi verilen karıştırma döküm yönteminde, sıvı metal içerisine takviye partiküller ilave edilmekte ve bir karıştırıcı ekipmanla ilave edilen partiküller sıvı metale homojen olarak dağılına kadar karıştırılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan takviye partikülleri işlemin verimliliğini artırmak için sıvı metale, birkaç farklı yöntem kullanılarak eklenmektedir. Ayrıca işlem verimliliğini artırmak için karıştırma hızı, döküm sıcaklığı, karıştırma süresi ve karıştırıcı geometrisi dikkatli seçilmelidir. Üretimde daha iyi mekanik özellikler elde edebilmek için takviye fazının dağılımının matris yapısı boyunca homojen olmasına dikkat edilmelidir (Yılmaz, 2019; Güneş, 2010).

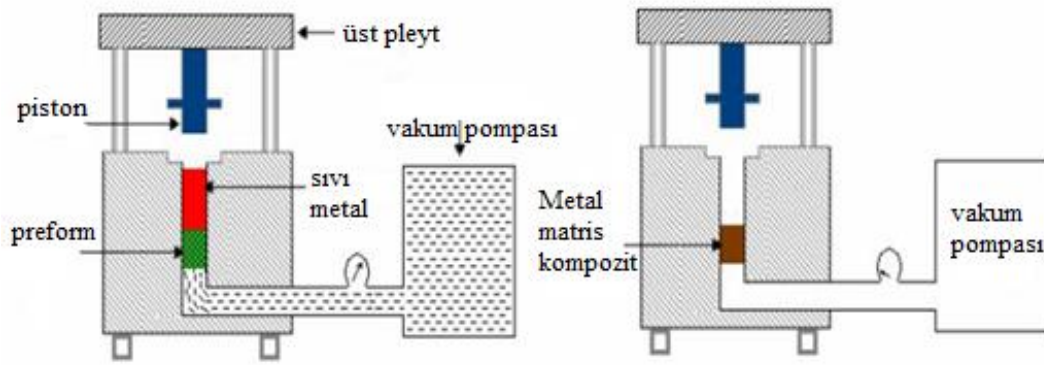


Şekil 2.9. Karıştırma döküm yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

Sıkıştırma Döküm Yöntemi: Sıkıştırma döküm, metal veya MMK parçaların bir metal kalıpta uygulanan basınç altında katılaşmasının gerçekleştiği bir döküm yöntemidir.

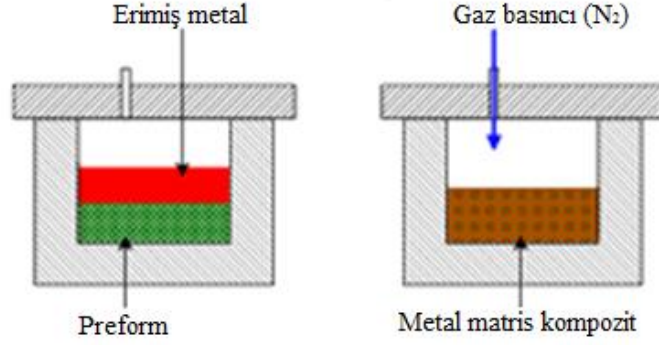
Kalıp dövme ve kalıcı kalıba dökümün bir kombinasyonu olduğu söylenebilir (Yılmaz, 2019).

Vakum İnfiltrasyon Yöntemi: Vakum infiltrasyon yöntemi, MMK'ların üretilmesinde kullanılan infiltrasyon türüdür. Bu yöntemde vakum kuvvetinin kullanılmasının amacı eriyik metalde oksidasyon ve gaz boşluğu oluşmasının engellenmesidir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi seramikten imal edilen gözenekli preform kalıp boşluğuna yerleştirilir. Vakum etkisi altında sıvı metal matris alaşımı, seramik yapıli gözenekli prefom içine emdirilir. Gözenekli seramik preforma içerisine eriyik matris alaşımı tamamen nüfus ettikten sonra nihai ürün elde edilmektedir. Elde edilen kompozit malzeme daha sonra kalıptan çıkarılır. Vakum infiltrasyon yöntemi çok düşük infiltrasyon direnci olan MMK'lar için kullanılır. Bu yöntem bazen basınçlı gaz ya da sıkıştırılmalı döküm ile kombine şeklinde kullanılır (Güneş, 2010).



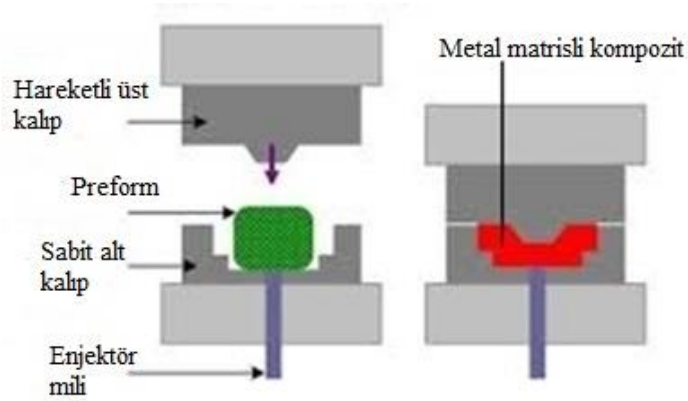
Şekil 2.10. Vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

Gaz Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi: Çoğu sıvı metalin seramik malzemeler üzerinde ıslanmaması nedeniyle, seramik malzemelerin sıvı metallerle harici bir basınç uygulanmadan sızdırılması genellikle mümkün değildir. Bu yöntemde kullanılan basınç, inert bir gaz olan azot gazı ile oluşturulmaktadır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi kalıbın alt kısmında gözenekli seramik preform, üst kısmında erimiş metal olacak şekilde kalıp hazırlanmaktadır. Bu yöntemde üst katmana azot gazı (N) belirli basınçla uygulanır ve oluşan basınç etkisi ile sıvı metal eriyik, seramik malzemedan oluşan preform içerisine doğru infiltre olur. Soğuması beklendikten sonra oluşan numune kalıptan çıkarılır. Böylece metal matris kompozit malzeme üretilmiş olur (Yılmaz, 2019; Güneş, 2010).



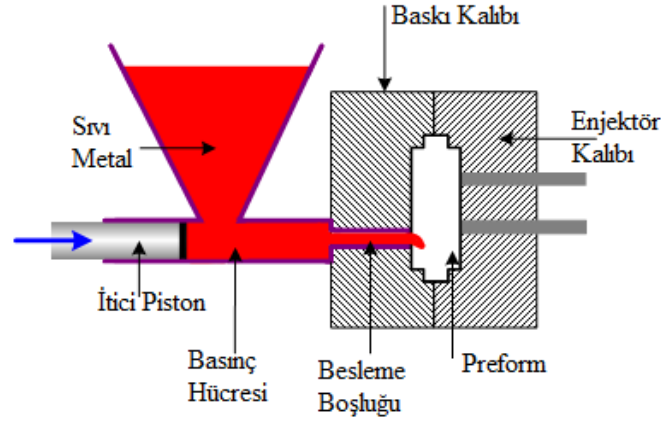
Şekil 2.11. Vakum Gaz basıncılı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

Sıkıştırılmalı Döküm İnfiltrasyon Yöntemi: Şekil 2.12’de görüldüğü gibi sıkıştırılmalı döküm infiltrasyon yöntemi dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada erimiş metal, hidrolik preste önceden ısıtılmış bir kalıp boşluğuna dökülür. İkinci aşamada kalıp kapanır ve sıvı metale basınç uygulanır. Bu süreç çok hızlı gerçekleşir. Üçüncü aşamada basınç, tam katı oluşana kadar uygulanır, böylece ısı akış hızı artar ve makro - mikro büzülme gözenekliliği azalır. Son aşamada ise, uygulanan basınç kaldırılır ve üretilen bileşen dışarı alınır (Demiralp, 2020).



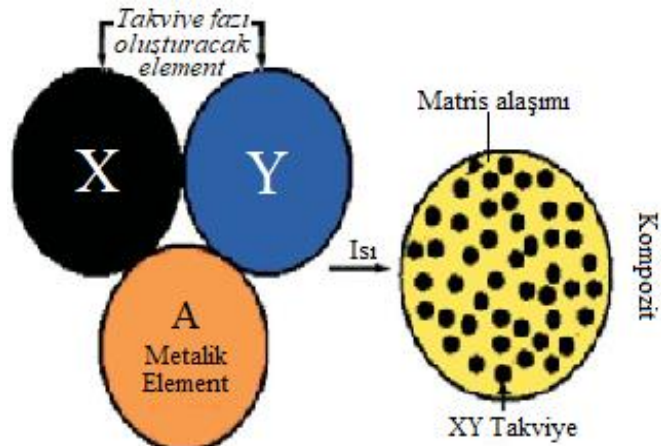
Şekil 2.12. Sıkıştırılmalı döküm infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

Basıncılı Döküm İnfiltrasyon Yöntemi: Bu yöntem, basınçlı döküm ve infiltrasyonla üretim tekniklerinin birleştirilmiş bir şeklidir. Bu yöntemde, basınçlı döküm cihazı içerisine seramik yapıli gözenekli preform yerleştirilir. Haricen ocakta ısıtılarak eriyik hale gelen sıvı alüminyum konik şekilli besleyiciye dökülür, daha sonra itici piston hareketi ile elde edilen basınçla eriyik haldeki alüminyum besleme boşluğundan geçirilir ve gözenekli seramik preforma içerisine enjekte edilir (Şekil 2.13). İnfiltrasyon uygulaması çok kısa sürelerde tamamlanmaktadır. Yaygın olarak otomotiv endüstrisinde kullanılan bu yöntem seri üretim için uygundur (Güneş, 2010).



Şekil 2.13. Basınçlı döküm infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

İn-Situ (yerinde oluşan) Yöntemi: MMK malzemelerini elde etmek için kullanılan yöntemlere bakıldığında in-situ üretim yöntemleri (yerinde oluşan) ve ex-situ üretim yöntemleri (ilave edilerek oluşan) olarak ikiye ayrılmaktadır. Exsitu üretim yönteminde üretilen kompozitler, takviye elemanı olarak kullanılan seramik partiküllerin sıvı metale sonradan ilave edilmesi ile elde edilmektedir veya önceden hazırlanan seramik yapıli preforma içerisine sıvı metalin emdirilmesi ile elde edilmektedir. İn-situ kompozitler ise; Şekil 2.14'te gösterildiği gibi takviye elemanı fazının, eriyik metal içerisinde element veya bileşiklerinin ekzotermik reaksiyonlarla kendiliğinden oluşturulması esasına dayanmaktadır. İn-situ MMK'ların diğer üretim yöntemlerine göre üstün olan bazı özellikleri vardır. Bu üstün özelliklere örnek olarak takviye ile matris arayüzeyinin temizliği, homojen olarak takviye elemanının matris içerisinde dağılımı, takviye elemanının matris içerisinde termodinamik olarak stabil kalması, ucuz ve tek adımda üretim yapılması verilebilir (Güneş, 2010).



Şekil 2.14. İn-situ yönteminin şematik gösterimi (Güneş, 2010)

2.5. İşlenebilirlik

İmalat endüstrisindeki teknolojik gelişmeler artmaya devam ederken, metal ve alaşımlarını şekillendirmek için günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerin başında talaşlı imalatta kullanılan yöntemler yer almaktadır. Bu yöntemler kullanılarak birçok metal ve alaşım ister sert-yumuşak, dökme-dövme ya da sünek-kırılgan olsun yine de işlenebilmektedir. Günlük hayatta kullanılan küçük boyutlu saat parçalarından büyük boyutlu uçak kanat yedek parçalarına veya gemi pervanelerine kadar birçok mühendislik ürünü talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak üretilmektedir. İşleme süreçlerinin çok yönlü olması bu yöntemlerde kullanılan kesici takımlar gibi bazı faktörlerin de geliştirilmesine neden olmaktadır.

Yeni takım malzemelerinin geliştirilmesi ve takım tezgâhlarında paralel bir gelişmenin gerçekleşmesi ile talaşlı imalat endüstrisi için yeni bir çağın başladığı görülmektedir. Gelişmiş sanayi ülkelerinde talaş kaldırma ile ilgili yıllık maliyetler, gayri safi milli üretimin yaklaşık %10'u olduğu tahmin edilmektedir. Talaşlı imalatta kullanılan takım tezgâhları diğer yöntemlere göre daha yüksek oranda tercih edilmekte ayrıca yüksek hassasiyet oranları ve üretkenlikleri ile karakterize edilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, yüksek hacimli üretimde rasyonel yaklaşım ve talaş kaldırma işlemlerinin verimliliğindeki küçük iyileştirmeler büyük önem taşımaktadır. Talaşlı imalat sektöründe üretilen malzemelerin yaklaşık %10'unun atıl hale geldiği de bilinmektedir.

Talaşlı imalat, döküm ve şekillendirme yöntemleri ile üretilen parçalar için kullanıma hazır hale gelmeden önce genellikle son bitirme işlemi olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca talaşlı imalat yöntemlerini zorunlu hale getiren birçok neden bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

1. Döküm ve şekillendirme ile elde edilen malzemelerden son işlemle daha iyi bir ölçü ve tolerans beklenmesi,
2. İyi bir yüzey kalitesi istenmesi,
3. Üretimi yapılacak malzemenin diğer üretim yöntemleriyle üretilmeyecek iç ve dış geometrik şekillere sahip olması,
4. Parçanın diğer üretim metotları ile üretilmesinin ekonomik maliyetleri artırmasıdır.

Avantajlarının yanında talaşlı imalat yöntemlerinin de bazı dezavantajları vardır. Bunlar şu şekilde sırlanabilir;

1. Diğer üretim yöntemlerine göre parçayı şekillendirmek daha fazla zaman alabilmektedir,
2. Parçayı işlemek için gerekli olan parametreler uygun seçilmediği takdirde düşük bir yüzey kalitesi elde edilmektedir,
3. İlk yatırım, enerji ve iş gücü maliyetleri fazladır,
4. Bu yöntemde uzman operatörlere ihtiyaç vardır. Operatör hataları zaman ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Youssef, 2016).

Genel olarak bakıldığında talaşlı üretimde işleme parametrelerinde yapılan hatalar parçanın yüzey kalitesine etki etmekte ve ayrıca kesici takımlarının zamanından önce aşınmasına, kırılmasına ya da boyutsal deformasyonlara uğramasına sebep olmaktadır, bu nedenle tezgâhta boşa geçen zaman ve bir dizi ekonomik kayıplar oluşmaktadır. Bu yüzden malzemenin işlenebilirlik özelliklerinin önceden iyi tespit edilmesi önemlidir. Çünkü işlenecek malzemeye uygun işleme parametrelerinin seçilmesiyle bu kayıplar minimize edilmektedir (Kılıçlı, 2004).

İşlenebilirlik, malzemenin tek olarak tanımlanabilen ve ölçülebilen kendine özgü bir özelliği değildir. Genel olarak, işlenecek malzemenin tutumu, yani birtakım kullanılarak bir iş parçasının şekillendirilmesinde karşılaşılan zorluk seviyesi olarak kabul edilebilir. Ayrıca kısaca talaş adı verilen istenmeyen formu ana parçadan ayırmak için gerekli olan işleme süreci olarak tanımlanabilir (Özçatalbaş, 2020).

İş malzemesinin durumu ve fiziksel özellikleri, bir iş malzemesinin işlenebilirliği üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. "İş malzemesinin durumu" olarak tanımlanan çeşitli koşullar ve özellikler, tek tek ve kombinasyon halinde, işlenebilirliği doğrudan etkiler ve belirler. Çalışma koşulları, takım malzemesi ve geometri ve iş parçası gereksinimleri, işlenebilirlik üzerinde dolaylı etkilere sahiptir ve genellikle iş malzemesinin sunduğu zor koşulların üstesinden gelmek için kullanılabilir. Öte yandan, ihmal edilirlse işleme zorluğunu artıran durumlar yaratabilirler.

2.5.1. İş malzemesinin durumu

İş malzemesinin durumunu belirleyen genel faktörler mikroyapı, tane boyutu, ısıtma işlemi, kimyasal bileşim, imalat, sertlik, akma dayanımı ve gerilme mukavemetidir.

Mikroyapı: Metal yüzeylerinin mikroskopla incelenmesiyle metaldeki kristal veya tane yapıları görülmektedir. Mikroyapıları benzer olan metaller, benzer işleme özelliklerine

sahiptirler fakat aynı iş parçasının mikroyapısında işlenebilirliği etkileyecek farklılıklar meydana gelebilmektedir.

Tane Boyutu: Bir metalin tane boyutu ve yapısı, işlenebilirliğin genel göstergeleridir. Bir metalin sertliği tane boyutu ile ilişkilendirilir ve genellikle işlenebilirliğin bir göstergesi olarak kullanılır.

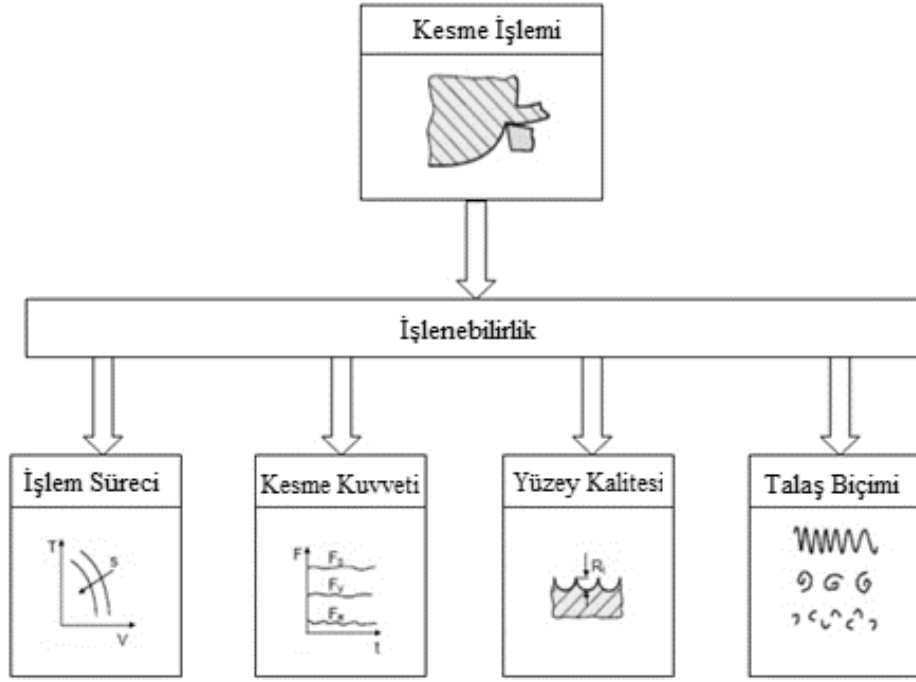
Isıl İşlem: Metaller kullanım amacına göre istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri sağlamaları gerekmektedir. Bu nedenle bir dizi ısıtma ve soğutma işlemine tabi tutulurlar. Kırılganlığı azaltmak, stresi gidermek, süneklik veya tokluk elde etmek, mukavemeti artırmak, belirli bir mikroyapı elde etmek, sertliği değiştirmek veya işlenebilirliği etkileyen diğer değişiklikleri optimize etmek için bir malzemeye ısıl işlem uygulanmaktadır.

Kimyasal Bileşim: Bir metalin kimyasal bileşimi, işlenebilirliğin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Ama bileşimin etkileri her zaman net değildir, çünkü bir alaşım metalini oluşturan elementler hem tek başına hem de toplu olarak kimyasal tepkimeye girebilirler.

İmalat: Bir metalin üretimi için kullanılan yöntem, örnek olarak sıcak haddeleme, soğuk haddeleme veya döküm yöntemi, malzemenin tanecik boyutunu, sünekliğini, mukavemetini, sertliğini, yapısını ve dolayısıyla işlenebilirliğini etkileyecektir.

Sertlik: Sertlik bir malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç eğilimi olarak tanımlanır. Sertlik genellikle Brinell veya Rockwell ölçeği kullanılarak ölçülür. Sertliği ölçmek için, önceden belirlenmiş bir yük veya ağırlık kullanarak test malzemesinin yüzeyine belirli bir boyut ve şekilde girinti oluşturulur.

Bazı malzemelerle işleme kolayca yapılırken diğerinde zor olabilir. Malzemenin işlenebilirliği malzemedan malzemeye değişmektedir. Her bir malzemenin makinede tatmin edici bir şekilde işlenebilmesi olarak tanımlanır. Şekil 2.15'te kesme işleminde işlenebilirliğe etki eden faktörler gösterilmiştir. Bunlar; işlem süreci, kesme kuvveti, yüzey kalitesi ve talaş biçimi olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.15. Kesme işleminde işlenebilirliğe etki eden faktörler

2.5.2. İşlem süreci

İşlem sürecinde kullanılan kesici takım malzemeleri, talaş ile iş parçası yüzeyinde meydana gelen yüksek sıcaklık ve yüksek temas gerilmeleri gibi işlem koşullarına maruz kalmaktadırlar ve bu nedenle kesici takım malzemeleri, işleme operasyonlarının türüne, işlenen iş parçası malzemesine ve genel termomekanik işlem koşullarına bağlı olarak aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır:

- ✓ Abrasif aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır.
- ✓ Talaş oluşumu sırasında ortaya çıkan yüksek gerilimler ve sıcaklıklar altında kesme kenarının plastik deformasyona uğramasını önlemek için yüksek deformasyon direnci olmalıdır.
- ✓ Kesici uç kısmında çatlak oluşumuna ve kırılmalara karşı dayanıklı olmalıdır.
- ✓ İşlem sırasında iş parçasıyla kimyasal etkileşimde bulunmamalıdır.
- ✓ Yüksek yorulma direncine sahip olmalıdır.
- ✓ Talaşların takıma yapışarak BUE oluşumuna engelleyici olmalıdır.

Yukarıda belirtilen tüm bu özelliklerin ideal bir takımda olması beklenmektedir fakat bu özelliklerin hepsinin bir takımda olması pratikte mümkün değildir. İmalat sektöründe kullanılan başlıca takım malzemeleri sınıflandırıldığında yüksek hız çelikleri (HSS), kobaltla zenginleştirilmiş yüksek hız çelikleri (HSS-Co), tungsten karbürler

(WC), sermetler, seramikler (alüminalar ve silikon nitrürler), polikristal kübik bor nitrür (PCBN) ve polikristal elmas gibi süper/ultra-sert malzemeler (PCD) dikkat çekmektedir (Grzesik, 2008).

Yüksek hız çelikleri (HSS): Yüksek hız çelikleri geleneksel olarak döküm yöntemi ile demir ve alaşım malzemesinin ilave edilmesi ile üretilen takım malzemeleridir. İlave edilen ana malzemeler aşağıda verilmiştir;

- ✓ Tungsten: Temperleme ve aşınma direncini artırır.
- ✓ Molibden: Tokluğu artırır.
- ✓ Vanadyum: Son işlemde kullanılan takımlarının aşınma direncini artırır.
- ✓ Kobalt: Daha yüksek sertleşme sıcaklıkları sağlar ve ısı direncini artırır.

Yüksek toklukları ve kırılmaya karşı dirençleri nedeniyle, yüksek hız çelikleri özellikle yüksek talaş kaldırma açılı takımlar ve düşük rijitliğe sahip takım tezgâhları için uygundur. Yüksek hız çelikleri, matkaplar, raybalar, kılavuzlar, broşlar, frezeler ve dişli kesiciler gibi çok çeşitli kesme işlemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca Yüksek hız çelikleri PVD biriktirme yöntemi ile kaplanarak etkinliği artırılmaktadır (Grzesik, 2008).

Tungsten karbürler (WC): Tungsten karbürler, günümüzde kullanımda olan en yaygın kesici takım malzemeleridir ve bağlayıcı olarak bir dizi farklı karbür ve sert metaller kullanılarak toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmektedirler. Karbür takım malzemelerindeki sert parçacıkların yüzdesi yaklaşık %60 ila %90 arasında değişebilir. Üreticiler, partiküllerin tipini, boyutunu ve konsantrasyonunu ayarlayarak bu takım malzemelerinin özelliklerini çok çeşitli uygulama gereksinimlerini karşılayacak şekilde uyarlayabilirler (Grzesik, 2008).

Sermetler (seramik+metal): Sermet, tungsten karbür (WC) yerine titanyum karbür (TiC), titanyum karbonitrür (TiCN) ve/veya titanyum nitrür (TiN) bazlı sert partiküllere sahip sement karbürlerin (SERamik artı METal) ortak adıdır. Sert fazın bir parçası olarak molibden karbür de kullanılabilir ve metal bağlayıcı malzeme bir kobalt ve nikel karışımı olabilir (Grzesik, 2008).

Seramikler: Genel olarak seramik takımlar, dökme demirlerin ve süper alaşımların tornalanmasında, frezelenmesinde ayrıca sertleştirilmiş malzemelerin finiş işlemlerinde uygulama alanına sahiptirler. Kesici takımlar için matris malzemelerine göre ayırt edilebilen iki çeşit seramik kompozit malzeme kullanılmaktadır. Bunlar alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silikon nitrür (Si_3N_4) bazlı seramiklerdir. Yaygın olarak alümina olarak

adlandırılan alüminyum oksit, arzu edilen malzeme özelliklerini sağlayan güçlü iyonik atomlar arası bağa sahiptir (Grzesik, 2008).

Süper sert malzemeler: Süper sert kesici takım malzemelerinin gelişimine bakıldığında, 1970'lerin başında polikristalin elmas kesici takım malzemelerinin piyasaya sürülmesiyle kullanımlarının başladığı görülmektedir. Şimdiye kadar iki polikristal takım malzemesi geliştirilmiştir, bunlar PCBN ve PCD takımlardır. Her iki süper sert malzeme de içinde ayrı ayrı elmas veya kübik bor nitrür (CBN) parçacıklarının bulunduğu yüksek sıcaklık, yüksek basınç işlemi kullanılarak üretilmektedir (Grzesik, 2008).

Kaplamalı kesici takımlar: Günümüzde HSS, WC, sermetler, çeşitli seramik malzemeli takımlar ve CBN gibi kesici takım malzemelerinin çoğu, takım ömrünü artırmak için farklı türlerde ince film tabakalarla kaplanmaktadır. Böylece kaplanan malzemelerin takım ömürleri artmaktadır. Genel olarak, çeşitli borürler, karbürler, nitrürler ve oksitlerin, özellikle geçiş metallerinin ve periyodik tablodaki IV ve VI gruptaki elementlerin, sert kaplama malzemelerine uygulanabilir olduğu bilinmektedir. Bunlar arasında titanyum nitrür (TiN), titanyum karbür (TiC), titanyum karbonitrür (TiCN), titanyum-alüminyum nitrür (TiAlN), alüminyum oksit (Al_2O_3), krom nitrür gibi ikili ve üçlü fazlar (CrN), hafniyum nitrür (HfN) ve CBN'nin çoğunlukla kesici takım üreticileri tarafından kullanıldığı görülmektedir. Kaplama teknolojisinin bu kadar hızlı gelişmesinin ve kaplamalı aletlerin metal kesme endüstrisinde artan popüleritesinin nedeni, kaplamaların kesme işlemi performansını olumlu yönde geliştirdiğinin fark edilmesidir (Grzesik, 2008).

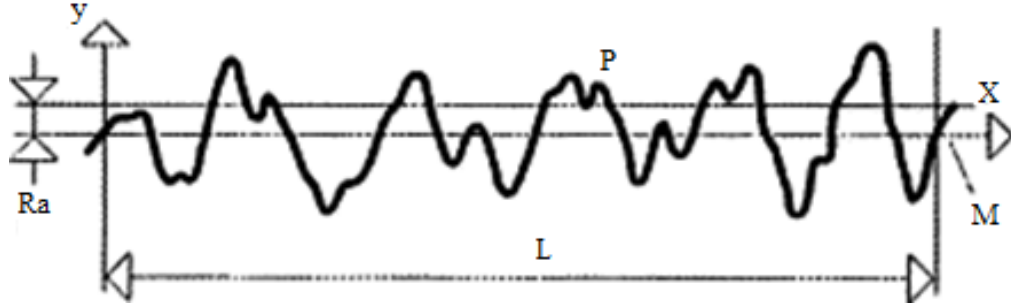
2.5.3. Kesme kuvvetleri

Bir iş malzemesinin deformasyonu, iş malzemesini kalıcı olarak şekillendirmek için takım tarafından yeterli kesme kuvveti uygulanması ile oluşmaktadır. Kesici takıma etki eden üç kuvvet vardır. Bunlar;

1. Teğetsel Kuvvet: İş parçasına teğet bir yönde etki eder ve iş parçasının dönüşüne karşı direnci temsil eder. Normal bir operasyonda, teğetsel kuvvet, üç kuvvetin en yükseğidir.
2. Boyuna Kuvvet: İşin eksenine paralel yönde etki eder ve takımın boylama ilerlemesine karşı direnci temsil eder.
3. Radyal Kuvvet: İş parçasının merkez hattından radyal yönde etki eder.

2.5.4. Yüzey kalitesi

Bir kesme işlemi sırasında iş parçasında kalan yüzeyin kalitesi bir metalin işlenebilirliğine etki etmektedir. Yüzey kalitesi yüzey pürüzlülüğü ile belirlenmektedir ve genellikle ortalama yüzey pürüzlülüğüne göre işlemler yapılır. Şekil 2.16'da ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) (Kopac, 1999)

Talaşlı imalat işlemlerinde pürüzlülüğe etki eden faktörler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

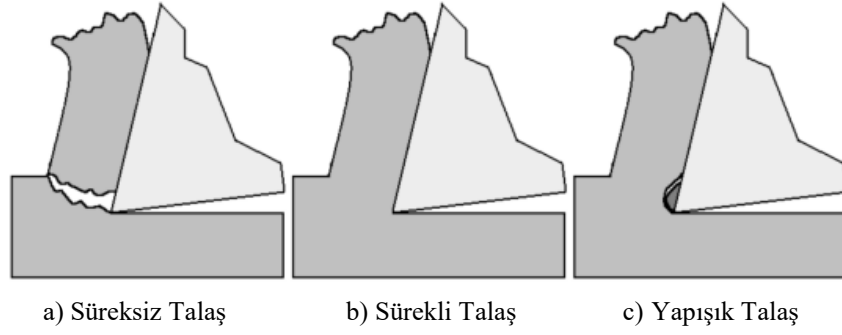
1. Üretim sürecinde takım ya da takım ucunda doğal olarak oluşan çizgisel yapılar,
2. Talaş kaldırma işlemi sırasında malzemenin yırtılması,
3. Talaş kaldırma işlemi sonrası oluşan BUE kalıntıları,
4. Kesici takım ucunun biçimi (Kopac, 1999).

Ayrıca yüzey kalitesine kullanılan kesme sıvısı, takım geometrisi, ilerleme ve kesme derinliği, iş parçası malzeme yapısı, işleme yöntemi gibi faktörler de etki etmektedir.

2.5.5. Talaş biçimi

Talaş oluşumu elastik ve plastik şekil değişimlerini kapsayan karmaşık bir süreçtir. Bu sürece sürtünme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım aşınması ve talaş yapışması gibi etkenler etki etmektedir. Gevrek ve sünek mikroyapıya sahip malzemelerin işlenmesi sırasında farklı talaş oluşum mekanizmaları görülmektedir, ayrıca bu talaş oluşum mekanizmaları talaşlı imalat için seçilen kesme parametrelerden etkilenmektedir.

Talaşlı imalat sırasında Şekil 2.17'de verilen üç ana talaş biçimi ile karşılaşılmaktadır.



Şekil 2.17. Talaş oluşum mekanizmaları (Barzani, 2019)

Düşük talaş açıları, takımın rijitliği, yüksek ilerleme hızları ve iş parçası malzemesinde homojen olmayan yapıların varlığı metallerde süreksiz talaşların oluşmasına neden olmaktadır.

Sürekli talaş oluşumu, iş parçası malzemesinin termo-fiziksel özelliklerine, metalurjik durumuna ve ayrıca kesme işlemine bağlıdır.

BUE ise, talaş kaldırma parametrelerinin optimal seçilmediği durumlarda, sünek malzemelere yapılan işlemlerde görülmektedir (Barzani, 2019).

