



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESİCİ TAKIMLARA UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMİN
İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE
OPTİMİZASYONU**

AYSUN TAKMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ FUAT KARA**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESİCİ TAKIMLARA UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMİN
İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE
OPTİMİZASYONU

Aysun TAKMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARA
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARA
Düzce Üniversitesi



Prof. Dr. Halil DEMİR
Karabük Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Nursel ALTAN ÖZBEK
Düzce Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi:12 / 04 / 2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

12 Nisan 2018

Aysun TAKMAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve tez çalışmam sırasında bilgilerini ve deneyimini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana büyük bir sabırla zaman ayırıp en iyi şekilde faydalı olabilmek için yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam, danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARA'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Deney numunelerinin hazırlanmasında emeği geçen Sayın Arş. Gör. Dr. Gültekin UZUN'a, bana her konuda yardım eden Arş. Gör. Emre YÜCEL ve Arş. Gör. Ümit AĞBULUT'a, tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım kıymetli hocalarıma, teşekkür eder, saygılar sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi yardım ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme özellikle bugün hayatta olmasada her zaman yanımda olan rahmetli babam Adnan TAKMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi **BAP - 2016.07.04.508** numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

12 Nisan 2018

Aysun Takmaz

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. İŞLENEBİLİRLİKLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.2. KRİYOJENİK İŞLEM İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	7
2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	18
3. TAKIM ÇELİKLERİ	23
3.1. TAKIM ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	23
3.1.1. Soğuk İş Takım Çelikleri	24
3.1.2. Soğuk İş Takım Çeliklerinin Çeşitleri	25
3.1.3. Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri.....	25
3.1.3.1. Yüksek Karbonlu ve Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri	25
3.1.3.2. Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kullanım Alanları Ve Seçimi.....	25
3.1.4. Sıcak İş Takım Çelikleri.....	25
3.1.5. Yüksek Hız Takım Çelikleri	26
3.1.6. Plastik Kalıp Takım Çelikleri.....	26
3.1.7. Özel Amaçlı Takım Çelikleri	26
4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....	27
4.1. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ.....	27
4.2. TALAŞLI İMALAT	27
4.2.1. Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Parametreleri	27
4.3. TALAŞ OLUŞUMU.....	28
4.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ	31

4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	33
5. KRİYOJENİK İŞLEM	35
5.1. KRİYOJENİK İŞLEMİN GELİŞİMSEL SÜRECİ.....	35
5.2. KRİYOJENİK İŞLEMİN UYGULANMASI.....	36
5.3. KRİYOJENİK İŞLEMİN ETKİLERİ.....	37
5.4. KRİYOJENİK İŞLEMİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI	38
6. TASARIM VE OPTİMİZASYON	39
6.1. DENEY TASARIMI	39
6.2. DENEY TASARIMI TARİHÇESİ.....	39
6.3. DENEY TASARIMI ADIMLARI	41
6.4. TAGUCHI YÖNTEMİ.....	41
6.5. TAGUCHI YÖNTEMİNİN GELİŞİMİ	42
6.5.1. Taguchi ve Kayıp Fonksiyonu	42
6.6. VARYASYON ÖLÇÜMÜ	43
6.7. TAGUCHİ'NİN SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANLARI.....	44
6.7.1. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi	45
6.7.2. Çevrim Dışı Kalite Kontrol	45
6.7.3. Sistem Tasarımı.....	45
6.7.4. Parametre Tasarımı.....	45
6.7.5. Çevrim İçi Kalite Kontrol	46
6.7.6. Robust Tasarım.....	47
6.7.7. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi.....	47
6.7.8. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi.....	47
6.7.9. Dikey Dizinler.....	48
7. MATERYAL METOD	50
7.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ	50
7.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TUTUCULAR, KESİCİ	
TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ	51
7.2.1. Takım Tutucu.....	51
7.2.2. Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri	51
7.3. KRİYOJENİK İŞLEM VE TEMPERLEME	53
7.4. TAKIM TEZGÂHI.....	54
7.5. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ	55

