

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜPER ALAŞIMLARDAN INCOLOY 901 VE RENE 41'İN  
TORNALANMASINDA KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAGUCHI DENEYSEL TASARIMI İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Recep AKIN  
DANIŞMAN: Doç. Dr. Abdullah ALTIN

VAN-2019



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SÜPER ALAŞIMLARDAN INCOLOY 901 VE RENE 41'İN  
TORNALANMASINDA KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAGUCHI DENEYSEL TASARIMI İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Recep AKIN  
DANIŞMAN: Doç. Dr. Abdullah ALTIN

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından VAN-MYO-BAP  
2093 No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2019





## KABUL VE ONAY SAYFASI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Abdullah ALTIN danışmanlığında, Recep AKIN tarafından sunulan "Süper Alaşımlardan İncoloy 901 ve Rene 41'in Tornalanmasında Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Deneysel tasarımı İle İncelenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 07 / 11 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans/ Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Muammer NALBANT

İmza: .....

Üye :Doç. Dr. Abdullah ALTIN

İmza: .....

Üye : Dr. Öğr. Üy. Altuğ KARABEY

İmza: .....

Üye :.....

İmza: .....

Üye :.....

İmza: .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06 / 12 / 2019 tarih ve 219/63-I sayılı kararı ile onaylanmıştır.





## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Recep AKIN



## ÖZET

### SÜPER ALAŞIMLARDAN INCOLOY 901 VE RENE 41'İN TORNALANMASINDA KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TAGUCHI DENEYSSEL TASARIMI İLE İNCELENMESİ

AKIN, Recep

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah ALTIN

Aralık 2019, 116 sayfa

Bu çalışmada süper alaşımlar malzemelerinden Incoloy 901 ve Rene 41'in farklı kesici, ilerleme ve kesme hızlarıyla kuru şartlarda tornalanmasında, parametrelerin kesme kuvvetlerine ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Deneysel olarak, Incoloy 901 ve Rene 41'in KY4300, KYS30 ve KYS25 kesici takımları ile 200, 230 ve 260 m/min kesme hızlarının ve 0.100, 0.125 ve 0.105 mm/dev ilerleme hızları kullanılmıştır. Kesme kuvvetine etkili parametrelerin ilerleme hızı ve kesme hızının olduğu ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerin ilerleme hızı ve kesici takım olduğu görülmüştür. En küçük kesme kuvveti Incoloy 901'de 0.100 mm/dev ilerleme hızında 260 m/dak kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile Rene 41' de 0.100 mm/dev ilerleme hızında 260 m/dak kesme hızında ve KYS30 kesici takımı işleme parametreleriyle ve en küçük ortalama yüzey pürüzlülüğü Incoloy 901'de 0.100 mm/dev ilerleme hızında 200 m/dak kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile Rene 41'de 0.150 mm/dev ilerleme hızında 260 m/dak KYS25 kesici takımı işleme parametreleriyle elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Incoloy 901, Rene 41, Optimum parametreler, Taguchi



## ABSTRACT

### **SUPER ALLOYS FROM INCOLOY 901 AND RENE 41 IN CUTTING FORCES AND SURFACE ROUGHNESS OF INVERTIGATION TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN FOR TURNING**

AKIN, Recep  
M. Sc. Thesis, Mechanic Engineering  
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdullah ALTIN  
December 2019, 116 pages

In this study, the effects of parameters on cutting forces and average surface roughness were investigated in the turning of super alloy materials Incoloy 901 and Rene 41 with different cutting, feed and cutting speeds in dry conditions. In the experiments, cutting tools KY4300, KYS30 and KYS25 of Incoloy 901 and Rene 41 were used with cutting speeds of 200, 230 and 260 m / min and feed rates of 0.100, 0.125 and 0.105 mm / rev. It has been found that the parameters affecting the cutting force have the feedrate and cutting speed and the parameters affecting the average surface roughness are the feedrate and cutting tool. The smallest cutting force Incoloy 901 with a feedrate of 0.100 mm / rev at 260 m / min and with KY4300 cutting tool at Rene 41 with a feedrate of 0.100 mm / rev at 260 m / min and with KYS30 cutting tool machining parameters and the smallest The average surface roughness was obtained with the cutting parameters 260 m / min KYS25 cutting tool at Incoloy 901 at a feed rate of 0.100 mm / rev at a cutting speed of 200 m / min, and KY4300 cutting tool and Rene 41 at a feed rate of 0.150 mm / rev.

**Keywords:** Incoloy 901, Rene 41, Optimum parameters, Taguchi





## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Abdullah ALTIN'a teşekkür ederim. Ayrıca bu araştırmada yardımcı olan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ve Arş. Gör. Gültekin UZUN'a teşekkürlerimi sunarım.



2019  
Recep AKIN



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Süper Alaşımlar .....	2
1.1.1. Süper alaşımların gelişim süreci .....	5
1.1.2. Süper alaşımların metalürjisi .....	7
1.2. Süperalaşımların Sınıflandırılması .....	7
1.2.1. Demir esaslı süper alaşımlar .....	8
1.2.2. Kobalt esaslı süper alaşımlar .....	9
1.2.3. Nikel esaslı süper alaşımlar.....	10
1.3. Süper Alaşımların Uygulama Alanları .....	12
1.3.1. İşlenebilirlikte esas alınan kriterler .....	15
1.3.2. İşlenebilirliği etkileyen faktörler .....	16
1.3.3. Mikroyapı'nın etkisi.....	16
1.3.4. Işıl-işlem.....	16
1.3.5. Alaşım elementlerinin etkisi.....	17
1.3.6. Malzemelerin mekanik özelliklerinin etkisi .....	17
1.3.7. Nikel esaslı süper alaşımların işlenebilirliği.....	17
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal .....	25
3.1.1. Incoloy 901 .....	25
3.1.2. Rene 41 .....	26
3.2. Metod.....	27
3.2.1. Taguchi metodu .....	28

	Sayfa
3.2.2. Taguchi deney tasarımı aşamaları.....	29
3.2.3. Taguchi performans karakteristikleri.....	30
3.2.4. Yöntem.....	30
3.2.5. Kesme şartları.....	32
3.2.6. S/N oranı analizi.....	32
3.2.7. Deneysel kurulum (ortogonal tasarım L27).....	33
3.2.8. Kesici takımlar.....	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Deney Sonuçları.....	35
4.1.1. İncoloy 901 kesici takım deneyleri.....	35
4.1.2. Rene 41 kesici takım deneyleri.....	36
4.2. S/N Oranları.....	37
4.2.1. Kesici takım deneyleri S/N oranları (Incoloy 901).....	37
4.2.2. Kesici takım deneyleri S/N oranları (Rene 41).....	39
4.3. Annova Analizleri.....	40
4.3.1. İncoloy 901 (Ra ve Fz) kesici takım analizleri.....	40
4.3.2. Rene 41 (Ra ve Fz) kesici takım analizleri.....	42
4.4. Analizler ve Etki Parametreleri.....	44
4.4.1. İncoloy 901 (Ra ve Fz) kesici takım etkileri.....	44
4.4.2. Rene 41 (Ra ve Fz) seramik kesici takım etkileri.....	45
4.5. Deney Grafikleri.....	46
4.5.1. İncoloy 901 kesici takım grafikleri.....	46
4.5.2. Rene 41 seramik kesici takım grafikleri.....	50
5. SONUÇLAR.....	55
5.1. Deney Sonuçları.....	56
5.2. Analiz Sonuçları.....	57
5.3. İncoloy 901 Kesici Takım Uç Aşınmaları.....	58
5.4. Rene 41 Kesici Takım Uç Aşınmaları.....	58
KAYNAKLAR.....	59
EKLER.....	61
ÖZ GEÇMİŞ.....	117

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3. 1. İncoloy 901 bileşenleri .....	25
Çizelge 3. 2. Rene 41 bileşenleri .....	26
Çizelge 3. 3. Kesme parametreleri.....	32
Çizelge 3. 4. Kesme parametreleri.....	33
Çizelge 3. 5. Kesici takımlar ve özellikleri .....	34
Çizelge 4. 1. İncoloy 901 deney sonuçları .....	35
Çizelge 4. 2. Rene 41 deney sonuçları.....	36
Çizelge 4. 3. İncoloy 901'e ait kesme kuvvetleri (Fz), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve S/N oranları .....	38
Çizelge 4. 4. Rene 41'e ait kesme kuvvetleri (Fz), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve S/N Oranları .....	39
Çizelge 4. 5. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi .....	41
Çizelge 4. 6. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (ra) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi .....	42
Çizelge 4. 7. Rene 41 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi .....	43
Çizelge 4. 8. Rene 41 kesme kuvvetleri (Fz) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi.....	44
Çizelge 4. 9. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) anova analizleri etki parametreleri .....	44
Çizelge 4. 10. İncoloy 901 kesme kuvvetleri (Fz) anova analizleri etki parametreleri .....	45
Çizelge 4. 11. Rene 41 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) anova analizleri etki parametreleri .....	45
Çizelge 4. 12. Rene 41 kesme kuvvetleri (Fz) anova analizleri etki parametreleri.....	46



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımları (Bartlay, 1988).....	6
Şekil 1. 2. Nikel esaslı süper alaşımların etkin olarak kullanıldığı gaz türbin motoru (Loria, 1992).....	13
Şekil 1. 3. Bilgisayarla simule edilmiş bir uçak motoru ve önemli bölümleri (www.EJ200.com). ....	14
Şekil 1. 4. Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler. (Şahin, 2000). ....	15
Şekil 1. 5. Tornalama işleminde işlenebilirlik ve giriş- çıkış parametreleri (Chouldhury, 1997).....	16
Şekil 3. 1. Dinamometre birimi. ....	27
Şekil 3. 2. Deney aşamaları. ....	29
Şekil 3. 3. Performans karakteristikleri.....	30
Şekil 3. 4. Ölçüm tezgahı dinamometre birimi.....	31
Şekil 3. 5. CNC tezgahı.....	31
Şekil 4. 1. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.....	40
Şekil 4. 2. İncoloy 901 kesme kuvvetleri (Fz) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.....	41
Şekil 4. 3. Rene 41 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.....	42
Şekil 4. 4. Rene 41 kesme kuvvetleri (Fz) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği. ....	43
Şekil 4. 5. İncoloy 901 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.100 mm/dev'de. ....	46
Şekil 4. 6. İncoloy 901 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.125 mm/dev'de. ....	47
Şekil 4. 7. İncoloy 901 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.150 mm/dev'de. ....	48
Şekil 4. 8. İncoloy 901 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.100 mm/dev'de. ....	48

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4. 9. İncoloy 901 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.125 mm/dev'de. ....	49
Şekil 4. 10. İncoloy 901 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.150 mm/dev'de. ....	50
Şekil 4. 11. Rene 41 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.100 mm/dev'de. ....	50
Şekil 4. 12. Rene 41 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.125 mm/dev'de. ....	51
Şekil 4. 13. Rene 41 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.150 mm/dev'de. ....	52
Şekil 4. 14. Rene 41 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.100 mm/dev'de. ....	52
Şekil 4. 15. Rene 41 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.125 mm/dev'de. ....	53
Şekil 4. 16. Rene 41 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.150 mm/dev'de. ....	54



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>a</b>	İlerleme hızı, (mm/dev)
<b>V</b>	Kesme hızı, (m/dak)
<b>Ra</b>	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, ( $\mu\text{m}$ )
<b>Fz</b>	Kesme Kuvveti, (N)
<b>S/N</b>	Sinyal Gürültü Oranı
<b>P</b>	Parametre
<b>Df</b>	Serbestlik Derecesi
<b>N</b>	Newton
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Mikrometre
<b>m</b>	Metre
<b>mm</b>	Milimetre
<b>dak</b>	Dakika
<b>dev / rev</b>	Devir
<b>A</b>	İlerleme adımı (mm/dev)
<b>B</b>	Kesme hızı (m/dak)
<b>C</b>	Kesici takım



## EKLER DİZİNİ

<b>Ek</b>	<b>Sayfa</b>
Ek 1. İncoloy 901 Deney 1 Kesici Uç Aşınması .....	62
Ek 2. İncoloy 901 Deney 2 Kesici Uç Aşınması .....	63
Ek 3. İncoloy 901 Deney 3 Kesici Uç Aşınması .....	64
Ek 4. İncoloy 901 Deney 4 Kesici Uç Aşınması .....	65
Ek 5. İncoloy 901 Deney 5 Kesici Uç Aşınması .....	66
Ek 6. İncoloy 901 Deney 6 Kesici Uç Aşınması .....	67
Ek 7. İncoloy 901 Deney 7 Kesici Uç Aşınması .....	68
Ek 8. İncoloy 901 Deney 8 Kesici Uç Aşınması .....	69
Ek 9. İncoloy 901 Deney 9 Kesici Uç Aşınması .....	70
Ek 10. İncoloy 901 Deney 10 Kesici Uç Aşınması .....	71
Ek 11. İncoloy 901 Deney 11 Kesici Uç Aşınması .....	72
Ek 12. İncoloy 901 Deney 12 Kesici Uç Aşınması .....	73
Ek 13. İncoloy 901 Deney 13 Kesici Uç Aşınması .....	74
Ek 14. İncoloy 901 Deney 14 Kesici Uç Aşınması .....	75
Ek 15. İncoloy 901 Deney 15 Kesici Uç Aşınması .....	76
Ek 16. İncoloy 901 Deney 16 Kesici Uç Aşınması .....	77
Ek 17. İncoloy 901 Deney 17 Kesici Uç Aşınması .....	78
Ek 18. İncoloy 901 Deney 18 Kesici Uç Aşınması .....	79
Ek 19. İncoloy 901 Deney 19 Kesici Uç Aşınması .....	80
Ek 20. İncoloy 901 Deney 20 Kesici Uç Aşınması .....	81
Ek 21. İncoloy 901 Deney 21 Kesici Uç Aşınması .....	82
Ek 22. İncoloy 901 Deney 22 Kesici Uç Aşınması .....	83

<b>Ek</b>	<b>Sayfa</b>
Ek 23. İncoloy 901 Deney 23 Kesici Uç Aşınması .....	84
Ek 24. İncoloy 901 Deney 24 Kesici Uç Aşınması .....	85
Ek 25. İncoloy 901 Deney 25 Kesici Uç Aşınması .....	86
Ek 26. İncoloy 901 Deney 26 Kesici Uç Aşınması .....	87
Ek 27. İncoloy 901 Deney 27 Kesici Uç Aşınması .....	88
Ek 28. Rene 41 Deney 28 Kesici Uç Aşınması .....	89
Ek 29. Rene 41 Deney 29 Kesici Uç Aşınması .....	90
Ek 30. Rene 41 Deney 230 Kesici Uç Aşınması .....	91
Ek 31. Rene 41 Deney 31 Kesici Uç Aşınması .....	92
Ek 32. Rene 41 Deney 32 Kesici Uç Aşınması .....	93
Ek 33. Rene 41 Deney 33 Kesici Uç Aşınması .....	94
Ek 34. Rene 41 Deney 34 Kesici Uç Aşınması .....	95
Ek 35. Rene 41 Deney 35 Kesici Uç Aşınması .....	96
Ek 36. Rene 41 Deney 36 Kesici Uç Aşınması .....	97
Ek 37. Rene 41 Deney 37 Kesici Uç Aşınması .....	98
Ek 38. Rene 38 Deney 38 Kesici Uç Aşınması .....	99
Ek 39. Rene 41 Deney 39 Kesici Uç Aşınması .....	100
Ek 40. Rene 41 Deney 40 Kesici Uç Aşınması .....	101
Ek 41. Rene 41 Deney 41 Kesici Uç Aşınması .....	102
Ek 42. Rene 41 Deney 42 Kesici Uç Aşınması .....	103
Ek 43. Rene 41 Deney 43 Kesici Uç Aşınması .....	104
Ek 44. Rene 41 Deney 44 Kesici Uç Aşınması .....	105
Ek 45. Rene 41 Deney 45 Kesici Uç Aşınması .....	106

<b>Ek</b>	<b>Sayfa</b>
Ek 46. Rene 41 Deney 46 Kesici Uç Aşınması .....	107
Ek 47. Rene 41 Deney 47 Kesici Uç Aşınması .....	108
Ek 48. Rene 41 Deney 48 Kesici Uç Aşınması .....	109
Ek 49. Rene 41 Deney 49 Kesici Uç Aşınması .....	110
Ek 50. Rene 41 Deney 50 Kesici Uç Aşınması .....	111
Ek 51. Rene 41 Deney 51 Kesici Uç Aşınması .....	112
Ek 52. Rene 41 Deney 52 Kesici Uç Aşınması .....	113
Ek 53. Rene 41 Deney 53 Kesici Uç Aşınması .....	114
Ek 54. Rene 41 Deney 54 Kesici Uç Aşınması .....	115



## 1. GİRİŞ

Süper alaşımlar, kullanım alanlarına göre yüksek sıcaklığa karşı metalürjik yapısını koruyabilen, mekanik gerilmelere dayanabilen, yüksek oksidasyon direncine sahip ve gerekli mukavemet şartlarını taşıyabilen, demir, nikel veya kobalt esaslı alaşımlardır. Incoloy 901 ve Rene 41 malzemelerinin tornalanmasında en küçük kesme kuvveti ve en küçük yüzey pürüzlülüğün değeri araştırılması gereken bir konu olarak görülmüştür.

Ancak bu özelliklere sahip olmakla beraber, içerdği nikel-krom yoğunluğu beraberinde işlenebilirlik sorunları ortaya çıkarmaktadır.

Nikel esaslı süper alaşımlar, kaliteli bir yüzey elde etmede, işlenebilirliği en zor olarak bilinen malzemelerdendir (Ezugwu ve ark., 1998; Field, 1968 ).

Bu alaşımlar; uçak motorlarında, endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altılarda, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır (Warbuton, 1967; Chouldhury ve ark., 1996).

Süper alaşımlar, yüzey dengesinin gerektiği ve yüksek gerilmelerin olduğu 650 °C ve üstü sıcaklıklarda kullanılmaktadır. “Süper alaşım” ifadesi demir, nikel, kobalt ve krom kombinasyonları veya demir, nikel ve kobalt esaslı malzeme alaşımları için kullanılabilir. Bu alaşımlar daha düşük miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum ve alüminyum olmak üzere çeşitli demir, nikel, kobalt ve krom elementleri içerirler (Ezugwu ve ark., 2003).

Oksidasyon direnci ve yüksek sıcaklık korozyonu açısından en önemli alaşım elementi kromdur. Bu yüzden korozyon dirençli çelikler, paslanmaz çelikler, Ni-Cr alaşımları ve süper alaşım gibi malzemeler yeterli miktarda krom elementi içerir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında da yüksek bir oranda krom elementi kullanılmaktadır (Betteridge ve ark., 1974).

Süper alaşımlar; yüksek sıcaklıklarda kullanılmak için genellikle VIII-A grubu elementlerden geliştirilen alaşım türleridir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılacak malzemelerde, yüzey kararlılığı ve nispeten yüksek mekanik gerilim özellikleri istenilmektedir (Bradley, 1979).

Süperalaşım, yüksek sıcaklıklarda yüksek performans göstermesi gereken uçak türbin motorları ve süper turbo yükleyicilerin üretiminde kullanılmak için geliştirilen alaşımlardır (Betteridge ve diğ., 1974). Bu alaşımlar genellikle demir, nikel, kobalt ve krom'un farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmesiyle üretilmektedir. Ayrıca düşük miktarda tungsten, molibden, tantalyum, niyobyum, titanyum ve alüminyum da kullanılmaktadır. Süperalaşımların en önemli özellikleri,

- a. 650 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda mukavemetlerini korumaları,
- b. Isı korozyonu ve erozyon dirençlerinin yüksek olmasıdır.

Genellikle demir esaslı alaşımların, kompleks demir-nikel-krom-kobalt alaşımların ve nikel esaslı katı çözelti olarak mukavetlendirilmiş alaşımların dirençleri 650°C üzerindeki sıcaklıklarda, kobalt esaslı ve nikel esaslı (ikinci fazla güçlendirilmiş) alaşımların mukavemetlerinden daha düşüktür. Ergime noktalarına bağlı olarak, kobalt esaslı alaşımların 1100 °C üzerindeki sıcaklıklardaki mukavemeti, nikelli alaşımlara oranla daha yüksektir. Kobalt esaslı döküm alaşımlar, yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahiptir ve matrisleri içersinde kompleks karbürler oluşur (Loria, 1992). Bu malzemeler gaz türbini motorlarındaki hava üfleyicileri için kullanılmaktadır (Bradley, 1979).

Bu çalışmada İncoloy 901 ve Rene 41 malzemelerinin tornalanmasında en küçük kesme kuvveti ve en küçük yüzey pürüzlülüğün değeri üzerine çalışılmış ve bu değerler için gereken işleme parametreleri elde edilmiştir.

## 1.1. Süper Alaşımlar

Süper alaşım, şiddetli mekanik gerilmelerin ve yüzey dengesinin sıklıkla gerekli olduğu genellikle Grup VIII B elementlerine dayalı yüksek sıcaklıklarda hizmet vermesi için geliştirilmiş bir alaşımdır. Süper alaşım, yüksek sıcaklıklarda yüksek performans gerektiren uçak türbin motorlarında ve turbo şarjlarda kullanım için geliştirilmiş ve II. Dünya savaşıdan kısa bir süre sonra kullanılmıştır (Bartlay, 1988). Bugün kullanılan süper alaşımların temeli, % 80 nikel ile % 20 krom alaşım olan ve 50 yıldan beri elektrikte direnç teli olarak kullanılan malzemedен esinlenerek geliştirilmiştir. Süper alaşım, ilk olarak 1940' larda dikkate değer oksidasyon dayanımı ile sürünme ve kırılma geriliminden (creep rupture strength) ötürü (düşük miktarda titanyum ve alüminyum



katılarak) kullanılmaya başlanmıştır (White, 1986). İlk üretilen süper alaşım, Nimonic 80' dir. Kısa bir süre sonra bu alaşım geliştirilerek Nimonic 80 A üretildi. Daha sonra bu da geliştirilerek % 20 kobalt ilavesi ile 50 °C' lik bir avantaj sağlayan ve Nimonic 80 A' ya nazaran daha fazla talebi olan ve de türbin motor tasarımcılarının gereksinim duydukları, yüksek sıcaklıklarda hizmet verecek Nimonic 90 üretildi. Taleplerin artmasıyla titanyum ve alüminyuma ilaveten molibden katılarak Nimonic 105 ve 115' in geliştirilmesiyle katı solüsyon gerilimine sahip alaşımlar elde edildi. 1940' ların sonunda Pratt and Whitney Aircraft ve General Electric Company şirketleri tarafından, Waspalloy ve M 252 adında 2 önemli dövme süper alaşım geliştirildi (Sims ve ark., 1972). Dövme alaşımlar uçak motorlarında önemli yer tutmaktadır. Bu alaşımları takiben molibdenin katılımıyla katı solüsyon ve karbür formu daha da güçlendirildi. Geliştirilen Rene 45 ve 95 yüksek çökeltme takviyeli olup bu alaşımlar sık sık kaynak uygulamalarında kullanıldı (Ezugwu ve ark., 1998).

Nikel esaslı ve demir kapsamlı Inconel 718 süper alaşımı, yüksek ısıl gerilim sağlamakta ve kaynak işlemlerinde çatlamalara iyi dayanım göstermektedir. Incoloy 901 ise bir başka dayanıklı ve rağbet gören süper alaşımdır. Waspalloy ve Astroloy gibi talep edilen bu alaşımların en büyük uygulama alanları türbin diskleridir. Nikel esaslı süper alaşımlardaki programlı ilerleme, sadece bileşimdeki kompozisyonun bir fonksiyonu olarak değil, aynı zamanda eritme metodu, sıcak iş durumu ve ısıl işlemlerin optimizasyonu sonucunda elde edildi.

Süper alaşımlar; genellikle demir, nikel, kobalt ve daha az miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum, titanyum ve alüminyum alaşımlarla yapılan çeşitli formülleri içerirler (Ezugwu ve ark., 1998).

Süper alaşımların en önemli özellikleri; 650 °C' nin üstündeki sıcaklıklara uzun süre dayanmaları ve sıcaklığa bağlı korozyon ve erozyona dayanıklılıklarıdır. Nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda (1500-1650 °C) yüksek dayanıma sahiptirler. Nikel esaslı süper alaşımlardan Rene 95, 760 °C' de 1100 Mpa ve Udimet 700, 870 °C' de 635 Mpa akma dayanımına ayrıca sırasıyla % 15 ve % 27 uzama oranına sahiptirler. Kobalt esaslı S-816 süper alaşımı ise 870 °C' de 240 Mpa akma dayanımına ve %16 uzama oranına sahiptir. Bundan dolayı süper alaşımlar bir çok alaşım çeşidinin yerine geçmiştir. Bunların arasında krom ve nikel içeren demir esaslı

alaşım, demir, nikel, krom, kobalt bileşikler, karbür takviyeli kobalt esaslı alaşım, katı solüsyon takviyeli bazı alaşım, çökeltme ve dağılım takviyeli nikel esaslı alaşım bulunmaktadır. Süper alaşım, işleyerek veya döküm yöntemiyle şekillendirilerek kullanılabilir. Genellikle demir esaslı alaşımın, demir, nikel, krom, kobalt bileşiklerin ve nikel esaslı katı solüsyon takviyeli alaşımın 650 °C' nin üstündeki sıcaklıklardaki dayanımları, nikel esaslı ikinci safha takviyeli ve kobalt esaslı alaşımlardan önemli derecede daha düşüktür. %16 Cr, %25 Ni ve % 6 Mo içeren 16-25-6 alaşımı gibi ilk demir esaslı süper alaşım ve küçük miktarlarda tungsten ile molibden içeren demir, nikel, krom, kobalt alaşımı (Fe -20Ni -20Cr -20Co) esasen katı solüsyon takviyelidir. Düşük miktarlarda (%2 ile %3) alüminyum ve titanyum içeren demir esaslı alaşım, bir alüminyum-titanyum mukavemet kazandırma safhasının çökertilmesi yoluyla yüksek sıcaklıklara daha fazla dayanım gösterirler. Ergime noktası üstünlüğünden ötürü kobalt alaşım genellikle 1100 °C' den yüksek sıcaklıklarda nikel esaslı alaşımlardan daha fazla dayanım gösterirler. Karbür bileşikler içeren ve bir yüzey merkezli kübik (fcc) katı solüsyon matris ile nitelendirilen döküm kobalt esaslı alaşım, gaz türbin motorlarında hava folyoları olarak kullanılmaktadır. Dağılımla kuvvetlendirilmiş nikel esaslı alaşım, yüksek sıcaklıklarda, yüksek dayanıma sahiptirler. Fakat orta sıcaklıklarda orta dayanım gösterirler. ikinci safha, ergime gerçekleşinceye kadar katı bir sertleştirme mekanizması görevinde bu alaşımın yapısında bulunur. Aksine, çökeltme ile kuvvetlendirilmiş alaşım, ergime noktasının altındaki sıcaklıklarda katı solüsyon olarak dayanım kaybederler. Dağılımla kuvvetlendirilmiş alaşım bazı gaz türbinli motorların yanma uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Bartlay, 1998).

İkinci çökeltme aşaması ile kuvvetlendirilen nikel esaslı süper alaşım en karışık ve bütün süper alaşım içerisinde en çok dikkati çekenidir. Bu alaşımın fiziksel metalürjisinin çözümü zor ve karışık olmasına rağmen iyi anlaşılmıştır. Yapı ilk mukavemet kazandırma aşamasında bir çökertilmiş nikel-alüminyum-titanyum bileşiği ile bir yüzey merkezli kübik (fcc) austenitik matristen oluşur (Ezugwu, 1998). Alaşım bileşiğine ve sıcaklık işlemine bağlı olarak çeşitli karbürler ikinci çökeltme aşamasında ortaya çıkarlar. Bu alaşım gaz türbinli motorlardaki gerilme ve sıcaklığa ilişkin yerlerde kullanılmaktadır (Bartlay, 1998).

### 1.1.1. Süper alaşımların gelişim süreci

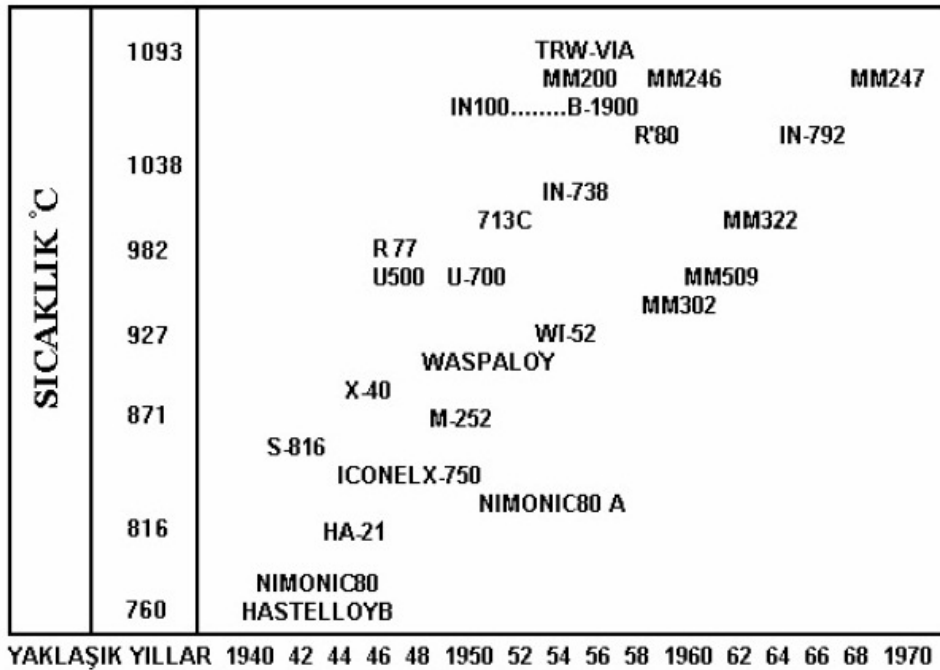
İlk süper alaşım Nimonic' ten sonra geliştirilen Nimonic 80 A, 1940' lı yıllarda yüksek frekanslı eritme kullanılarak havada eritildi (Ezugwu ve ark., 2003). O yıllarda, sertleştirme elementlerinin ergitmede katılmasıyla üretilen alaşıma bir güçlendirme sağlanıyordu. Fakat bu, hava ortamındaki eritmede pek yeterli değildi. 1950' lerde nikel esaslı süper alaşımların gelişiminde önemli bir ilerleme oldu ve vakum altında eritme ve inceltme yöntemi kullanılmaya başlandı. Bu yöntemle reaktif sert elementlerin oksidasyonu engelleniyordu, böylece daha çok titanyum ve alüminyum katılmasına olanak tanınıyordu. Üretim işlemlerinde çökeltme işlemi için vakum ile inceltme yöntemi aynı zamanda uçucu olan diğer elementlerin uzaklaşmasını sağlıyordu (bizmut, teleryum gibi). Ham metallere bulunan ve sürünme gerilimini ters etkileyen ve nikel esaslı süper alaşımların dövülme işlemini kolaylaştıran katkı elementlerinin miktarının azalmasının bir faydası da, sıcak işlenebilirlikte önemli ilerleme kaydedilmesidir. Böylece vakum ile eritme yöntemiyle inceltme sağlandı ve daha iyi dövülebilen güçlü süper alaşımlar, Nimonic 115 ve Udimet 700 gibi malzemeler geliştirildi (Sims ve ark., 1972).