2.6. Kesici Takımlarda Aşınma

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan fiberler ile sert/yumuşak takviye elemanlarının miktarı, boyutu, şekli ve dağılımı, bu kompozitlerin işlenmesinde kesici takım aşınmasını etkilemektedir. Bu etkiye ilave olarak, takviyeler ve matrisler arasındaki arayüz bağlantıları da takım aşınması üzerinde etkiye sahip olabilir.

2.6.1. Aşınma mekanizmaları

AMK'ların işlenmesinde birçok aşınma mekanizması gözlemlenebilir. Bunlara aşağıda değinilmiştir.

Abraziv aşınma: Abraziv aşınma, fiili uygulamalarda sürekli karşılaşılan ve malzeme kaybindan en çok sorumlu olan aşınma mekanizmasıdır. Bu mekanizma kayma ortamında sert bir yüzey ile temas eden diğer yüzeyden parçanın kesilmesi ile oluşmaktadır. Endüstriyel araştırmalara bakıldığında, abraziv aşınmanın büyük miktarlarda malzeme kayıplarına sebep olduğu ortaya çıkmaktadır (Arif, 2018).

Difüzyon aşınması: Difüzyon aşınma mekanizması, kesme işlemi sırasında kimyasal yükten daha fazla etkilenmektedir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan afinitesi, difüzyon aşınma mekanizmasının gelişimini etkilemektedir. Ayrıca malzemeler arasındaki metalurjik ilişki, aşınma mekanizmasının miktarını belirleyen bir faktör olmaktadır. Kesici takım malzemelerinin iş parçası malzemelerine karşı afinitelerinin olmaması istenir, fakat üretilen bazı takımlarda iş parçası malzemelerine karşı büyük bir afinite gözlenmektedir. Kesici takım olarak kullanılan tungsten karbür ve çelik malzemeler, difüzyon aşınma mekanizmasının gelişmesine yol açan afiniteye sahiptirler. Bu aşınma mekanizması, kesici uç üzerindeki kesme yüzeyinde bir krater oluşmasına neden olmaktadır (Kabaklı, 2009).

Oksidasyon aşınması: Yüksek sıcaklıklar ve havanın varlığı talaşlı imalatta birçok metalde oksidasyon görülmesine neden olmaktadır. Tungsten ve kobalt içeren takımlar, talaş tarafından daha kolay uzaklaştırılan gözenekli oksit filmler oluşturmaktadır. Bu filmlerden alüminyum oksit gibi bazı oksit tabakalar daha güçlü ve daha sert yapıya sahip olmaktadırlar. Kullanılan bazı kesici takım malzemeleri, oksidasyon nedeniyle diğerlerine göre daha fazla aşınma eğilimi göstermektedirler. Özellikle talaş genişliğinin bittiği (talaş derinliği) kenarın arayüz kısmı da kesme işlemi sırasında hava almaktadır. Burada oluşan oksidasyon, kesme kenarlarında tipik çentiklerin oluşmasına yol açmaktadır (Kabaklı,2009).

Yorulma aşınması: Yorulma aşınması termo-mekanik bir etkileşim sonucu meydana gelmektedir. İşlem sırasında sıcaklık değerlerindeki değişimler ile talaş kaldırma işlemine etki eden kesme kuvvetlerinin minimum ve maksimum değerler arasında değişim göstermesi neticesinde takım kenarlarında çatlamlar ve kırılmalar oluşmaktadır (Çakır, 2006).

Adeziv aşınma: Temas eden yüzeylerin birinden veya her ikisinden kayma ortamı sırasında lokal olarak bağlanma kusurları nedeniyle oluşan malzeme kaybıdır. Adeziv aşınmanın başlaması için yüzeylerin birbirleri ile sürekli teması gerekmektedir (Arif, 2018). Kesici takım ile iş parçası sürekli temas halinde olduğundan dolayı adeziv aşınmayla sıklıkla karşılaşmaktadır. Adeziv aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşumuna neden olmaktadır. Ancak bu durum, iş parçasına doğrudan teması engelleyen yağlayıcı film uygulamalarıyla kontrol edilebilmektedir (Çakır, 2006).

2.6.2. Aşınma tipleri

Talaşlı imalat işlemleri sırasında kesici takımlarda oluşan başlıca aşınma tipleri;

1. Serbest yüzey aşınması
2. Krater aşınması
3. Plastik deformasyon
4. Yardımcı kenarda çentik oluşumu
5. Isıl çatlaklar
6. Kesici kenarın kırılması
7. Yığılma kenar oluşumudur (Çakır, 2006).

Serbest yüzey aşınması: Kesme kenarının serbest yüzeylerinde oluşan ve esas olarak abrasiv aşınma mekanizmasından etkilenerek meydana gelen bir aşınma türüdür. Takımdaki kesici kenarlar; ana kesici kenar, yardımcı kenar ve köşe radyüsü talaş oluşumu sırasında iş parçasıyla temas halinde olduğundan aşınmaya neden olmaktadır. Bu aşınma türü genellikle en yaygın görülen aşınma türüdür. Kesici takımların bu aşınma türünde yüksek miktarda aşınmaları neticesinde işlenen alanlarda yüzey pürüzlülük değerleri artmaktadır ve artan sürtünme değerleri serbest kenar şeklinin değişmesine neden olmaktadır.

Krater aşınması: Bu aşınma türü esas olarak talaş yüzeyinde, abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının birleşimi ile oluşmaktadır. Krater, takım malzemesinin talaş yüzeyinden taşlama hareketi neticesinde veya talaş yüzeyinin en sıcak kısmında talaş ve takım malzemesi arasında oluşan difüzyon mekanizması nedeniyle meydana gelmektedir. Malzemeler arasındaki yüksek sertlik ve minimum afinite, krater aşınması eğilimini en aza indirmektedir. Aşırı krater aşınması kenarın geometrisini değiştirmekte ve talaş oluşumunu olumsuz etkilemektedir (Kabaklı, 2009).

Plastik deformasyon: Bu aşınma türü yüksek sıcaklık ve basıncın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Talaşlı imalatta yüksek kesme ve ilerleme parametrelerinin seçilmesi ayrıca sert malzemelerle çalışılması, ısı ve basınç artışlarına neden olmaktadır. Takımların yüksek ısı ve basınç altında çalışabilmesi ve plastik deformasyona dayanabilmesi için yüksek kızıl sertlik özellikte olması gerekmektedir. Bu deformasyon türüne maruz kalan takımların geometrileri bozulmaktadır ve talaş akışında farklılıklar gözlenmektedir (Çakır, 2006).

Yardımcı kenarda çentik oluşumu: Yardımcı kenarda çentik oluşumu tipik bir adezyon aşınması olsa da oksidasyon aşınma türünün de bu aşınma mekanizmasına katkı sağladığı bilinmektedir. Bu aşınma mekanizmasında çentik oluşumu kesici kenarın malzemeden ayrıldığı noktada meydana gelmektedir. Talaşlı imalatla takımın bu tür aşınmalara maruz kalması iş parçasının yüzey kalitesini etkilemektedir ve ayrıca kesici kenarların da dayanımını azaltmaktadır (Çakır, 2006).

Isıl çatlaklar: Termal çatlama, esas olarak termal döngüden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Bu aşınma tipinde kesici kenarda dik çatlaklar oluşmaktadır ve çatlaklar arasındaki takım malzemesi parçaları kenardan dışarı çekilebilir (Kabaklı, 2009).

Kesici kenarın kırılması: Talaşlı imalatla kullanılan takımların kesici kenarlarında oluşan kırılmalar çok zararlı olmaktadır. Takımın kesici kenarın kırılması durumunda takımın kullanım ömrü sonlanmaktadır. Takım geometrisindeki değişimler, kullanıma bağlı olarak kenarın zayıflaması, aşırı ısınma ve kuvvet değerlerinin yükselmesi kesici kenarın kırılmasına sebep olmaktadır (Kabaklı, 2009).

Yığılma kenar: Bu aşınma türünün büyük oranda kesme hızı ve sıcaklık etkisiyle oluştuğu bilinmektedir. İstenmeyen bir durum olan bu oluşumda, iş parçası malzemeleri talaşlı işlem sırasında takım yüzeylerine yapışmaktadırlar. Bu oluşum nedeniyle yüzey kalitesi bozulmakta, takımlar kırılarak kullanım ömürlerini tamamlamaktadırlar (Çakır, 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Malzemesi

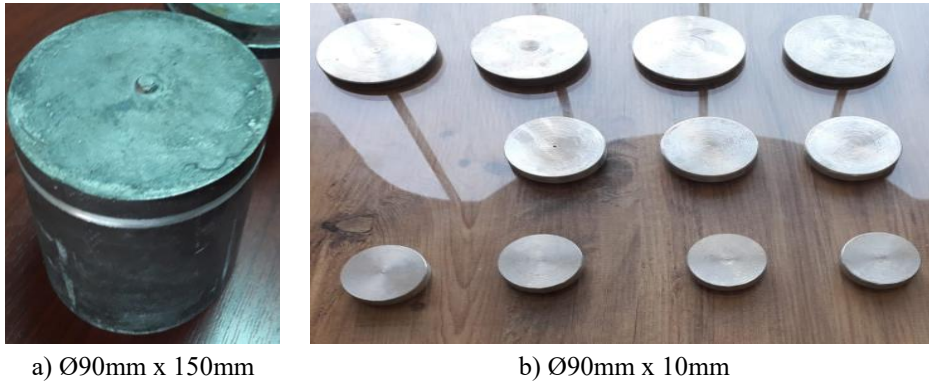
Delme deneyleri için sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen AlSi7Mg2/SiC kompozit malzeme tercih edilmiştir. Kompozitteki matris malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. AlSi7Mg2 alaşımının kimyasal bileşimi (Kılıçkap, 2003)

Alüminyum	Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cu	Ti
Kalan	7	2	0,54	0,38	0,110	0,074	0,116	0,13	0,086

AlSi7Mg2 matrisli kompozit üretilirken içerisine ağırlıkça %15 SiC ilave edilmiştir. Ağırlıkça %15 SiC ilave edilmesinin nedeni, bu orandaki kompozitin iyi mekanik (Özben, 2001) ve tribolojik (Çelik ve ark., 2020) özellikler sergilemesi ve talaşlı işlenmesinde görülen zorluklardır (Kılıçkap, 2003).

Temin edilen %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzeme 90 mm çapında ve 150 mm boyundadır. Kompozit malzeme, deneysel çalışmalara uygun hale getirilmesi için 10 mm kalınlığında dilimlere ayrılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemeler

3.2. Kesici Takımlar

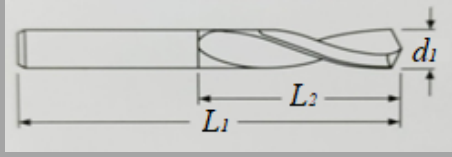
MMK malzemelerin delinmesinde, kesici takım olarak 4 mm ve 8 mm çapa, 140° uç aşısına ve 30° helis açısına sahip tungsten karbür (WC), AlTiN kaplı WC ve yüksek hız çeliği (HSS) matkaplar seçilmiştir. Bu kesici takımlara ait görüntüler Şekil 3.2’de, boyutları ise Tablo 3.2’de verilmiştir. 8 mm çapa sahip matkaplarla kesme kuvveti, kesme momenti, çap değişimi, çapak yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisi analiz edilmiştir. 4 mm çapa sahip matkaplarla ise takım aşınma analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Tablo 3.2. Delme işleminde kullanılan kesici takımların özellikleri

Takım	d_1	L_1	L_2
WC	8	79	37
WC	4	75	43
AlTiN kaplı WC	8	79	37
AlTiN kaplı WC	4	75	43
HSS	8	117	75
HSS	4	75	43



3.3. Delme Deneylerinde Kullanılan Tezgâh ve Delme Parametreleri

Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, Batman Üniversitesi Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan VMC 1000 CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Üç eksenli VMC 1000 CNC dik işleme merkezi

Bu tezgâh 1000 mm x 560 mm işleme kapasitesine sahip olup, 15 kW iş mili gücüne ve maksimum 8.000 dev/dak dönme devrine sahiptir.

Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, farklı iş mili devri (n) ve ilerleme (f) değerleri seçilmiş olup bunların değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Kesme parametreleri ve değerleri

<i>Parametreler</i>	<i>Simge</i>	<i>Birim</i>	<i>Değerleri</i>
İş mili devri	n	(dev/dak)	500; 1000 ve 1500
İlerleme	f	(mm/dev)	0,05; 0,10 ve 0,15

3.4. Kesme Kuvveti ve Momentinin Belirlenmesi

MMK malzemelerin delinmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve momentlerinin belirlenmesi için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarından temin edilen Kistler marka 9257B model ölçüm cihazı (Dinamometre) kullanılmıştır. Dinamometre; 170 mm x 100 mm boyutlarında, x, y ve z olmak üzere üç yönde ölçü alabilen bir cihazdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kistler 9257B dinamometre

Kistler 9257B dinamometreden alınan sinyaller, çok kanallı amplifier (yükseltici) olan Kistler 5070-A vasıtası ile bilgisayara aktarılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi için Kistler DynoWare 2825A yazılımı kullanılmıştır. Kistler 5070-A yükselticinin görüntüsü Şekil 3.5'te verilmiştir.

Dinamometreden alınan ve bilgisayara aktararak yazılım aracılığı ile elde edilen x yönündeki, y yönündeki ve z yönündeki ortalama kuvvet ve moment değerlerine bağlı olarak kesme kuvveti ve momenti hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Kistler 5070-A çok kanallı amplifier

Kesme kuvveti (F) hesaplamalarında Eşitlik 3.1'deki denklem, kesme momenti (M) hesaplanmalarında ise Eşitlik 3.2'deki denklem kullanılmıştır.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (3.1)$$

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (3.2)$$

Burada; F_x : x yönündeki kuvvet, F_y : y yönündeki kuvvet, F_z : z yönündeki kuvvet veya ilerleme kuvveti, M_x : x yönündeki moment, M_y : y yönündeki moment ve M_z : z yönündeki momenttir.

3.5. Çap Değişimi ve Çapak Yüksekliği

MMK'ların delinmesinde, deliklerde oluşan çap değişimleri ve delik çıkışında oluşan çapak yükseklikleri prob çapı 3 mm ve ölçüm hassasiyeti 0,001 mm olan Hexagon Metrology marka Ra-7312 model koordinat ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Delme işleminde delik çıkışında oluşan çapak görüntüleri Şekil 3.6'da ve delik çap değişiminin ölçüm görüntüleri de Şekil 3.7'de verilmiştir.



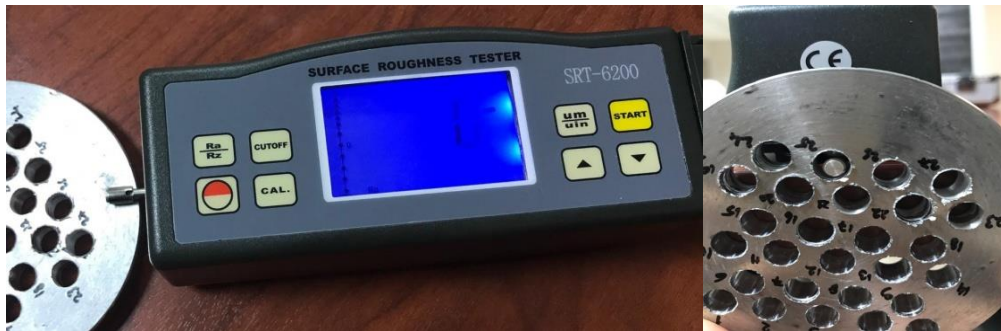
Şekil 3.6. MMK'ların a) delik giriş ve b) delik çıkışlarındaki çapak görüntüleri



Şekil 3.7. Hexagon Metrology koordinat ölçüm cihazı ve çapak ölçümü

3.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delik delme işlemi sonrası delik yüzeylerinin pürüzlülüğünü ölçmek için SRT 6200 model dijital göstergeli ve mekanik iğneli yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. SRT 6200 model yüzey pürüzlülük cihazının ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) ölçüm aralığı $0,05-10 \mu m$ 'dir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), delik iç yüzeylerine paralel olarak ölçülmüştür. Ölçümler üç kez tekrarlanmış olup üçünün ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü hesaplanmıştır. Şekil 3.8'de SRT 6200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

3.7. Talaş Şeklinin Analizi

Talaş formuyla ilgili bilgiler, işlenebilirliği belirlemek için önemli olduğundan, oluşan talaşların kesme parametreleri ile değişimini belirlemek için talaşlar toplanarak görüntüleri incelenmelidir. Ağırılıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin

delinmesinde, talaşların delme parametrelerine bağlı değişim etkilendiğini belirlemek için talaşların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınarak incelenmiştir. Çapak görüntüleri FEI marka Quanta 650 model SEM ile elde edilmiştir.

3.8. Takım Aşınma Analizi

Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemeler WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar kullanılarak 1000 dev/dak dönme devri ve 0,10 mm/dev ilerleme değerlerinde delme deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerde her seferde 10 delik delinmiştir. Delme deneyleri 40. delik delinmesinde sonlandırılmıştır. Artan delik sayısına bağlı kesme kuvveti ve momenti ile takım aşınma değişimi incelenmiştir.

Deneylerde delik delme işlemlerinde kullanılan takımların kesme bölgelerinde meydana gelen aşınma davranışlarını incelemek için takımların uç kısımları Şekil 3.9'da gösterilen Bulucut marka abrasif kesici ile kesilerek SEM analizine uygun ölçülere getirilmiştir. SEM analizine uygun hale getirilen takımların aşınma bölgesi görüntüleri FEI marka Quanta 650 model SEM cihazı ile elde edilmiştir.



Şekil 3.9. SEM analizi için kesici takımların uygun ölçülere getirilmesi

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin WC, AlTiN kaplı WC ve HSS matkaplarla delinmesinde, dönme devri ve ilerlemenin kesme kuvveti, kesme momenti, yüzey pürüzlülüğü, çap değişimi ve çapak yüksekliği üzerine etkilerini belirlemek için bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir.

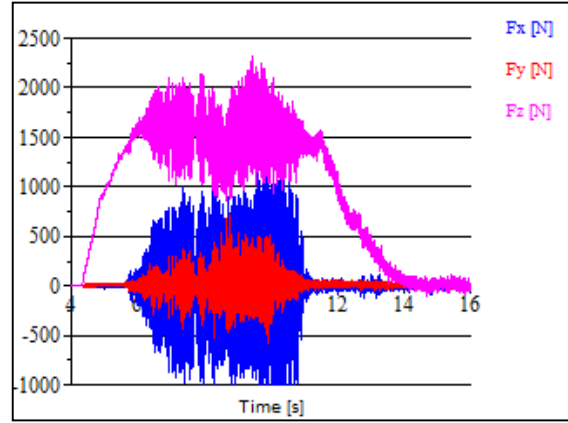
Tablo 4.1. AlSi7Mg2/%15SiC MMK malzemelerin delinmesinden elde edilen deney sonuçları

Matkap Cinsi	Deney No.	Dönme Devri	İlerleme	Kesme Kuvveti	Kesme Momenti	Yüzey Pürüzlülüğü	Çap Değişimi	Çapak yüksekliği
		n , (dev/dk)	f , (mm/dev)	F , (N)	M , (Nm)	Ra , (μ m)	(mm)	(mm)
WC	1	500	0,05	738	14	0,57	8,043	0,15
	2	500	0,10	884	26	0,81	8,051	0,30
	3	500	0,15	1118	40	1,01	8,058	0,44
	4	1000	0,05	588	14	0,51	8,041	0,18
	5	1000	0,10	836	21	0,76	8,049	0,34
	6	1000	0,15	986	36	0,97	8,057	0,46
	7	1500	0,05	358	11	0,46	8,030	0,20
	8	1500	0,10	776	15	0,65	8,042	0,39
	9	1500	0,15	927	32	0,89	8,049	0,51
AlTiN Kaplı WC	10	500	0,05	608	11	0,45	8,037	0,07
	11	500	0,10	731	14	0,64	8,045	0,21
	12	500	0,15	951	37	0,82	8,059	0,34
	13	1000	0,05	525	10	0,36	8,027	0,09
	14	1000	0,10	668	13	0,57	8,035	0,23
	15	1000	0,15	834	28	0,79	8,045	0,37
	16	1500	0,05	354	9	0,32	8,021	0,13
	17	1500	0,10	632	13	0,46	8,032	0,29
	18	1500	0,15	805	27	0,74	8,039	0,44
HSS	19	500	0,05	1533	61	0,92	8,066	0,70
	20	500	0,10	1622	74	1,16	8,091	1,06
	21	500	0,15	1905	84	1,35	8,106	1,36
	22	1000	0,05	1530	59	0,79	8,059	0,81
	23	1000	0,10	1560	67	1,09	8,076	1,12
	24	1000	0,15	1826	83	1,27	8,099	1,39
	25	1500	0,05	1178	51	0,74	8,049	0,94
	26	1500	0,10	1548	65	1,02	8,067	1,26
	27	1500	0,15	1710	75	1,17	8,081	1,51

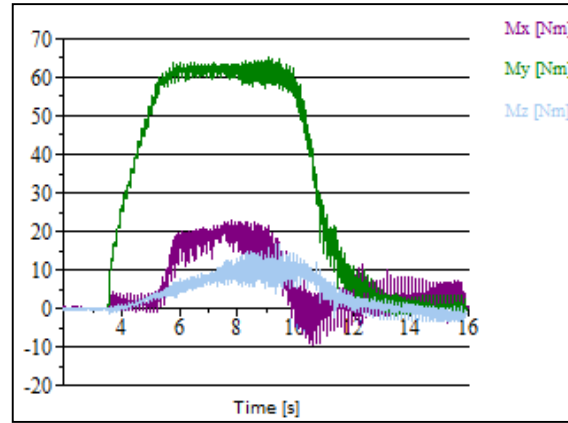
4.1. Delme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Kesme Momenti Üzerine Etkileri

Talaşlı imalat işlemlerinde, iş parçasına şekil verebilmek ve talaş kaldırmak için uygun kesme parametrelerinin seçilmesi kesme kuvvetlerini önemli derecede etkilemektedir. Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin WC, AlTiN kaplı WC ve HSS matkaplarla delinmesinde, dönme devri ve ilerlemeye bağlı Kuvvet–Zaman ve Moment–Zaman grafikleri oluşturulmuştur. Kompozit malzemenin HSS matkapla 500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerleme değerlerinde işlenmesinden

elde edilen Kuvvet–Zaman ve Moment–Zaman grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Deneylerin tamamına ait Kuvvet–Zaman grafikleri EK–1’de ve Moment–Zaman grafikleri ise EK–2’de verilmiştir.



a) Kuvvet–Zaman

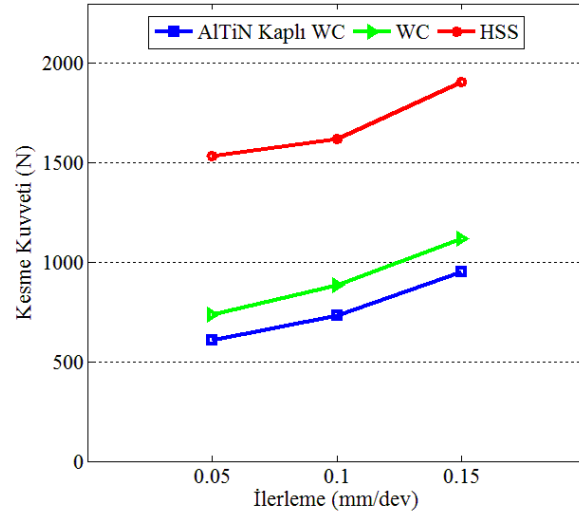


b) Moment–Zaman

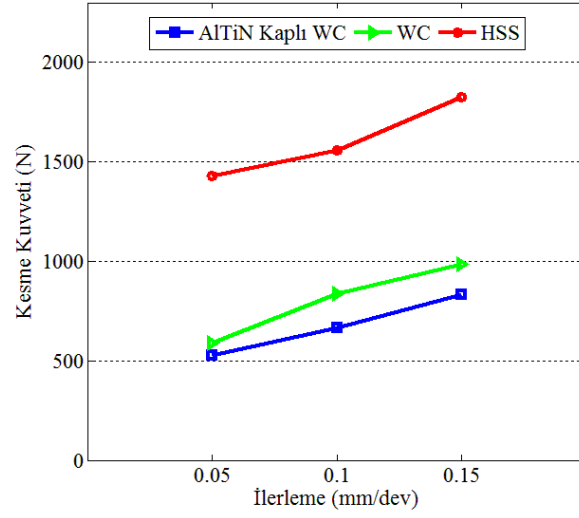
Şekil 4.1. AlSi7Mg2/%15SiC MMK’nın delinmesinde zamana bağlı kuvvet ve moment değişimi

Şekil 4.1’de verilen özellikle kuvvet-zaman diyagramında, değerlerde ani iniş ve çıkışların olduğu görülmektedir. Bu durum, delme esnasında kesici takımın SiC takviye elemanı ile karşılaşmasından kaynaklanmaktadır. Takviye elemanının bulunmadığı yerde kuvvette ani düşüşler olsa da kesici takımın SiC takviyesine değmesiyle kuvvette tekrar ani çıkışlar olmuştur. Bu yüzden, Kuvvet–Zaman ve Moment–Zaman grafiklerinde verilen F_x , F_y ve F_z kuvvetleri ile M_x , M_y ve M_z momentlerinin ortalama değerleri Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2’ye yazılarak kesme kuvveti ve momentleri hesaplanmıştır.

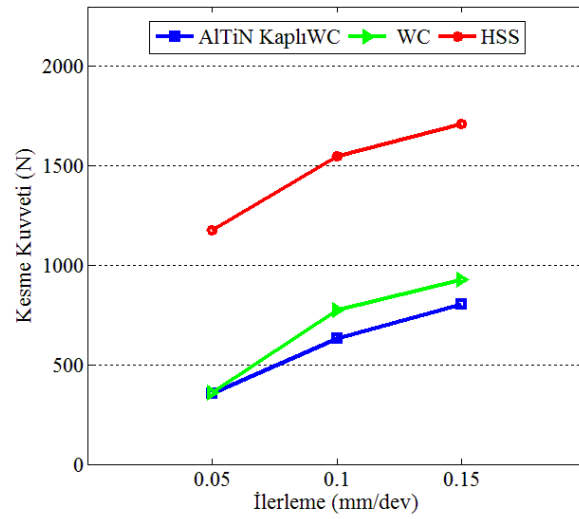
Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.2–4.4’te, dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.5–4.7’de ve kesici takım cinsinin kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.8–4.9’da verilmiştir.



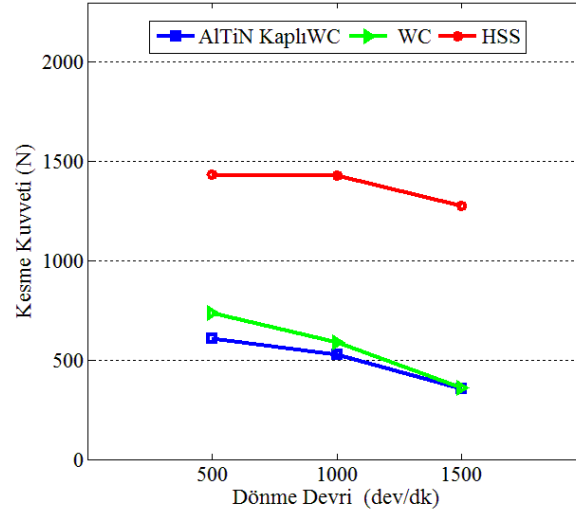
Şekil 4.2. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (n=500 dev/dak)



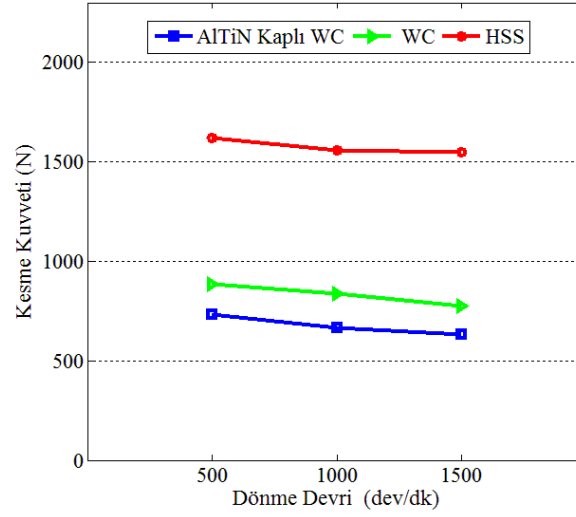
Şekil 4.3. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (n=1000 dev/dak)



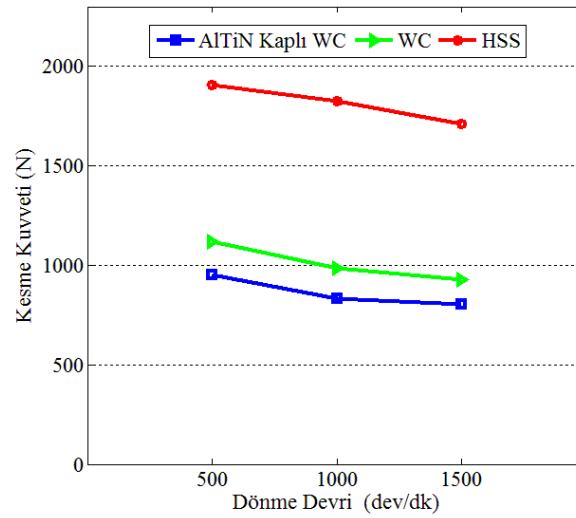
Şekil 4.4. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (n=1500 dev/dak)



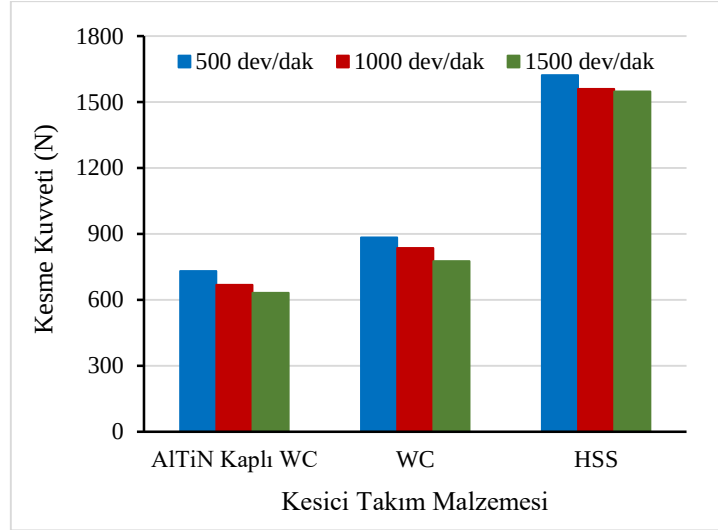
Şekil 4.5. AlSi7Mg2/15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,05$ mm/dev)



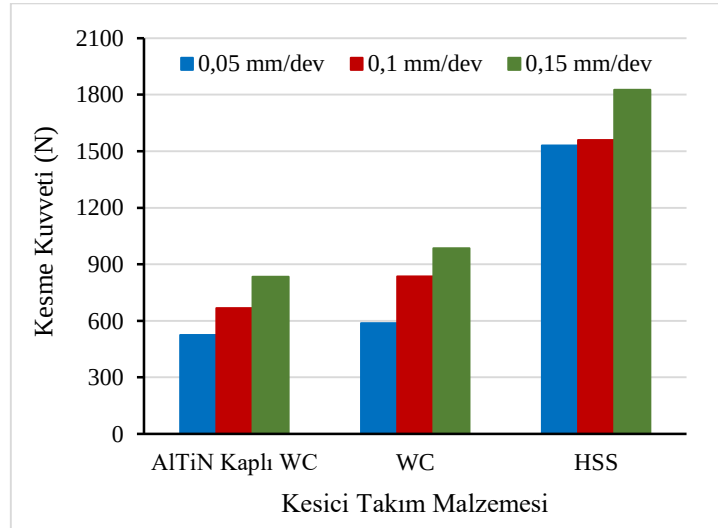
Şekil 4.6. AlSi7Mg2/15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)



Şekil 4.7. AlSi7Mg2/15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev)



Şekil 4.8. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)

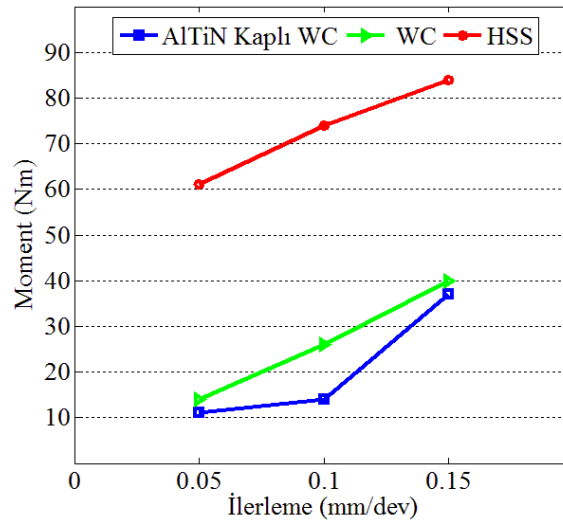


Şekil 4.9. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme kuvveti üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)

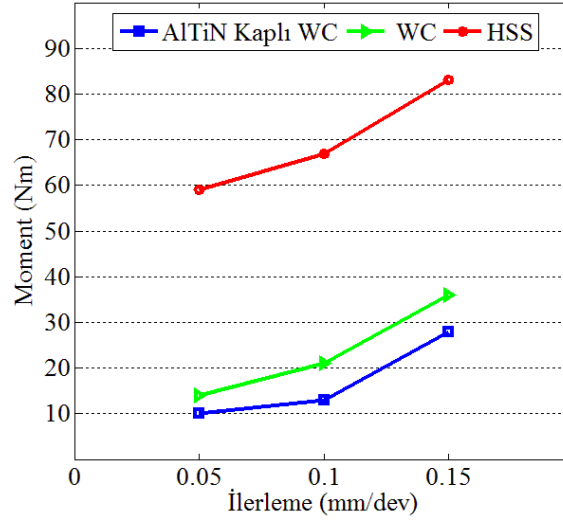
SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin WC, AlTiN kaplı WC ve HSS kesici takımlarla delinmesinde, ilerlemenin artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Sabit dönme devirlerinde tüm kesici takımlar için 0,05 mm/dev ilerlemeden düşük kesme kuvvetleri elde edilirken, 0,15 mm/dev ilerlemeden yüksek kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Artan ilerlemeyle birim zamanda kaldırılan talaş miktarı arttığından dolayı, bu durum kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Dönme devrinin artması ile kesme kuvvetleri düşmüştür. 500 dev/dak dönme devrinden yüksek kesme kuvveti elde edilirken, 1500 dev/dak dönme devrinden düşük kesme kuvveti elde edilmiştir. Kesme kuvvetinin dönme devrinin artması ile azalmasının nedeni, yüksek dönme devirlerinde matris malzemesinin yumuşamasından kaynaklanmaktadır. Delme deneylerinde kesme

kuvvetini etkileyen diğ er bir parametrenin ise kesici takım malzemesi oldu ğ u bilinmektedir. WC, AlTiN kaplı WC ve HSS kesici takımlar kullanılarak yapılan delme deneylerinde, AlTiN kaplı WC kesici takımların kullanımı ile düşük kesme kuvveti elde edilirken, HSS kesici takımların kullanımından yüksek kesme kuvveti elde edilmiştir. Delme esnasında, kesici takım cinsine bağı lı olarak sürtünme katsayısının kuvvet oluş umu üzerinde önemli bir etkisinin oldu ğ u düşün ülmektedir. Deneylerde en düşük kesme kuvveti, AlTiN kaplı WC kesici takımla 1500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerlemede yapılan delme deneyinden elde edilmiştir. Elde edilen ortalama değ er 354 N'dur. En yüksek kesme kuvveti ise HSS kesici takımla 500 dev/dak dönme devri ve 0,15 mm/dev ilerlemede yapılan delme deneyinden ortalama 1905 N olarak hesaplanmıştır. MMK malzemelerin iş lenmesi ile ilgili yapılan literatür ç alışmalarına bakıldığında, ilerleme ve kesme kuvveti arasında benzer bulgulara ulaşıldı ğ ı görülmektedir (Palanikumar ve ark., 2014; Das ve ark.,2020; Prakash ve ark., 2021).