7.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ	57
7.7. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜMLERİ	58
7.8. SERTLİK ÖLÇÜMÜ	60
7.9. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ANALİZLERİ	61
7.10. RIETVELD ANALİZİ.....	62
7.11. TAGUCHI L ₁₆ DENEY TASARIMI.....	62
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	64
8.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DENEYSEL OPTİMİZASYONU.....	64
8.1.1. Varyans Analizi (ANOVA)	69
8.1.2. Doğrulama Deneyleri.....	70
8.2. KESME KUVVETLERİNİN DENEYSEL OPTİMİZASYONU.....	71
8.2.1. Varyans Analizi (ANOVA)	77
8.2.2. Doğrulama Deneyleri.....	78
8.3. KESİCİ TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	78
8.4. SEM, EDX VE RIETVELD ANALİZİ	101
8.5. KESİCİ TAKIMLARIN SERTLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	116
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
9.1. SONUÇLAR.....	119
9.2. ÖNERİLER	121
10.KAYNAKLAR.....	122
ÖZGEÇMİŞ	133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Kesici takım ve kaplama özellikleri .	6
Şekil 4.1. Tornalama işleminin şematik olarak gösterimi.	28
Şekil 4.2. Gerçek talaş oluşumu.....	29
Şekil 4.3. Eğik (a) ve dik kesme modelleri (b, c, d).	30
Şekil 4.4. Gerçek talaş oluşumu.....	31
Şekil 4.5. Tornalama esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni.	33
Şekil 5.1. Kriyojenik işlemin uygulandığı sistemin şeması.....	37
Şekil 6.1. Bir düzeneğin genel gösterimi.....	39
Şekil 6.2. 1950-1990 yıllarındaki yöntemin kalite sürecine katkısı.	40
Şekil 6.3. Taguchi kayıp fonksiyonu.	43
Şekil 6.4. Etkileşim grafik gösterimi.	48
Şekil 7.1. Deney numunesinin teknik resmi.	50
Şekil 7.2. Takım tutucu iki boyutlu ve perspektif resmi.	51
Şekil 7.3. Kesici takım ölçüleri.....	52
Şekil 7.4. Kriyojenik işlem süresi.....	54
Şekil 7.5. CNC torna tezgâhı.	55
Şekil 7.6. Deney düzeneği.	56
Şekil 7.7. Kesme kuvveti bileşenlerinin DynoWare programında ölçülmesi.....	57
Şekil 7.8. Yüzey Pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	57
Şekil 7.9. Aşınma ölçümlerinde kullanılacak Dino-Lite dijital mikroskobu.....	59
Şekil 7.10. Dino-Lite dijital mikroskobu ile çekilen takım aşınması resmi.	60
Şekil 7.11. Mikrosertlik ölçme cihazı.....	61
Şekil 7.12. Taramalı elektron mikroskobu.....	61
Şekil 7.13. Sem görüntüleri.	62
Şekil 8.1. İlerleme hızı ve kesici takımın Ra üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 8.2. İlerleme hızı ve kesme hızının Ra üzerindeki etkisi.....	65
Şekil 8.3. S/G oranları için ana etki grafiği (Ra).	69
Şekil 8.4. İlerleme hızı ve kesici takımın Fc üzerindeki etkisi.....	72
Şekil 8.5. İlerleme miktarı ve kesme hızının Fc üzerindeki etkisi.....	74
Şekil 8.6. S/G oranları için ana etki grafiği (Fc).....	76
Şekil 8.7. U ve UCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.....	79
Şekil 8.8. U ve UCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.....	81
Şekil 8.9. U ve UCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.....	83
Şekil 8.10. U ve UCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.....	85
Şekil 8.11. C ve CCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.....	87
Şekil 8.12. C ve CCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınmaların zamana bağlı değişimleri.....	89