1950' lerin sonlarından beri, türbin sıcak işleme bıçakları, dövme alaşımlardan büyük zorluklarla dövülerek elde ediliyordu. Bunlar o zamanlar rağbet gören alaşımlardı ancak var olan metotlarla dövme işlemi çok zordu (Ezugwu ve ark., 2003). Başlangıçta döküm süper alaşımlar, 1950' lerin sonunda döküm teknikleri gelişip vakum ile eritme işlemi bulununcaya kadar genişçe bir kabul görmedi. İlk vakum ile eritilen alaşım Inco 713 C idi. Bu alaşım yüksek karbonlu içeriği ile aşırı derecede karbür oluşturmuyordu ve düşük sıcaklıklarda zayıf akışa sebep oluyordu. Bu da disk bıçaklarının dökülmesine bir problem oluşturmuyordu. Düşük karbon versiyonu ile bu problem aşıldı ve malzeme türbin bıçaklarında kullanılmaya başlandı (Sims ve ark., 1972).

Dövme alaşımlar gibi daha güçlü döküm alaşımlara talep, başlangıçta titanyum ve alüminyum miktarının artırılması ile karşılandı ve IN 100 geliştirildi. 1960' ların ortalarında General Electric Rene 77' yi üretti. Daha sonra benzer titanyum ve alüminyum miktarları ile Rene 77' den daha yüksek sürünme gerilimi ve korozyon dayanımına sahip Rene 80' i geliştirdi. Gelişmeler sonucunda titanyum ve

alüminyumun miktar olarak arttırılması ile malzeme geriliminde bir artış sağladığı görüşü, 1960' ların sonunda ifade edilen bir yaklaşımdı (Ezugwu ve ark., 2003). Titanyumun azlığı, döküm olayını elverişli kılıyordu. Bu da B-1900 gibi döküm olan süper alaşımı doğurdu. Titanyum ve alüminyum miktarları düşük tutularak daha büyük miktarda molibden ve tantalyum katılarak katı solüsyon gerilimi arttırıldı. Martin Metals firması, Mar-M 200 süper alaşımında molibden yerine tungsten kullanarak piyasaya sürdü, ancak sıcak sürünme ve dökülme işlemlerinde bir problem ortaya çıktı. 1969' larda Martin Metals firması bu problemi aşan bir metot ile patent aldı. Bu gelişme % 2 hafniyumun metal kompozisyonuna katılımından oluşuyordu ve bütün bir döküm boyunca hafniyumun belirgin bir etkisi görülmekteydi. Inco 713 LC, B1900, IN 792 ve Mar-M 432 alaşımları, güçlerini, mükemmel sıcak korozyonu ile Udimet 500' deki yüksek krom kapsamında değişiklik yapılarak titanyum ve alüminyum oranının yükseltilmesi ile refraktör metallerin kullanımı sonucunda mükemmel olan IN100 süper alaşımında birleştirdi (Sims ve ark., 1972).

Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık yönünden dayanımları Şekil 2.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımları (Bartlay, 1988).

### 1.1.2. Süper alaşımların metalürjisi

Süper alaşımlar, yüzey dengesinin gerektiği ve yüksek gerilmelerin olduğu 650 °C ve üstü sıcaklıklarda kullanılmaktadır. “Süper alaşım” ifadesi demir, nikel, kobalt ve krom kombinasyonları veya demir, nikel ve kobalt esaslı malzeme alaşımları için kullanılabilir. Bu alaşımlar daha düşük miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum ve alüminyum olmak üzere çeşitli demir, nikel, kobalt ve krom oluşumları içerirler (Ezugwu ve ark., 2003). Nikel esaslı süper alaşımlar, sürünme-kırılma ömrünü arttırmak için küçük miktarlarda bor, zirkonyum ve hafniyum içerebilir. Karbon bütün alaşımlarda, genellikle nikel ve demir esaslı süper alaşımlarda yaklaşık % 0,03' e kadar bulunur (Ezugwu ve ark., 1988). Fakat karbür safhasının kuvvetlendirilmesine neden olmak için kobalt esaslı alaşımlarda daha yüksek miktarlarda bulunabilir. Çeşitli süper alaşım tipleri arasında demir esaslı krom ve nikel içeren, demir-nikel-krom-kobalt bileşikleri, katı solüsyon takviyeli kobalt esaslı alaşımlar, kobalt esaslı karbür takviyeli alaşımlar, nikel esaslı çökeltme takviyeli alaşımlar ve nikel esaslı oksit dağılım takviyeli alaşımlar bulunmaktadır (Ezugwu ve ark., 1988).

### 1.2. Süperalaşımların Sınıflandırılması

Nikel esaslı çökelme-sertleşmeli süper alaşımlar, önemli bir süper alaşım grubudur. Yüksek sıcaklıklarda, oksijen yayımlı mukavemetlenen alaşımlar ve hatta bazı kobalt alaşımları, nikel esaslı alaşımlar kadar dayanıklıdır. Süper alaşımlar içerisinde demir esaslı olanlar ve katı-eriyik ile mukavemetlenen alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda, mukavemeti en düşük olanlarıdır. Bu yüzden, nikel esaslı INCO 718 alaşımı dışında, demir esaslı süper alaşımlar uygulamalarda az kullanılmaktadır. INCO 718, geniş bir kullanım alanına sahiptir (Hagel ve ark., 1972).

Kobalt esaslı süper alaşımların kullanımı, kartel işlevi gören metallere dolay büyük bir oranda azalmıştır. MAR-M509 gibi kobalt alaşımları geniş çapta uçak türbin kanatçıkları dökümünde kullanılır ve Haynes 188 kobalt alaşımı ise uçak motorlarında kullanılan tutuşma malzemesidir (Bradley, 1979).

Süper alaşımlar genel olarak üç ana gruba ayrılır:

#### 3.1. Demir Esaslı Süper alaşımlar

### 3.2. Kobalt Esaslı Süper alaşımlar

### 3.3. Nikel Esaslı Süper alaşımlar

#### 1.2.1. Demir esaslı süper alaşımlar

Demir esaslı alaşımlar, ana element olarak demir ihtiva edip, ilaveten önemli miktarda krom, nikel ve çok az miktarda da molibden veya tungsten içermektedir. Bu grup karbür, intermetalik çökeltme ve/veya katı-eriyik tarafından mukavemetlendirilir. İntermetalik çökelti genellikle  $Ni_3(Al,Ti)$   $\gamma'$  tipindedir. Bu grubun nikel-krom oranları ve mukavemetlendirme mekanizmaları, paslanmaz çeliklerden farklıdır. Paslanmaz çelikler %12-25 Cr ve %0-20Ni içermekte, demir esaslı süper alaşımlar ise %20 den daha fazla Ni içermektedir (%25-35) (Çay ve ark., 2005).

Yüksek miktarda demir içeren birçok süper alaşım olmasına rağmen, bunların hepsi demir esaslı süper alaşım değildir. Çünkü bu süper alaşımlar demir, nikel, krom, kobalt, az miktarda molibden, tungsten ve niobiyum gibi elementlerin kompleks kombinasyonlarıdır. Bu duruma örnek olarak; katı-eriyik dayanımlı %16Fe ve %49Ni içeren Hastelloy X ile  $\gamma''$  mukavemetlenen %18.5Fe ve %52.5Ni içeren INCO 718 alaşımları verilebilir. Bu alaşımlar, Fe ihtiva eden nikel esaslı süper alaşımlardır.  $\gamma'$ -mukavemetlenen INCO 901 süper alaşımı %42.5Ni ve %36Fe içeren nikel esaslı veya kompleks demir-nikel-krom esaslı bir süper alaşımdır. Bu alaşım yüksek dayanımına ek olarak, sürekli düşük termal genişleme katsayısına sahiptir. Kompleks bileşimli katı-eriyik dayanımlı alaşıma örnek olarak Multimet (N-155) alaşımı da verilebilir. Bu alaşım %21Cr, %20Ni, %20Co, %32.5Fe, %3Mo, %2.5W ve %1Nb içermektedir. (Çay ve ark., 2005)

Süper alaşımların özelliklerini geliştirmek için, alaşımlara değişik elementler eklenmektedir. KYM'li matrisli alaşımlar için en etkili mukavemetlendirme nikel, alüminyum, tantalyum ve niobiyumla yapılır. Molibden ve tungsten gibi bazı elementler mukavemetlendirme aşamalarında katı-eriyik içine eklenir (Bradley, 1979).

KYM alaşımlar, karbon ilavesiyle sertleştirilmektedir. Nitrojen ve fosfor eklenerek bu sertleştirme tesiri artırılabilir. Karbon, aynı zamanda tane sınırlarında tane sınırı karbürü oluşturarak, dayanımı artırmaktadır. Karbür çökeltmesi için, karbür oranı yaklaşık %0.5 olmalıdır. (Çay ve ark., 2005)

Oksidasyon direnci genel olarak krom elementiyle sağlanır. Bununla birlikte nikel ve mangan da oksidasyon direncini artırır. Küçük bir miktarda bor ilavesiyle yüksek sıcaklık özellikleri de artırılır. Demir esaslı alaşımların 504<sup>0</sup>C üzeri sıcaklık uygulamaları için en önemli özellikleri KYM olmalarıdır. Çünkü bir kapalı paketli kafes, daha dirençlidir. İntermetalik bileşik çökelti tarafından mukavemetlenen demir esaslı süper alaşımların ilk kullanım alanları, gaz türbin motorlarında bıçaklar, diskler ve bağlayıcılarıdır. A-28 alaşımı; bazı gaz türbin motorları, türbin diskleri ve jantları için kullanılır. A-286 aynı zamanda türbin kutuları için de kullanılmaktadır (Çay ve ark., 2005).

### 1.2.2. Kobalt esaslı süper alaşımlar

Kobalt esaslı süper alaşımlar, ana element olarak kobalt içerir. Ayrıca önemli miktarda nikel, krom, tungsten az miktarda molibden, niobiyum, tantal, titanyum ve bazen demir gibi elementler de içermektedir (Çay ve ark., 2005).

Kobalt esaslı süper alaşımlar, katı-eriyik ve karbür fazları tarafından mukavemetlendirilir.

Kobalt katı-eriyik alaşımları üç gruba ayrılır:

- a) 650<sup>0</sup>C den 1150<sup>0</sup>C kadar sıcaklıklarda kullanılan Haynes 188, UMCo-50 ve S-816 alaşımları,
- b) Yaklaşık 650<sup>0</sup>C'de kullanılan bağlayıcı (fastener) alaşımlar MP-35N ve MP-159,
- c) Aşınma dirençli Stellite6B.

Kobalt esaslı süper alaşımların hiçbiri tam katı - eriyik alaşımı değildir. Çünkü hepsi ikincil karbür fazları veya intermetalik bileşikleri içerir. Bu durum yaşlanmaya ayrıca oda sıcaklığında süneklik kaybına da neden olur (Çay ve ark., 2005).

Genellikle bütün kobalt esaslı süper alaşımlar ısıtma işlem ve yumuşatma sırasında KYM kristal yapıya sahiptir. Ancak MP-35N ve MP-159 alaşımlarında, kullanım öncesi, önerilen termo-mekanik işlem süresince kapalı paket hegzagonal yapının miktarı kontrollü şekilde artırılır. 650<sup>0</sup>C ve 1050<sup>0</sup>C arasında ısıtma işlem uygulanan Stellite 6B ve 650<sup>0</sup>C civarında ısıtma işlemine tabi tutulan Haynes 25 alaşımları, kısmen kapalı paket hegzagonal (cph) yapıya dönüşebilir (Çay ve ark., 2005) .

Haynes 25 yaygın olarak kullanılan kobalt esaslı bir süper alaşımdır. Bu alaşım gaz türbinlerinin yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımlarında, nükleer reaktör parçalarında, cerrahi implantlarda ve soğuk çalışma şartlarında kullanılmaktadır (Çay ve ark., 2005).

Haynes 188 birçok mükemmel bir özelliğe sahip olup tutuşturucularda, geçiş kanalları ve gaz türbinlerinin iç tasarımında kullanılır. Bileşimlerinde lantan, silikon, alüminyum ve magnezyum vardır. Bu alaşımın, 1100 °C de oksidasyon direnci ve sürünme direnci yüksektir. Oda sıcaklığında şekillendirilebilmekte ve uzun süreli yaşlanmadan sonra çalışma sıcaklığında sünekliğini korumaktadır (Çay ve ark., 2005).

%21 Fe içeren UMCo-50 alaşımı, Haynes 25 veya Haynes 188 kadar sert değildir. UMCo-50 fırın parçaları ve karıştırıcılar için kullanılmaktadır. (Çay ve ark., 2005)

MP-35N ve MP-159 alaşımları, işlem sertleşebilirliği istenilen yerlerde kullanılır. Her iki alaşım da yüksek dayanım ve sünekliğe sahiptir. Bu alaşımlardaki yüksek dayanım ve süneklik kombinasyonunun nedeni, işleme sonucu sertleşen KYM matriste kapalı paket hegzagonal yapının small platalet dönüşümüdür. (Çay ve ark., 2005)

Kobalt katı-eriyik alaşımlarının son grubu Stellite 6B dir. Bu alaşım yüksek sıcaklık sertliği ve oksidasyon direncine sahiptir. Bu özelliği ise yüksek krom içeriğinden (yaklaşık %30) kaynaklanmaktadır. Stellite 6B, genellikle buhar türbinlerinde kullanılmaktadır. (Çay ve ark., 2005)

Karbür faz dayanımlı kobalt esaslı süper alaşımlar X-40, WI-52, MAR-M302 ve MAR-M509 yaygın olarak uçak yakıt motor türbinlerinde ve statik kanat uygulamalarında kullanılır. Bu alaşımlar, yüksek sıcaklık dayanımına ve oksidasyon direncine ayrıca kaynak ile onarılabilmek özelliğine sahiptir (Bradley, 1989).

### **1.2.3. Nikel esaslı süper alaşımlar**

Nikel esaslı süper alaşımlar ana element olarak %30 ile 70Ni ve önemli miktarda, %30 ile üstü Cr, içermektedir. Demir elementi Inconeller, Nimonicler ve Hastelloy gibi nikel esaslı süper alaşımlar içinde az miktarda, Incoloy 901 ve Inconel 706 gibi alaşımlarda ise yaklaşık %35 oranında bulunur. Bazı nikel esaslı alaşımlar,



dayanım direnci ve korozyon direnci için az miktarda alüminyum, titanyum, niobiyum, molibden ve tungsten de ihtiva etmektedir (Çay ve ark., 2005).

Nikel esaslı süper alaşımlar katı-eriyik ve ikincil-faz intermetalik çökelti tarafından mukavemetlendirilmektedir. İntermetalik şekillendirici olarak kullanılan elementler alüminyum, titanyum ve niobiyumdur (Çay ve ark., 2005).

Ni esaslı süper alaşımlardaki nikel ve krom kombinasyonu, bu alaşımların oksidasyon direncini artırır. Nikel esaslı süper alaşımlar, özellikle 650 °C üstü sıcaklıklarda, mekanik dayanım açısından paslanmaz çeliklerden daha üstündür (Çay ve ark., 2005).

Inconel 600, Inconel 601 ve RA 333 gibi katı-eriyik alaşımları, yaygın olarak ısı işlem ekipmanları ve fırın parçalarında kullanılmaktadır. Bunun nedeni bu alanlarda yüksek oksidasyon (Çay ve ark., 2005) korozyon direnci ve yüksek dayanıma sahip malzemelere ihtiyaç duyulmasıdır (Çay ve ark., 2005).

Ni esaslı süper alaşımların diğer bir kullanım alanı da enerji jeneratörleridir. Nükleer enerji fabrikalarında (buhar üretici tüpler ve reaktör karotların yapısal bileşenleri) ayrıca fosil yakıt fabrikalarında (ısıtıcı tüpler, kül alıcı sistemler ve ısı korozyon ihtiyacı duyulan parçalar) da yaygın olarak kullanılırlar (Çay ve ark., 2005).

#### *Katı-Eriyik Nikel Alaşımlar*

Katı-eriyik nikel alaşımlar, tavlama sıcaklığında ve tavlama temperlenmesinde kullanılır. 870-980°C'lik düşük tavlama sıcaklığı, en yüksek süneklik ve yorulma dayanımı sağlar. 1120-1200 °C'lik bir yüksek sıcaklık tavlaması ise optimum yorulma direnci ve 600°C'den büyük çalışma sıcaklığında ise sürünme kopma özelliklerini sağlar. Hastelloy X, Inconel 601, Inconel 625 önemli bazı katı-eriyik nikel alaşımlarıdır. Bu alaşımlar genellikle uzay uygulamalarında kullanılır (Çay ve ark., 2005).

#### *Çökme-Dayanımlı Nikel Alaşımlar*

Çökme dayanımlı nikel alaşımlar, ikinci bir fazın çökmesi ile elde edilir. Çökelen faz, (genellikle  $\gamma'$  veya  $\gamma''$ ) alaşımın sertliğini ve dayanımını önemli derecede

artırır. Bu alaşımların çoğunda,  $\gamma'$  intermetalik  $Ni_3(Al,Ti)$  fazın şekillenerek çökelti-sertleşmesini sağlamak amacıyla alüminyum, titanyum kullanılır. Bazı alaşımlarda alüminyum ve titanyumun yanında niobiyum kullanılır. Bunun sonucunda ise  $\gamma'' Ni_3Nb$  oluşur. Niobiyum dayanımlı alaşımlar (Inconel 718), çökeltme sertleşmesi sıcaklığını geciktirir. Kaynak sıcaklığının sertleşmeye neden olmaması ve ön kaynak çatlaması görülmemesi nedeniyle bu alaşımların kaynak kabiliyeti yüksektir (Şekil 2.1 ve 2.2). (Dye, ve ark., 2001; Huang, ve ark., 1996).

Inconel 750, Inconel 600'ün bir çökeltme çeşididir ve  $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de Inconel 600'den yaklaşık üç kat daha fazla akma mukavemetine sahiptir. Çökeltme dayanımlı alaşımlar için ısıtma işlemler,  $600-815\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, bir veya daha fazla çökeltme işlemi takip eden  $970-1175\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da bir çözelti işleminden ibarettir (Çay ve ark., 2005).

Çökeltme-dayanımlı süperalaşımların en önemli kullanım alanı uzay endüstrisidir. Ayrıca bu süperalaşımlar roket motorlarında, gibi uçak türbin parçalarında (disk, şaft, halka, pervane kanadı), değişik kompresörlerde ve nükleer reaktörlerde (civata, yay) kullanılır (Bradley, 1989).

### 1.3. Süper Alaşımların Uygulama Alanları

Süper alaşımlar yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle genellikle uçak parçaları, kimyasal ekipmanlar ve petrokimya ekipmanları olarak kullanılır. Süper alaşımların yaygın olarak kullanıldığı uygulama alanları;

#### Uçaklar ve endüstriyel gaz türbinleri

- Diskler,
- Civatalar,
- Şaftlar,
- Muhafaza kapları,
- Pervane kanatçıkları,
- Vanalar,
- Yanma odaları (Mattingly, 1996).

Gaz türbini santralleri:

- Civatalar,
- Pervane kanatçıkları,
- Gaz ısıtıcıların bacaları.

Motorlar (Şekil 4.2):

- Turbo yükleyiciler,
- Eksoz valfleri,
- Isıtma elemanları,
- Valflerde ve contalar.

Metal işçiliği:

- Sıcak işleme takımları ve kalıplar,
- Döküm kalıplar.

Tıbbi uygulamalar:

- Dişçilik,
- Protezcilik ekipmanları.



Şekil 1.2. Nikel esaslı süper alaşımların etkin olarak kullanıldığı gaz türbin motoru (Loria, 1992).

Isıl işlem ekipmanları:

- Tepsiler,
- Karıştırıcılar,
- Konveyör bantları.

Nükleer güç sistemleri:

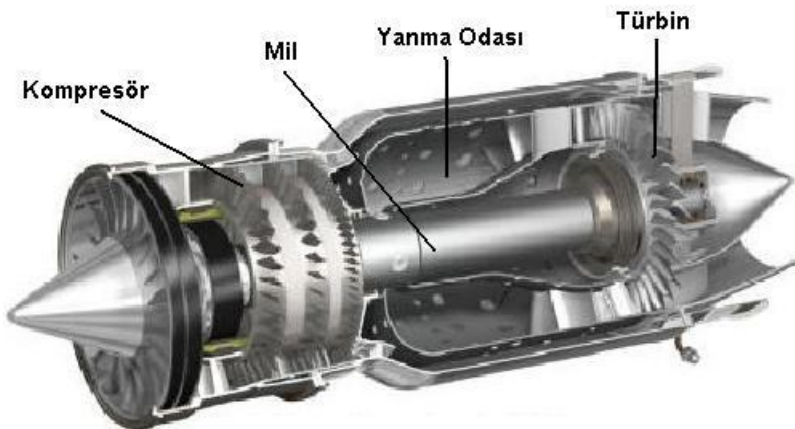
- Hareket mekanizmaları için kontrol çubukları,
- Akış valfleri,
- Yaylar

Uzay araçları:

- Aerodinamik araç zırhları,
- Roket motor parçaları

Kimyasal ve petro-kimya sanayisi:

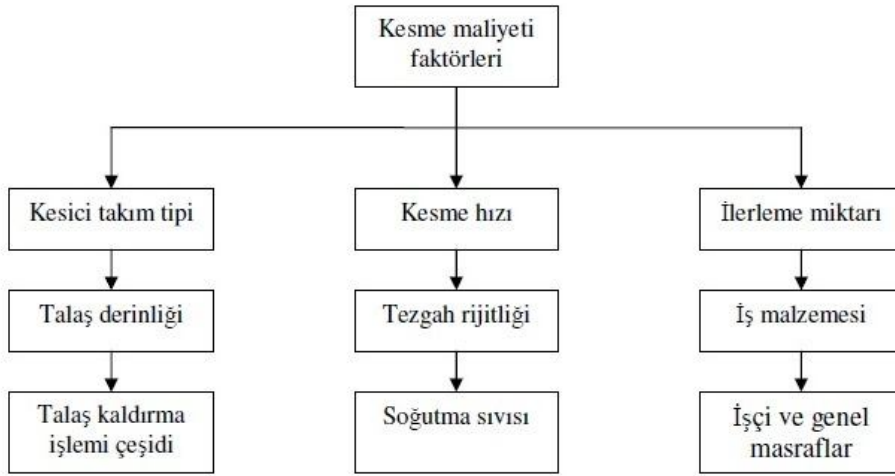
- Civatalar,
- Valfler,
- Reaksiyon kapları,
- Borular,
- Pompalar.



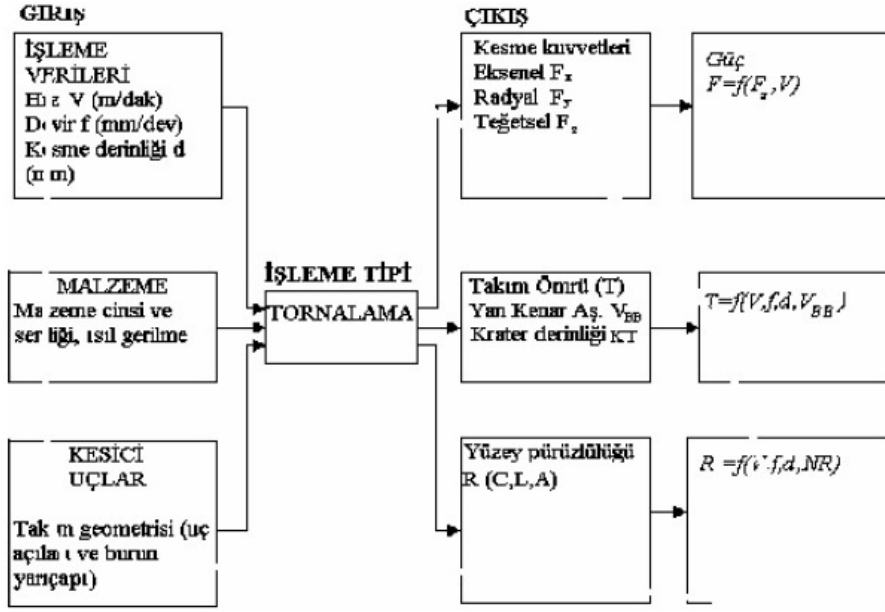
Şekil 1.3. Bilgisayarla simüle edilmiş bir uçak motoru ve önemli bölümleri (www.EJ200.com).

### 1.3.1. İşlenebilirlikte esas alınan kriterler

Bir malzemenin işlenebilirliği, aşağıdaki kriterlerden biri veya birden fazlasına göre değerlendirilir. Bu kriterler (a) takım ömrü, (b) kesme hızı, (c) talaş kaldırma miktarı, (d) kesme kuvveti ve gücü, (e) yüzey kalitesi ve talaş şeklidir. Bu kriterlerden, örneğin kesme hızının veya takım ömrünün büyük olması, kesme kuvvetinin veya gücün düşük olması, iyi işlenebilirliğin mevcut olduğunu gösterir. Ancak, malzemenin işlenebilirliği, kesme şartları sabit kalmak şartıyla, genellikle, belirli bir takım ömrü için malzemelerin kesme hızlarını karşılaştırmak suretiyle ölçülür (21). Bir iş parçasının işlenebilirliği, her zaman saat başına üretilen parça sayısı, her parça için işleme maliyeti veya üretilen parçanın son yüzey kalitesi olarak ifade edilebilir. Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler Şekil 3.3.' te, tornalama işleminde işlenebilirlik ile ilgili parametreler Şekil 3.4.' te gösterilmiştir (Altın, 2005).



Şekil 1.4. Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler. (Şahin, 2000).



Şekil 1.5. Tornalama işleminde işlenebilirlik ve giriş- çıkış parametreleri (Chouldhury, 1997).

### 1.3.2. İşlenebilirliği etkileyen faktörler

Aşağıdaki faktörlerin işlenebilirlik özelliği üzerine olumlu veya olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu faktörler (Şahin, 2001);

1-Mikroyapı'nın etkisi 2-Isıl işlemin etkisi 3-Alaşım elementlerinin etkisi 4-Mekanik özelliklerin etkisidir.

### 1.3.3. Mikroyapı'nın etkisi

Bir metalin işlenebilirliği, onun mikro-yapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların mevcut olması, kesici takım ömrünü düşürürken yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artmaktadır. (Şahin, 2001).

### 1.3.4. Isıl-işlem

Metal veya alaşım, tavlansa mikroyapı değişecektir. Metalin kayma dayanımı; tavlama, normalleştirme, gerilim giderme gibi işlemlerle oldukça değişebilir (Şahin,

2001).

### **1.3.5. Alaşım elementlerinin etkisi**

Alaşım elementlerinin takım ömrüne etkisi vardır. Örneğin, karbon miktarı azaldıkça işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik arttığında, sünek malzeme kesici takıma yapışarak kürlenmeyi hızlandırmaktadır (şahin, 2001).

Karbon oranı arttırıldııka malzemenin sertliği artar, artan sertlik takım aşınmasını arttırır. Malzemenin işlenebilirliğini iyileştirmede amaç:

- a) Takım ömrünün arttırılması,
- b) Daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi,
- c) Talaş kaldırma işlemi için daha düşük güç sarfıyatının elde edilmesidir.

### **1.3.6. Malzemelerin mekanik özelliklerinin etkisi**

Genelde malzemelerde sertlik ve kopma dayanımı arasında ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttııka o malzemenin işlenebilme özelliği derece azalmaktadır. Örneğin; yüksek alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin işlenebilme özelliği çok düşüktür. Bu durum malzemenin bünyesinde mevcut bulunan Ni, W ve Mn gibi alaşım elementlerinin etkisinden ileri gelmektedir (şahin, 2001).

### **1.3.7. Nikel esaslı süper alaşımların işlenebilirliği**

İşlenebilirlikte işleme operasyonlarını etkileyen pek çok değişken vardır. Bunların arasında kullanılacak kesici takımın küçük boyutlu ve nispeten pahalı olmaması en önemli kriterlerdendir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kullanılacak kesici takım malzemelerinde genelde řu özellikler aranır (Sims, 1972).

- 1) iyi aşınma dayanımı,
- 2) yüksek dayanım ve sertlik,
- 3) yüksek ısıl sertliği,
- 4) iyi termal çok özellikleri,
- 5) yüksek sıcaklıklara uygun kimyasal kararlılık.

Sementit karbür takımlar ile yüksek hız çelikleri (HSS), nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, genelde aralıklı talaş kaldırma işlemlerine uygunken (frezeleme, delik büyütme gibi), sementit karbür takımlar ise sürekli talaş kaldırma işlemlerinde daha çok kullanılmaktadırlar (tornalama, delme gibi). Günümüzde ise, bazı seramik takım malzemeleri ( $Al_2O_3 - TiC$ ),  $Si_3N_4$  silikon nitrit esaslı seramikler ve en son geliştirilen whisker takviyeli alüminyum oksit seramikler (%25 SiC whisker kapsarlar), nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde gittikçe artan bir şekilde kullanılmaktadırlar (Richards ve ark., 1989). Çok katlı kaplamalı karbür takımlar ( $TiN+TiCN$  ve  $TiN$ )' da nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde dikkate değer bir gelişme göstermişlerdir (Ezugwu ve ark., 1996; Wang ve ark., 1997). Bu kesici takımlar PVD ya da CVD kaplama metodu ile kaplanmaktadır. Kübik bor nitrit takımlar ise bütün kesici takımlar içerisinde, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde en iyi performansı göstermişlerdir (Shintani ve ark., 1992). Esas kullanım alanları demir cinsi metaller olmasına rağmen kübik bor nitritler, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde üstün performansa sahiptirler. Ancak çok yüksek bir maliyete sahip olmaları bu takımların kullanımlarını sınırlandırmaktadır. (Altın, 2005)



## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Bu bölümde tez çalışması için yapılan araştırmalar sonucu elde edilen bulgulara değinilmiştir. Incoloy 901 ve Rene 41 malzemeleriyle ilgili olarak yapılan çalışmalar ülkemizde son derece azdır. Tez içeriğine uygun olarak yapılan çalışmalar genel olarak süper alaşımların işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile ilgili çalışmalar araştırılmıştır. Bu nedenle bu bölüm diğer süper alaşımlar üzerinde yapılan çalışmalar ile desteklenmiştir.

Nimonic C-263 alaşımının işlenebilirliğini deneysel olarak analiz etmiştir. Deneysel için Taguchi deney tasarımından faydalanılmıştır. Nikel bazlı süper alaşımların işlenmesi için sementit karbür ve SiAlON seramik takımların daha uygun olduğundan bu çalışmada güçlendirilmiş seramik takımlar kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, kesme kuvvetlerinin, serbest yüzey aşınmasının ve yüzey bütünlüğü değerlerinin üzerinde farklı parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, ilerleme miktarının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde, kesme hızı ve kesme derinliğinden daha önemli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, seramik takımlar kullanılarak, yüksek ilerleme ve düşük kesme hızında yapılan deneylerin yüzey pürüzlülüğü ve aşınma değerleri SEM’de incelenmiştir. Kesme kuvvetlerini, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü baz alarak en uygun işlenebilirlik değerleri; kesme hızı 210 m/dak, ilerleme miktarı 0.05 mm/dev, kesme derinliği 0.50 mm olarak tavsiye edilmiştir (Ezilarasan ve ark., 2013).

Kobalt bazlı süper alaşımların işlenmesinde kesme hızının, ilerlemenin ve kesme derinliğinin; takım aşınması, talaş morfolojisi ve kesme kuvvetlerine etkilerini incelemiştir. İşleme parametrelerinin belirlenmesi için genel tam faktöriyel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Talaş morfolojisi, kesme kuvveti ve takım aşınması, PVD ile kaplanmış ve kaplamasız takımlarla kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Bu araştırmalar Stellite 6 süper alaşımı ve TiN, TiCN ve TiAlC kaplamalı karbür matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak, süper alaşımların kaba frezelenmesinde düşük ilerleme ve kesme hızı tercih edilmiştir. İlerleme ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır, simetrik yüzey frezelemede kesme hızının etkisi görülmemiştir. Kesme kuvvetlerinin artışında kesme hızının etkisi görülmemiştir ancak kesme hızının artması

takım aşınmasını arttırmıştır. Ayrıca deney sonuçlarına göre Stellite 6 süper alaşımının akma dayanımının yüksek olduğu yorumlanmıştır (Aykut S. Ve ark., 2007).

