



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **ŞEKİL HAFIZALI NiTiHf ALAŞIMIN TALAŞLI İŞLENEBİLME PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

KADRIYE EBRU KIRMACIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

**DANIŞMAN**

Doç. Dr. Yusuf KAYNAK

**İSTANBUL, 2018**



MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



# ŞEKİL HAFIZALI NiTiHf ALAŞIMIN TALAŞLI İŞLENEBİLME PERFORMANSININ İNCELENMESİ

KADRIYE EBRU KIRMACIOĞLU

523216046

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Makine Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2018

# MARMARA ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Kadriye Ebru KIRMACIOĞLU'nun “Şekil Hafızalı NiTiHf Alaşımın Talaşlı İşlenebilme Performansının İncelenmesi” başlıklı tez çalışması,.....tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

### Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yusuf KAYNAK (Danışman)  
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Prof. Dr. Erhan ALTAN (Üye)  
Yıldız Teknik Üniversitesi ..... (İMZA).....

Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU (Üye)  
İstanbul Üniversitesi ..... (İMZA).....

### ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve .....sayılı kararı ile Kadriye Ebru KIRMACIOĞLU' nun Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**  
**Prof. Dr. Bülent EKİCİ**

## ÖNSÖZ

Ders aşaması ve tez süreci boyunca sunduğu imkanlar sayesinde mesleki ve akademik gelişimime katkı sağlayan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yusuf KAYNAK'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma, 116M346 numaralı TÜBİTAK ARDEB Projesi kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK ARDEB'e desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapılmasındaki katkılarından dolayı NASA-ARMD' ye teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında katkıları bulunan Armin Gharibi'ye, projede birlikte çalıştığım arkadaşlarım Ali Osman Kabil, Emre Taşçıoğlu ve Özhan Kıtay'a teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim sırasında her zaman yanımda olan, beni destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Kasım,2018

Kadriye Ebru Kırmacıoğlu

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
SEMBOLLER .....	vi
KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	4
2.1 NiTiHf alaşım malzemesi.....	4
2.2 CNC Tezgahı, Tutucular ve Kesici Takımlar.....	4
2.3 Kesme Koşulları .....	6
2.4 Kesme Parametreleri.....	7
2.5 Ölçümler ve Analizler .....	8
2.5.1 Kesme Kuvvetleri .....	8
2.5.2 Takım Aşınması Ölçümü.....	8
2.5.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü .....	9
2.5.4 Boyutsal Doğruluk Ölçümü.....	10
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	12
3.1 Kesici Takım Aşınma Sonuçları.....	12
3.1.1 Serbest Yüzey Aşınması.....	12
3.1.2 Burun Aşınma Sonuçları .....	23
3.1.3 Takım-Talaş Temas Alanı ve Krater Aşınması Sonuçları.....	36
3.2 Kuvvetler .....	47
3.2.1 Kesme Kuvvetleri .....	47
3.2.2 Radyal Kuvvetler.....	50
3.2.3 İlerleme Kuvvetleri.....	53
3.3 Talaş Kırılabilirliği, Geometrisi ve Talaş Kalınlığı.....	57
3.4 Yüzey Pürüzlülüğü .....	64
3.5 Deneylede İşlenen Parçaların Boyutsal Doğruluğu .....	69
3.6 Değerlendirme ve Tartışma .....	70
4. SONUÇLAR.....	71



## ÖZET

Şekil hafızalı alaşımlar (ŞHM), şekillerini değiştirebilme ve başlangıç şeklini stres ve sıcaklık gibi kontrol edilebilir parametrelerle hatırlayabilen benzersiz bir malzeme sınıfıdır. Şekil hafızalı alaşımlar arasında, NiTiHf yüksek sıcaklık alaşımı, çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, kesilmesi zor malzeme olmaları nedeniyle bu alaşımın işleme performansını iyileştirmek için özel dikkat gösterilmelidir. Bu çalışma, çeşitli kesme hızlarının, kesme derinliğinin ve ilerlemenin NiTiHf nin kesme sıvısız koşulu altında son yüzey işleme performansı üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Kesme işlemi sonunda kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğruluğu çıktıları incelenmiştir. Deneysel veriler, aşınma ve yapışmanın baskın aşınma mekanizmaları olduğunu, kısa bir işleme zamanında aşırı aşınmanın ortaya çıkmasına neden olduğunu göstermektedir. Kesme hızındaki artış, kesme kuvvetinin azalmasına neden oldu, ancak daha hızlı takım aşınması göstermiş ve artan kesme derinliği, takım aşınması gelişiminde önemli ölçüde artışa neden olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için etkili parametre ise ilerleme olmuştur.

**Anahtar kelimeler:**NiTiHf, SMA, Talaşlı imalat performansı

## **ABSTRACT**

Shape memory alloys (SMA) are unique class of materials with the ability of changing their shape and remembering the irinitial shape with the controllable parameter such as stress and temperature. Among the shape memory alloys, niti hf high temperature alloy has potential to be widely used for various applications. However, special attention needs to be given to improve machining performance of this alloy as it is difficult-to-cut material. The present work focuses on the effects of various cutting speeds, depth of cut sand feed rate on finish machining performance of NiTiHf under flood cooling condition. At the end of the machining process, cutting forces, tool wear, surface roughness and dimensional deviation out put were investigated. Experimental data demonstrates that abrasion and adhesion were the predominant wear mechanisms leads to occur the extreme wear in a short machining time. Increase in the cutting speed resulted in decreasing cutting force but showed faster tool wear, and increasing depth of cut resulted in significantly increase in tool wear development. Feed rate has been an effective parameter for surface roughness.

**Keyword:** NiTiHf, SMA, Machining performance

## SEMBOLLER

$V_c$	: Kesme hızı
$a_p$	: Kesme derinliği
$f$	: İlerleme
$V_{Bort}$	: Ortalama serbest yüzey aşınması
$V_{Bc}$	: Burun aşınması
$F_c$	: Kesme kuvveti
$F_t$	: Radyal kuvvet
$F_f$	: İlerleme kuvveti
$Ra$	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
$mm$	: Milimetre
$dak$	: Dakika
$\mu m$	: Mikrometre
$M_s$	: Martenzit başlangıç sıcaklığı
$M_f$	: Martenzit bitiş sıcaklığı
$A_s$	: Östenit başlangıç sıcaklığı
$A_f$	: Östenit bitiş sıcaklığı

## **KISALTMALAR**

- ŞHM** : Şekil hafızalı malzemeler  
**MQL** : Minimum miktarda yağlama  
**DSC** : Termal çevrim testi  
**PVD** : Fiziksel buhar çökmesi  
**CMM** : 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazı  
**BUE** : Yığıma ağız birikimi



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Şekil hafızalı malzemelerin mikroyapısal değişimi (a), Şekil hafızalı malzemelerin termo-mekanik davranışı [4].....	1
Şekil 1.2. Şekil hafızalı malzemelerin kullanım alanları, havacılık endüstrisi [6] (a), <a href="http://www.multiversehub.com/">http://www.multiversehub.com/</a> (b) .....	1
Şekil 1.3. NiTiHf şekil hafızalı malzemeye ait DSC ve mikrosertlik sonuçları [18]. ....	3
Şekil 2.1. NiTiHf alaşım malzemesi.....	4
Şekil 2.2 Doosan Puma GT2100 CNC Torna Tezgahı.....	5
Şekil 2.3. PDJNL 2525M 11HP tipjet katerin 3-D gösterimi.....	5
Şekil 2.4.DNMG 11 04 04-MF Kesici takımın geometrisi ve 1105 PVD kaplaması <a href="http://sandvik.ecbook.se/SE/en/Training_Handbook/">http://sandvik.ecbook.se/SE/en/Training_Handbook/</a> .....	6
Şekil 2.5. Deney düzeneği .....	7
Şekil 2.6. a)Kesme kuvvetlerinin ölçümü, b)Dinamometrede okunan kuvvetlerin yönleri .....	8
Şekil 2.7. KEYENCE digital mikroskop ölçüm sistemi.....	9
Şekil 2.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	10
Şekil 2.10. NiTiHf alaşım malzemesi numunelerinin boyutsal doğruluğunun ölçümü. 11	
Şekil 3.1. $V_c = 20$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri .....	13
Şekil 3.2. $V_c = 20$ m/dak, $f = 0.08$ mm/dev, $a_p = 0.8$ mm parameterelerinde işlenen takımın serbest yüzey aşınma görüntüsü .....	14
Şekil 3.3. Kesme sıvısı 20 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları. ....	14
Şekil 3.4. $V_c = 45$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri .....	15
Şekil 3.5. Kesme sıvısı 45 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları. ....	16
Şekil 3.6. $V_c = 70$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri. ....	17
Şekil 3.7.Kesme sıvısı 70 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı	

olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları. ....	18
Şekil 3.8. $V_c = 95$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri .....	19
Şekil 3.9. Kesme sıvısı 95 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları. ....	20
Şekil 3.10. $V_c=120$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri .....	21
Şekil 3.11. $V_c=120$ m/dak, $f=0.08$ mm/dev $a_p=1$ mm parametrelerinde işlenen takımdaki aşınma görüntüsü.....	22
Şekil 3.12. Kesme sıvısı 120 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları .....	23
Şekil 3.13. $V_c = 20$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri .....	24
Şekil 3.14. $V_c=20$ m/dak, $f=0.12$ mm/dev, $a_p=0.8$ mm parametrelerinde işlem yapılan takımın burun aşınması görüntüsü.....	25
Şekil 3.15. $V_c = 20$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.....	26
Şekil 3.16. $V_c = 45$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri. ....	27
Şekil 3.17. $V_c= 45$ m/dak, $f=0.16$ mm/dev, $a_p=0.6$ mm parametrelerinde işlenen takım görüntüsü .....	28
Şekil 3.18. $V_c = 45$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.....	29
Şekil 3.19. $V_c = 70$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri. ....	30
Şekil 3.20. $V_c = 70$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.....	31
Şekil 3.21. $V_c = 95$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri. ....	32
Şekil 3.22. $V_c = 95$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.....	33
Şekil 3.23. $V_c = 120$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması	

görüntüleri. ....	34
Şekil 3.24. $V_c=120$ m/dak, $f=0.12$ mm/dev, $a_p=0.6$ mm parametrelerinde işlenen takımda oluşan çentik aşınması görüntüsü.....	35
Şekil 3.25. $V_c = 120$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.....	35
Şekil 3.26. $V_c = 20$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan temas alanı görüntüleri. ....	36
Şekil 3.27. $V_c = 20$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.....	37
Şekil 3.28. $V_c = 45$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan temas alanı görüntüleri. ....	38
Şekil 3.29. $V_c = 45$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.....	39
Şekil 3.30. $V_c = 70$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan temas alanı ve krater alanı görüntüleri. ....	40
Şekil 3.31. $V_c=70$ m/dak $f=0.12$ mm/dev, $a_p=1$ mm parametrelerinde işlenen kesici takımdaki krater aşınması görüntüsü.....	41
Şekil 3.32. $V_c = 70$ m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.....	41
Şekil 3.33. $V_c = 95$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan temas alanı ve krater aşınması görüntüleri. ....	42
Şekil 3.34. $V_c = 95$ m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.....	43
Şekil 3.35. $V_c = 120$ m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan temas alanı ve krater aşınması görüntüleri. ....	44
Şekil 3.36. $V_c=120$ m/dak, $f=0.12$ mm/dev, $a_p=1$ mm parametrelerinde işlem yapılan takımdaki aşınma görüntüleri.....	45
Şekil 3.37. $V_c = 120$ m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.....	46
Şekil 3.38. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.04$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.....	47
Şekil 3.39. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.08$ mm/dev ilerlemede, farklı	

kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.....	48
Şekil 3.40. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.12$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.....	49
Şekil 3.41. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.16$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.....	50
Şekil 3.42. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.04$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri. ....	51
Şekil 3.43. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.08$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri. ....	52
Şekil 3.44. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.12$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri. ....	52
Şekil 3.45. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.16$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri. ....	53
Şekil 3.46. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.04$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri .....	54
Şekil 3.47. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.08$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri. ....	54
Şekil 3.48. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.12$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri. ....	55
Şekil 3.49. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait $f = 0.16$ mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri. ....	56
Şekil 3.50. 20 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri .....	58
Şekil 3.51. 45 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri .....	59
Şekil 3.52. 70 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri .....	60
Şekil 3.53. 95 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri .....	61
Şekil 3.54. 120 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri .....	62
Şekil 3.55. $V_c = 20$ m/dak hızında ölçülen talaş kalınlıkları.....	63

Şekil 3.56. $V_c = 45$ m/dak hızında ölçülen talaş kalınlıkları.....	64
Şekil 3.57. $V_c = 20$ m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	65
Şekil 3.58. $V_c = 45$ m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	66
Şekil 3.59. $V_c = 70$ m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	67
Şekil 3.60. $V_c = 95$ m/dak kesme hızında pürüzlülük değerleri.....	68
Şekil 3.61. $V_c = 120$ m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	68
Şekil 3.62. Kesme sıvısız koşulunda işlenen parçalardaki boyutsal sapma değerleri.....	69



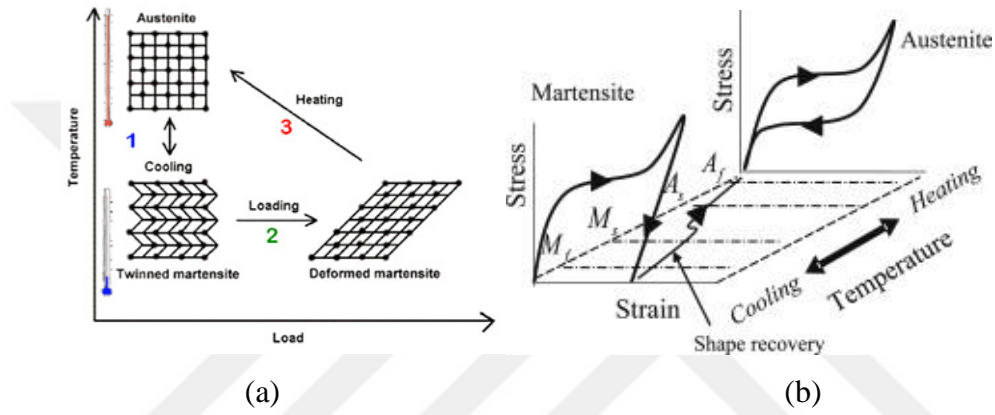
## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. NiTiHfŞekil Hafızalı Alaşımın kimyasal bileşimi. ....	4
Tablo 2.2. NiTiHfŞekil Hafızalı Alaşımın faz dönüşüm sıcaklıkları. ....	4
Tablo 2.3 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı teknik özellikleri. ....	5
Tablo 2.4. Kesici takım özellikleri. ....	6
Tablo 2.5. Kesme Sıvısı ön deneyleri için belirlenen kesme koşul ve parametreleri. ....	7
Tablo 2.6. KEYENCE VHX-6000 optik mikroskop teknik özellikleri. ....	9
Tablo 2.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri. ....	10



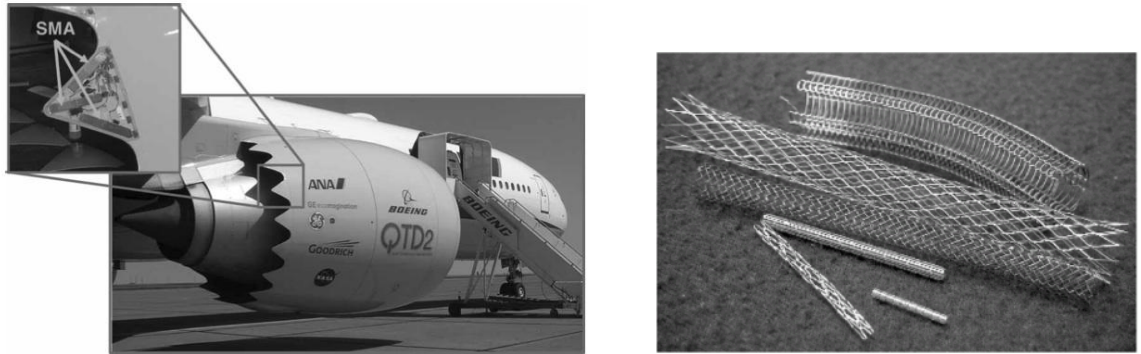
## 1. GİRİŞ

Şekil hafızalı malzemeler uygulanan sıcaklık, gerilme vb. parametrelerin etkisi ile şekil değiştirebilen, etki ortadan kalktıktan sonra başlangıçtaki haline geri dönebilen özel akıllı malzemelerdir [1]. Bu malzemeler hafiflik, sağlam olma, kontrolü ve bakımı için düşük maliyet gerektirmelerinin yanı sıra titreşim sönümleme, gürültü azaltma ve hareket algılama özelliklerine sahip malzemelerdir [2, 3].



Şekil 1.1. Şekil hafızalı malzemelerin mikroyapısal değişimi (a), Şekil hafızalı malzemelerin termo-mekanik davranışı (b) [4]

Bütün bu özellikleriyle şekil hafızalı alaşımlar uzay ve havacılık, otomotiv, bağlantı elemanlarının imalatı, biyomedikal, petrol ve gaz endüstrileri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır[1, 5].



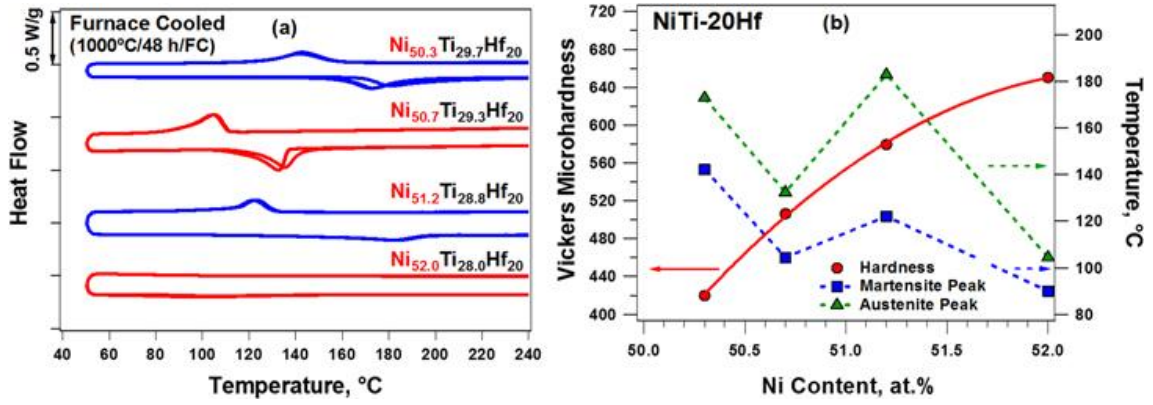
Şekil 1.2. Şekil hafızalı malzemelerin kullanım alanları, havacılık endüstrisi [6] (a),

<http://www.multiversehub.com/> (b)

Şekil hafızalı malzemeler içerisinde en yaygın kullanılanları NiTi alaşımlarıdır. NiTi

alaşımları; yüksek süneklik, düşük ısıl iletkenlik katsayısı, düşük elastiklik modülü gibi özelliklerinden dolayı işlenmesi zor malzemeler olarak değerlendirilirler [5, 7, 8]. Sahip olduğu bu dezavantajlar malzemenin talaşlı imalatı sırasında kesici takımında yüksek aşınmaya dolayısıyla düşük takım ömrüne, yüksek kesme kuvvelerine, düşük talaş kırılabilirliğine ve kesme işlemi sonucunda malzemede çapak oluşumuna sebep olmaktadır [5, 8, 9]. NiTi alaşım malzemesinin düşük olan işleme performansını geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. NiTi alaşımın faz durumunun farklı kesme koşulları altında işleme performansına etkisi de araştırılmıştır [10]. Yapılan çalışmalarda işlem sırasında uygulanan kriyojenik soğutmanın takım aşınmasını ve kesme kuvvetlerini azalttığı, yüksek kesme hızlarında yüzey kalitesini iyileştirdiği gözlenmiştir. Kriyojenik soğutmanın kullanıldığı bir diğer çalışmada[9], NiTi alaşımın işlenmesi sırasında takım aşınmaları ve oluşan talaş geometrileri incelenmiş elde edilen değerler kuru kesme ve MQL koşulunda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Başka bir çalışmada [11] kesme koşullarının (kriyojenik, kuru kesme ve ön ısıtma) yanı sıra kesme hızlarında takım aşınmasına, kesme kuvvetlerine ve talaş kalınlığına etkisi incelenmiştir.

NiTi alaşımların işleme performanslarını geliştirmek için farklı çalışmalar yapılmış, alaşıma çeşitli elementler eklenerek daha iyi mekanik ve şekil hafıza özelliklerine sahip NiTiZr, NiTiPd, NiTiPt ve NiTiHf gibi şekil hafızalı alaşımlar geliştirilmiştir [1, 2, 12]. NiTiHf alaşımının, faz dönüşüm sıcaklığının yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda süperelastik davranış göstermesi, büyük yükler altında bile şekil hafıza özelliklerini koruması özellikleri ile diğerlerinden daha üstün olduğu düşünülmektedir[1]. NiTiHf alaşımının plastik deformasyon davranışı [13], sıcak deformasyon [14], soğuk deformasyon [15] gibi değişik deformasyon davranışları ve sıcak haddeleme [16], ekstrüzyon[17] gibi talaşsız imalat yöntemleriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır ve literatürde mevcuttur. Ayrıca NiTiHf şekil hafızalı malzemelerin şekil hafıza özellikleri araştırılmıştır [18]. Bu araştırma sonucunda malzemeye ait DSC ve sertlik grafikleri Şekil 1.3' te gösterilmiştir.



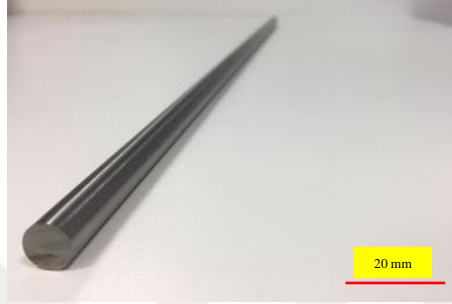
Şekil 1.3. NiTiHf şekil hafızalı malzemeye ait DSC ve mikrosertlik sonuçları [18].

Literatür araştırmasında görüldüğü gibi NiTiHf şekil hafızalı malzemesiyle ilgili farklı alanlarda pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda NiTiHf talaşlı imalatına yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın NiTiHf alaşımının talaşlı imalat süreci ve işlenebilirliğinin araştırılmasında literatürde bir ilk olacağı düşünülmektedir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 NiTiHf alaşım malzemesi

Ø10 x 1000 mm boyutlarında 3 adet NiTiHf alaşım malzemesinin tamamı Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) nin Amerika Birleşik Devletleri Ohio Eyaletinde bulunan NASA Glenn Araştırma Merkezi tarafından üretilmiş yarı mamül halinde gönderilmiştir. NiTiHf alaşım Şekil 2.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. NiTiHf alaşım malzemesi.

Temin edilen NiTiHf alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 2.1’ de sunulmuştur. NiTiHf malzemesinin literatürden yararlanılarak bulunan faz dönüşüm sıcaklıkları Tablo 2.2’ de sunulmuştur.

Tablo 2.1. NiTiHf Şekil Hafızalı Alaşımın kimyasal bileşimi.

%Ni	%Ti	%Hf
50.3	29.7	20

Tablo 2.2. NiTiHf Şekil Hafızalı Alaşımın faz dönüşüm sıcaklıkları.

$M_s(^{\circ}C)$	$M_f(^{\circ}C)$	$A_s(^{\circ}C)$	$A_f(^{\circ}C)$
156	128	160	189

### 2.2 CNC Tezgahı, Tutucular ve Kesici Takımlar

Deneysel çalışmada Şekil 2.2’de ki Doosan Puma GT2100 model maksimum 4500

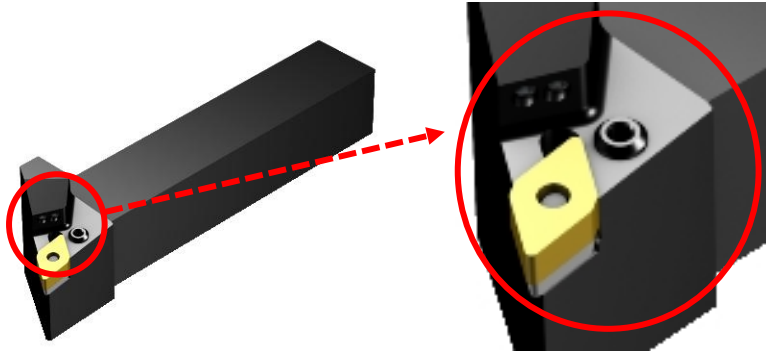
RPM iş mili devrine,18.5 kW motor gücü ve 183 Nm torca sahip 8 inç aynalı CNC torna tezgahı kullanılmıştır. CNC tezgahın özellikler, Tablo 2.3'te verilmiştir. Test çalışmaları hepsinde aynı tezgah ve ekipmanlar kullanılmıştır. NiTiHf şekil hafızalı alaşımının tornalama işlemi için SANDVİK marka PDJNL 2525M 11HP tip jet kateri kullanılmıştır. Şekil 2.3.'de takım tutucunun fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 2.2Doosan Puma GT2100 CNC Torna Tezgahı

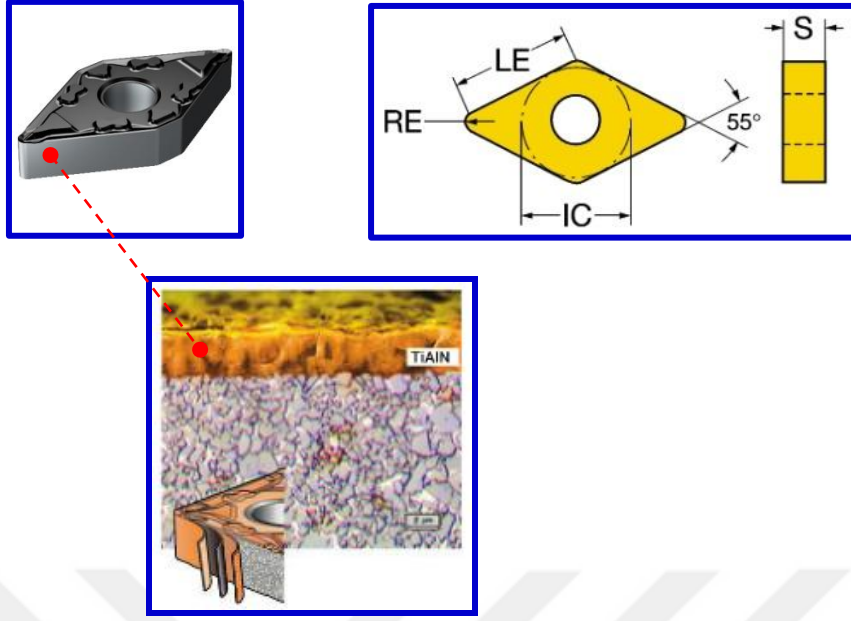
Tablo 2.3Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı teknik özellikleri.

Azami Tornalama Çapı	390 mm
Ayna Ölçüsü	8 inç
İş mili Motor Gücü	18,5 kW
Azami İş mili Devri	4500 dev/dk



Şekil 2.3. PDJNL 2525M 11HP tip jet katerin 3-D gösterimi.

Deneylerde kullanılmak üzere kesici takım firmasının Ni ve Ti alaşımlı malzemeler için önerdiği teknik özellikleri Tablo 2.4' de belirtilen 30 µm yuvarlanma yarıçapına sahip DNMG 11 04 04-MF 1105 PVD kaplamalı karbür uç (Şekil 2.4.) tercih edilmiştir. Kesici takımın yaklaşma açısı 93° dir.



Şekil 2.4.DNMG 11 04 04-MF Kesici takımın geometrisi ve 1105 PVD kaplaması

[http://sandvik.ecbook.se/SE/en/Training\\_Handbook/](http://sandvik.ecbook.se/SE/en/Training_Handbook/)

Tablo 2.4.Kesici takım özellikleri.

Ürün Tanımı	DNMG 11 04 04-MF
Kalite	1105
Kalite Tipi	PVD(Ti,Al)N <sub>2</sub>
Açı dahil	55.0°
Köşe Radyüsü (RE)	0.4 mm
Etkin kesme kenar uzunluğu (LE)	11,228 mm
İç teğet daire çapı (IC)	9,525 mm
Kesici uç kalınlığı (S)	4,763 mm

### 2.3 Kesme Koşulları

Yapılan eğik kesme deneylerinde soğutucu olarak kesme sıvısı kullanılmıştır. Kesme sıvısı 400 lt/saat akış oranında talaş yüzeyinden kesme bölgesine uygulanmıştır. Şekil 2.5.'de kesme sıvısı uygulandığı deney düzeneği sunulmuştur.



Şekil 2.5. Deney düzeneği

## 2.4 Kesme Parametreleri

Talaşlı imalat deneylerinde farklı kesme hızları, ilerlemeler ve kesme derinlikleri kullanılmış ve bu iş parçası için uygun kesme parametreleri tayin edilmeye çalışılmıştır. İlgili literatür ve kesici takım firmalarının önerileri dikkate alınarak, kesme hızları deneylerde 20 ile 120 m/dk aralığında seçilmiştir. Böylece hem düşük hızların hem de yüksek kesme hızlarının etkisini gözlemleyebilme imkanı olmuştur. Deneylerde ilerleme ise, 0.04 ile 0.16 mm/dev aralığında seçilmiştir. Kesme derinliği ise 0.4 ile 1 mm aralığında seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Tablo 2.5.'de sunulmuştur. Deneylerde işleme boyu 15 mm belirlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Full faktöriyel design yaklaşımı ile toplam 80 adet deney yapılmıştır.

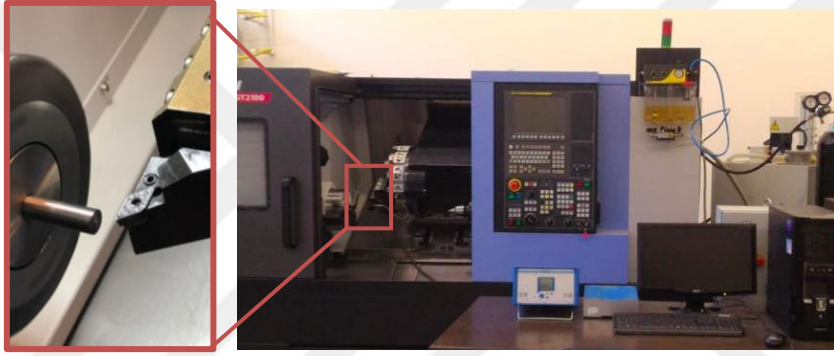
Tablo 2.5. Kesme Sıvısı deneyleri için belirlenen kesme koşul ve parametreleri.