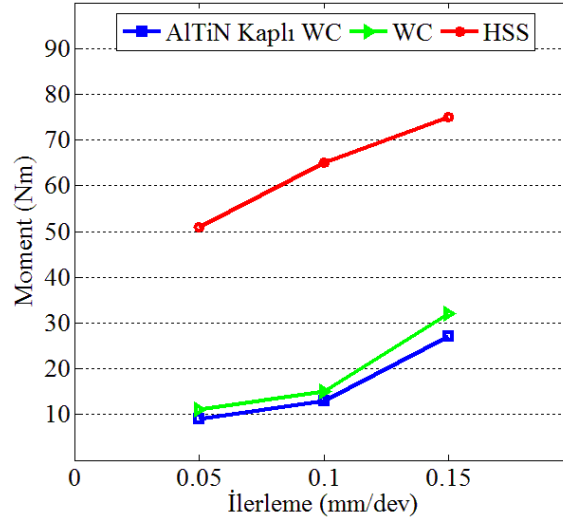
Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, ilerlemenin kesme momenti üzerine etkileri Ş ekil 4.10–4.12'de, dönme devrinin kesme momenti üzerine etkileri Ş ekil 4.13–4.15'te ve kesici takım cinsinin kesme momenti üzerine etkileri Ş ekil 4.16–4.17'de verilmiştir.



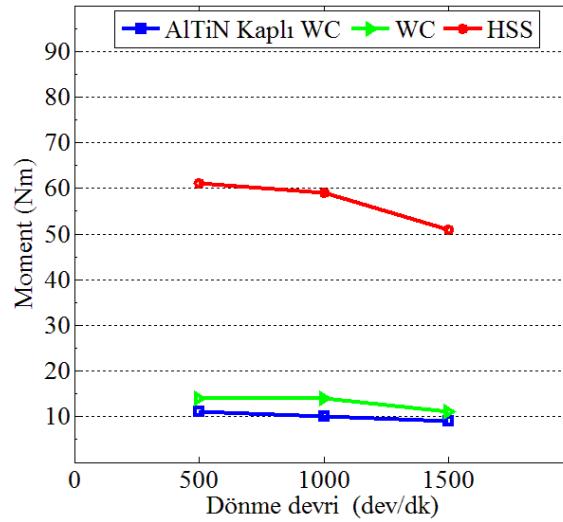
Ş ekil 4.10. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme momenti üzerine etkisi (n=500 dev/dak)



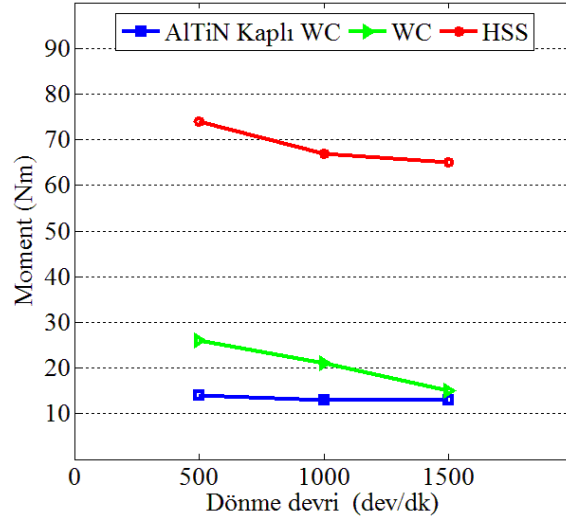
Şekil 4.11. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme momenti üzerine etkisi (n=1000 dev/dak)



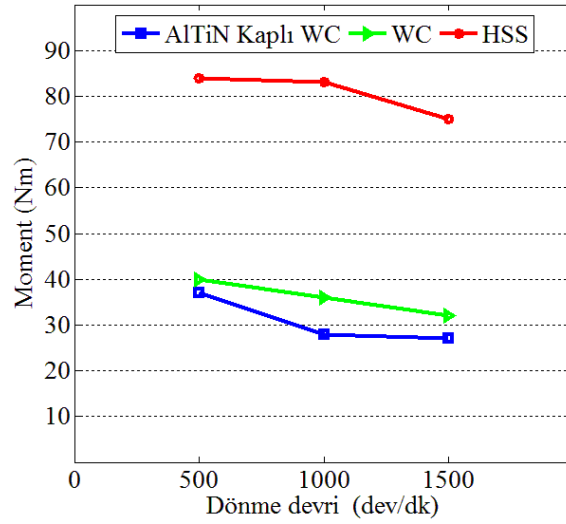
Şekil 4.12. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin kesme momenti üzerine etkisi (n=1500 dev/dak)



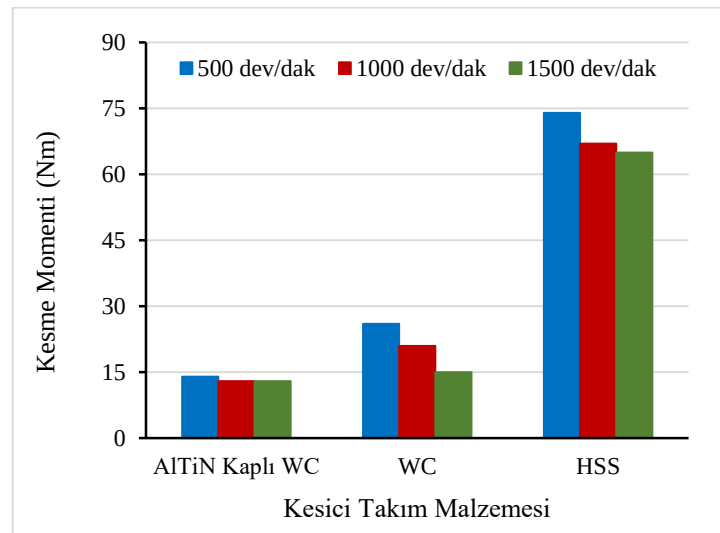
Şekil 4.13. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme momenti üzerine etkisi (f=0.05 mm/dev)



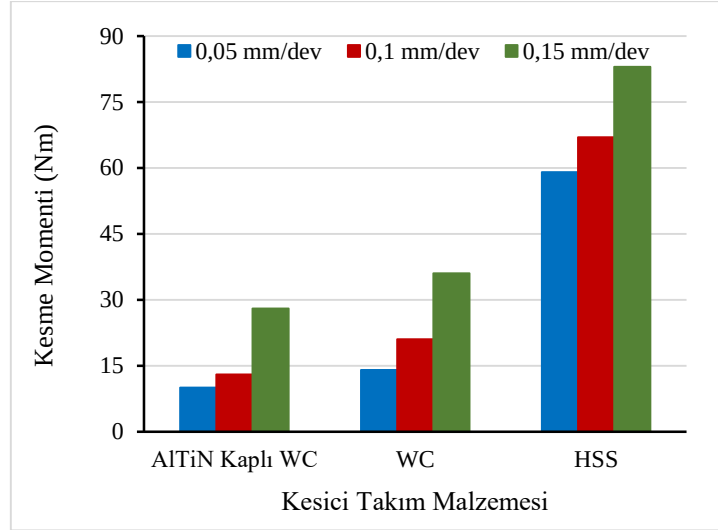
Şekil 4.14. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme momenti üzerine etkisi (f=0,10 mm/dev)



Şekil 4.15. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin kesme momenti üzerine etkisi (f=0,15 mm/dev)



Şekil 4.16. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme momenti üzerine etkisi (f=0,10 mm/dev)



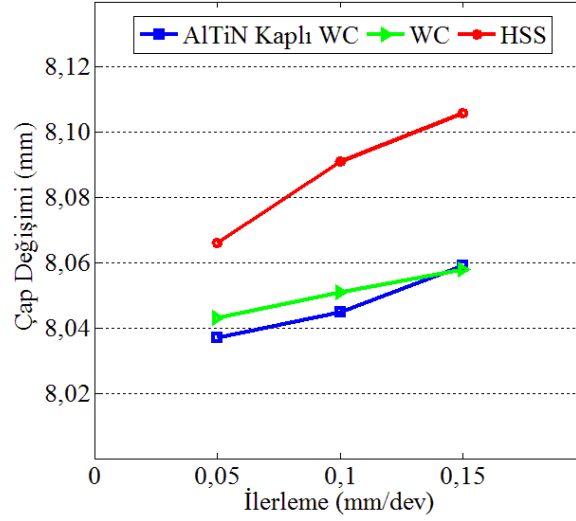
Şekil 4.17. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin kesme momenti üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)

SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin WC, AlTiN kaplı WC ve HSS kesici takımlarla delinmesinde, ilerlemenin artması ile kesme momentlerinin arttığı, dönme devrinin artmasıyla kesme momentlerinin azaldığı görülmüştür. Kesme momentleri AlTiN kaplı WC kesici takımlarda düşük, WC kesici takımlarda normal ve HSS kesici takımlarda ise yüksek elde edilmiştir. Kesici takım, ilerleme ve dönme devrine bağlı olarak elde edilen kesme moment grafikleri, kesme kuvveti grafikleri ile paralellik göstermiştir. Deneylerde en düşük kesme momenti, AlTiN kaplı WC kesici takımla 1500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerlemede yapılan delme deneyinden ortalama 9 Nm elde edilmiştir. En yüksek kesme momenti ise HSS kesici takımla 500 dev/dak dönme devri ve 0,15 mm/dev ilerlemede yapılan delme deneyinden elde edilmiştir. Elde edilen değer ortalama 84 Nm olarak hesaplanmıştır.

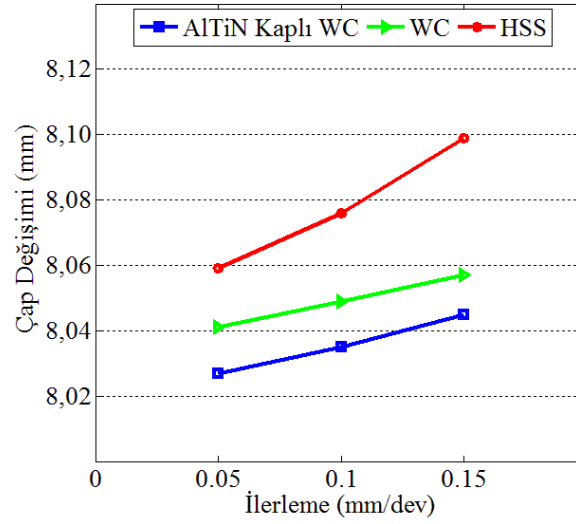
4.2. Delme Parametrelerinin Çap Değişimi ve Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi

Çap değişimi/çaptaki sapmalar ve çapak oluşumu montaj hattında önemli olan hususlardandır. Çünkü çapın arzu edilen toleranslar dâhilinde olmaması ve delik etrafındaki çapaklar, ilave işleme ve işçilik maliyetlerinin oluşmasına neden olarak üretim maliyetini arttırmaktadır.

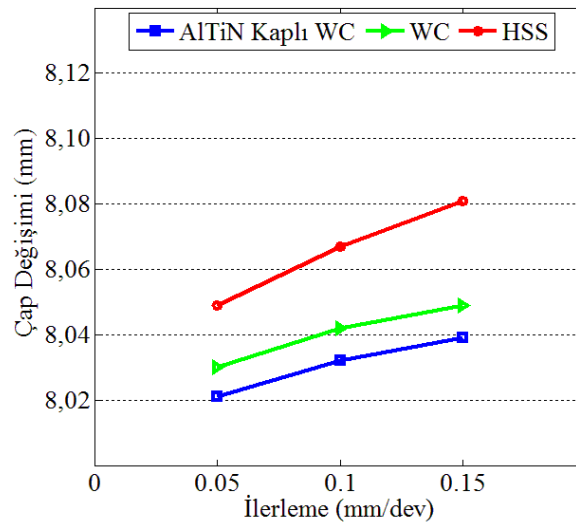
Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, ilerlemenin çap değişimi üzerine etkileri Şekil 4.18–4.20'de, dönme devrinin çap değişimi üzerine etkileri Şekil 4.21–4.23'te ve kesici takım cinsinin çap değişimi üzerine etkileri Şekil 4.24–4.25'te verilmiştir.



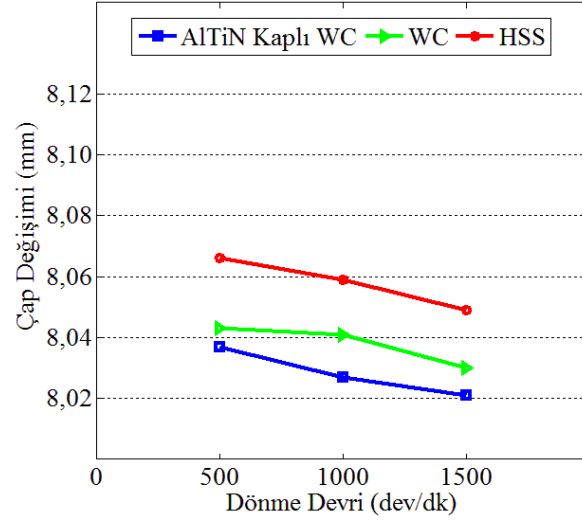
Şekil 4.18. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çap değişimi üzerine etkisi (n=500 dev/dak)



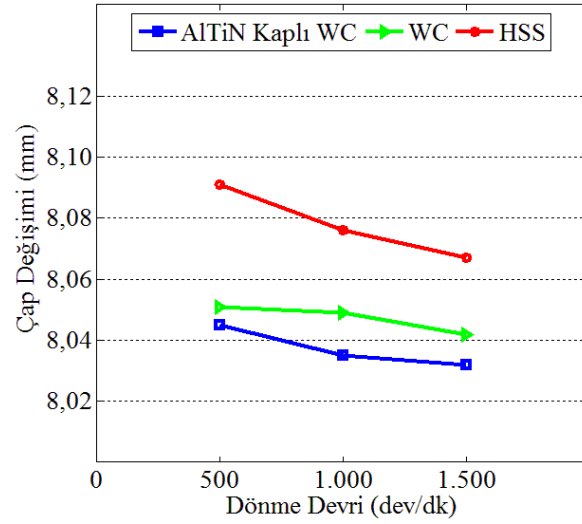
Şekil 4.19. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çap değişimi üzerine etkisi (n=1000 dev/dak)



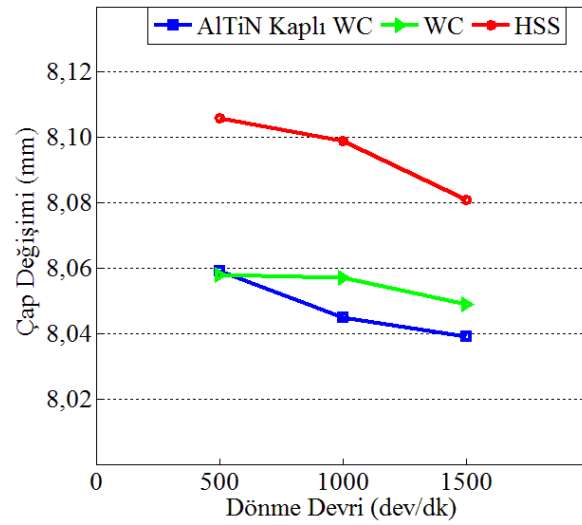
Şekil 4.20. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çap değişimi üzerine etkisi (n=1500 dev/dak)



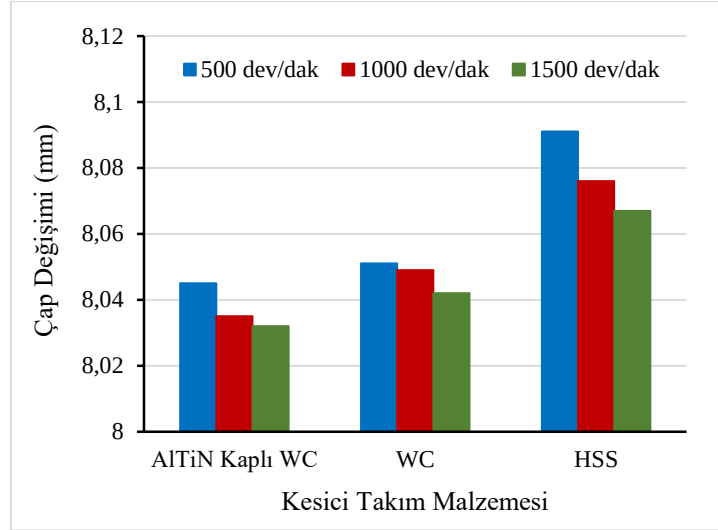
Şekil 4.21. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çap değişimi üzerine etkisi (f=0,05 mm/dev)



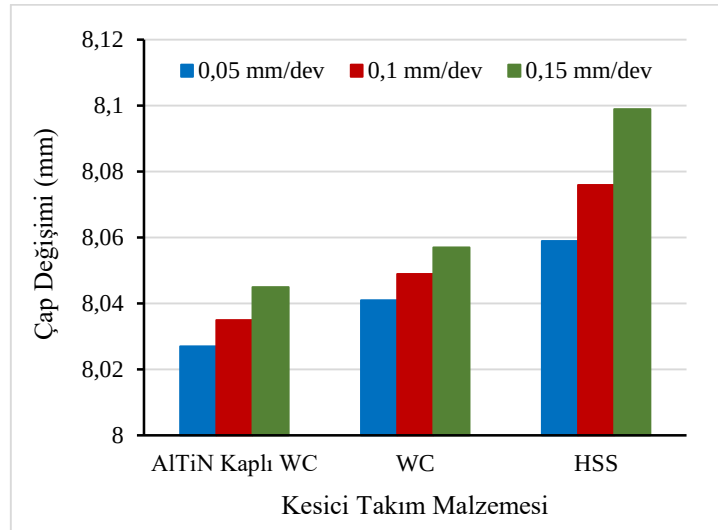
Şekil 4.22. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çap değişimi üzerine etkisi (f=0,10 mm/dev)



Şekil 4.23. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çap değişimi üzerine etkisi (f=0,15 mm/dev)



Şekil 4.24. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çap değişimi üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)

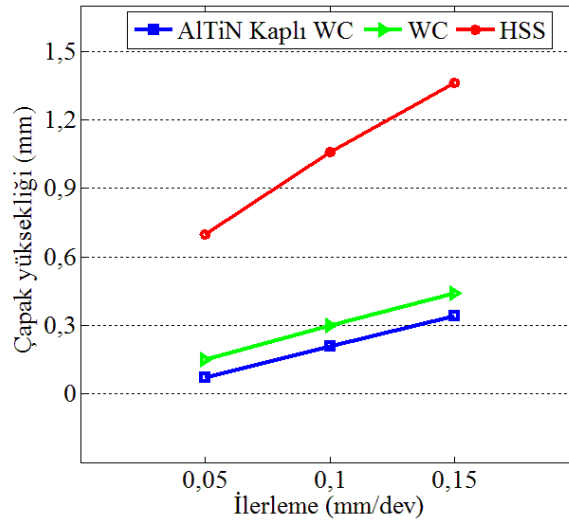


Şekil 4.25. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çap değişimi üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)

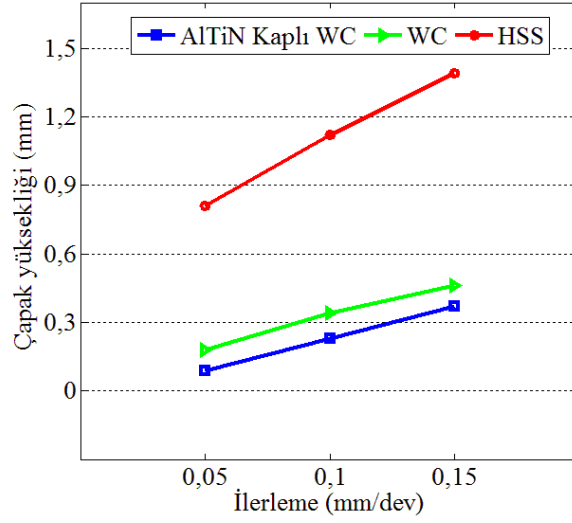
8 mm çapındaki matkaplarla delilen deliklerden alınan ölçümler sonucunda, delik çaplarının kullanılan kesici takım cinsine, ilerlemeye ve dönme devrine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.18–4.20’de verilen grafiklerden de görüldüğü gibi ilerlemenin artması ile delik çapı artmıştır. Şekil 4.21–4.23’te verilen grafiklere bağlı olarak artan dönme devri, delik çapının nominal değere yakın elde edilmesini sağlamıştır. Şekil 4.18–4.25’te verilen tüm grafikler incelendiğinde ise delinen delik çaplarının AlTiN kaplı WC kesici takımlarda nominal değere yakın, WC kesici takımlarda nominal değerden kısmen uzaklaştığı ve HSS takımlarla ise bu değişimin daha fazla olduğu görülmüştür. Çap değişimdeki grafik eğrilerinin kesme kuvveti ve momenti grafiklerindeki benzer eğilim sergilediği görülmüştür. Kesme kuvveti ve momentinde

olduğu gibi çap değişiminde de nominal değere en yakın delik çapı AlTiN kaplı WC kesici takımla 1500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerlemede yapılan delme deneyinden, en yüksek delik çapı ise HSS kesici takımla 500 dev/dak dönme devri ve 0,15 mm/dev ilerlemede yapılan delme deneyinden elde edilmiştir. Delik çap sapmalarının kuvvet ve moment ile ilişkili olduğu, artan kesme kuvveti ve momente bağlı olarak delik çaplarının arttığı ve bu doğrultuda kuvvet ve momentlerin çap değişiminde önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Diğer taraftan artan dönme devri, kesici takımda kesme ekseninde oluşan salınım hareketini azaltabilir. Bu da delinen delik çapının nominal değere yakın elde edilmesini sağlayabilir. WC, TiAlN kaplamalı WC ve HSS matkaplarla 500 dev/dak dönme devri ve 0,15 mm/dev ilerleme ile delinen deliklerden ölçülen maksimum çap değerleri sırasıyla Ø8,059 mm, Ø8,058 mm ve Ø8,136 mm ölçülmüştür. WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplarla 1500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerleme ile delinen deliklerden ölçülen minimum çap değerleri ise sırasıyla Ø8,021 mm, Ø8,030 mm ve Ø8,049 mm'dir. Tüm delme parametreleri için nominal değere en yakın ve en uzak çaplardaki değişim %0,2625 ve %1,7 olmuştur.

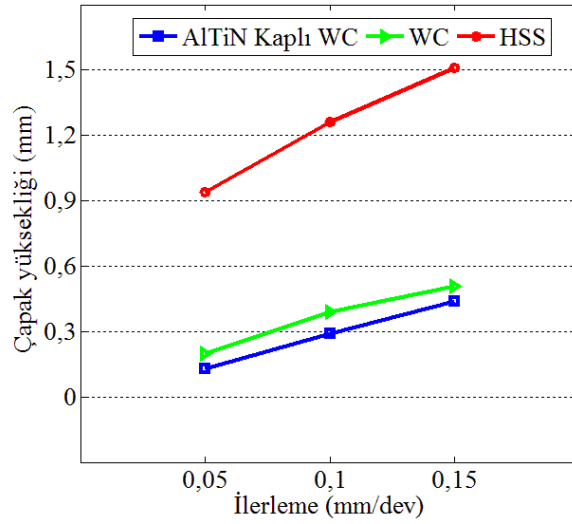
Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkileri Şekil 4.26–4.28'de, dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkileri Şekil 4.29–4.31'de ve kesici takım cinsinin çapak yüksekliği üzerine etkileri Şekil 4.32–4.33'te verilmiştir.



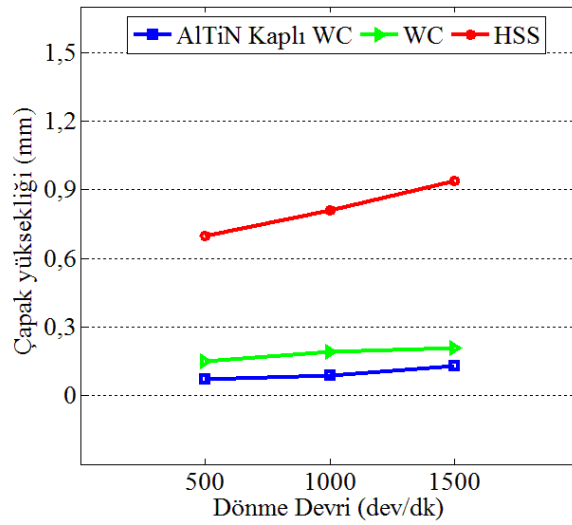
Şekil 4.26. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkisi (n=500 dev/dak)



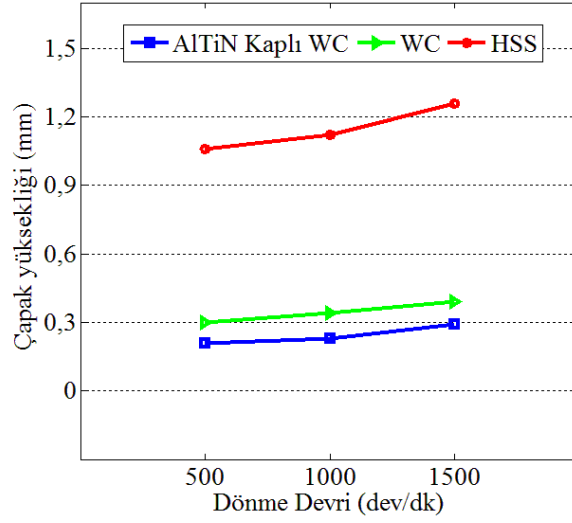
Şekil 4.27. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkisi (n=1000 dev/dak)



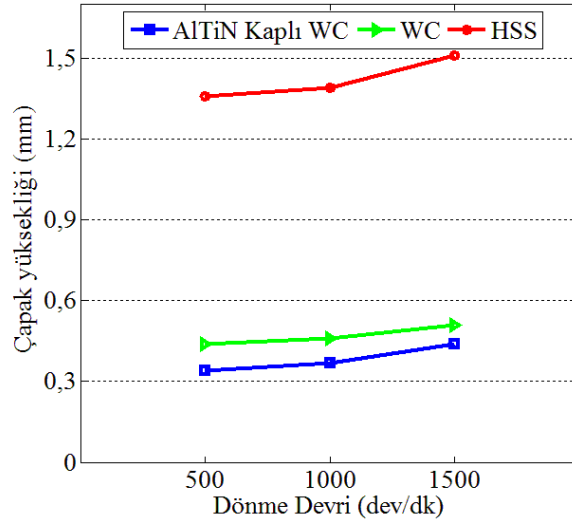
Şekil 4.28. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkisi (n=1500 dev/dak)



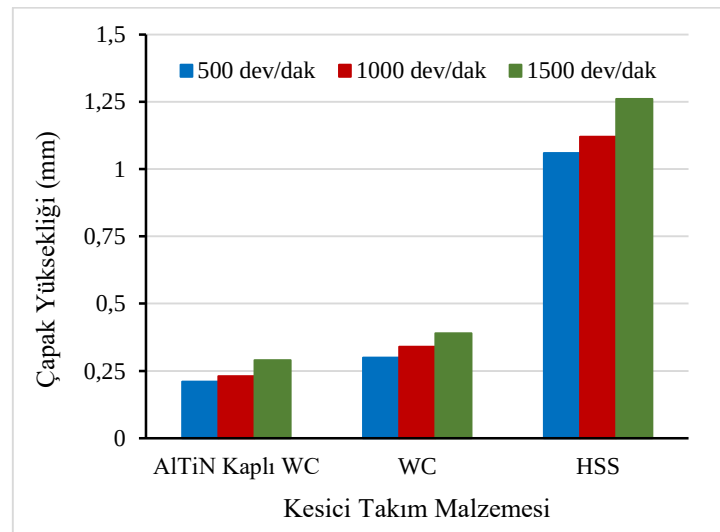
Şekil 4.29. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkisi (f=0,05 mm/dev)



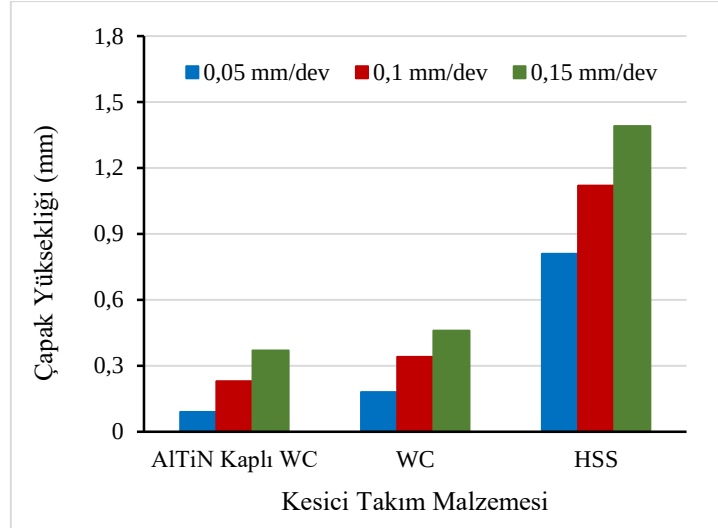
Şekil 4.30. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkisi (f=0,10 mm/dev)



Şekil 4.31. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin çapak yüksekliği üzerine etkisi (f=0,15 mm/dev)



Şekil 4.32. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çapak yüksekliği üzerine etkisi (f=0,10 mm/dev)



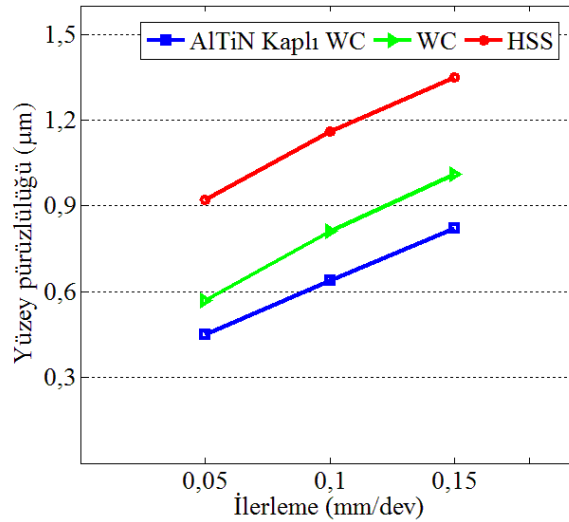
Şekil 4.33. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin çapak yüksekliği üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)

Şekil 4.26–4.28’de verilen grafiklerden, ilerlemenin artması ile çapak yüksekliklerinin arttığı görülmektedir. Yüksek ilerleme değerlerinde, matkap delme doğrultusunda daha hızlı hareket etmektedir. Matkabın ucu delikten çıktıktan sonra yüksek ilerleme değerlerinde oluşan yüksek kuvvetler veya yüksek ilerleme kuvveti, matkabın malzemeyi kesmesi yerine kesilmemiş malzemeyi delik dışına iterek plastik deformasyonuna neden olduğu ve dolayısıyla çapak yüksekliğini arttırdığı düşünülmektedir. Şekil 4.29–4.31’de verilen grafikler incelendiğinde, dönme devrindeki artışın da çapak yüksekliğini arttırmıştır. Her ne kadar artan dönme devri ile kuvvetler azalsa da dönme devrinin artması, kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına ve dolayısıyla matris malzemesinin yumuşamasına sebebiyet vermektedir. Bu durum da delik çıkışındaki cidarda çapak yüksekliğinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.26–4.33’te verilen tüm grafikler incelendiğinde ise takım cinsine bağlı çapak yükseklik oluşumları için AlTiN kaplı WC takımlarla daha düşük çapak yükseklikleri elde edilmiştir. Bu durum AlTiN kaplı WC takımların kesme esnasında daha rijit davranışlar sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. AlTiN kaplı WC takımlar kullanılarak yapılan delme işleminde, en düşük çapak yüksekliği 500 dev/dak dönme devrinde ve 0,05 mm/dev ilerlemede, en yüksek çapak yükseklik değeri ise 1500 dev/dak dönme devrinde 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. AlTiN kaplı WC takımlar için elde edilen minimum ve maksimum çapak yükseklikleri 0,07 mm ve 0,44 mm’dir. WC takımlar kullanılarak yapılan delme işleminde minimum ve maksimum çapak yükseklikleri 0,15 mm ve 0,51 mm iken HSS takımlar kullanılarak yapılan delme işleminde ise minimum ve maksimum çapak yükseklikleri 0,70 mm ve 1,51 mm’dir.