Şekil 8.13. Kaplamalı ve kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/ dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.	91
Şekil 8.14. C ve CCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınmaların zamana bağlı değişimleri.	93
Şekil 8.15. 200 m/dakkesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.	95
Şekil 8.16. 200 m/dakkesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.	96
Şekil 8.17. 250 m/dakkesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.	97
Şekil 8.18. 250 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.	98
Şekil 8.19. U kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.	101
Şekil 8.20. U kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.	102
Şekil 8.21. U kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.	102
Şekil 8.22. U kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.	103
Şekil 8.23. UCTT kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.....	104
Şekil 8.24. UCTT kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.....	104
Şekil 8.25. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.....	105
Şekil 8.26. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.....	105
Şekil 8.27. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.....	106
Şekil 8.28. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınmasının EDX analizi.....	107
Şekil 8.29. C kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.	108
Şekil 8.30. C kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınmasının EDX analizi	109
Şekil 8.31. C kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme.....	110
Şekil 8.32. 250 m/dak – 0,08 dev/dak işlem yapılan C kesici takımın SEM görüntüleri.	110
Şekil 8.33. 250 m/dak – 0,08 dev/dak işlem yapılan C, kesici takımın SEM görüntüleri.	111
Şekil 8.34. 200 m/dak – 0,08 dev/dak işlem yapılan CCTT, kesici takımın SEM görüntüleri.	111
Şekil 8.35. 200 m/dak – 0,16 dev/dak işlem yapılan CCTT, kesici takımın SEM görüntüleri.	112
Şekil 8.36. CCTT kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınmasının EDX analizi.....	113
Şekil 8.37. CCTT kodlu 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.	114

Şekil 8.38. CCTT kodlu 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması	114
Şekil 8.39. Derin dağlanmış kesici takımlara ait XRD diyagramları.	115
Şekil 8.40. U, UCTT, C, CCTT karbür takımların sertlik değişimleri.	117



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin performans değerlendirilmesi.	20
Çizelge 3.1. AISI normuna göre yapılan gruplandırma ve bu grupları temsil eden harfler.	24
Çizelge 6.1. Taguchi ve Tam Faktöriyel Tasarım için kombinasyonlar.....	49
Çizelge 7.1. AISI O2 çeliğinin kimyasal bileşenleri (Ağırlıkça %).	50
Çizelge 7.2. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları.	51
Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan kesici takım türleri.....	52
Çizelge 7.4. Deney tablosu.	53
Çizelge 7.5. Kesici takımların sınıflandırılması.	54
Çizelge 7.6. CNC torna tezgâhı özellikleri.	55
Çizelge 7.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	58
Çizelge 7.8. Dino-Lite dijital mikroskobu teknik özellikleri.....	59
Çizelge 7.9. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.....	63
Çizelge 8.1. Deney tasarımı, Ra ve S/G oranları.	67
Çizelge 8.2. S/G yanıt tablosu.	68
Çizelge 8.3. Ra'nın S/G oranı için ANOVA sonuçları.....	70
Çizelge 8.4. Ra için doğrulama deney sonuçları.	71
Çizelge 8.5. Deney tasarımı, Fc ve S/G oranları.	75
Çizelge 8.6. S/G yanıt tablosu.	76
Çizelge 8.7. Ra'nın S/G oranı için ANOVA sonuçları.....	77
Çizelge 8.8. Fc için doğrulama deney sonuçları.....	78
Çizelge 8.9. U ve UCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	80
Çizelge 8.10. U ve UCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	82
Çizelge 8.11. U ve UCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	84
Çizelge 8.12. U ve UCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	86
Çizelge 8.13. C ve CCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	88
Çizelge 8.14. C ve CCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	90
Çizelge 8.15. C ve CCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	92
Çizelge 8.16. C ve CCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.	94
Çizelge 8.17. Rietveld analizi sonucu hesaplanan α -Co ve ϵ - Co fazlarının oranları ve ϵ -Co yüzde değişimi.....	115

KISALTMALAR

a_p / a	Kesme derinliği
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
C	Kaplamalı karbür kesici takım
CCTT	Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı karbür kesici takım
CVD	Kaplama yöntemi (Kimyasal Buhar Biriktirme)
DCT	Derin kriyojenik işlem
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Standartasyon Enstitüsü)
EDX	Energy- dispersive X-ray spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işınları Analizi)
Fc	Kesme kuvveti, N
Ff	İlerleme kuvveti, N
Fr	Radyal kuvvet, N
HRc	Rockwell sertlik
Hv	Vickers sertlik
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standard)
LN ₂	Sıvı Nitrojen
N ₂	Nitrojen
PVD	PVD Kaplama Yöntemi (Fiziksel Buhar Biriktirme)
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
S/G	Sinyal Gürültü
U	Kaplamasız karbür kesici takım
UCTT	Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız karbür kesici takım