Kesme Hızı (m/dak)	Kesme Koşulları	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme (mm/dev)
20	Kesme Sıvısı	0.4	0.04
45		0.6	0.08
70		0.8	0.12
95		1	0.16
120			

## 2.5 Ölçümler ve Analizler

### 2.5.1 Kesme Kuvvetleri

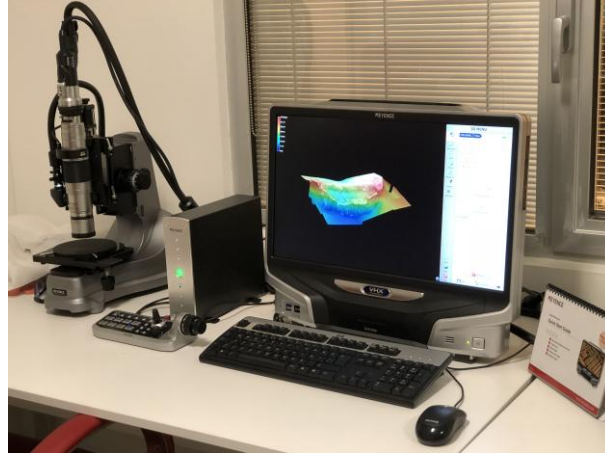
Kesme işlemi sırasında kesme kuvvetleri 10 kN'a kadar ölçüm yapabilen ve 0-70 °C sıcaklık aralığında çalışabilen Kistler 9129AA tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen ölçümler ve veriler Dynoware yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kistler 9129AA ve ölçüm sistemi Şekil 2.6'da sunulmuştur. Eğik kesme işlemlerinde  $F_c$  kuvveti ana kesme kuvvetini,  $F_r$  kuvveti kesici radyal kuvveti ve  $F_f$  kuvveti ise ilerleme kuvvetini ifade etmektedir.



Şekil 2.6. Kesme kuvvetlerinin ölçümü

### 2.5.2 Takım Aşınması Ölçümü

Kesici takımın aşınma miktarı ölçümlerinde, görüntüleme işlemlerinde ve iş parçalarının mikroskobik analizlerinde TÜBİTAK 1160346 nolu 1001 projesi kapsamında alımı gerçekleştirilen Şekil 2.7.'de gösterilen KEYENCE VHX-6000 digital mikroskop ve KEYENCE software yazılımı kullanılmıştır. Teknik özellikleri Tablo 2.6' de sunulmuştur.



Şekil 2.7. KEYENCE digital mikroskop ölçüm sistemi.

Tablo 2.6. KEYENCE VHX-6000 optik mikroskop teknik özellikleri.

Büyütme	250x-2500x
Işık Kaynağı	LED
X,Y Z stage	manuel motorize
Yönler	(WxDxH) 550 x 200 x 470 cm
Kamera	18 MP
Büyütme	250x-2500X

### 2.5.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

İşlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçülmesinde teknik özellikleri Tablo 2.7’de verilen Mitutoyo SJ210 (Şekil 2.8) kullanılmıştır. Ölçümlerde parçaların Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü,  $R_a$ , dikkate alınmıştır. Her bir numunenin yüzey pürüzlülüğü en az üç kez tekrarlanarak yapılmıştır.



Şekil 2.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

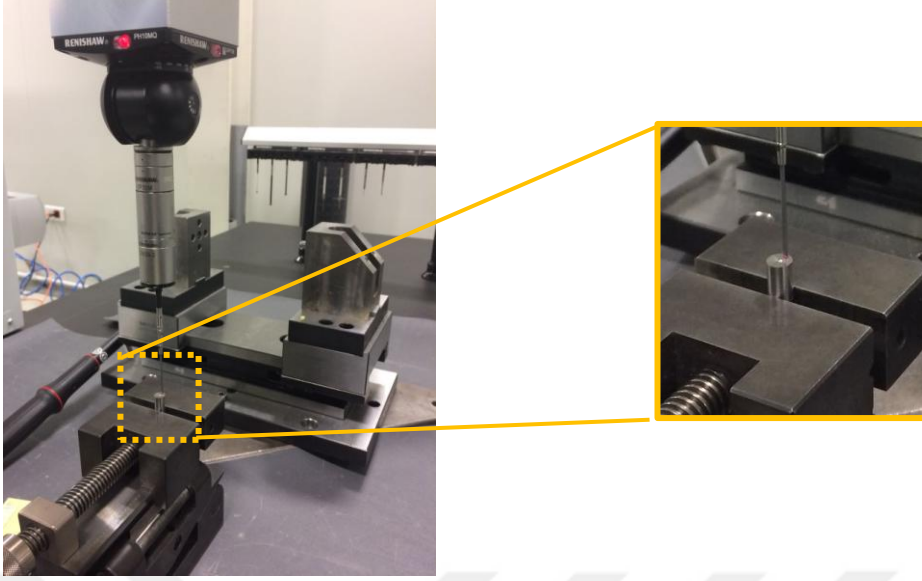
Tablo 2.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Standartlar	JIS/ISO/ANSI/VDA seçilebilir şartlar
Ölçüm Metodu	İğne Uç ile Ölçme
Boyutlar	52.1 mm x 65.8 mm x 160 mm

#### 2.5.4 Boyutsal Doğruluk Ölçümü

Tek paso olarak yapılan talaş kaldırma operasyonları sonucu elde edilen parçaların nominal çaplarından sapmaları ölçülmüştür. Böylece seçilen kesme koşullarının ve parametrelerinin kullanılmasıyla elde edilen ürünün boyutsal doğruluğu analiz edilmiştir. Boyutsal doğruluğu ölçmek için RENISHAW PH10MQ model 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazı (CMM) Şekil 2.9' da sunulmuştur. Bu ölçümler endüstriyel firmalarla görüşmelerimiz, firmaların özellikle farklı işleme koşullarında iş parçası boyutsal doğruluğu ile ilişkisinin belirlenmesinin endüstriyel uygulamalara katkı sağlayacağını ifade etmiş olmaları nedeniyle yapılmıştır.

Her bir çaptan 3 noktadan değer alınmış ve böylece o bölgedeki çap ölçülmüştür. Bir numune üzerinde üç farklı noktadan yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak, her bir numune için nominal çaptan ortalama sapma değeri tayin edilmiştir.



Şekil 2.9.NiTiHf alaşım malzemesi numunelerinin boyutsal doğruluğunun ölçümü.

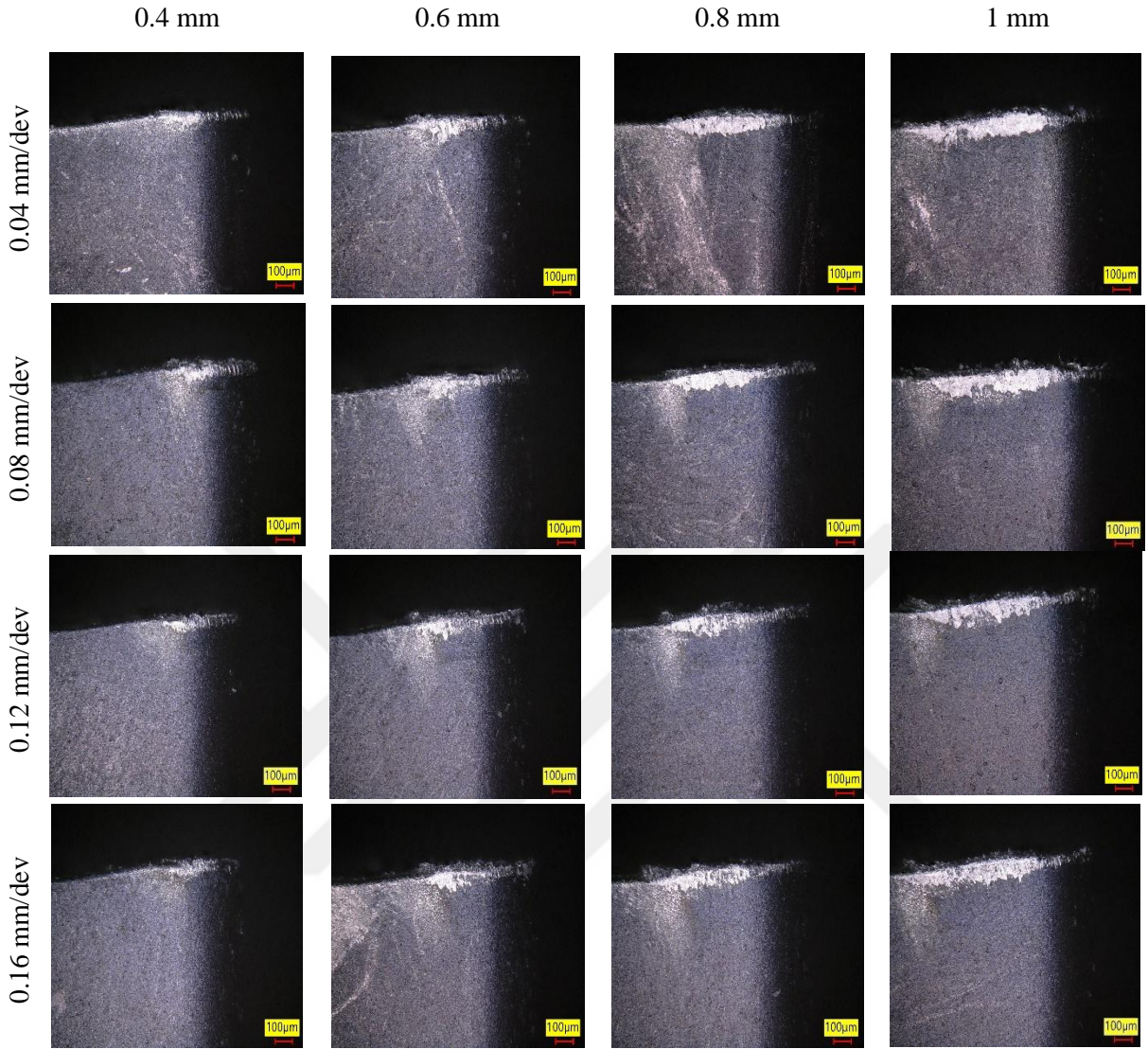
### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Deneyleer için literatür taraması yapılarak geniş bir aralıkta seçilen ve bir önceki bölümde belirlenen kesme parametrelerinde deneyleer yapılmıştır. Deneyleer kapsamında kesme sıvısı koşulunda kesme hızı 20 ile 120 m/dak aralığında seçilmiştir. Kesme derinliği 0,4 ile 1 mm aralığın da, ilerleme değerleri ise 0,04 ile 0,16 mm/dev aralığında seçilmiştir. Toplamda 80 deney yapılmıştır. Yapılan her bir deney için kesici takım aşınması, kesme kuvvetleri, iş parçası boyutsal doğruluk ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Talaş kaldırma sonucu oluşan talaşlar toplanmıştır.

#### **3.1 Kesici Takım Aşınma Sonuçları**

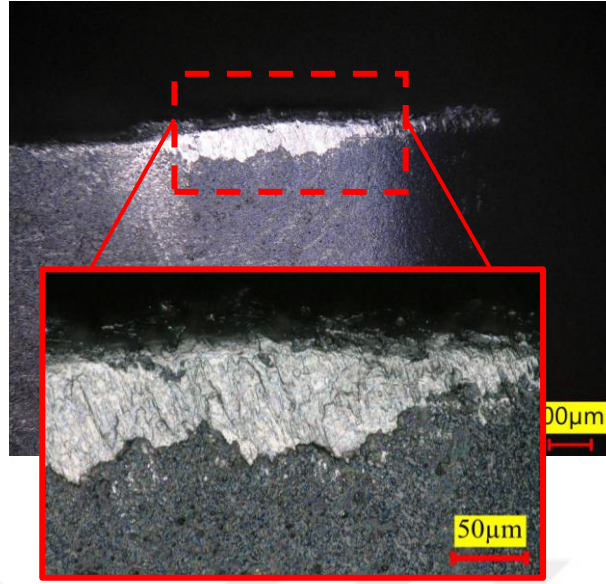
##### **3.1.1 Serbest Yüzey Aşınması**

Malzemelerin talaşlı imalat performansının anlaşılmasını sağlayan önemli parametrelerden biri takımda meydana gelen aşınmalardır. Takım aşınmasının oluşumu, takım ve iş parçasının özelliklerine (mekanik, fiziksel, kimyasal), takım geometrisine, kesme parametrelerine ve kesme koşullarına bağlıdır [9]. Çalışma kapsamında yapılan deneyleerde kesme parametrelerinin (kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme) takım aşınması üzerindeki etkilerinin görülmesi amaçlanmıştır. Şekil 3.1' de 20 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yapılan deneyleerdeki takımların serbest yüzey aşınması görüntüleri sunulmuştur.



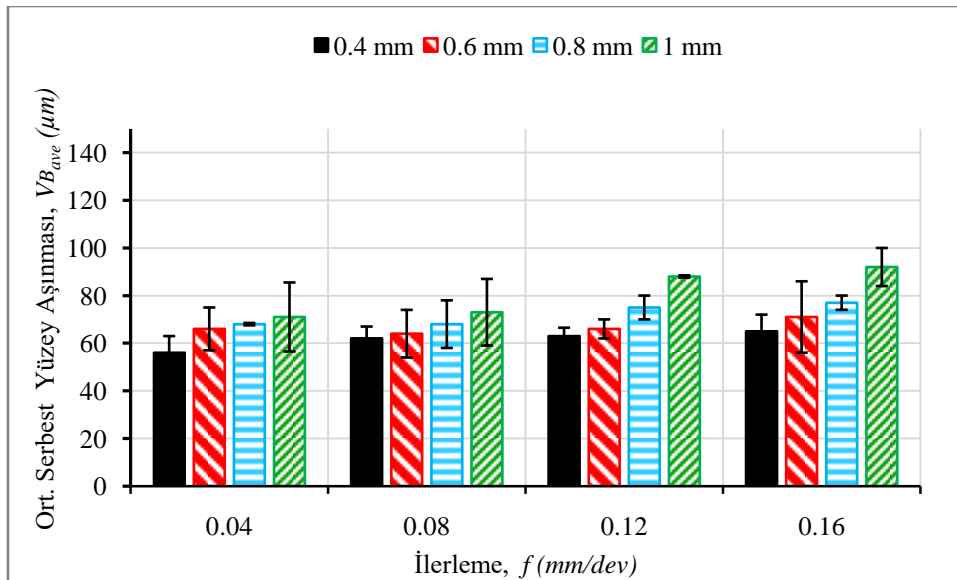
Şekil 3.1.  $V_c = 20$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri

Düşük kesme hızında yapılan bu deneylerde kesici takımın iş parçasının yüzeyle sürtünmesiyle yüzeylerde gerilmeler oluşur. Bu gerilmelerin etkisiyle iş parçasından kopan küçük boyutlardaki malzemelerin takım yüzeyine yapışması sonucunda düzgün dağılımlı adhesiv aşınma mekanizması oluşmuştur. Serbest yüzey aşınmalarında genel olarak görülen bu mekanik aşınma türünün örneği Şekil 3.2' de 0.08 mm/dev ilerleme ve 0.8 mm kesme derinliğinde işlem yapılmış takımında gösterilmiştir. Şekil 3.3' te ise 20 m/dak kesme hızındaki takımlardan ölçülen serbest yüzey aşınma değerleri verilmiştir.



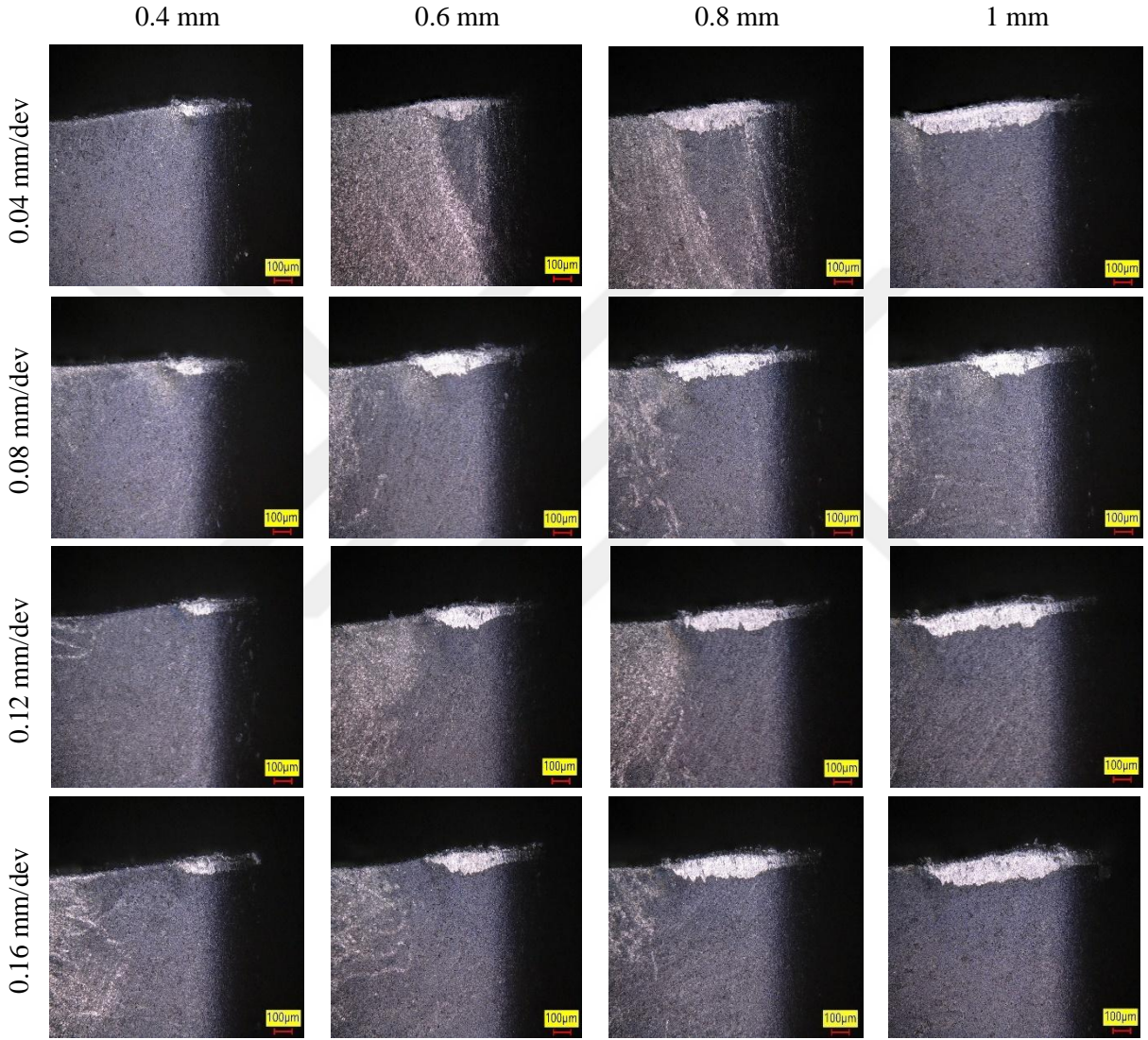
Şekil 3.2.  $V_c=20$  m/dak,  $f=0.08$  mm/dev,  $a_p=0.8$  mm parametrelerinde işlenen takımın serbest yüzey aşınma görüntüsü

Şekil 3.3' de gösterilen grafikte hem kesme derinliği hem de ilerleme arttıkça serbest yüzey aşınması değerlerinde artış gözlenmiştir. Düşük kesme derinliğinde (0.4 mm), 0.04 mm/dev ilerlemede 56  $\mu$ m aşınma görülürken 0.16 mm/dev ilerlemede takımda meydana gelen aşınma 65  $\mu$ m olarak ölçülmüştür. Kesme derinliği tüm ilerlemelerdeki deneylerde takım aşınmasını arttırmış ancak çok fazla etkili olmamıştır.



Şekil 3.3. Kesme sıvısı 20 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları.

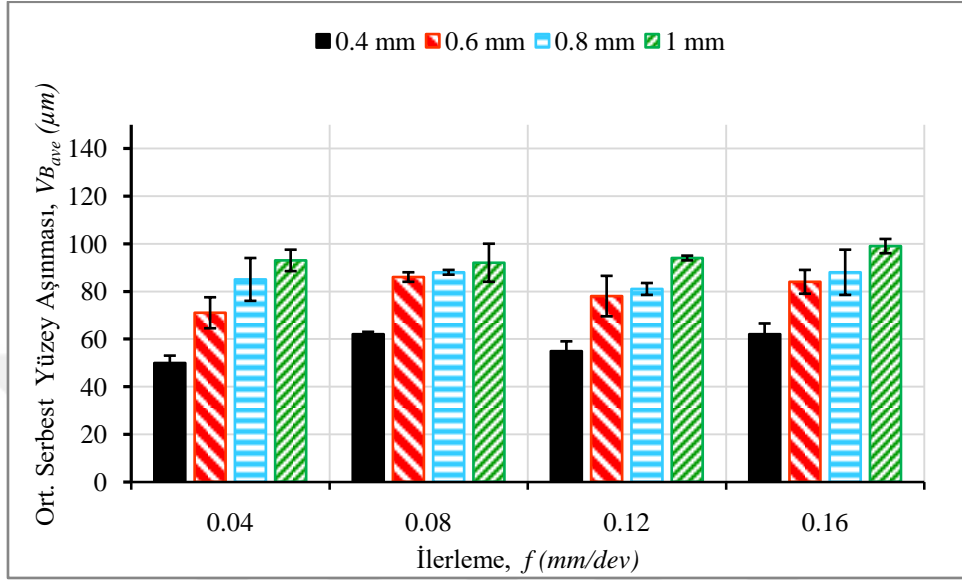
45 m/dak kesme hızında kesici takımında oluşan serbest aşınma görüntüleri Şekil 3.4' de sunulmuştur. Aşınma görüntülerine bakarak kesme derinliğinin ve ilerleme değerlerinin aşınma üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Elde edilen aşınma değerleri ise Şekil 3.5' deki grafikte verilmiştir.



Şekil 3.4.  $V_c=45$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri

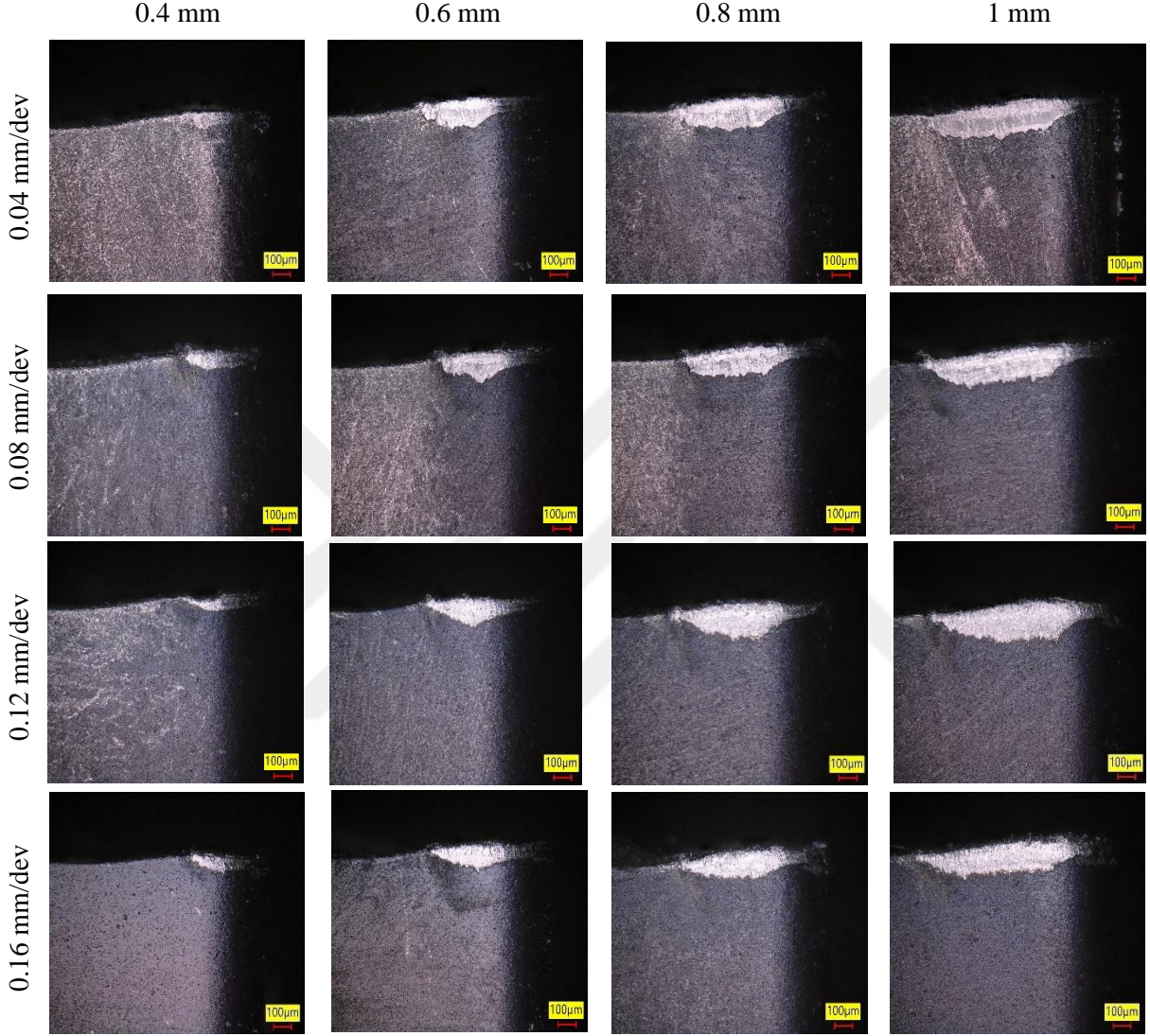
45 m/dak kesme hızında yapılan deneylerde takımlarda ilerleme ve talaş derinliğinin etkisiyle serbest yüzey aşınmasında artmıştır. Deneyler kesme sıvısı koşulunda yapıldığından dolayı sıcaklık ölçümü yapılamamıştır. Ancak kesme hızı arttıkça artan

sıcaklığın etkisi ile takım aşınmasında termal etkilerin etkili olduğu düşünülmektedir. Düşük ilerlemede, kesme derinliğindeki artış (0.4' ten 1 mm ye) takım serbest yüzey aşınmasını %86, yüksek ilerlemede aşınmayı %60 arttırmıştır.



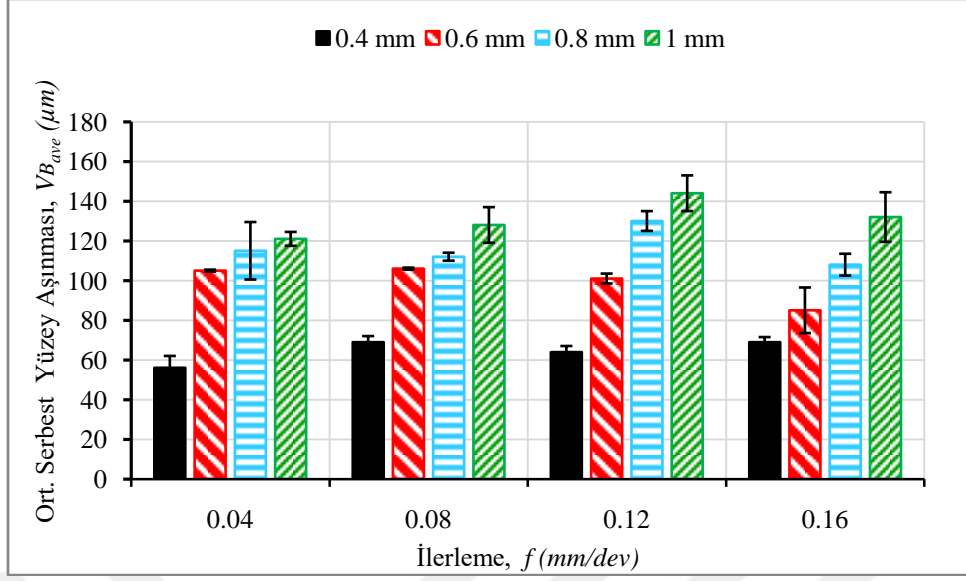
Şekil 3.5. Kesme sıvısı 45 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları.

Şekil 3.6' da 70 m/dak kesme derinliğinde işlenmiş takımların görüntüleri sunulmaktadır. İlerleme ve kesme derinliğindeki artışla birlikte takımla iş parçası arasındaki temasın arttığı görüntülerde açıkça görülmektedir. Takım iş parçası arasındaki temasın artması kesme kuvvetlerini dolayısıyla takım serbest yüzeyindeki aşınmayı da arttırmıştır. 70 m/dak kesme hızında elde edilen aşınma değerleri de Şekil 3.7' de sunulmuştur.



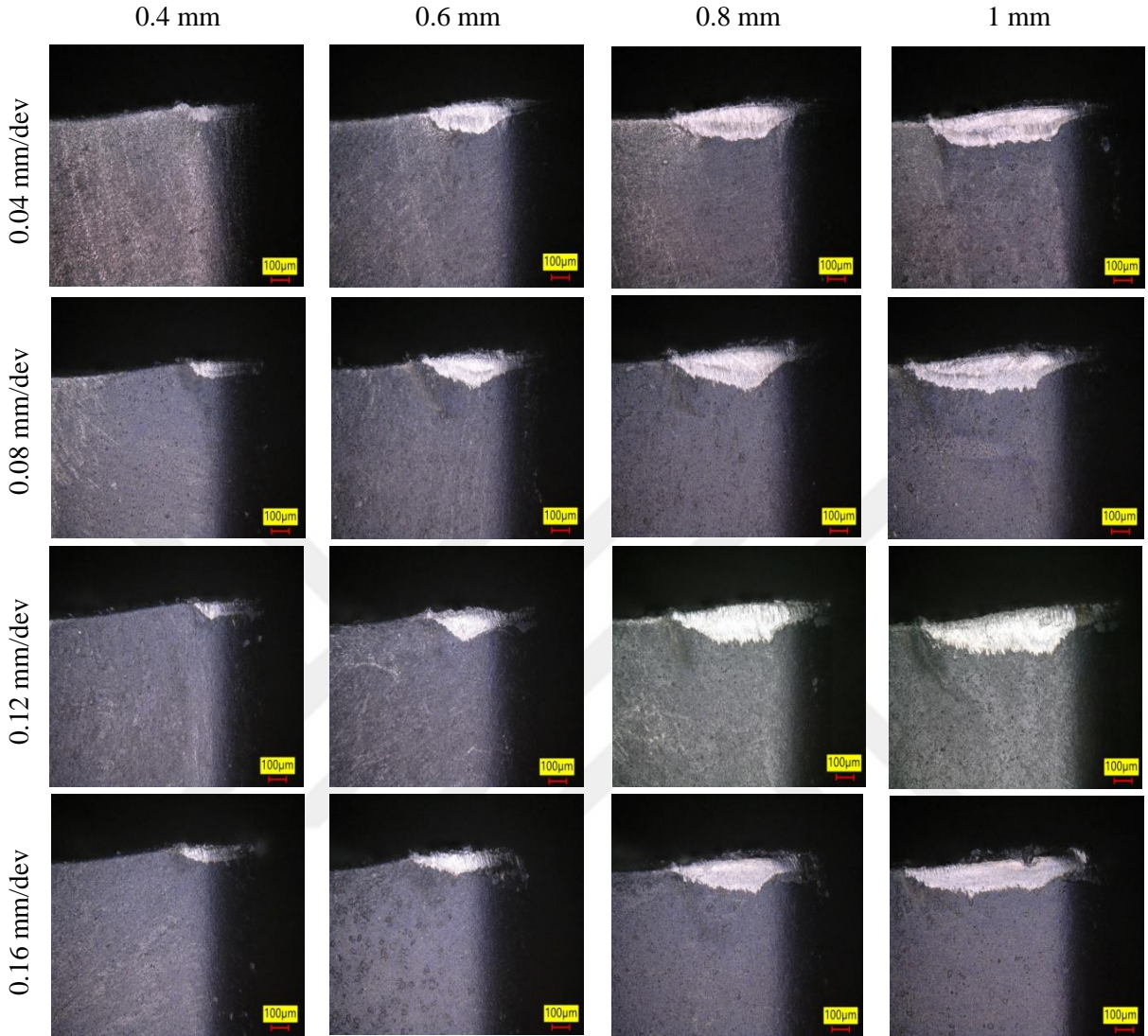
Şekil 3.6.  $V_c = 70$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri.