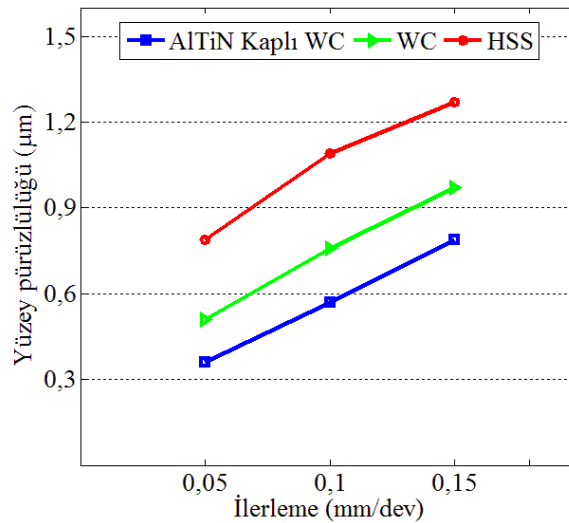
4.3. Delme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

Yüzey pürüzlülüğü, delme parametrelerine bağlı olarak delik kalitesini belirleyen önemli parametrelerden biridir. İmal edilen bir parçanın performans kalitesi, kısmen imalat sürecinden kaynaklanan yüzey kalitesi ile belirlenir. Talaşlı imalatta işlenen alanların yüzey kalitesinin düşük olması metalik malzemelerin mekanik özelliklerini zayıflamakta ve malzemelerin kullanım ömürlerini azaltmaktadır. Bu yüzden yüzey kalitesinin toleranslar dâhilinde olması gerekmektedir.

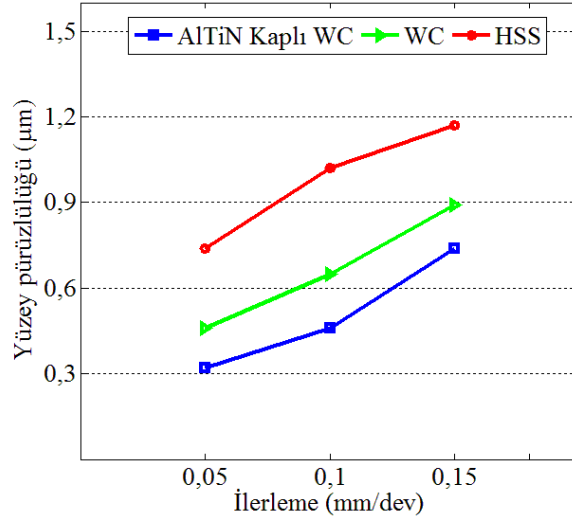
Ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelerin delinmesinde, ilerlemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Şekil 4.34–4.36’da, dönme devrinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Şekil 4.37–4.39’da ve kesici takım cinsinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Şekil 4.40–4.41’de verilmiştir.



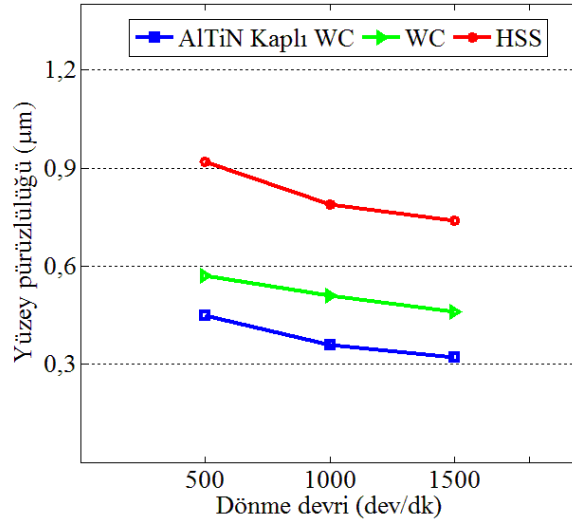
Şekil 4.34. AlSi7Mg2/%15SiC MMK’nın delinmesinde ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (n=500 dev/dak)



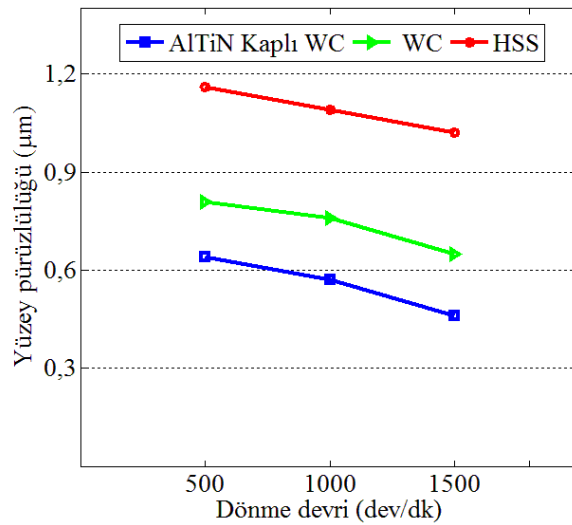
Şekil 4.35. AlSi7Mg2/%15SiC MMK’nın delinmesinde ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (n=1000 dev/dak)



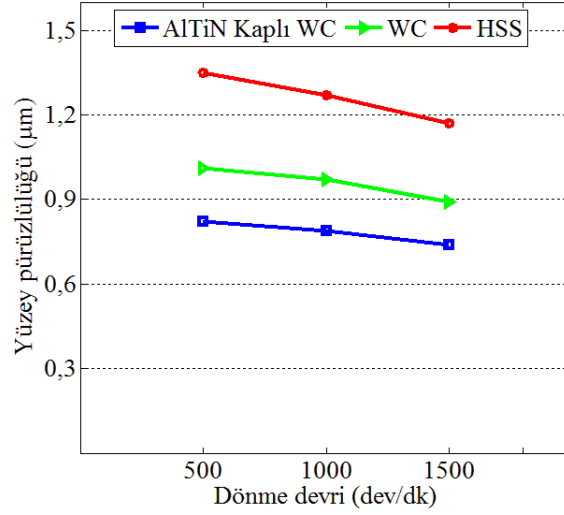
Şekil 4.36. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (n=1500 dev/dak)



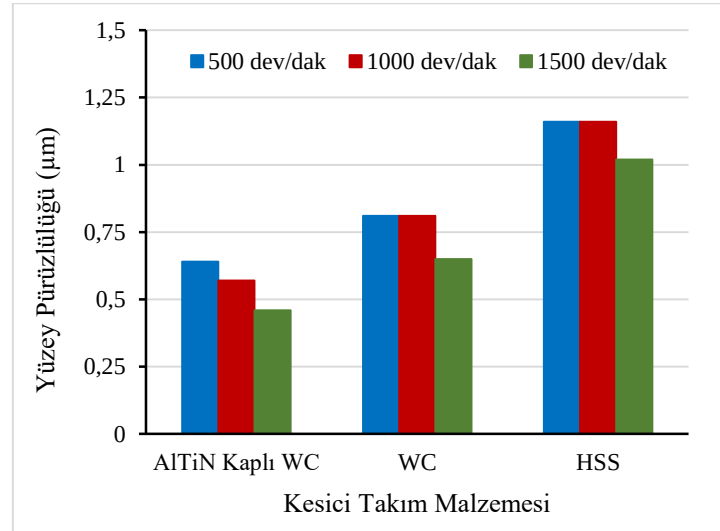
Şekil 4.37. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (f=0,5 mm/dev)



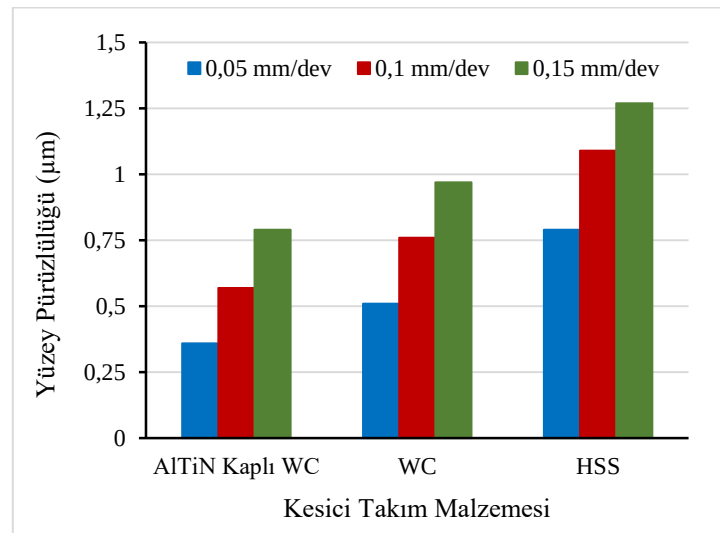
Şekil 4.38. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (f=0,10 mm/dev)



Şekil 4.39. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde dönme devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($f=0,15$ mm/dev)



Şekil 4.40. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($f=0,10$ mm/dev)



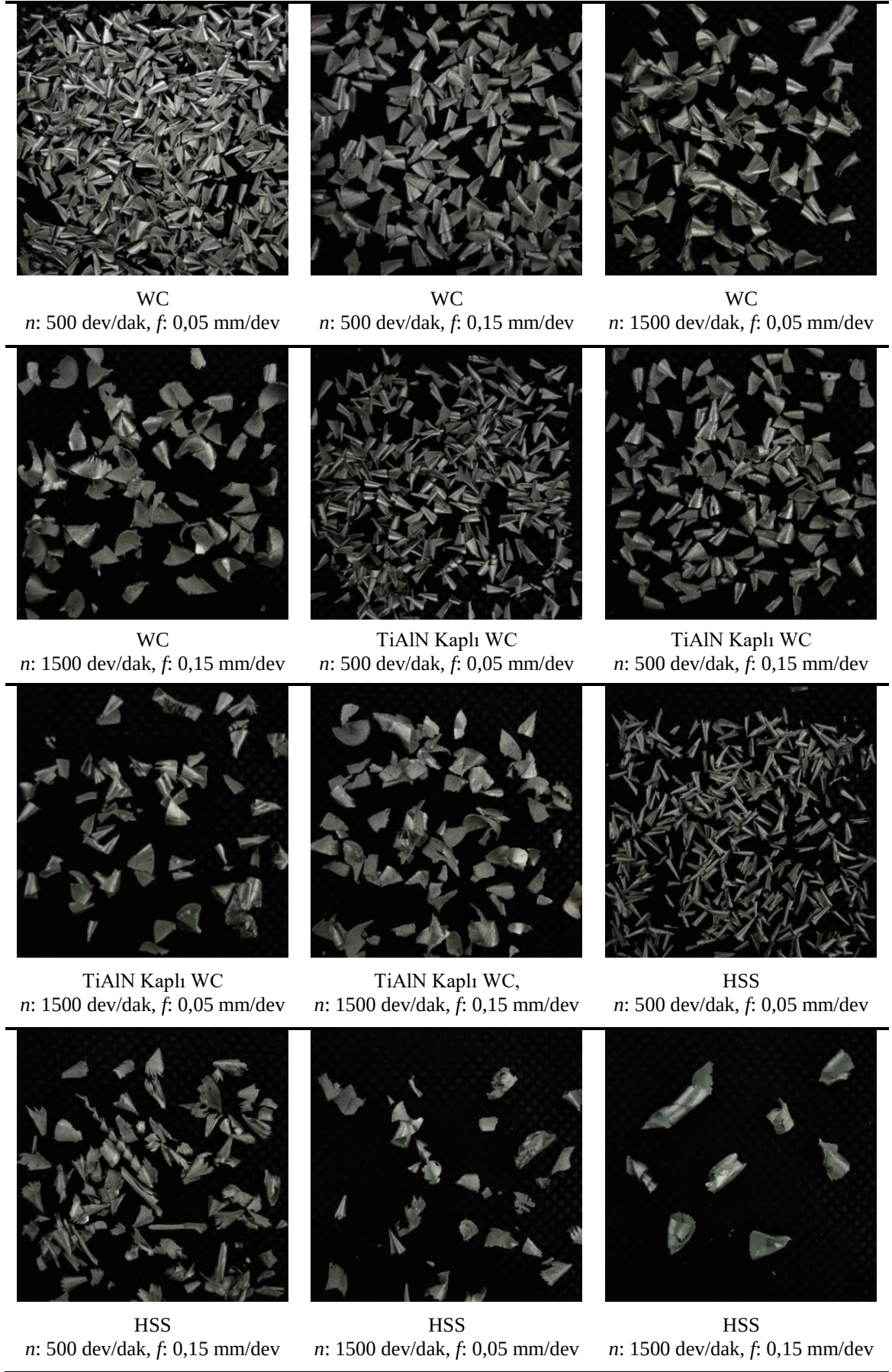
Şekil 4.41. AlSi7Mg2/%15SiC MMK'nın delinmesinde takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ($n=1000$ dev/dak)

Şekil 4.34–4.36’da verilen grafiklerde WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar ile yapılan delme işlemlerinde, ilerlemenin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülürken, Şekil 4.37–4.39’da verilen grafiklerde dönme devrinin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma görülmüştür. AlTiN kaplamalı WC takımlarla yapılan delme işleminde daha iyi yüzey kalitesi gözlemlenirken, HSS takımlarla yapılan delme işleminde daha kötü yüzey kalitesi gözlemlenmiştir. Ağırılıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemelere uygulanan delme işlemi sonrası ölçülen en iyi yüzey kalitesi, AlTiN kaplamalı WC takımın 0,05 mm/dev ilerleme ve 1500 dev/dak dönme devri ile yapılan delme deneylerinden elde edilmiş ve 0,32 μm ortalama yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüştür. AlTiN kaplamalı WC takım kullanılarak elde edilen en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,15 mm/dev ilerleme ve 500 dev/dak dönme devrinden 0,82 μm olarak ölçülmüştür. WC takımlar kullanılarak yapılan delme işleminde ölçülen en düşük ve en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 0,46 μm ve 1,01 μm iken HSS takımlar kullanılarak yapılan delme işleminde ölçülen bu değerler 0,74 μm ve 1,35 μm ’dir. Literatüre bakıldığında kaplamalı ve kaplamasız WC takımlar kullanılarak yapılan araştırmalarda, Kilickap ve ark., (2005), Sharif ve Rahim (2007), Lee ve ark., (2009), Sahoo ve Sahoo (2013), Varghese ve ark., (2019), Graves ve ark., (2020), Masooth ve Jayakumar (2020) ve Rao ve ark., (2021) elde ettiğimiz sonuçlara benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

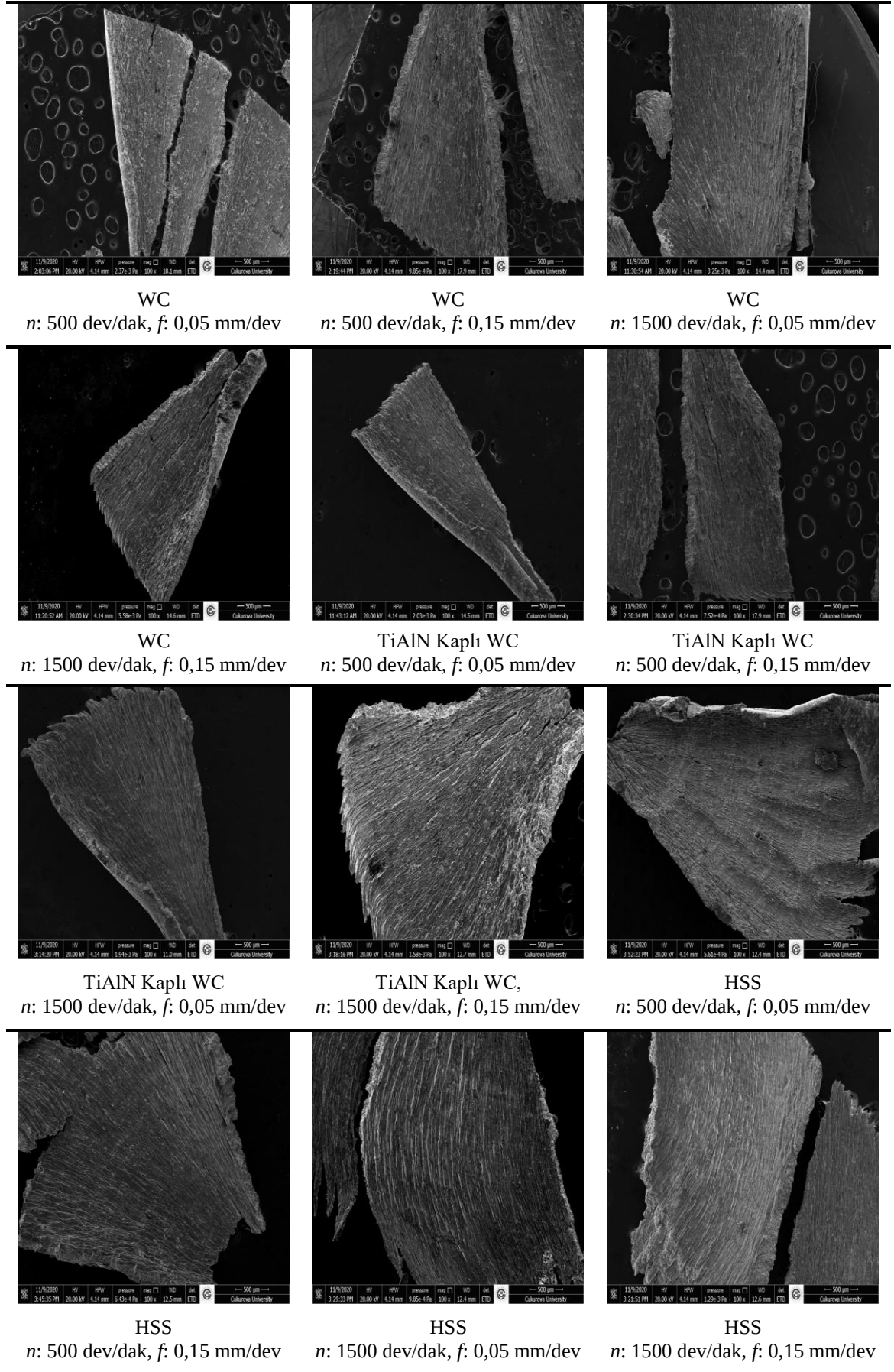
4.4. Delme Parametrelerinin Talaş Morfolojisi Üzerine Etkisi

Talaşlı imalat uygulamalarında kullanılan işleme parametreleri, işlem sürecinde oluşan talaşların şeklini, yapısını ve morfolojisini etkilemektedir. MMK malzemelere uygulanan delik delme işlemlerinde parametrelere bağlı olarak talaş yapılarında değişimler gözlenmektedir.

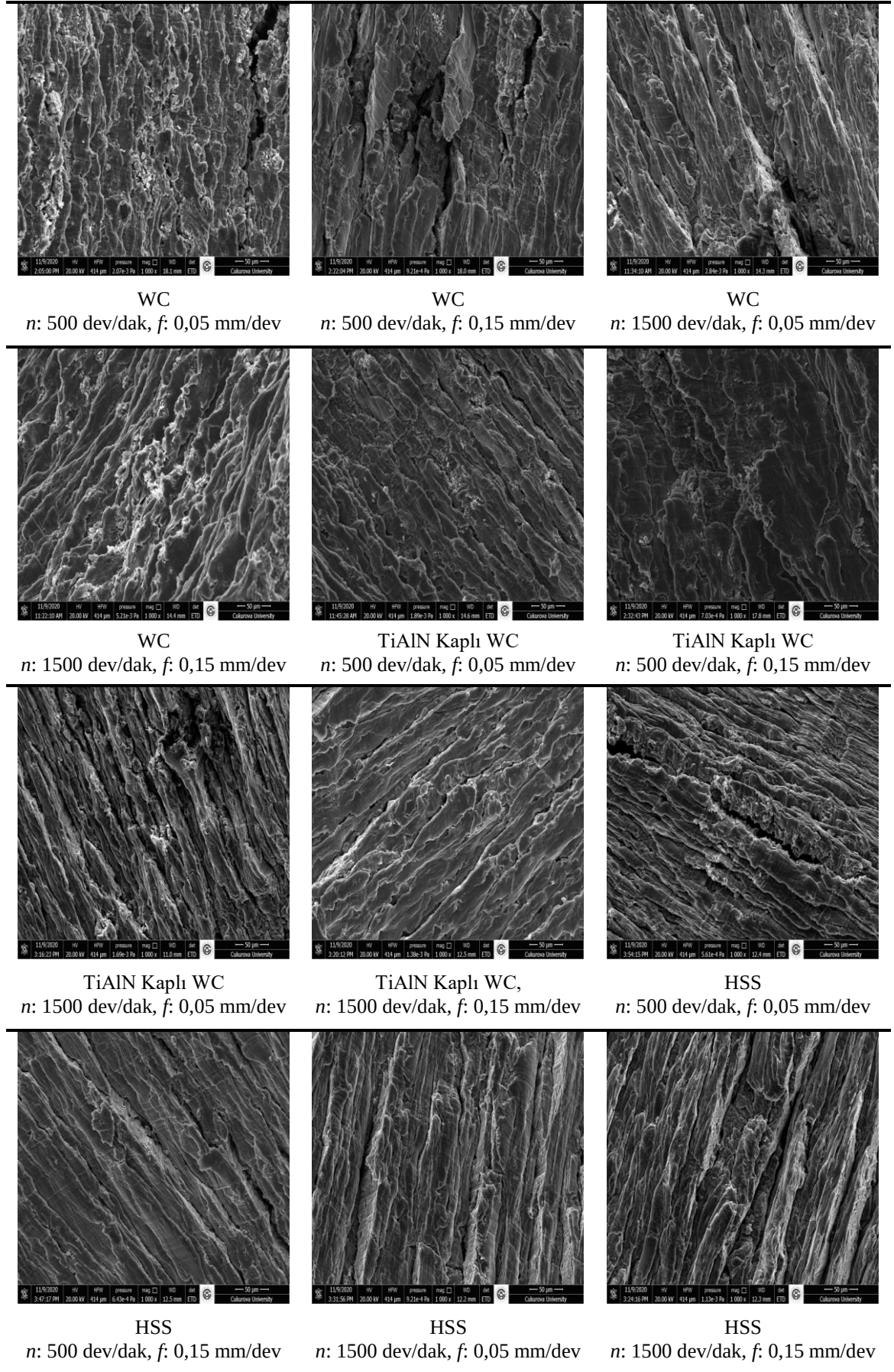
Ağırılıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemeler WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar ile farklı ilerleme ve dönme devri değerlerinde delinirken elde edilen talaşların makro ve mikro boyutta yapıları incelenmiştir. Elde edilen makro ve mikro yapılar benzerlik gösterdiğinden dolayı dönme devri ve ilerlemenin düşük ve yüksek değerleri için görüntüler oluşturulmuştur. WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplarla düşük ve yüksek dönme devri ve ilerleme değerlerinden elde edilen makro görüntüler Şekil 4.42’de, farklı büyütme oranlarındaki mikro görüntüleri ise Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’te verilmiştir.



Şekil 4.42. Farklı Delme parametrelerinde elde edilen talaşların makro görüntüleri



Şekil 4.43. Farklı Delme parametrelerinde elde edilen talaşların SEM görüntüleri 100 X



Şekil 4.44. Farklı Delme parametrelerinde elde edilen talaşların SEM görüntüleri 1000 X

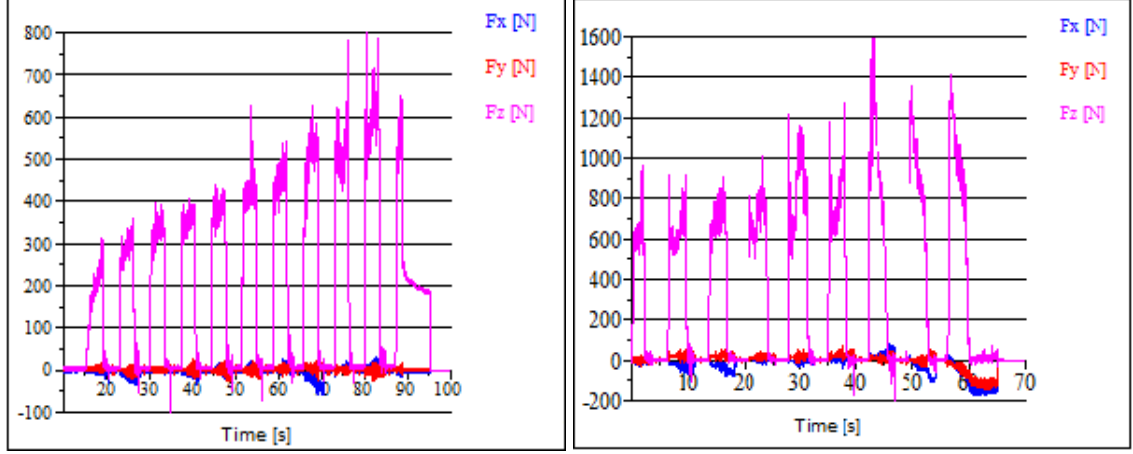
Şekil 4.42–4.44’te verilen makro ve mikro görüntüler incelendiğinde, deneylerde kullanılan işleme parametreleri işlem sürecinde oluşan talaşların şeklini, yapısını ve morfolojisini etkilediği görülmüştür. Aynı işleme parametrelerinde WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar kullanılarak yapılan talaş kaldırma işlemlerinde talaş yapılarında değişimler gözlenmiştir. Düşük dönme devri ve ilerleme değerlerinde oluşan talaşlar çaplarının daha düşük olduğu ve talaş yapılarının daha düzenli olduğu görülmüştür. İlerleme değerlerinin artması ile talaş çaplarının arttığı ve talaş yapılarında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Delik delme işlemlerinde kullanılan parametrelere bağlı olarak oluşan talaşlar mikro ölçekli morfolojik olarak incelendiğinde ise talaş yüzeylerinde kesici takım izleri görülmektedir. Bu izleri takip eden mikro ölçekli kırılmalar, çatlaklar, ara boşluklar ve ince oyuk şekilleri görülmüştür. Talaşların serbest yüzeylerinde mikro ölçülerde testere diş oluşumları gözlenmiştir. Ayrıca ilerlemenin artması ile talaş yüzeylerinde takım kesme izleri daha belirgin hal almıştır.

4.5. Delme İşleminin Takım Aşınması Üzerine Etkisi

Talaşlı imalat işlemlerinde, iş parçasına şekil verebilmek ve talaş kaldırmak için yapılacak işleme uygun parametre ve takımın seçilmesi, üretimde hem zaman hem de ekonomik kazanımlar sağlaması açısından önemlidir. Delme işlemlerinde, iş parçasının cinsi, delik boyutu, delinecek delik sayısı ve işlemin tamamlanma süresi gibi parametrelere bağlı uygun takım ve yöntemlerin seçilmesi gerekmektedir. Uygun yöntem ve parametrelerin seçilmemesi özellikle takımların kullanım ömürlerini etkileyerek takım aşınmalarına neden olmaktadır. Takım aşınması, takım malzemesinin istenmeyen bir şekilde kesici kenarlardan çıkarılması olarak tanımlanmaktadır ve bu durum takımın kesici kenar geometrisinde istenmeyen deformasyonlara yol açmaktadır. Takımlarda oluşan bu deformasyonların delme esnasında oluşan itme kuvveti ve moment değerlerine bağlı olduğu, bu değerlerin de takım boyutuna, ilerlemeye ve iş mili hızına bağlı olduğunu Jadhav ve ark. (2016) yapmış oldukları araştırmada belirtmişlerdir.