Waspaloy süper alaşımı kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplar kullanılarak işlenmiştir. Bu kapsamda kesme kuvvetlerinin, matkap uç açısının (A) ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisi incelenmiştir. Deneysel parametreler Taguchi yönteminin Ortogonal serisi L18 dizisi kullanılarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan parametrelerin yüzey pürüzlülüğünün üzerindeki etkileri sırasıyla; uç açısı %49.44, ilerleme miktarı %15, kesme hızı %14.45 ve kesici takım tipi %13.47 şeklinde sıralanmıştır. Takım aşınmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda, genel olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri 0.99 bulunmuştur. TiN kaplı karbür matkaplar kaplamasız matkaplara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Kesme hızı ve matkap uç açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Ayrıca, spiral talaş, dize talaş ve kısa talaş şeklinde üç tip talaş oluşumu yorumlanmıştır (Motorcu, A.R. ve ark., 2014).

Bilgisayar destekli bir sistemle yüzey profili ve yüzey pürüzlülüğünün proses öncesi tahmin edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bilgisayar ve takım tutucusuna bağlanmış bir dinamometre yardımı ile tezgâhın çalışma anındaki verileri toplamıştır. Çalışmanın hedefi kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme parametrelerini değiştirerek ve dinamometre yardımı ile temel radyal kuvvetleri değiştirerek optimum yüzey profili ve yüzey pürüzlülüğü tahmini yapmaktır. Soğutma sıvısı kullanılmamış, CNMG kesici uç ile çalışılmıştır. Deneyde yatay CNC torna ve malzeme olarak da paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deneyin başlangıcında radyal kuvvetleri değiştirerek optimum yayılma seviyesini tespit etmiş ve bu tespitten sonra hedefi kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme parametreleriyle teorik ve pratik sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak temel radyal kuvvetlerin optimum yayılma seviyesi belirlenebilirse gerçeğe yakın tahminler yapılabileceğini belirtmiş, farklılıkların ise titreşim, talaş oluşumu, vb. gibi nedenlerden dolayı olabileceğini belirtmiştir (Lu, 2008).

Inconel 718'in işlenebilirliğini incelemiştir. Çalışmada Inconel 718'in işlenebilirliğinin zorluğunu iki başlık altında toplamışlardır. Bunlar takım ömrünün azlığı ve yüksek kesim hızlarının malzemeye verdiği hasarlardır. Ayrıca yüksek kesim hızlarının malzemenin sertleşmesine, yüzey yırtıklarına ve yüzey bozukluklarına sebep olduğu belirtilmiştir. Yaptıkları literatür araştırması sonucunda takım aşınmasında talaş

derinliğinin ilerleme ve kesme hızına göre etkisinin daha az olduğunu belirtmişlerdir. Takım aşınmasını arttırmasına rağmen kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği de belirtilmiştir.

Yapılan deney çalışmasında dört değişik parametreden yararlanılmıştır. Bunlar, talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme ve kesici takımın yaklaşma acısıdır. Bu parametrelerle üç farklı düzeyde çalışılmış ve her çalışma için farklı takım tutucu kullanılmıştır. Bu üç farklı deneme için talaş derinliği sabit tutulmuş ve diğer üç parametre değişkenlik göstermiştir. Deney için CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Deneyde kesici uç olarak iki farklı kaplamalı karbür uç kullanılmıştır.

Deney sonucunda takım ömrünün yaklaşma acısı  $-5^{\circ}$ 'den  $+45^{\circ}$ 'ye doğru gidildikçe arttığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı arttıkça takım ömrü azalmaktadır. Yüksek kesme hızlarında sürtünmenin artmasıyla sıcaklığın da arttığı gözlemlenmiştir. Ana sonuç olarak Inconel 718 malzemesinin düşük kesme hızı ve ilerlemelerde kullanılması tavsiye edilmiştir. Kesme hızı ve ilerlemeler arttıkça kesici uç aşınması artmakta ve sıcaklığın da etkisiyle malzeme üzerinde oluşan gerilmeler de artmaktadır (Rahman, ve ark., 1997).

İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 malzemesinin işlenebilirliğine olan etkilerini araştırmışlardır. Deney kaplamasız sementit karbür takımla ve bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahında kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerinden ilerleme ve kesme derinliği sabit alınmış, kesme hızı ise beş farklı değer ile değişken tutulmuştur.

Deneyde üç ortogonal kesme kuvvetinin ( $f_c$ ,  $f_f$ ,  $f_p$ ) ölçümü için Kistler tipi dinamometre kullanılmıştır. Deney malzemesi olarak 50x500mm ebatlarında Inconel 718 kullanılmıştır. Deney sonucunda kesme hızının arttırılmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı arttıkça önce azalmış, 45 m/dak değerinden sonra tekrar artmıştır. Bu deneyde en iyi yüzey kalitesi 45 m/dak kesme hızında sağlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğün belirli bir kesme hızından sonra artmasının nedeni olarak Inconel 718 malzemesine bağlı olarak kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takım üzerinde oluşturduğu yanak ve plastik deformasyon iddia edilmiştir. Elde edilen talaş bicimi genel olarak sürekli ve dar adımlı olarak tespit

edilmiştir. 45 m/dak kesme hızındaki talaş biçimi ise sürekli ve geniş adımlıdır. Gözlemlenen talaş biçimleri literatürle benzerlik arz etmektedir (Altın ve ark., 2006).

Whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ile nikel esaslı süper alaşımlardan Inconel 718 ve Incoloy 901 malzemesi kullanılarak pek çok kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda takım ömrü ve aşınma değerleri değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Sonuçta bazı nikel esaslı alaşımların whisker takviyeli silikon karbür takım ile 750 m/min.'lik kesme hızına ulaşılabilirdiği görülmüştür. Nikel esaslı süper alaşımlar, kaplamasız tungsten karbür takımlar ile genelde (10-30 m/min.)'lik kesme hızlarında işlenmiştir. Bu kesme hızlarında talaş kontrolü zayıftır ve testere dişlere sahip sürekli talaşlar elde edilmiştir. Yüksek ısı, yüksek iş parçası sertliği kombinasyonu ve abrasiv talaşlar, talaş derinliğinde çentik oluşturmuştur. Özellikle titanyum ve alüminyum kapsayan süper alaşımların işlenmeleri zor olmuştur. Bu alaşımlar Ni<sub>3</sub> (Ti,Al) tipi  $\gamma'$  fazının çökeltme işlemine tabi tutulmasıyla sertleştirilmiştir. Titanyum ve alüminyum interaktif (karşılıklı yer değiştirebilen) elementlerdir. Genelde  $\gamma'$  fazı, titanyum ve alüminyum miktarının artmasıyla arttığı, bu durumunda takım aşınmasını hızlandırdığı şeklinde ifade edilmiştir. Çalışmalarında Baker' e atıfta bulunarak "Incoloy 901'in 230 m/min.'lik kesme hızlarında oluşan çentiğin, silikon nitrit esaslı seramikler de, karışık alüminyum oksitli seramiklerden % 70 daha az olduğu ayrıca yaptıkları deneyler ile V=150 m/min.'lik kesme hızının ve f=0.125 mm/rev. ilerleme hızının üzerindeki hızlarda Inconel 718'in karışık oksitli seramikler ile işlemesine elverişli olmadığı bildirilmiştir. Incoloy 901 için tavsiye edilen parametreler (Kennametal KYON 2000), kesme hızı 120-145 m/min., ilerleme hızı 0.2 mm/rev. ve talaş derinliği 2 mm dir". Ancak 0.30 mm/rev.'in üzerindeki ilerleme hızlarının siyalon (Kennametal KYON 2000) takımlar için mümkün olduğu, Inconel 718 için V=210 m/min.'lik kesme hızı ve f=0.25 mm/rev.'de oluşan çentiğin, f=0,175 mm/rev.'de oluşan çentik'ten daha az olduğu bildirilmiştir. ifadelerinde 30 m/min.'lik kesme hızlarının üzerindeki hızlarda kobalt fazındaki termal yumuşamadan dolayı karbür takımların bozulduğu, kesici uç geometrisine göre, uç'ta oluşan ısılarda farklı geliştiği bildirilmiştir. Dikkat çekilen bir diğer ifade, V=10 m/min.'lik kesme hızında aynı şartlarda dökme demir ile işlemede, kesici uç'ta oluşan sıcaklık 320 °C iken, bu durum Nimonic 75 için 820 °C 'ye kadar yükseldiği görülmüştür. Inconel 718'in işlenmesinde kullanımı önerilen güncel

whisker takviyeli kesici takım malzemelerinin bir kısmı şunlardır. Carboloy (Cer Max 490); Greenleaf (WG300); GTE Valenite (Quantum10); Hertel (MC-3) Kennametal (KYON 2500) ve Sandvik (CC670).

1996' da Liao ve Shiue tarafından yapılan çalışma (115) ile iki farklı sementit karbür (K20 ve P20) takım ile Inconel 718'in tornalanması esnasında oluşan aşınma mekanizmaları analiz edilmiştir. Yaptıkları çalışma ile ( $f=0.1$  mm/rev. ilerleme,  $d=1.5$  mm talaş derinliği ve kesme hızı  $V=35$  m/min.) sementit karbür takımın aşınan yüzeyi üzerinde kesici kenarın çok yakınında yapılmış bir BUE tabakası ve kesici kenar üzerinde çitlamalar olduğu gözlenmiştir. Aynı kesme şartları P20 kalitesindeki karbür takım için uygulanıldığında benzer durum ile karşılaşılmıştır. İki kesici takım arasında yapılan karşılaştırma sonucu P20 kalitesindeki kesici takımda oluşan aşınma daha düzensiz, yan kenar aşınma boyu daha büyük ve krater daha derin görülmüştür. Elektron mikro analiz EPMA (elektron probe micro analyser) cihazını kullanarak kesici takımın talaş yüzeyi üzerinde oluşan tabakadaki elementler, analiz edilmiş ve 35 m/min.'lik kesme hızında takım elementlerinde bir farklılık görülmemiştir. Fakat iş malzemesinden, nikel ve demir, her iki kesici takım yüzeyine difüzyon aracılığıyla yayılmıştır. Bunun sebebi de kesici takımın ucunda 1000 °C 'lik sıcaklığın üzerinde oluşan ısı olduğu düşünülmüştür (Richards ve Aspinwall, 1989).

Inconel 718'in işlenebilirliği üzerine kesme deneyleri yapılmıştır. Yapılan talaş kaldırma deneylerinde  $a=2$  mm talaş derinliği ve  $f=0,20$  mm/rev ilerleme hızı sabit tutulmuştur. Kesme hızı, karbür takımlarda  $V=15, 30, 45, 60, 75$  m/min., seramik takımlarda  $V=150, 200, 250, 300$  m/min esas alınmıştır. Hem karbür hem de seramik takımlarda iki farklı geometri (kare ve yuvarlak) kullanılmıştır. Takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü yönünden yapılan değerlendirmede aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Takım ömrü ve yüzey kalitesi yönünden, dört farklı sementit karbür kesici takım içerisinde,  $V=45$  m/min'lik kesme hızında kaplamasız karbür SECO 883,  $V_{BB} = 0,08$  mm,  $F_c = 1149$  N,  $R_a = 0.45$  um ile  $T_c = 15.24$  dakika'lık talaş kaldırma süresi ve  $57\ 273$  cm<sup>3</sup> 'lük talaş kaldırma hacmi ile inconel 718'in işlenmesinde en uygun kombinasyon olarak bulunmuştur.

Inconel 718'in işlenmesi ile kaplamalı karbürlerde yanak aşınması, çentik ve plastik deformasyon, kaplamasız karbürlerde ise yanak aşınması ve çitlama daha hâkim görülmüştür. Dört farklı kesici takım içerisinde SECO 883 en düşük yüzey pürüzlülüğü

ile  $V=45$  m/min'de daha uygun olduğu görülmüştür. Kesme hızı, karbür kesiciler ile yapılan deneylerde başlangıç değeri 15 m/min'den 75 m/min'e arttırıldığında, asıl kesme kuvveti  $F_c$ , her dört kesici takımında azalmıştır. Yuvarlak şekilli karbür kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, kare şekilli karbür kesici takımlara göre daha kaliteli yüzey elde edilmiştir. Deneylerde talaş kırıcı kesici takımlar kullanılmasına rağmen, talaşlar uzun ve sürekli çıkmıştır. Talaş, oldukça zor kopan bir talaş olup, kesicilerdeki talaş kırıcılar, talaşı koparmada yetersiz kalmışlardır. Dört farklı seramik kesici takım içerisinde en düşük ortalama yan kenar aşınma alanı genişliği,  $V=150$  m/min'de whisker takviyeli alüminyum oksit ( $Al_2O_3+SiC$ ) KYON 4300 SNGN ile  $VBB=0.13$  mm, en düşük yüzey pürüzlülük değeri,  $V=150$  m/min.'lik kesme hızında, whisker takviyeli alüminyum oksit ( $Al_2O_3+SiC$ ) KYON 4300 SNGN ile  $R_a=1,22$   $\mu m$ , en düşük asıl kesme kuvveti,  $F_c$ ,  $V=250$  m/min'lik kesme hızında KYON 2000 RNGN ile 577 N elde edilmiştir. Seramik uçlu takımlarda genelde yan kenar, krater, çentik ve plastik deformasyon aşınmaları oluşmuştur (Altın A., 2005).

Bu çalışmada, Rene 41 süper alaşımının farklı torna parametreleriyle işlenebilirliği incelenmiştir. Deneylerde talaş derinliği (2,00 mm), kesici takım ve geometrisi (RPGN-4V), kesici takım radyüsü (6,35 mm), kesme sıvısı (Mevag Sentra 300 H) ve Rene 41 malzeme sabit olarak kabul edilmiştir. Değişken olarak üç farklı ilerleme (0,15 - 0,20 - 0,25 mm/dev), iki farklı kesme hızı (180 - 240 m/dak) ve iki farklı kesici takım markası (A - B) kullanılmıştır. İşleme prosesinin çıktılarından takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Takım aşınmasına etken olarak ilerleme ve kesme hızı bulunmuştur, ilerlemenin etkisi daha fazladır. İncelenen kesici takım markalarının takım aşınmasına etkisi yoktur. Yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde ise ilerlemenin etkisi görülmüştür. Kesme hızı ve incelenen kesici takım markalarının yüzey pürüzlülüğüne etkileri görülmemiştir. Rene 41 ve Inconel 718 malzemeleri birbirleri ile kıyaslanmıştır ve Rene 41 malzemesinin işlenebilirliğinin daha zor olduğu görülmüştür. Kesici takımlarda en az aşınma değerleri 0,15 mm/dev ilerleme ve 180 m/dak kesme hızı ile çalışıldığında görülmüştür. Bu çalışmada, Rene 41 malzeme için bu kesme parametreleri, kullanılan takım ve takım geometrisi için optimum olarak kabul edilebilir (Tali D., 2016).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Incoloy 901

Incoloy 901 ideal gaz türbini ve uçak uygulamaları için uygun olan bir nikel-demir - krom alaşımıdır. Titanyum ve alüminyum içeren ve katı çözelti kuvvetlendirmesi için molibden içeren bir nikel-demir-krom alaşımıdır (High Temp Metal Inc., 2008).

Bileşenleri

Çizelge 3.1. Incoloy 901 bileşenleri

Bileşenler	Oran
Nikel+ Cobalt	% 40.0-45.0
Cromium	% 11.0-14.0
Silikon	% 0.40
Sülfür	% 0.03
Kobalt	% 1.00
Aliminyum	% 0.35
Karbon	% 0.10
Manganez	% 0.50
Molibden	% 5.00-6.50
Titanyum	% 2.80-3.10
Bakır	% 0.50

Alaşım, yaklaşık 1110 ° F (600 ° C) sıcaklıklarda yüksek akma dayanımına ve sürenme direncine sahiptir. Demir içeriği, alaşımın yüksek dayanımı ve iyi dövme özellikleriyle birleştirmesini sağlar. Gaz türbinlerinde, disklerde ve şaftlarda kullanılır. Standart ürün formu yuvarlaktır. (High Temp Metal Inc., 2008).

### 3.1.2. Rene 41

Rene 41 1200/1800 °F (649/982 °C) sıcaklık aralığında yüksek mukavemetli, sertleşen, nikel bazlı, yüksek sıcaklıkta kullanılabilen bir alaşımdır. Bu alaşım yüksek gerilimli yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır (High Temp Metal Inc., 2008.)

Uygulama Alanları

Jet motoru ve parçaları

- Füze bileşenleri
- Cıvata ve bileşenleri
- Yay bileşenleri

(High Temp Metal Inc., 2008).

Bileşenleri

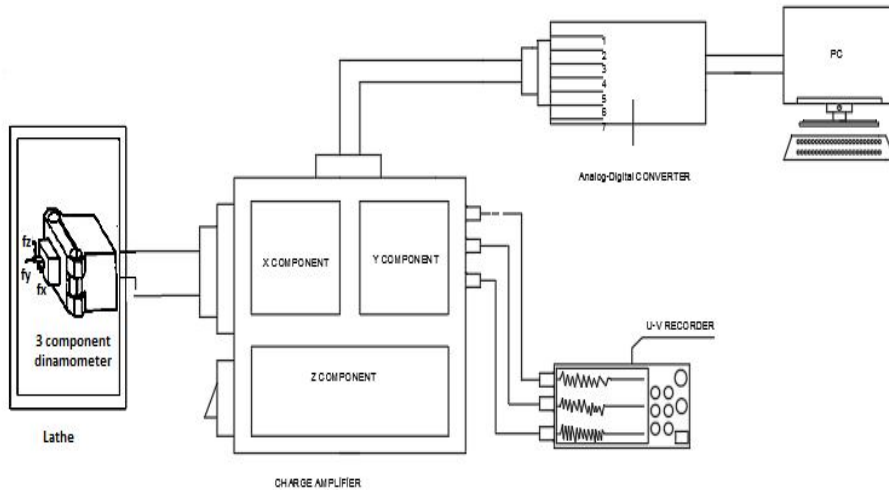
Çizelge 3.2. Rene 41 bileşenleri

Bileşenler	Oran
Karbon	% 0.06-0.12
Manganez	% 0.10
Silikon	% 0.20
Kromium	% 18.0-20.0
Boron	% 0.003-0.010
Demir	% 5.00
Kobalt	% 10.0-12.0
Titanyum	% 3.0-3.3
Alüminyum	% 1.4-1.6
Molibden	% 9.0-10.5
Nikel	Geri Kalanı



### 3.2. Metod

Talaş kaldırma işlemine tabi tutulacak Incoloy 901, ve Rene 41 malzemelerinden hazırlanacak olan  $\Phi$  5cm x 125cm'' ölçülerindeki malzemelerden her seferinde bir tanesi ayna- punta arasına bağlanacak ve kullanılacak kesici takım için, kesici kataloğunda belirtilen kesme parametrelerinde işlemek suretiyle her seferinde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinden birisini sabit tutarak, diğer iki parametrede değişiklik yapmak suretiyle soğutma sıvısı kullanılmadan talaş kaldırılacaktır. Bu esnada oluşan kesme kuvvetleri ölçülecek ve talaş kaldırma esnasında uçlarda 0,30 mm'lik bir aşınma alanı genişliği gerçekleşinceye kadar geçen süre tespit edilecektir. 5 dakikalık takım ömrü için oluşan aşınma değeri ölçülecek, malzemenin sıvanma eğilimi tespit dillecek ve bunun nasıl engelleneceği konusunda çalışma yapılacaktır. Hem kesici takımlarda oluşan aşınmalar hem de malzemelerin ve kesici uçların EDS analizleri SEM elektron mikroskobu altında yapılacaktır. Farklı kesme hızlarında en düşük BUE'yi ve aşınmayı veren parametreler tespit edilecektir. İşlenen her bir parçanın yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülecek ve bilgisayara kaydedilecektir. Toplanan bilgiler grafikler oluşturmak suretiyle karşılaştırma yapılacak ve optimum işleme şartları Taguchi tasarım metodu kullanılarak belirlenmeye çalışılacaktır. Kullanılacak kesici takımlar kare, üçgen ve yuvarlak formda olup talaş kırıcısız olacaktır.



Şekil 3.1. Dinamometre birimi.

Taguchi, sayısal sonuçları analiz etmek ve değerlendirmek için; Ortogonal deneysel tasarım, S/N (sinyal/gürültü) oranı ve ANOVA (varyans analizi) gibi üç aracı birleştirerek sonuca ulaşır.

### 3.2.1. Taguchi metodu

Deneysel ve testler ürünlerin kalitesini belirlemek için uygulanır. Ancak bu deney ve testlerin artması demek maliyet artışı, uygulama zorluğu ve zaman kaybı demektir. Bir başka deyişle kaliteyi etkileyen faktörler arttıkça yapılacak test sayılarının artması ve dolayısıyla maliyet artışı anlamına gelecektir.

Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği arttıracak bir çözüm getirmiştir (Ross, 1996).

Böylece sonuca ulaşmak için yapılacak deney sayısında azalma meydana gelmiştir.

Taguchi yönteminin esas amacı; ortogonal dizinleri kullanarak, hedef değere ulaşmak için yapılan deney sayısını azaltmak ve az deneyle kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini de en küçükleyen bir deney tasarlamaktır. Uygulamada yapılan deney sayısının azalması zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır.

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesinin sağlanması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Ross, 1996).

Taguchi yöntemi; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır. Sistem tasarımı aşamasında, mühendislik ve bilimsel prensipler kullanılarak ürünün beklenen performansı sağlanmasına yönelik prototip üretim yapılır. Parametre tasarımı aşaması, üründe çıkabilecek değişkenliklerin en aza indirilerek imalat ve sonraki kullanım aşamalarında maliyetleri azaltmaya yönelik faaliyetleri içermektedir. Burada amaç farklılık yaratan faktör ve seviyelerin ürün üzerindeki etkisini en aza indirecek tedbirleri almak ve parametreler için en uygun değerlerin seçilmesini sağlamaktır. Tolerans tasarımı aşamasında amaç ürün için belirlenen kalite hedefine ulaşma yönünde seçilen her bir parametrenin nominal değer etrafındaki tolerans değerlerini belirlemektir.

Ürünün hedef değerden farklı bir sonuç vermesi durumunda kayıplar tespit edilerek sapmalar hesaplanır. Taguchi kayıp fonksiyonu, beklenen hedef değerle deneysel değer arasındaki sapmadır ve sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülerek hesaplanmaktadır (Montgomery, 1997; Savaşkan ve ark., 2004; Nalbant ve ark., 2007).

### 3.2.2. Taguchi deney tasarımı aşamaları

Taguchi'nin deneysel tasarım adımları;

1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi,
2. Faktör düzeylerinin seçilmesi
3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi
4. Faktör veya etkileşimlerin kolonlara atanması,
5. Testlerin yapılması,
6. Sonuçların analiz edilmesi,
7. Doğrulama deneylerinin yapılması (Anagün, 2000).

Bu adımların izlenmesi sonucunda proses veya ürün için en iyi performansın elde edileceği deney parametreleri belirlenecek, deneyde ele alınan faktörlerin kalite değeri üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve en iyi deney parametreleri sonucunda elde edilebilecek kalite değeri öngörülebilecektir (Taylan, 2009).



Şekil 3.2. Deney aşamaları.

### 3.2.3. Taguchi performans karakteristikleri

Taguchi yöntemi, **Sinyal/Gürültü (S/N)** oranına bağlı olan üç temel performans karakteristiğini kullanır. Deneylerimizde kullandığımız sinyal gürültü oranı en küçük olan en iyidir karakteristiğini kullanacağız.

$$\boxed{S/N_{CR}} \quad \eta = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad \text{En küçük, en iyisi}$$

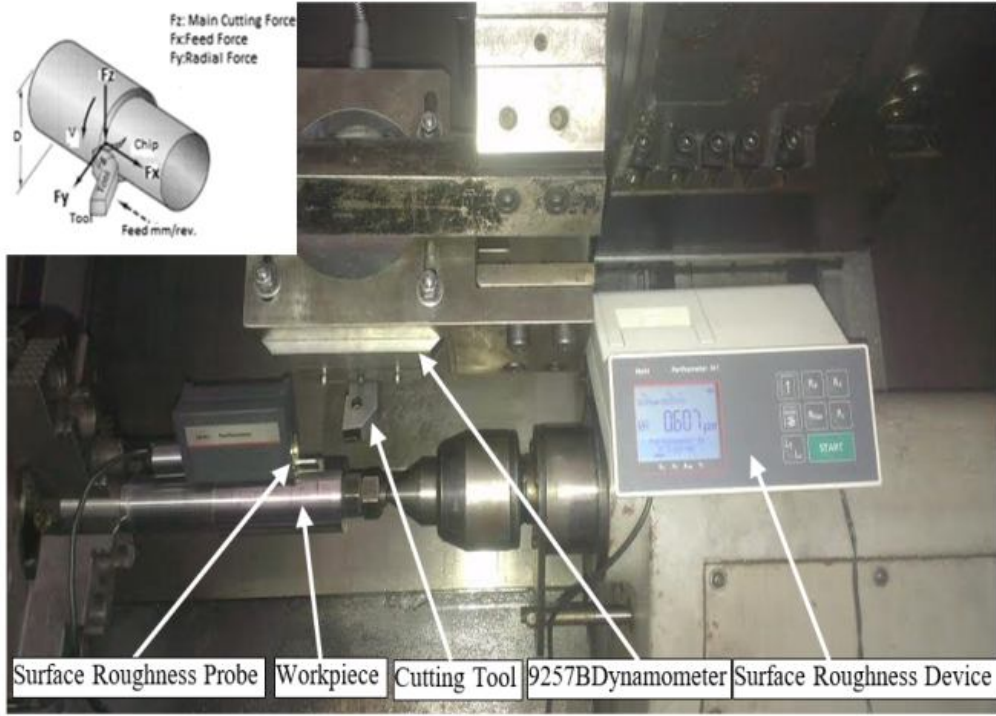
$$\boxed{S/N_{LR}} \quad \eta = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad \text{En büyük, en iyisi}$$

$$\boxed{S/N_{NR}} \quad \eta = 10 \log \left( \frac{\bar{y}}{s^2 y} \right) \quad \text{Nominal, en iyisi}$$

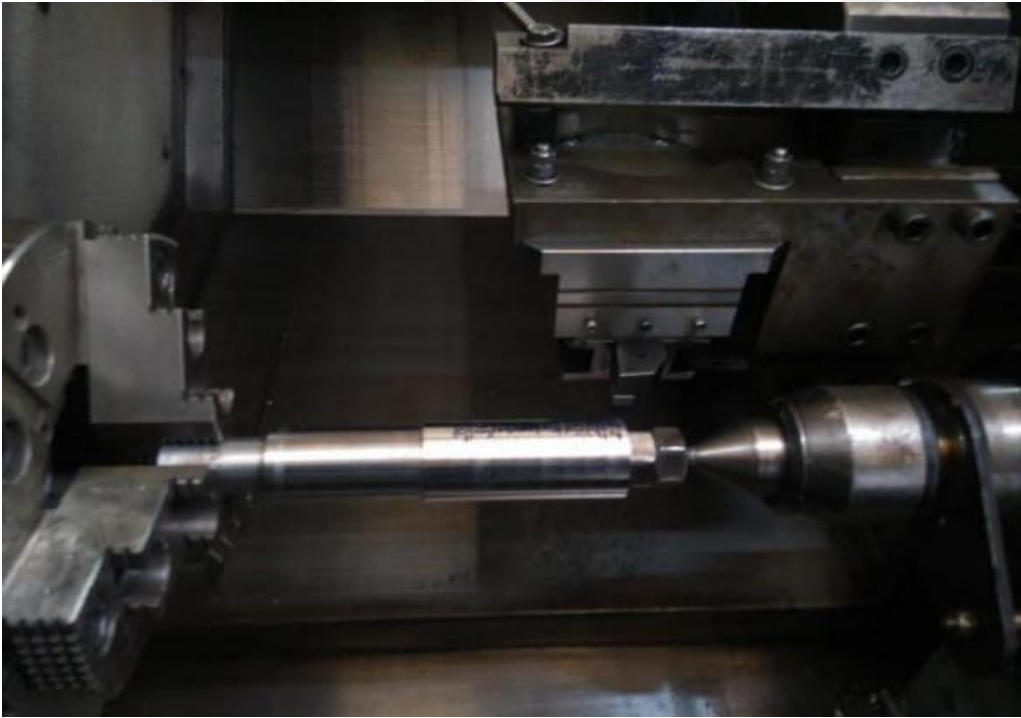
Şekil 3.3. Performans karakteristikleri.

### 3.2.4. Yöntem

Deneylerimizi JOHNFORD T35 marka endüstriyel tip CNC torna tezgâhında kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri ölçümünde üç elemanlı piezo elektrik dinamometre olan Kistler 9257 B model dinamometre kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ise Surtrasonic 3-P ölçüm cihazı kullanılmıştır. İlerleme adımları 0.100mm/rev, 0.125mm/rev ve 0.150mm/rev olarak seçilmiştir. Talaş derinliği kesici takım üretici firmanın (KENNEMETAL) kataloglarındaki önerileri doğrultusunda üzerine 1,6 mm olarak seçilmiştir. Kesme hızları sementit kesici takımlarında 60, 75, 90 mm/min, seramik kesici takımlarda ise 200, 230, 260 mm/min olarak seçilmiştir.



Şekil 3.4. Ölçüm tezgahı dinamometre birimi.



Şekil 3.5. CNC tezgahı.

### 3.2.5. Kesme şartları

Deneyimizde kullanacağımız kesme parametreleri aşağıda (Çizelge 3.3) verilmiştir. Kesme Parametrelerinde 3 temel unsurumuz bulunmaktadır. İlk unsurumuz malzemeyi işlerken ilerleme adımımızdır. İlerleme adımı olarak 3 değer kullanıldı ve her iki değerde ölçümler yapıldı. İkinci unsurumuz kesme hızıdır. Kesme hızı olarak 3 kesme hızı kullanıldı ve her 3 kesme hızında ölçümler yapıldı ve sonuçlar kaydedildi. Üçüncü unsurumuz kesici takım seçimidir. Her kesici takımla testler yapıldı ve sonuçlar kaydedildi.

Kesme parametrelerinde;

A değişkeni ilerleme adımını

B değişkeni kesme hızını

C değişkeni kesici takım tipini ifade etmektedir.

Çizelge 3.3. Kesme parametreleri

Kesme Parametreleri			
Sıra No	İlerleme Adımı (mm/rev) (A)	Kesme Hızı (m/min) (B)	Kesici Takım (C)
1	0.100	200	KY4300
2	0.125	230	KYS30
3	0.150	260	KYS25

### 3.2.6. S/N oranı analizi

Yapılan deneyler sırasında ölçülen kesme kuvvetleri (Fz) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri yerine yazıldı. Ölçülen değerler ile ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri için ayrı ayrı sinyal gürültü oranları hesaplanarak tabloda yerlerine yazılmıştır. S/N oranları aşağıdaki formüle göre en küçük en iyidir yaklaşımıyla hesaplanmıştır.

$$S/N = -10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n y_i^2 \right\}_0$$

### 3.2.7. Deneysel kurulum (ortognal tasarım L27)

Deneysel tasarım olarak Taguchi'nin L27 ortognal tasarımını seçildi. Bu tasarımda 3 değişken ve bu değişkenlerle yapılacak olan testler aşağıdaki (Çizelge 3.4) gibi sıralandı.