70 m/dak kesme hızında düşük kesme derinliğinde meydana gelen aşınmalar diğer kesme hızlarının (20 ve 45 m/dak) aynı kesme derinliğindeki aşınmalar ile yaklaşık değerler göstermiştir. Kesme derinliğindeki artışla birlikte aşınma miktarındaki artış diğer hızlardan daha fazla olmuştur. İşleme sonucunda oluşan aşınma değerleri 100  $\mu$ m yi geçmiştir. En fazla aşınma 0.12 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği alınarak yapılan deneyde 144  $\mu$ m olarak ölçülmüştür.



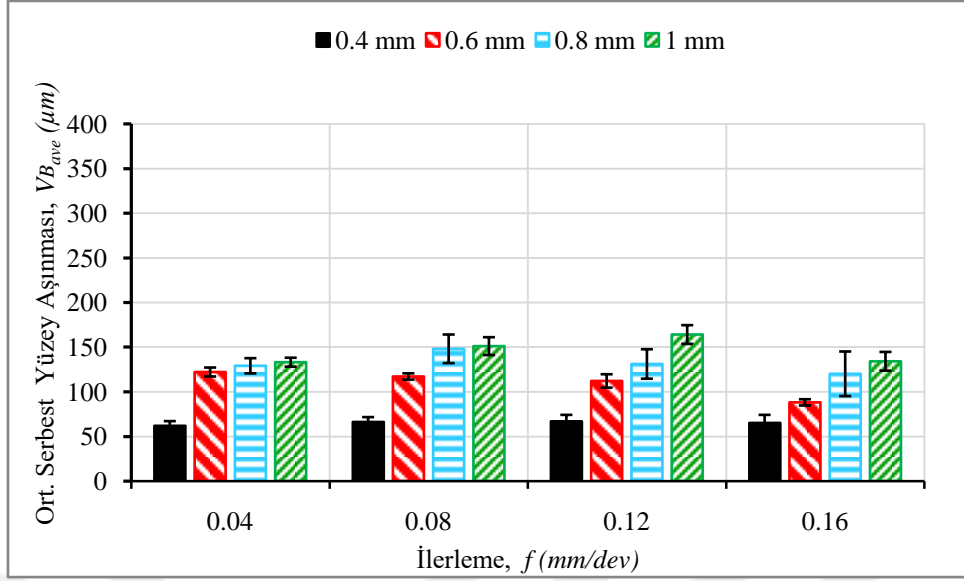
Şekil 3.7. Kesme sıvısı 70 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları.

Şekil 3.8 'de 95 m/dak kesme hızında soldan sağa doğru aynı ilerlemede, farklı kesme derinliğindeki takımlar gösterilmiştir. Bu takımların üzerinde kesme derinliğinin serbest yüzeydeki aşınmaya olan etkisi açıkça görülmektedir. Kesme derinliği arttıkça takım-iş parçası arasındaki temas yüzeyi artmıştır.



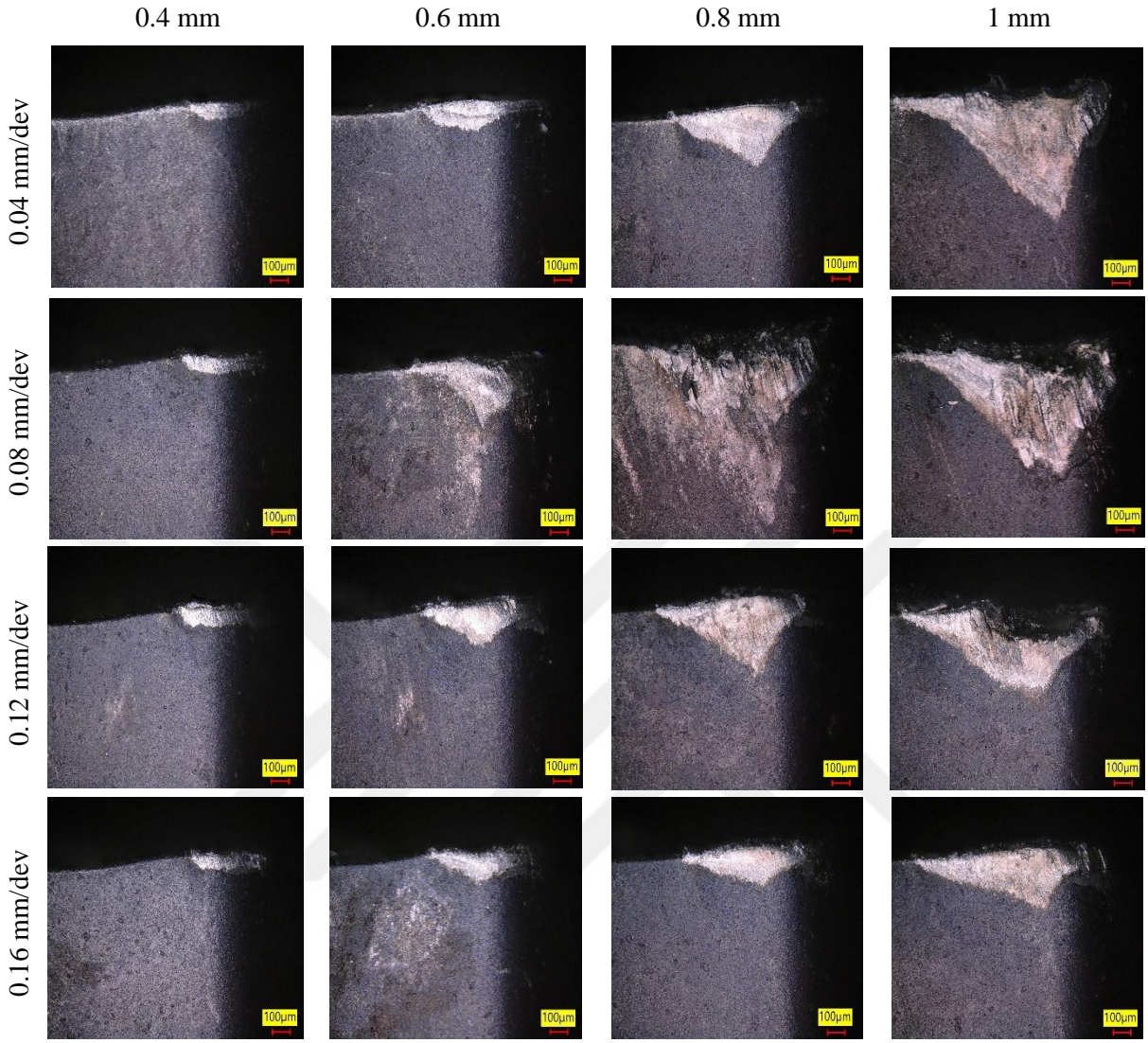
Şekil 3.8.  $V_c = 95$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri

Kesme hızının artması takımında oluşan aşınma değerlerindeki artırmıştır. Şekil 3.9' da görüldüğü gibi tüm ilerlemelerdeki düşük kesme derinliğinde birbirine yakın aşınma değerleri elde edilmiştir. Her bir ilerlemede kesme derinliğindeki artışla birlikte aşınma değerleride artmıştır. İlerlemedeki artış takımında oluşan aşınma değerlerini 0.12 mm/dev 'e kadar arttırıcı yönde etkilemiş, 0.16 mm/dev ilerlemede ise azaltmıştır. 0.12 mm/dev ilerlemedeki takımlarda oluşan aşınmalar ile 0.16 mm/dev ilerlemedeki takımlar karşılaştırıldığında 0.4 mm kesme derinliğinde %3, 0.6 mm kesme derinliğinde %21, 0.8 mm'de %8 ve 1 mm kesme derinliğinde ise %18 azalma görülmüştür.



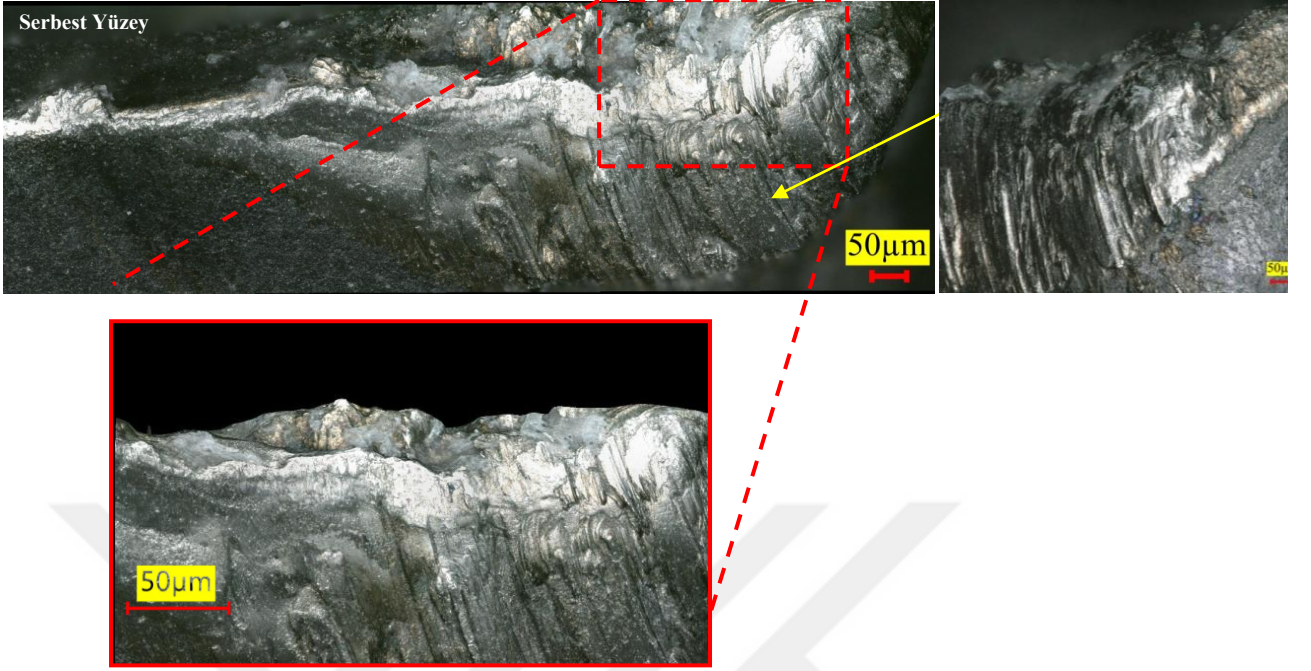
Şekil 3.9. Kesme sıvısı 95 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları.

Deneyler sırasında en yüksek kesme hızının ( $V_c = 120$  m/dak) kullanıldığı takımların görüntüleri Şekil 3.10' da sunulmuştur. Kesme parametrelerinin takım aşınmalarına belirgin etkileri olmuştur. Ayrıca görüntülerde takımların serbest yüzey aşınmasında mekanik ve termal etkilerin yanı sıra plastik deformasyonunda etkili olduğu görülmektedir.



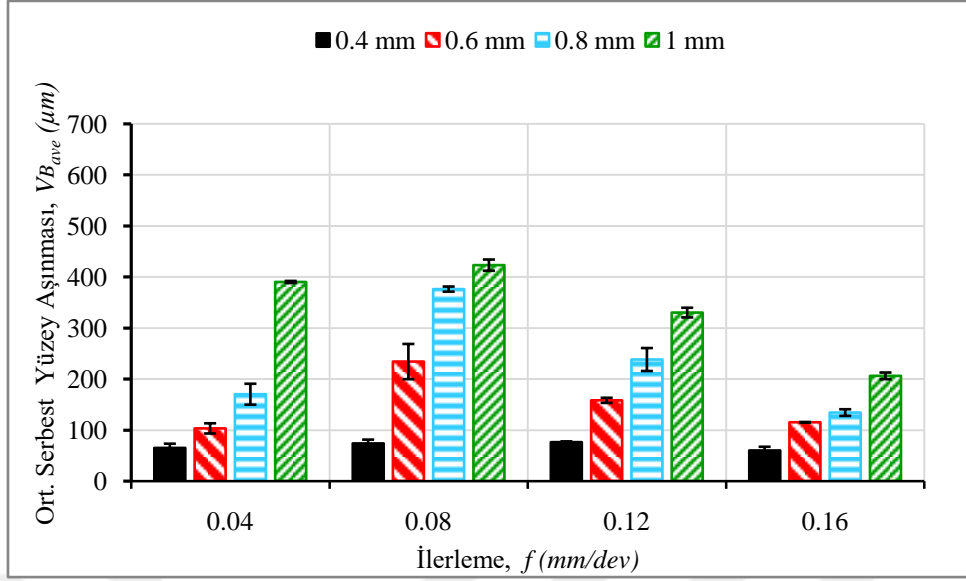
Şekil 3.10.  $V_c=120$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınma görüntüleri

Kesme hızının maksimum olması düşük kesme derinliğindeki deneylerde etkili olmazken yüksek kesme derinliğindeki deneylerde aşırı serbest yüzey aşınmalarına sebep olmuştur. Kesme işlemi sırasında takım serbest yüzeyi ve işlenen yüzey arasında akan talaşlar takımın bazı bölgelerinde abrazyon aşınma [19], bazı bölgelerinde ise adezyon aşınma mekanizmalarına neden olmuştur. Yüksek kesme hızlarında kesici takımında mekanik aşınmaların yanı sıra oluşan yüksek ısının etkisiyle yüzeysel ergimeler yani plastik deformasyon oluşur. Şekil 3.11' de bu duruma örnek bir takımın görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 3.11.  $V_c=120$  m/dak,  $f=0.08$  mm/dev  $a_p=1$  mm parametrelerinde işlenen takımdaki aşınma görüntüsü

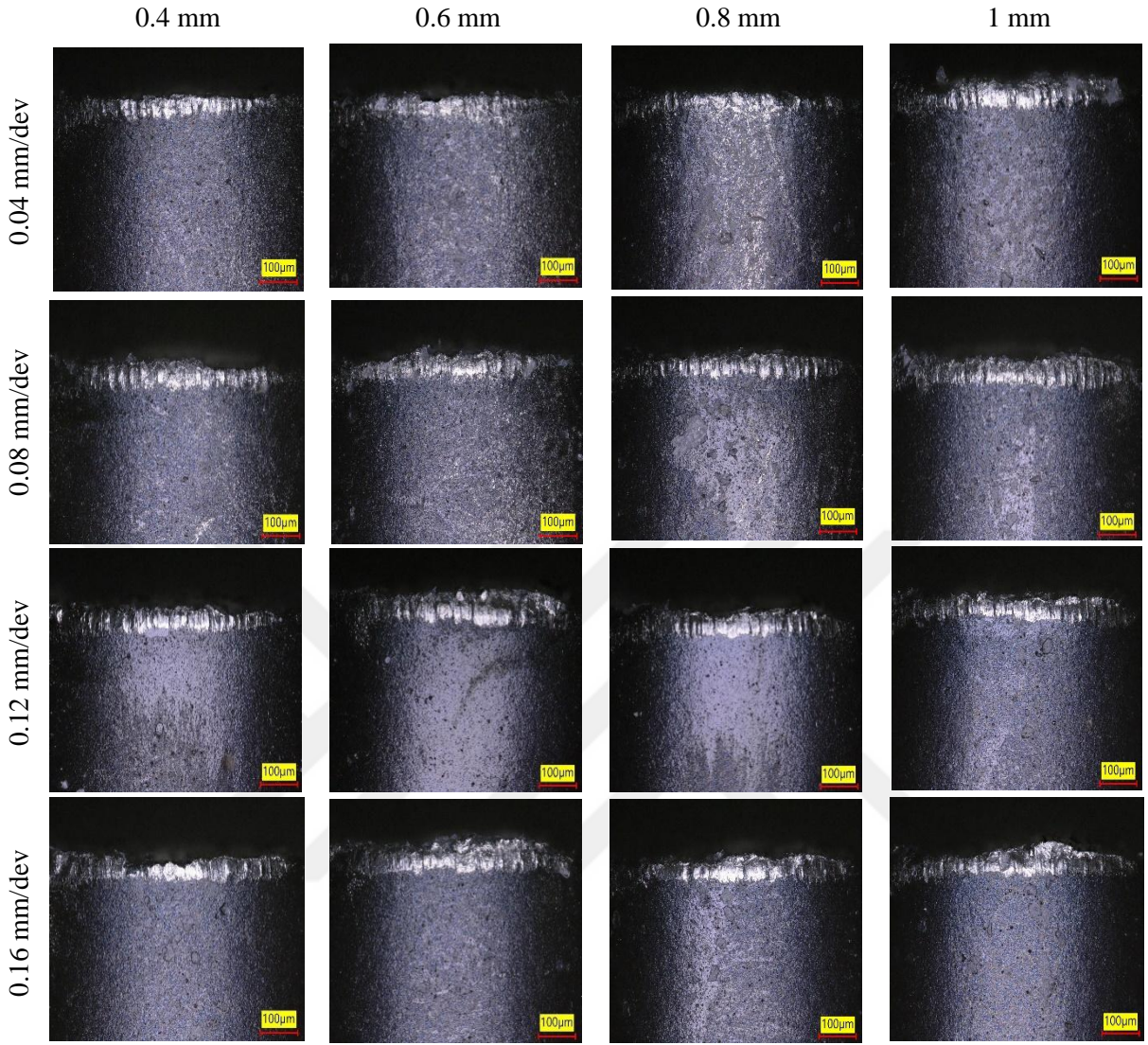
Şekil 3.12’ de 120 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları sunulmuştur. Bu kesme hızında yüksek kesme derinliğindeki bazı kesici takımlarada ISO standartlarında 300µm (ISO 3685) olarak belirtilen ortalama serbest yüzey aşınma sınırından daha yüksek değerler ölçülmüştür. 1 mm kesme derinliğindeki ölçülen aşınma değerleri 0.04 mm/dev ilerlemede 390 µm, 0.08 mm/dev ilerlemede 423µm ve 0.12 mm/dev ilerlemede 330 µm olmuştur. Düşük ilerlemelerde oluşan yüksek aşınmalara karşın ilerleme artınca aşınma miktarı 2 kat azalmıştır.



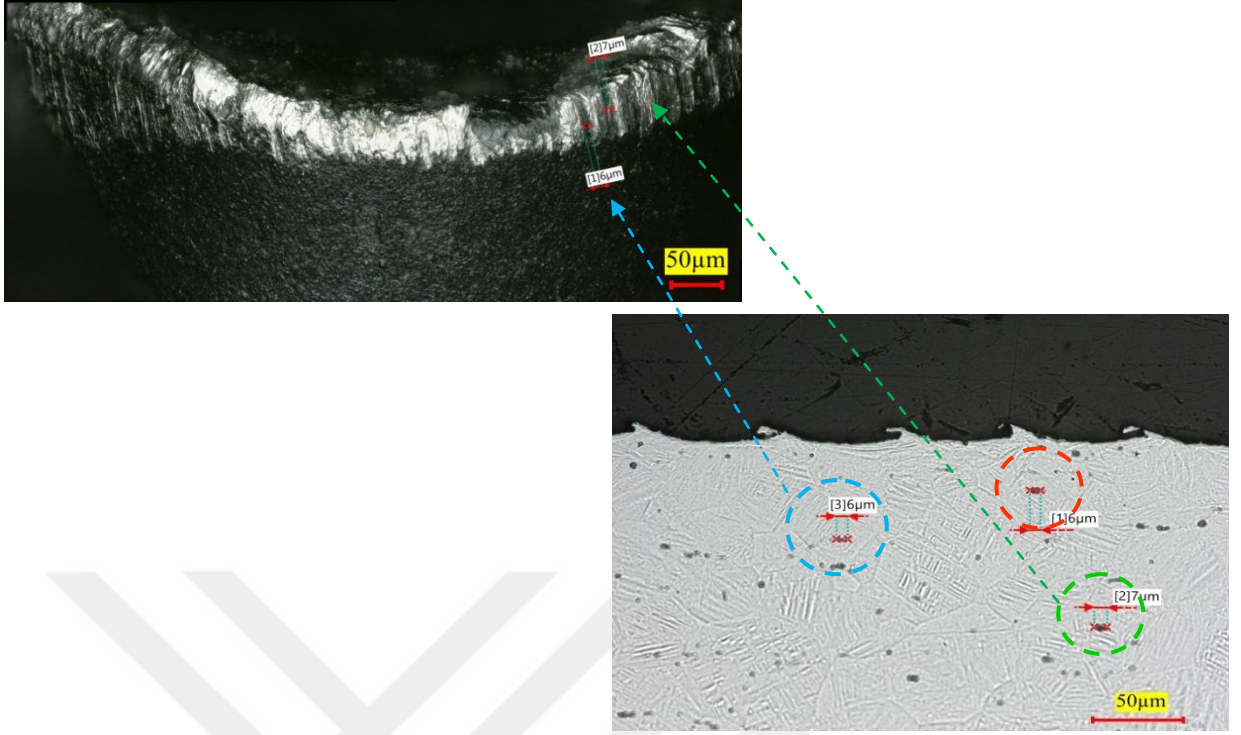
Şekil 3.12. Kesme sıvısı 120 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan serbest yüzey aşınma miktarları

### 3.1.2 Burun Aşınma Sonuçları

Kesici takım ömrü ve işlenen parçaların yüzey topografisi gibi yüzey bütünlüğü karakteristikleri açısından ve özellikle işlenen parçaların boyutsal doğruluğu açısından önemli olan bir diğer aşınma türü kesici takım burun aşınmasıdır. 20 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen burun aşınması görüntüleri Şekil 3.13' te sunulmuştur. Kesme derinliği arttıkça burun aşınmalarında bir miktar artış olsa da kesme parametrelerinin değişimi düşük kesme hızında yapılan bu deneylerde etkili olamamıştır. Kesme sırasında mekanik etkilerle yani gerilmelerin etkisiyle takımlarda abrasif aşınma türü gözlenmiş, takım burun bölgesinde oluklar olmuştur. İş parçası içerisindeki sert parçacıkların işleme sırasında kesici takımındaki bu oluklara sebep olduğu düşünülmüştür. Bu durumu incelemek için işlenen parçanın mikroyapısına bakılmıştır. Burun aşınmasının oluşturan abrazyon aşınma mekanizması ve alınan mikroyapı görüntüsü Şekil 3.14'te verilmiştir.

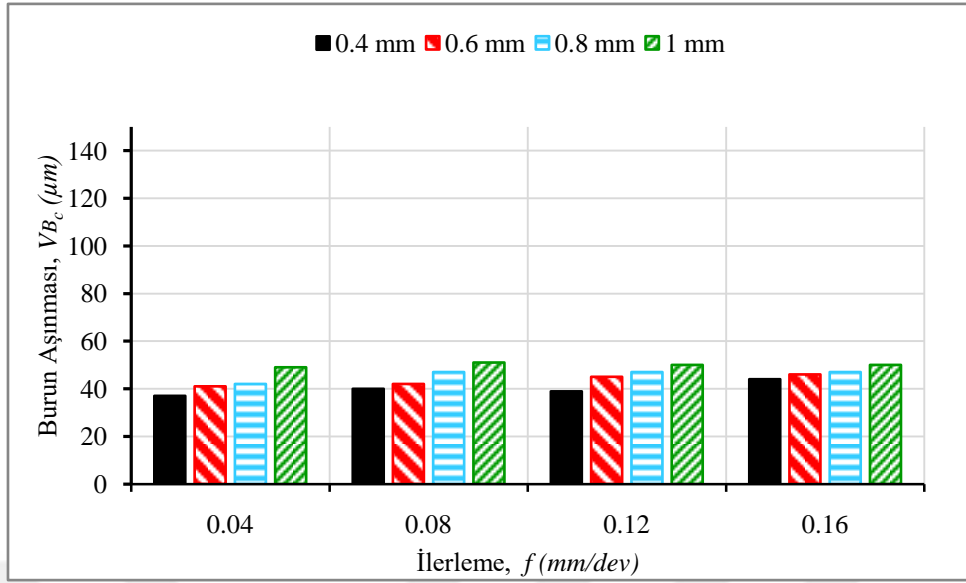


Şekil 3.13.  $V_c = 20$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri



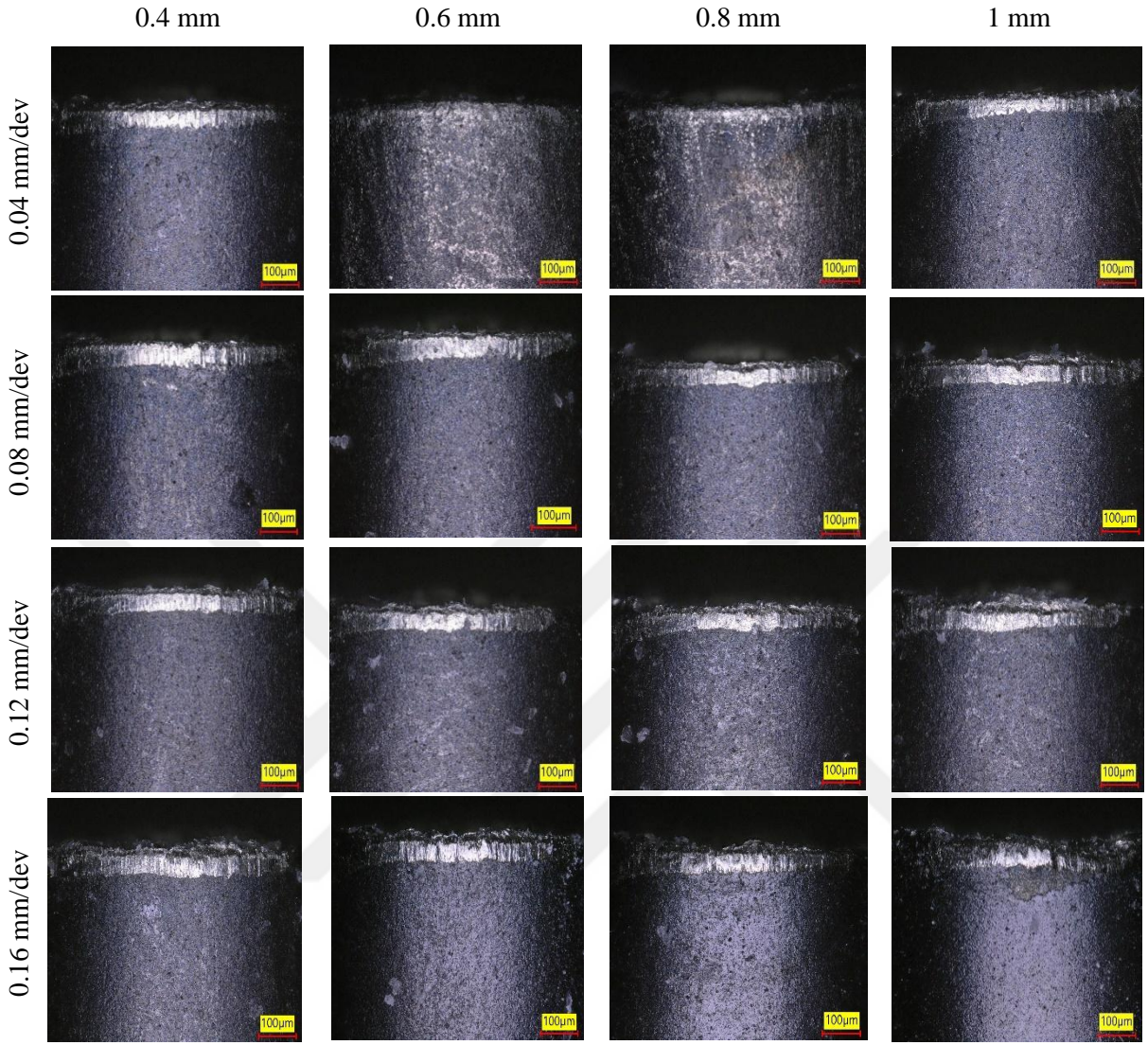
Şekil 3.14.  $V_c=20$  m/dak,  $f=0.12$  mm/dev,  $a_p=0.8$  mm parametrelerinde işlem yapılan takımın burun aşınması görüntüsü ve işlenen malzemenin mikroyapısı

Şekil 3.15'te ise 20 m/dak kesme hızında oluşan burun aşınması miktarları verilmiştir. Tüm ilerleme değerlerinde kesme derinliğindeki artışla birlikte burun aşınma miktarında artmıştır. En düşük ilerleme olan 0.04 mm/dev'de, kesme derinliği 0.4 mm den 1 mm ye kadar aşınma miktarında %32 artış görülmüştür. Sırasıyla 0.08 mm/dev ve 0.12 mm/dev ilerlemede %27 ve %28 artış görülürken, en yüksek ilerleme olan 0.16 mm/dev ise burun aşınmasında %14 artış görülmüştür.

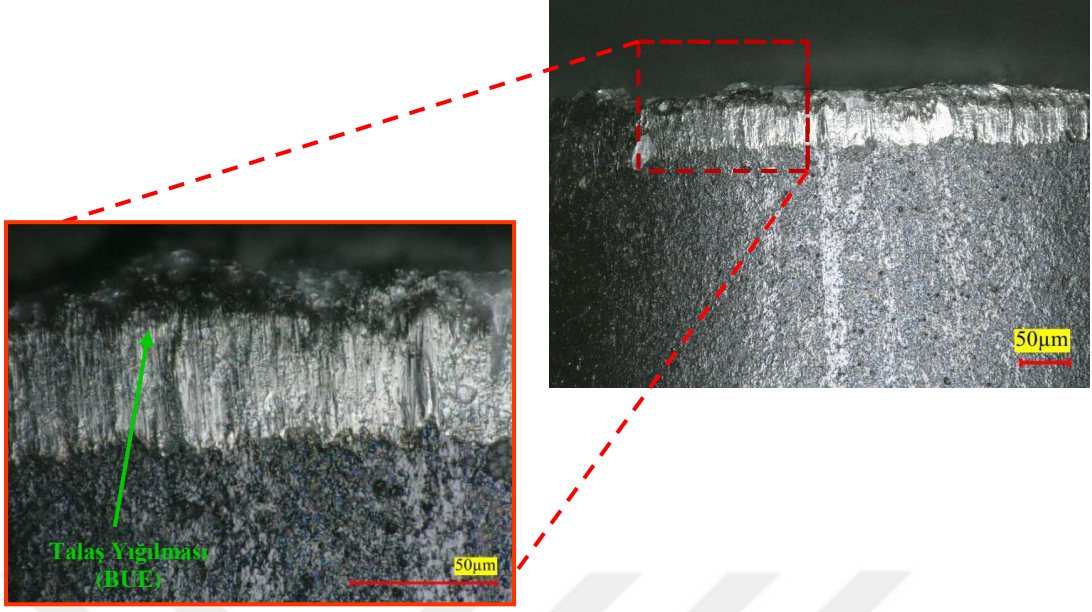


Şekil 3.15.  $V_c = 20$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.