SİMGELER

Al_2O_3	Aluminum Oxide (Alüminyum oksit)
Co	Kobalt
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
TiCN	Titanyum Karbon Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
WC	Tungsten Karbür
α	Tungsten Karbür Fazı
β	Kobalt Bağlayıcı Fazı
μm	Mikron metre



ÖZET

KESİCİ TAKIMLARA UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU

Aysun TAKMAZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARA

Nisan 2018, 132 sayfa

Bu çalışmada, AISI O2 (DIN 1.2842) soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesici takımlara uygulanan derin kriyojenik işlemin (DCT) yüzey pürüzlülüğü (Ra), kesme kuvveti (Fc), takım aşınması ve mikrosertlik üzerine etkileri araştırılmıştır. Bununla birlikte, optimum Ra ve Fc sonucunu veren kesme parametreleri Taguchi optimizasyon metodu ile belirlenmiştir. Tornalama deneyleri, Taguchi L₁₆ (4³) ortogonal (dikey) dizinine göre yapılmış, deney sonuçlarının değerlendirilmesinde sinyal/gürültü (S/G) oranı esas alınmıştır. Deneylerde kaplamalı (MT-TiCN+Al₂O₃+TiN) ve kaplamasız karbür (WC+Co+TiC+TaC) takımlar kullanılmıştır. Rielveld analizi ile takım mikroyapısındaki karbürlerin oransal değişimi tespit edilmiştir. Son olarak mikrosertlik ölçümleri ile kriyojenik işlemin sertlik üzerindeki etkisi ortaya koyulmuştur. Taguchi analizi sonucu, yüzey pürüzlülüğü için optimum sonuçlar kriyojenik işlemlerle kaplamasız takım ile 250 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme hızı (% 80,20), daha sonra sırasıyla kesici takım tipi (% 12,98) ve kesme hızı (% 5,86) olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti için en düşük değerleri veren parametreler sırasıyla kesici takım türü, kesme hızı ve ilerleme hızı için kriyojenik işlemlerle kaplamalı takım, 250 m/dak ve 0,08 mm/dev olarak bulunmuştur. Fc değerleri için gerçekleştirilen ANOVA sonuçlarına göre kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin % 85,70 oranıyla ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Daha sonra kesici takım türü % 7,94 ve kesme hızı % 4,60 ile en az etkiye sahip parametreler olarak sıralanmıştır. Takım ömrü açısından kriyojenik işlem hem kaplamasız hem de kaplamalı karbür kesici takımlarda olumlu sonuçlar sergilemiştir. Bu bağlamda kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlarda sırasıyla % 15 ve % 11 oranlarında iyileşme sağlanmıştır. Rielveld analizi sonucu, kriyojenik işlemin takımlarda karbür yüzdelerini arttırdığı belirlenmiştir. Mikrosertlik ölçümleri sonucunda, kriyojenik işlem sonrasında kaplamasız ve kaplamalı karbür takımların sertlikleri sırasıyla % 4,6 ve % 5,15 oranlarında arttığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Kesme kuvveti, Kriyojenik işlem, Taguchi metodu, Takım ömrü, Yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