Delme deneylerinde artan ilerleme ile kesme kuvveti, kesme momenti, çap değişimi, çapak yüksekliği ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı, artan dönme devri ile kesme kuvveti, kesme momenti, çap değişimi ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu değişimler göz önünde bulundurularak %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 MMK malzemeler 4 mm çapa sahip WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar kullanılarak 1000 dev/dak dönme devri ve 0,10 mm/dev ilerleme değerlerinde

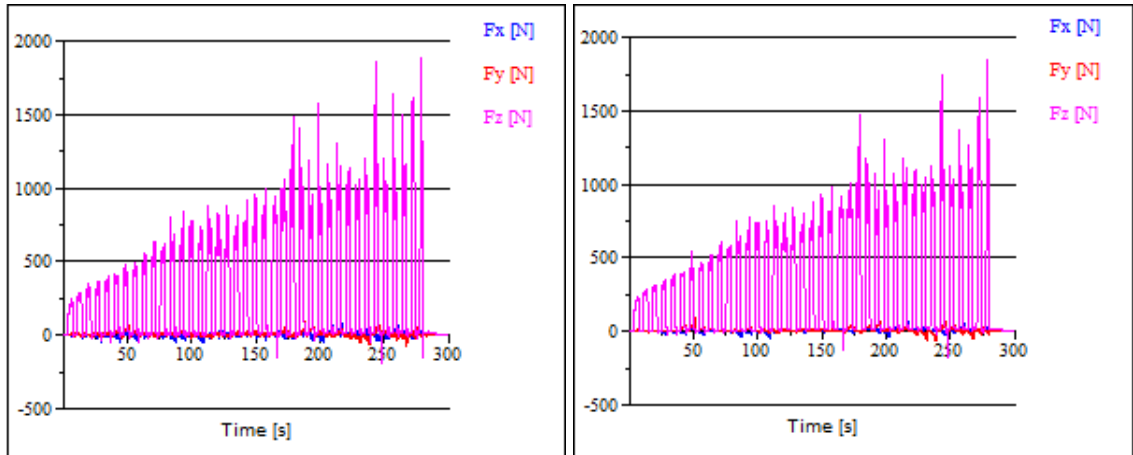
delme deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerde her seferde 10 delik delinmiştir. Delme deneyleri 40. delik delinmesinde sonlandırılmıştır. Artan delik sayısına bağlı kesme kuvveti ve momenti ile takım aşınma değişimi incelenmiştir. Şekil 4.45'te WC kesici takımların aşınma davranışlarını yorumlayabilmek için delik sayısına bağlı olarak elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvet değişim grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.45. WC takımlarda delik sayısına bağlı kuvvet değişim grafiği

Şekil 4.45'te elde edilen grafikler değerlendirildiğinde, ortalama kuvvet değerleri ilk delikten itibaren açılan son deliğe kadar artış gösterdiği görülmektedir. İlk delikte elde edilen ortalama kesme kuvvetinin 200–300 N civarında olduğu, son delikte elde edilen ortalama kesme kuvvetinin ise yaklaşık 1200 N olduğu görülmektedir.

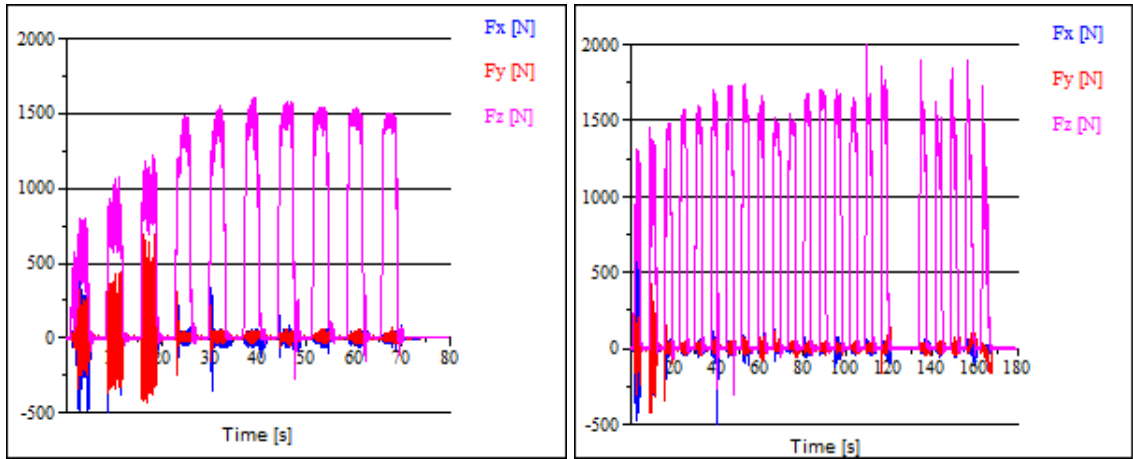
Şekil 4.46'da AlTiN kaplı WC kesici takımların aşınma davranışlarını yorumlayabilmek için delik sayısına bağlı olarak elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvet değişim grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.46. AlTiN kaplı WC takımlarda delik sayısına bağlı kuvvet değişim grafiği

Şekil 4.46’da elde edilen grafikler değerlendirildiğinde, AlTiN kaplı WC kesici takımlarda elde edilen ilk delikteki kesme kuvvetinin 250 N civarında olduğu, son delikte elde edilen ortalama kesme kuvvetinin ise 1000 N civarında olduğu görülmektedir.

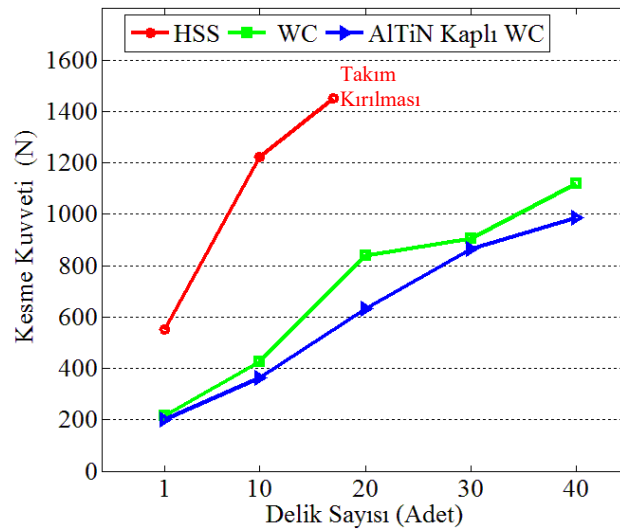
Şekil 4.47’de HSS kesici takımların aşınma davranışlarını yorumlayabilmek için delik sayısına bağlı olarak elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvet değişim grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.47. HSS takımlarda delik sayısına bağlı kuvvet değişim grafiği

Şekil 4.47’de elde edilen grafikler değerlendirildiğinde, HSS kesici takımlarla yapılan 17. delik delme işleminde takımda kırılma meydana gelmiştir. Delme işlemi ile elde edilen ilk delikteki kesme kuvveti 500 N değerinin biraz üzerinde iken, 17. delikte elde edilen ortalama kesme kuvveti 1500 N civarında olduğu görülmektedir.

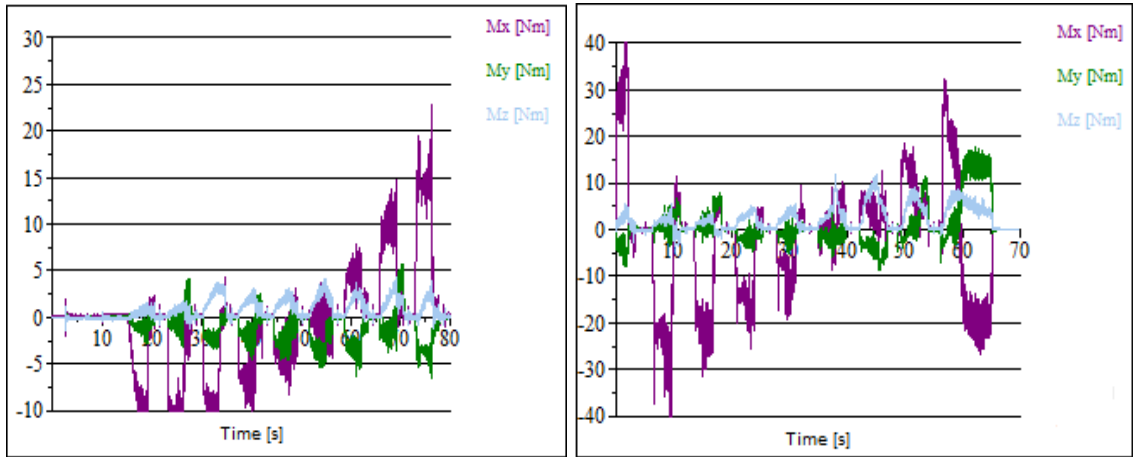
Şekil 4.45–4.47’deki grafikler kullanılarak elde edilen her bir takım için delik sayısı ve delik sayısına bağlı ortalama kesme kuvvet değerleri Şekil 4.48’de verilmiştir.



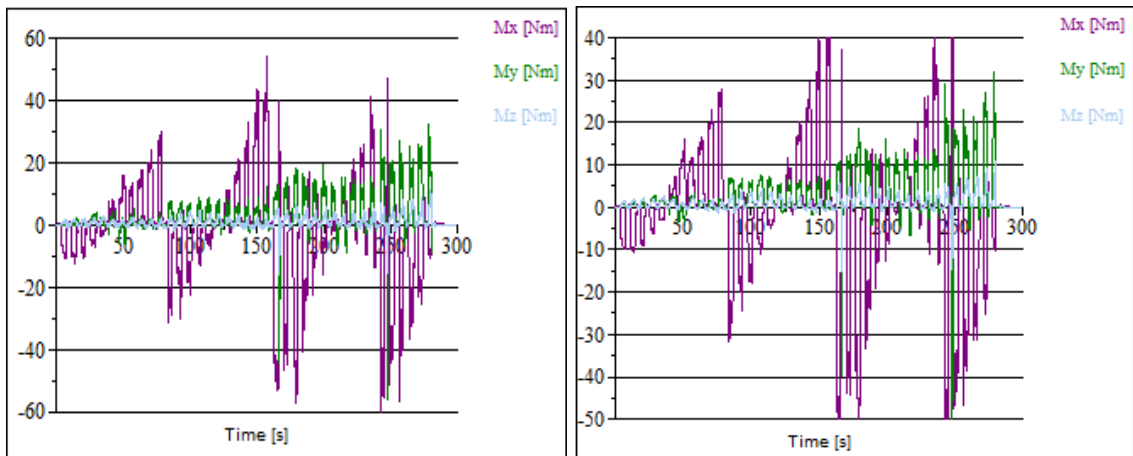
Şekil 4.48. Delik sayısı ve kesici takım cinsine bağlı ortalama kesme kuvveti grafiği

Şekil 4.48’de verilen kesici takım cinsi ve delik sayısına bağlı elde edilen grafik değerlendirildiğinde, tüm takımlarda delik sayısının artması ile birlikte ortalama kesme kuvveti değerleri artmıştır. Deneylerde kullanılan WC, AlTiN kaplı WC ve HSS takımlar arasında en düşük kesme kuvveti değerleri AlTiN kaplı WC takımlarla yapılan delik delme işlemlerinden elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvvet değerleri ise HSS takımlar kullanılarak yapılan delik delme işlemlerinde elde edilmiştir. WC takımlarda elde edilen kesme kuvvet değerleri, HSS takımlardan elde edilen kesme kuvvetlerinden düşük ve AlTiN kaplı WC takımlarda elde edilen kesme kuvvetlerinden biraz daha yüksektir.

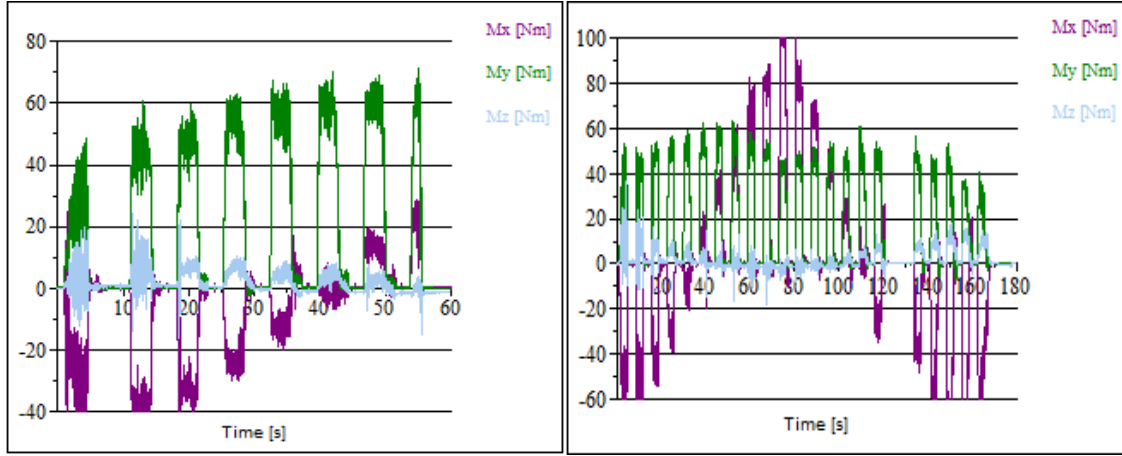
WC, AlTiN kaplı WC ve HSS kesici takımlarla yapılan delme işlemlerinde delik sayısına bağlı olarak elde edilen M_x , M_y , M_z moment değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.49, Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de verilmiştir.



Şekil 4.49. WC takımlarda delik sayısına bağlı moment değişim grafiği



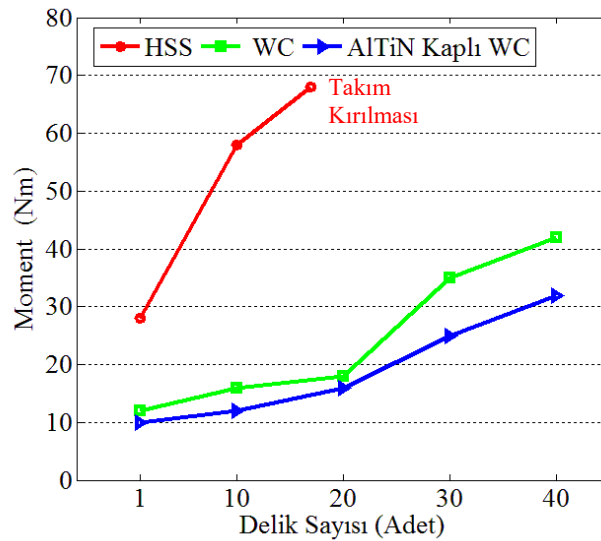
Şekil 4.50. AlTiN kaplı WC takımlarda delik sayısına bağlı moment değişim grafiği



Şekil 4.51. HSS takımlarda delik sayısına bağlı moment değişim grafiği

Şekil 4.49–4.51’deki grafikler değerlendirildiğinde ortalama moment değerlerinin delik sayısı artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. WC kesici takımlar kullanılarak yapılan delik delme işlemlerinde en düşük ortalama moment değeri 12 Nm iken en yüksek ortalama moment değeri 43 Nm olarak hesaplanmıştır. AlTiN kaplı WC kesici takımlar kullanılarak yapılan delik delme işlemlerinde en düşük ortalama moment değeri yaklaşık olarak 10 Nm iken en yüksek ortalama moment değeri yaklaşık 32 Nm olarak hesaplanmıştır. HSS kesici takımlar kullanılarak yapılan delik delme işlemlerinde 17. delikte takım kırılmıştır. HSS takımlarda en düşük ortalama moment değeri yaklaşık olarak 28 Nm iken en yüksek ortalama moment değeri yaklaşık 68 Nm olarak hesaplanmıştır.

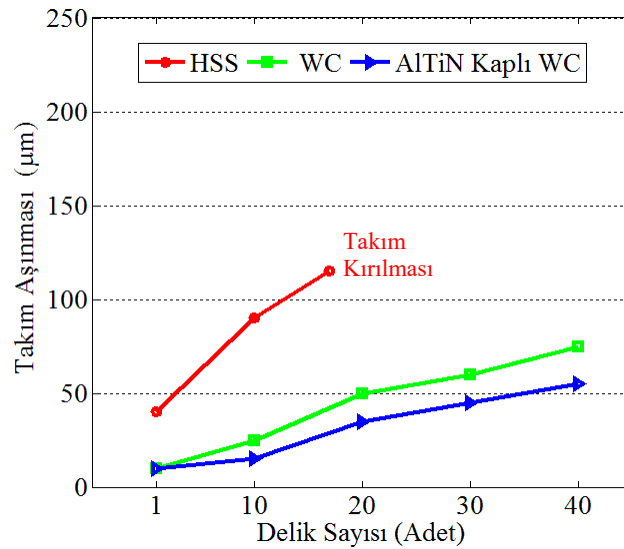
Şekil 4.49–4.51’deki grafikler kullanılarak elde edilen her bir takım için delik sayısı ve delik sayısına bağlı ortalama kesme moment değerleri Şekil 4.52’de verilmiştir.



Şekil 4.52. Delik sayısı ve kesici takım cinsine bağlı ortalama kesme momenti grafiği

Şekil 4.52’de verilen kesici takım cinsi ve delik sayısına bağlı elde edilen grafik değerlendirildiğinde, tüm takımlarda delik sayısının artması ile birlikte ortalama kesme moment değerleri artmıştır. Deneylerde kullanılan WC, AlTiN kaplı WC ve HSS takımlar arasında en düşük moment değerleri AlTiN kaplı WC takımlarla yapılan delik delme işlemlerinde elde edilmiştir. En yüksek moment değerleri ise HSS takımlar kullanılarak yapılan delik delme işlemlerinde elde edilmiştir.

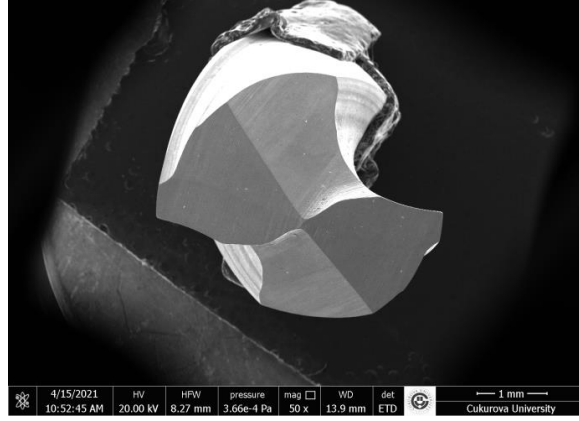
Şekil 4.53’te 1000 dev/dak dönme devri ve 0,10 mm/dev ilerleme parametreleri kullanılarak yapılan delik delme işleminde, kesici takım cinsine ve delik sayısına bağlı takımlarda oluşan aşınma değerleri verilmiştir. Aşınma değerleri SEM görüntüleri alınarak ölçülmüş ve grafik haline getirilmiştir.



Şekil 4.53. Delik sayısı ve kesici takım cinsine bağlı takım aşınma grafiği

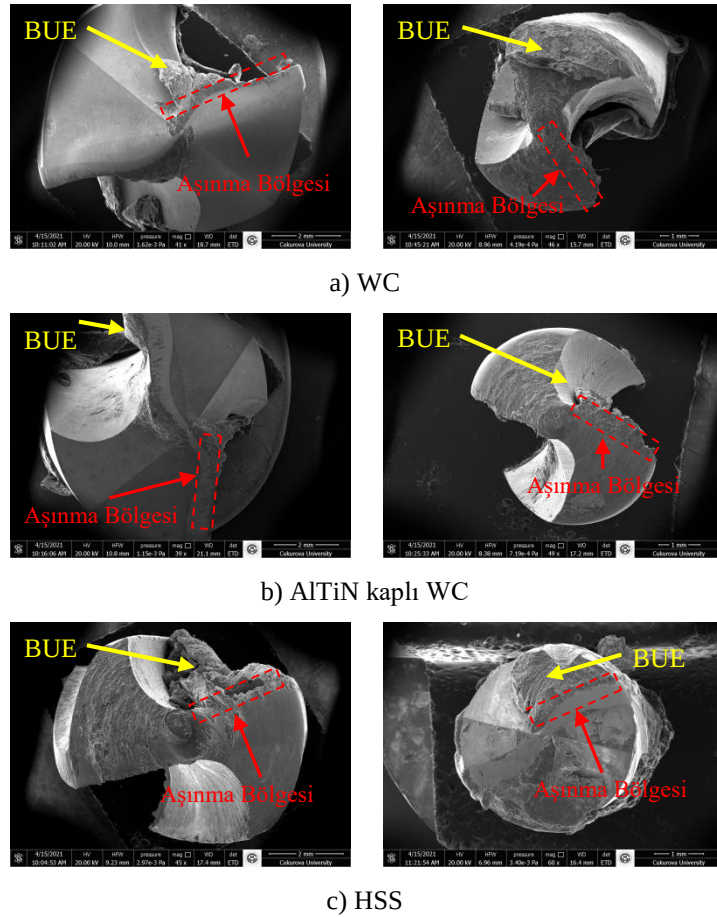
Şekil 4.53’te elde edilen grafik değerlendirildiğinde, tüm kesici takımlarda delik sayısının artması ile birlikte aşınma artmıştır. Deneylerde kullanılan WC, AlTiN kaplı WC ve HSS takımlar arasında en düşük takım aşınması AlTiN kaplı WC takımlarla, en yüksek ise HSS takımlarda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara benzer olarak Bansal ve arkadaşları (2016), kaplamalı takımlardaki takım aşınmasının kaplamasız takımlara göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Takım aşınmasındaki ana neden takıma gelen gerilmelerdir. Takım üzerindeki kuvvetler arttığında plastik deformasyon daha fazla oluşarak takımın hızlı aşınmasına neden olmuştur. Konu hakkında daha ayrıntılı analiz yapabilmek için kesici takımlara ait SEM görüntülerini incelemek gerekmektedir.

Takımlarda oluşan deformasyonların daha net görülmesi için Şekil 4.54’te kullanılmamış takımın SEM görüntüsü referans olarak verilmiştir.



Şekil 4.54. Referans takımın SEM görüntüsü

Şekil 4.55’te 1000 dev/dak dönme devri ve 0,10 mm/dev ilerleme parametreleri seçilerek yapılan delik delme işlemlerinde kullanılan WC, AlTiN kaplı WC ve HSS takımların SEM görüntüleri makro boyutta verilmiştir.

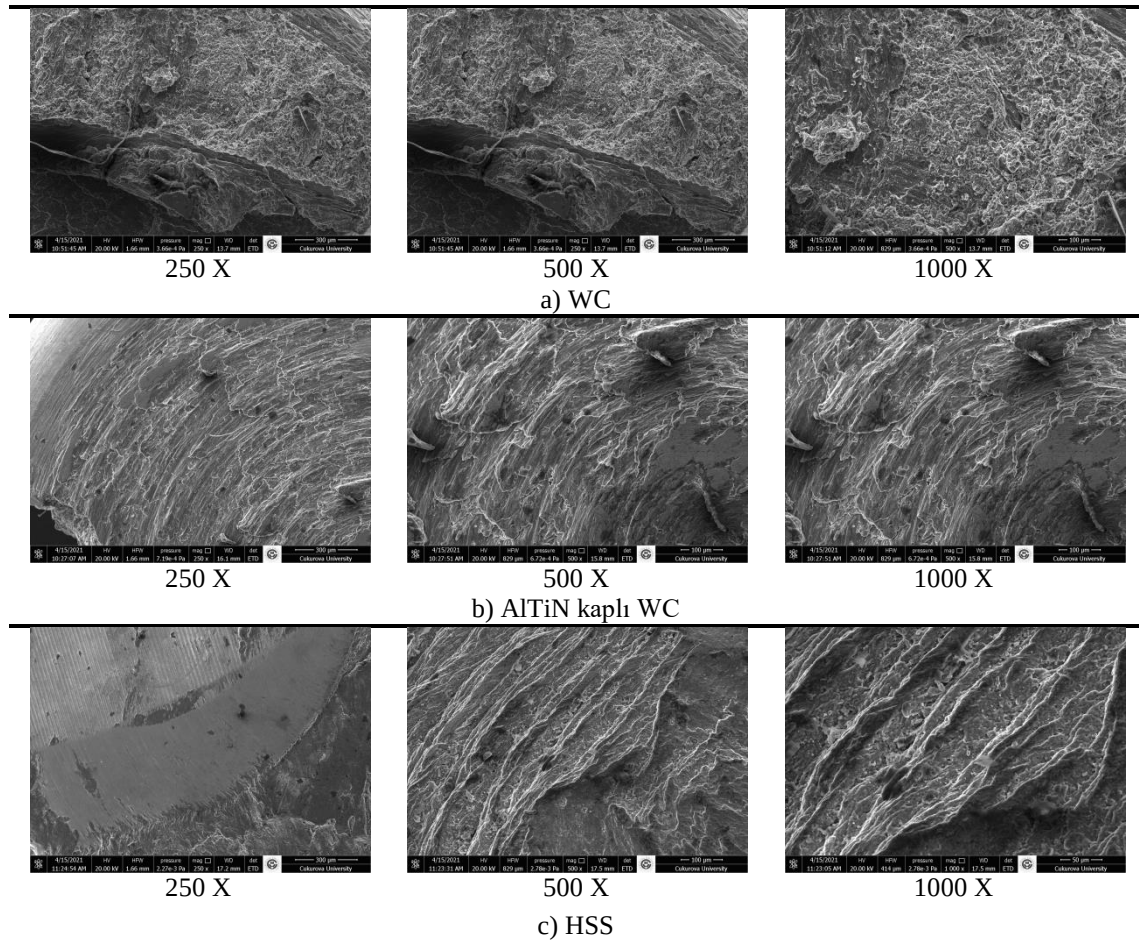


Şekil 4.55. Deneylerde kullanılan takımların makro boyutlu SEM görüntüleri

Şekil 4.55’teki makro boyutlu görüntüler incelendiğinde, delme işlemlerinde kullanılan tüm takımlarda deformasyonlar ve BUE oluşumları gözlenmiştir. Deformasyonlardan ve BUE oluşumlarından en az etkilenen takımlar AlTiN kaplı WC

takımlar olurken en fazla deformasyona uğrayan ve BUE oluşumu gözlenen takımlar ise HSS takımlar olmuştur. Elde ettiğimiz sonuçlara benzer olarak Taskesen ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, kullandıkları takımlarda çoğunlukla abrasiv aşınma ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu gözlemlemişlerdir. Diğer takımlara oranla HSS takımlarda daha yüksek miktarlarda BUE formu oluştuğunu belirtmişlerdir.

Şekil 4.56’da delik delme işlemlerinde kullanılan WC, AlTiN kaplı WC ve HSS takımların sırayla 250X, 500X ve 1000X boyutta SEM görüntüleri alınarak takımlardaki mikro oluşumlar görüntülenmiştir.



Şekil 4.56. Deneylerde kullanılan takımların mikro boyutlu SEM görüntüleri

Şekil 4.56’daki mikro görüntüler incelendiğinde takımlarda abrasif aşınmaların oluştuğu görülmektedir. Das ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada yüksek kesme hızlarında abrasif ve daha düşük kesme hızlarında ise adhezif aşınma mekanizmalarının gözlemlendiğini ifade etmiştir. Kilickap ve ark., (2005), Sharif ve Rahim (2007), Lee ve ark., (2009), Sahoo ve Sahoo (2013), Varghese ve ark., (2019) ve Masooth ve Jayakumar (2020) da yaptığımız çalışmayla uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Deneylerde ağırlıkça %15 SiC takviyeli AlSi7Mg2 kompozitlere WC, AlTiN kaplamalı WC ve HSS matkaplar ile üç farklı ilerleme ve dönme devri değerleri verilerek delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde verilen delme parametrelerinin kesme kuvvetine ve momentine, çap değişimine ve çapak yüksekliğine, yüzey pürüzlülüğüne, talaş biçimi ile morfolojisine ve takım aşınmasına olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Kesme kuvveti ve momenti, artan ilerleme ile artmış ve artan dönme devri ile azalmıştır. Diğer takımlara göre HSS kesici takımlarda daha yüksek kesme kuvveti ve momenti elde edilirken, AlTiN kaplı WC takımlarda daha düşük elde edilmiştir. En düşük kesme kuvveti ve momenti AlTiN kaplı kesici takımların 1500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerleme değerlerinde, en yüksek kesme kuvveti ve momenti ise HSS kesici takımların 500 dev/dak dönme devri ve 0,15 mm/dev ilerleme değerlerinde hesaplanmıştır. Kesme kuvveti ve momenti grafiklerinde elde edilen çizgilerin eğimine bakıldığında en etkili parametrenin kesici takım cinsi olduğu, bunu ilerleme ve dönme devrinin takip ettiği görülmüştür.
2. Delme deneylerinden elde edilen çap değişim değerlerine göre ilerlemenin artması ile çap değişiminin arttığı, dönme devrinin artması ile çap değişiminin azaldığı görülmüştür. Çap değişiminin en az olduğu değer, AlTiN kaplı WC takımla 1500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerleme ile yapılan delme deneylerinden elde edilmiştir. Kullanılan takımlara bakıldığı zaman ilerleme hızlarına göre çap değişimlerine en çok etki eden takımın HSS kesici takım olduğu gözlemlenmiştir.
3. Düşük ilerleme değerlerine göre yüksek ilerleme değerlerinde delinen deliklerin çıkış bölgesinde oluşan çapakların daha yüksek olduğu, dönme devrinin artmasıyla çapak yüksekliğinin daha da arttığı tespit edilmiştir. Takımların cinsine bağlı olarak ise en düşük çapak yüksekliği AlTiN kaplı WC takımlarla, en yüksek ise HSS takımlarda oluşmuştur. En düşük çapak yüksekliği AlTiN kaplı kesici takımların 500 dev/dak dönme devri ve 0,05 mm/dev ilerleme değerlerinden, en yüksek ise HSS kesici takımların 1500 dev/dak dönme devri ve 0,15 mm/dev ilerleme değerlerinden elde edilmiştir.
4. Kesme kuvveti, kesme momenti ve çap değişiminde olduğu gibi ortalama yüzey pürüzlülüğünde de artan ilerleme pürüzlülük değerini arttırmış, artan dönme devri

ise pürüzlülük değerini azaltmıştır. AlTiN kaplı WC takımlarla yapılan delme deneylerinde daha iyi yüzey kalitesi elde edilirken, HSS takımlarla yapılan deneylerde daha kötü yüzey kalitesi elde edilmiştir.

5. SEM görüntüleri ile elde edilen talaş morfolojik bulguları değerlendirildiğinde, kompozit malzemelerin işlenmesinde, parametrelere bağlı olarak talaş yapılarında değişimler meydana geldiği görülmüştür. Düşük dönme devri ve ilerlemede oluşan talaşlar çaplarının daha düşük olduğu ve talaş yapılarının daha düzenli olduğu görülmüştür. İlerlemenin artması ile talaş çaplarının arttığı ve talaş yapılarında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Talaşlar mikro ölçekli morfolojik olarak incelendiğinde, talaş yüzeylerinde kesici takımlara ait izlerin oluştuğu görülmüştür. Bu izleri takip eden mikro ölçekli kırılmalar, çatlaklar, ara boşluklar ve ince oyuk şekillerinin varlığı dikkat çekmiştir. Talaşların serbest yüzeylerinde mikro ölçülerde testere diş oluşumları gözlenmiştir.
6. Takım aşınması analizlerinde, artan delik sayısına bağlı olarak kesici takımlara gelen kesme kuvveti ve moment değerlerinin arttığı ve bu kuvvet ve momentlerin kesici takımda plastik deformasyon oluşturarak takımın aşınmasına sebebiyet verdiği görülmüştür. Dolayısıyla artan delik sayısına bağlı olarak takım aşınması artmıştır. Daha yüksek kesme kuvveti ve momentine maruz kalan kesici takımda daha yüksek deformasyon ve aşınma gözlemlenmiştir. En düşük takım aşınması AlTiN kaplı WC takımlarda, en yüksek ise HSS takımlarda elde edilmiştir. Kesici takımlara ait SEM analizlerinde makro ve mikro boyutlu görüntüler incelendiğinde, delme işlemlerinde kullanılan tüm takımlarda deformasyonlar ve BUE oluşumları gözlenmiştir.