Düşük kesme hızlarında takım ve iş parçası arasında sürtünme fazladır bu da temas alanında oluşan sıcaklığı artırır. Böylece takım aşınması üzerinde termal etkiler baskın hale gelir. Şekil 3.16' te 45 m/dak kesme hızında işlem yapılan takımların görüntüleri sunulmuştur. Kesme derinliği ve ilerlemenin değişimi aşınma üzerinde etkili olmuştur. Takım ve iş parçası arasında oluşan sıcaklığın etkisi ile iş parçasından kopan malzemeler takım yüzeyinin üzerine yapışmıştır. Dolayısıyla yüksek ilerleme ve kesme derinliği değerlerinde takım uç kısmında yığıntı talaş birikimi (BUE) gözlenmiştir. Şekil 3.17' de takım burun bölgesinde oluşan talaş birikiminin daha net bir şekilde görüldüğü bir kesici takımın görüntüsü verilmiştir.

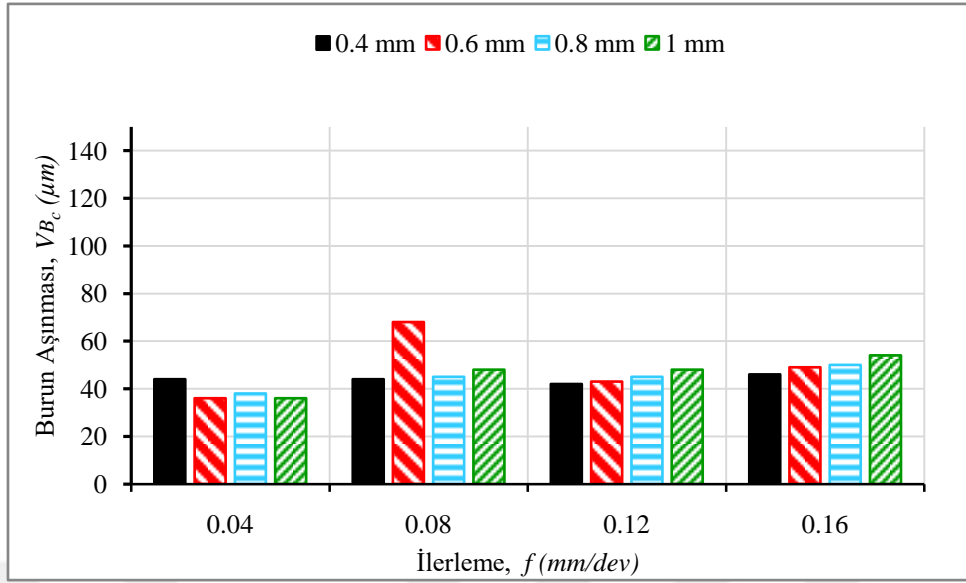


Şekil 3.16.  $V_c = 45$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri.



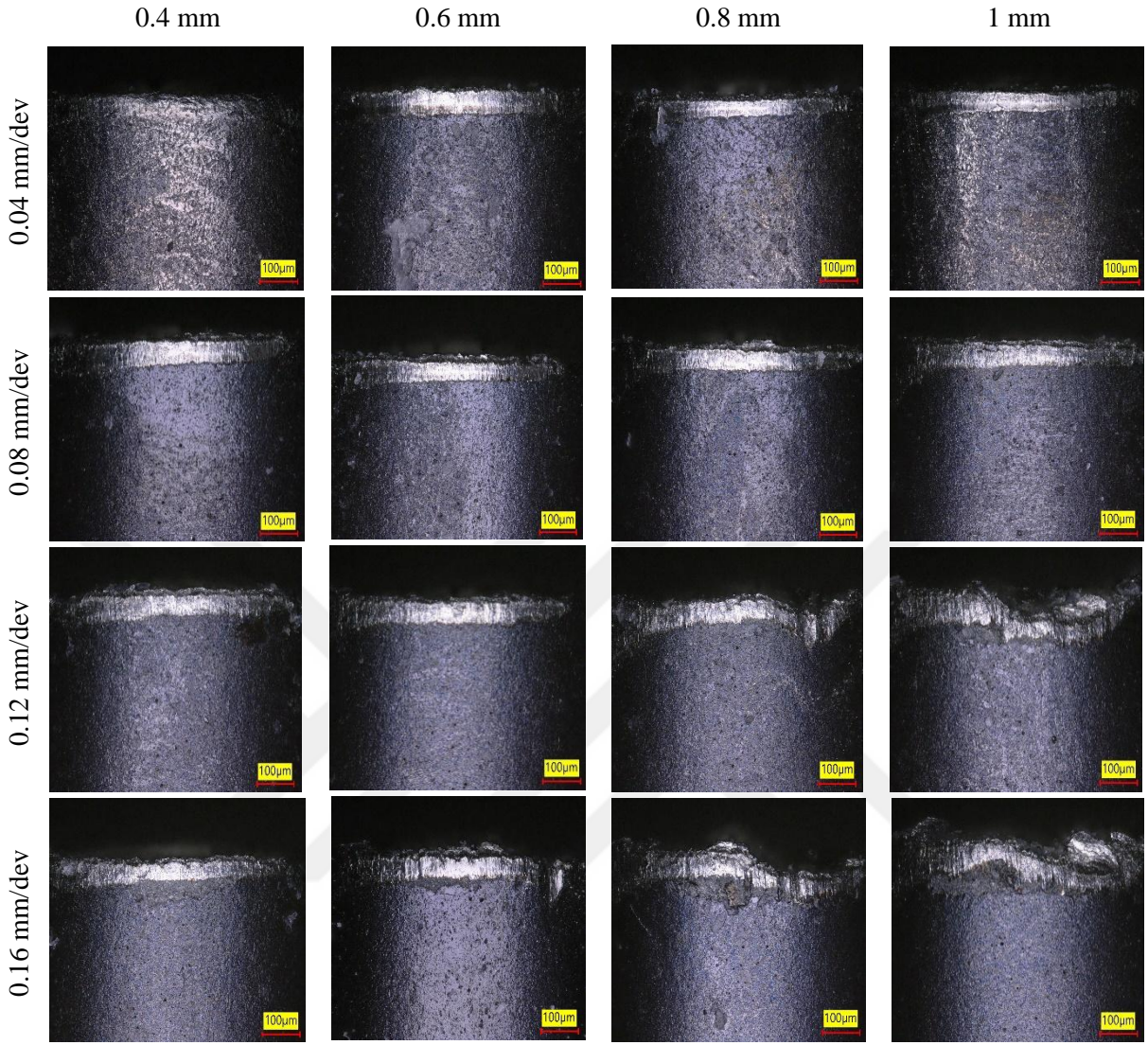
Şekil 3.17.  $V_c=45$  m/dak,  $f=0.16$  mm/dev,  $a_p=0.6$  mm parametrelerinde işlenen takım görüntüsü

Deneysel sonuçlarda elde edilen burun aşınması değerleri Şekil 3.18’de sunulmuştur. 45 m/dak kesme hızında takım burun bölgesindeki aşınmada, 20 m/dak kesme hızındaki burun aşınmasına yakın değerler elde edilmiştir. Kesme hızındaki artışın aşınma üzerinde etkisi düşük olduğu görülmüştür. Kesme derinliği ve ilerlemedeki değişimler aşınma değerlerinde belirgin farklılıklar oluşturmamıştır. 0.04 mm/dev ilerlemede burun aşınması 40 µm değerlerine ulaşırken, yüksek ilerlemede (0.16 mm/dev) en fazla 50 µm değerine ulaşabilmiştir.



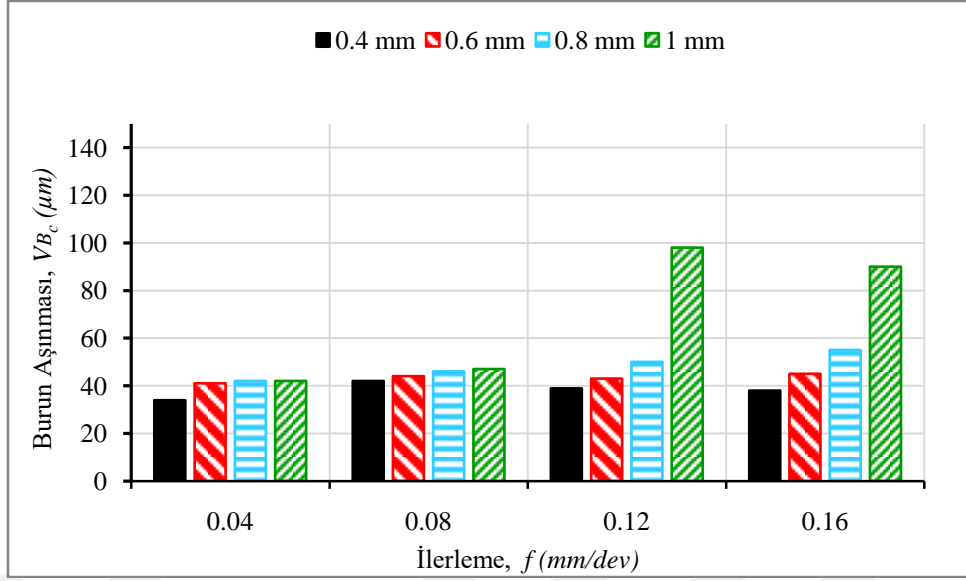
Şekil 3.18.  $V_c = 45$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.

Şekil 3.19’te 70 mm/dak kesme hızında kesme derinliklerinin ve ilerlemeye bağlı oluşan burun aşınması görüntüleri sunulmuştur. Düşük ilerlemede (0.04-0.08 mm/dev) kesici takımın uç bölgesinde yalnız burun aşınması oluşurken, yüksek ilerleme miktarlarında (0.12- 0.16 mm/dev) burun aşınmasının yanı sıra kesici takımın ikincil bölgesinde krater aşınması oluşmuştur. Yüksek ilerlemede kesme derinliği arttıkça çentik aşınması miktarıda artmıştır. Ayrıca yüksek ilerleme ve kesme derinliği değerlerinde kesici takımın uç bölgesinden malzeme kopmasının meydana geldiğinde görüntülerde açıkça görülmektedir.



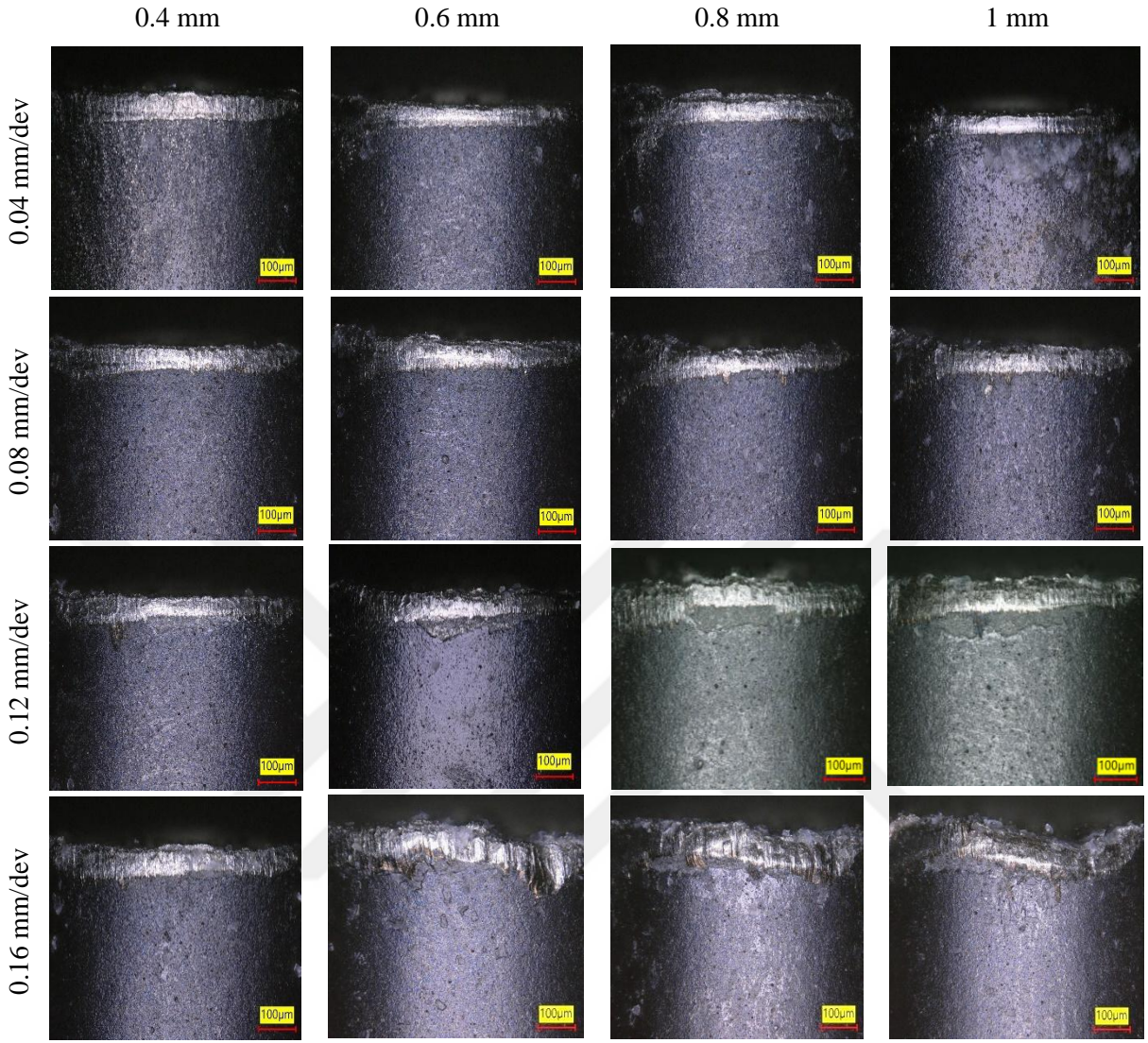
Şekil 3.19.  $V_c = 70$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri.

70 m/dak kesme hızında kesici takımında oluşan burun aşınması değerleri Şekil 3.20’de sunulmuştur. 0.04 mm/dev ve 0.08 mm/dev ilerlemedeki deneylerde burun aşınmasında düzenli artış görülmüştür. Yüksek ilerlemedeki deneylerde ise yüksek kesme derinliğinde (1 mm) burun aşınmasında ani artış görülmüştür. Bu duruma artan kuvvetlerin ve artan sıcaklığın etki ettiği düşünülmektedir.



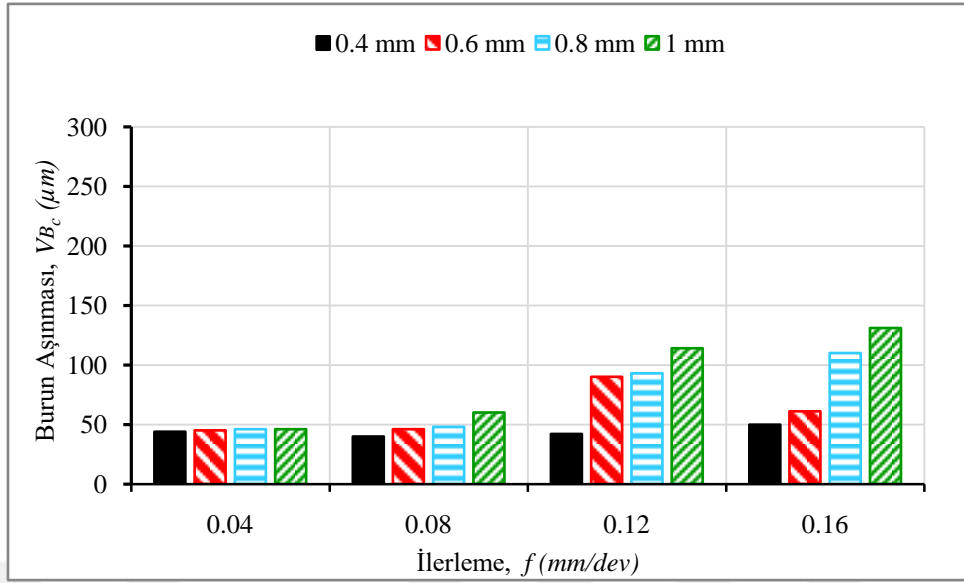
Şekil 3.20.  $V_c = 70$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.

95 m/dak kesme hızında işlem yapılan takımların görüntüleri Şekil 3.21’de sunulmuştur. Düşük ilerlemede kesme derinliğinin bağlı oluşan burun aşınmalarında benzer sonuçlar oluşturmuştur. Yüksek ilerlemede ise kesme derinliği ve kesme hızı artması sonucu kesici takım ve iş parçası arasında kesme sıcaklığının arttığı, bunun sonucunda artan sıcaklığın etkisiyle karbür takım ve iş parçası arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonun kesici takımda aşınmayı etkilediği [20] ve arttırdığı düşünülmektedir.



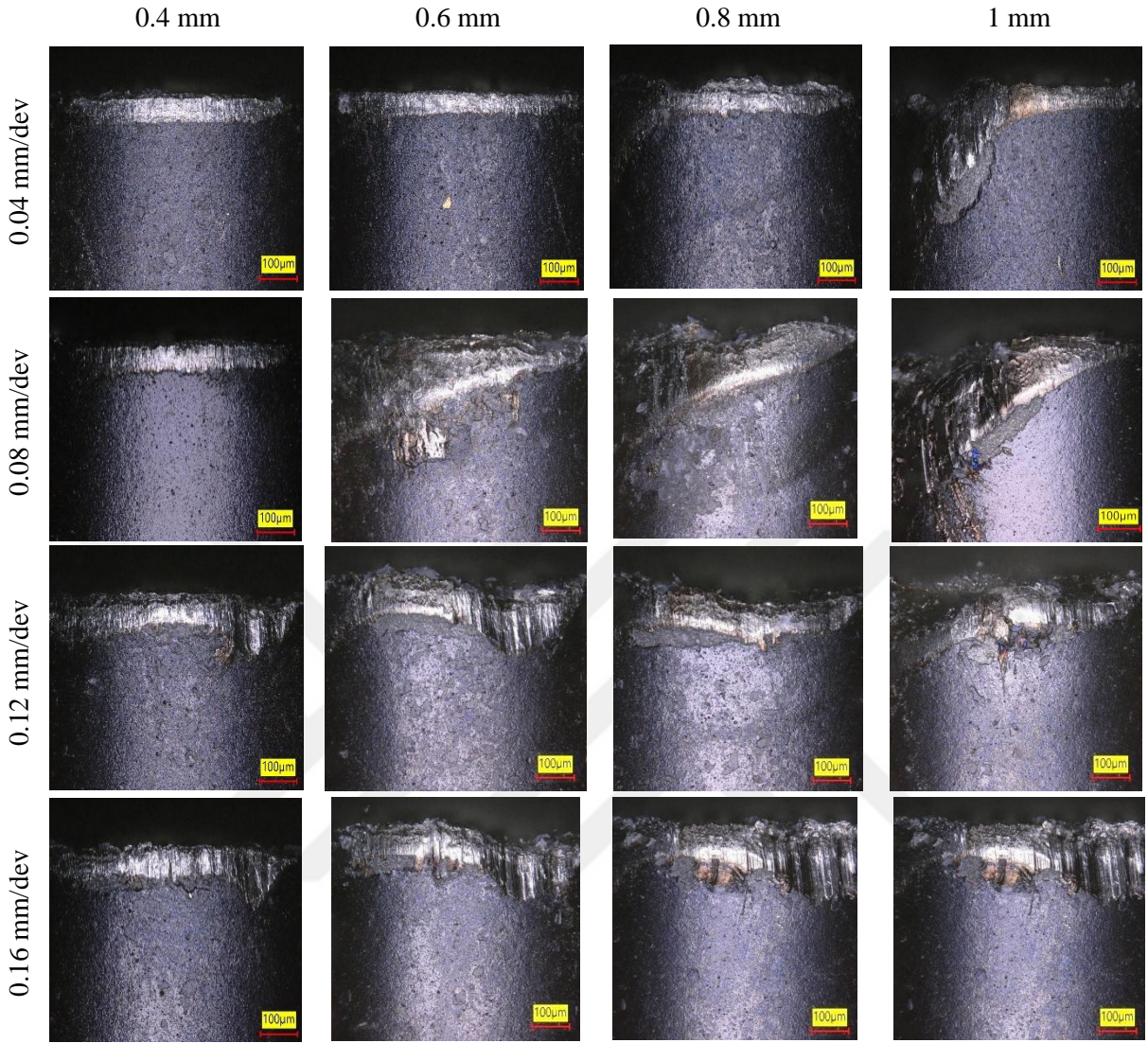
Şekil 3.21.  $V_c = 95$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri.

Şekil 3.22’ de 95 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesme derinliğine bağlı elde edilen burun aşınması değerleri verilmiştir. Grafiğin genelinde ilerleme ve kesme derinliğindeki artışla birlikte burun aşınması değerlerinin de arttığı görülmüştür. 0.12 mm/dev ve 0.16 mm/dev ilerlemelerde kesme derinliklerinin kullanıldığı deneylerde takım burun aşınmasında diğer iki ilerlemeye göre iki kat artış göstermiştir. Bu durumun oluşmasında yüksek ilerlemelerde oluşan yüksek sıcaklıkların sebep olduğu düşünülmektedir.



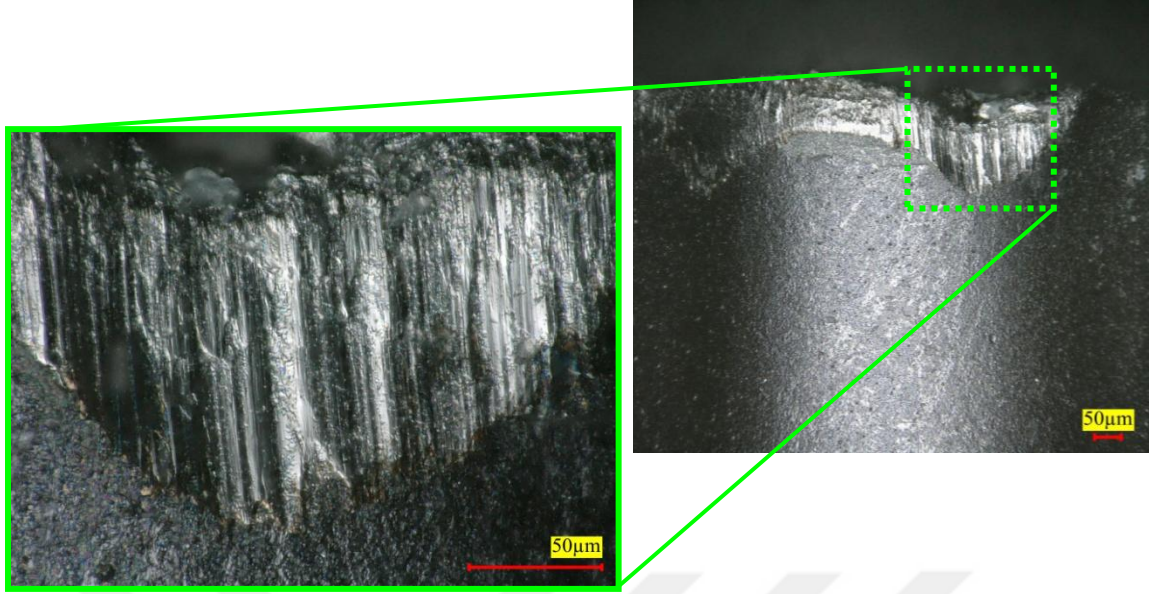
Şekil 3.22.  $V_c = 95$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları.

Yüksek kesme hızında (120 m/dak) yapılan deneylerdeki takımları işleme sonucu görüntüleri Şekil 3.23' de sunulmuştur. Kesme parametrelerindeki artışlar burun aşınmasının artmasına neden olmuştur. Mekanik ve termal etkilerin yanısıra özellikle düşük ilerleme değerlerinde (0.04 ve 0.08 mm/dev) yüksek kesme derinliğindeki (1 mm) kullanılan kesici takımlardaki aşınmada plastik deformasyonun etkili olduğu açıkça görülebilmektedir. Takımların iş parçasıyla temas ettiği burun bölgesinin yapısı büyük oranda bozulmuştur. Benzer duruma yüksek ilerlemenin kullanıldığı takımlarda da görülmektedir.



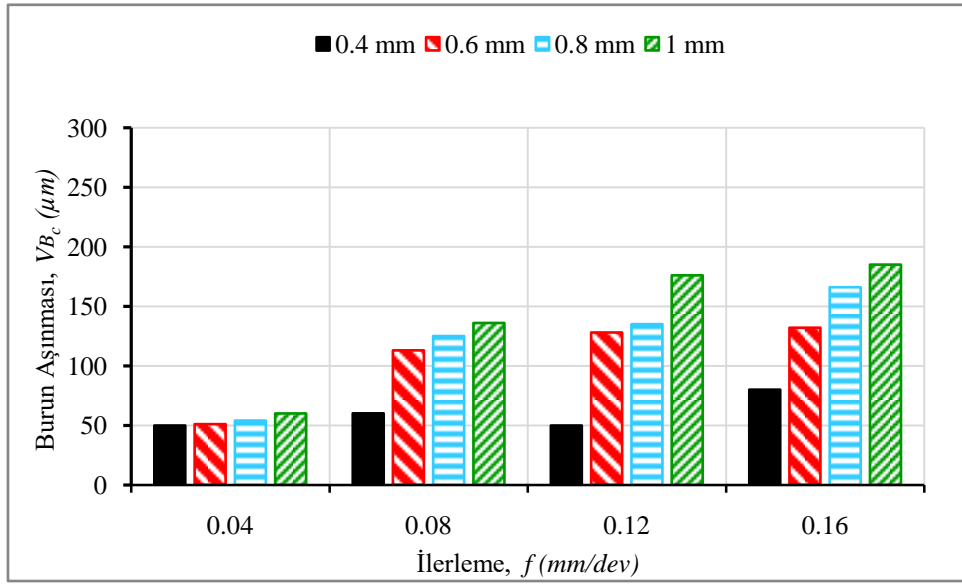
Şekil 3.23.  $V_c = 120$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan burun aşınması görüntüleri.

0.12 ve 0.16 mm/dev ilerlemedeki tüm kesme derinliklerinde takımın hem ana kesme bölgesinde hem de ikincil kesme bölgesinde aşınma meydana gelmiştir. Takım uç kısmının sağ tarafı olan ikincil bölgede oluşan çentik aşınması yüksek ilerlemedeki deneylerde kullanılan takımlarda belirgin bir şekilde görülmektedir. Çentik aşınmasının görüldüğü bir kesici takım örneği Şekil 3.24'te sunulmuştur.



Şekil 3.24.  $V_c=120$  m/dak,  $f=0.12$  mm/dev,  $a_p=0.6$  mm parametrelerinde işlenen takımda oluşan çentik aşınması görüntüsü

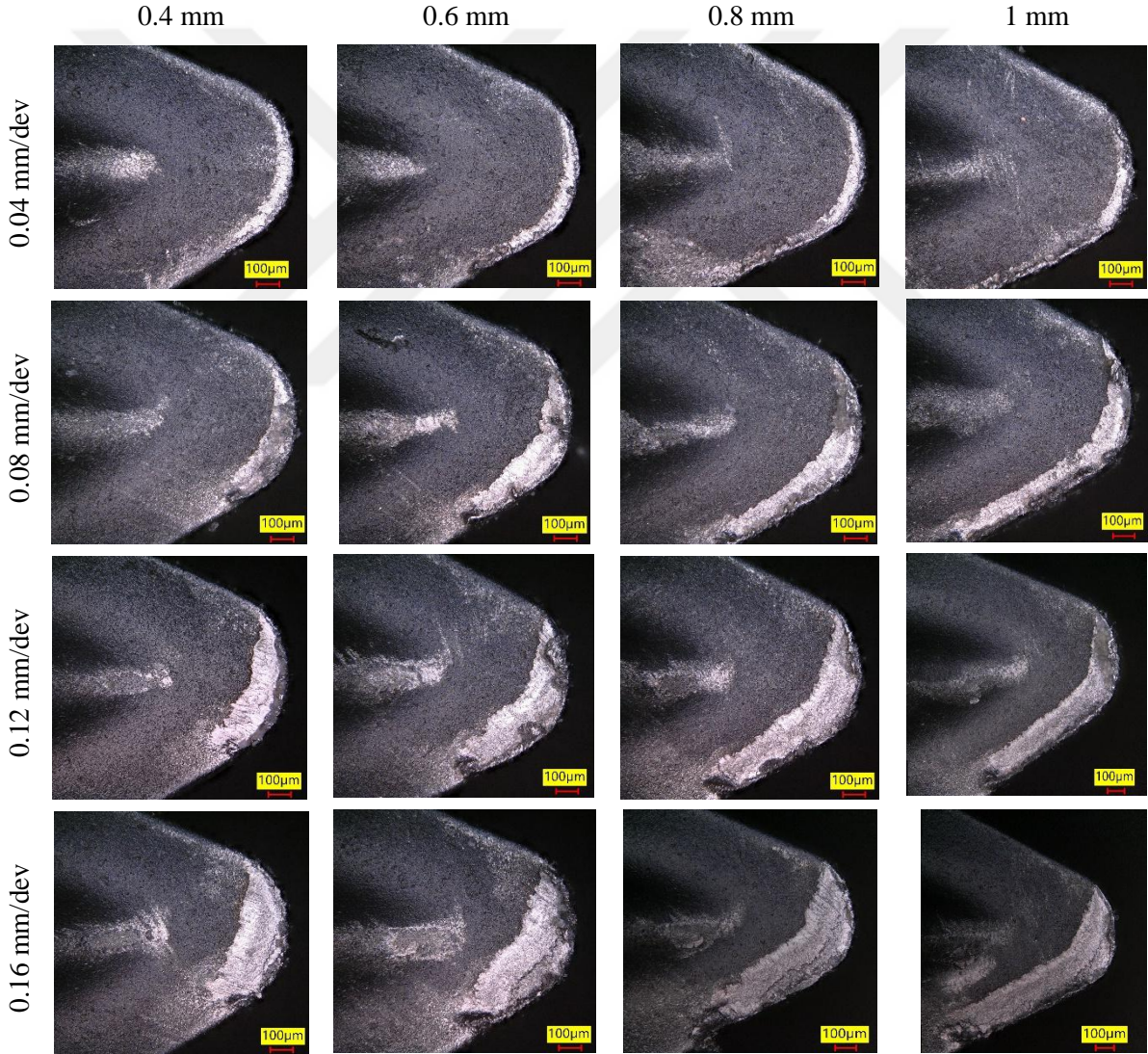
120 m/dak kesme hızında işlem yapılan takımların aşınma değerleri Şekil 3.25’de verilmiştir. 0.04 mm/dev ilerlemede kesme derinliğinin aşınma üzerinde etkisi az olmuştur. 1 mm kesme derinliğinde 0.4 mm kesme derinliğine göre %20 artış görülmüştür. Diğer ilerlemelerde ise (0.08, 0.12 0.16 mm/dev) kesme derinliğindeki artış, aşınma üzerinde etkili olmuştur. Kesme derinliği 0.4 ten 1 mm ye kadar sırasıyla %126, %252 ve %131 burun aşınma değerlerinde artış görülmüştür.