OPTIMIZATION BY THE TAGUCHI METHOD OF EFFECT ON THE SURFACE ROUGHNESS OF CRYOGENIC TREATMENT APPLIED TO CUTTING TOOLS

Aysun TAKMAZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences,

Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fuat KARA

April 2018, 132 pages

In this study, the effects on the surface roughness (Ra), cutting force (Fc), tool wear and microhardness of the deep cryogenic treatment (DCT) applied to carbide cutting tools in the machining of the AISI O2 (DIN 1.2842) cold work tool steel were investigated. However, the cutting parameters giving the optimum Ra and Fc are determined by the Taguchi optimization method (L_{16-4^3}). Coated (MT-TiCN+Al₂O₃+TiN) and uncoated (WC+Co+TiC+TaC) carbide tools were used in the experiments. Finally, microhardness measurements have shown the effect of cryogenic process on hardness. The optimum results for surface roughness were obtained with a cryogenically-treated uncoated carbide cutting tool at a cutting speed of 250 m/min and a feed rate of 0.08 mm/rev. According to ANOVA results, the most effective parameter on the surface roughness was found to be the feed rate (80.20 %), followed by the cutting tool type (12.98 %) and the cutting speed (5.86 %). The parameters giving the lowest cutting forces were found to be cryogenically treated coated carbide cutting tool, 250 m/min and 0.08 mm/rev for cutting tool type, cutting speed and feed rate, respectively. According to the ANOVA results for Fc values, the most effective parameter on cutting force was found to be the feed rate of 85.70 %. Then, the cutting tool type is listed as 7.94 % and the cutting speed with 4.60 % as the least effective parameters. In terms of tool life, the cryogenic process has shown positive results both in uncoated and coated carbide cutting tools. In this context, 15 % and 11 % improvement was achieved in uncoated and coated-carbide cutting tools, respectively. According to the results of the Rielveld analysis, it was determined that the carbide percentages increased in both tool groups after the deep cryogenic treatment. As a result of microhardness measurements, the hardness of uncoated and coated carbide sets after cryogenic treatment increased by 4.6 % and 5.15 %, respectively.

Keywords: Cryogenic treatment, Cutting force, Surface roughness, Taguchi method
Tool life.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak malzeme gereksinimi artmış ve buna bağlı olarak farklı malzeme kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Bazı malzemeler herhangi bir işleme tabi tutulmadan kullanıldığı gibi bazı malzemeler ise daha kullanılabilir hale getirebilmek için bazı işlemlere tabi tutulmaktadır. AISI O2 soğuk iş takım çelikleri diğer çeliklerden farklı olarak yağda sertleşen orta alaşımlı, tokluğu yüksek, aşınma direncine sahip ve kolay ısıl işlem yapılabilen, ısıl işlem esnasında boyutsal olarak fazla bir değişim göstermeyen, kopmama ve yüksek dayanıma sahip soğuk iş takım çeliğidir. İşlenebilirliği iyi olan bu çelikler; soğuk şekillendirme yapılan veya zımba kalıpları, matkaplar, kılavuzlar, raybalar, ölçü aletleri ve daha birçok makine elamanı yapımı imalatında kullanılmaktadır [1], [2]. Çok geniş kullanım alanına sahip olması, bu malzemenin işlenmesindeki maliyetin de yüksek olması anlamına gelmektedir. Bu da işlemede kullanılan kesici takım maliyetini ön plana çıkarmaktadır [3], [4].

İmalatta farklı malzemelerin kullanılması ve talaşlı üretim tezgâhlarının gelişimi, kesme hızı ve ilerleme hızlarının artmasına bağlı olarak kesici takımlarda da gelişim sağlamıştır. Bugün ise kesici takımların bu denli gelişmesinde en önemli unsur takımlara uygulanan kaplama işlemleri olmuştur. Böylelikle dayanım artmış takım daha sert bir forma dönüşmüştür. Kaplamaların kullanımının, işleme performansı ve takım ömrü açısından faydalı olduğu ispatlanmıştır. Son yıllarda, kesme ve ilerleme hızının artmasıyla kaplama teknolojisine olan eğilim oldukça artmıştır [5], [6].

Kesici takımların ömrü üzerine yapılan araştırmalar, işleme maliyetini düşürmede etkin rol oynamıştır. Bu nedenle kesici takımların ömründeki çok küçük artışlar dahi büyük ekonomik kazançlar sağlayabilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem sonucu takım ömründe ciddi iyileşmelerin olduğunu göstermiştir [4], [7], [8]. Yine bu alanda çok sayıda literatür çalışması yapılmaya devam etmektedir.

İşleme maliyetlerinin azaltılmasında takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri gibi kesme parametrelerinin büyük önemi vardır. Artan takım ömrü ile takım optimum kesme şartlarında daha fazla kullanılacak ve işleme maliyetlerinin düşürülmesi

sağlanacaktır. Sıfır altı işlem olarak ta tanımlanabilen kriyojenik işlem (-196 °C) ile kesme parametrelerinde önemli derecede iyileşmeler sağlanabilmekte ve kesme şartları daha optimum düzeye getirilebilmektedir [9]-[11].