Çizelge 3.4. Kesme parametreleri

Sıra No	İlerleme F (mm/rev) (A)	Kesme Hızı V (m/min) (B)	Kesici Takım (C)
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3
16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3
19	3	1	1
20	3	1	2
21	3	1	3
21	3	1	3
22	3	2	1
23	3	2	2
24	3	2	3
25	3	3	1
26	3	3	2
27	3	3	3

### 3.2.8. Kesici takımlar

Deneilerimizde kullanılan kesici takımlar (Çizelge 8.3) seramik kesicilerden oluşmaktadır. Bu kesicilerle yapılan deney sonuçları ayrı ayrı kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 3.5. Kesici takımlar ve özellikleri

Üretici Firma ve Kesici Takım Kodu	Kaplama Cinsi ve Katmanlar	Kaplama Metodu
Kennametal KY4300	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiC <sub>W</sub> .	Whisker takviyeli seramik
Kennametal KYS25	TiCN	SIALON CVD kaplama
Kennametal KYS30	Saf	SIALON



## 4. BULGULAR

### 4.1. Deney Sonuçları

#### 4.1.1 İncoloy 901 kesici takım deneyleri

Seramik kesici takımlar ile İncoloy 901 üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda (Çizelge 4.1) verilmiştir.

Çizelge 4.1. İncoloy 901 deney sonuçları

KY4300 kesici takım ile İncoloy 901									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D1	0.100	200	403.39	290.49	<b>555.96</b>	0.661	0.67	0.681	<b>0.671</b>
D2	0.125	200	382.78	263.01	<b>625.82</b>	1.369	1.328	1.472	<b>1.390</b>
D3	0.150	200	417.63	285.89	<b>710.18</b>	1.325	1.198	1.092	<b>1.205</b>
D4	0.100	230	357.4	221.81	<b>542.04</b>	0.538	0.881	0.602	<b>0.674</b>
D5	0.125	230	387.15	254.84	<b>622.92</b>	1.005	0.969	1.15	<b>1.041</b>
D6	0.150	230	393.31	263.94	<b>687.08</b>	1.221	1.473	1.166	<b>1.287</b>
D7	0.100	260	330.97	219.12	<b>526.48</b>	1.257	1.505	1.434	<b>1.399</b>
D8	0.125	260	356.85	260.56	<b>609.9</b>	2.239	2.261	2.134	<b>2.211</b>
D9	0.150	260	412.16	276.29	<b>693.68</b>	1.524	1.679	1.678	<b>1.627</b>
KYS30 kesici takım ile Incoloy 901									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D10	0.100	200	495.26	291.14	<b>598.09</b>	0.921	0.876	0.958	<b>0.918</b>
D11	0.125	200	405.17	279.23	<b>640.23</b>	0.737	0.726	0.722	<b>0.728</b>
D12	0.150	200	395.68	273.38	<b>711.82</b>	1.446	1.421	1.409	<b>1.425</b>
D13	0.100	230	420	272.3	<b>548.39</b>	0.77	0.833	0.818	<b>0.807</b>
D14	0.125	230	414.32	279.4	<b>623.59</b>	1.154	1.237	1.14	<b>1.177</b>
D15	0.150	230	470.43	319.79	<b>714.1</b>	2.039	2.253	2.053	<b>2.115</b>
D16	0.100	260	403.35	260.91	<b>548.8</b>	0.813	0.734	0.863	<b>0.803</b>
D17	0.125	260	347.85	252.69	<b>604.13</b>	1.292	1.335	1.283	<b>1.303</b>
D18	0.150	260	397.05	293.71	<b>695.56</b>	1.489	1.432	1.449	<b>1.457</b>

Çizelge 4.1. İncoloy 901 deney sonuçları (devamı)

<b>KYS25 kesici takım ile Incoloy 901</b>									
Deneş No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D19	0.100	200	486.73	288.29	<b>608.12</b>	1.23	1.034	1.062	<b>1.109</b>
D20	0.125	200	492.66	301.55	<b>680.81</b>	1.318	1.31	1.232	<b>1.287</b>
D21	0.150	200	499.13	346.59	<b>757.01</b>	1.374	1.262	1.295	<b>1.310</b>
D22	0.100	230	480.38	300.97	<b>593.34</b>	1.289	1.529	1.636	<b>1.485</b>
D23	0.125	230	493.12	301.78	<b>671.65</b>	1.138	1.029	0.962	<b>1.043</b>
D24	0.150	230	497.9	331.18	<b>741.55</b>	1.341	1.861	1.709	<b>1.637</b>
D25	0.100	260	396.62	279.98	<b>549.62</b>	1.014	1.057	1.008	<b>1.026</b>
D26	0.125	260	460.64	292.4	<b>654.69</b>	1.321	1.211	1.24	<b>1.257</b>
D27	0.150	260	461.15	313.49	<b>713.44</b>	1.701	1.433	1.318	<b>1.484</b>

#### 4.1.2. Rene 41 kesici takım deneyleri

Seramik kesici takımlar ile Rene 41 üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda( Çizelge 4.2) verilmiştir.

Çizelge 4.2. Rene 41 deney sonuçları

<b>KY4300 kesici takım ile Rene 41</b>									
Dneş No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D28	0.100	200	372.92	301.8	<b>564.55</b>	1.174	1.23	1.174	<b>1.193</b>
D29	0.125	200	365.23	266.09	<b>644.7</b>	1.413	1.213	1.216	<b>1.281</b>
D30	0.150	200	383.45	292.22	<b>729.64</b>	1.293	1.298	1.27	<b>1.287</b>
D31	0.100	230	346.37	240.99	<b>562.07</b>	1.323	1.343	1.458	<b>1.375</b>
D32	0.125	230	353.51	251.61	<b>635.53</b>	0.923	1.001	0.962	<b>0.962</b>
D33	0.150	230	391.18	282.89	<b>717.1</b>	1.187	1.211	1.305	<b>1.234</b>
D34	0.100	260	335.98	227.96	<b>551.73</b>	0.996	0.954	0.848	<b>0.933</b>
D35	0.125	260	366.49	246.29	<b>628.79</b>	0.965	1.305	1.063	<b>1.111</b>
D36	0.150	260	364.88	253.15	<b>694.91</b>	1.021	1.003	0.986	<b>1.003</b>

<b>KYS30 kesici takım ile Rene 41</b>									
No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D37	0.100	200	438.45	291.53	<b>577.91</b>	1.348	1.321	1.32	<b>1.330</b>
D38	0.125	200	467.27	324.24	<b>662.01</b>	1.34	1.368	1.255	<b>1.321</b>

Çizelge 4.2. Rene 41 deney sonuçları (devamı)

Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	Fx(N) Ff	Fy(N) Fr	Fz(N) Fc	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D39	0.150	200	493.92	342.86	<b>738.19</b>	1.236	0.908	0.91	<b>1.018</b>
D40	0.100	230	392.55	259.16	<b>553.39</b>	0.988	1.019	0.948	<b>0.985</b>
D41	0.125	230	454.52	294.05	<b>651.51</b>	0.861	0.97	0.957	<b>0.929</b>
D42	0.150	230	475.56	321.05	<b>714.77</b>	1.342	1.416	1.429	<b>1.396</b>
D43	0.100	260	397.98	270.41	<b>549.49</b>	1.131	0.936	1.202	<b>1.090</b>
D44	0.125	260	446.25	305.19	<b>636.77</b>	1.097	1.157	1.208	<b>1.154</b>
D45	0.150	260	477.39	338.88	<b>706.61</b>	1.374	1.471	1.389	<b>1.411</b>
<b>KYS25 kesici takım ile Rene 41</b>									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	Fx(N) Ff	Fy(N) Fr	Fz(N) Fc	R <sub>a1</sub> (µm)	R <sub>a2</sub> (µm)	R <sub>a3</sub> (µm)	R <sub>aort</sub> (µm)
D46	0.100	200	468.42	308.52	<b>600.31</b>	1.261	0.864	1.157	<b>1.094</b>
D47	0.125	200	474.23	332.86	<b>673.3</b>	0.951	1.202	1.187	<b>1.113</b>
D48	0.150	200	477.2	349.87	<b>737.92</b>	1.066	1.048	1.122	<b>1.079</b>
D49	0.100	230	430.97	298.06	<b>582.27</b>	1.447	1.233	1.686	<b>1.455</b>
D50	0.125	230	475.94	321.99	<b>662.53</b>	0.702	0.918	0.822	<b>0.814</b>
D51	0.150	230	450.07	362.71	<b>714.22</b>	1.062	1.221	1.196	<b>1.160</b>
D52	0.100	260	352.29	279.58	<b>554.02</b>	0.843	0.854	0.866	<b>0.854</b>
D53	0.125	260	466.1	317.85	<b>649.46</b>	0.883	0.985	0.9	<b>0.923</b>
D54	0.150	260	466.28	337.85	<b>696.46</b>	0.607	0.739	0.749	<b>0.698</b>

## 4.2. S/N Oranları

### 4.2.1. Kesici takım deneyleri S/N oranları (Incoloy 901)

Seramik kesiciler ile yapılan deneyler sonucunda kesme kuvveti (Fz) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri kullanılarak hesaplanan sinyal gürültü (S/N) oranları (Çizelge 4.3) yerlerine yazılmıştır.

Çizelge 4.3. İncoloy 901'e ait kesme kuvvetleri (Fz), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve S/N oranları

Incoloy 901							
Sıra No	İlerleme Adımı (mm/rev)	Kesme Hızı (m/min)	Kesici Takım	Ra (µm) (Yüzey Pürüzlülüğü)	Ra S/N	Fz (N) (Kesme Kuvveti)	Fz S/N
1	0.100	200	KY4300	0.671	3.46555	555.96	-54.9009
2	0.100	200	KYS30	0.918	0.74315	598.09	-55.5353
3	0.100	200	KYS25	1.109	-0.89863	608.12	-55.6798
4	0.100	230	KY4300	0.674	3.42680	542.04	-54.6806
5	0.100	230	KYS30	0.807	1.86253	548.39	-54.7818
6	0.100	230	KYS25	1.485	-3.43453	593.34	-55.4661
7	0.100	260	KY4300	1.399	-2.91635	526.48	-54.4276
8	0.100	260	KYS30	0.803	1.90569	548.80	-54.7883
9	0.100	260	KYS25	1.026	-0.22295	549.62	-54.8013
10	0.125	200	KY4300	1.375	-2.76	562.07	-54.99
11	0.125	200	KYS30	0.962	0.33	635.53	-56.06
12	0.125	200	KYS25	1.234	-6.98	717.1	-57.11
13	0.125	230	KY4300	0.985	0.13	553.39	-54.86
14	0.125	230	KYS30	0.929	0.63	651.51	-56.27
15	0.125	230	KYS25	1.396	-2.89	714.77	-57,08
16	0.125	260	KY4300	1.455	-3.25	582.27	-55.30
17	0.125	260	KYS30	0.814	1.78	662.53	-56.42
18	0.125	260	KYS25	1.160	-1.28	714.22	-57.07
19	0.150	200	KY4300	1.205	-1.61974	710.18	-57.0274
20	0.150	200	KYS30	1.425	-3.07630	711.82	-57.0474
21	0.150	200	KYS25	1.310	-2.34543	757.01	-57.5820
22	0.150	230	KY4300	1.287	-2.19157	687.08	-56.7401
23	0.150	230	KYS30	2.115	-6.50621	714.10	-57.0752
24	0.150	230	KYS25	1.637	-4.28097	741.55	-57.4028
25	0.150	260	KY4300	1.627	-4.22775	693.68	-56.8232
26	0.150	260	KYS30	1.457	-3.26919	695.56	-56.8467
27	0.150	260	KYS25	1.484	-3.42868	713.44	-57.0671

#### 4.2.2. Kesici takım deneyleri S/N oranları (Rene 41)

Seramik kesiciler ile yapılan deneyler sonucunda kesme kuvveti (Fz) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri kullanılarak hesaplanan sinyal gürültü (S/N) oranları (Çizelge 4.4) yerlerine yazılmıştır.

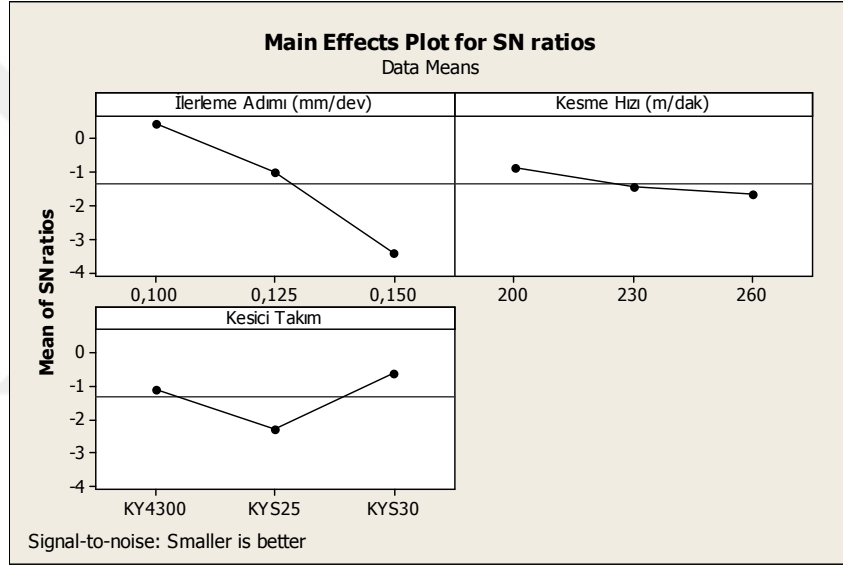
Çizelge 4.4. Rene 41'e ait kesme kuvvetleri (Fz), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve S/N Oranları

Rene 41							
Sıra No	İlerleme Adımı (mm/rev)	Kesme Hızı (m/min)	Kesici Takım	Ra ( $\mu\text{m}$ ) (Yüzey Pürüzlülüğü)	Ra S/N	Fz (N) (Kesme Kuvveti)	Fz S/N
1	0.100	200	KY4300	1.193	-1.53281	564.55	-55.0340
2	0.100	200	KYS30	1.330	-2.47703	577.91	-55.2372
3	0.100	200	KYS25	1.094	-0.78035	600.31	-55.5675
4	0.100	230	KY4300	1.375	-2.76605	562.07	-54.9958
5	0.100	230	KYS30	0.985	0.13128	553.39	-54.8606
6	0.100	230	KYS25	1.455	-3.25726	582.27	-55.3025
7	0.100	260	KY4300	0.933	0.60237	551.73	-54.8345
8	0.100	260	KYS30	1.090	-0.74853	549.49	-54.7992
9	0.100	260	KYS25	0.854	1.37084	554.02	-54.8705
10	0.125	200	KY4300	1.281	-2.15098	644.7	-56.1872
11	0.125	200	KYS30	1.321	-2.41806	662.01	-56.4173
12	0.125	200	KYS25	1.113	-0.92990	673.3	-56.5642
13	0.125	230	KY4300	0.962	0.33650	635.53	-56.0627
14	0.125	230	KYS30	0.929	0.63969	651.51	-56.2784
15	0.125	230	KYS25	0.814	1.78751	662.53	-56.4241
16	0.125	260	KY4300	1.111	-0.91428	628.79	-55.9701
17	0.125	260	KYS30	1.154	-1.24412	636.77	-56.0797
18	0.125	260	KYS25	0.923	0,69597	649.46	-56.2510
19	0.150	200	KY4300	1.287	-2.19157	729.64	-57.2622
20	0.150	200	KYS30	1.018	-0.15496	738.19	-57.3634
21	0.150	200	KYS25	1.079	-0.66043	737.92	-57.3602
22	0.150	230	KY4300	1.234	-1.82630	717.10	-57.1116
23	0.150	230	KYS30	1.396	-2.89771	714.77	-57.0833
24	0.150	230	KYS25	1.160	-1.28916	714.22	-57.0766
25	0.150	260	KY4300	1.003	-0.02602	694.91	-56.8386
26	0.150	260	KYS30	1.411	-2.99054	706.61	-56.9836
27	0.150	260	KYS25	0.698	3.12289	696.46	-56.8579

### 4.3. Anova Analizleri

#### 4.3.1. İncoloy 901 (Ra ve Fz) kesici takım analizleri

a. Seramik kesici takımla incoloy 901 işlenirken elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin S/N oranları analizleri sonucunda en uygun parametrelerin A1, B1 ve C3 olduğu Şekil 4.1 de görülmektedir. Kesme parametrelerimiz ile kıyasladığımızda bu parametreler 0.100 mm/dev ilerleme adımında, 200 m/dak kesme hızında ve KYS30 kesici takımı ile elde edilmiştir.



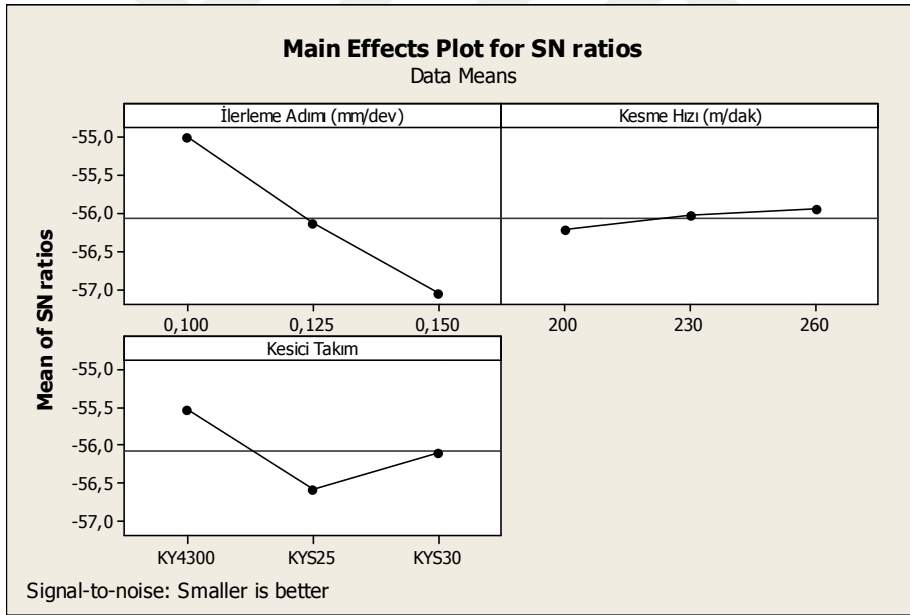
Şekil 4.1. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.

Taguchi optimizasyonu sonucunda elde edilen değerler kaydedilerek, aynı parametreler ile tekrardan doğrulama deneyleri yapıldı. Sonuç olarak elde edilen değerler arasında % 0.65 fark olduğu ancak bu değerlerin benzer olduğu (Çizelge 4.5) görülmektedir.

Çizelge 4.5. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi

Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen			Doğrulama Deneyi		
Seviye	A1B1C3			A1B1C3		
Kesme Şartları	0.100	200	KYS30	0.100	200	KYS30
Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	0.918			0.912		
S/N Oranı	0.74315			0.800103		

b. Seramik kesici takımla incoloy 901 işlenirken elde edilen kesme kuvveti (Fz) değerlerinin S/N oranları analizleri sonucunda en uygun parametrelerin A1, B3 ve C1 olduğu Şekil 4.2 de görülmektedir. Kesme parametrelerimiz ile kıyasladığımızda bu parametreler 0.100 mm/dev ilerleme adımında, 260 m/dak kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.2. İncoloy 901 kesme kuvvetleri (Fz) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.

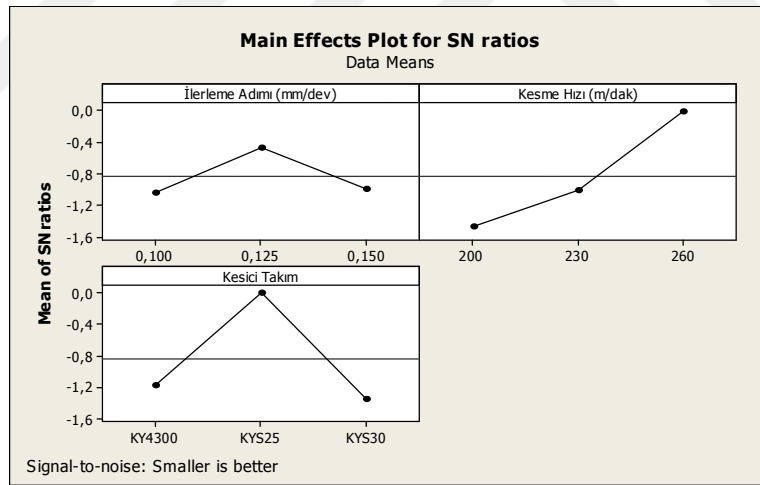
Taguchi optimizasyonu sonucunda elde edilen değerler kaydedilerek, aynı parametreler ile tekrardan doğrulama deneyleri yapıldı. Sonuç olarak elde edilen değerler arasında % 0.88 fark olduğu ancak bu değerlerin benzer olduğu (Çizelge 4.6) görülmektedir.

Çizelge 4.6. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (ra) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi

Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen			Doğrulama Deneyi		
Seviye	A1B3C1			A1B3C1		
Kesme Şartları	0.100	260	KY4300	0.100	260	KY4300
Ortalama Kesme Kuvveti	526.48			531.15		
S/N Oranı	-54.4276			-54.5043		

#### 4.3.2. Rene 41 (Ra ve Fz) kesici takım analizleri

a. Seramik kesici takımla rene 41 işlenirken elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin S/N oranları analizleri sonucunda en uygun parametrelerin A2, B3 ve C2 olduğu Şekil 4.3 te görülmektedir. Kesme parametrelerimiz ile kıyasladığımızda bu parametreler 0.125 mm/dev ilerleme adımında, 260 m/dak kesme hızında ve KYS25 kesici takımı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Rene 41 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.

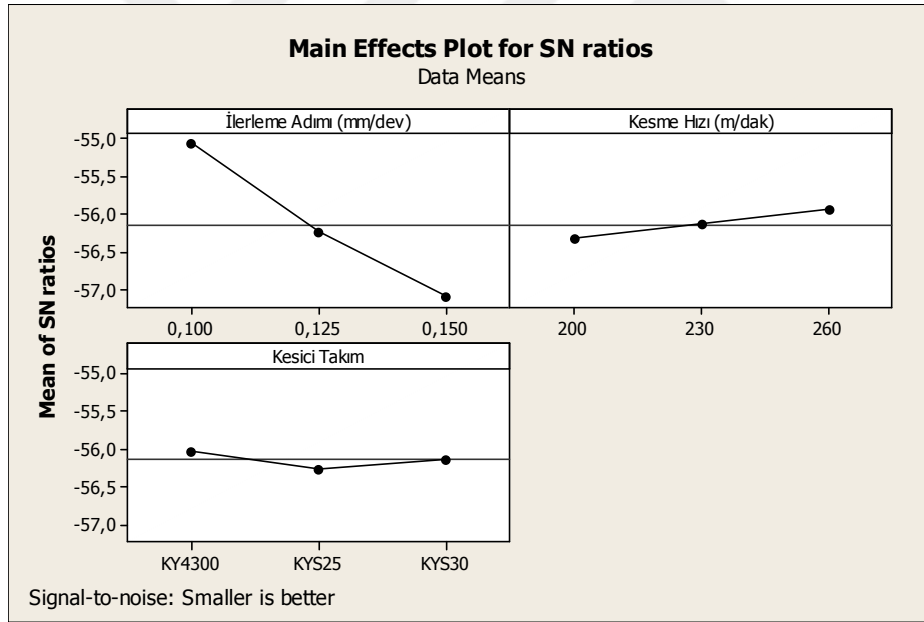
Taguchi optimizasyonu sonucunda elde edilen değerler kaydedilerek, aynı parametreler ile tekrardan doğrulama deneyleri yapıldı. Sonuç olarak elde edilen değerler arasında % 0.54 fark olduğu ancak bu değerlerin benzer olduğu (Çizelge 4.7) görülmektedir.



Çizelge 4.7. Rene 41 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi

Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen			Doğrulama Deneyi		
Seviye	A2B3C2			A2B3C2		
Kesme Şartları	0.125	260	KYS25	0.125	260	KYS25
Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	0.923			0.918		
S/N Oranı	0.65597			0.743146		

b. Seramik kesici takımla rene 41 işlenirken elde edilen kesme kuvveti (Fz) değerlerinin S/N oranları analizleri sonucunda en uygun parametrelerin A1, B3 ve C olduğu Şekil 4.4 te görülmektedir. Kesme parametrelerimiz ile kıyasladığımızda bu parametreler 0.100 mm/dev ilerleme adımında, 260 m/min kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Rene 41 kesme kuvvetleri (Fz) taguchi optimizasyonu sonuç grafiği.

Taguchi optimizasyonu sonucunda elde edilen değerler kaydedilerek, aynı parametreler ile tekrardan doğrulama deneyleri yapıldı. Sonuç olarak elde edilen değerler arasında % 0.05 fark olduğu ancak bu değerlerin benzer olduğu (Çizelge 4.8) görülmektedir.

Çizelge 4.8. Rene 41 kesme kuvvetleri (Fz) taguchi optimizasyonu sonuç ve doğrulama deneyi

Taguchi Optimizasyonu	Tahmin Edilen			Doğrulama Deneyi		
Seviye	A1B3C1			A1B3C1		
Kesme Şartları	0.100	260	KY4300	0.100	260	KY4300
Ortalama Kesme Kuvveti	551.73			552.02		
S/N Oranı	-54.8345			-54.8391		

#### 4.4. Analizler ve Etki Parametreleri

##### 4.4.1. İncoloy 901 (Ra ve Fz) kesici takım etkileri

ANOVA analizleri sonucunda (Çizelge 4.9) İncoloy 901'in işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ve bu faktörlerin etki seviyeleri verilmiştir. İlerleme adımımızın ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi % 42.27 iken, kesme hızının etkisi % 2.80 kesici takım etkisi ise % 49.79 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımı ve kesici takım tipi ortalama yüzey pürüzlülüğüne büyük etki ederken, kesme hızı etkisi minimum boyutlardadır.

Çizelge 4.9. İncoloy 901 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) anova analizleri etki parametreleri

Parametre	Serbestlik derecesi(Df)	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F	P (p<0.05)	Parametre Etkisi (%)
İlerleme	2	1.26511	0.63255	8.49	0.002	42.27
Kesme Hızı	2	0.08384	0.04192	0.56	0.578	2.80
Kesici Takım	2	0.15365	0.07683	1.03	0.375	49.79
<b>Hata</b>	20	1.49005	0.07450			11,95
<b>Toplam</b>	26	2.99265				100

ANOVA analizleri sonucunda (Çizelge 4.10) İncoloy 901'in işlenmesinde kesme kuvvetlerine etki eden faktörler ve bu faktörlerin etki seviyeleri verilmiştir. İlerleme adımımızın kesme kuvvetlerine etkisi % 69.28 iken, kesme hızının etkisi % 1.12 kesici takım etkisi ise % 18.29 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımı ortalama yüzey pürüzlülüğüne çok büyük etki ederken, kesici takım etkisi daha küçük

boyutlarda ve kesme hızının etkisi çok küçük boyutlardadır.

Çizelge 4.10. İncoloy 901 kesme kuvvetleri (Fz) anova analizleri etki parametreleri

Parametre	Serbestlik derecesi(Df)	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F	P (p<0.05)	Parametre Etkisi (%)
İlerleme	2	101943	50971.4	61.26	0.000	69.28
Kesme Hızı	2	1639	819.3	0.98	0.391	1.12
Kesici Takım	2	26916	13457.8	16.17	0.000	18.29
<b>Hata</b>	20	16641	832.1			11.31
<b>Toplam</b>	26	147138				100

#### 4.4.2. Rene 41 (Ra ve Fz) seramik kesici takım etkileri

ANOVA analizleri sonucunda (Çizelge 4.11). da görüldüğü gibi Rene 41'in işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü ne etki eden faktörler ve bu faktörlerin etki seviyeleri verilmiştir. İlerleme adımımızın ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi % 3.45 iken, kesme hızının etkisi % 13.85 kesici takım etkisi ise % 12.93 olarak hesaplanmıştır. Sonuç oilerleme adımı etkisi çok daha küçük boyutlardadır.

Çizelge 4.11. Rene 41 ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) anova analizleri etki parametreleri

Parametre	Serbestlik derecesi(Df)	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F	P (p<0.05)	Parametre Etkisi (%)
İlerleme	2	0.03524	0.01762	0.49	0.617	3.45
Kesme Hızı	2	0.14137	0.07069	1.98	0.164	13.85
Kesici Takım	2	0.13200	0.06600	1.85	0.183	12.93
<b>Hata</b>	20	0.71224	0.03561			69.77
<b>Toplam</b>	26	1.02085				100

ANOVA analizleri sonucunda (Çizelge 4.12) Rene 41'in işlenmesinde kesme kuvvetlerine etki eden faktörler ve bu faktörlerin etki seviyeleri verilmiştir. İlerleme adımımızın kesme kuvvetlerine etkisi % 94.32 iken, kesme hızının etkisi % 3.47 kesici takım etkisi ise % 1.03 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımının etkisi çok büyük düzeyde iken, kesme hızı ve kesici takım etkisi ise çok küçük boyutlardadır.

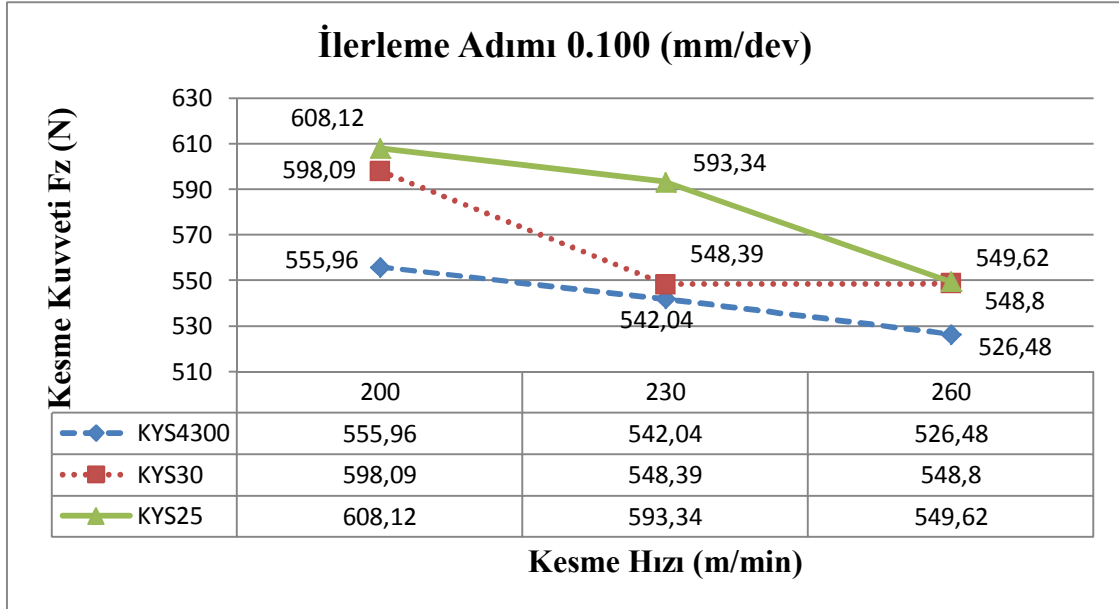
Çizelge 4.12. Rene 41 kesme kuvvetleri (Fz) anova analizleri etki parametreleri

Parametre	Serbestlik derecesi(Df)	Kareler Toplamı	Kareler ortalaması	F	P (p<0.05)	Parametre Etkisi (%)
İlerleme	2	102245	51122.5	800.32	0.000	94.32
Kesme Hızı	2	3766	1882.9	29.48	0.000	3.47
Kesici Takım	2	1118	559	8.75	0.002	1.03
<b>Hata</b>	20	1278	63.9	3,14		1.18
<b>Toplam</b>	26	108406				100

#### 4.5. Deney Grafikleri

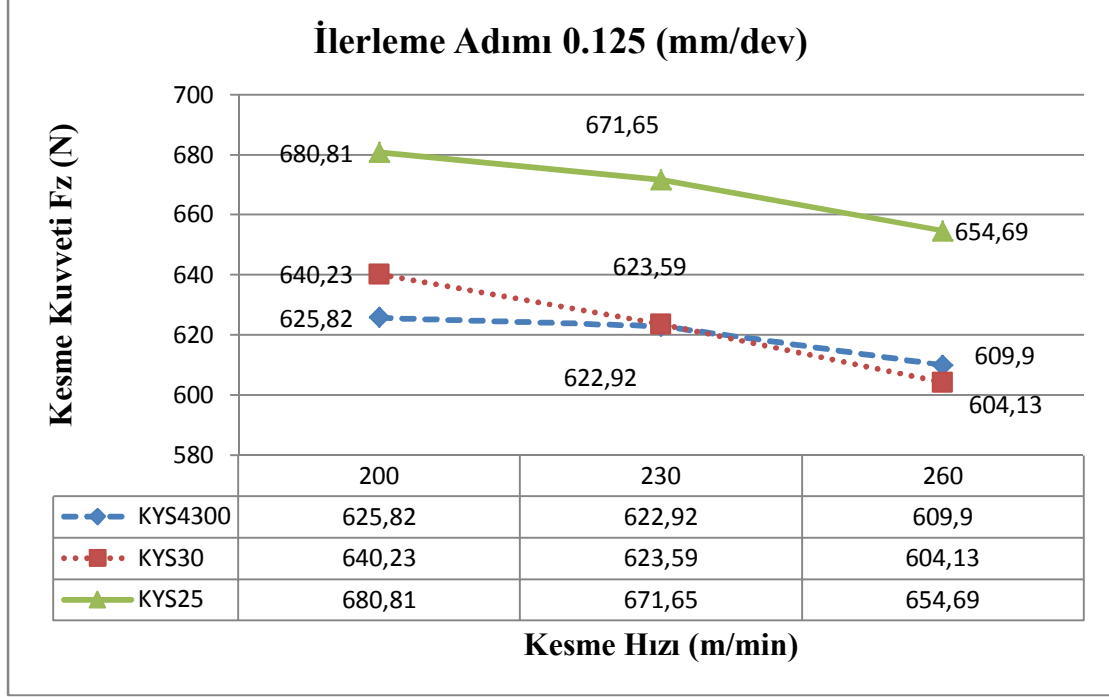
##### 4.5.1. İncoloy 901 kesici takım grafikleri

a. İncoloy 901'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.100 mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin büyük oranda azaldığı aşağıda görülmektedir(Şekil 4.5.). En düşük kesme kuvvetleri 90 m/dak hızında elde edilmiştir.