Şekil 3.25.  $V_c = 120$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan burun aşınması miktarları

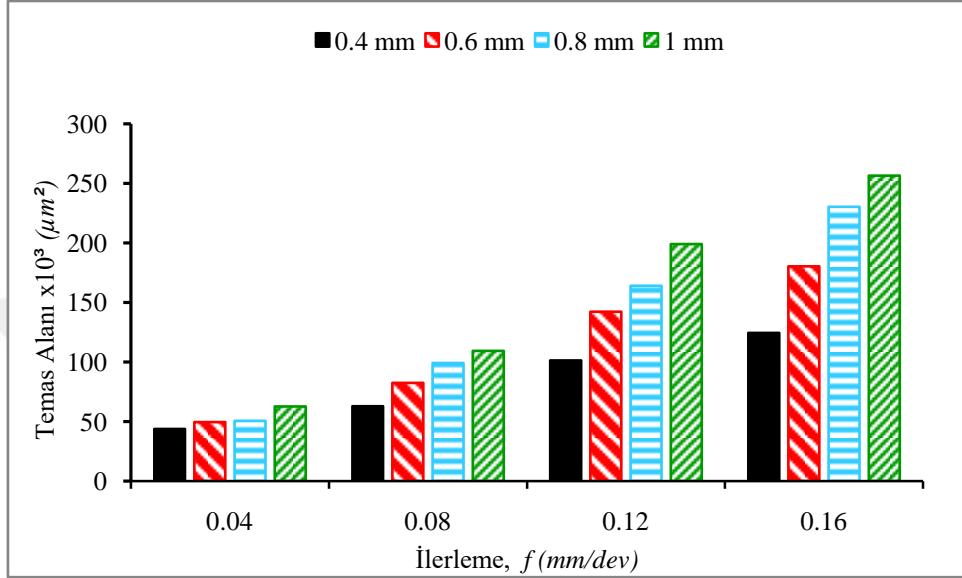
### 3.1.3 Takım-Talaş Temas Alanı ve Krater Aşınması Sonuçları

Malzemelerin talaşlı imalatı sırasında takım talaş yüzeyindeki kesme kenarının talaşla temas halinde kaldığı bölge takım-talaş temas uzunluğu olarak bilinir. Takım talaş temas uzunluğu malzemenin işlenmesinde önemli bir parametredir[21].Talaş kaldırma işleme sırasında oluşan takım-talaş kesme uzunluğuna bağlı olarak, kesme sıcaklıkları, kesme kuvvetleri, iş parçasının yüzey kalitesi ve talaş kırılabilirliği gibi deney çıktıları değişiklik gösterebilmektedir [22]. 20 m/dak kesme hızında farklı kesme derinlikleri ve ilerlemelerde işlem yapılan takımların takım talaş temas uzunluğu görüntüleri Şekil 3.26' da sunulmuştur.



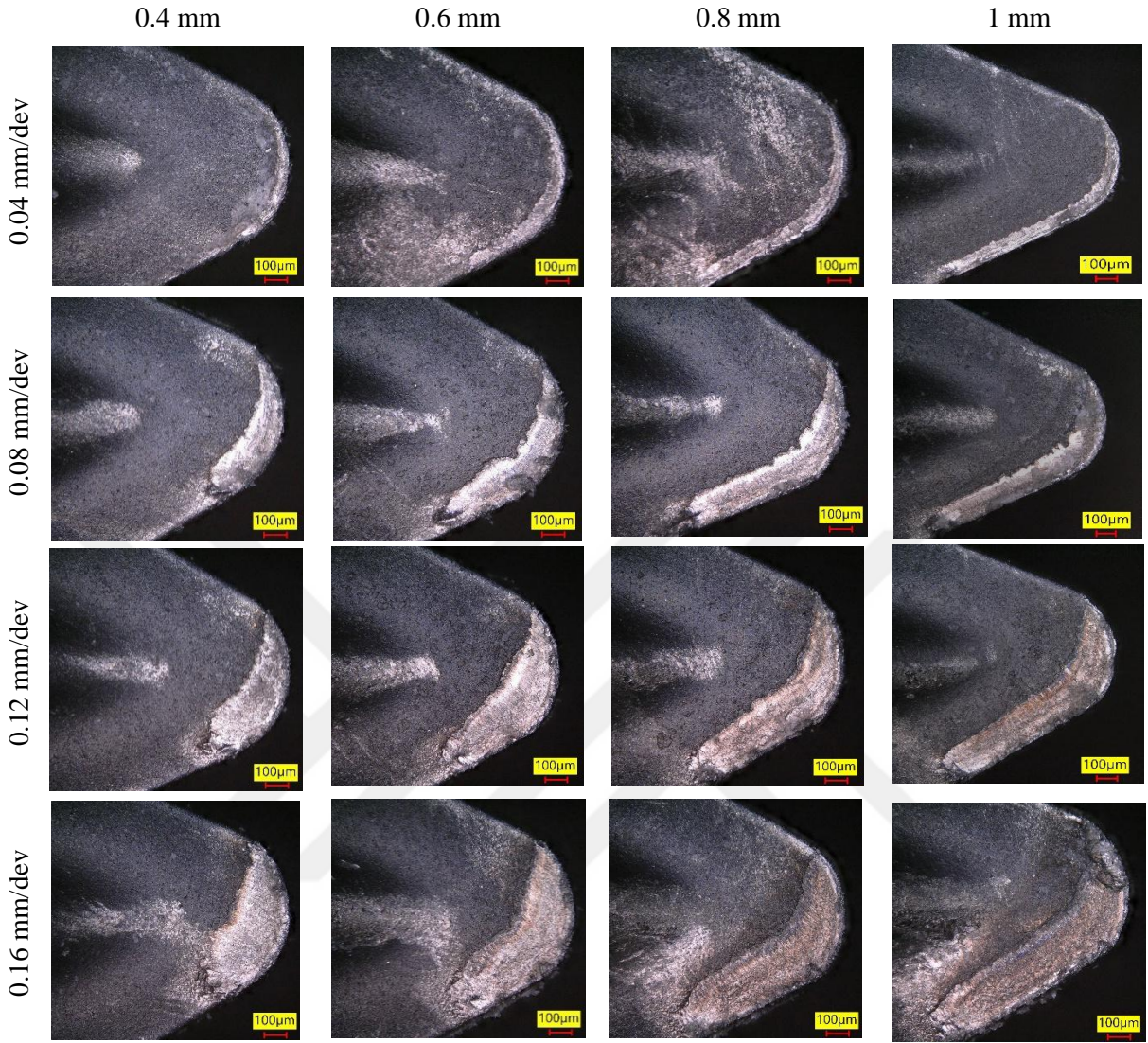
Şekil 3.26.  $V_c = 20$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımda oluşan temas alanı görüntüleri.

Şekil 3.27’ te 20 m/dak kesme hızında kesme uzunluğu ve ilerlemeye bağlı elde edilen temas alanı değerleri verilmiştir. Artan kesme derinliği ve ilerlemeyle birlikte takım üst yüzeyinde oluşan temas alanı da artış göstermiştir. 0.04 mm/dev ilerlemeden 0.16 mm/dev ilerlemeye doğru temas alanı değerleri yaklaşık 4 kat artmıştır.



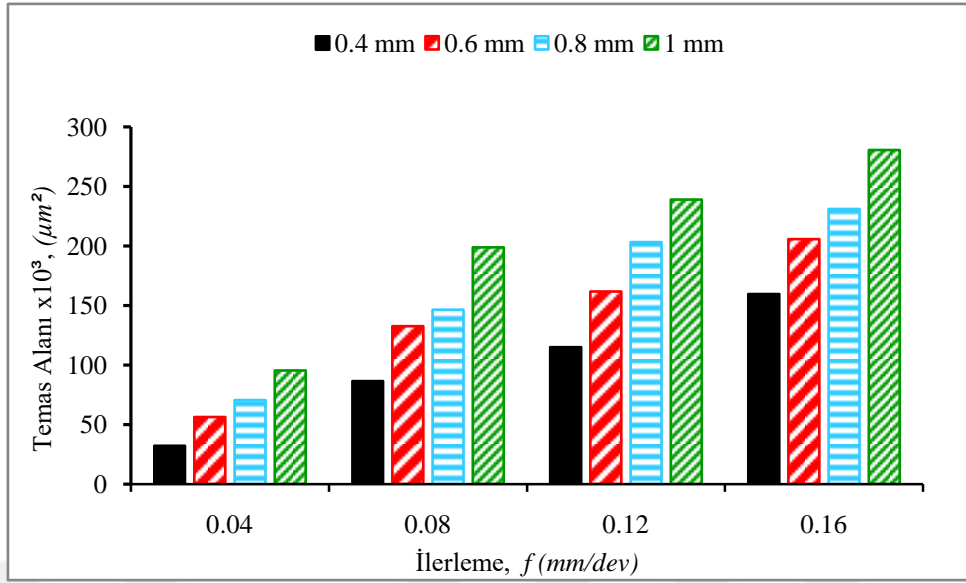
Şekil 3.27.  $V_c = 20$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.

Kesme hızının 45 mm/dev olduğu deneylerde kullanılan talaşların görüntüleri Şekil 3.28’te sunulmuştur. Görüntülerde kesme derinliği ve ilerlemeyle birlikte temas alanında meydana gelen artış açıkça görülmektedir. Takım talaş temas uzunluğu ve dolayısıyla temas alanının artması takım yüzeyindeki sıcaklık dağılımını etkilemekte, bu da takımdaki aşınmayı hızlandırmaktadır [23, 24].



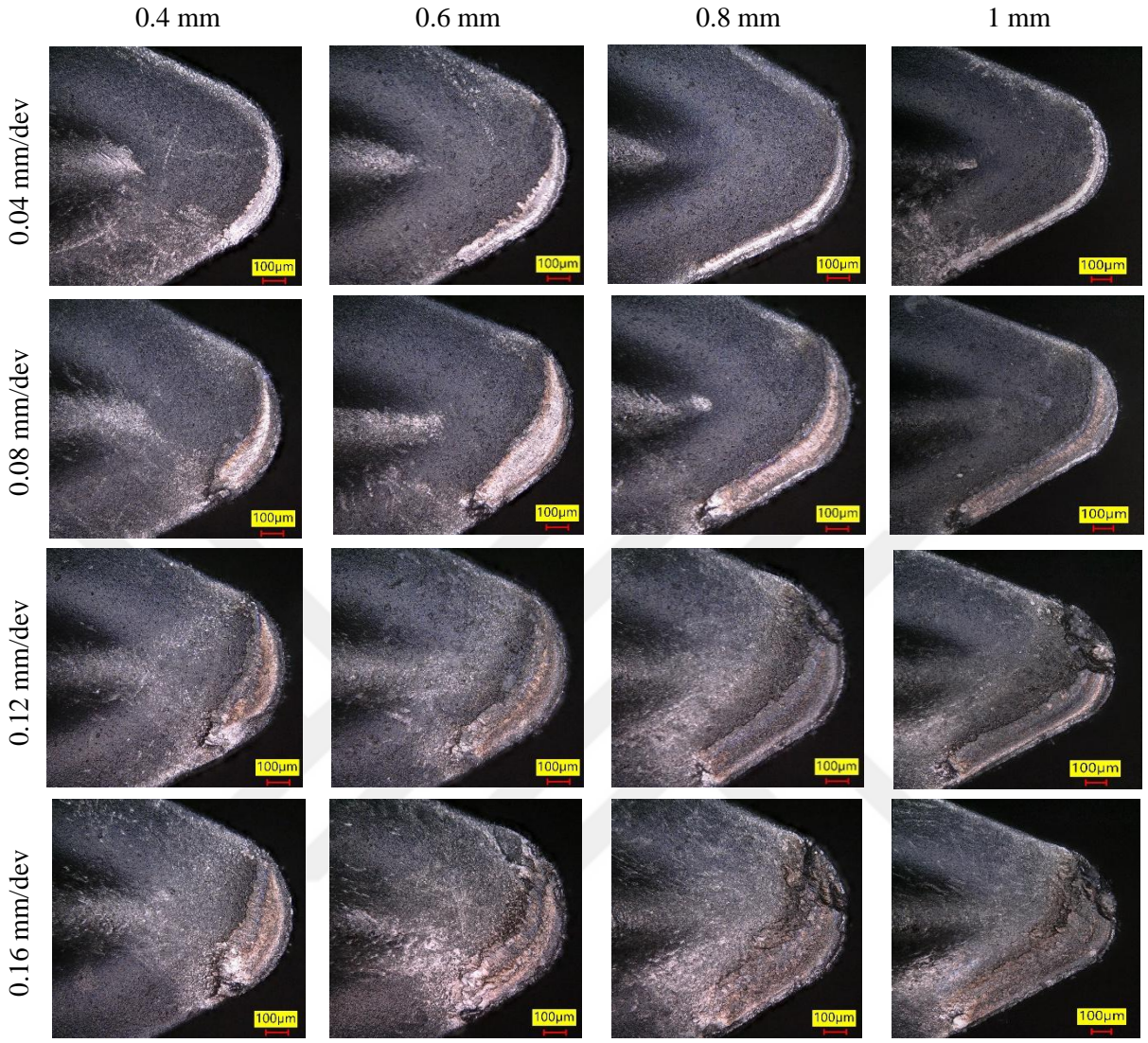
Şekil 3.28.  $V_c = 45$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan temas alanı görüntüleri.

Şekil 3.29’da ise 45 m/dak kesme hızında ölçülen temas alanı değerleri verilmiştir. Kesme derinliği ve ilerlemenin artmasıyla takımların temas alanlarında da düzenli artış görülmüştür. Ancak kesme hızındaki artış temas alanı üzerinde etkisi olmamış, 45 m/dak kesme hızında da 20 m/dak kesme hızındaki temas alanı değerlerine yakın değerler elde edilmiştir.

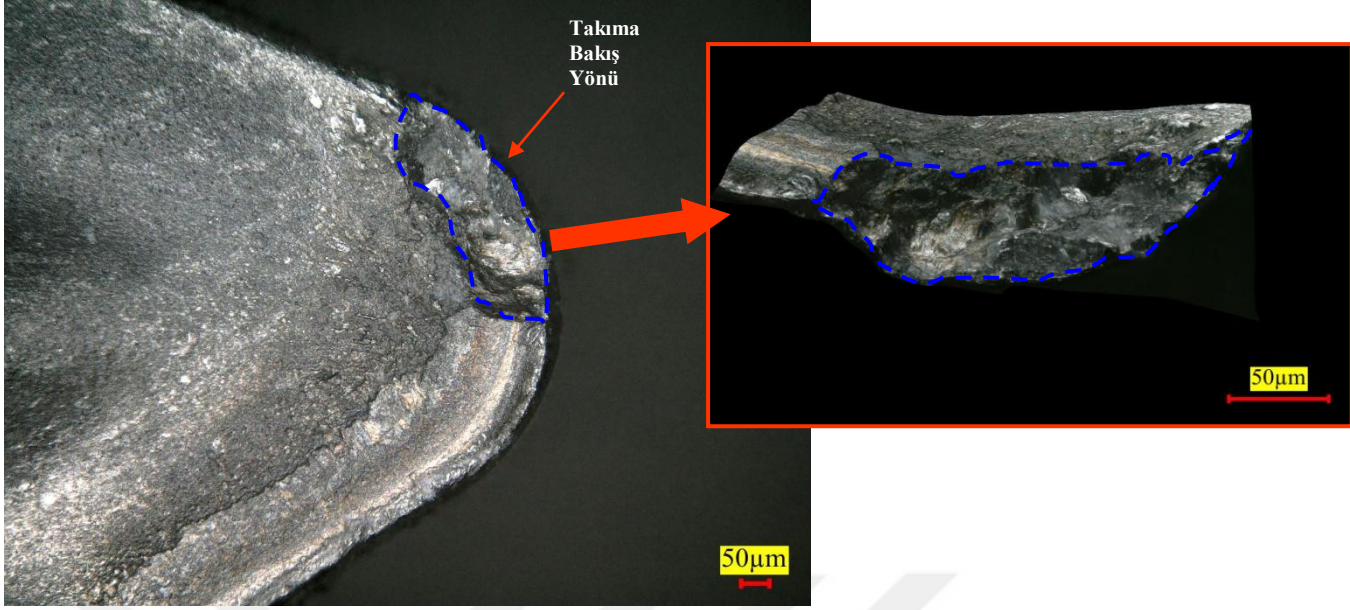


Şekil 3.29  $V_c = 45$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları

70 m/dak kesme hızındaki deneylerde kullanılan takımlarda oluşan temas alanı görüntüleri Şekil 3.30'de sunulmuştur. Kesme parametreleri (kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme) arttıkça takım ve talaşın temas ettiği alanın sıcaklığı artar [25]. Artan sıcaklığın etkisiyle oluşan difüzyon mekanizması kesici takımda krater aşınmalarının oluşmasına sebep olur. Şekil 3.31'deki görüntüde yüksek kesme derinliği ve ilerlemede takımda oluşan krater aşınması örneği verilmiştir.

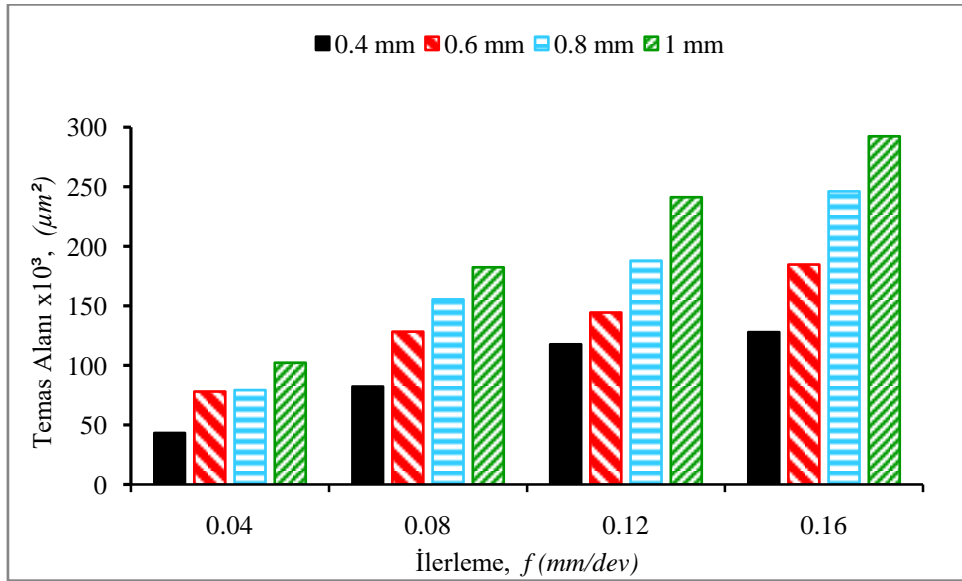


Şekil 3.30.  $V_c = 70$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan temas alanı ve krater alanı görüntüleri.



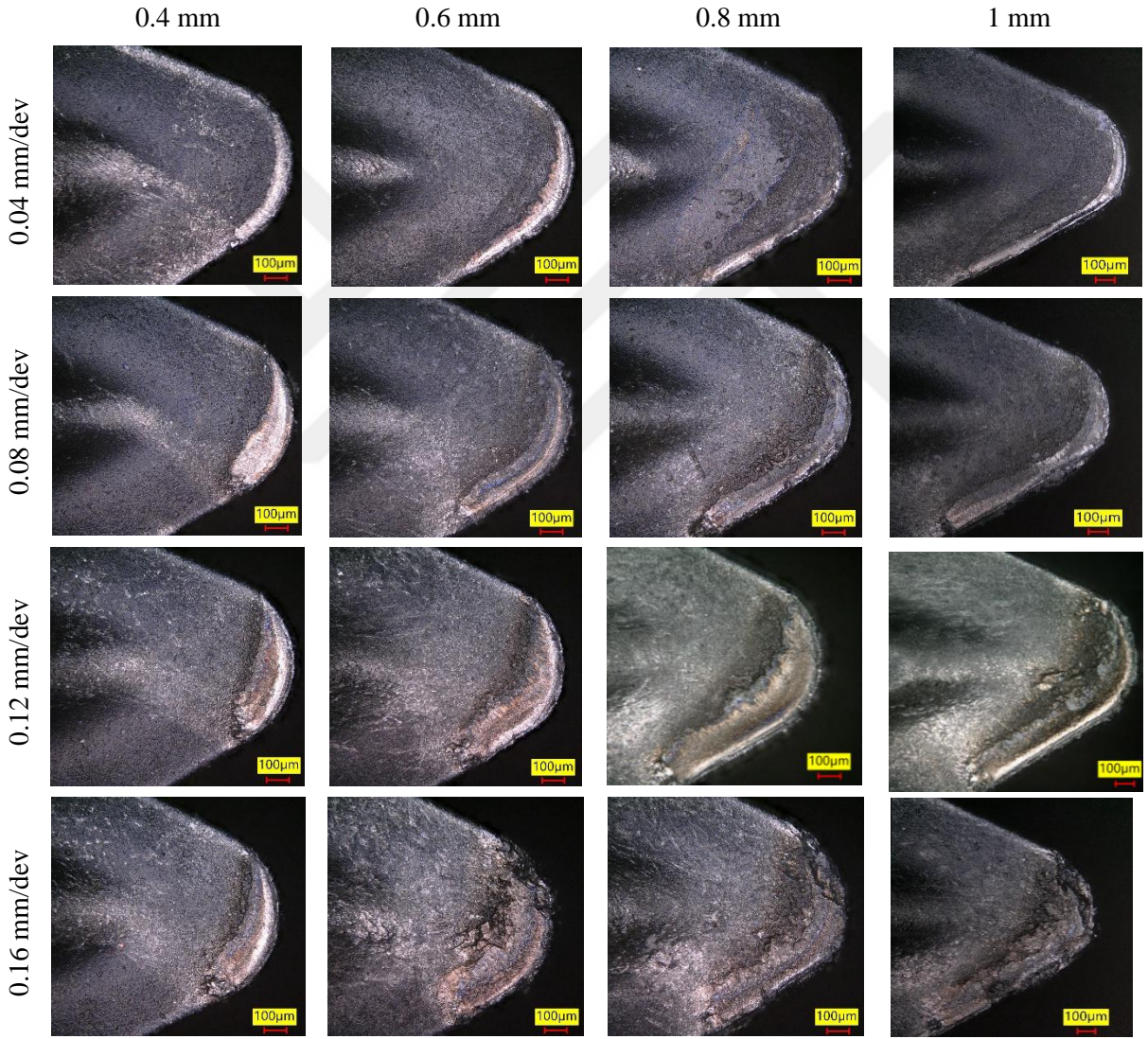
Şekil 3.31.  $V_c=70$  m/dak  $f=0.12$  mm/dev,  $a_p=1$  mm parametrelerinde işlenen kesici takımdaki krater aşınması görüntüsü

70 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesme derinliğine bağlı elde edilen temas alanı değerleri Şekil 3.32’ de verilmiştir. Kesme işlemlerinde kesme derinliğinin artması talaş kesit alanının artmasına neden olur. Dolayısıyla talaş takım üzerinde daha uzun mesafede temas etmektedir [22]. Şekil 3.32’deki tüm ilerlemede kesme derinliğinin artmasıyla (0.4 mm’den 1 mm) temas alanlarının değerleride 2 kat artmıştır.



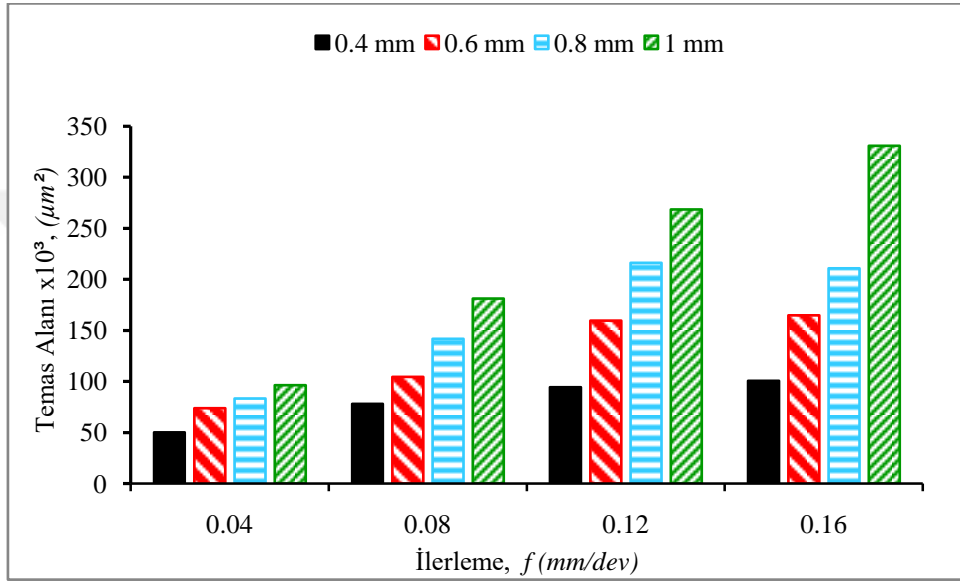
Şekil 3.32.  $V_c = 70$  m/dak kesme hızında talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.

Şekil 3.33'de 95 m/dak kesme hızındaki takımların görüntüleri sunulmuştur. Düşük ilerleme alınarak işlem yapılan takımlarda temas alanında kesme derinliğine bağlı düzenli bir artış görülmüştür. Yüksek ilerlemelerdeki takımlarda ise kesme derinliğinde artmasıyla takımın krater aşınmaları ve tanecik kopmaları meydana gelmiştir. Bu durumu takımın iş parçasının temas ettiği bölgede yüksek sıcaklıkların oluşturduğu düşünülmektedir. Ancak daha önce bahsedildiği gibi soğutma koşulu olarak kesme sıvısı kullanıldığından deneyler sırasında sıcaklık ölçümü yapılamamıştır.



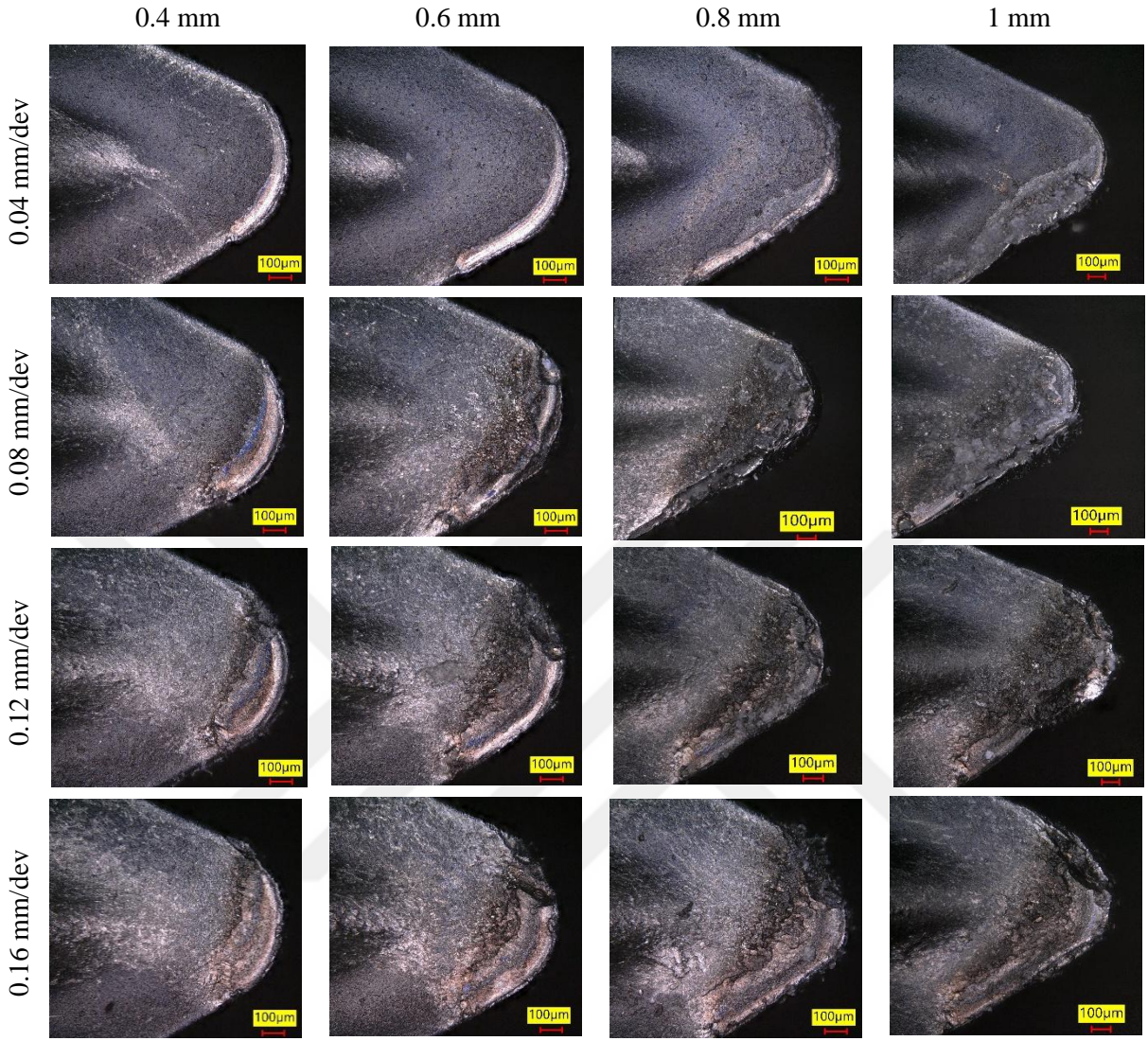
Şekil 3.33.  $V_c = 95$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımın oluştuğu temas alanı ve krater aşınması görüntüleri.

95 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak yapılan deneylerdeki temas alanı değerleri Şekil 3.34' te verilmiştir. 95 m/dak kesme hızı ve düşük(0.04 ve 0.08 mm/dev) ilerlemelerdeki takımların temas alanı değerleri, düşük kesme hızlarının (70 m/dak, 45 m/dak) aynı ilerlemelerdeki takımların temas alanı değerlerine göre azalma olmuştur. Bunun nedeni işleme sırasında kesme hızındaki artışla takım ve talaş arasında sürtünme katsayısının azalmasıdır [24].