Kriyojenik işlem, yüksek hızda çalışma sonucu aşınmaya maruz kalan iş parçalarında aşınma direncinin arttırılması amacıyla uygulanan bir işlemdir. Isıl işleme ilave olarak yapılan bir prosestir. Kaplamalardan farklı olarak malzemeye homojen olarak etki eden, bir defa uygulanan ekonomik ve kalıcı bir işlemdir. Kriyojenik işlem, malzeme üzerindeki uygulama sıcaklıklarına bağlı olarak sığ kriyojenik işlem (-50 °C ile -80 °C arasında) ve derin kriyojenik işlem (-125 °C'den daha düşük sıcaklıklar) olarak iki grup şeklinde sınıflandırılmaktadır. Isıl işlem sonrası malzemeler sığ ya da derin kriyojenik işlem sıcaklıklarında belirlenen bir bekletme süresinde tutularak oda sıcaklığına kadar kademeli olarak ısınması beklenmektedir. Kriyojenik işlemin avantajı geleneksel ısıl işlem uygulanmış olan malzeme içerisinde bulunan kalıntı östenitin martensite dönüşmesine ve ince karbür çökeltilerinin oluşumu ve malzemenin her yerine eşit olarak karbür dağılımını sağlamasıdır. Bu özellikleri sayesinde malzemenin aşınma direnci ve sertlik gibi mekanik özelliklerinde önemli ölçüde iyileşmeler elde edilmiştir. Kriyojenik işlemin ilk kullanım amacı kalıp malzemeleri iken günümüzde ise kesici takımlara uygulanmasıyla kesici takımında oluşan aşınmalara, ömür artışı ve kesme şartlarından iyileşme yönünde ciddi gelişmeler sağlanmıştır. Özellikle bazı takım malzemelerine uygulanan kriyojenik işlem ile takım ömründe % 91'lerden % 817'lere varan iyileşmelerin olduğu ifade edilmektedir [4], [5]. Bazı araştırmacılar kriyojenik işlemin aynı zamanda takımların performansını iyileştirebileceği konusunda fikir birliğine varmışlardır. Takım çeliklerinin aşınma direncini iyileştirmesi, bu işlemin en önemli etkisidir. Uzay, elektronik ve otomotiv gibi bazı endüstriler, parçaların aşınma direncini ve boyutsal kararlılığı iyileştirmek için bu işlemi üretim hattında kullanmışlardır [12].

Bu çalışmanın amacı kesici takım malzemesine uygulanan derin kriyojenik işlem ve sonrasında yapılan temperleme işleminin işlemsiz takımlara göre yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve takım ömrü bakımından etkilerinin ortaya çıkarılmasıdır. Kesici takım malzemesine kriyojenik işlem uygulaması literatürde mevcuttur fakat kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla kalıp çeliklerinin işlenebilirliği üzerine yapılan bir literatür çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu açıdan yapılan çalışmanın özgün bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve özellikle kesici takım

ömründe elde edilecek herhangi bir iyileşme ile günümüzde çok yaygın kullanım alanına sahip kalıp çeliklerinin işlenmesinde maliyetlerin düşürülmesi söz konusu olacaktır. Sonuç olarak işleme maliyetlerinin düşürülmesi de ülke ekonomisine katkılar sağlayacaktır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. İŞLENEBİLİRLİKLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

İşlenebilirlik üzerine literatürde oldukça fazla çalışma yapılmış olup, yapılan çalışmalar işlemin türüne göre gruplandırılmıştır. İşlenebilirlik denilince; takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti gibi işleme parametreleri akla gelmektedir ve bunlar dikkate alınması gereken parametrelerdir. Bununla birlikte yüzey kalitesine etki eden parametreler vardır. Bu parametreler; ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği, kesme zamanı, takım uç radyüsü, takım kesme kenar açısı, malzeme karakteristiği, malzeme sertliği, takım tezgâhı rijitliği ve iş parçasının bağlanması, titreşim ve kesme sıvısıdır [13]. Yapılan literatür araştırmasında ise yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin sırasıyla ilerleme ve kesme hızı olduğu ifade edilmektedir [14], [15].