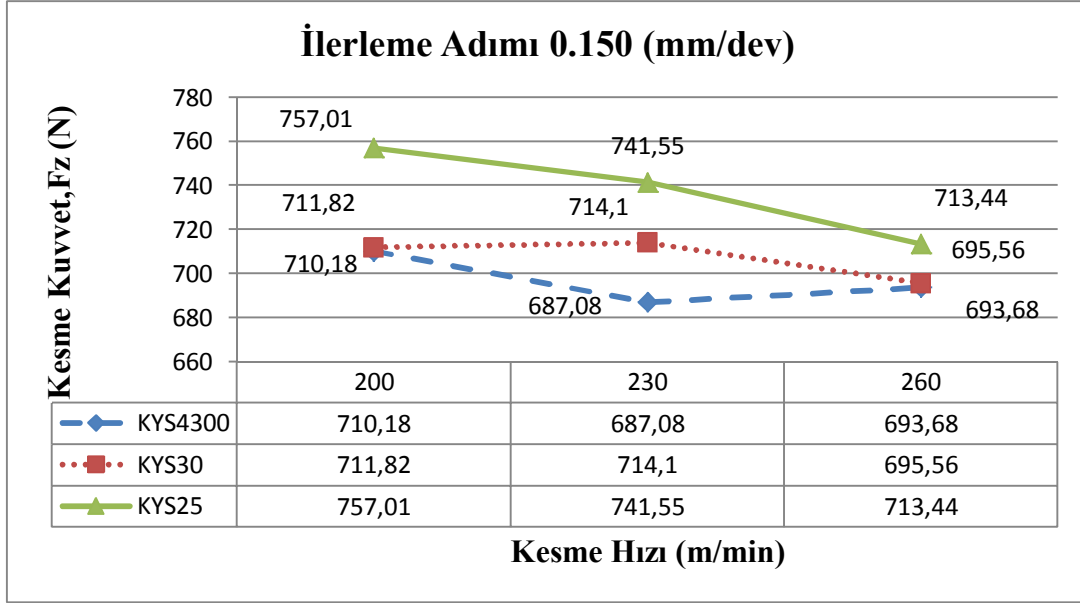
Şekil 4.5. İncoloy 901 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.100 mm/dev'de.

b. İncoloy 901'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.125 mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı aşağıda görülmektedir(Şekil 4.6.). En düşük kesme kuvvetleri 260 m/dak hızında KYS30 kesici takımıyla elde edilmiştir.



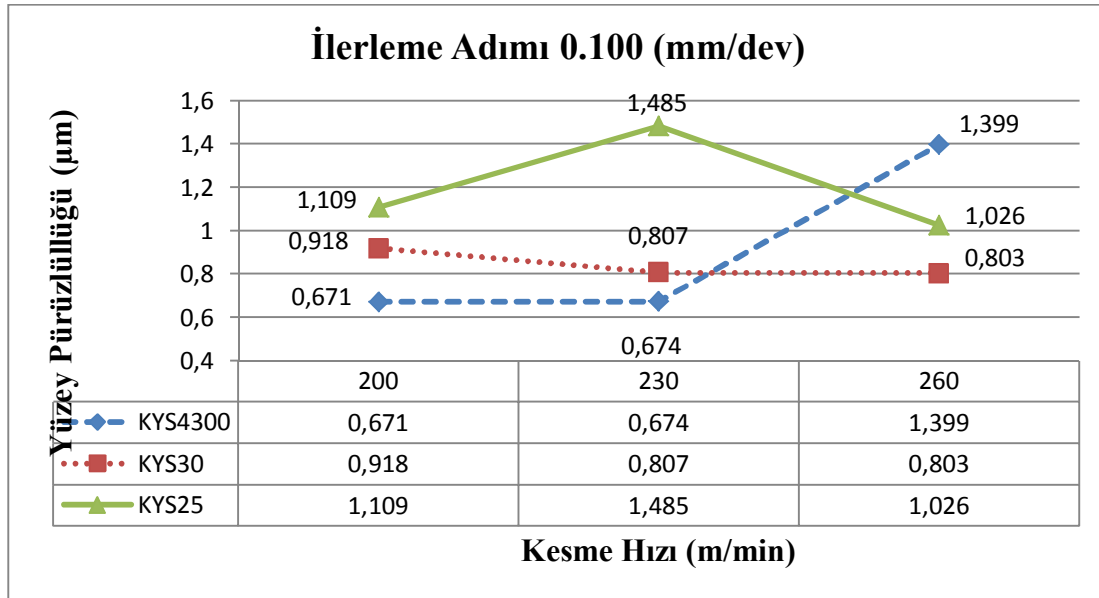
Şekil 4.6. İncoloy 901 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.125 mm/dev'de.

c. İncoloy 901'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.150 mm/rev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin büyük oranda azaldığı aşağıda görülmektedir(Şekil 4.7.). En düşük kesme kuvvetleri 230 m/dak hızında KY4300 kesici takımıyla elde edilmiştir.



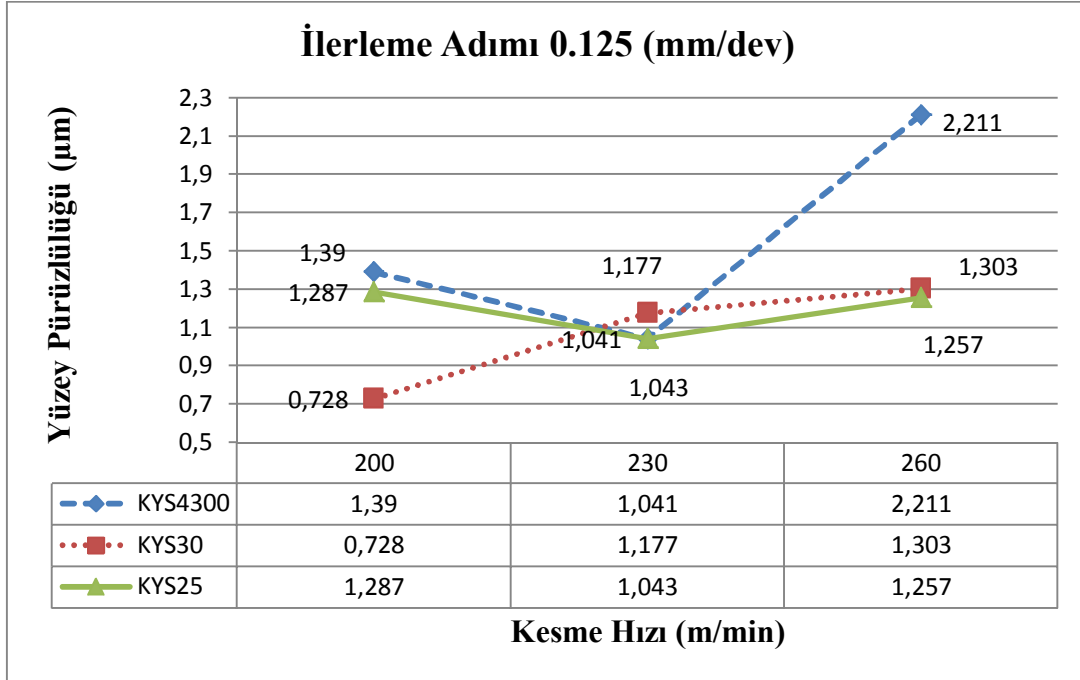
Şekil 4.7. İncoloy 901 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi  $a=0.150$  mm/dev'de.

d. İncoloy 901'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde  $0.100$  mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün farklı oranlarda değiştiği aşağıda görülmektedir (Şekil 4.8.). En kaliteli yüzey  $200$  m/dak hızında KYS4300 kesici takımıyla elde edilmiştir.



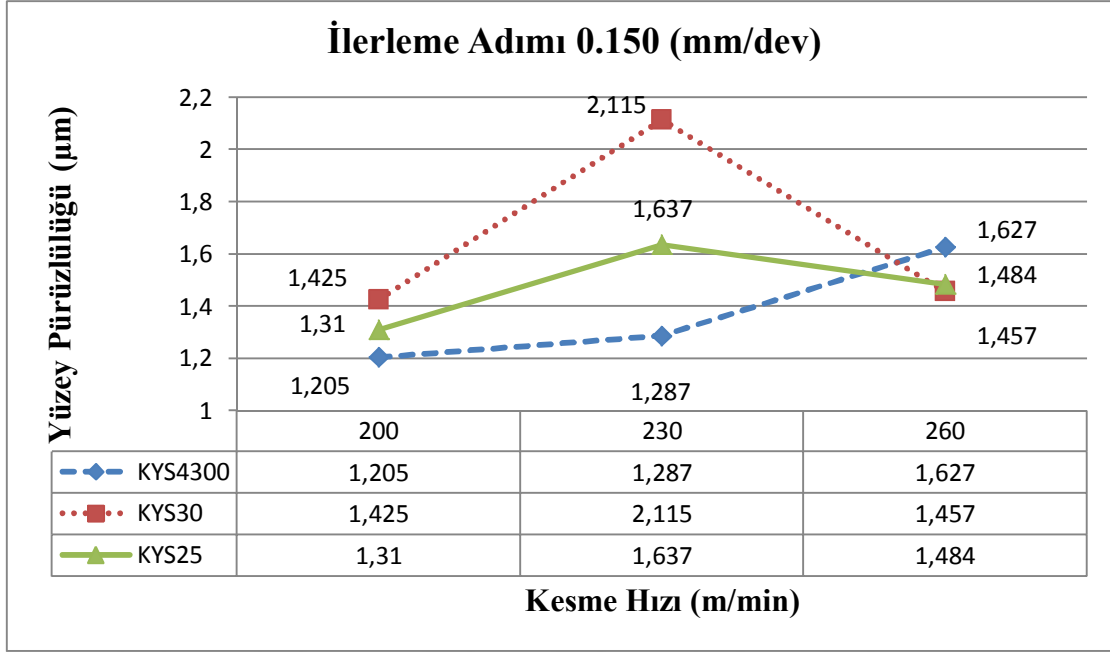
Şekil 4.8. İncoloy 901 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi  $a=0.100$  mm/dev'de.

e. İncoloy 901'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.125 mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça yüzey değişkenlik gösterdiği aşağıda görülmektedir(Şekil 4.9.). En kaliteli yüzey 200 m/dak hızında KYS30 kesici takımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.9. İncoloy 901 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.125 mm/dev'de.

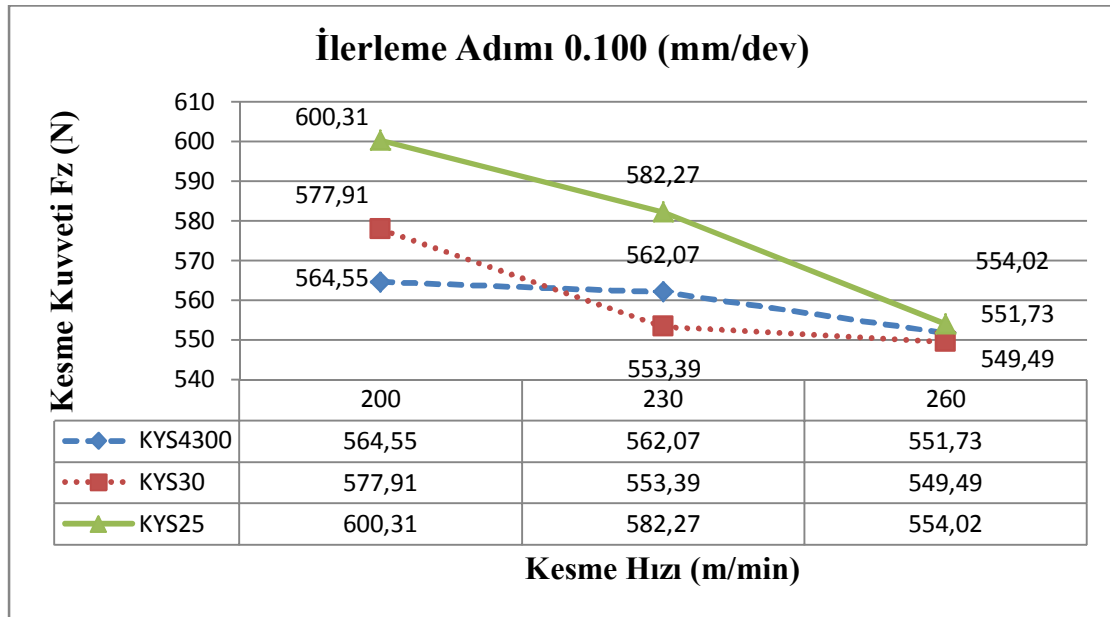
f. İncoloy 901'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.150 mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün farklı oranlarda arttığı aşağıda görülmektedir(Şekil 4.10.). En kaliteli yüzey 200 m/dak hızında KY4300 kesici takımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.10. İncoloy 901 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi  $a=0.150$  mm/dev'de.

#### 4.5.2. Rene 41 seramik kesici takım grafikleri

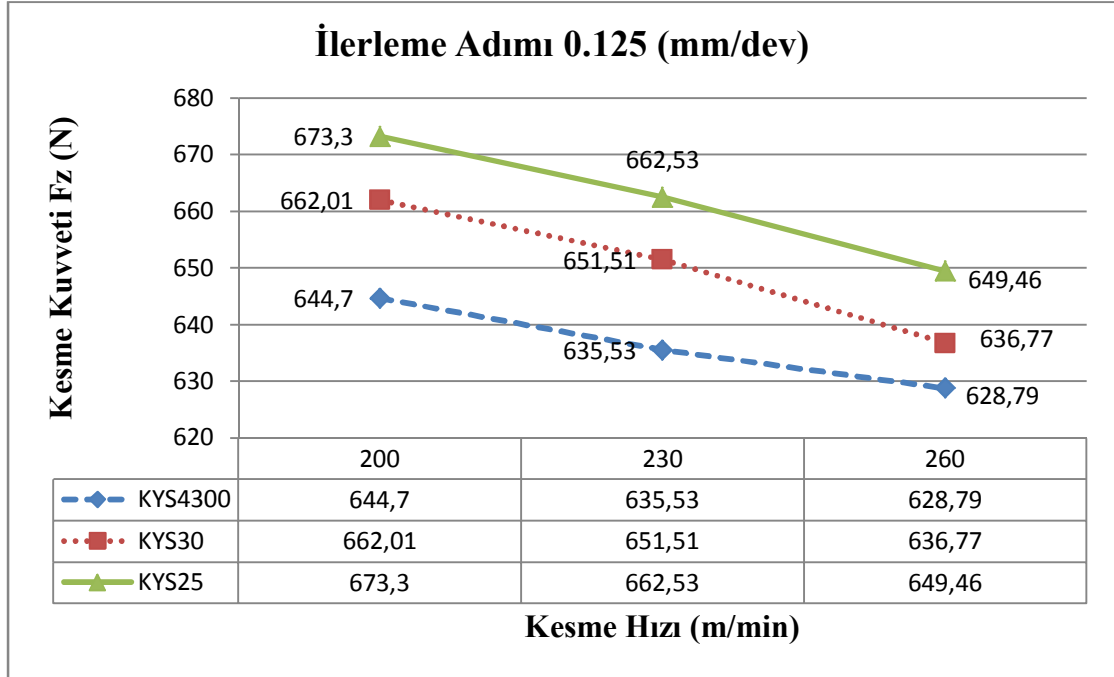
a. Rene 41'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde  $0.100$  mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı aşağıda görülmektedir (Şekil 4.11.). En düşük kesme kuvveti  $260$  m/dak hızında elde edilmiştir.



Şekil 4.11. Rene 41 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi  $a=0.100$  mm/dev'de.

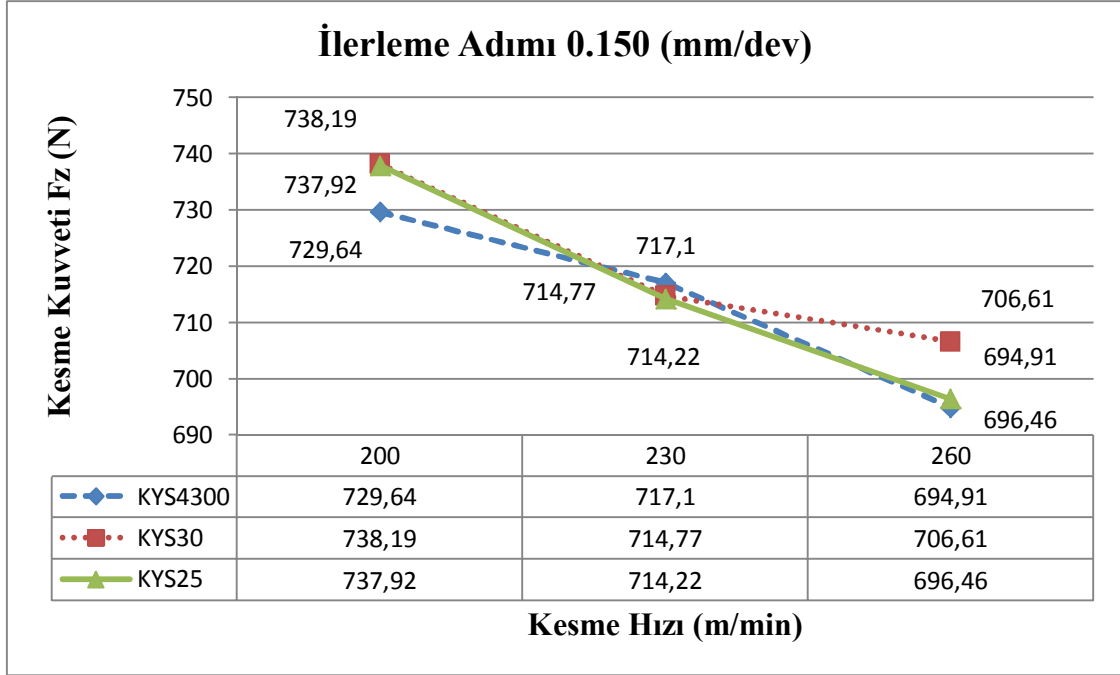


b. Rene 41'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.125 mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı aşağıda görülmektedir.(Şekil 4.12.). En düşük kesme kuvveti 260 m/dak hızında elde edilmiştir.



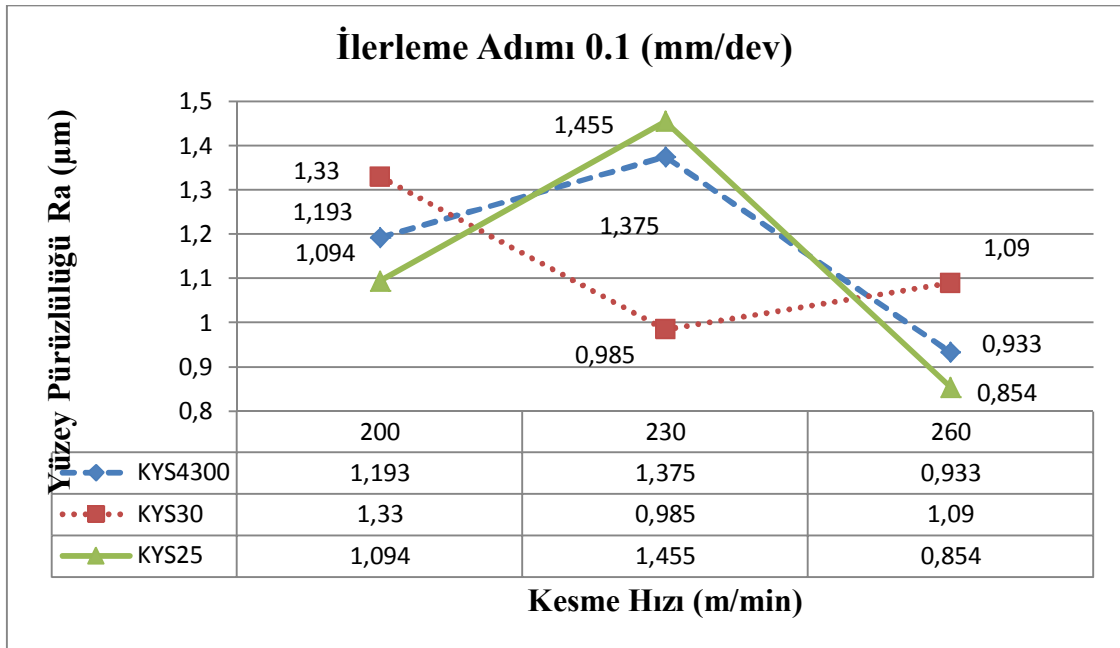
Şekil 4.12. Rene 41 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi a=0.125 mm/dev'de.

c. Rene 41'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.15 mm/rev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı aşağıda görülmektedir.(Şekil 4.13.). En düşük kesme kuvveti 260 m/dak hızında elde edilmiştir.



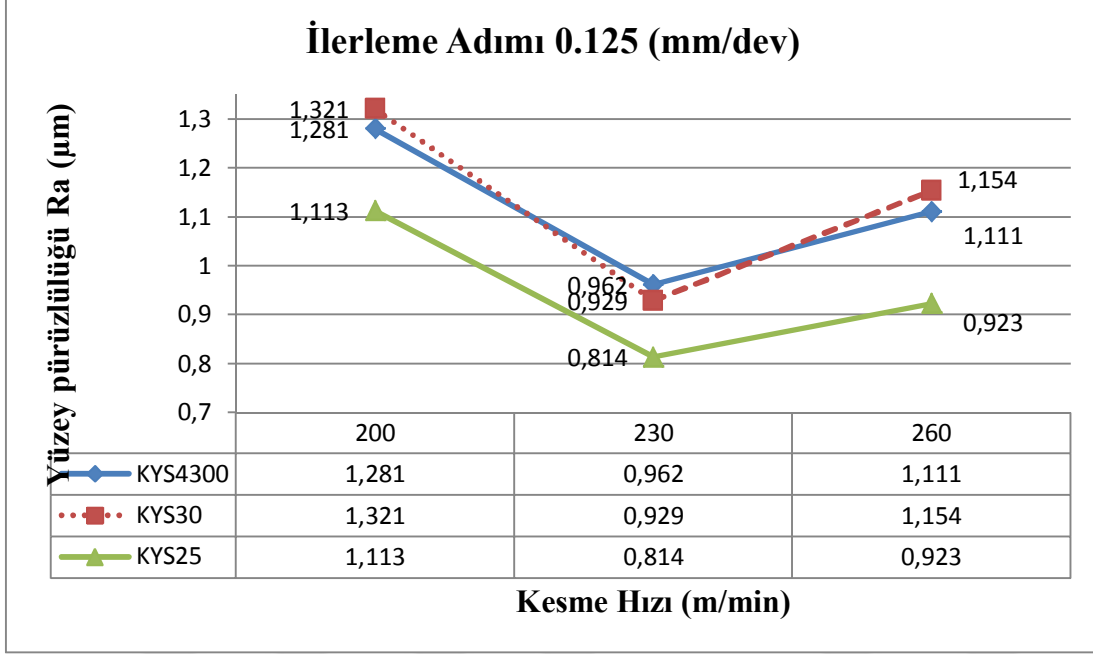
Şekil 4.13. Rene 41 kesme hızına göre kesme kuvvetleri (Fz) değişimi  $a=0.150$  mm/dev'de.

d. Rene 41'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde  $0.100$  mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün farklı oranlarda değiştiği aşağıda görülmektedir(Şekil 4.14.). En kaliteli yüzey  $260$  m/dak hızında KYS25 kesici takımıyla elde edilmiştir.



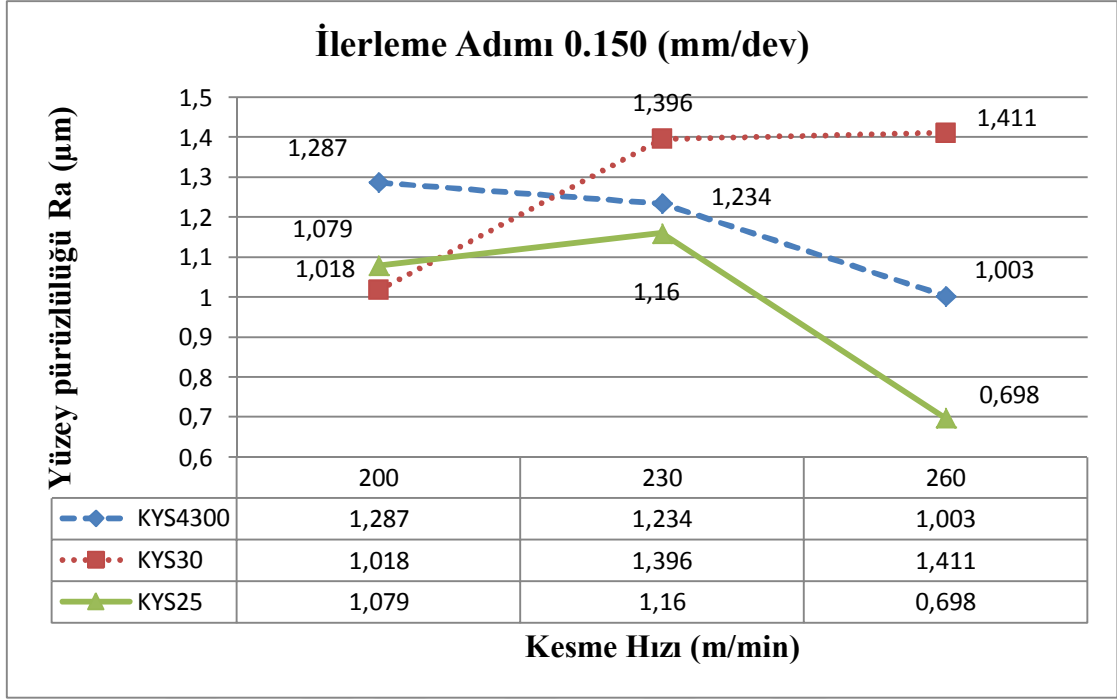
Şekil 4.14. Rene 41 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi ( $a=0.100$  mm/dev'de).

e. Rene 41'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.125 mm/dev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün önce azalıp sonrasında arttığı aşağıda görülmektedir(Şekil 4.15.). En kaliteli yüzey 230 m/dak hızında KYS25 kesici takımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Rene 41 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi a=0.125 mm/dev'de.

f. Rene 41'in seramik kesici takımları ile işlenmesinde 0.15 mm/rev ilerleme adımında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün farklı oranlarda değiştiği aşağıda görülmektedir(Şekil 4.16.). En kaliteli yüzey 260 m/dak hızında KYS25 kesici takımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Rene 41 kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi  $a=0.150$  mm/dev'de

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elde ettiğimiz bulgular sonucunda yaptığımız deney ve analiz sonuçları ile ilgili aşağıdaki karşılaştırmalara yer verilmiştir.

Ezilarasan ve ark. (2013), nimonic C-263 alaşımının işlenebilirliğini deneysel olarak analiz etmiştir. Çalışma kapsamında, kesme kuvvetlerinin, serbest yüzey aşınmasının ve yüzey bütünlüğü değerlerinin üzerinde farklı parametrelerin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, ilerleme miktarının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde, kesme hızı ve kesme derinliğinden daha önemli olduğu belirtilmiştir.

Yaptığımız analizler sonucunda; Incoloy 901 malzemesinde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerinde, ilerleme adımı ve kesici takımın kesme hızından daha önemli olduğu görülmüştür. Rene 41 malzemesinde kesme kuvvetlerine kesme hızı ve kesici takım etkisi görülmüşken, yüzey pürüzlülüğü değerinde ise ilerleme adımının etkisinin çok büyük etkisi olduğu görülmüştür.

Rahman ve ark. (1997), olarak Inconel 718 malzemesinin düşük kesme hızı ve ilerlemelerde kullanılması tavsiye edilmiştir. Kesme hızı ve ilerlemeler arttıkça kesici uç aşınması artmakta ve sıcaklığın da etkisiyle malzeme üzerinde oluşan gerilmeler de artmaktadır.

Yaptığımız deneyler sonucunda; Incoloy 901 ve Rene 41 malzemesinde kesme kuvvetleri açısından yüksek hızların kullanılması uygun görülmüştür. Ancak kesme hızı arttıkça uç aşınmaların arttığı gözlemlenmiştir.

Tali D. (2016), gözlemlenen takım aşınma çeşitleri; çentik oluşumu, kesici kenardan parçacık kopmaları, ısıl çatlaklar ve mekanik yorulma çatlaklarıdır. Kesici takımlarda en az aşınma değerleri 0,15 mm/dev ilerleme ve 180 m/dak kesme hızı ile çalışıldığında görülmüştür. Rene 41 malzeme için bu kesme parametreleri, kullanılan takım ve takım geometrisi için optimum olarak kabul edilebilir. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme ile bağıntılıdır. İlerleme arttıkça yüzey kalitesi bozulmakta ve yüzey

pürüzlülüğü artmaktadır. Aynı zamanda kesme kuvvetleri ve sıcaklık da artış göstermektedir. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi görünmemektedir.

Yaptığımız deneyler ve analizler sonucunda kesici takımlarda çentik oluşumu ve yan kenar aşınmaları sıklıkla görüldü. Rene 41 malzemesinde en az aşınma değeri 0,100 mm/dev ilerleme ve 230 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ise en büyük etkenin kesme hızı olduğu görülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı bu nedenle kesme kuvvetlerinde en büyük etkenin kesme hızı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak;

1. Taguchi yöntemiyle parametre tertibi, kesme parametrelerinin optimizasyonunda basit, sistematik ve etkin bir metodoloji sağladığı görülmüştür.