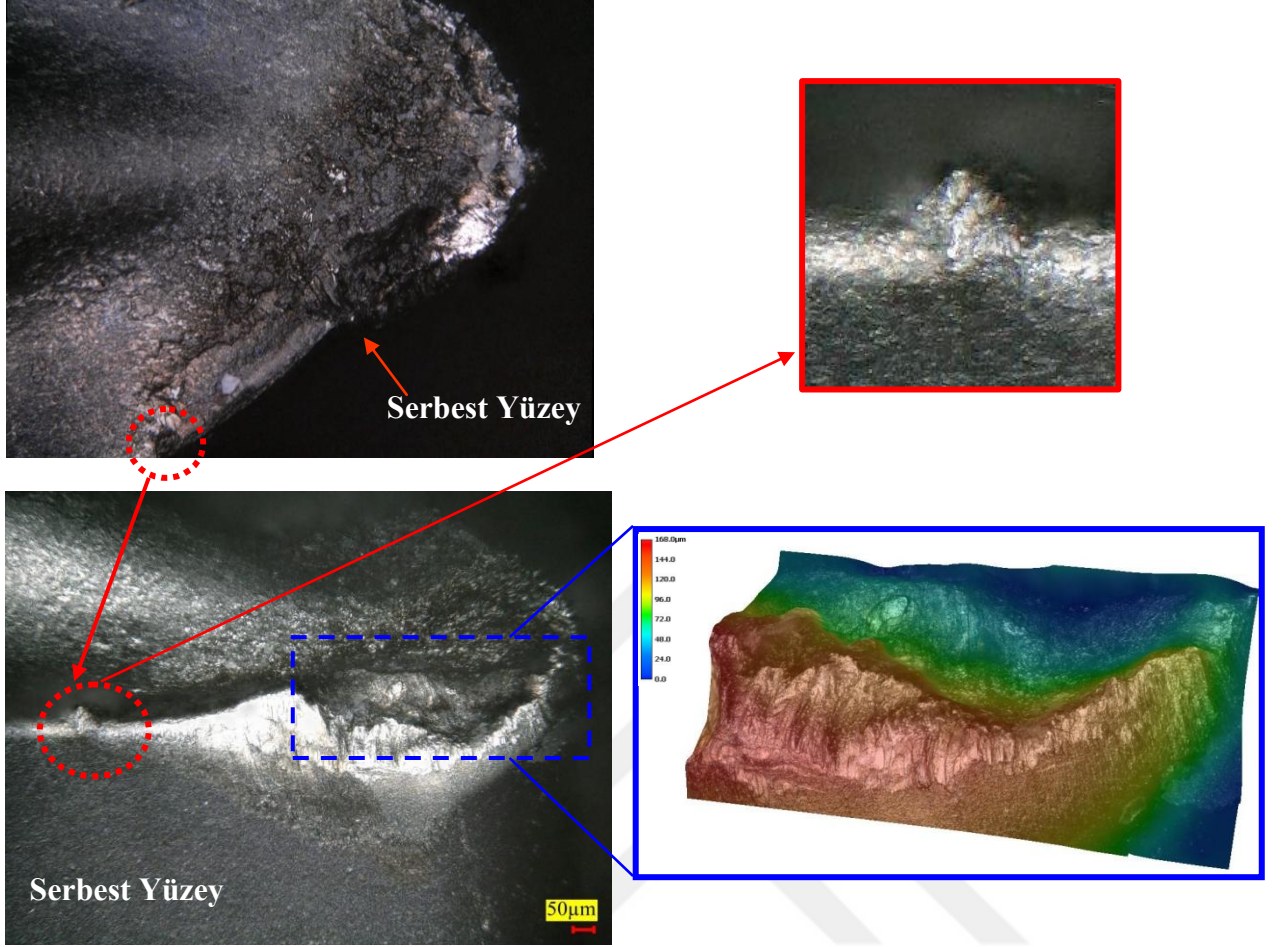


Şekil 3.34.  $V_c = 95$  m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.

Kesme parametrelerindeki artışların, özellikle kesme hızındaki artışın ( $V_c = 120$  m/dak) etkisiyle takımların başlangıçtaki şekil yapısında bozulmaların olduğu Şekil 3.35'deki görüntülerde açıkça görülmektedir. Yüksek kesme hızının yanı sıra artan kesme derinliği ve ilerlemenin etkisiyle kesme sıcaklığı artmıştır. Dolayısıyla takımın uç bölgesinde termal etkilerle oluşan plastik deformasyon takım yapısında bozulma meydana getirmiştir. Bu duruma örnek olarak Şekil 3.36' da  $f=0.12$  mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliğinde kullanılan kesici takımda meydana gelen aşınmalar daha ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

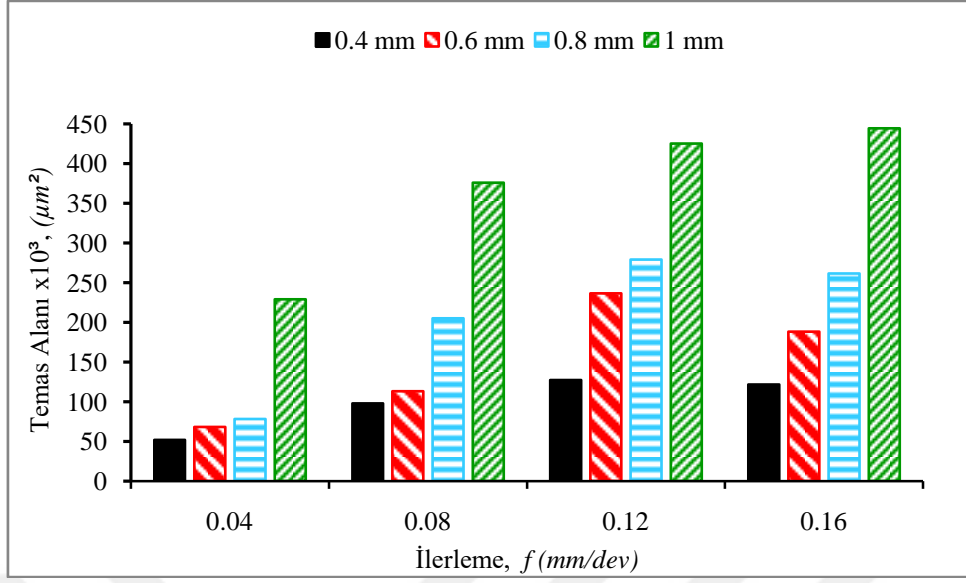


Şekil 3.35.  $V_c = 120$  m/dak kesme hızı değerinde kesici takımında oluşan temas alanı ve krater aşınması görüntüleri.



Şekil 3.36.  $V_c=120$  m/dak,  $f=0.12$  mm/dev,  $a_p=1$  mm parametrelerinde işlem yapılan takımdaki aşınma görüntüleri

Şekil 3.37’de 120 m/dak kesme hızında elde edilen temas alanı miktarları verilmiştir. Grafikte 0.04 mm/dev ilerlemenin düşük kesme derinliklerinde temas alanı 50 ila 70  $\mu\text{m}^2$  değerinde iken 1 mm kesme derinliğinde temas alanında 4 kat artış olmuştur. Benzer durumlar 0.08 ve 0.12 mm/dev ilerleme miktarlarında da görülmüştür. Özellikle 0.12 mm/dev ve 1 mm değerlerinde işlem yapılan kesici takımda takım yüzeyindeki temas alanı en yüksek değere ( $425 \text{ mm}^2$ ) ulaşmıştır. 0.16 mm/dev ilerlemede ise temas alanı miktarları 0.12 mm/dev ilerlemeye göre azalmıştır.



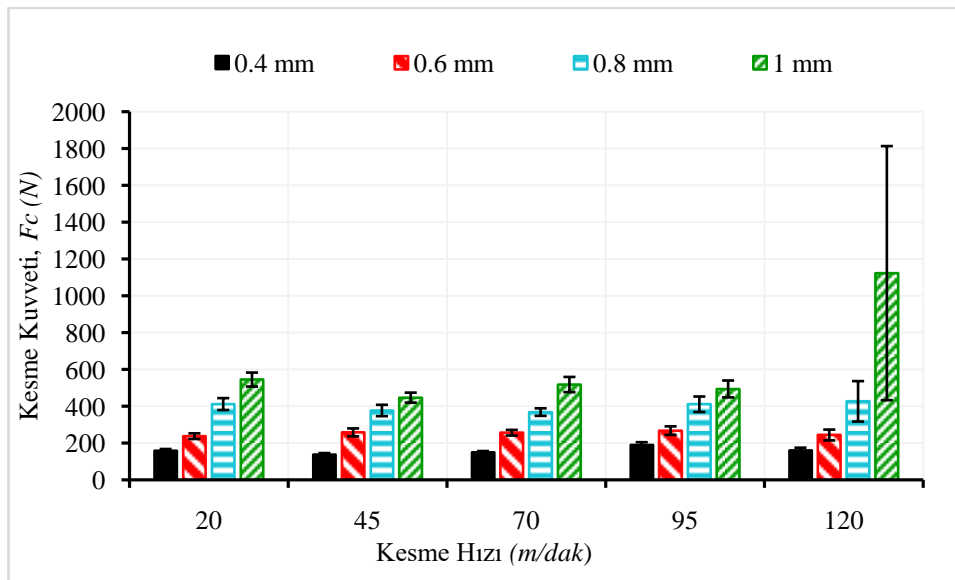
Şekil 3.37.  $V_c = 120$  m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak oluşan temas alanı miktarları.

## 3.2 Kuvvetler

### 3.2.1 Kesme Kuvvetleri

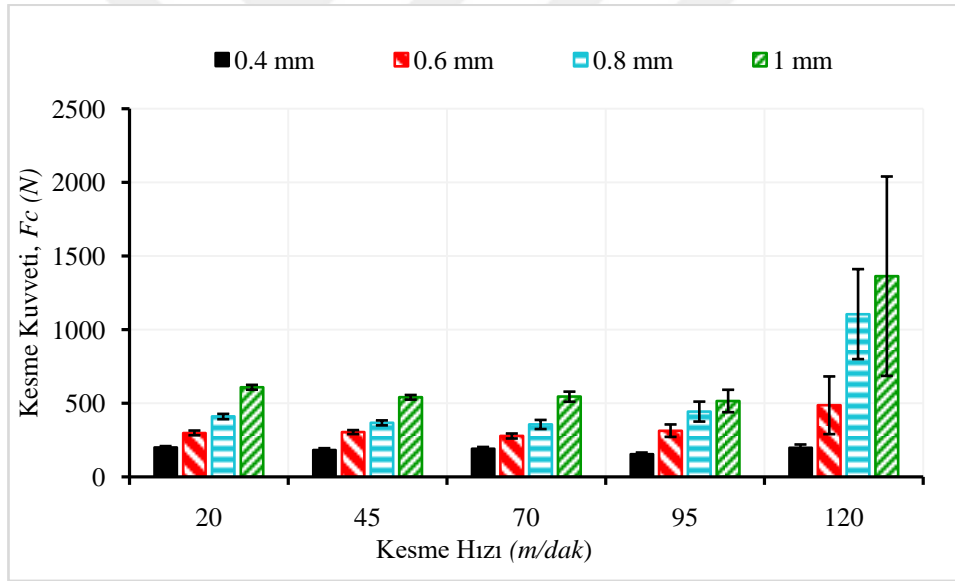
Malzemelerin talaşlı imalat performansının anlaşılmasında kesme kuvvetlerinin analizi önemli bir parametredir. Kesme sıvısının kullanıldığı, 5 farklı kesme hızında gerçekleşen deneylerde kuvvetlerin ölçümü için kesme derinlikleri ve ilerlemeler dikkate alınmıştır. Şekil 3.38’de 0.04 mm/dev ilerlemede kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri sunulmuştur. Kesme derinliğinde meydana gelen değişmelerin kesme kuvveti üzerinde etkili olduğu grafikte görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla birlikte takımında meydana gelen aşınmanın etkisiyle kesme kuvvetlerinde de artış olmuştur.

20, 45, 70 ve 95 m/dak kesme hızlarında meydana gelen değişmelerin esas kesme kuvveti üzerine etkisi az olmuştur. 120 m/dak kesme hızında ise düşük ve orta kesme derinliği değerlerinde kesme kuvvetleri diğer için hızlarındaki değerlere yakın değerler görülürken 1 mm kesme derinliğinde ölçülen esas kesme kuvvetinde ani artış ( diğer kesme hızlarına göre yaklaşık %125 ) meydana gelmiştir. Bu duruma takımında meydana gelen aşırı aşınmanın neden olduğu Şekil 3.12’de verilen takım aşınma görüntülerinde açıkça görülmektedir.



Şekil 3.38. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.04$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.

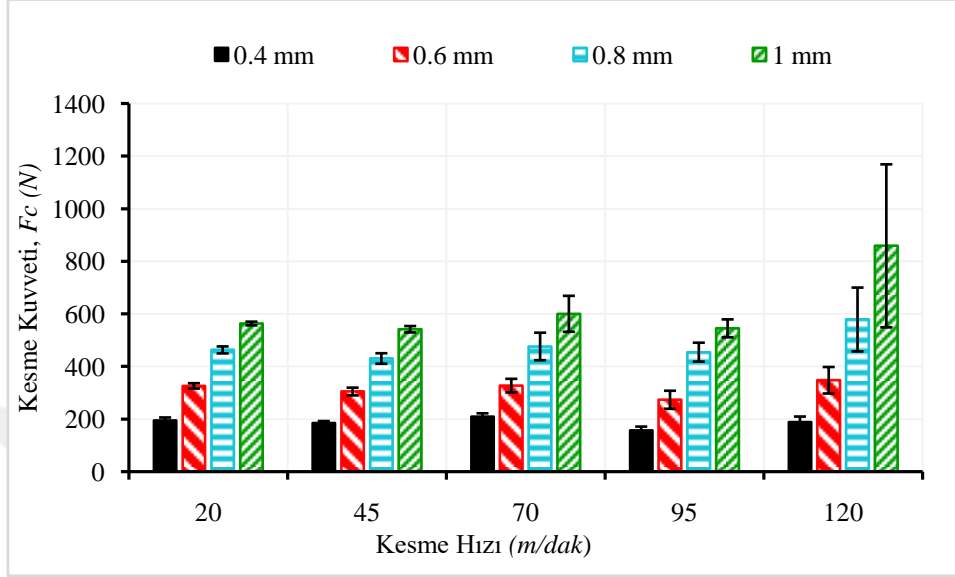
0.08 mm/dev ilerlemede yapılan deneylerde farklı kesme hızı ve kesme derinliklerine bağlı ölçülen esas kesme kuvvetleri Şekil 3.39' da sunulmuştur. İlerlemede meydana gelen artışla esas kesme kuvvetlerinde 0.04 ilerlemedeki kesme kuvvetlerine göre artış gözlenmiştir. 0.08 mm/dev ilerlemede her bir kesme hızında kesme derinliğinin artması kesme kuvvetlerinde belirgin artışa sebep olmuştur. 0.8 mm kesme derinliğinde 70 m/dak kesme hızına kadar hızdaki artışla birlikte esas kesme kuvvetleri azalırken, 95 ve 120 m/dak hızlarında ise artış görülmüştür. Yüksek kesme hızında, yüksek kesme derinliğinde yapılan deneyler sırasında esas kesme kuvveti değerlerinde takımın meydana gelen aşırı aşınmanın etkisiyle yüksek kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. 120 m/dak kesme hızında diğer hızlardaki esas kesme kuvvetlerine göre 0.8 ve 1 mm kesme derinliklerindeki kuvvetlere göre yaklaşık %150 artış görülmüştür.



Şekil 3.39. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.08$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri

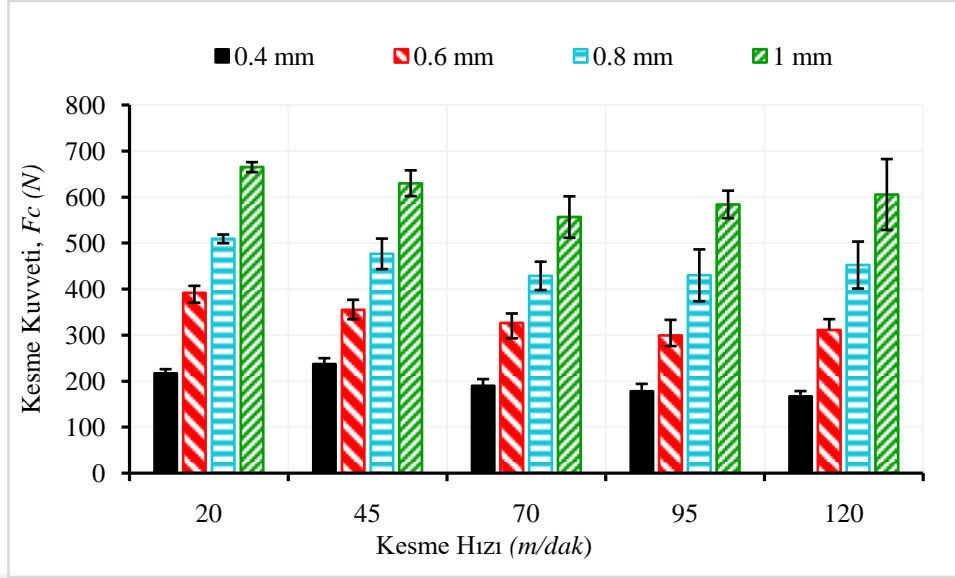
0.04 ve 0.08 mm/dev ilerlemedeki esas kesme kuvvetlerine ile karşılaştırıldığında (120 m/dak kesme hızı, yüksek kesme derinliğindeki kesme kuvvetleri hariç) 0.12 mm/dev ilerlemede daha yüksek kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. İlerlemenin artması ve kesme derinliği artışın etkisiyle talaş kaldırma oranı ve dolayısıyla plastik deformasyon oranı artar, buda Şekil 3.40'da görüldüğü gibi kesme kuvvetlerinde artışa sebep olur[26]. 120 m/dak kesme hızında 20 m/dak kesme hızındaki esas kesme kuvvetlerine

göre 0.4 mm kesme derinliğindeki esas kesme kuvvetlerinde %3 azalma görüldükten, 0.6, 0.8 ve 1 mm kesme derinliklerindeki esas kesme kuvvetlerinde sırasıyla %7, %25, %52 artış görülmüştür.



Şekil 3.40. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.12$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.

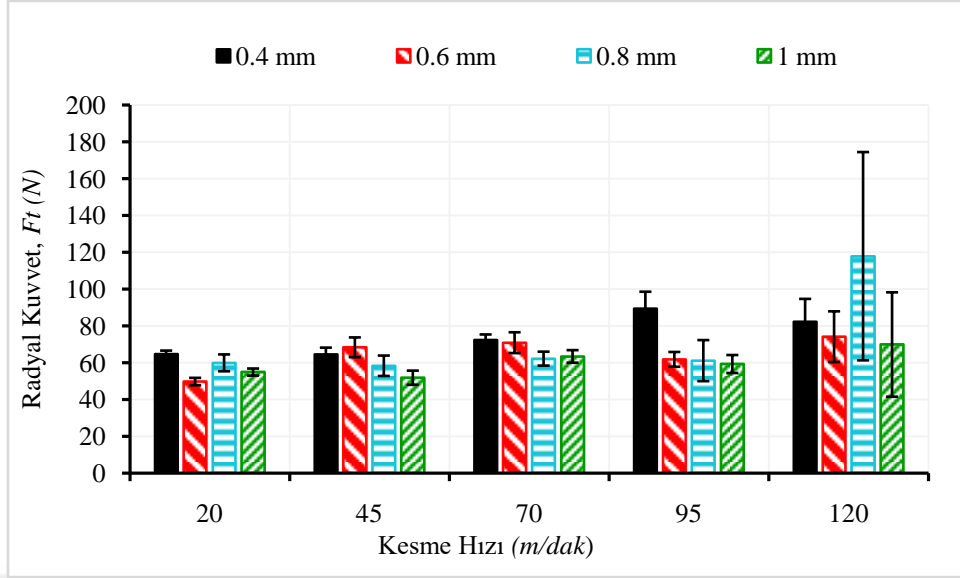
İlerlemede meydana gelen artış, takım talaş kesit alanında artmasına sebep olur. Böylece oluşan kesme kuvveti değerleri de artar. Nitekim ilerlemenin 0.16 mm/dak olduğu deneylerde düşük kesme hızındaki kesme kuvvetleri diğer ilerlemedeki kesme kuvvetlerine göre daha yüksek değerlerin elde edildiği Şekil 3.41’de görülmektedir. Başlangıçta yüksek kesme derinliklerinde (0.8 ve 1 mm) 70 m/dak kesme hızında kadar kesme hızı arttıkça esas kesme kuvveti azalırken, 70 m/dak kesme hızından sonra esas kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Düşük kesme derinliklerinde ise (0.4 ve 0.6 mm), kesme hızındaki artış takım talaş arasında sürtünmenin azalmasına, kayma düzlemi açısının artmasına bunun sonucunda kayma alanının azalmasına sebep olur [26]. Böylece yüksek hızlarda daha düşük esas kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.41. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.16$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen esas kesme kuvveti değerleri.

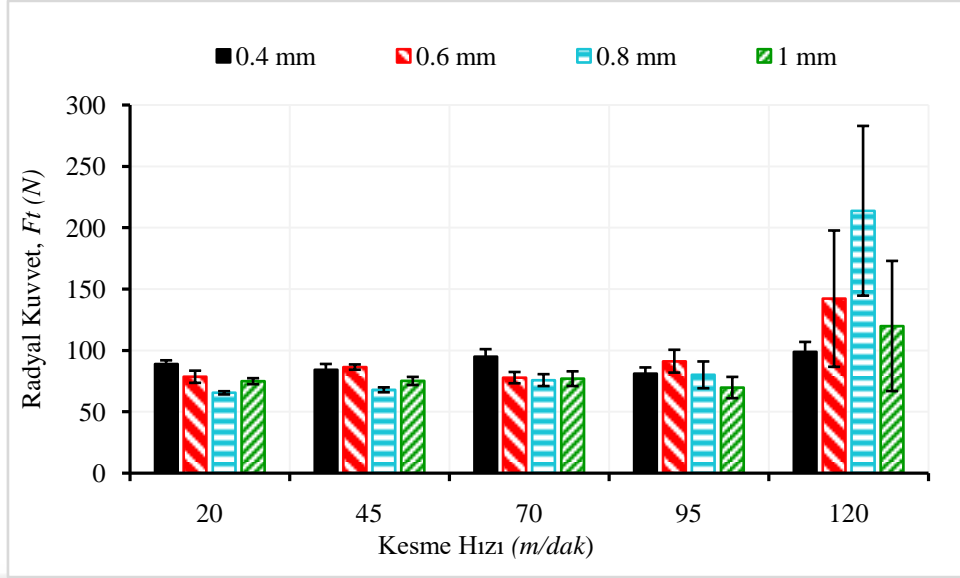
### 3.2.2 Radyal Kuvvetler

Düşük ilerlemede (0.04 mm/dev), kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı ölçülen radyal kuvvet değerleri Şekil 3.42’te gösterilmiştir. Kesme hızının artması, takım serbest yüzeyindeki aşınmayı artırır. Takım serbest yüzeyinde meydana gelen aşınma ise takım talaş temas alanını genişlettiği için [27]radyal kuvvetin artmasına sebep olur. Düşük kesme derinliğinde (0.4 mm) yapılan kesme işlemlerinde 20 m/dak kesme hızında radyal kuvvet 65 N iken, 120 m/dak kesme hızında ölçülen radyal kuvvet 82 N’dir. Yüksek kesme derinliğinde (1 mm) ise 20 m/dak kesme hızında radyal kuvvet 55 N’ken 120 m/dak kesme hızında 70 N’dir. Hem düşük hem de yüksek kesme derinliğinde hız arttıkça radyal kuvvetlerde %27 oranında artış görülmüştür. Kesme derinliğinin ara değerlerinde (0.6, 0.8 mm) de benzer durum gözlenmiştir. Düşük kesme hızından yüksek kesme hızına doğru sırasıyla %49 ve %98 oranında radyal kuvvetlerde artış görülmüştür.



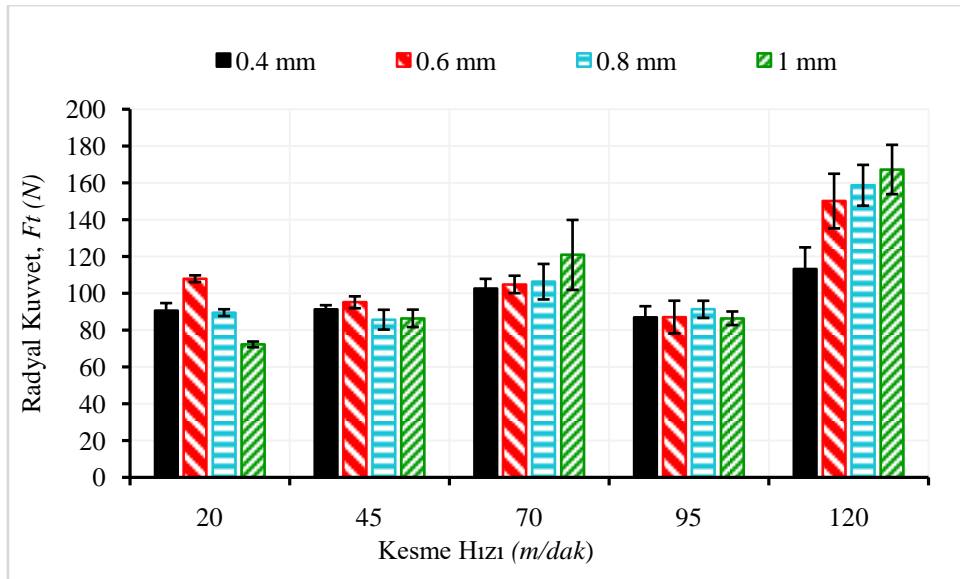
Şekil 3.42. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.04$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri.

İlerlemenin 0.08 mm/dev olduğu talaş kaldırma operasyonunda kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı elde edilen radyal kuvvet değerleri Şekil 3.43' de sunulmuştur. Kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisiyle radyal kuvvetlerde farklılıklar meydana gelmiştir. Düşük kesme hızlarında (20-70 m/dak) ve düşük kesme derinliğinde (0.4-0.6 mm) oluşan radyal kuvvetler diğer kesme koşullarındaki radyal kuvvetlere göre daha yüksek kuvvet değerlerine sahiptir. Yüksek kesme hızlarında ise kesme hızı arttıkça kuvvet değerleri artmış, en fazla artış %81 ve %227 oranıyla (en düşük kesme hızı ve en yüksek kesme hızı baz alınarak) 0.6 ve 0.8 mm kesme derinliğinde yapılan deneylerde görülmüştür.



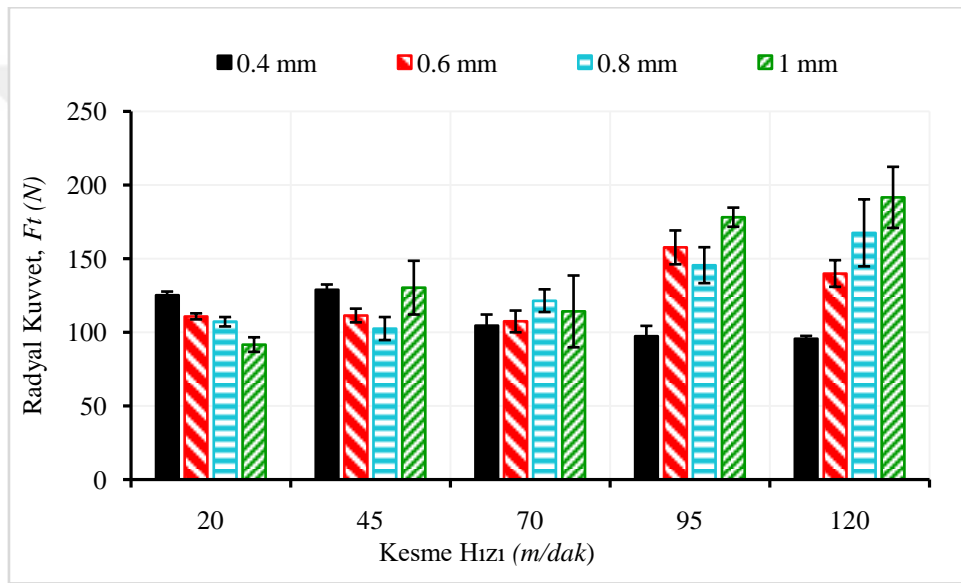
Şekil 3.43. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.08$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri.

Şekil 3.44 'te 0.12 m/dak ilerlemede kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı elde edilen radyal kuvvet değerleri gösterilmiştir. Kesme derinliği ve kesme hızının radyal kuvvet üzerindeki kuvveti artırıcı etkisi bu grafikte de açıkça görülmektedir. Grafikte yüksek ölçülen radyal kuvvetler kesici takımın burun bölgesinde meydana gelen aşırı aşınmanın kuvvetleri artırıcı etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.44. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.12$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri.

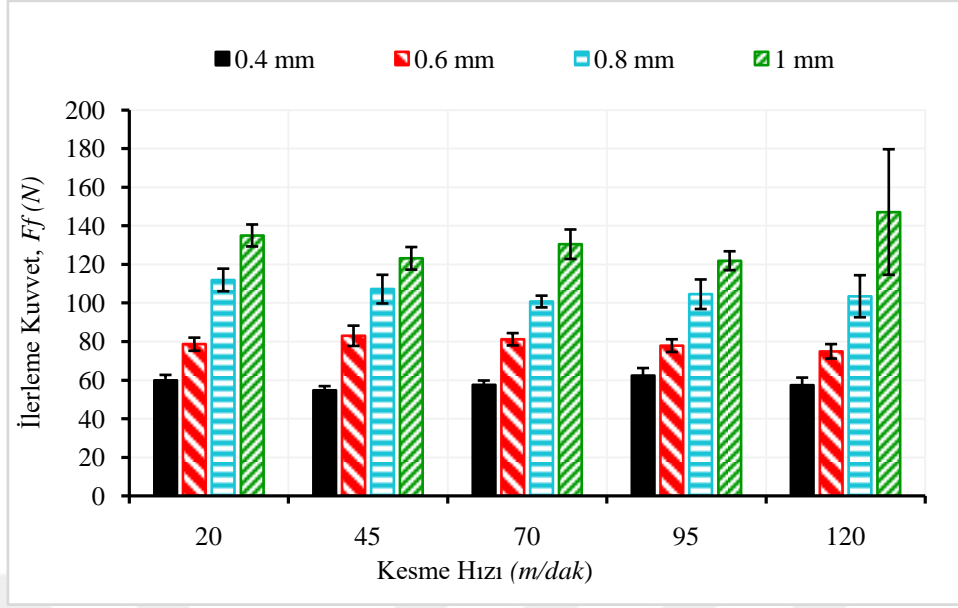
0.16 mm/dak ilerlemede kesme hızı ve kesme derinliğine bağlı elde edilen radyal kuvvet değerleri Şekil 3.45' te sunulmuştur. 20 ve 40 m/dak kesme hızlarında kesme derinliği arttıkça radyal kuvvetlerde azalma görülürken, 70-120 m/dak kesme hızları arasında kesme derinliği arttıkça radyal kuvvetlerde artış görülmüştür. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yanı sıra ilerlemede meydana gelen artışın radyal kuvvetler üzerindeki etkisi Şekil 3.42 ve Şekil 3.45'deki grafikler karşılaştırılarak görülebilmektedir. 0.16 m/dak ilerlemedeki radyal kuvvetlerde 0.04 mm/dak ilerlemede ölçülen radyal kuvvetlere göre yaklaşık %86 oranında artış meydana gelmiştir.