5.2. Öneriler

MMK malzemelerin işlenmesinde karşılaşılan sorunların başında SiC gibi seramik takviye elemanlarının kesici takım malzemesini daha hızlı deformasyona uğratması ve takımın kullanım ömrünü azaltmasıdır. Bu tür malzemelere uygulanacak talaş kaldırma işlemlerinde kullanılacak takımların kullanım ömürlerini artırmak için farklı soğutma sıvılarının kullanılması araştırılabilir. Ayrıca deney tasarım ve optimizasyon teknikleri kullanılarak daha fazla parametre daha düşük deney sayısı ile incelenerek işleme parametrelerinin işlem sonucuna etkisi analiz edilebilir ve işlem parametrelerinin matematiksel modeli çıkartılabilir.

KAYNAKLAR

- Arif, S., 2018, Experimental investigation of processes and properties of aluminum matrix composites, *The Degree of Doctor of Philosophy, Department of Mechanical Engineering Aligarh Muslim University, Aligarh*, 163 p.
- Arunachalam, R., Krishnan, P. K. and Muraliraja, R., 2019, A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges, and research opportunities, *Journal of Manufacturing Processes*, 42, 213–245.
- Bai, W., Roy, A., Sun, R. and Silberschmidt, V. V., 2019, Enhanced machinability of SiC-reinforced metal-matrix composite with hybrid turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 268, 149–161.
- Balasubramanian, M., 2016, Introduction to composite materials, *Fibrous and Textile Materials for Composite Applications*, (pp. 1–38), Springer, Singapore.
- Bansal, P. and Upadhyay, L., 2016, Effect of turning parameters on tool wear, surface roughness and metal removal rate of alumina reinforced aluminum composite, *Procedia Technology* 23, 304–310.
- Barzani, M. M., 2019, Machinability of Al-20Mg₂Si-Cu metal matrix composite modified with bismuth or barium, *The Degree of Doctor of Philosophy, École de Technologie Supérieure Université Du Quebec*, Montreal, 147 p.
- Başar, G., Kahraman, F. and Önder, G. T., 2019, Mathematical modeling and optimization of milling parameters in AA 5083 aluminum alloy, *European Mechanical Science*, 3 (4), 159–163.
- Bhushan, R. K., 2020, Optimization of tool wear parameters in machining AA7075/SiC composite, *Composites Part C: Open Access*, 2, 100035.
- Çakır, M. C., 2006, Modern metal cutting: Modern talaşlı imalatın esasları, Nobel yayın dağıtım, Ankara.
- Çelik, Y. H., Demir, M. E., Kilickap, E. and Kalkanli, A., 2020, Investigation of wear behavior of aged and non-aged SiC-reinforced AlSi7Mg2 metal matrix composites in dry sliding conditions, *Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42 (1), 1-9.
- Daniel, S. A. A., Pugazhenthir, R., Kumar, R. and Vijayananth, S., 2019, Multi objective prediction and optimization of control parameters in the milling of aluminium hybrid metal matrix composites using ANN and Taguchi-grey relational analysis, *Defence Technology*, 15 (4), 545–556.
- Das, D., Pradhan, S. K., Sahoo, A. K., Panda, A., Satpathy, M. P. and Samal C., 2020, Tool wear and cutting force investigations during turning 15 wt% SiC_p-Al 7075 metal matrix composite, *Materials Today: Proceedings*, 26 (2), 854–859.

- Demiralp, M., 2020, Production and characterization of Aluminum matrix composites for small-scale unmanned aircraft engine pistons, Master of Science, *Middle East Technical University Metallurgical and Materials Engineering Department*, Ankara, 85 p.
- Ekici, E., Motorcu, A. R. and Uzun, G., 2017, An investigation of the effects of cutting parameters and graphite reinforcement on quality characteristics during the drilling of Al/10B₄C composites, *Measurement*, 95, 395–404.
- Graves, A., Norgren, S., Crawforth, P. and Jackson M., 2020, Surface roughness response to drilling of Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr using Ti-AlN PVD coated and uncoated WC/Co tools, *Procedia CIRP*, 8, 170–175.
- Grzesik, W., 2008, Advanced machining processes of metallic materials, theory, modelling and application, (pp. 27–48). Elsevier. doi:10.1016/b978-008044534-2.50006-0.
- Gupta, R., Mitchell, D., Blanche, J., Harper, S., Tang, W., Pancholi, K., Baines, L., Bucknall, D. G. and Flynn, D., 2021, A review of sensing technologies for non-destructive evaluation of structural composite materials, *Journal of Composites Science*, 5 (12), 319.
- Güneş, D., 2010, Al Matrisli SiCp takviyeli kompozit ile Ç1030 çeliğinin sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 129 s.
- Jadhav, S., Sankpal, J., Chaudhari, M. and Patil, N., 2016, A Review on drilling of metal matrix composites, *International Journal of Current Engineering and Technology*, E-ISSN 2277 – 4106, P-ISSN 2347–5161.
- Jadhav, S. S., Kakde, A. S., Patil, N. G. and Sankpal, J. B., 2018, Effect of cutting parameters, point angle and reinforcement percentage on surface finish, in drilling of Al6061/ Al₂O_{3p} MMC, *Procedia Manufacturing*, 20, 2–11.
- Juliyana, S. J. and Prakash, J. U., 2020, Drilling parameter optimization of metal matrix composites (LM5/ZrO₂) using Taguchi Technique, *Materials Today: Proceedings*, 33 (7), 3046–3050.
- Kabaklı, E., 2009, Optimization of process parameters of drilling using the Taguchi method, MSc Thesis, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 102s.
- Kannan, A., Mohan, R., Viswanathan, R. and Sivashankar, N., 2020, Experimental investigation on surface roughness, tool wear and cutting force in turning of hybrid (Al7075 + SiC + Gr) metal matrix composites, *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (6), 16529–6540.
- Karabulut, Ş., Gökmen, U. and Çinici, H., 2018, Optimization of machining conditions for surface quality in milling AA7039-based metal matrix composites, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 1071–1082.

- Kaya, A. İ., 2016, Kompozit malzemeler ve özellikleri, *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38–45.
- Kılıçkap, E., 2003, AlSi7Mg2/SiCp metal matriksli kompozitlerin talaşlı işlenmesinin araştırılması, Doktora tezi, *Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 251s.
- Kilickap, E., Çakır, O., Aksoy, M. and İnan, A., 2005, Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite, *Journal of Materials Processing Technology*, 164–165, 862–867.
- Kılıçlı, V., Motorcu, A. R., Erdoğan, M. ve Şahin, Y., 2004, Farklı mikroyapılara sahip AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş atılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi, *On Birinci Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, 875–890.
- Kishore, D. S. C., Rao, K. P., Basha, S. M. J. and Rao, B. J. P., 2018, Investigation of surface roughness in turning of in-situ Al6061-TiC metal matrix composite by Taguchi and prediction of response by ANN, *Materials Today: Proceeding*, 5 (9/3), 18070–18079.
- Kopac, J. and Bahor, M., 1999, Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, 381–387.
- Lee, C. H., Khalina, A. and Lee, S. H., 2021, Importance of interfacial adhesion condition on characterization of plant-fiber-reinforced polymer composites: A review, *Polymers*, 13 (3), 438.
- Lee, S. M., Chow, H. M., Huang, F. Y. and Yan, B. H., 2009, Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN- and TiAlN-coated tungsten carbide tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49, 81–88.
- Lingamurthy, K., Manjunatha, T. H., Joshi, R., Basavaraja, Y. and Anilkumar, H. M., 2018, Drilling parameters optimization and characterization of Al7075 reinforced with Al₂O₃, *Materials Today: Proceedings*, 5 (11/3), 25092–25101.
- Mahamani, A., 2014, Experimental investigation on drilling of AA2219-TiB₂/ZrB₂ in-situ metal matrix composites, *Procedia Materials Science*, 6, 950–960.
- Marimuthu, S., Dunleavy, J., Liu, Y., Smith, B., Kiely, A. and Antar, M., 2019, Characteristics of hole formation during laser drilling of SiC reinforced aluminium metal matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 271, 554–567.
- Masooth, P. H. S. and Jayakumar, V., 2020, Experimental investigation on surface finish of drilled hole by TiAlN, TiN, AlCrN coated HSS drill under dry conditions, *Materials Today: Proceedings*, 22 (3), 315–321.

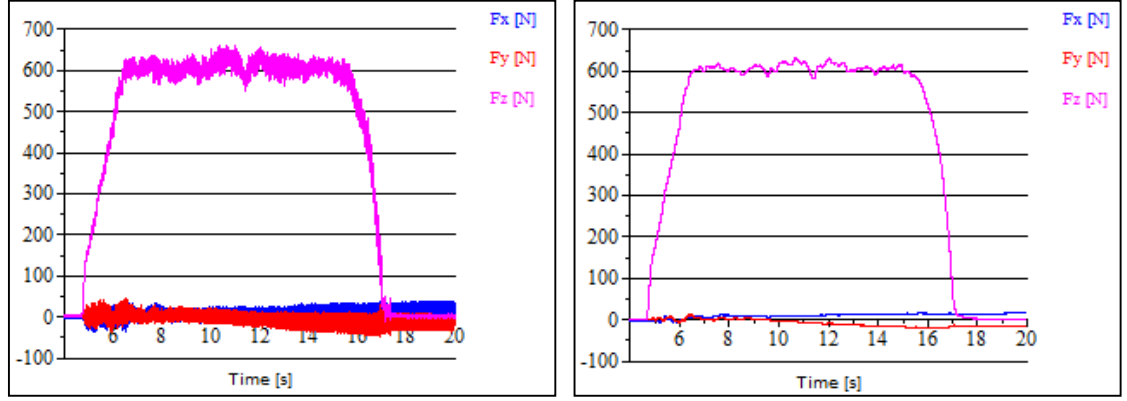
- Mistry, J. M. and Gohil P. P., 2018, Research review of diversified reinforcement on aluminum metal matrix composites: fabrication processes and mechanical characterization, *Science and Engineering of Composite Materials*, 25 (4), 633–647.
- Okay, F. ve Islak S., 2021, Alüminyum matrisli bor karbür takviyeli kompozit malzemeye uygulanan delik delme işleminde kesme parametrelerinin etkileri, *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 2 (1), 14–22.
- Özçatalbaş, Y., 2020, Çeliklerin işlenebilirliği: kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi, *Politeknik Dergisi*, 23 (2), 457–482.
- Özben, T., 2001, Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen seramik partikül takviyeli Al-Si esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 82 s.
- Palanikumar, K. and Muniaraj A., 2014, Experimental investigation and analysis of thrust force in drilling cast hybrid metal matrix (Al–15%SiC–4%graphite) composites, *Measurement*, 53, 240–250.
- Prakash, J. U., Rubi, C. S., Rajkumar, C. and Juliyana, S. J., 2021, Multi-objective drilling parameter optimization of hybrid metal matrix composites using grey relational analysis, *Materials Today: Proceedings*, 39 (4), 1345–1350.
- Prasad, N., 2006, Development and characterization of metal matrix composite using red mud an industrial waste for wear resistant applications, *Doctor of Philosophy, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela, India*, 193 p.
- Pul, M. ve Baydaroğlu, V., 2020, B₄C/SiC katkılı alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerin incelenmesi ve balistik performanslarının modellenmesi, *Politeknik Dergisi*, 23 (2), 383–392.
- Rajmohan, T., Palanikumar, K. and Davim, J. P., 2012, Analysis of surface integrity in drilling metal matrix and hybrid metal matrix composites, *Journal of Materials Science & Technology*, 28 (8), 761–768.
- Ramasubramanian, K., Arunachalam, N. and Ramachandra Rao, M. S., 2019, Wear performance of nano-engineered boron doped graded layer CVD diamond coated cutting tool for machining of Al-SiC MMC, *Wear*, 426, 1536–1547.
- Rana, S. K. and Lata, S., 2018, GA based optimization of process parameters for drilling on Al-MgO metal matrix composite, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2/1), 5837–5844.
- Rao, G. M., Dilkush. and Gopal, A. V., 2021, Effect of physical vapour deposition coated and uncoated carbide tools in turning aluminium alloy-AA6063, *Materials Today: Proceedings*, 41 (5), 1212–1219.

- Ravindranath, V. M., Shankar, G. S. S., Basavarajappa, S. and Suresh, R., 2017, Optimization of Al/B₄C and Al/B₄C/Gr MMC drilling using Taguchi approach, *Materials Today: Proceedings*, 4 (10), 11181–11187.
- Sahoo, A. K. and Sahoo, B., 2013, A comparative study on performance of multilayer coated and uncoated carbide inserts when turning AISI D2 steel under dry environment, *Measurement*, 46, 2695–2704.
- Salur, E., Aslan, A., Kuntoglu M., Gunes, A. and Sahin, O. S., 2019, Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling, *Composites Part B*, 166, 401–413.
- Samtaş, G. ve Korucu, S., 2019, Temperlenmiş alüminyum 5754 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin Taguchi metodu kullanılarak optimizasyonu, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (1) 45–60.
- Sharif, S. and Rahim, E. A., 2007, Performance of coated- and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V, *Journal of Materials Processing Technology*, 185, 72–76.
- Singh, B., Kumar, R. and Chohan, J. S., 2020, Polymer matrix composites in 3D printing: A state of art review, *Materials Today: Proceedings*, 33 (3), 1562–1567.
- Skoczypieca, S., Bizoña, W. and Podolak-Lejtas, A., 2020, Selected aspects of electrodischarge milling of aluminum alloy-based metal matrix composite with SiC reinforcement, *Procedia Manufacturing*, 47, 795–798.
- Song, J. R., Hu, W. W., Dong, S. G. and Giang, W. S., 2016, Experimental investigation on machinability of in situ formed TiB₂ particles reinforced Al MMCs, *Journal of Manufacturing Processes*, 23, 249–257.
- Suthar, J. and Patel, K., 2020, Tool wear and chip formation analysis of aluminium hybrid metal matrix composite, *Materials Today: Proceedings*, 32 (3), 422–430.
- Taskesen, A. and Kutukde, K., 2013, Analysis and optimization of drilling parameters for tool wear and hole dimensional accuracy in B₄C reinforced Al-alloy, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23 (9), 2524–2536.
- Thakre, A. A. and Soni, S., 2016, Modeling of burr size in drilling of aluminum silicon carbide composites using response surface methodology, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19 (3), 1199–1205.
- Topcu, I., Gulsoy, H. O., Kadioglu, N. and Gulluoglu, A. N., 2009, Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 482 (1/2), 516–521.
- Umamaheswarrao, P., Sankar, B. R. and Nancharaiah, T., 2020, Multi objective optimization of process parameters of Al 6061-SiCp metal matrix composite in end milling–Hybrid GRA-PCA approach, *Materials Today: Proceedings*, 26 (2), 696–700.

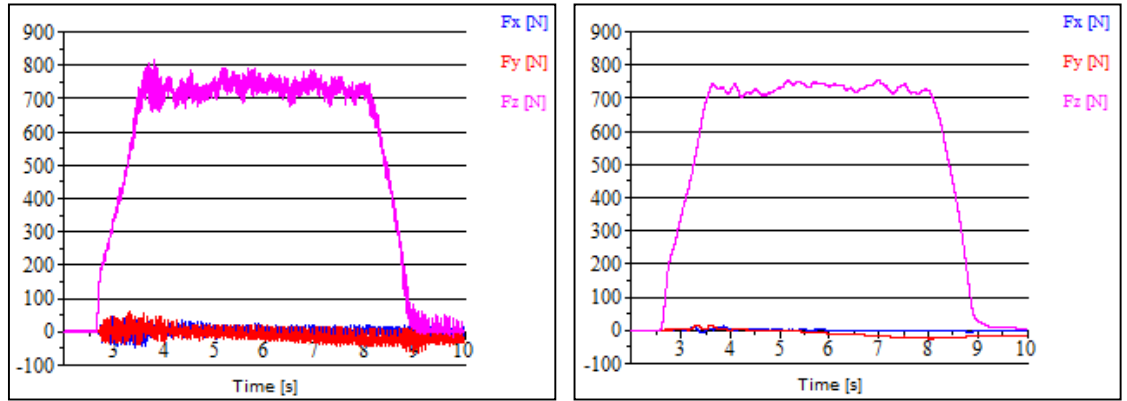
- Varghese, V., Akhil, K., Ramesha, M. R. and Chakradharb D., 2019, Investigation on the performance of AlCrN and AlTiN coated cemented carbide inserts during end milling of maraging steel under dry, wet and cryogenic environments, *Journal of Manufacturing Processes*, 43 (A), 136–144.
- Yılmaz, T., 2019, Development of functionally graded aluminum matrix composite materials for defense industry applications, Master of Science, *Middle East Technical University Metallurgical and Materials Engineering Department*, Ankara, 122 p.
- Youssef, H. A., 2016, Machining of stainless steels and super alloys, Traditional and Nontraditional Techniques, ISBN: 978-1-118-91956-9.
- Xiang, J., Xie, L., Gao, F., Yi, J., Pang, S. and Wang, X., 2018, Diamond tools wear in drilling of SiCp/Al matrix composites containing copper, *Ceramics International*, 44 (5), 5341–5351.
- Zhang, L., Shi, J., Shen, C., Zhou, X., Peng, S. and Long, X., 2017, B₄C-Al composites fabricated by the powder metallurgy process, *Applied Sciences*, 7, 1–14.

EKLER

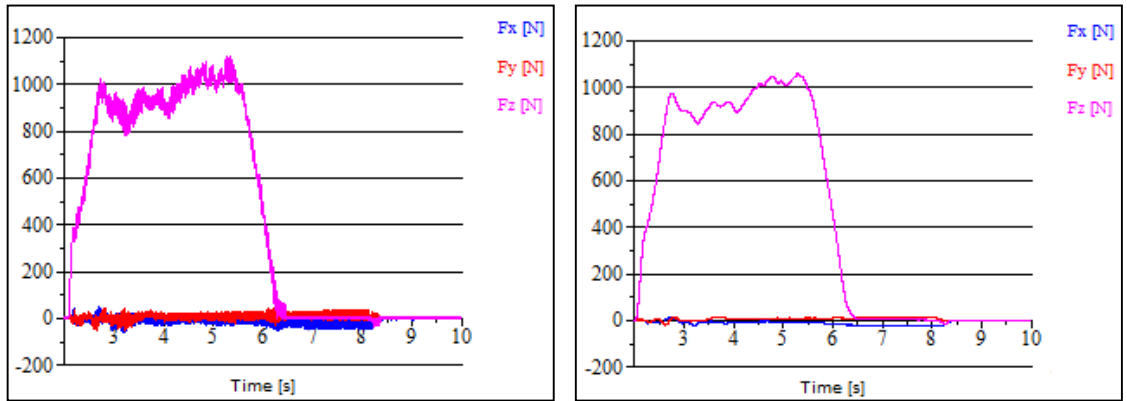
EK-1 Kompozitlerin delinmesinde elde edilen kuvvet-zaman grafikleri



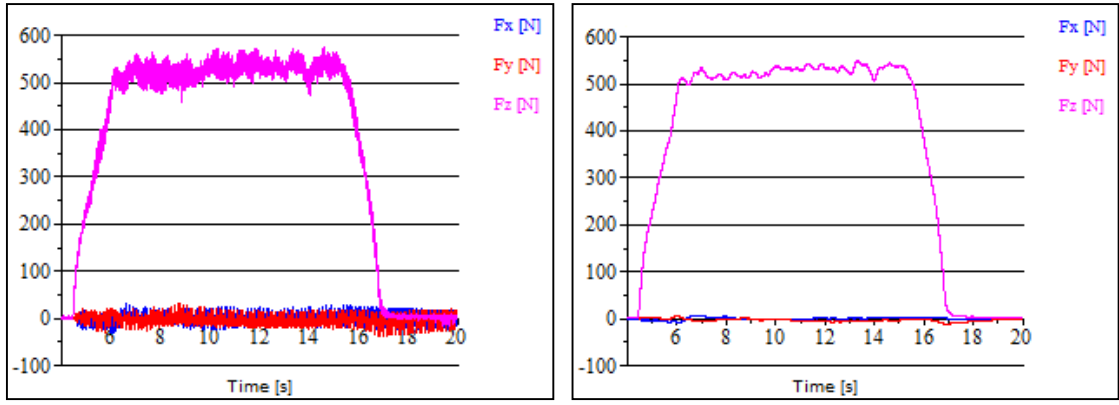
Şekil 1. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



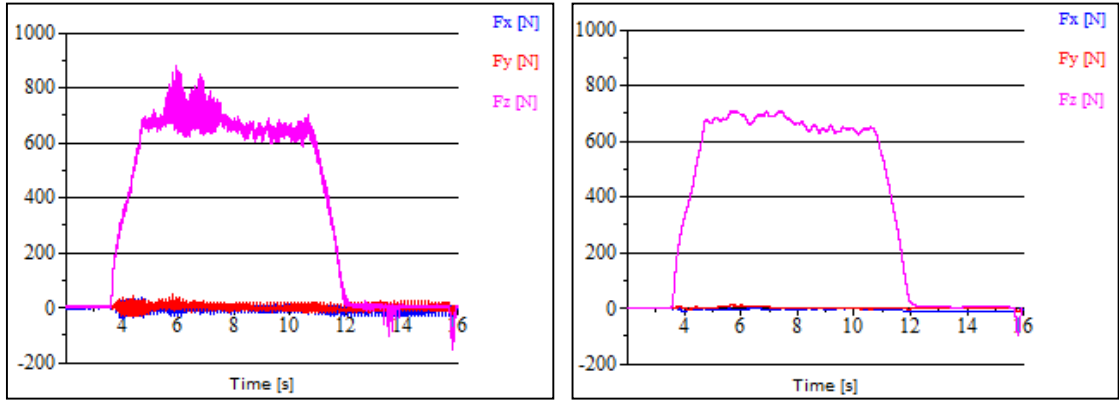
Şekil 2. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



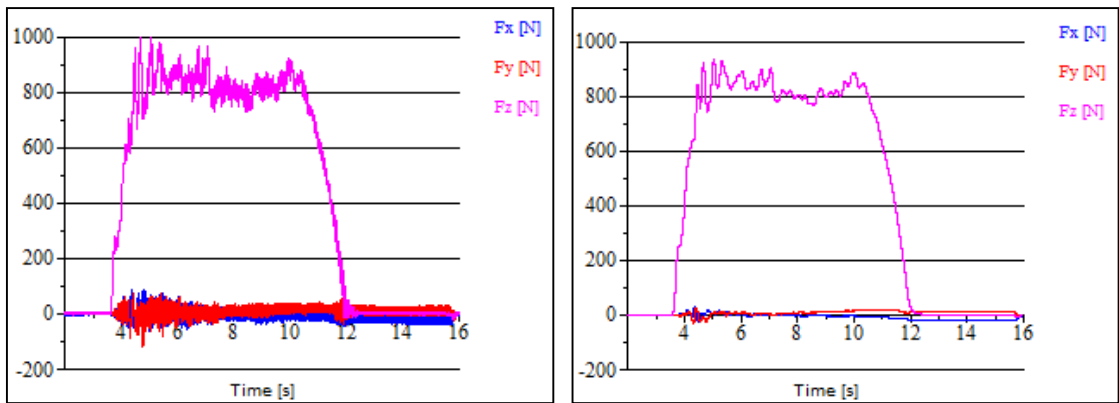
Şekil 3. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



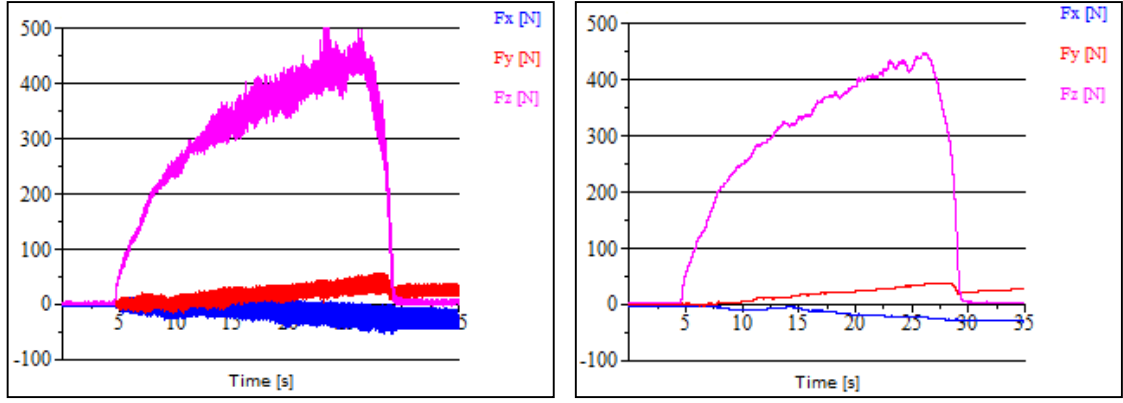
Şekil 4. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,5 mm/dev



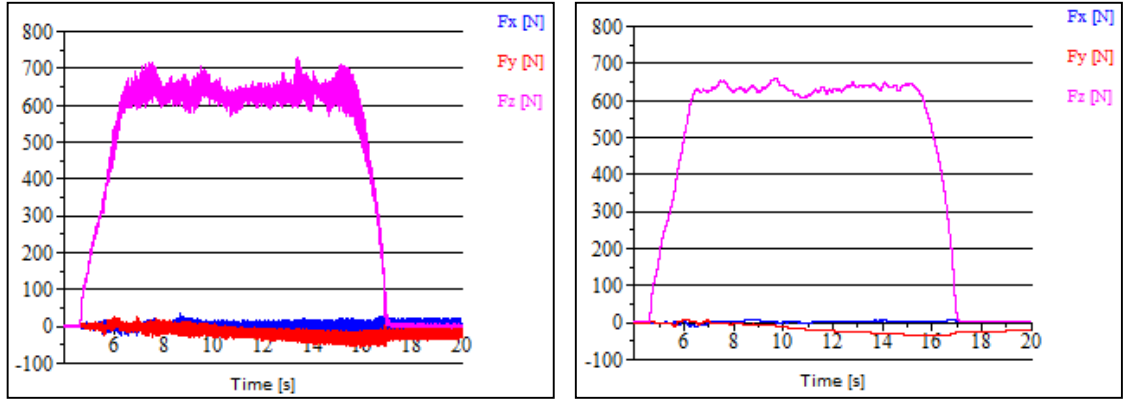
Şekil 5. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



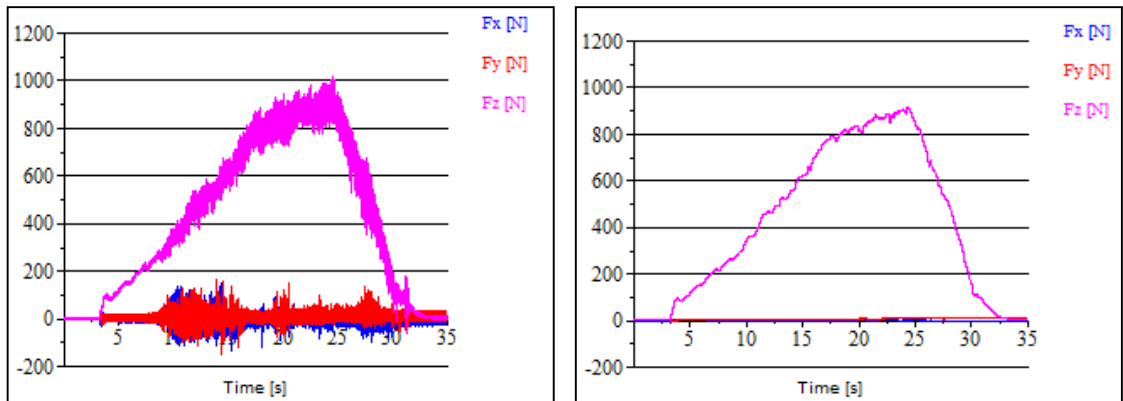
Şekil 6. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



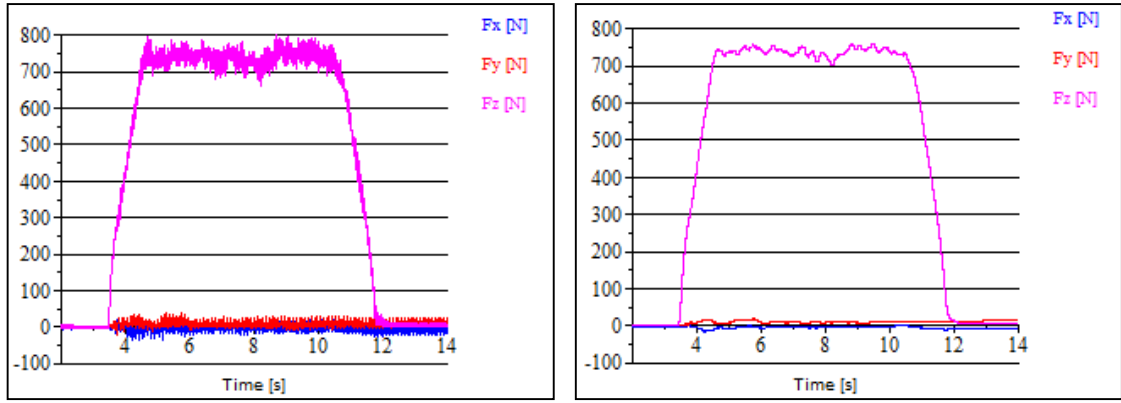
Şekil 7. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



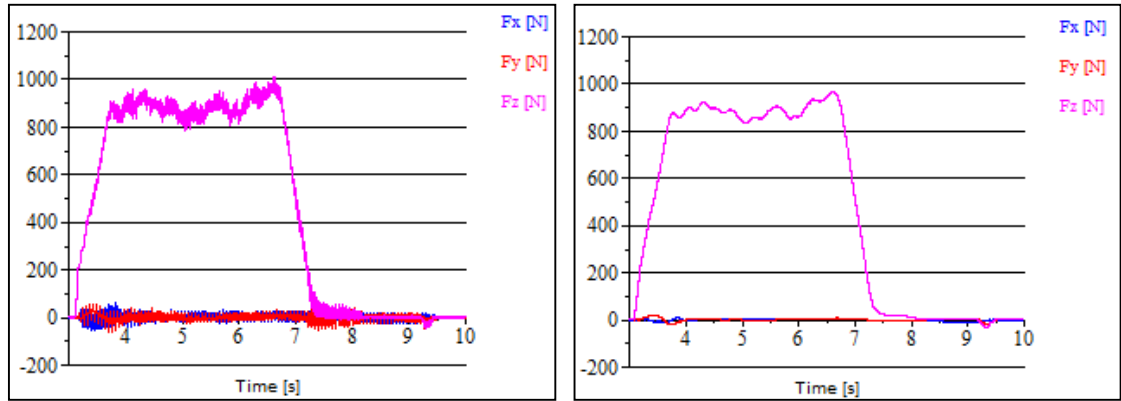
Şekil 8. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



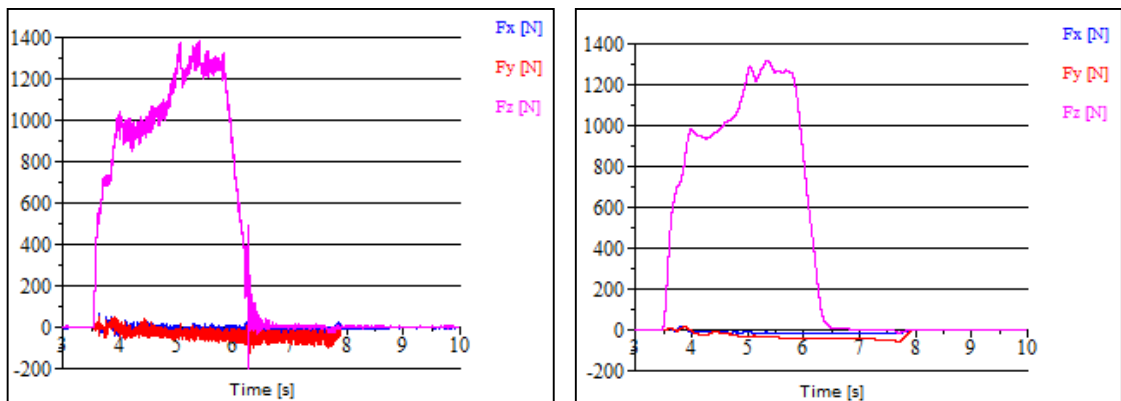
Şekil 9. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