2. Torna ile işleme deney sonuçları, kesme derinliği ve ilerlemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetini etkileyen üç adet kontrol edilebilir faktör (kesici, kesme hızı, ilerleme) arasında ana parametreler olduğunu göstermiştir.

3. Kesme kuvvetine (Fz) etkili parametrelerin ilerleme adımı ve kesme hızının olduğu görülmüştür.

4. Ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerin ilerleme adımı ve kesici takım olduğu görülmüştür.

5. En küçük kesme kuvveti Incoloy 901'de 0.100 mm/dev ilerleme adımında 260 m/dak kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile Rene 41' de 0.100 mm/dev ilerleme adımında 260 m/dak kesme hızında ve KYS30 kesici takımı işleme parametreleriyle ve en küçük ortalama yüzey pürüzlülüğü Incoloy 901'de 0.100 mm/dev ilerleme adımında 200 m/dak kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile Rene 41'de 0.150 mm/dev 260 m/dak KYS25 kesici takımı işleme parametreleriyle elde edilmiştir.

## 5.1. Deney Sonuçları

1. Incoloy 901 malzemesinin seramik kesici takımları ile yapılan kesme deneylerinde en küçük yüzey pürüzlülüğü değeri 0.100 mm/dev ilerleme adımında, 200 m/dak kesme hızında ve KYS30 kesici takımı ile elde edilmiştir.

2. İncoloy malzemesinin seramik kesici takımları ile yapılan kesme deneylerinde en küçük kesme kuvveti değeri 0.100 mm/dev ilerleme adımında, 260 m/dak kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile elde edilmiştir.

3. Rene malzemesinin seramik kesici takımları ile yapılan kesme deneylerinde en küçük yüzey pürüzlülüğü değeri 0.125 mm/dev ilerleme adımında, 260 m/dak kesme hızında ve KYS25 kesici takımı ile elde edilmiştir.

4. Rene 41 malzemesinin seramik kesici takımları ile yapılan kesme deneylerinde en küçük kesme kuvveti değeri 0.100 mm/dev ilerleme adımında, 260 m/min kesme hızında ve KY4300 kesici takımı ile elde edilmiştir.

## 5.2. Analiz Sonuçları

1.İncoloy 901 seramik kesici takımları ile yapılan analiz sonuçlarına göre; ilerleme adımımızın yüzey pürüzlülüğüne etkisi % 42.27 iken, kesme hızının etkisi % 2.80 kesici takım etkisi ise % 49.79 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımı ve kesici takım tipi yüzey pürüzlülüğüne büyük etki ederken, kesme hızı etkisi minimum boyutlardadır.

2. İncoloy 901 seramik kesici takımları ile yapılan analiz sonuçlarına göre; ilerleme adımımızın kesme kuvvetlerine etkisi % 69.28 iken, kesme hızının etkisi % 1.12 kesici takım etkisi ise % 18.29 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımı yüzey pürüzlülüğüne çok büyük etki ederken, kesici takım etkisi daha küçük boyutlarda ve kesme hızının etkisi çok küçük boyutlardadır.

3.Rene 41'in seramik kesici takımları ile yapılan analiz sonuçlarına göre; ilerleme adımımızın yüzey pürüzlülüğüne etkisi % 3.45 iken, kesme hızının etkisi % 13.85 kesici takım etkisi ise % 12.93 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımı etkisi çok daha küçük boyutlardadır.

4.Rene 41'in seramik kesici takımları ile yapılan analiz sonuçlarına göre; ilerleme adımımızın kesme kuvvetlerine etkisi % 94.32 iken, kesme hızının etkisi % 3.47 kesici takım etkisi ise % 1.03 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ilerleme adımının etkisi çok büyük düzeyde iken, kesme hızı ve kesici takım etkisi ise çok küçük boyutlardadır.

### 5.3. İncoloy 901 Kesici Takım Uç Aşınmaları

İncoloy 901 malzemesi işlenirken kesici uçlarda oluşan aşınmalar ile ilgili olarak;

1. KYS 4300 kesici takımında en çok aşınma 0.125 mm/dev ilerleme adımında ve 200 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 5.10 mm olarak ölçülmüştür(Ek 2.). En az aşınma ise 0.150 mm/dev ilerleme adımında ve 230 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 1.25 mm olarak ölçülmüştür(Ek 6.).

2. KYS30 kesici takımında en çok aşınma 0.150 ilerleme adımında ve 260 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 1.68 mm olarak ölçülmüştür(Ek 18.). En az aşınma ise 0.150 mm/dev ilerleme adımında ve 230 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 0.73 mm olarak ölçülmüştür(Ek 15.).

3. KYS 25 kesici takımında en çok aşınma 0.150 ilerleme adımında ve 260 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 1.85 mm olarak ölçülmüştür(Ek 27.). En az aşınma ise 0.100 mm/dev ilerleme adımında ve 260 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 1.28 mm olarak ölçülmüştür(Ek25.).

### 5.4.Rene 41 Kesici Takım Uç Aşınmaları

Rene 41 malzemesi işlenirken kesici uçlarda oluşan aşınmalar ile ilgili olarak;

1. KYS 4300 kesici takımında en çok aşınma 0.125 mm/dev ilerleme adımında ve 260 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 2.80 mm olarak ölçülmüştür(Ek 35.). En az aşınma ise 0.100 mm/dev ilerleme adımında ve 200 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 2.07 mm olarak ölçülmüştür(Ek 28.).

2. KYS30 kesici takımında en çok aşınma 0.150 ilerleme adımında ve 200 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 2.70 mm olarak ölçülmüştür(Ek 39.). En az aşınma ise 0.125 mm/dev ilerleme adımında ve 200 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 1.98 mm olarak ölçülmüştür(Ek 38.).

3. KYS 25 kesici takımında en çok aşınma 0.125 ilerleme adımında ve 200 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 1.30 mm olarak ölçülmüştür(Ek 47.). En az aşınma ise 0.100 mm/dev ilerleme adımında ve 230 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş ve 0.48 mm olarak ölçülmüştür(Ek 49.).



## KAYNAKLAR

- Altın, A., 2005. *Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi*, Ankara.
- Altın, A., Gökkaya, H., ve Nalbant, M., 2006. *İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının Inconel 718 Süperalaşımının İşlenebilirliğine Etkisi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **21**(3): 581-586.
- Altın, A., 2005. *Inconel 718 Süper Alaşımlı Çeliğin İşlenebilirliğinin İncelenmesi*, (doktora tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-35, 138-142.
- Anagün, A.S., 2000. *Kalite Kontrolde İleri Teknikler. Ders notları*.
- Aykut, S., Bağcı, E., Kentli, A. ve Yazıcıoğlu, O. (2007). Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based superalloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool. *Materials and Design*, **28**(6):1880-1888.
- Bartlay, E., 1988. *Super Alloys a Technical Guide*.
- Bradley, E.F., 1979, Source Book on Materials for Elevated-Temperature Applications, *American Society for Metals, Metals Park*,.:29.
- Betteridge, W., Heslop, J., 1974, *The Nimonic Alloys, and Other Nickel-Base High-Temperature Alloys*, New York. 29
- Chouldhury, I. A., El-Baradie, M (1996) Machinability assessment of nickel based alloys: tool life in turning Inconel 718, *In Proceedings of the Sixth Cairo University International MDP Conference*, Cairo, Egypt, 233-240.
- Chouldhury, I. A., El-Baradie, M. A., 1997. Machining nickel base superalloys: inconel 718, *Proc Instn Mech Engrs*, **212**, (Part B): 195-205.
- Çay V. V., Ozan Ş., 2005 *Süperalaşım ve Uygulama Alanları*, Elazığ.
- Dye, D., Hunziker, O., Roberts, S.M., Reed, R.C., 2001, Modelling of the mechanical effects induced by the tungsten inert gas welding of IN718 superalloy. *Met. Trans.*, **32A**,.:1713-1725.
- Ezilarasan, C., Senthil Kumar, V.S. and Velayudham, A. (2013). An experimental analysis and measurement of process performance in machining of nimonic c-263 super alloy. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **46**(1): 185-199
- Ezugwu, E. O., Bonney, J., Yamane, Y., 2003. "An overview of the machinability of aeroengine alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, **134**:233-253
- Ezugwu, E. O., Wanga, Z. M., Machadop A. R., 1998. "The machinability of nickel-based alloys: a review", *Journal of materials Processing Technology*, **86**: 1-3: 1-16.
- Ezugwu, E. O., Wang, Z. M., 1996. "Performance of PVD and CVD coated tools when nickel-based machining Inconel 718 alloy". IN: N.Narutaki et al. *Progress of Cutting and Grinding 111*, (102-107).
- Field, M., 1968, Machining aerospace alloys, *Iron and Steel Institute, Special Report 94*, 151-160.
- Hagel, W.C., Wiley, J., 1972, *The Superalloys*. New York. 29
- High Temp Metal Inc., 2008.
- <http://www.hightempmetals.com/techdata/hitempIncoloy901data.php>  
Erişim tarihi: 10.03.2016.

High Temp Metal Inc., 2008.

<http://www.hightempmetals.com/techdata/hitempRene41data.php>

Erişim tarihi: 10.03.2016.

- Huang, X., Chaturvedi, M.C., Richards, N.L., 1996, “*Effect of Homogenisation heat treatment on the Microstructure and Heat Affected Zone Microfissuring in Welded Cast Alloy IN718.*” *Met., Trans., A*, **27A**, 785-790.
- Loria, E.A., 1992, *Recent Development in The Progress of Superalloy 718*, *JOM* **44** **6**: 33–36
- Lu, C., 2008, Study of prediction of surface quality in machining process, *Journal of Materials Processing Technology*, **205**: 439-450
- Motorcu, A.R., Kus, A. and Durgun, I. (2014). The evaluation of the effects of control factors on surface roughness in the drilling of Waspaloy superalloy. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, **58**(1): 394-408.
- Rahman, M., Seah, W.K.H. and Teo, T.T., 1997, The machinability of inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, **63**: 199-204
- Richards, N., Aspinwall, D., 1989, Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys, *Int. J. Mach. tools Manuf.*, **29A**: 575-588.
- Ross, P.J., 1996. Taguchi techniques for quality engineering, *McGrow – Hill International book company*, ISBN 0-07-114663-6: 1-73.
- Shintani, K., Kato, H., Maeda, T., Fujimera, Y., Yamamoto, A., 1992, Cutting performance of CBN tools in machining of nickel-based superalloy, *J. Precis, Eng.* **58: (10)**: 63-68.
- Sims, C.T., Hagel, W.C., 1972, *The Superalloys Wiley*, New York 25.
- Şahin, Y., 2000, Talas Kaldırma Prensipleri 1, *Nobel Yayın Dağıtım* 45-46.
- Şahin, Y., 2001, Talaş kaldırma prensipleri 2, *Nobel Yayın Dağıtım* 58-59.
- Tali D., 2016, *Rene 41 süperalaşımının işlenebilirliğinin farklı torna parametrelerinde incelenmesi*, (doktora tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir,.
- Taylan, D. 2009. *Taguchi Deney Tasarım Uygulaması*, (yüksek lisans tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 33-34
- Wang, Z. M., Ph.D Thesis, 1997, *South Bank University*, London, 78-79.
- Warbuton, P., 1967 Problems of Machining Nickel-Based Alloys, *Iron and Steel Institute, Special Report 94*, 151-160.
- White, C. H., 1986 Nickel Base Alloys, *Wiggin Alloy* 12.
- Yang, W.H., Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi Method, *Journal of Materials Processing Technology*, Taiwan.

## EKLER



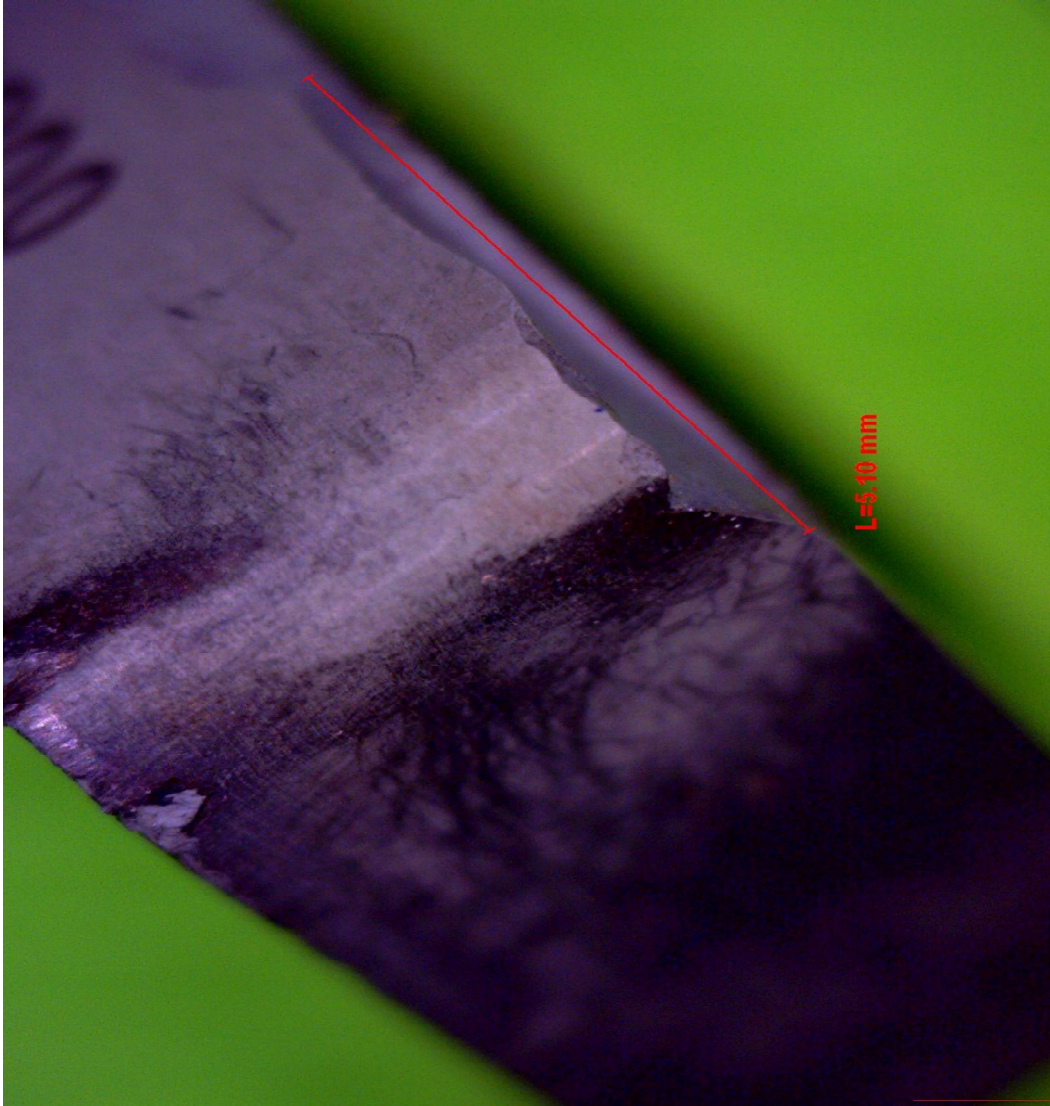
## Ek 1. İncoloy 901 Deney 1 Kesici Uç Aşınması

<b>KY4300 kesici takım</b>									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D1	0.100	200	403.39	290.49	<b>555.96</b>	0.661	0.67	0.681	<b>0.671</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, Çentik				
Aşınma yorumu					Yanak aşınması ve çentik oluşmuştur.				



## Ek 2. İncoloy 901 Deney 2 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D2	0.125	200	382.78	263.01	<b>625.82</b>	1.369	1.328	1.472	<b>1.390</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				





## Ek 3. İncoloy 901 Deney 3 Kesici Uç Aşınması

<b>KY4300 kesici takım</b>									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D3	0.150	200	417.63	285.89	<b>710.18</b>	1.325	1.198	1.092	<b>1.205</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu					İki yerde çentik aşınması olmuştur.				



## Ek 4. İncoloy 901 Deney 4 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D4	0.100	230	357.4	221.81	<b>542.04</b>	0.538	0.881	0.602	<b>0.674</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Çentik aşınması				
Aşınma yorumu					Küçük bir çentik aşınması olmuştur.				





## Ek 5. İncoloy 901 Deney 5 Kesici Uç Aşınması

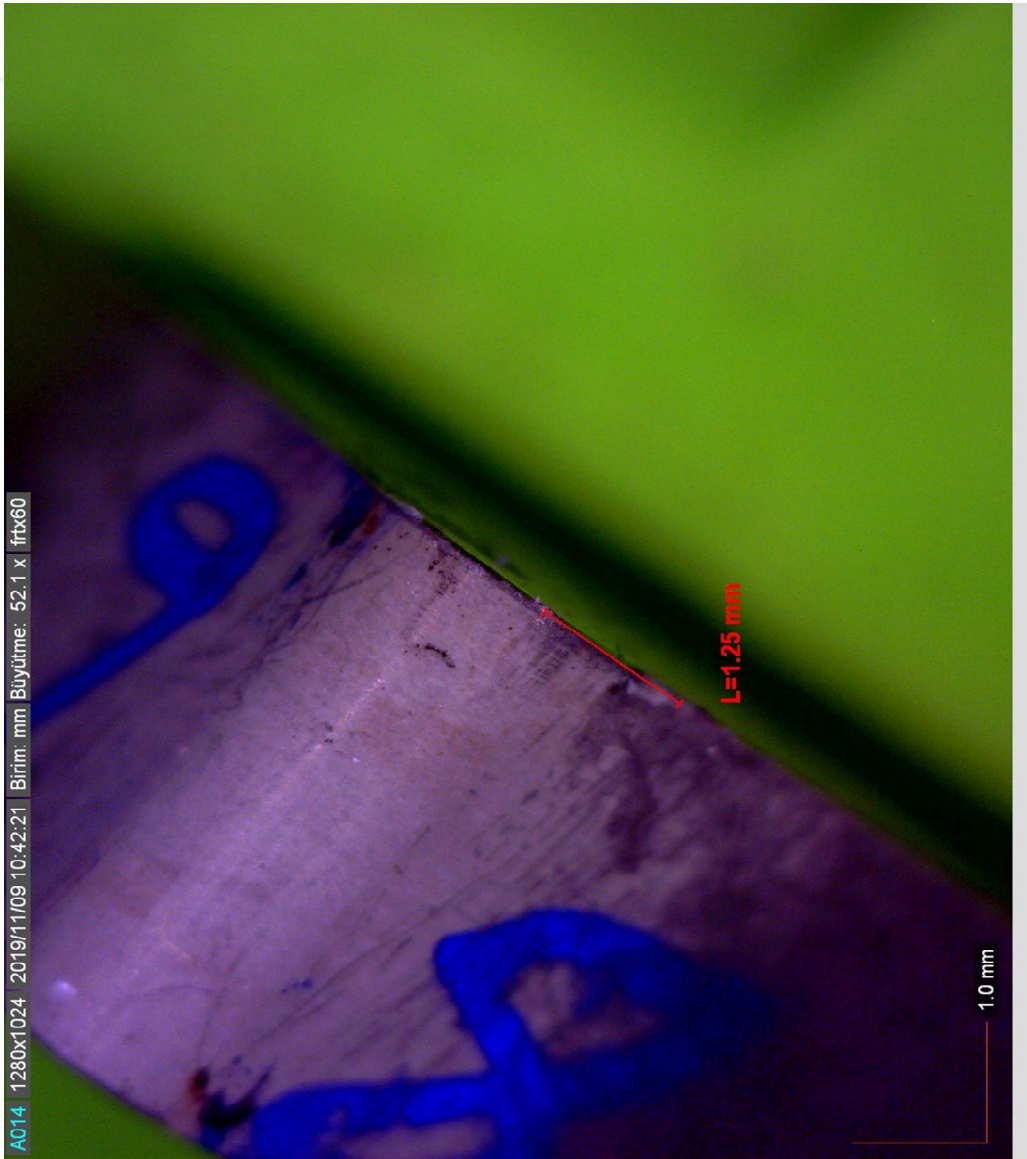
KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D5	0.125	230	387.15	254.84	<b>622.92</b>	1.005	0.969	1.15	<b>1.041</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu					Küçük bir çentik aşınması olmuştur.				





## Ek 6. İncoloy 901 Deney 6 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D6	0.150	230	393.31	263.94	<b>687.08</b>	1.221	1.473	1.166	<b>1.287</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu					Küçük bir çentik aşınması olmuştur.				



## Ek 7. İncoloy 901 Deney 7 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D7	0.100	260	330.97	219.12	<b>526.48</b>	1.257	1.505	1.434	<b>1.399</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, Deformasyon				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca uç deforme olmuştur.						





## Ek 8. İncoloy 901 Deney 8 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D8	0.125	260	356.85	260.56	<b>609.9</b>	2.239	2.261	2.134	<b>2.211</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması,				
Aşınma yorumu					Küçük bir yanak aşınması oluşmuştur.				



## Ek 9. İncoloy 901 Deney 9 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D9	0.150	260	412.16	276.29	<b>693.68</b>	1.524	1.679	1.678	<b>1.627</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 10. İncoloy 901 Deney 10 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D10	0.100	200	495.26	291.14	<b>598.09</b>	0.921	0.876	0.958	<b>0.918</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 11. İncoloy 901 Deney 11 Kesici Uç Aşınması

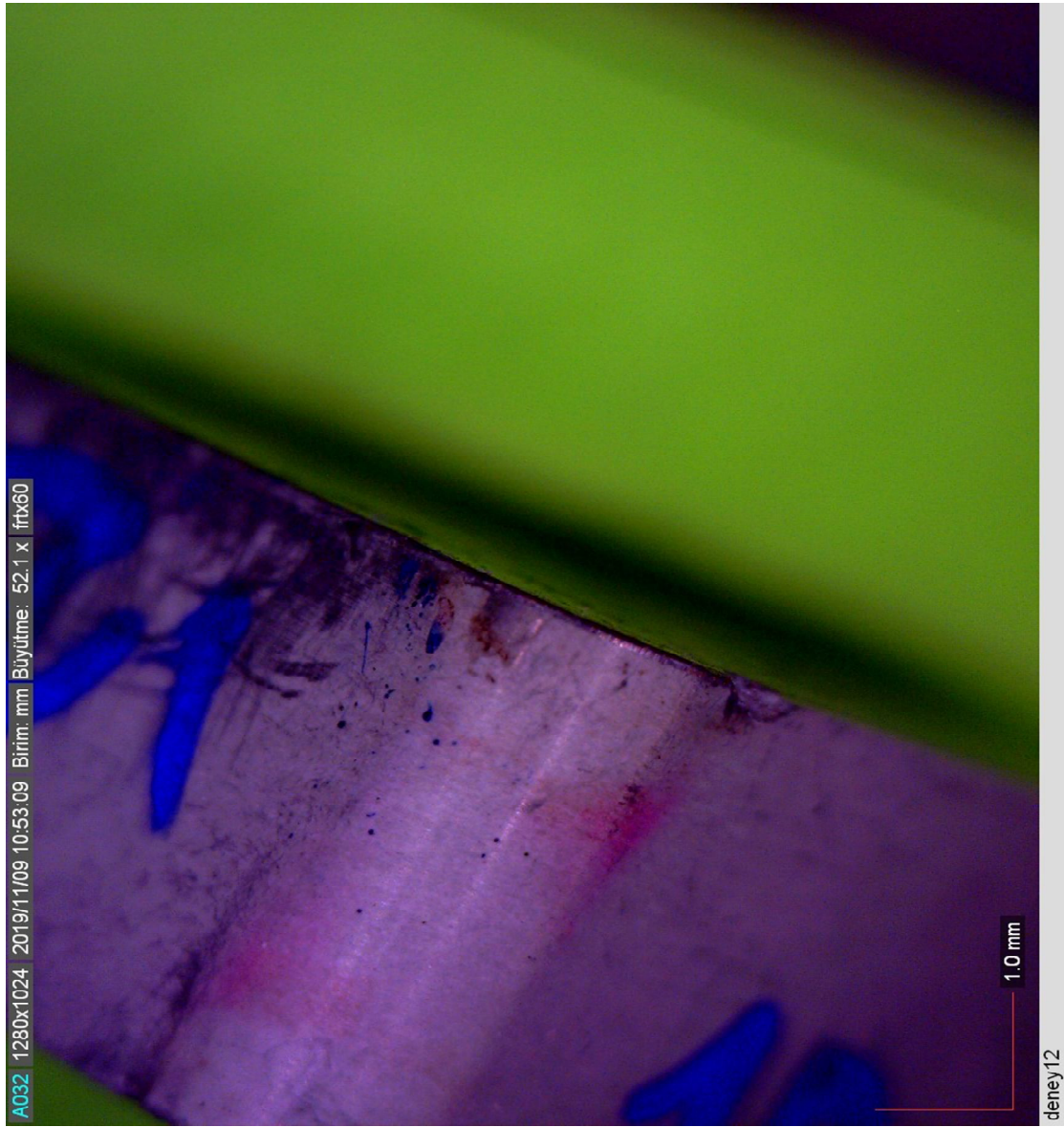
KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D11	0.125	200	405.17	279.23	<b>640.23</b>	0.737	0.726	0.722	<b>0.728</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 12. İncoloy 901 Deney 12 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D12	0.150	200	395.68	273.38	<b>711.82</b>	1.446	1.421	1.409	<b>1.425</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 13. İncoloy 901 Deney 13 Kesici Uç Aşınması

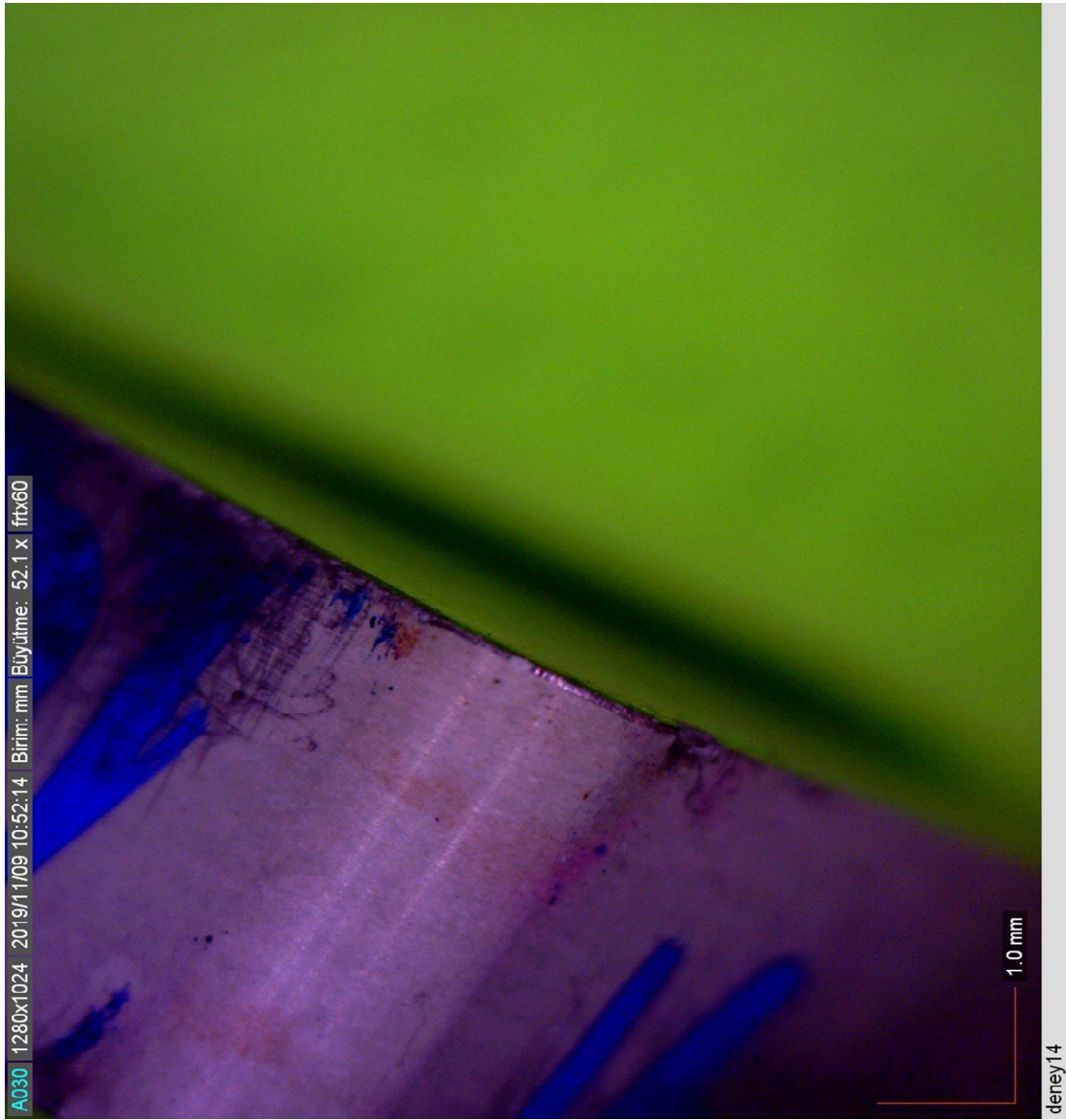
KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D13	0.100	230	420	272.3	<b>548.39</b>	0.77	0.833	0.818	<b>0.807</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 14. İncoloy 901 Deney 14 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D14	0.125	230	414.32	279.4	<b>623.59</b>	1.154	1.237	1.14	<b>1.177</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 15. İncoloy 901 Deney 15 Kesici Uç Aşınması

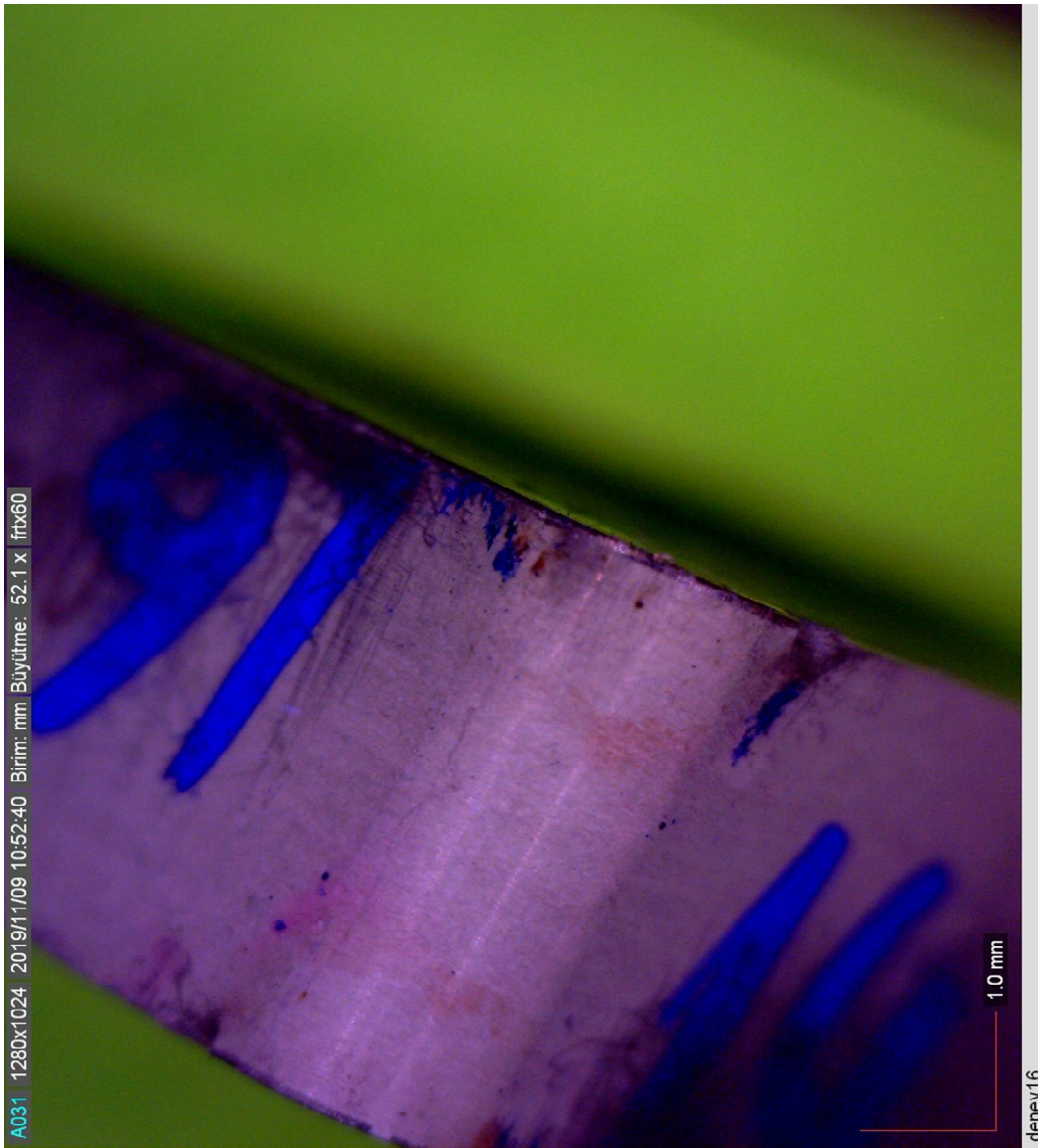
KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D15	0.150	230	470.43	319.79	<b>714.1</b>	2.039	2.253	2.053	<b>2.115</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 16. İncoloy 901 Deney 16 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	Fx(N) Ff	Fy(N) Fr	Fz(N) Fc	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D16	0.100	260	403.35	260.91	<b>548.8</b>	0.813	0.734	0.863	<b>0.803</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 17. İncoloy 901 Deney 17 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D17	0.125	260	347.85	252.69	<b>604.13</b>	1.292	1.335	1.283	<b>1.303</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 18. İncoloy 901 Deney 18 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D18	0.150	260	397.05	293.71	<b>695.56</b>	1.489	1.432	1.449	<b>1.457</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 19. İncoloy 901 Deney 19 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	Fx(N) Ff	Fy(N) Fr	Fz(N) Fc	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D19	0.100	200	486.73	288.29	<b>608.12</b>	1.23	1.034	1.062	<b>1.109</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