Şekil 3.45. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.16$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen radyal kuvveti değerleri.

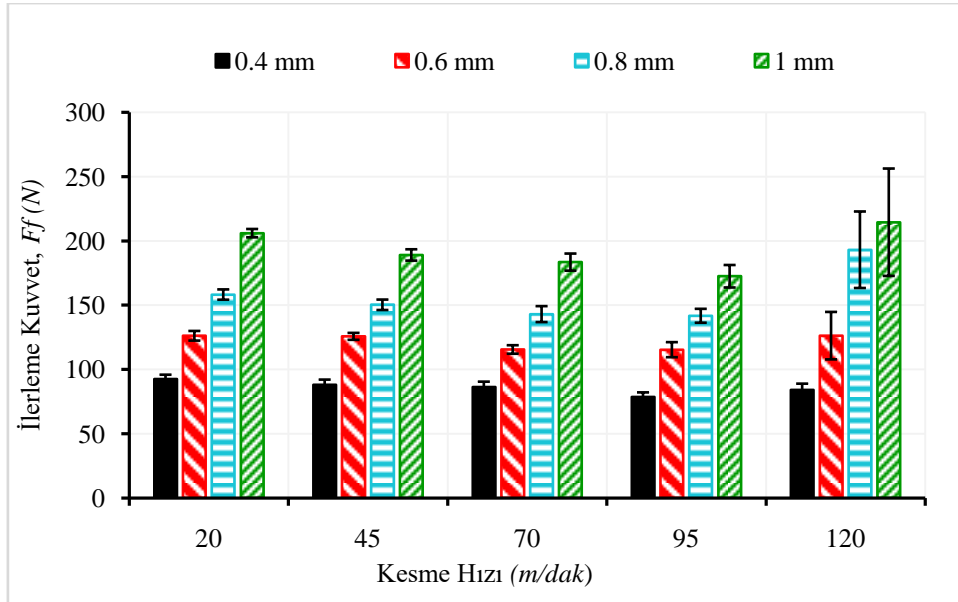
### 3.2.3 İlerleme Kuvvetleri

Kesme sıvısı kullanılarak yapılan deneylerde 0.04 mm/dev ilerlemede, kesme derinliği ve kesme hızına bağlı elde edilen ilerleme kuvvetleri Şekil 3.46' da sunulmuştur. Farklı kesme hızlarındaki ilerleme kuvvetlerinde kesme derinliği ile doğru orantılı artış gözlenmiştir. Kesme hızının ilerleme kuvvetleri üzerindeki etkisi ise nispeten daha az olmuştur. Örneğin, 20 m/dak kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde ilerleme kuvveti 134.9 N iken, en yüksek hız olan 120 m/dak kesme hızında 1 mm kesme derinliğinde ilerleme kuvveti %9 oranında artarak 147.05 N ölçülmüştür.



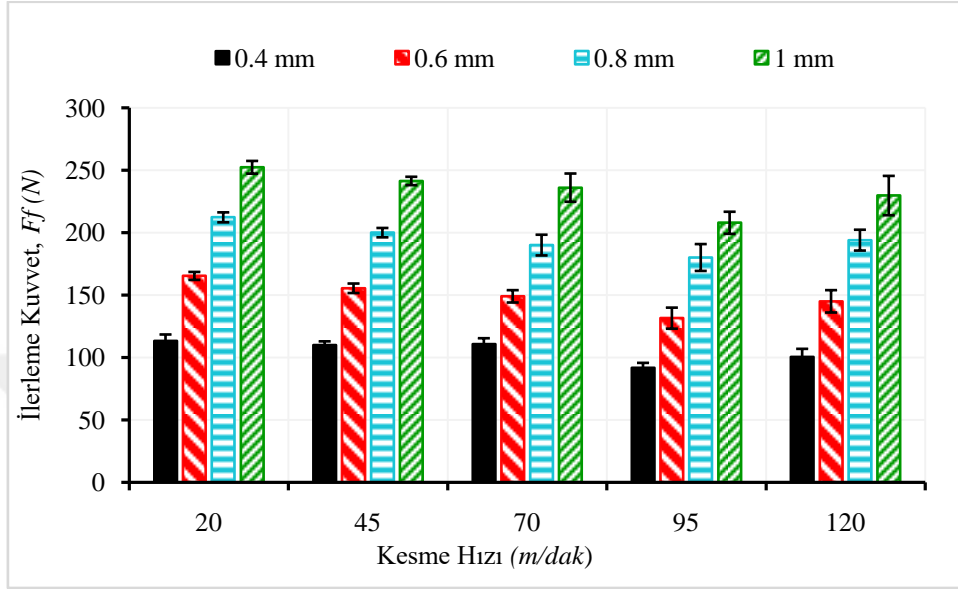
Şekil 3.46. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.04$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri

Şekil 3.47’de 0.08 m/dak ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerine bağlı elde edilen ilerleme kuvveti değerleri verilmiştir. Grafikte 20 m/dak kesme hızından 95 m/dak kesme hızına kadar ilerleme kuvvetlerinde kesme derinliği artış sırasına göre %15, %8, %10 ve %16 oranında azalma görülmüştür. 120 m/dak kesme hızında ise diğer kesme hızlarına göre ilerleme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir.



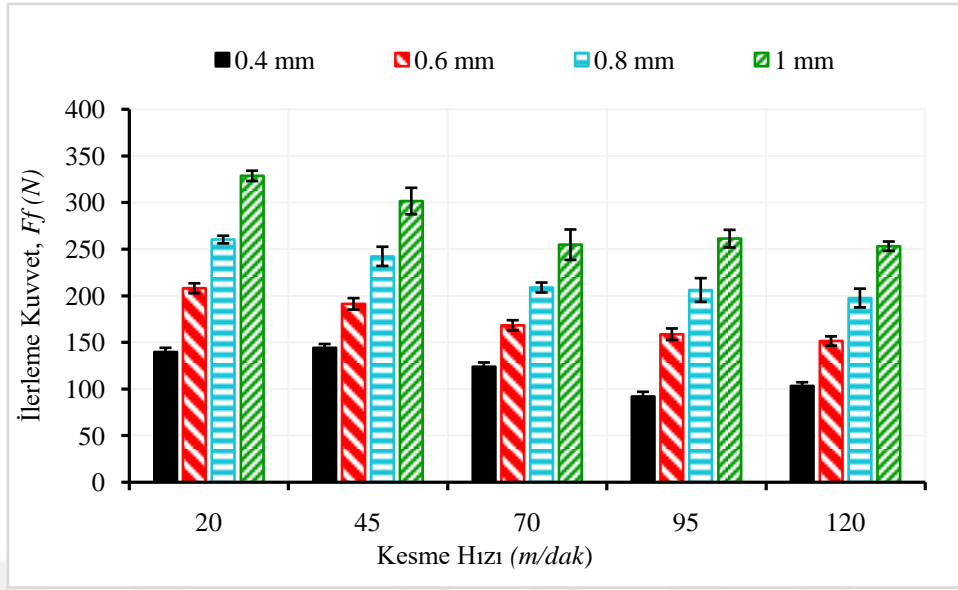
Şekil 3.47. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.08$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri.

0.12 mm/dev ilerlemedeki ilerleme kuvvetlerinde kesme derinliği arttıkça ilerleme kuvvetleride artmış ancak kesme hızlarındaki artış ilerleme kuvvetleri üzerinde fazla etkili olmamıştır. Bu durum Şekil 3.48’ deki grafikte açıkça görülmektedir.



Şekil 3.48. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.12$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri.

Deneyler sırasında ilerlemenin artması ile talaş kesitinin artmasını dolayısıyla ilerleme kuvvetlerindeki benzer şekilde artmasını sağlamıştır. Şekil 3.49’ ye bakarak diğer ilerleme değerlerinden daha yüksek ilerleme kuvveti değerleri elde edildiği görülmektedir. 0.04 mm/dak ilerlemede ilerleme kuvvetleri 100 N, 0.08 mm/dev ilerlemede 200 N, 0.12 mm/dev ilerlemede 250 N civarlarında iken 0.16 mm/dev ilerleme miktarında ilerleme kuvvetleri 300 N değerlerine ulaşmıştır.



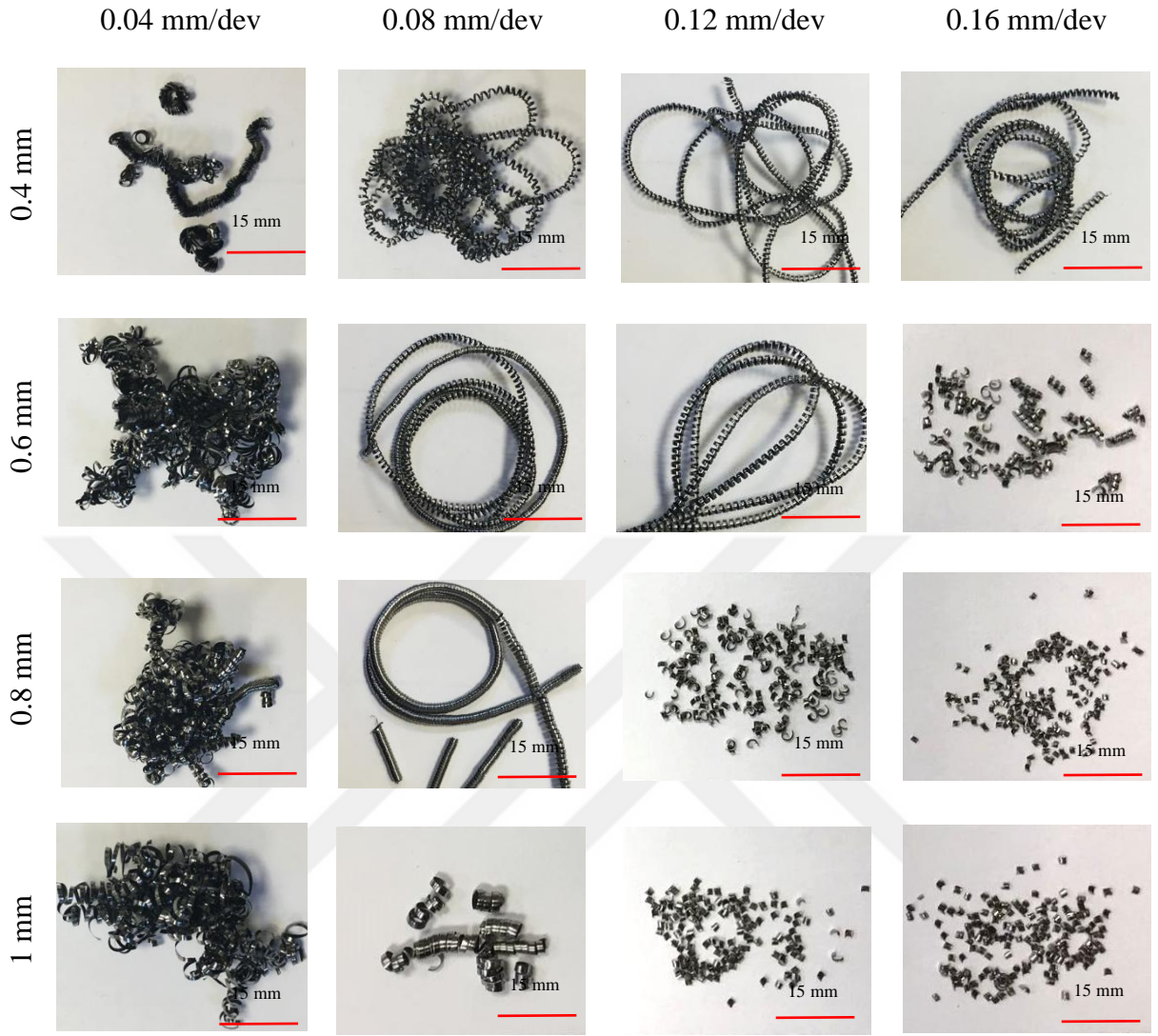
Şekil 3.49. Kesme sıvısı ile yapılan deneylere ait  $f = 0.16$  mm/dev ilerlemede, farklı kesme hızı ve kesme derinliklerinde bağlı ölçülen ilerleme kuvveti değerleri.

### 3.3 Talaş Kırılabilirliği, Geometrisi ve Talaş Kalınlığı

deneylerde elde edilen talaşların geometrisi ve kırılabilirliği incelenen bir diğer işlenebilirlik parametresidir. NiTiHf malzemesinin talaşlı imalatına ilişkin bir çalışma olmadığından nispeten bu malzemeye yakın olan NiTi malzemesinin talaş kırılabilirlik özelliği incelenmiştir. NiTi alaşımlı malzemeler yüksek süneklik özelliği ve pekleşme davranışı ile düşük talaş kırılabilirliğine sahiptir [28]. Ancak deneylerimizde kullandığımız NiTiHf alaşımı NiTi alaşımına göre çok daha gevrek bir malzemedir. Bu sebeple talaş kırılabilirliğinin daha iyi olacağı düşünülmüştür. Beklenildiği gibi kırılabilirliği yüksek ve küçük boyutlarda talaşlar elde edilmiştir.

Şekil 3.50’ de 20 m/dak kesme hızında farklı kesme derinliği ve ilerlemede elde edilen talaşların fotoğrafları gösterilmektedir. Bu sonuçlarda ilerlemenin ve kesme derinliğinin talaş kırılabilirliğine etkisi net olarak görülmektedir. Düşük kesme derinliğindeki (0.4 mm) tüm ilerlemelerde, düşük ilerlemenin (0.04 mm/dev) tüm kesme derinliklerindeki koşullarda uzun ve sürekli talaşlar elde edilmiştir. İlerleme ve kesme derinliği değerleri arttıkça talaş kırılabilirliği de artmıştır.

45 m/dak kesme hızında elde edilen talaşların görüntüleri Şekil 3.51’de sunulmuştur. Bu kesme hızında ilerleme ve kesme derinliğinin yanı sıra kesme hızının artmasının da etkileri görülmektedir. 20 m/dak kesme hızına göre talaş kırılabilirliği artmıştır. 0.04 mm/dev ilerlemenin tüm kesme derinliği değerlerinde talaş kırılmamış aksine oluşan sürekli ve kıvrımlı talaşlar oluşmuş ve iş parçası etrafına sarmıştır.



Şekil 3.50. 20 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri

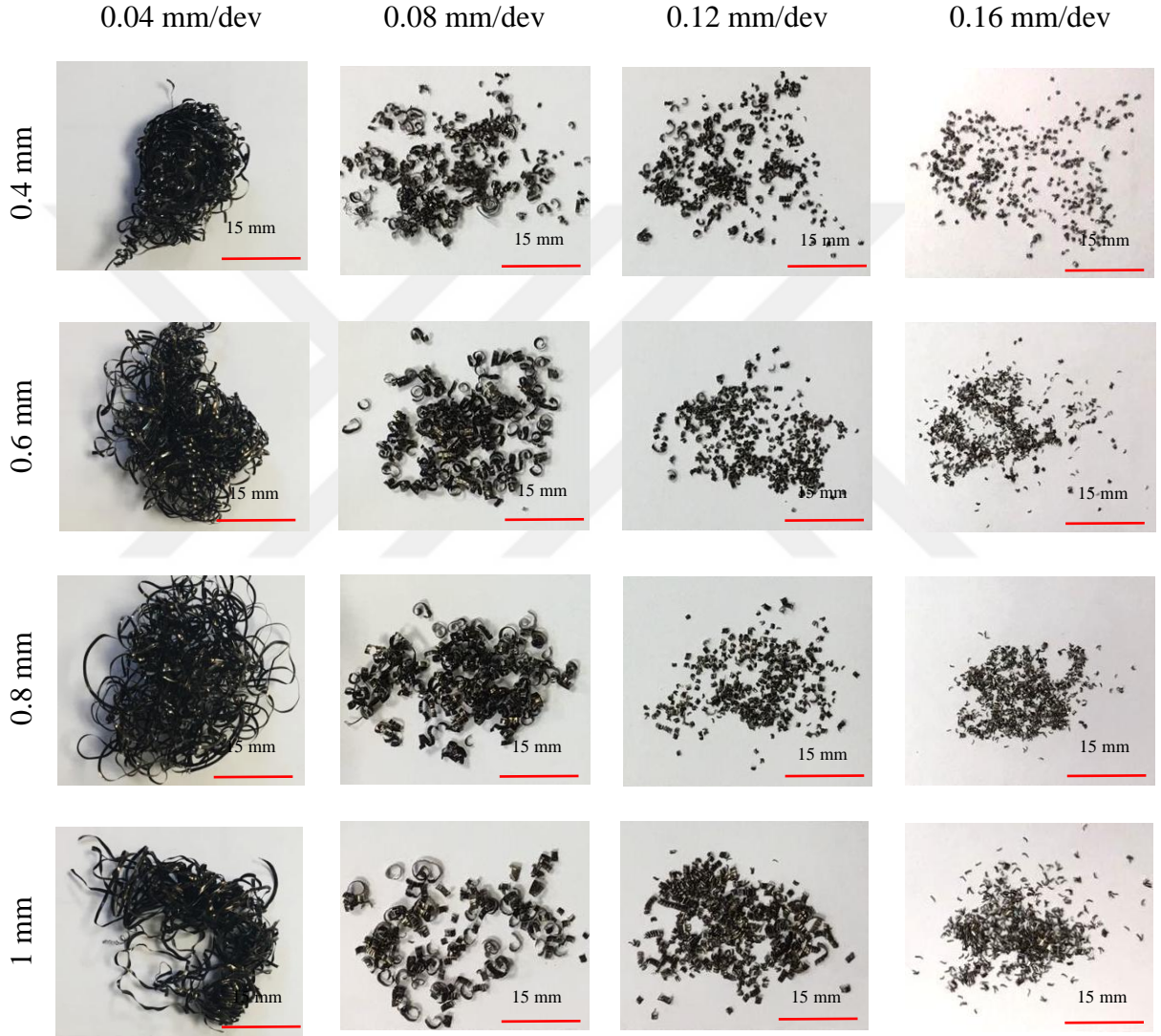


Şekil 3.51. 45 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri

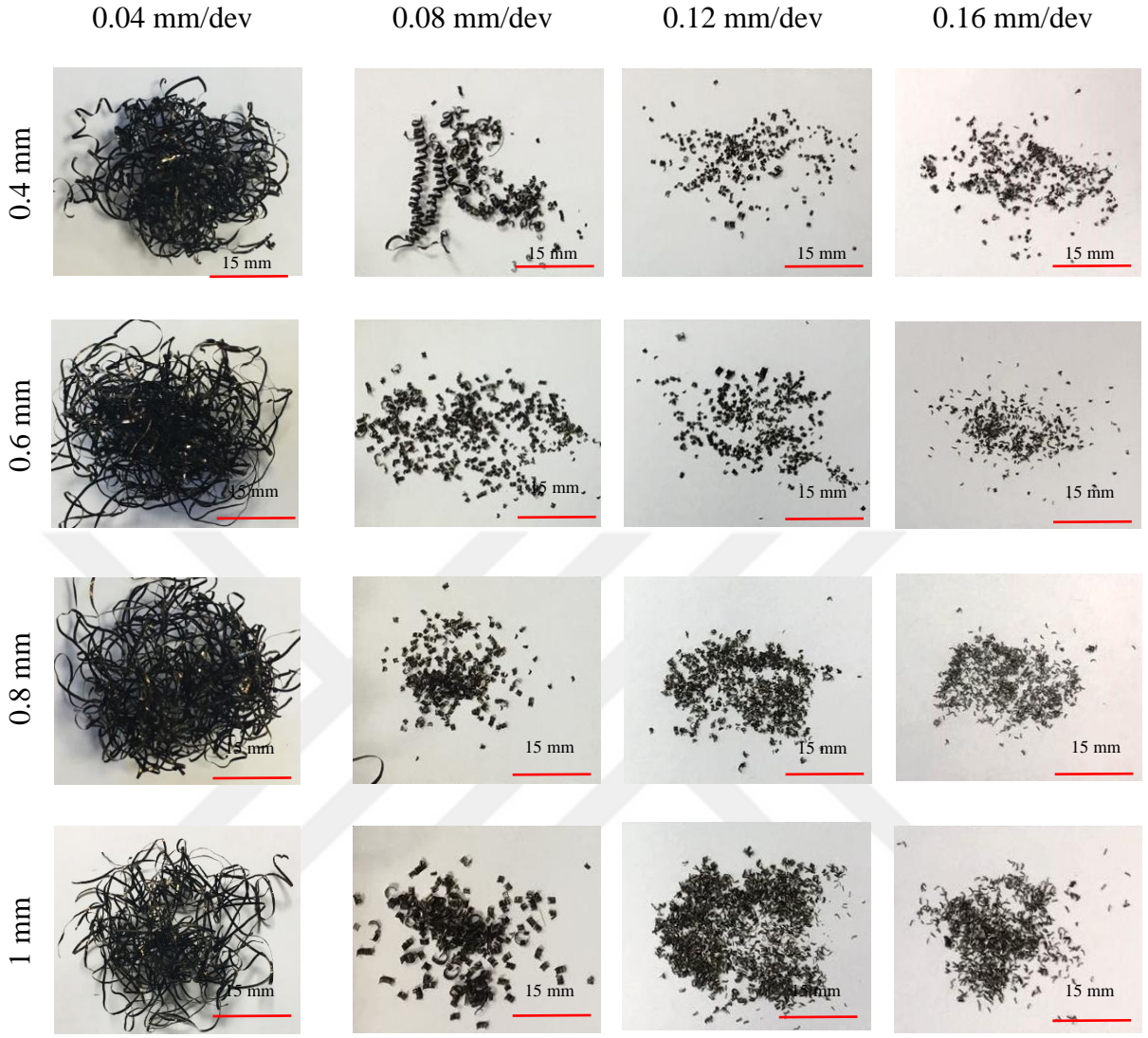
70 m/dak kesme hızında elde edilen talaşların görüntüleri Şekil 3.52' de sunulmuştur. Düşük ilerlemedeki tüm kesme derinliklerinde kıvrımlı talaşlar oluşmuştur. İlerlemenin artmasıyla birlikte talaş kırılabilirliği de artmış, 0.16 mm/dev ilerlemede toz boyutlarında talaşlar olduğu görülmüştür.

Kesme hızı talaşların geometrisini büyük oranda etkileyen bir parametredir. Bu durumu

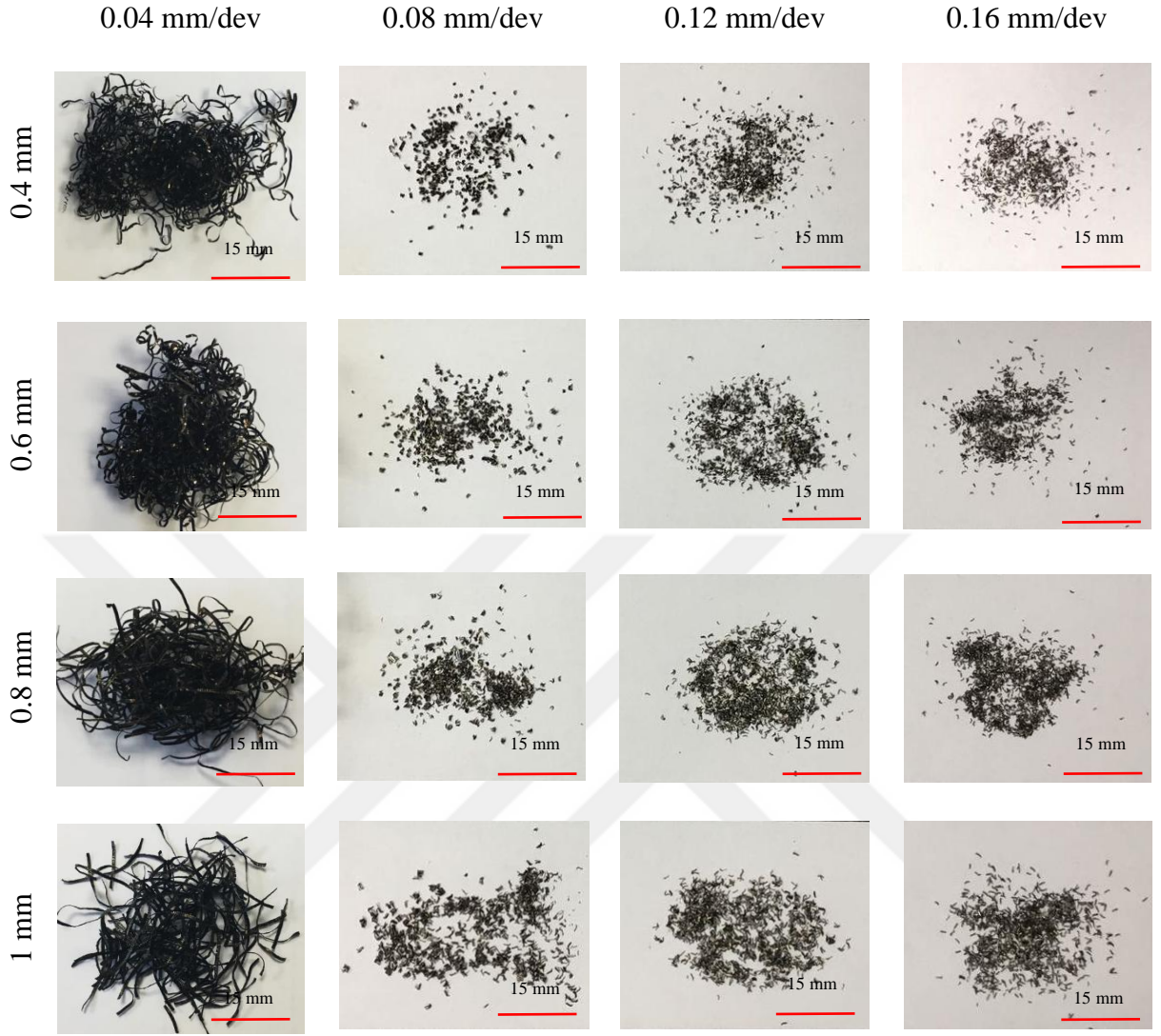
95 m/dak kesme hızında yapılan deneylerden elde edilen talaşların görüntülerinin sunulduğu Şekil 3.53' te görmek mümkündür. 0.04 mm/dev ilerlemede talaşlar süreklilik gösterebilir önceki kesme hızlarına göre talaş kalınlığının azaldığı gözle görülebilmektedir. 0.08, 0.12, 0.16 mm/dev ilerlemede ise talaş boyutları giderek azalmış ve toz haline gelmiştir. Benzer durumları Şekil 3.54'deki 120 m/dak kesme hızında işlenen parçaların talaş görüntülerinde de görmek mümkündür.



Şekil 3.52. 70 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri

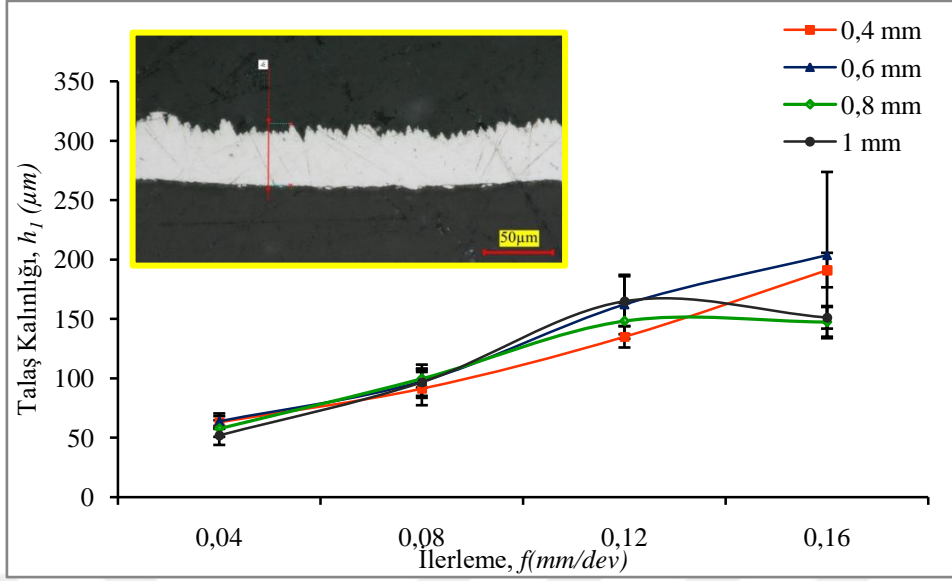


Şekil 3.53.95 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri



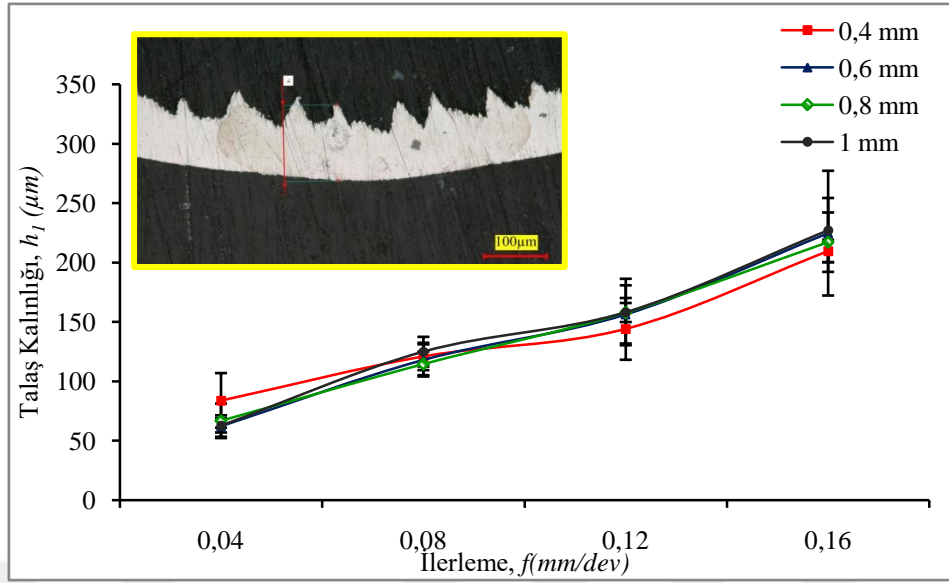
Şekil 3.54. 120 m/dak kesme hızında kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı elde edilen talaş şekilleri

Deneyle sonuçunda elde edilen talaşların bir kısmının talaş kalınlıkları, kesme parametrelerinin kalınlıklar üzerinde etkili olup olmayacağı gözlemlemek amacıyla ölçülmüştür. 20 m/dak ve 45 m/dak kesme hızında oluşan talaşlar önce bakalite alınmış, zımparalanıp parlatıldıktan sonra talaş üzerinden beş ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak talaş kalınlıkları bulunmuştur. Elde edilen değerler Şekil 3.55 ve Şekil 3.56 deki grafiklerde sunulmuştur.



Şekil 3.55.  $V_c=20$  m/dak hızında ölçülen talaş kalınlıkları.