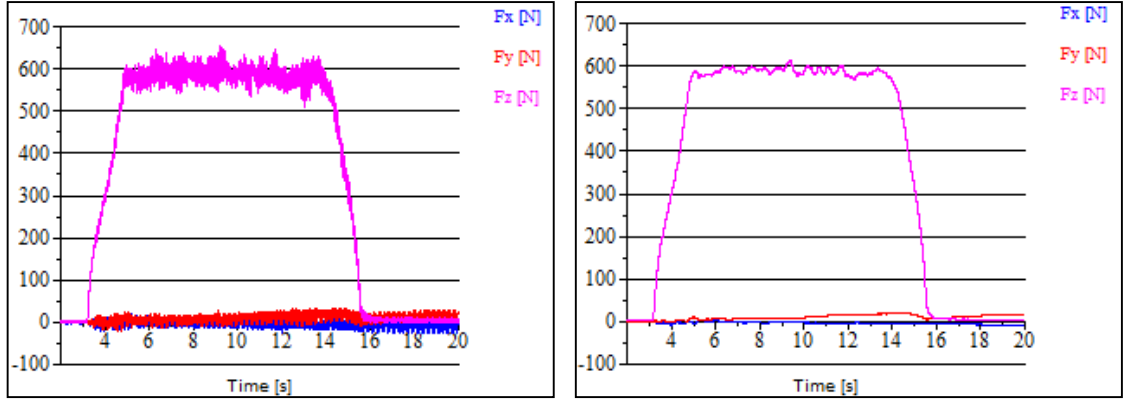
Şekil 10. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



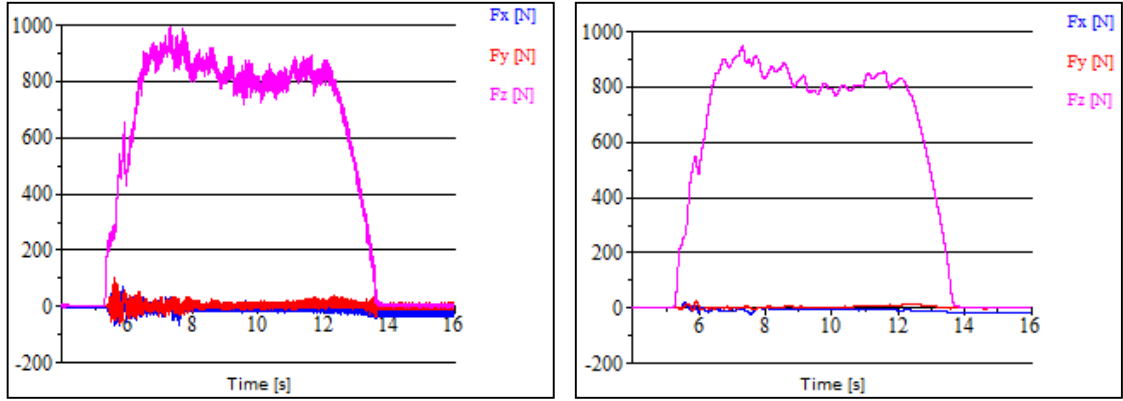
Şekil 11. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



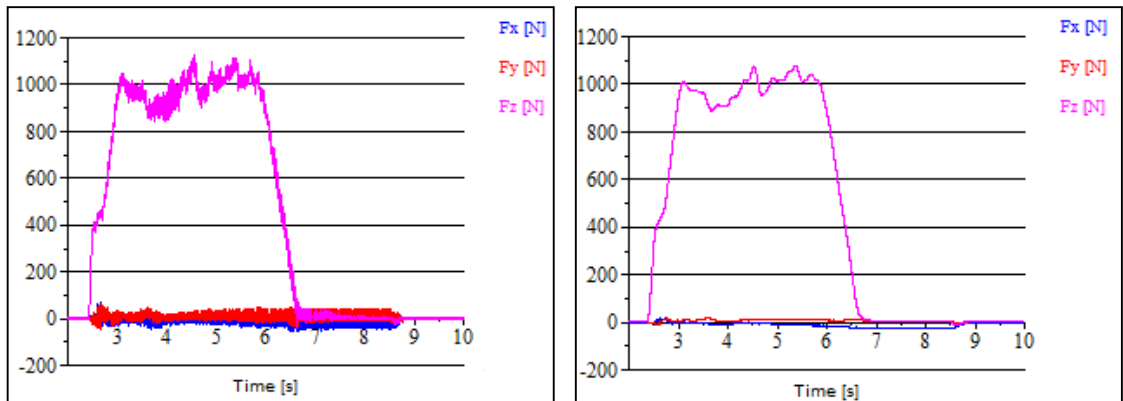
Şekil 12. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



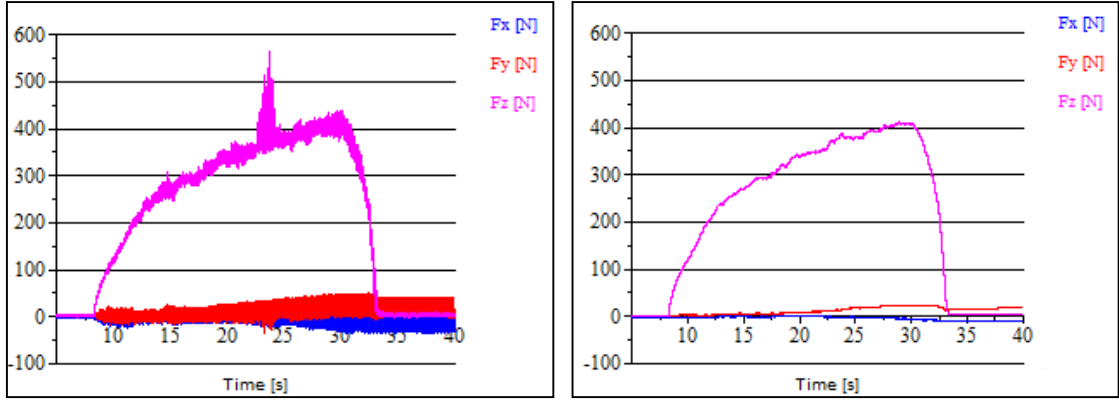
Şekil 13. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



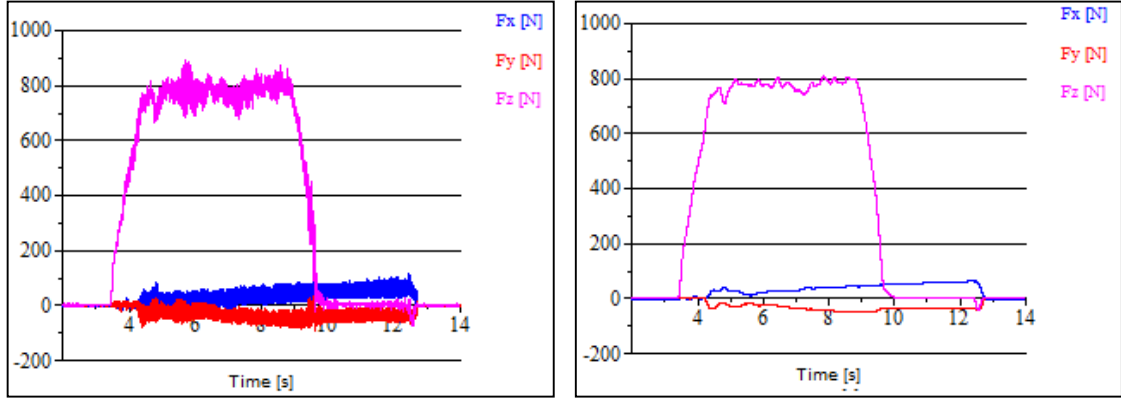
Şekil 14. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



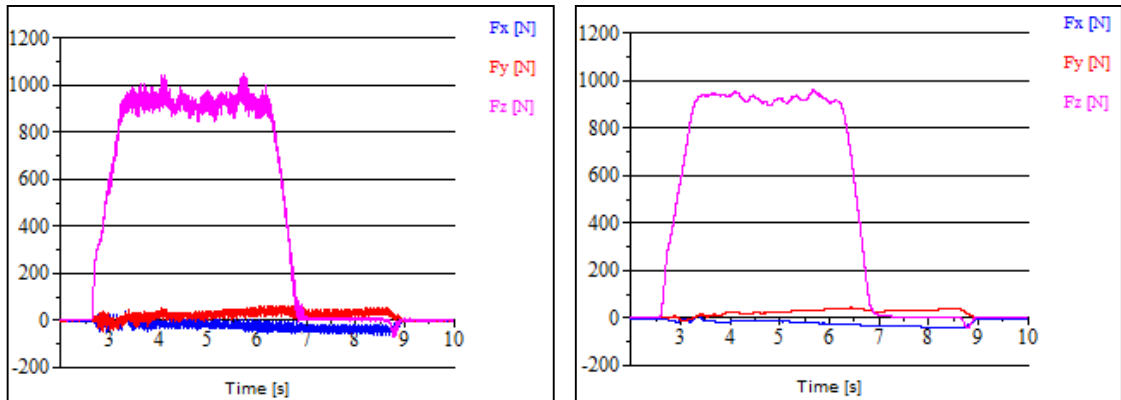
Şekil 15. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



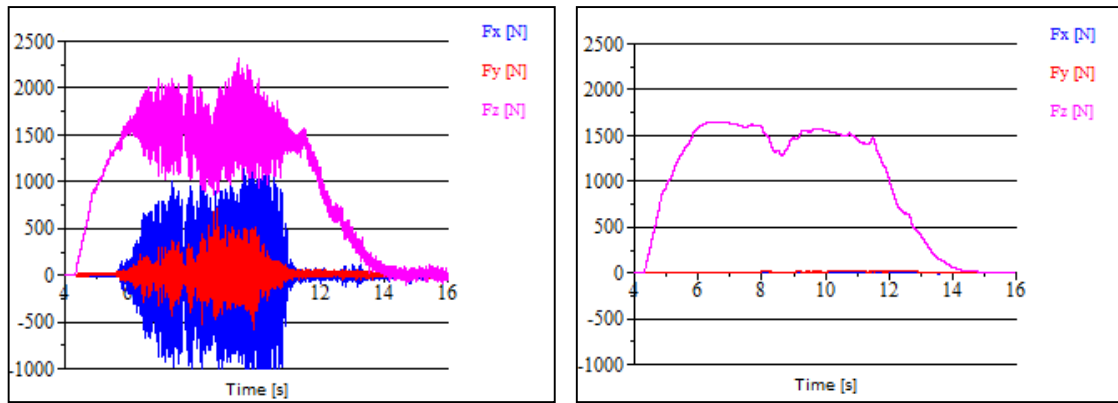
Şekil 16. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



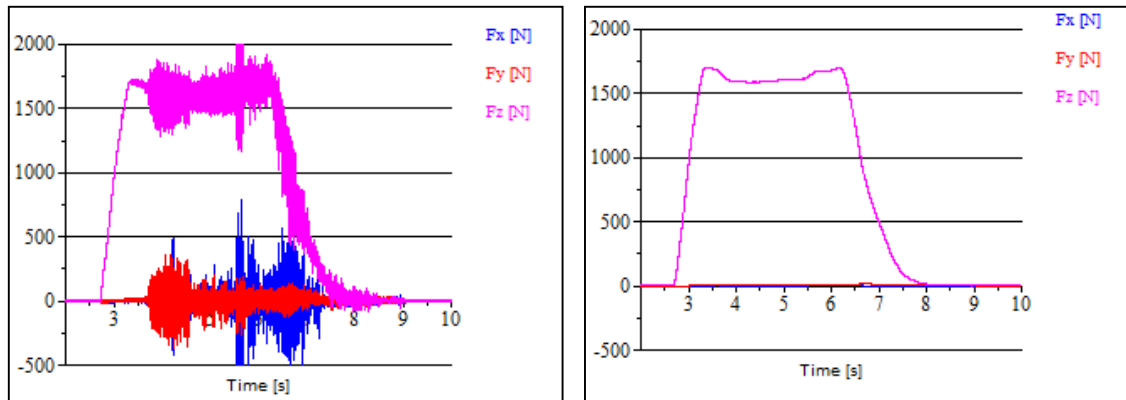
Şekil 17. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



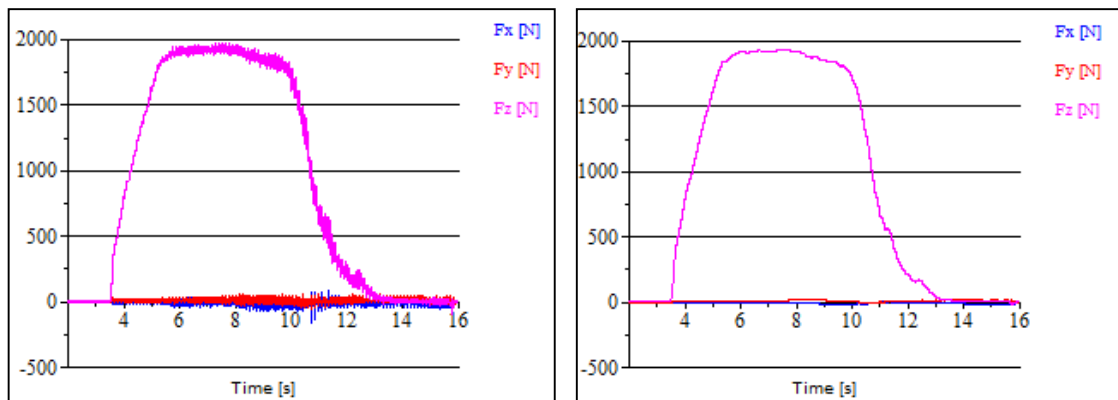
Şekil 18. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



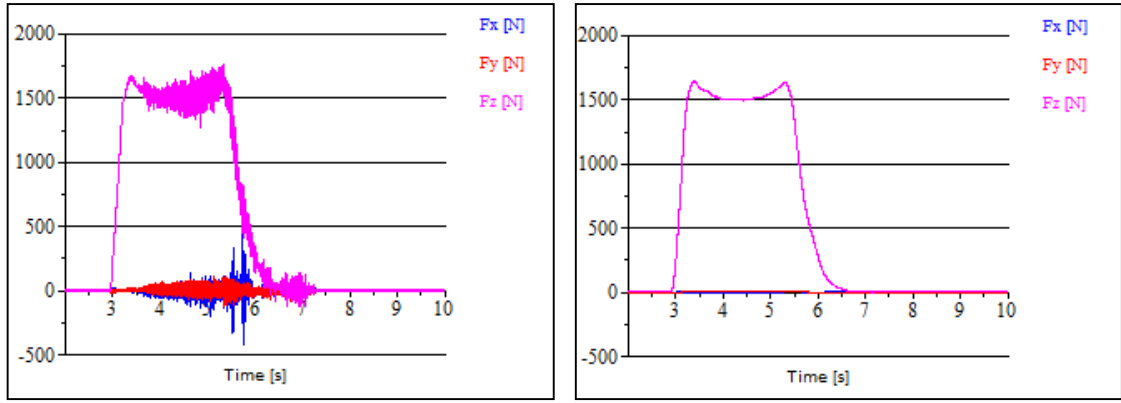
Şekil 19. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



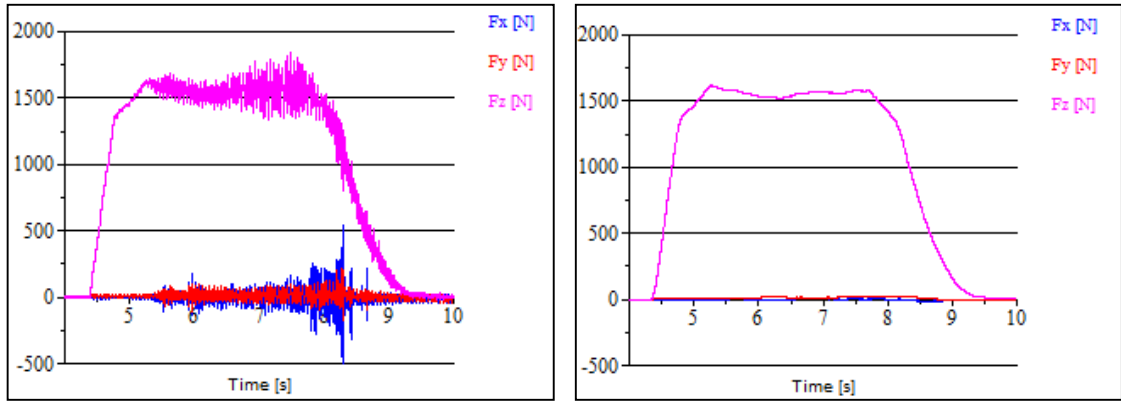
Şekil 20. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



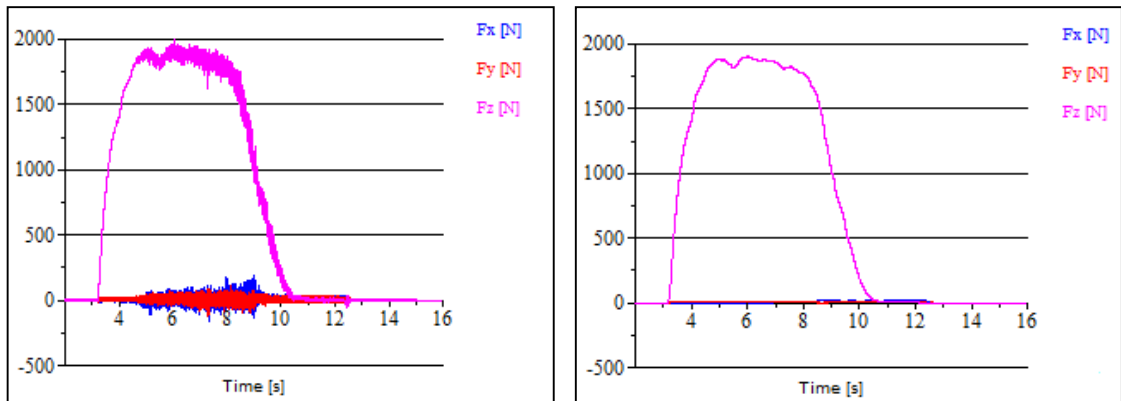
Şekil 21. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



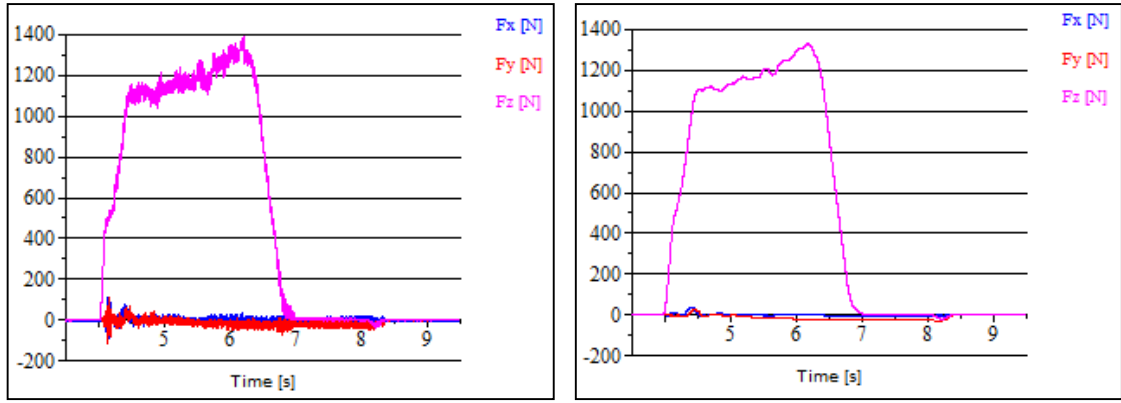
Şekil 22. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



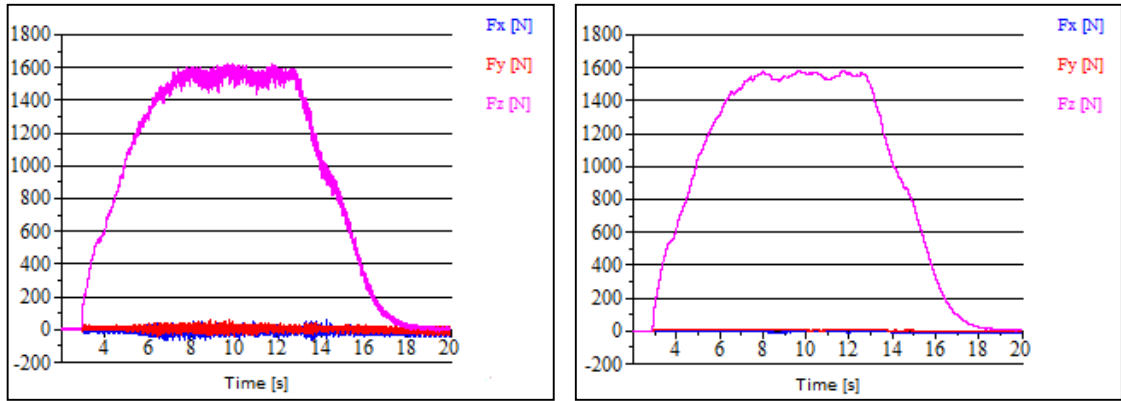
Şekil 23. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



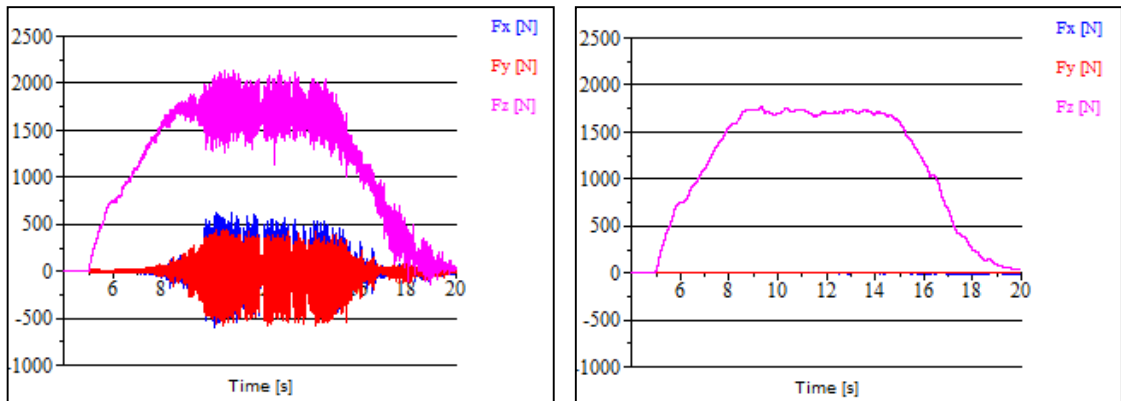
Şekil 24. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



Şekil 25. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev

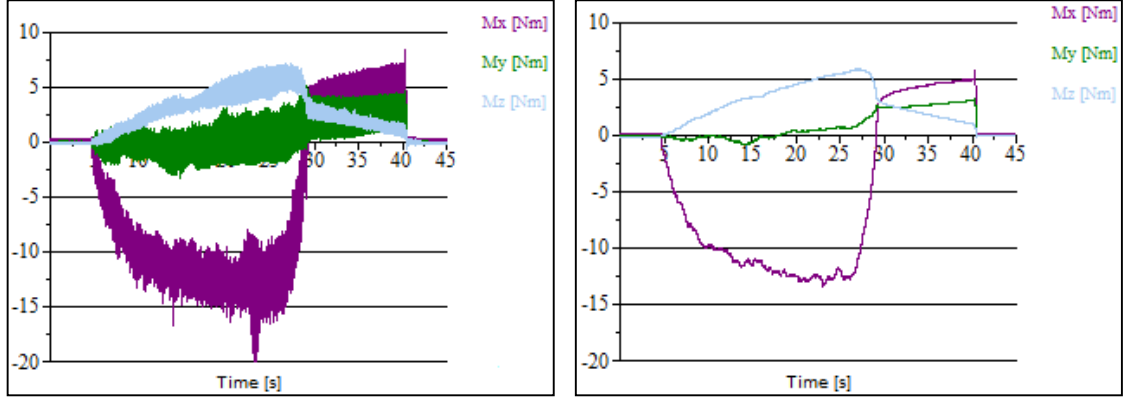


Şekil 26. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev

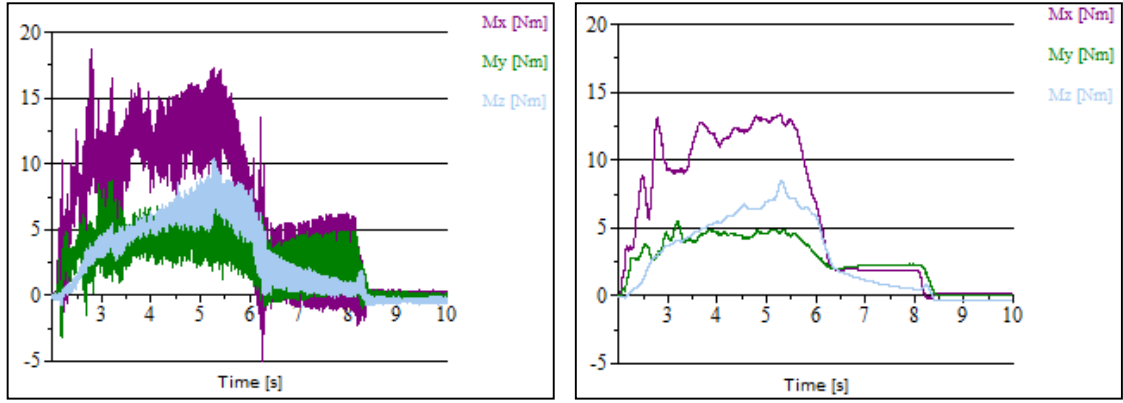


Şekil 27. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev

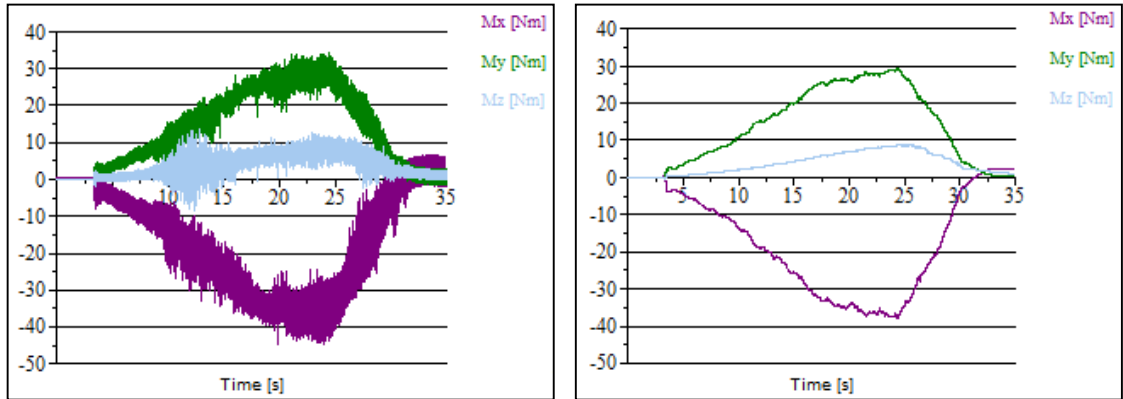
EK-2 Kompozitlerin delinmesinde elde edilen moment-zaman grafikleri



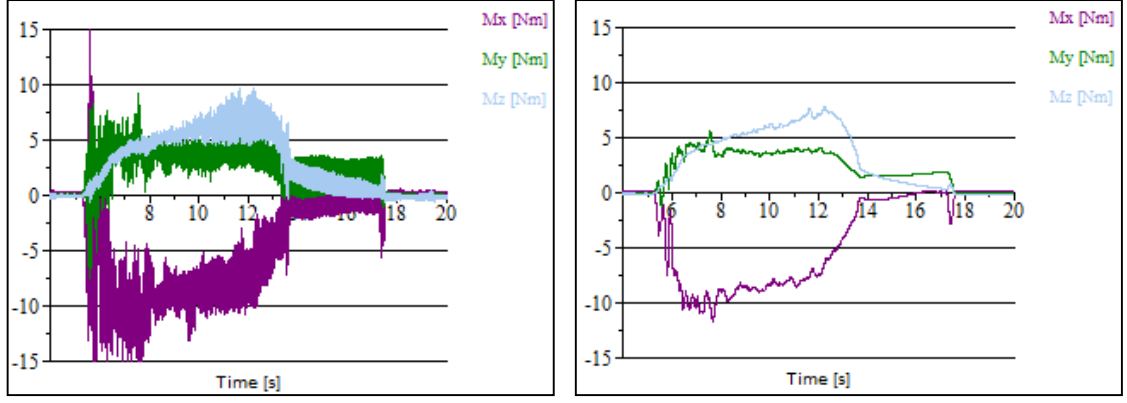
Şekil 28. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



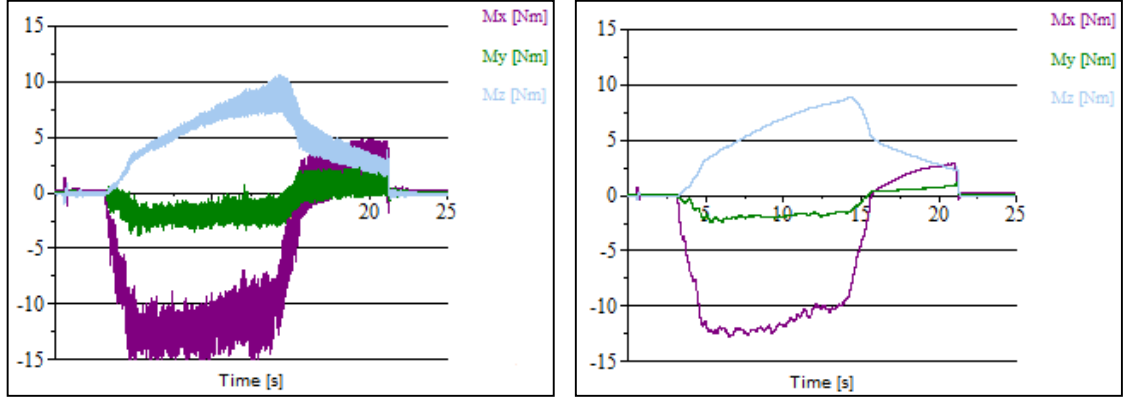
Şekil 29. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/de



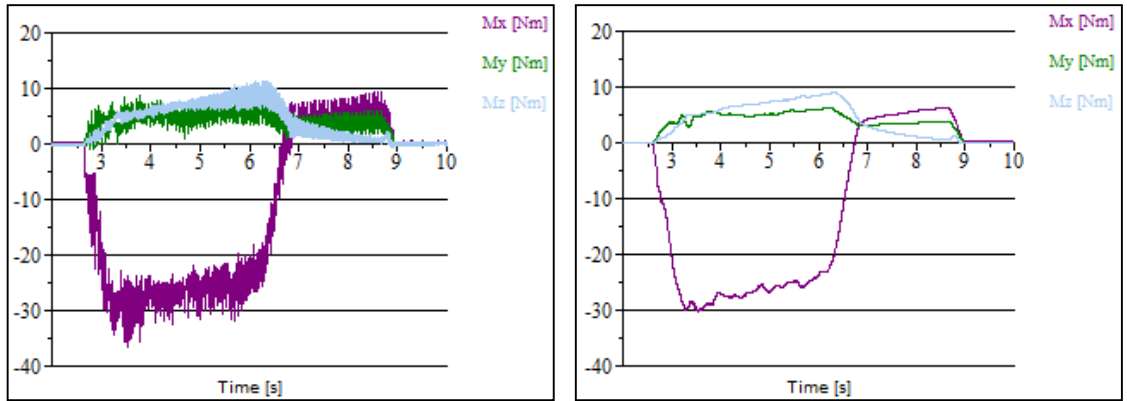
Şekil 30. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