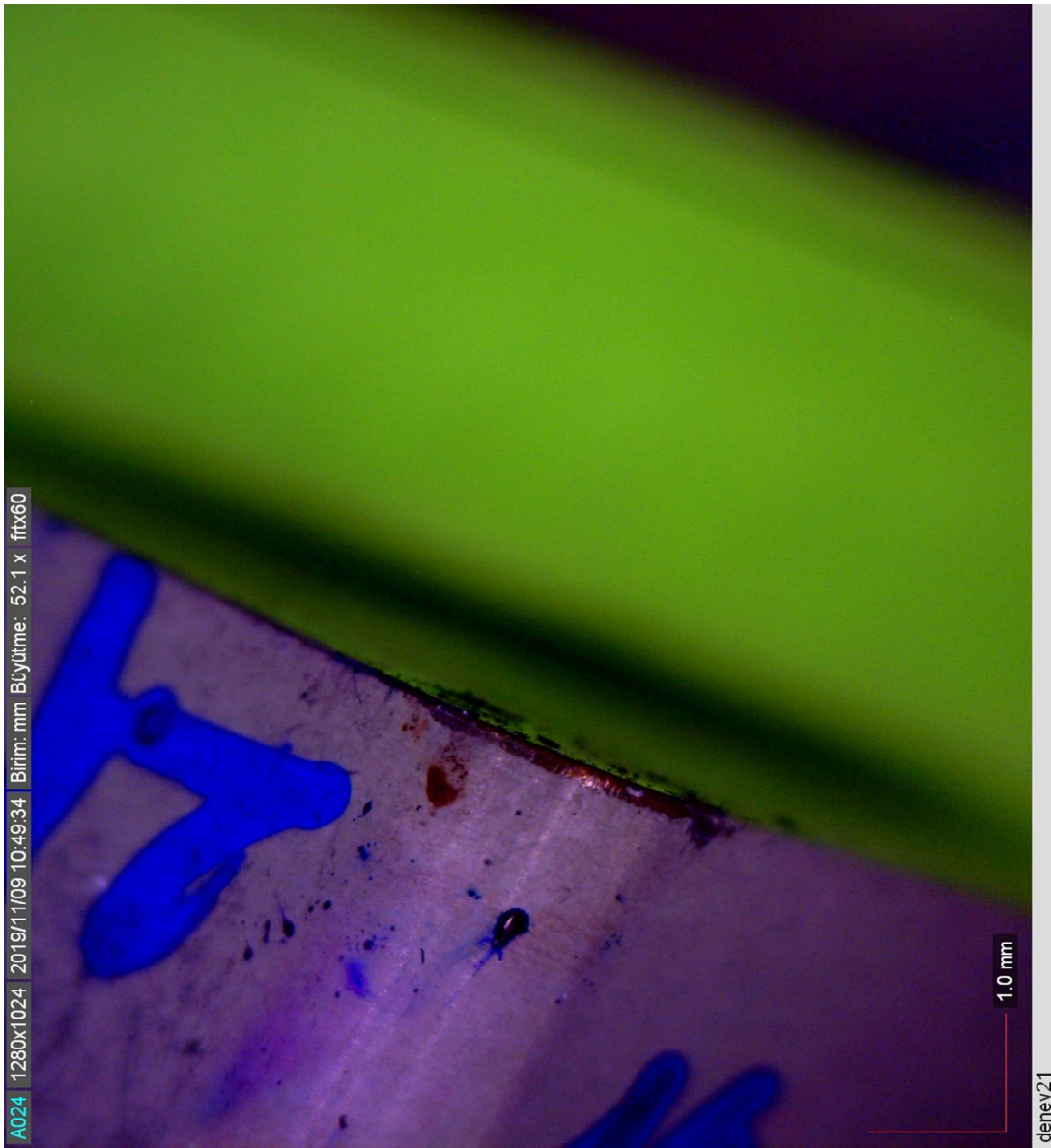
## Ek 20. İncoloy 901 Deney 20 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D20	0.125	200	492.66	301.55	<b>680.81</b>	1.318	1.31	1.232	<b>1.287</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 21. İncoloy 901 Deney 21 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D21	0.150	200	499.13	346.59	<b>757.01</b>	1.374	1.262	1.295	<b>1.310</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





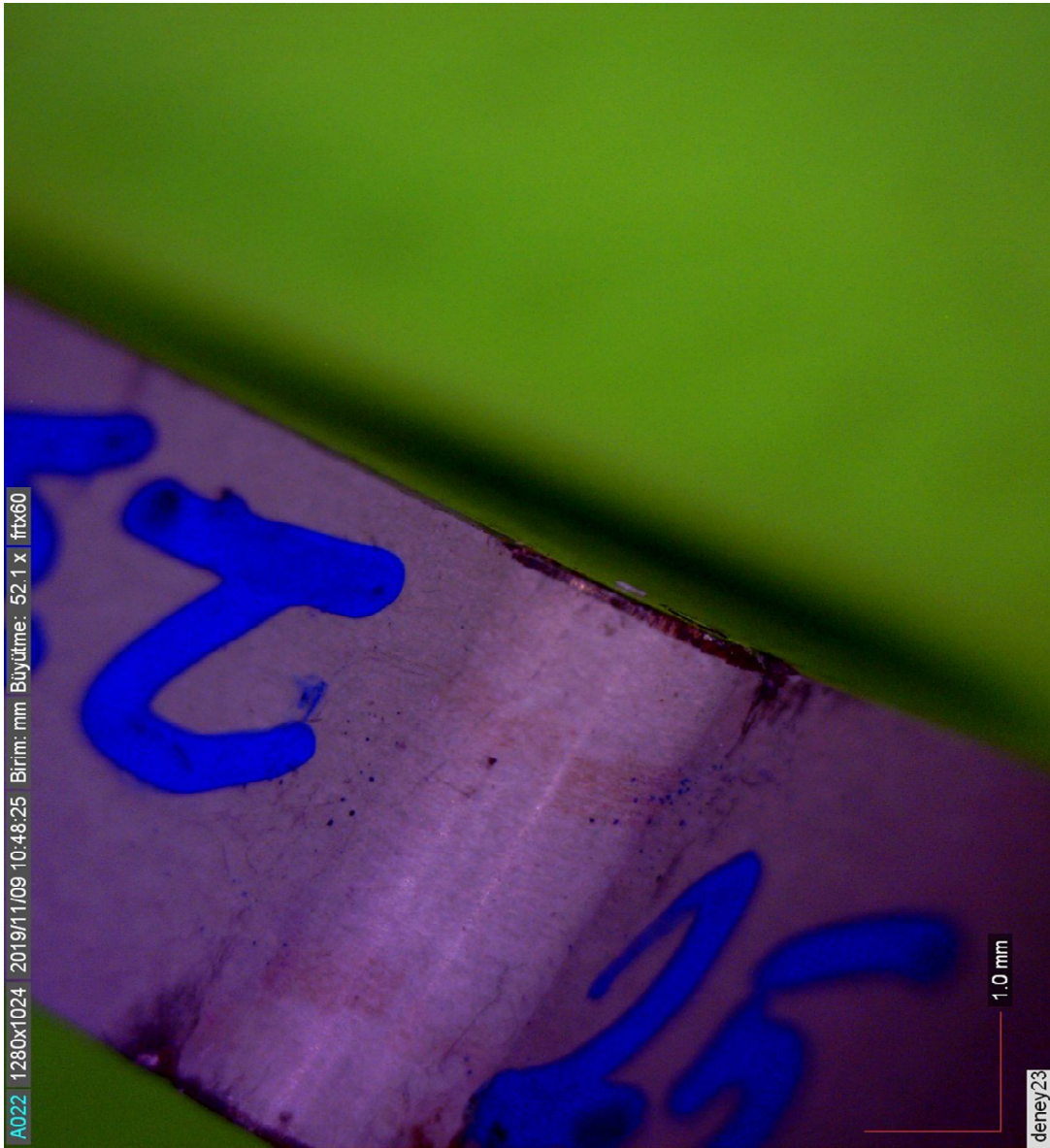
## Ek 22. İncoloy 901 Deney 22 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D22	0.100	230	480.38	300.97	<b>593.34</b>	1.289	1.529	1.636	<b>1.485</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 23. İncoloy 901 Deney 23 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	Fx(N) Ff	Fy(N) Fr	Fz(N) Fc	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D23	0.125	230	493.12	301.78	<b>671.65</b>	1.138	1.029	0.962	<b>1.043</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 24. İncoloy 901 Deney 24 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D24	0.150	230	497.9	331.18	<b>741.55</b>	1.341	1.861	1.709	<b>1.637</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 25. İncoloy 901 Deney 25 Kesici Uç Aşınması

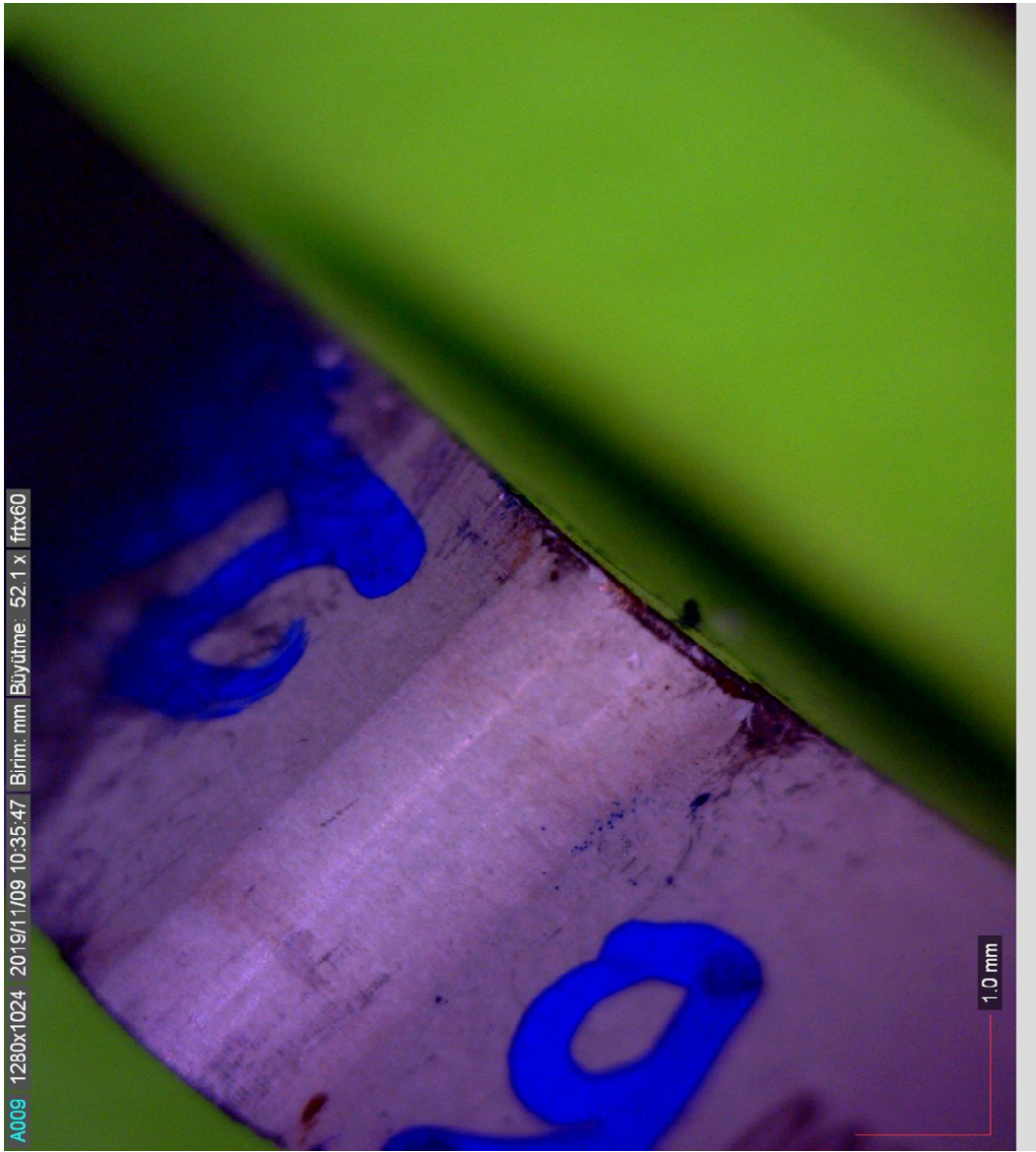
KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D25	0.100	260	396.62	279.98	<b>549.62</b>	1.014	1.057	1.008	<b>1.026</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





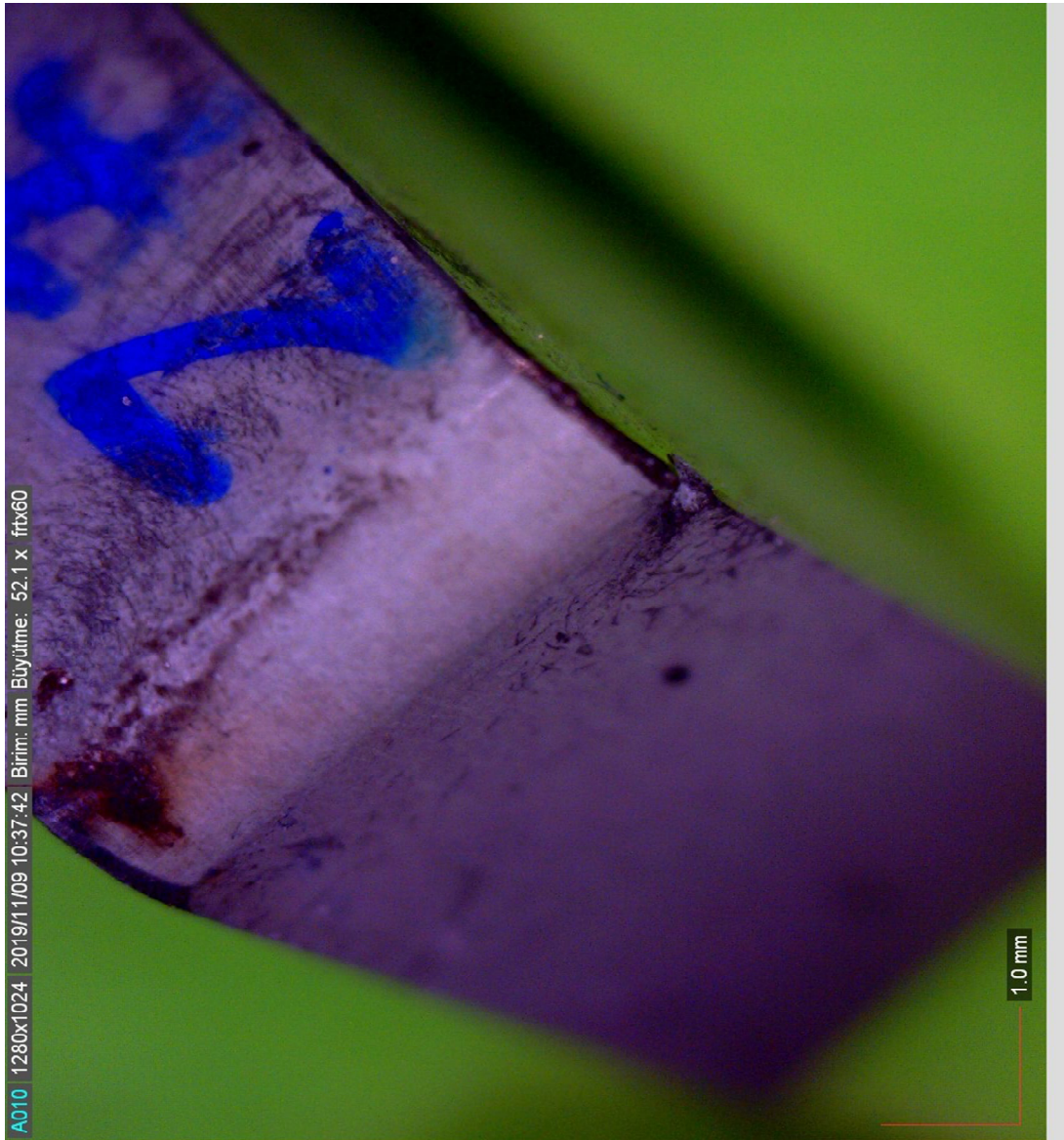
## Ek 26. İncoloy 901 Deney 26 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D26	0.125	260	460.64	292.4	<b>654.69</b>	1.321	1.211	1.24	<b>1.257</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 27. İncoloy 901 Deney 27 Kesici Uç Aşınması

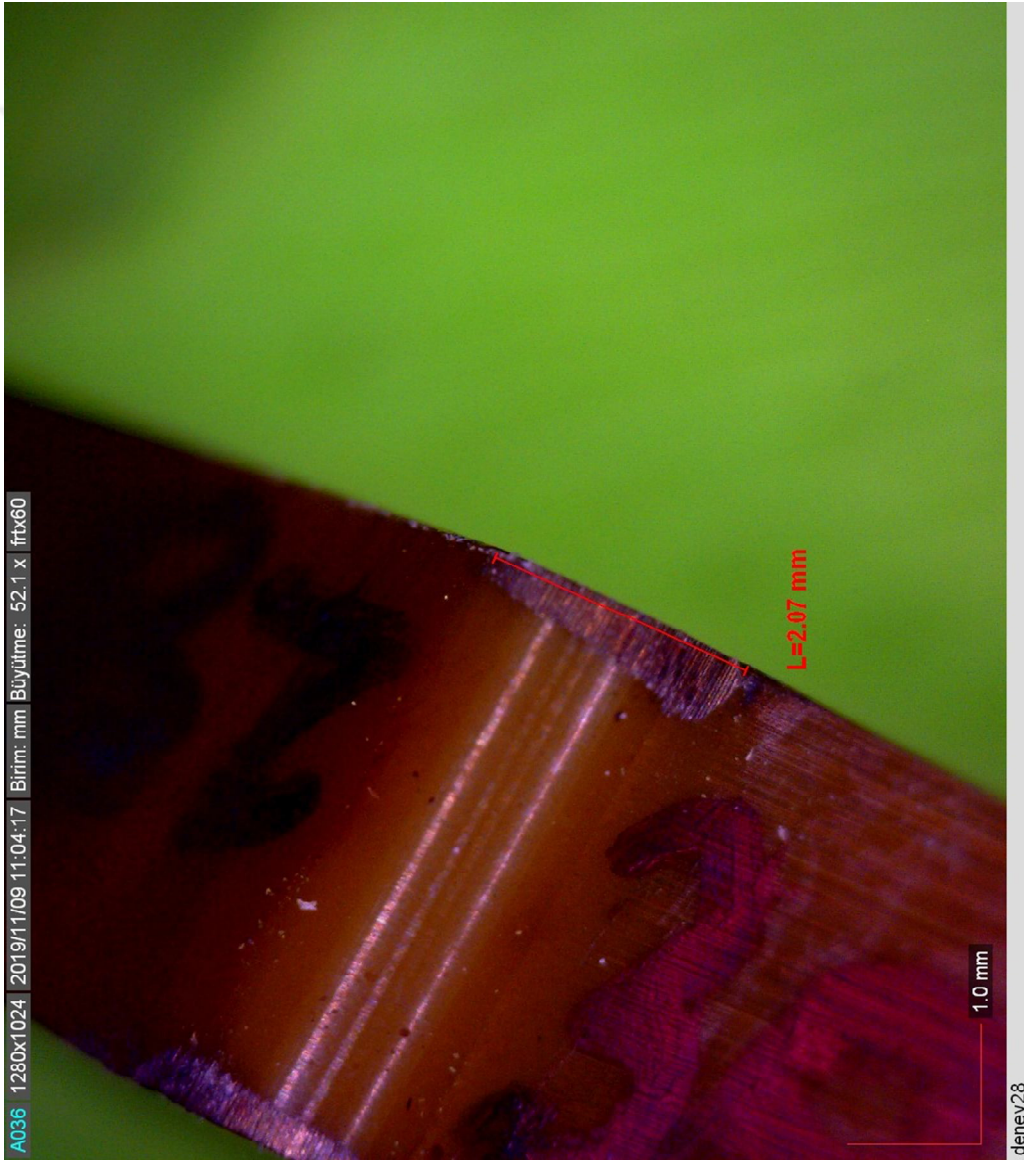
KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D27	0.150	260	461.15	313.49	<b>713.44</b>	1.701	1.433	1.318	<b>1.484</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Yanak aşınması olmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 28. Rene 41 Deney 28 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D28	0.100	200	372.92	301.8	<b>564.55</b>	1.174	1.23	1.174	<b>1.193</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				



## Ek 29. Rene 41 Deney 29 Kesici Uç Aşınması

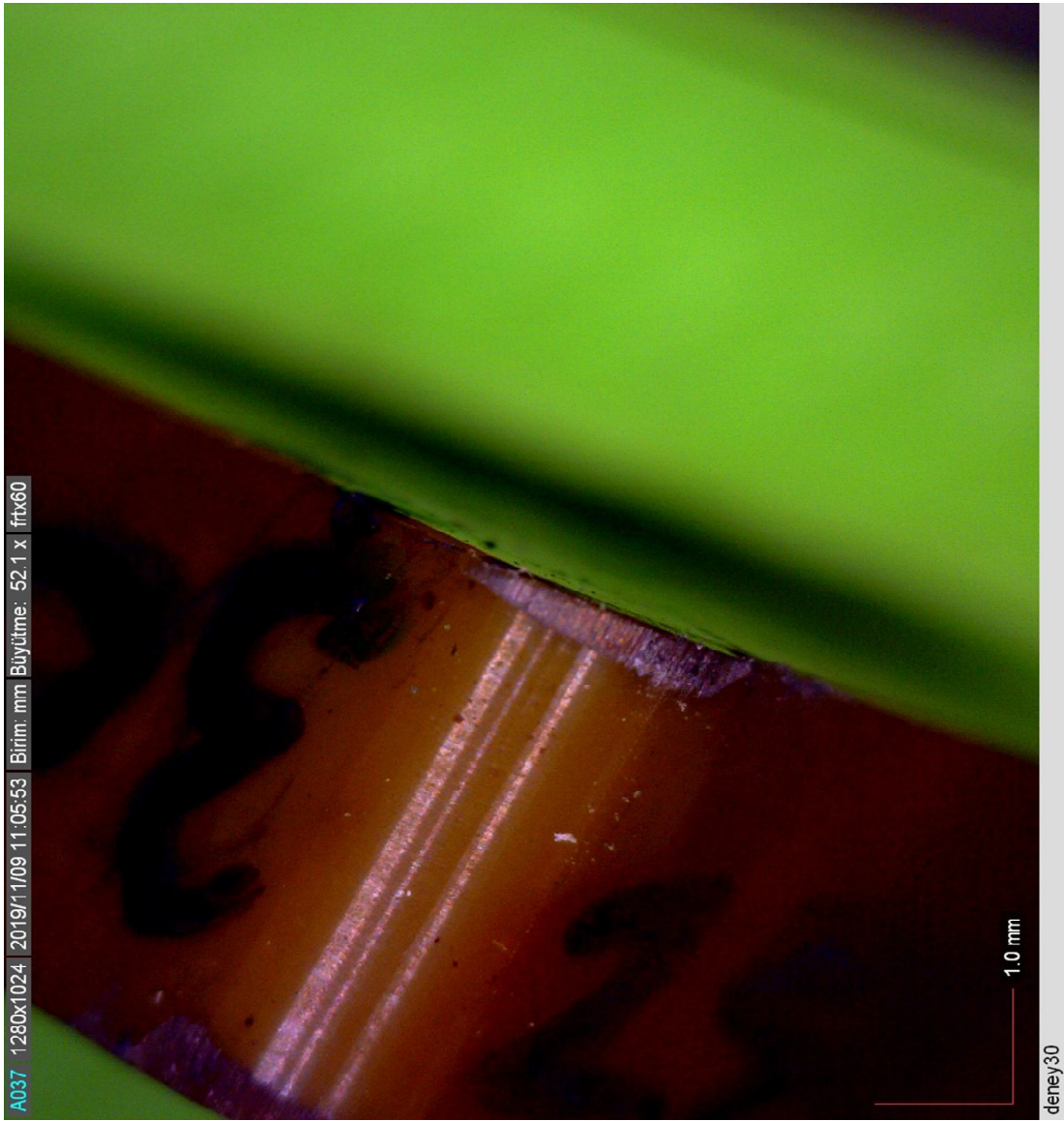
KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D29	0.125	200	365.23	266.09	<b>644.7</b>	1.413	1.213	1.216	<b>1.281</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				





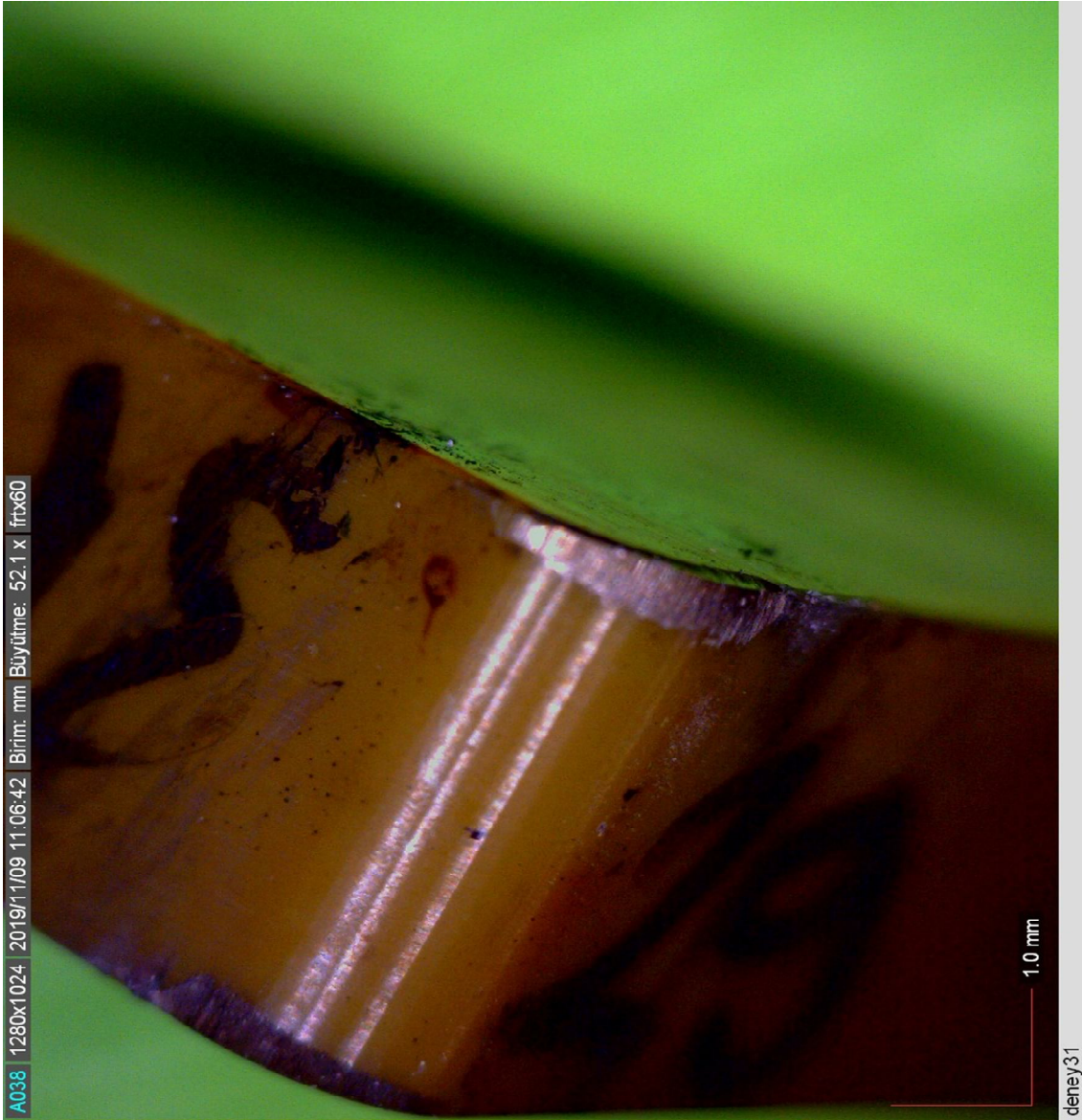
## Ek 30. Rene 41 Deney 230 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D30	0.150	200	383.45	292.22	<b>729.64</b>	1.293	1.298	1.27	<b>1.287</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				



## Ek 31. Rene 41 Deney 31 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D31	0.100	230	346.37	240.99	<b>562.07</b>	1.323	1.343	1.458	<b>1.375</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