Talaşların kalınlıklarının artmasında ilerlemenin artışı belirgin etki göstermiştir. 20 m/dak ve 45 m/dak kesme hızlarında 0.16 mm/dev ilerlemedeki talaş kalınlıkları 0.04 mm/dev ilerlemeye göre 4 kat fazladır. Literatürde dik kesme işlemlerinde kesme hızındaki artış talaş kalınlığını azaltıcı yönde etkilemesine [29] rağmen eğik kesmede gerçekleştirdiğimiz düşük hızlardaki deneylerde kesme hızının artışı talaş kalınlığı üzerinde etkili bir parametre olmamıştır. Her iki hızda da birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca grafiklerde kesme derinliklerinin değişiminin talaş kalınlıklarının üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Yüksek hızlardaki kesme işlemlerinde oluşan talaşlar, ilerleme ve kesme derinliğinin de etkisiyle birlikte çok küçük boyutlarda oluşmuştur. Bunun sonucunda talaş kalınlıklarının ölçülmesi zorlaşmıştır. Nitekim sistematik ölçümleri yapılamamıştır.



Şekil 3.56.  $V_c = 45$  m/dak hızında ölçülen talaş kalınlıkları.

### 3.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Uzay ve havacılık alanlarında hassas parçalar kullanıldığı için parçaların talaşlı imalatı sonunda elde edilen yüzeylerin kalitesinin yüksek olması istenen bir durumdur. Bunu sağlamanın yolu ise yüzey pürüzlülüğünü minimize etmekle mümkündür. Deneyler sonucunda işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri Şekil 3.57, 3.58, 3.59, 3.60 ve 3.61’ de sunulmuştur. Elde edilen bulguların yanı sıra grafiklerde teorik olarak hesaplanan yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Hesaplanmış yüzey pürüzlülüğü değeri kesici takım burun yarıçapı ve ilerlemenin bir fonksiyonudur [30].

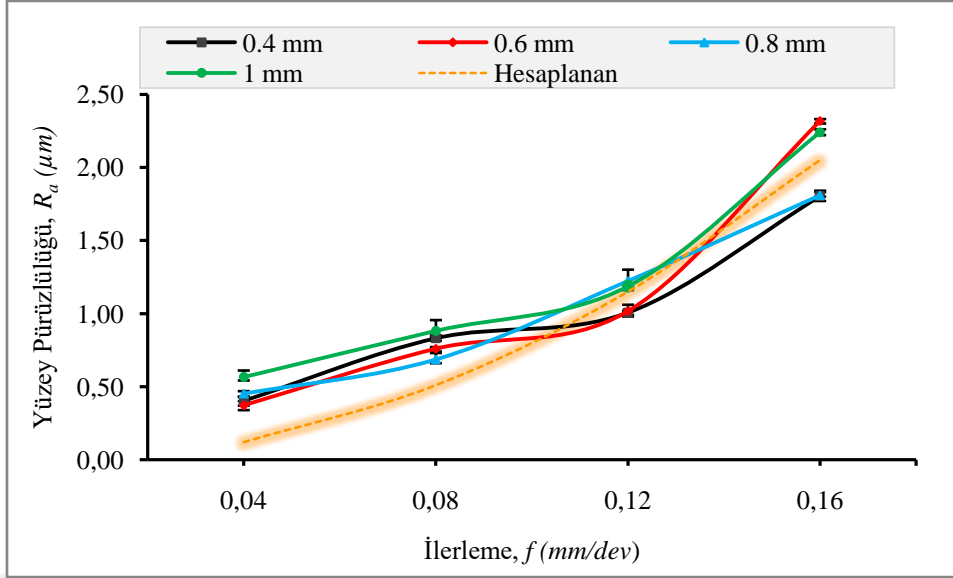
$$Ra = \frac{0.0321 \times f^2}{r_c} \quad (1)$$

$Ra$  = Aritmetik Ortalama Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu m$ )

$f$  = ilerleme (mm/dev)

$r_c$  = kesici takım burun yarıçapı (mm)

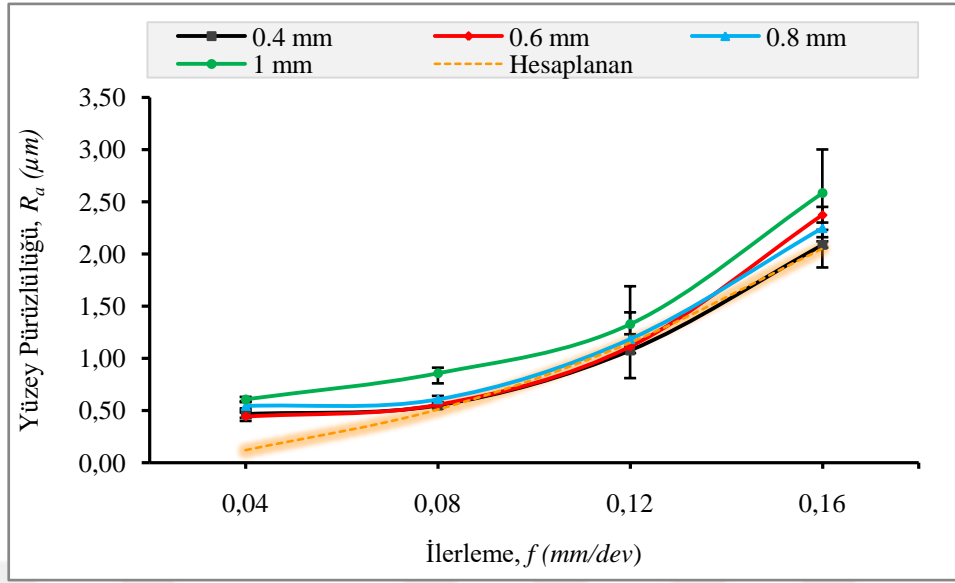
Verilen denklemde yüzey pürüzlülüğü ilerlemenin karesiyle doğru orantılıdır [30]. Dolayısıyla ilerleme miktarı arttıkça iş parçasının yüzey pürüzlülüğü değeri artış göstermiştir. Şekil 3.57’de 20 m/dak kesme hızında yapılan farklı kesme derinlikleri ve ilerlemelerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük ( $Ra$ ) değerleri sunulmuştur.



Şekil 3.57.  $V_c = 20$  m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.

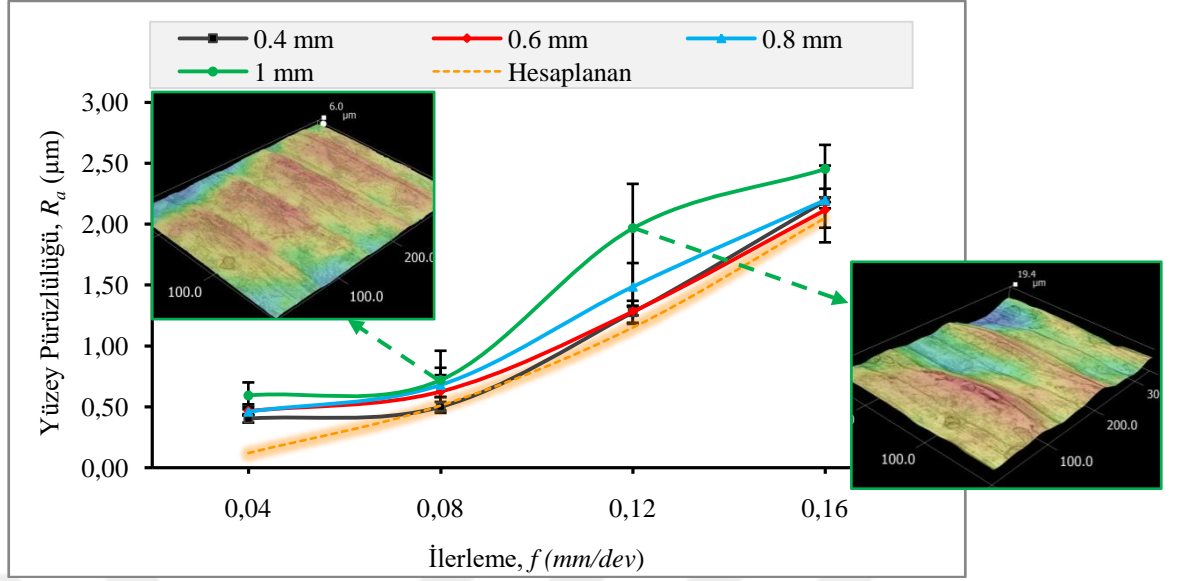
20 m/dak kesme hızındaki düşük ilerlemelerde (0.04, 0.08 mm/dev) ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri  $1 \mu\text{m}$ 'nin altındadır. 0.12 mm/dev ilerlemede ölçülen pürüzlülük değerleri hem havacılık enstitüsünde istenen yüzey kalitesi  $1 \mu\text{m}$  civarında hem de teorik olarak hesaplanan yüzey pürüzlülüğüne çok yakın değerler elde edilmiştir. Yüksek ilerlemede (0.16 mm/dev) ise pürüzlülük değerleri diğer ilerleme değerlerine göre 2 kat artmıştır.

Şekil 3.58'da 45 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri sunulmuştur. Yüzey pürüzlülüklerinde değerleri ilerlemenin artmasıyla birlikte düzenli bir artış meydana gelmiştir. 1 mm kesme derinliğinde yapılan testlerde diğer kesme derinliklerine göre ortalama %15 daha yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0.4, 0.6 ve 0.8 mm kesme derinliklerinde ise birbirine yakın pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda bu değerler teorik olarak hesaplanan yüzey pürüzlülüğüne de yakın değerlerdir. Ayrıca düşük kesme hızlarında (20 m/dak, 45 m/dak) yapılan deneylerde kesme hızında meydana gelen artışın yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etkili olmadığı görülmüştür.



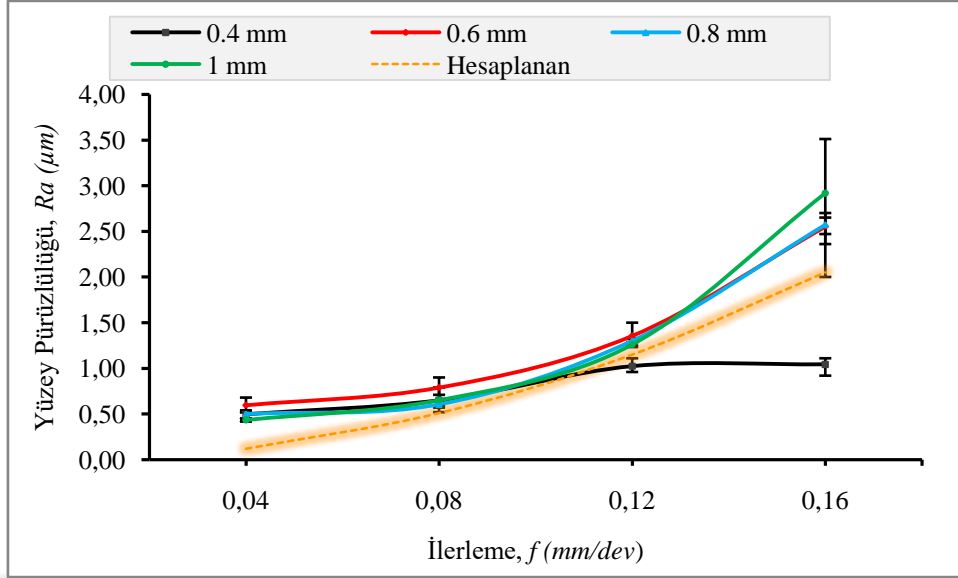
Şekil 3.58.  $V_c=45$  m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.

70 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesme derinliğine bağlı elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 3.59' de sunulmuştur. İlerlemedeki artışın yanı sıra kesme derinliğinin de artması parçanın yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. Kesme derinliğinin artışı talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım ile iş parçası arasındaki bölgede sıcaklığı artırır bununla birlikte kesici takımdaki aşınmada artar. Takımdan aşınma ile kopan malzemelerin iş parçasının yüzeyine yapışması sonucunda yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı düşünülmektedir.



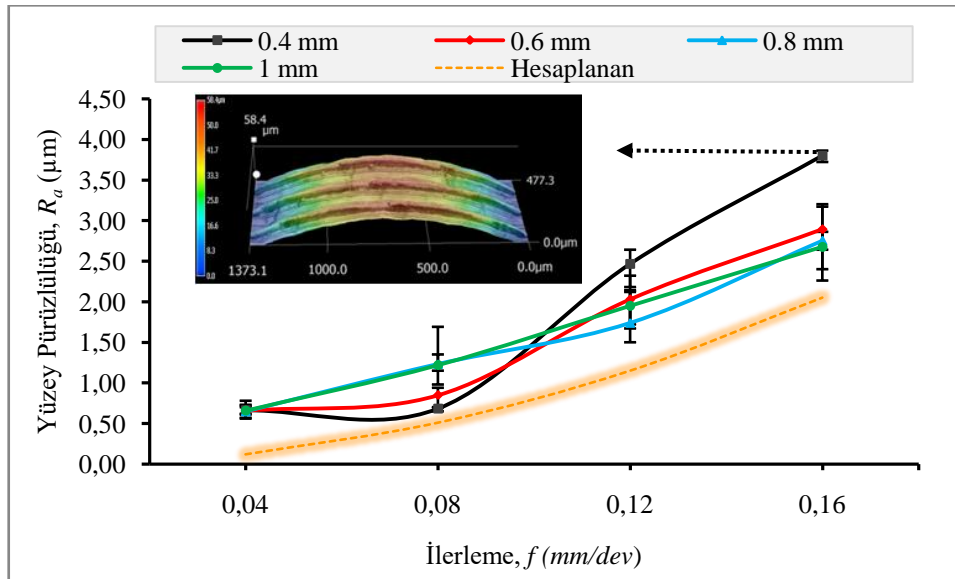
Şekil 3.59.  $V_c = 70$  m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Şekil 3.60' de 95 m/dak kesme hızında ilerleme ve kesme derinliğine bağlı elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri sunulmuştur. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülüğünde genel olarak ilerlemeyle birlikte doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Yalnızca 0.16 mm/dev ilerleme 0.4 mm kesme derinliğindeki parçada ilerleme artmasına rağmen yüzey pürüzlülük değeri 0.12 mm/dev ilerleme ile yakın değerdedir. Bu duruma kesici takım burun yarıçapında meydana gelen değişimin pürüzlülüğü azaltmada etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ölçülen pürüzlülük değerleri başlangıçta verilen ampirik denklemden ilerlemedeki değişime bağlı elde edilen değerlere yakın değerlerdir.



Şekil 3.60.  $V_c = 95$  m/dak kesme hızında pürüzlülük değerleri

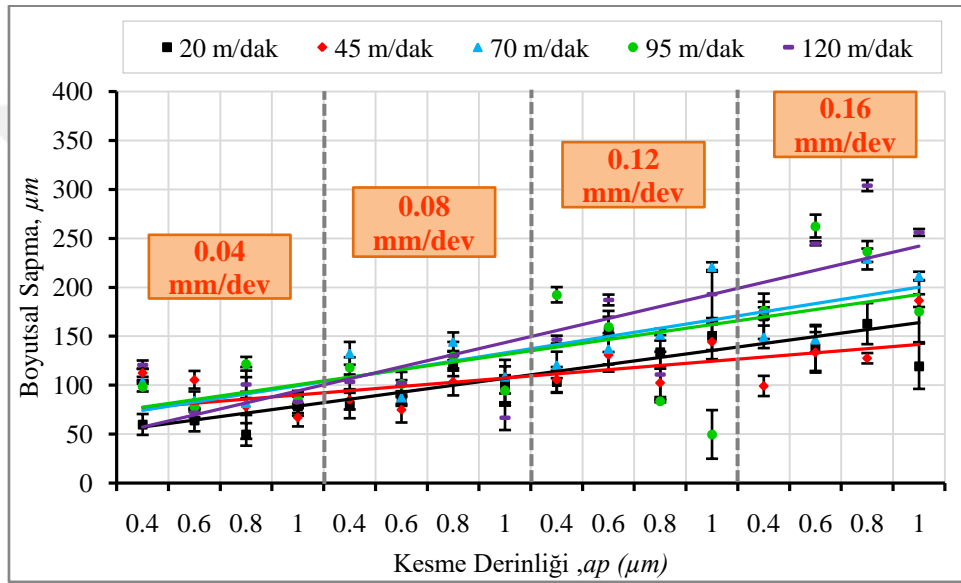
120 m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 3.61'te sunulmuştur. Yüksek kesme hızında ilerlemenin yanı sıra kesme hızının artmasıyla pürüzlülük değerlerinin arttırdığı (özellikle düşük kesme derinliğinde işlenen parçalarda) gözlemlenmiştir. Diğer kesme hızlarında elde edilen değerler hesaplanan yüzey pürüzlüklerine yakın ya da aynı değerlerde iken 120 m/dak kesme hızında hesaplanan değerlere daha uzak pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.61.  $V_c = 120$  m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri

### 3.5 Deneysel İşlenen Parçaların Boyutsal Doğruluğu

Talaşlı imalat sonrasında işlenen parçalarda yüzey pürüzlülüğünden sonra yüzey kalitesini etkileyen bir diğer özellik boyutsal doğruluktur. Boyutsal sapma, deney parametrelerinde belirlenen ve uygulanan kesme derinliği ile işlem sonunda elde edilen kesme derinliği arasındaki farktır [31]. İşleme sonrasında parçaların boyutsal doğrulukları CMM cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Kesme parametrelerine bağlı elde edilen boyutsal doğruluk değerleri Şekil 3.62’de sunulmuştur.



Şekil 3.62. Kesme sıvısız koşulunda işlenen parçalardaki boyutsal sapma değerleri

Boyutsal doğrulukta genel dağılım kesme derinliği ve ilerlemeyle birlikte sapma değerleri artmasıdır. İlerlemenin en düşük değeri 0.04 mm/dev’de en yüksek boyutsal doğruluk sağlanırken, yüksek ilerleme değerleri 0.12 ve 0.16 mm/dev’de sapmalar artmış boyutsal doğruluk azalmıştır. İş parçasının çapında en fazla sapma 120 m/dak kesme hızında olmuştur. 120 m/dak kesme hızında 0.16 mm/dev ilerlemede boyutsal sapma değerleri 303  $\mu\text{m}$  civarlarına ulaşmıştır. 0.8 mm kesme derinliğinde elde edilen bu değer belirlenen standardın (300  $\mu\text{m}$ ) üzerindedir. 120, 70 ve 20 m/dak kesme hızında 250  $\mu\text{m}$  ile 150  $\mu\text{m}$  aralığında boyutsal sapma değerleri elde edilmiştir. 45 m/dak kesme hızında ise boyutsal doğruluk değerleri 150  $\mu\text{m}$  değerinin altında kalmıştır.

### 3.6 Değerlendirme ve Tartışma

Kesme sıvısı ile farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliklerinde yapılan deneyler ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler yukarıda ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Kesme işlemi sırasında kesici takımında meydana gelen aşınma kesme hızı attıkça düzenli bir artış eğilimi göstermiştir. 120 m/dak kesme hızında takım aşınmalarında önemli artışlar görülmüştür. İlerleme miktarının etkisi düşük kesme hızlarında aşınmayı etkilemezken, yüksek kesme hızlarında daha belirgin etki göstermiştir. Kesme derinliği ise aşınma üzerine etki eden en belirgin parametre olmuştur. Tüm kesme hızlarında kesme derinliği arttıkça aşınma kayda değer bir şekilde artmıştır. Yüksek kesme hızının ve yüksek kesme derinliğinin birlikte kullanıldığı birkaç deneyde kesici takımında meydana gelen aşırı difüzyon aşınması sebebiyle takım aşınması  $V_B = 300 \mu\text{m}'$  yi aşarak ömrünü tamamlamıştır.

Literatürde bu malzemenin talaşlı imalatına dair çalışma bulunmadığından dolayı kesme parametreleri belirlenirken benzer şekil hafızalı malzemelerin işleme parametreleri incelenmiştir[9, 32]. Yine aynı sebepten dolayı parametre aralığı geniş tutulmuştur. Kesici takımdaki aşınma miktarında ve kesme kuvvetleri üzerinde kesme hızı ve kesme derinliği belirleyici etken olmuştur. Kesme derinliğinin artmasıyla birlikte kesici takım ve iş parçasının temas yüzeyi artmıştır. Bunu takım aşınması bölümündeki görüntü ve grafiklerde görmek mümkündür. Temas alanının artmasıyla birlikte temas bölgesinde kesme sıcaklığının arttığı bu durumda takım aşınmasını arttırdığı düşünülmektedir. Mekanik ve termal etkiler kesici takımında abrazyon, adezyon ve difüzyon gibi aşınma mekanizmalarının oluşmasını sağlamıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğrulukta ise kesme hızı ve ilerleme miktarı bulgular üzerinde önemli rol oynamıştır.

Sonuç olarak, kesme derinliğinin yüksek seçilmesi aşınmayı, ilerlemenin yüksek seçilmesi pürüzlülüğü olumsuz etkilemiştir. Bu parametrelerin ortalama değerlerde seçilmesinin takım ömrünü arttıracığı düşünülmektedir. Ayrıca soğutma koşulunun malzemenin işlenmesine etkisini anlayabilmek içinse farklı koşullarda benzer deneyler yapılmalı ve sonuçları karşılaştırılmalıdır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada NiTiHf şekil hafızalı alaşım malzemesinin kesme sıvısı koşulunda, farklı kesme parametrelerinde (kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme) talaşlı imalat süreci incelenmiştir. Kesme parametreleri geniş aralıkta seçilmiş, 5 farklı kesme hızı, 4 farklı kesme derinliği ve 4 farklı ilerlemede toplam 80 deney yapılmıştır. Deneyler sonucunda takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğruluk çıktıları incelenmiştir.

Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda belirtilmiştir.

- Kesme hızı ve kesme derinliğinde meydana gelen artış incelenen tüm aşınma türlerinde (serbest yüzey aşınması, burun aşınması vb.) kesici takım aşınmasını arttırmıştır.
- İlerleme artışı düşük kesme hızlarda belirgin etkisi göstermemesine rağmen yüksek kesme hızlarında dikkat edilmesi gereken bir parametre olmuştur.
- Kesme uzunluğu düşük seçilmesine rağmen yüksek hızlarda kullanılan bazı takımlar ömürlerini tamamlamıştır.
- NiTiHf malzemesinin yüksek kesme hızlarında işleme yapılması gerektiren durumlarda daha iyi takım performansı için diğer kesme parametrelerin düşük seçilmesi önerilebilir
- NiTiHf işlenmesinde yaygın aşınma türleri abrazyon ve adezyon olmuştur. Kesme sırasında oluşan gerilme ve stresin etkisiyle takım aşınmasında abrazyon (çizilme, kazınma), sıcaklığın artmasıyla ise kesici takımda adezyon(yapışma) aşınma türü meydana gelmiştir.
- Kesme kuvvetlerinde ise kesme hızının artmasıyla artan sıcaklığın etkisiyle malzemede termal yumuşama meydana geldiği bu sayede kuvvetlerin azaldığı düşünülmektedir. 120 m/dak kesme hızında ise oluşan aşırı aşınma nedeniyle kuvvetlerde artış görülmüştür.
- Yüzey pürüzlüğünü etkileyen en önemli parametre ilerleme olmuştur. Düşük ilerlemede 1µm altında ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edilirken, yüksek ilerlemede 2.50-3 µm ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

- Ayrıca yüksek kesme hızında takımdaki aşınmanın etkisiyle yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Buda iş parçasının yüzey kalitesini azaltmıştır.
- İş parçalarının boyutsal doğruluğunda ise pürüzlülükte olduğu gibi ilerleme etken parametredir.
- Yüksek kesme hızları ve yüksek ilerlemelerde boyutsal sapma en fazla olmuştur. Bu durum özellikle bağlantı elemanı olarak kullanılacak bu parçalarda istenmeyen bir durumdur.



## KAYNAKLAR

1. Karaca, H., et al., *NiTiHf-based shape memory alloys*. Materials Science and Technology, 2014. **30**(13): p. 1530-1544.
2. Noebe, R., T. Biles, and S. Padula, *NiTi-based high-temperature shape-memory alloys: properties, prospects, and potential applications*. MATERIALS ENGINEERING-NEW YORK-, 2006. **32**: p. 145.
3. Hartl, D.J. and D.C. Lagoudas, *Aerospace applications of shape memory alloys*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, 2007. **221**(4): p. 535-552.
4. Shin, M. and B. Andrawes, *Experimental investigation of actively confined concrete using shape memory alloys*. Engineering Structures, 2010. **32**(3): p. 656-664.
5. Weinert, K. and V. Petzoldt, *Machining of NiTi based shape memory alloys*. Materials Science and Engineering: A, 2004. **378**(1-2): p. 180-184.
6. Mabe, J., F. Calkins, and G. Butler. *Boeing's variable geometry chevron, morphing aerostructure for jet noise reduction*. in *47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference 14th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 7th*. 2006.
7. Weinert, K., V. Petzoldt, and D. Kötter, *Turning and drilling of NiTi shape memory alloys*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2004. **53**(1): p. 65-68.
8. Huang, H., *A study of high-speed milling characteristics of nitinol*. Materials and Manufacturing Processes, 2004. **19**(2): p. 159-175.
9. Kaynak, Y., et al., *Tool-wear analysis in cryogenic machining of NiTi shape memory alloys: A comparison of tool-wear performance with dry and MQL machining*. Wear, 2013. **306**(1-2): p. 51-63.
10. Kaynak, Y., et al., *The effect of active phase of the work material on machining performance of a NiTi shape memory alloy*. Metallurgical and Materials Transactions A, 2015. **46**(6): p. 2625-2636.
11. Kaynak, Y., et al., *Analysis of tool-wear and cutting force components in dry, preheated, and cryogenic machining of NiTi shape memory alloys*. Procedia CIRP, 2013. **8**: p. 498-503.
12. Firstov, G., J. Van Humbeeck, and Y.N. Koval, *High temperature shape memory alloys problems and prospects*. Journal of intelligent material systems and structures, 2006. **17**(12): p. 1041-1047.
13. Simon, A.A., *Shape memory response and microstructural evolution of a severe plastically deformed high temperature shape memory alloy (NiTiHf)*. 2006, Texas A&M University.
14. Belbasi, M., M.T. Salehi, and S.A.A.A. Mousavi, *Hot Deformation Behavior of NiTiHf Shape Memory Alloy Under Hot Compression Test*. Journal of materials engineering and performance, 2012. **21**(12): p. 2594-2599.
15. Steiner, G., et al. *TEM investigation of severely deformed NiTi and NiTiHf shape memory alloys*. in *EMC 2008 14th European Microscopy Congress 1-5 September 2008, Aachen, Germany*. 2008. Springer.
16. Belbasi, M., et al., *A study on the mechanical behavior and microstructure of NiTiHf shape memory alloy under hot deformation*. Materials Science and Engineering: A, 2013. **560**: p. 96-102.
17. Kockar, B., et al., *A method to enhance cyclic reversibility of NiTiHf high*

- temperature shape memory alloys*. Scripta Materialia, 2006. **54**(12): p. 2203-2208.
18. Saghaian, S., et al., *Effects of Ni content on the shape memory properties and microstructure of Ni-rich NiTi-20Hf alloys*. Smart Materials and Structures, 2016. **25**(9): p. 095029.
  19. Jawaid, A., C. Che-Haron, and A. Abdullah, *Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246*. Journal of Materials Processing Technology, 1999. **92**: p. 329-334.
  20. Venugopal, K., S. Paul, and A. Chattopadhyay, *Growth of tool wear in turning of Ti-6Al-4V alloy under cryogenic cooling*. Wear, 2007. **262**(9): p. 1071-1078.
  21. Iqbal, S., P. Mativenga, and M. Sheikh, *A comparative study of the tool-chip contact length in turning of two engineering alloys for a wide range of cutting speeds*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009. **42**(1-2): p. 30.
  22. İrfan, U., K. Aslantaş, And A. Karabulut, *Ortogonal Kesme İşleminde Takım-Talaş Temas Uzunluğundaki Değişimin Araştırılması*. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2009. **24**(3).
  23. Abukhshim, N., P. Mativenga, and M. Sheikh, *An investigation of the tool-chip contact length and wear in high-speed turning of EN19 steel*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2004. **218**(8): p. 889-903.
  24. Iqbal, S., P. Mativenga, and M. Sheikh, *Characterization of machining of AISI 1045 steel over a wide range of cutting speeds. Part 1: investigation of contact phenomena*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2007. **221**(5): p. 909-916.
  25. Bordin, A., et al., *Analysis of tool wear in cryogenic machining of additive manufactured Ti6Al4V alloy*. Wear, 2015. **328**: p. 89-99.
  26. Kumar, K.K. and S. Choudhury, *Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments*. Journal of Materials Processing Technology, 2008. **203**(1-3): p. 95-101.
  27. Kaynak, Y., A. Gharibi, and M. Ozkutuk, *Experimental and numerical study of chip formation in orthogonal cutting of Ti-5553 alloy: the influence of cryogenic, MQL, and high pressure coolant supply*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017: p. 1-18.
  28. Kaynak, Y., H. Karaca, and I. Jawahir. *Sustainability evaluation in machining of NiTi shape memory alloy*. in *1st international Conference on Sustainable Life in Manufacturing (SLIM 2010)*. 2010.
  29. Kaynak, Y., A. Gharibi, and M. Ozkutuk, *Experimental and numerical study of chip formation in orthogonal cutting of Ti-5553 alloy: the influence of cryogenic, MQL, and high pressure coolant supply*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018. **94**(1-4): p. 1411-1428.
  30. Vajpayee, S., *Analytical study of surface roughness in turning*. Wear, 1981. **70**(2): p. 165-175.
  31. Risbood, K., U. Dixit, and A. Sahasrabudhe, *Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process*. Journal of Materials Processing Technology, 2003. **132**(1-3): p. 203-214.
  32. Kaynak, Y., H. Karaca, and I. Jawahir, *Surface integrity characteristics of NiTi*

*shape memory alloys resulting from dry and cryogenic machining.* Procedia CIRP, 2014. **13**: p. 393-398.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Kadriye Ebru Kırmacıoğlu

**E-posta:** kadriye\_ebru@hotmail.com

**Doğum yeri ve tarihi:** Şabanözü/Çankırı, 14.02.1991

**Yabancı Dil:** İngilizce

### Eğitim:

Lise

2005-2006 Çemberlitaş Anadolu Lisesi

2006-2009 Ayrançı Anadolu Lisesi

Lisans

2009-2014 Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans

2017-.... Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği

**Projeler:** TÜBİTAK 1001 Projesi-Marmara Üniversitesi, Proje Bursiyeri

### Bilimsel Yayınlar:

Kırmacıoğlu, K.E., Kaynak, Y., Benefan, O., Machinability of Ni-rich NiTiHf High Temperature Shape Memory Alloys. –Under review

Demirtaş, E., Kırmacıoğlu K.E., Altay, Ç., Gizem, Ş., Kaynak Y., (2018) Martenzit Paslanmaz Çelik Malzemenin Kriyojenik Koşullarda Kesilmesi Sürecinin Deneysel İncelenmesi, 9th International Symposium on Machining, Antalya, Turkey.

Kıtay, Ö., Kırmacıoğlu, K.E., Kaynak, Y. (2017) P20 Takım Çeliğinin Karbondioksit Yardımlı Talaşlı İmalat Performansının Değerlendirilmesi, 8th International Symposium on Machining, Antalya, Turkey.