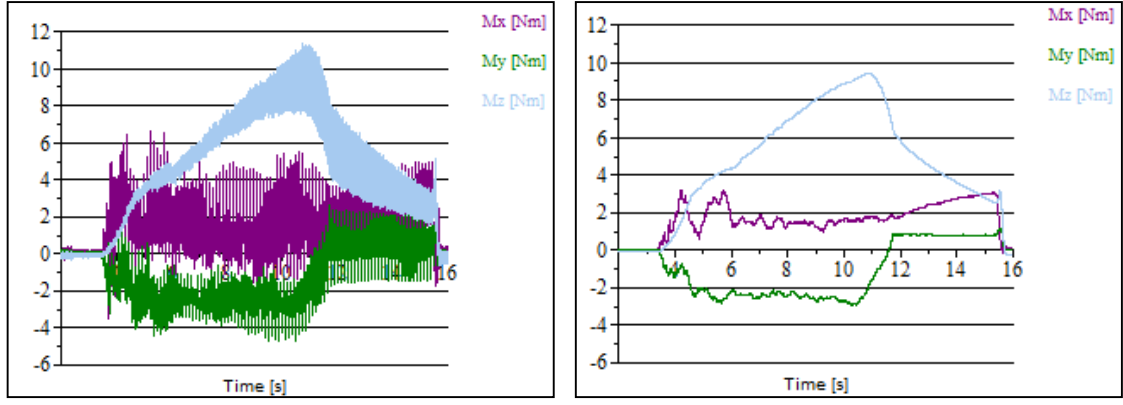
Şekil 31. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



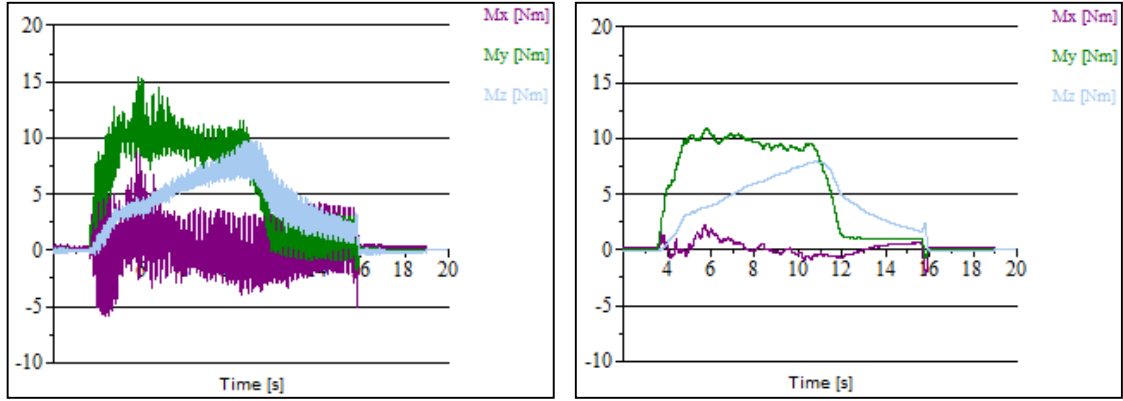
Şekil 32. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



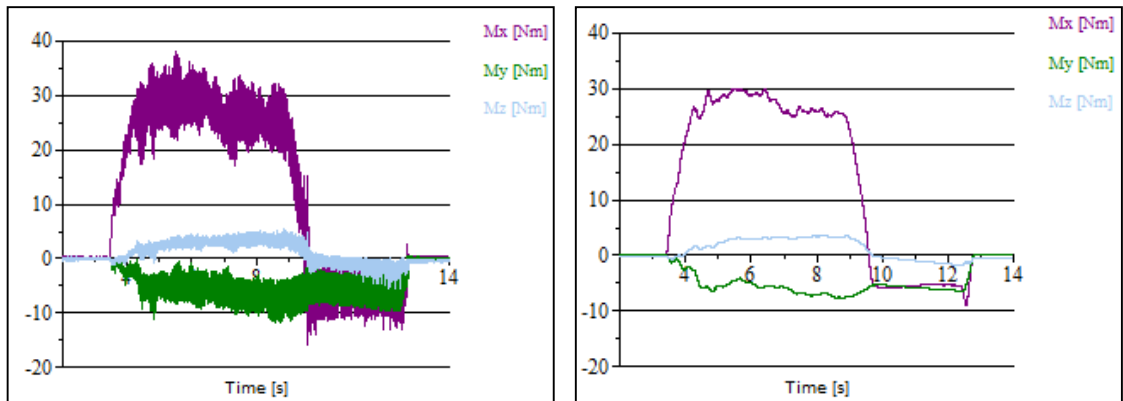
Şekil 33. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



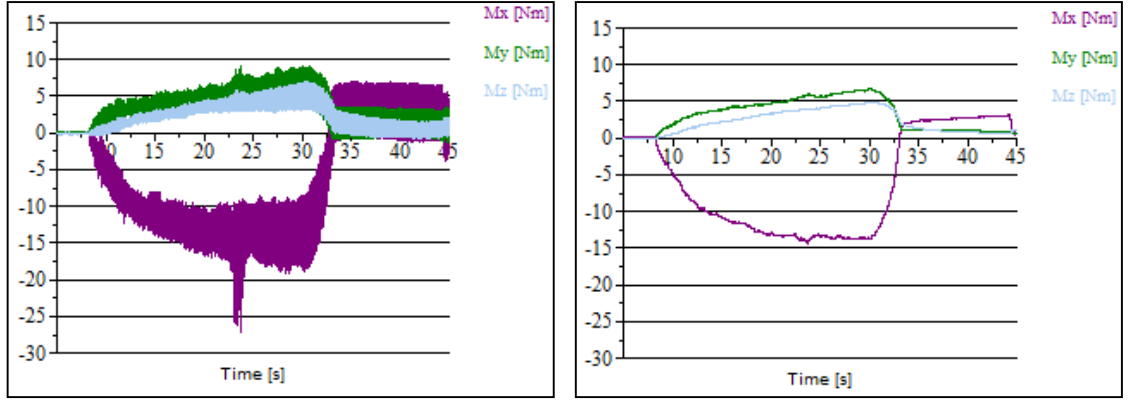
Şekil 34. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



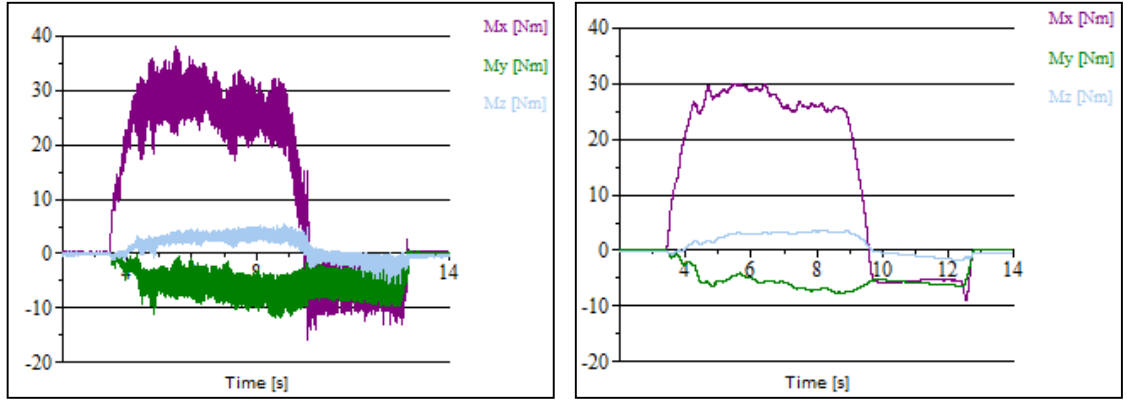
Şekil 35. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



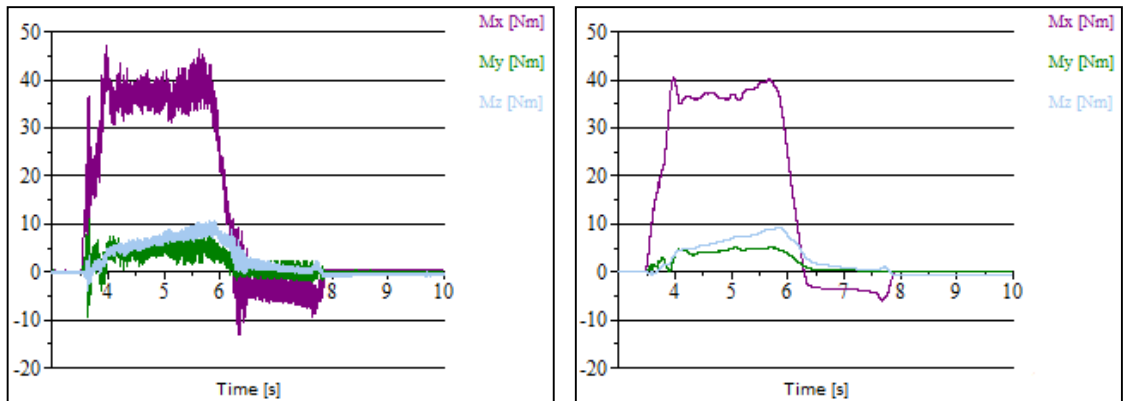
Şekil 36. Kesici Takım: AlTiN Kaplı WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



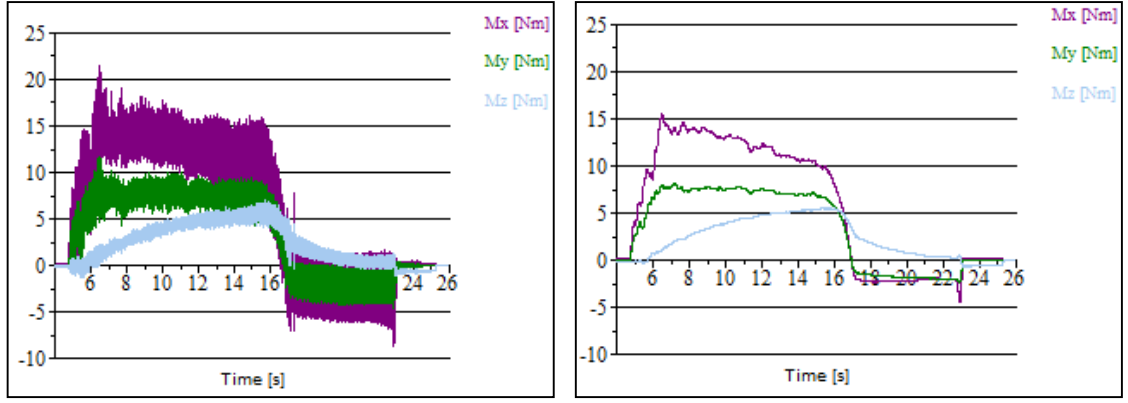
Şekil 37. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



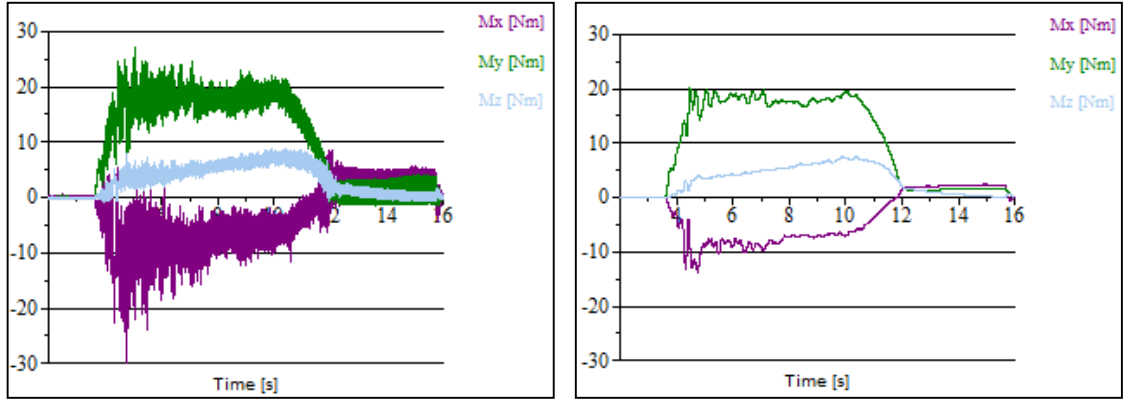
Şekil 38. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



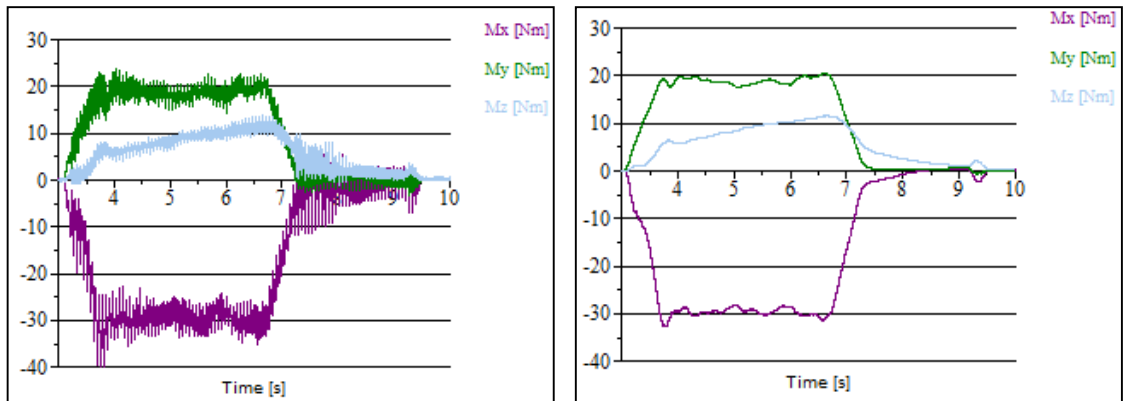
Şekil 39. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



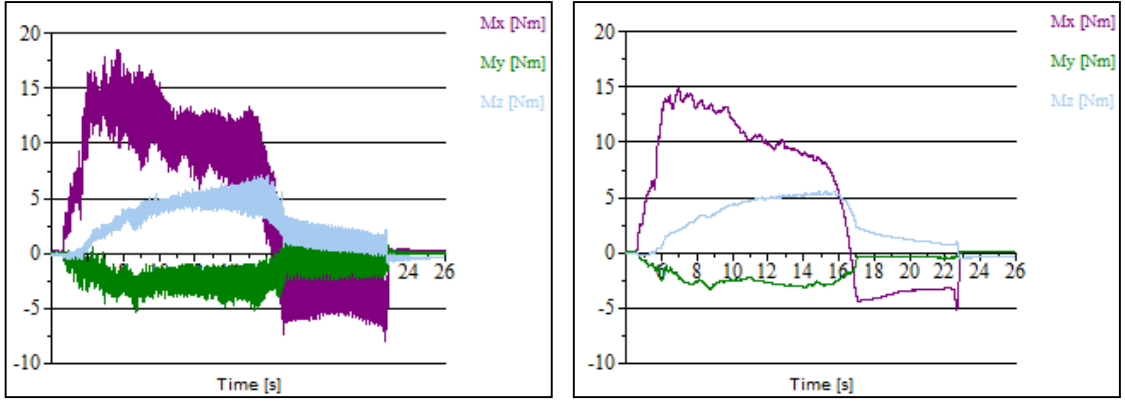
Şekil 40. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



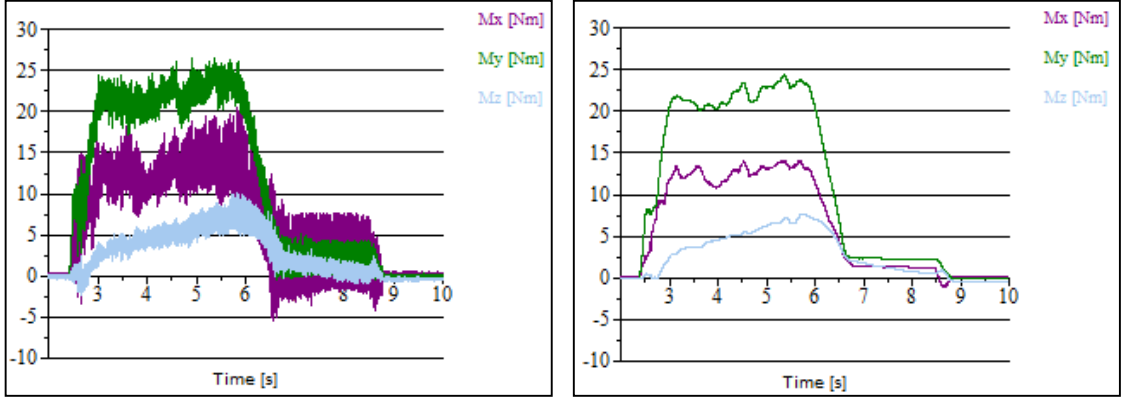
Şekil 41. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



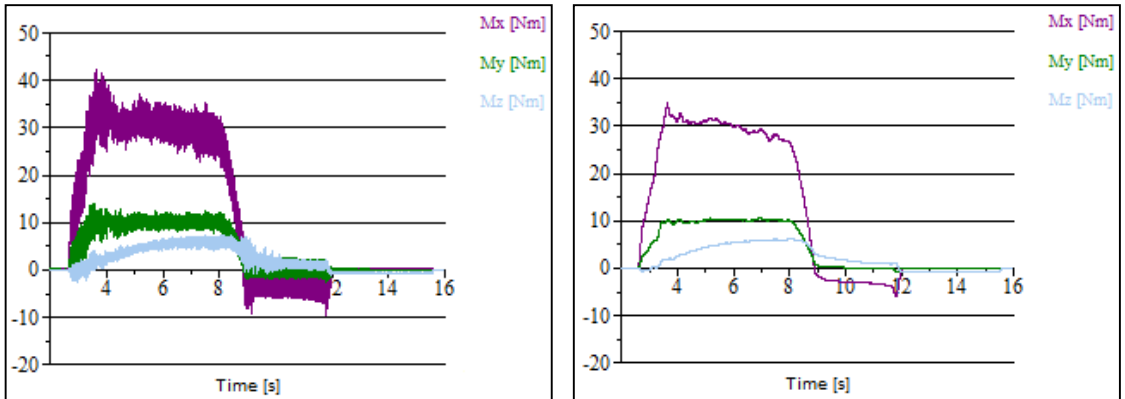
Şekil 42. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



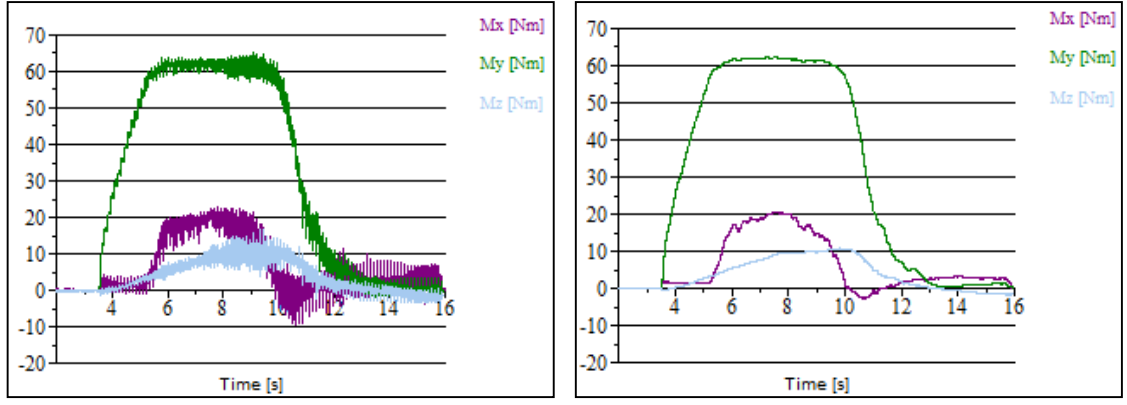
Şekil 43. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



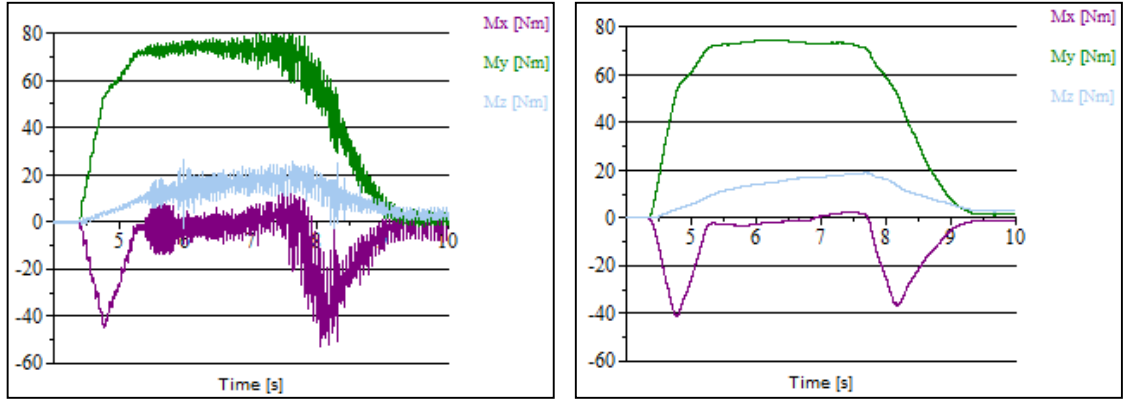
Şekil 44. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



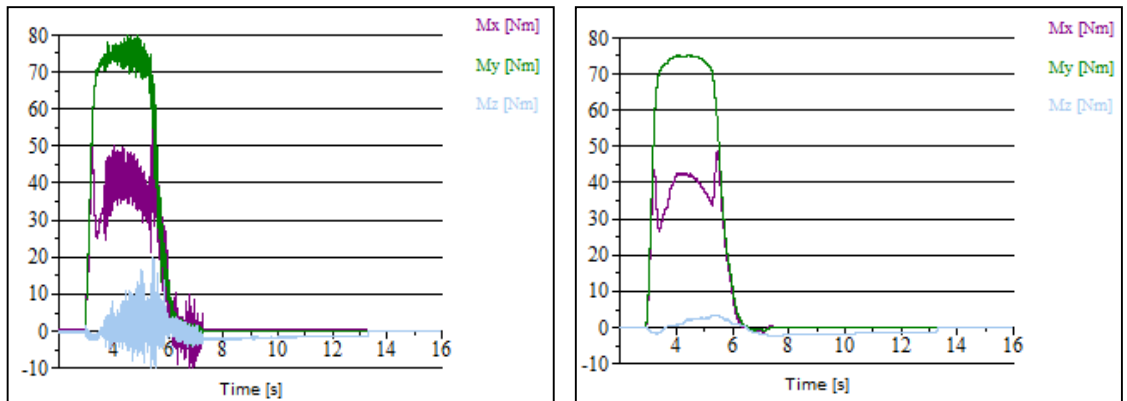
Şekil 45. Kesici Takım: WC, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



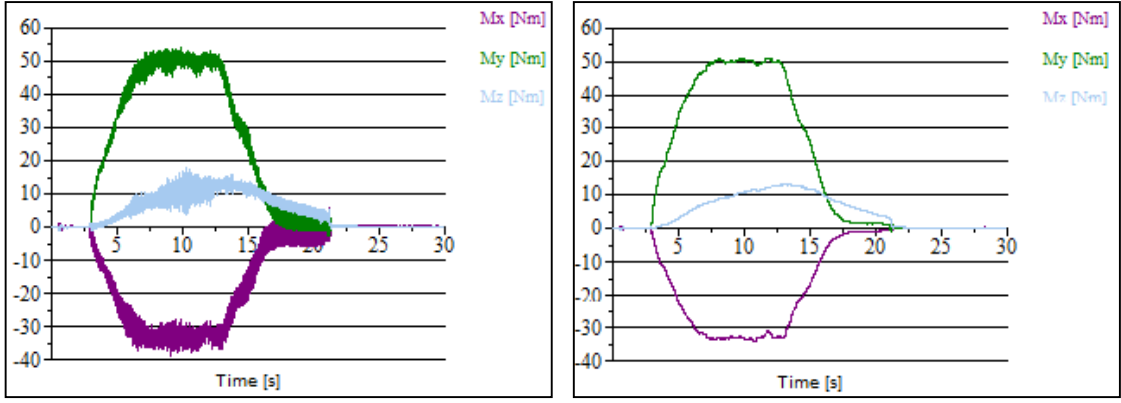
Şekil 46. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



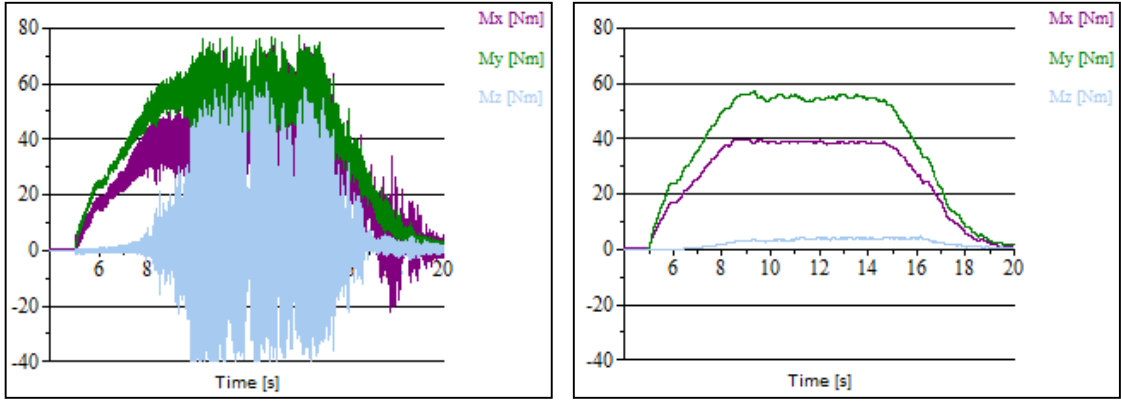
Şekil 47. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



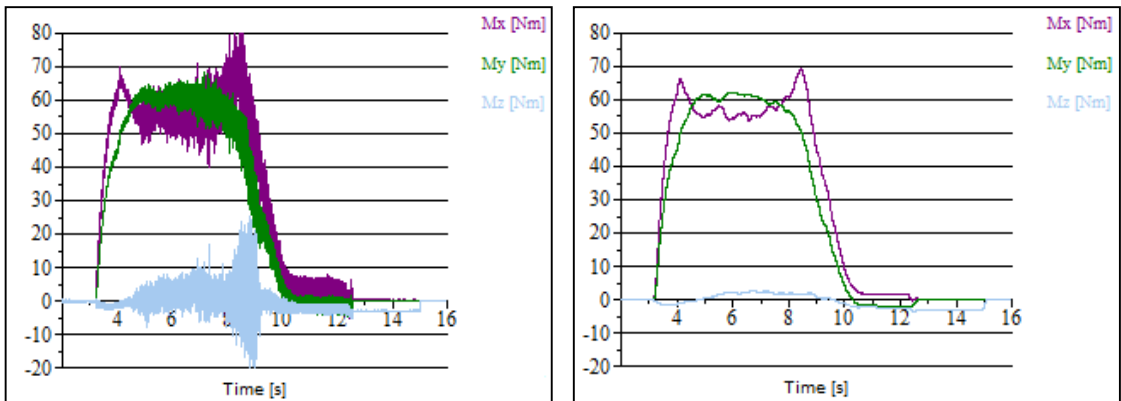
Şekil 48. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



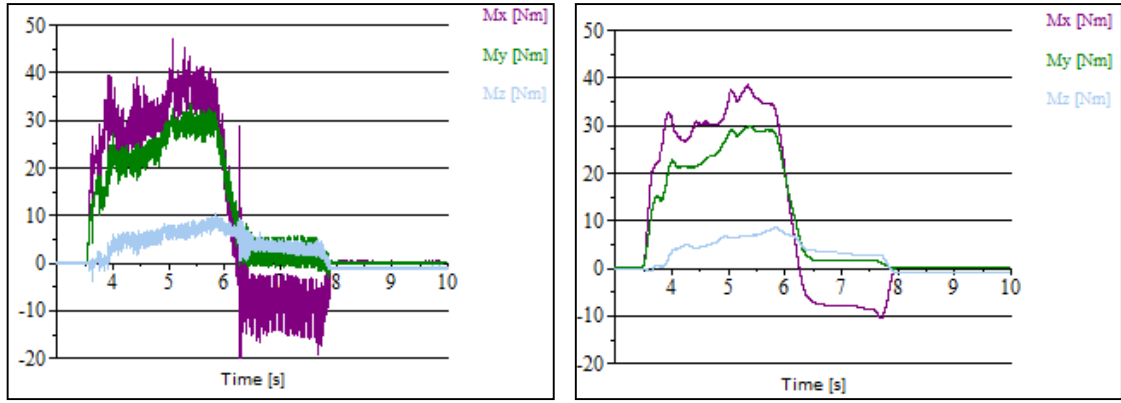
Şekil 49. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



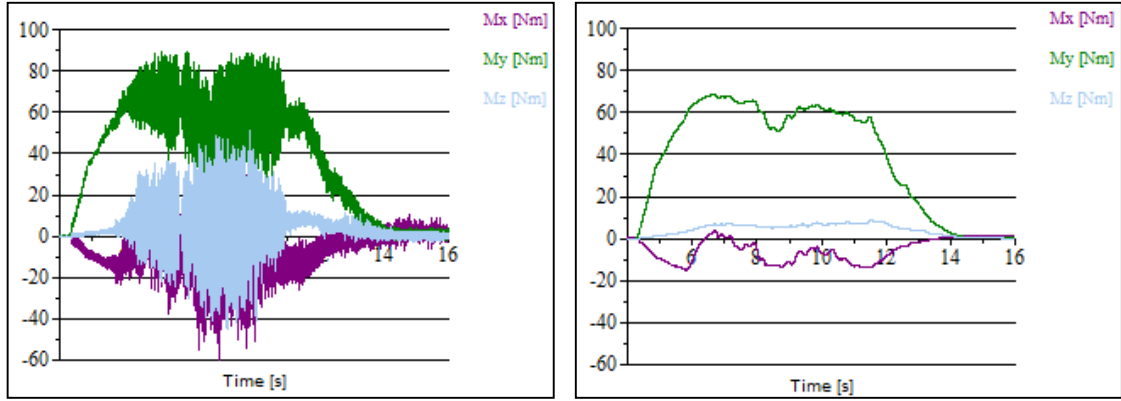
Şekil 50. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



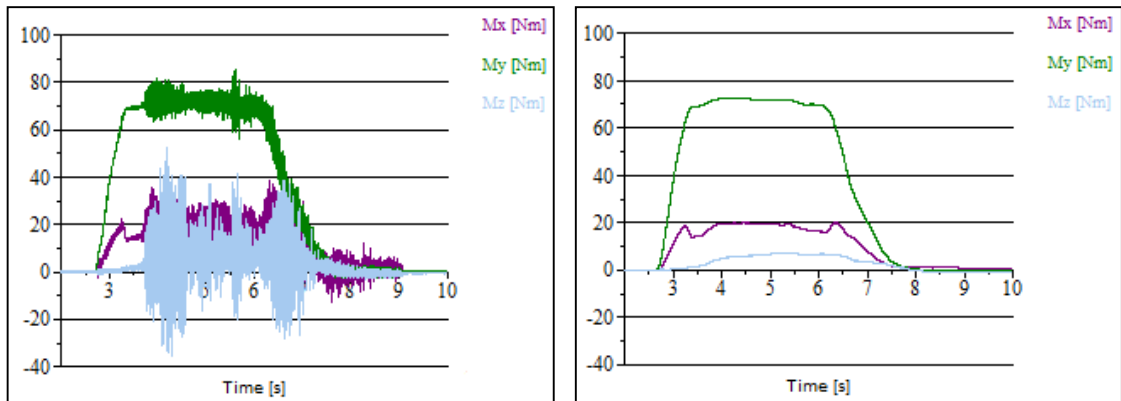
Şekil 51. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1000 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev



Şekil 52. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,05 mm/dev



Şekil 53. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,10 mm/dev



Şekil 54. Kesici Takım: HSS, Dönme Devri: 1500 dev/dak ve İlerleme: 0,15 mm/dev

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail Erhan KUTSAL
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi, Erzurum	2006
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2006-2010	Özel Sektör	Makine Mühendisi
2010-	Şırnak Üniversitesi	Akademik Personel

UZMANLIK ALANI : Konstrüksiyon ve İmalat

YABANCI DİLLER : İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Kutsal, İ. E., Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E., 2022, SiC/AlSi7Mg2 metal matrisli kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması, *3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS 2022)*, 2226–2231, Konya, Turkey.