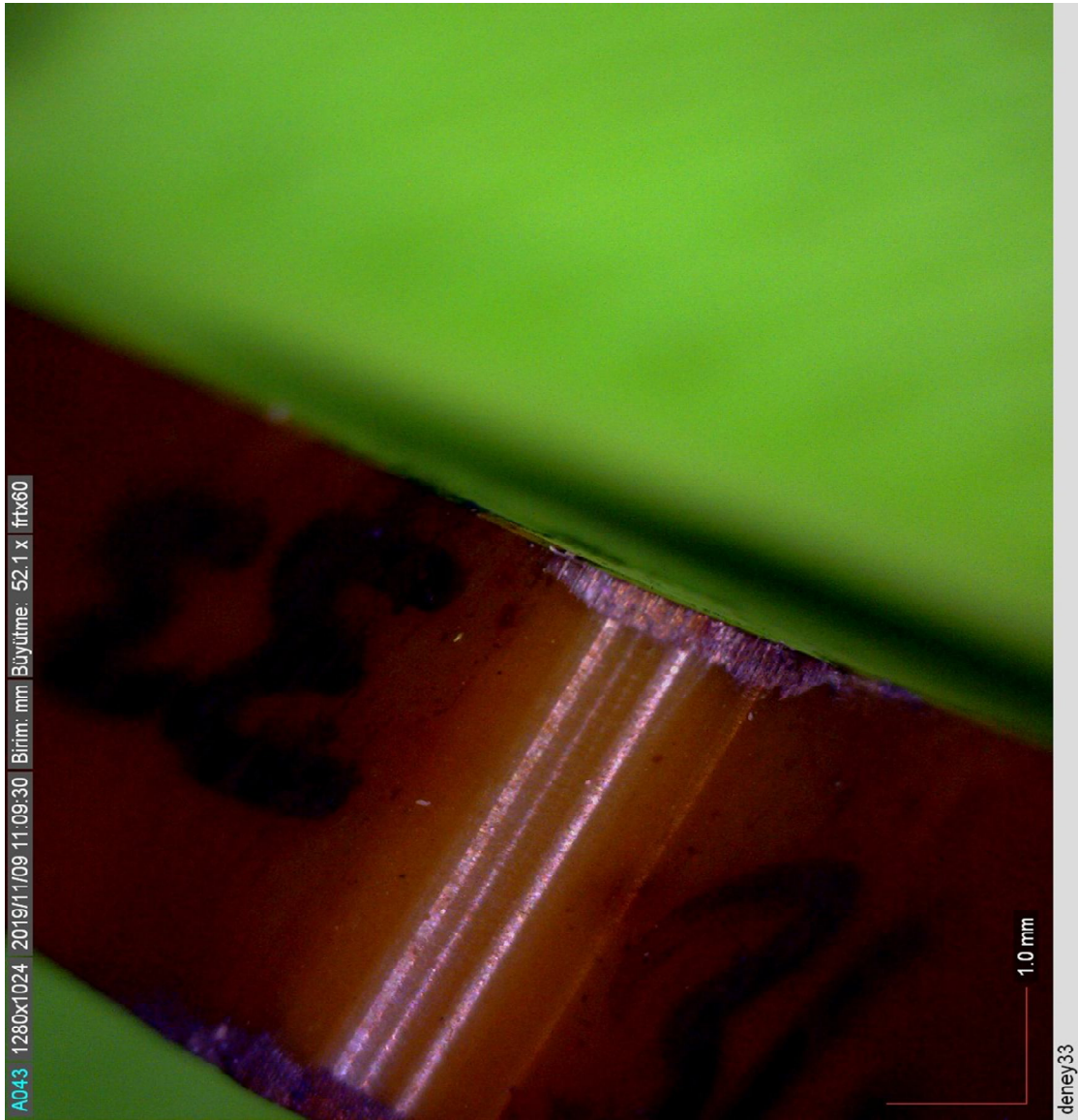
## Ek 32. Rene 41 Deney 32 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D32	0.125	230	353.51	251.61	<b>635.53</b>	0.923	1.001	0.962	<b>0.962</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				



## Ek 33. Rene 41 Deney 33 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D33	0.150	230	391.18	282.89	717.1	1.187	1.211	1.305	1.234
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 34. Rene 41 Deney 34 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D34	0.100	260	335.98	227.96	<b>551.73</b>	0.996	0.954	0.848	<b>0.933</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





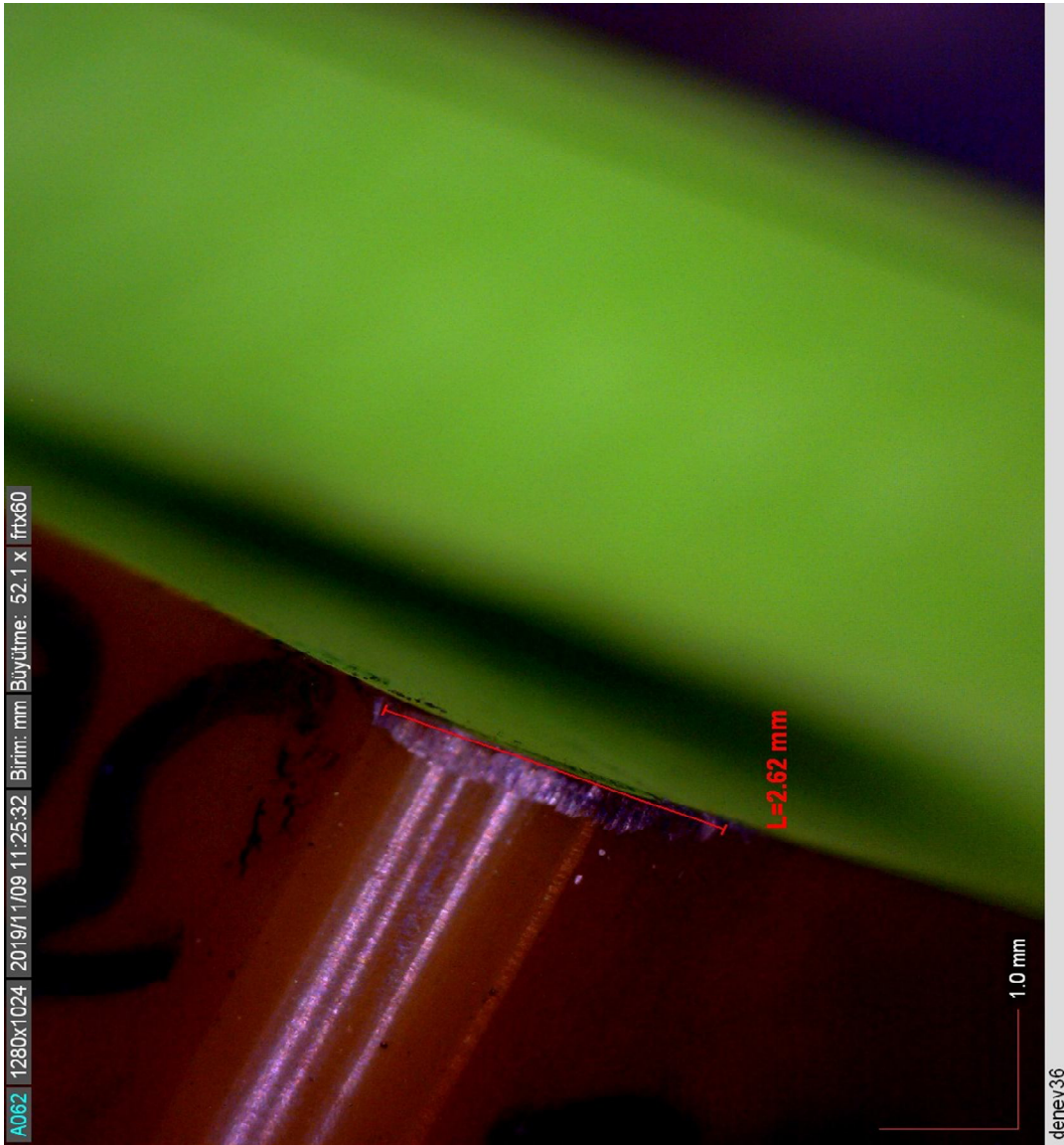
## Ek 35. Rene 41 Deney 35 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D35	0.125	260	366.49	246.29	<b>628.79</b>	0.965	1.305	1.063	<b>1.111</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 36. Rene 41 Deney 36 Kesici Uç Aşınması

KY4300 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D36	0.150	260	364.88	253.15	<b>694.91</b>	1.021	1.003	0.986	<b>1.003</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması,				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				



## Ek 37. Rene 41 Deney 37 Kesici Uç Aşınması

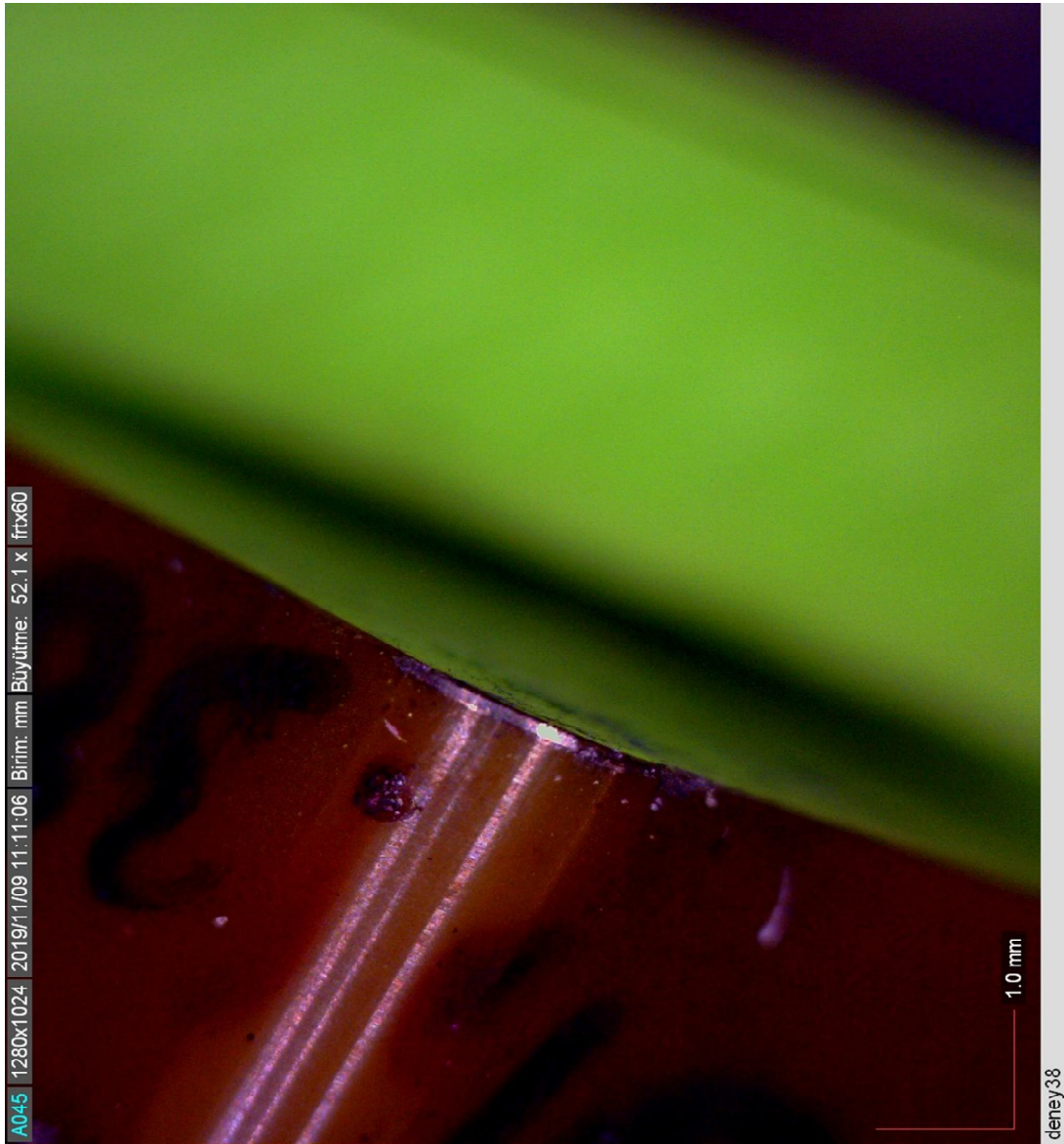
KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D37	0.100	200	438.45	291.53	<b>577.91</b>	1.348	1.321	1.32	<b>1.330</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 38. Rene 38 Deney 38 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D38	0.125	200	467.27	324.24	<b>662.01</b>	1.34	1.368	1.255	<b>1.321</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 39. Rene 41 Deney 39 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D39	0.150	200	493.92	342.86	<b>738.19</b>	1.236	0.908	0.91	<b>1.018</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 40. Rene 41 Deney 40 Kesici Uç Aşınması

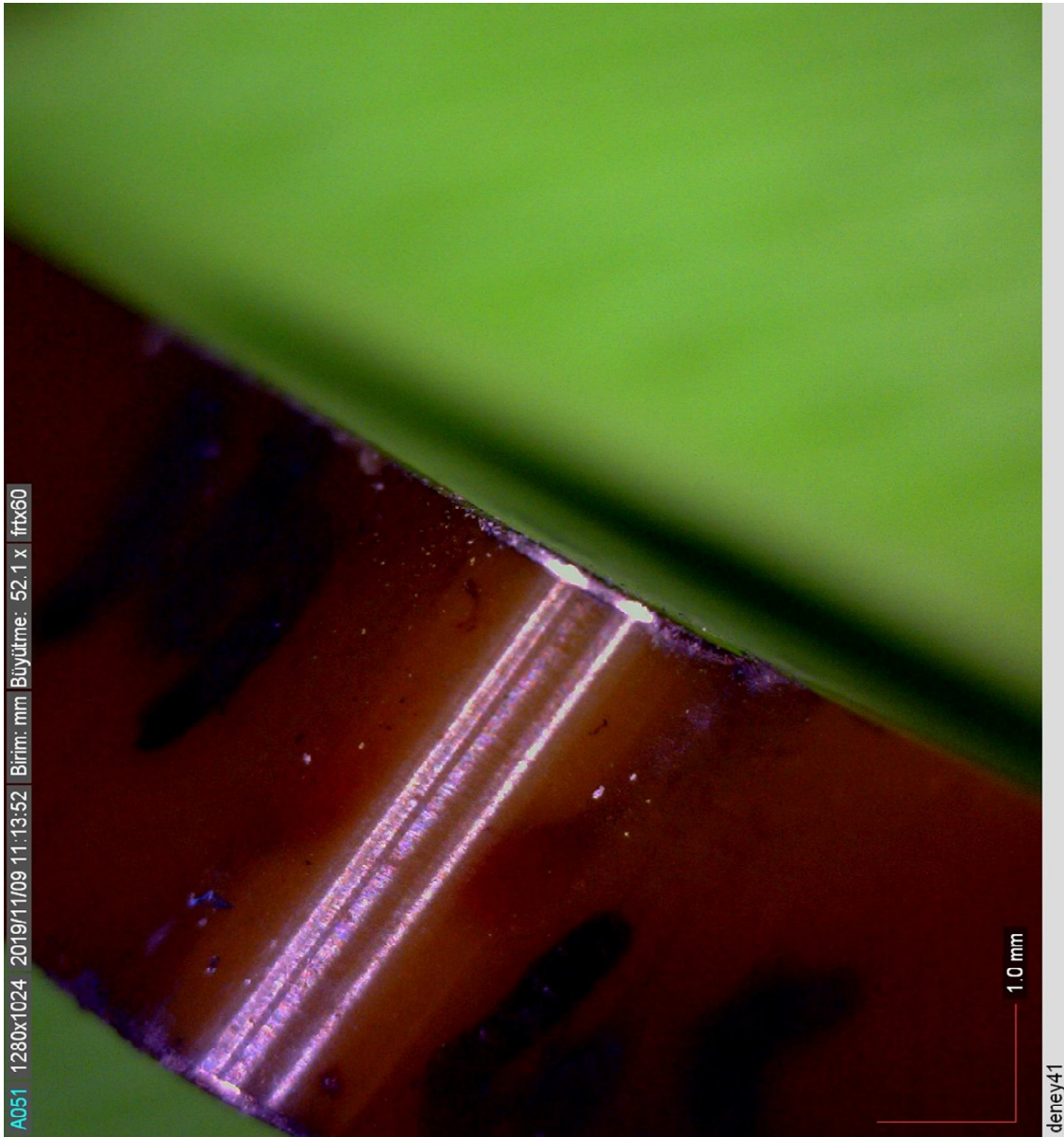
KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D40	0.100	230	392.55	259.16	<b>553.39</b>	0.988	1.019	0.948	<b>0.985</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





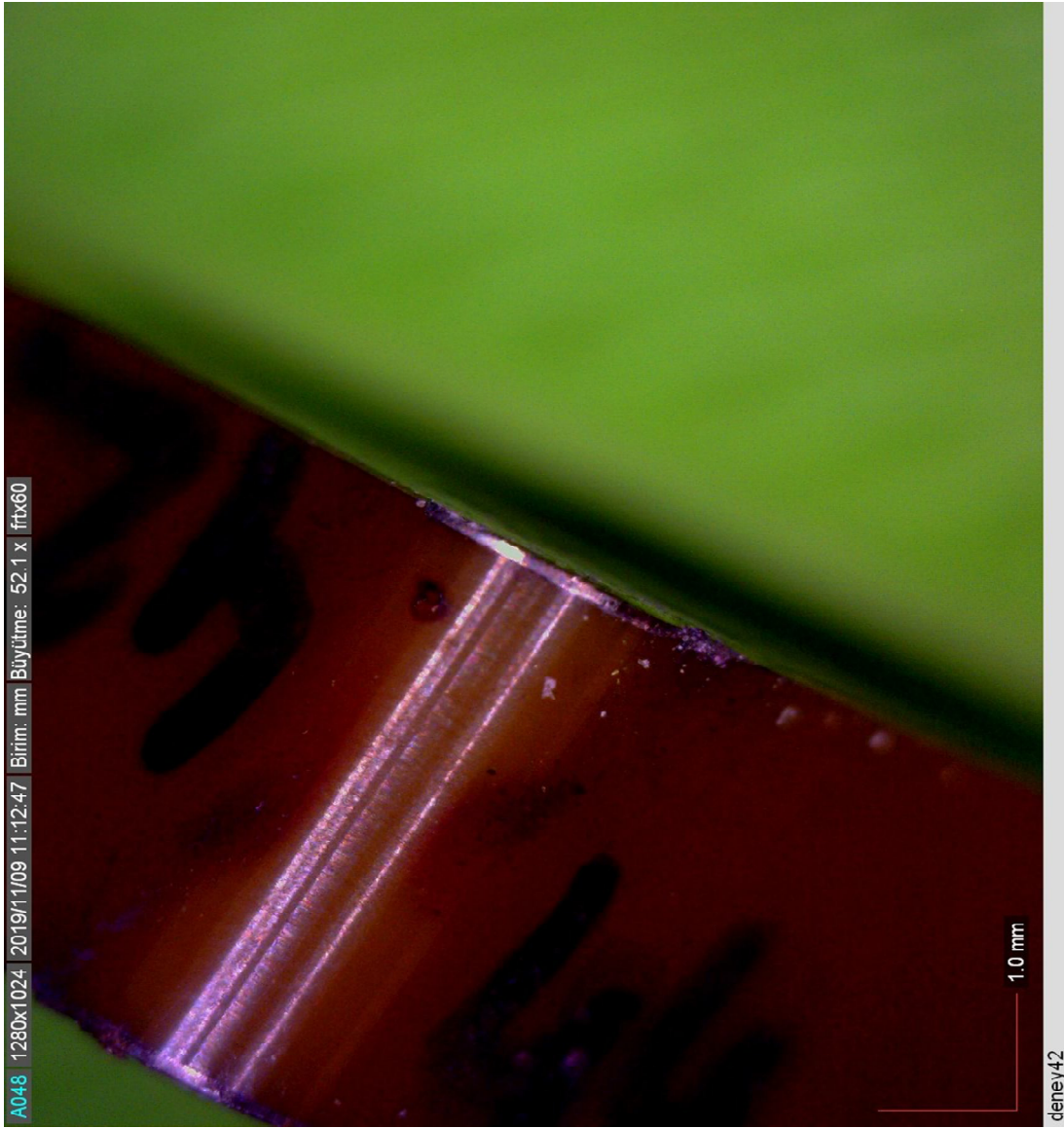
## Ek 41. Rene 41 Deney 41 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D41	0.125	230	454.52	294.05	<b>651.51</b>	0.861	0.97	0.957	<b>0.929</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 42. Rene 41 Deney 42 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D42	0.150	230	475.56	321.05	<b>714.77</b>	1.342	1.416	1.429	<b>1.396</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması,				
Aşınma yorumu					Yanak aşınması oluşmuştur.				





## Ek 43. Rene 41 Deney 43 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D43	0.100	260	397.98	270.41	<b>549.49</b>	1.131	0.936	1.202	<b>1.090</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 44. Rene 41 Deney 44 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D44	0.125	260	446.25	305.19	<b>636.77</b>	1.097	1.157	1.208	<b>1.154</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik ve deformasyon oluşmuştur.						



## Ek 45. Rene 41 Deney 45 Kesici Uç Aşınması

KYS30 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D45	0.150	260	477.39	338.88	<b>706.61</b>	1.374	1.471	1.389	<b>1.411</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur.				





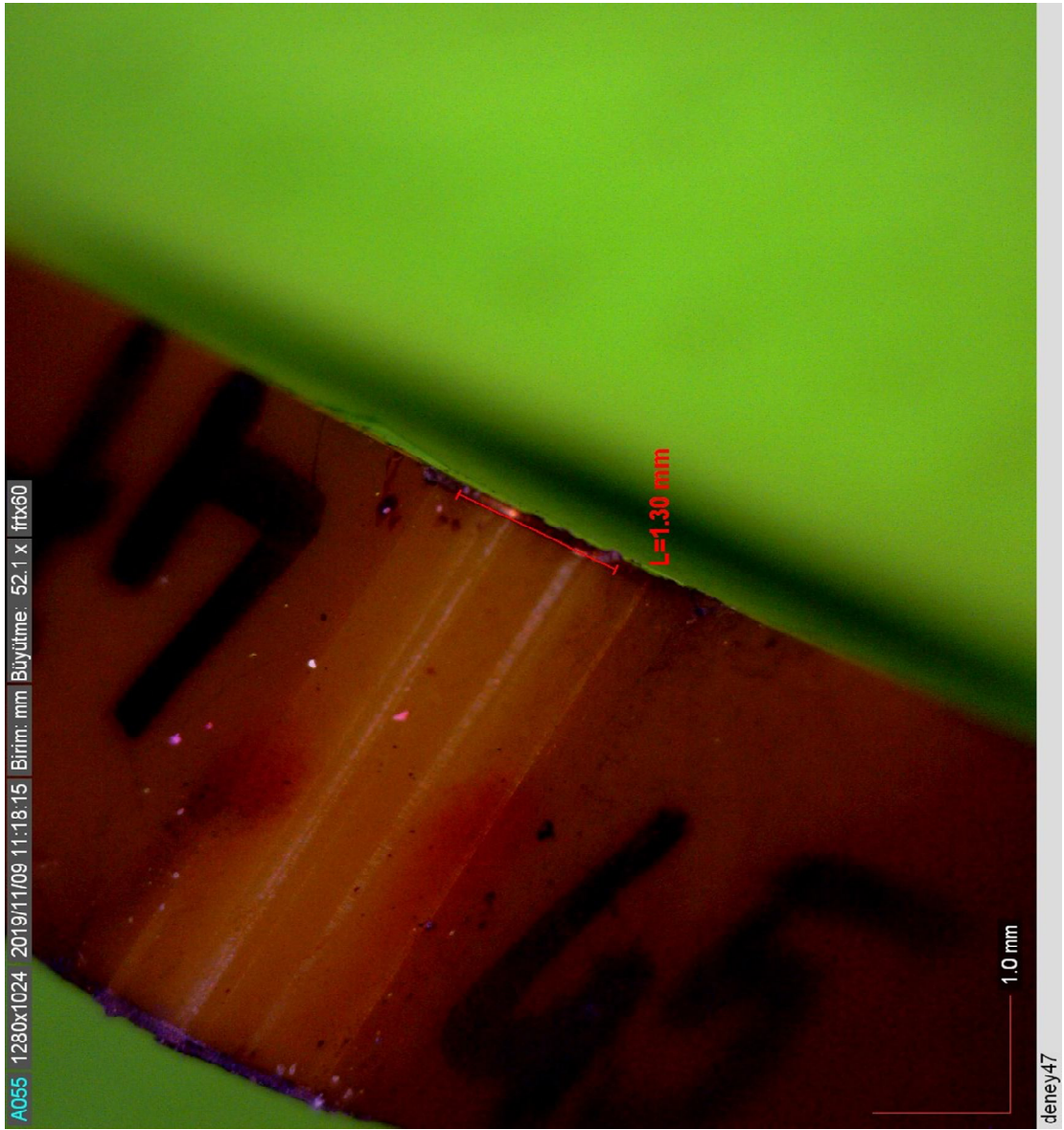
## Ek 46. Rene 41 Deney 46 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D46	0.100	200	468.42	308.52	<b>600.31</b>	1.261	0.864	1.157	<b>1.094</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Uzun bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik ve deformasyon oluşmuştur.						



## Ek 47. Rene 41 Deney 47 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D47	0.125	200	474.23	332.86	<b>673.3</b>	0.951	1.202	1.187	<b>1.113</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Küçük bir yanak aşınması oluşmuştur.				





## Ek 48. Rene 41 Deney 48 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D48	0.150	200	477.2	349.87	<b>737.92</b>	1.066	1.048	1.122	<b>1.079</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması, çentik				
Aşınma yorumu			Küçük yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 49. Rene 41 Deney 49 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D49	0.100	230	430.97	298.06	<b>582.27</b>	1.447	1.233	1.686	<b>1.455</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Küçük bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						





## Ek 50. Rene 41 Deney 50 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D50	0.125	230	475.94	321.99	<b>662.53</b>	0.702	0.918	0.822	<b>0.814</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Çentik				
Aşınma yorumu					Küçük bir çentik oluşmuştur.				



## Ek 51. Rene 41 Deney 51 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D51	0.150	230	450.07	362.71	<b>714.22</b>	1.062	1.221	1.196	<b>1.160</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Küçük bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik ve deformasyon oluşmuştur.						



## Ek 52. Rene 41 Deney 52 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D52	0.100	260	352.29	279.58	<b>554.02</b>	0.843	0.854	0.866	<b>0.854</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Çentik				
Aşınma yorumu					Küçük bir çentik oluşmuştur.				





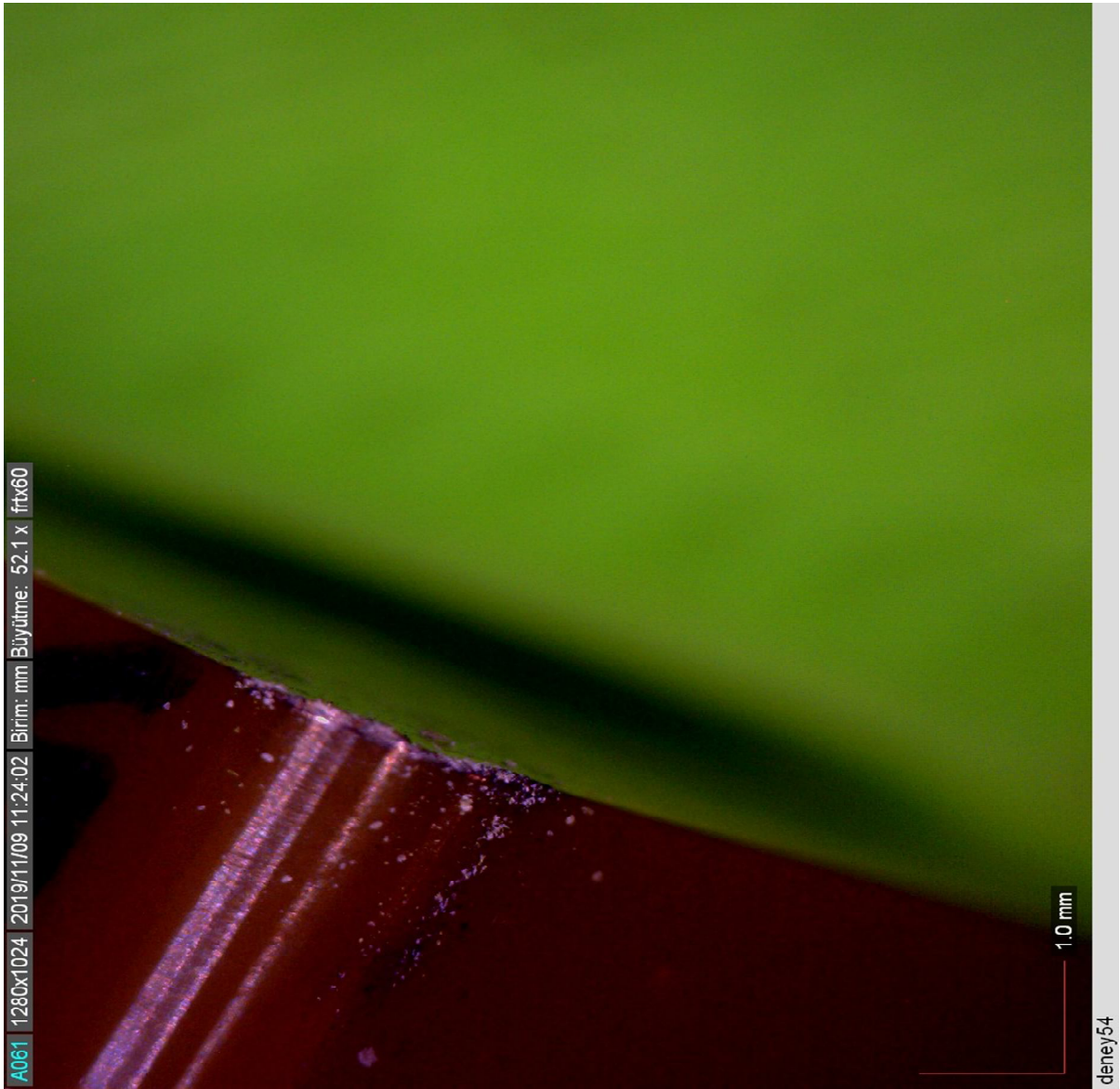
## Ek 53. Rene 41 Deney 53 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	F <sub>x</sub> (N) F <sub>f</sub>	F <sub>y</sub> (N) F <sub>r</sub>	F <sub>z</sub> (N) F <sub>c</sub>	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D53	0.125	260	466.1	317.85	<b>649.46</b>	0.883	0.985	0.9	<b>0.923</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi			Yanak aşınması, çentik						
Aşınma yorumu			Küçük bir yanak aşınması oluşmuştur. Ayrıca çentik oluşmuştur.						



## Ek 54. Rene 41 Deney 54 Kesici Uç Aşınması

KYS25 kesici takım									
Deney No	İlerleme mm/dev.	Kes. Hızı (m/dak)	Fx(N) Ff	Fy(N) Fr	Fz(N) Fc	R <sub>a1</sub> (μm)	R <sub>a2</sub> (μm)	R <sub>a3</sub> (μm)	R <sub>aort</sub> (μm)
D54	0.150	260	466.28	337.85	<b>696.46</b>	0.607	0.739	0.749	<b>0.698</b>
Oluşan Aşınma Çeşidi					Yanak aşınması				
Aşınma yorumu					Küçük bir yanak aşınması oluşmuştur.				







## ÖZ GEÇMİŞ

1983 yılı Hakkari’de doğumluyum. İlk ve orta öğrenimimi Hakkari’de, lise öğrenimini ise Erzincan İMKB Nevzat Ayaz Fen Lisesinde tamamladım. 2007 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldum. İlk iş olarak Van ilinde Doğalgaz İç Tesisat Mühendisliği ile iş hayatında başladım. Daha sonra Van İl Milli Eğitim Müdürlüğü’ne Makine Mühendisi olarak atandım. Halen Van İl Milli Eğitim Müdürlüğü’ndeki vazifesime devam etmekteyim.





T.C  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 04/12/2019

Tez Başlığı / Konusu:

Süper Alaşımlardan Incoloy 901 ve Rene 41'in Tornalanmasında Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Deneysel Tasarımı İle İncelenmesi


Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 116 sayfalık kısmına ilişkin, 04 / 12 / 2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7 (Yedi) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

04.12.2019  
  
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Recep AKIN

Öğrenci No: 7911710016

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Makine Mühendisliği

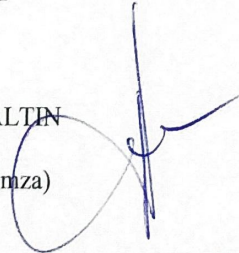
Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI  
UYGUNDUR

Doç. Dr. Abdullah ALTIN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)



(Unvan, Ad Soyad, İmza)