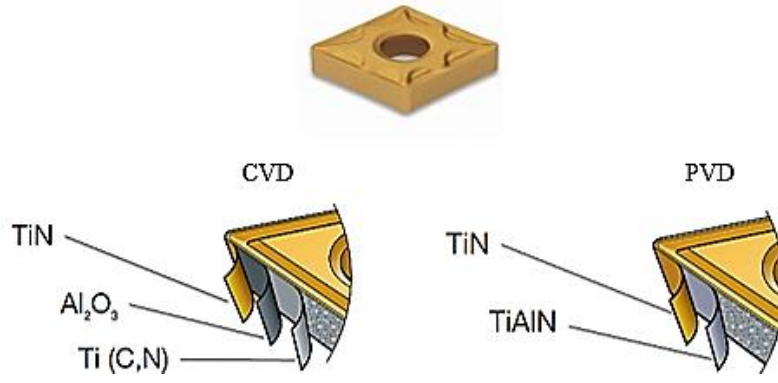
İşık ve Çakır, AISI H10, AISI O2 ve AISI 420 malzemelerinin tornalanması üzerine yaptıkları çalışmada, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametrelerin sırasıyla ilerleme hızı ve talaş derinliği olduğunu en az etkiye sahip parametrenin ise kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel sonuçlara bakıldığında ise, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin artması sonucunda yüzey kalitesinde bozulmalar görülmüştür [16].

Taylan, 61 HRc sertliğindeki AISI O2 (DIN 1.2842) soğuk iş takım çeliğinin CBN (kaplamalı, kaplamasız) takımlar kullanarak frezeleme işlemine tabi tutmuş yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerindeki değişimleri deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde belirlenen parametrelere göre işleme yapılmış sonuçlar matematiksel olarak modellenmiştir. Deneyler sonucunda her iki kesici takımında da çentik aşınması meydana geldiği görülmüştür. Kaplamalı CBN uçlarda meydana gelen kırılma olayının, kaplamasız CBN uçlara göre yaklaşık 4,5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızı sabit tutulup, kesme hızı arttıkça belli bir değere kadar aşınma miktarlarında azalma ve bu değerden sonra tekrar artış gözlenmiştir. Kaplamalı uçlarla yapılan bazı deney parametrelerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kaplamasız uçlara göre yaklaşık 10 kat daha fazla düzelme gözlenmiştir. Sabit kesme hızlarında ise ilerleme değeri arttıkça, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir [17].

Işık, AISI O2 soğuk iş takım çeliği, AISI H10 kalıp çeliği ve AISI 420 sıcak iş takım çeliğinin farklı (HSS, kaplamasız WC, TiAlN kaplamalı WC, TiC+TiCN+TiN kaplamalı WC (ISO P25)) kesici takımlarla kesme sıvısı kullanılmadan torna tezgâhında işlemişlerdir. Çalışmada işleme parametrelerinin takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla etkiyi ilerleme hızı, daha sonra sırasıyla talaş derinliği ve kesme hızı parametrelerinin gösterdiği tespit edilmiştir. İlerleme hızıyla kıyaslandığında ise kesme hızının ihmal edilebilecek seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. İlerlemedeki artış yüzey kalitesini olumsuz etkilerken kesme hızındaki artışın ise olumlu etkilediği görülmüştür. Ayrıca kaplamalı sert metallere yapılan işlemlerde yan yüzey aşınmasının krater aşınmasından çok daha etkili olduğunu ve kesme kuvvetleriyle yan yüzey aşınmasının ilişkili olduğu tespit edilmiştir [18].

Murat ve arkadaşları, çalışmalarında, AISI D2 (62 HRc) soğuk iş takım çeliği malzemenin seramik takımlarla tornalanmasında, kesme parametreleri (kesme hızı- V_c , ilerleme hızı- f , kesme derinliği- ap) ile takım aşınması ilişkisini modellemiş ve takım aşınmasını optimize etmişlerdir. Elde edilen verilerin analizi ve modellenmesi sonucu V_c ve f değişkenlerinin takım aşınması üzerinde etkili, ap değişkeninin ise etkili olmadığı gözlemlenmiştir. V_c ve f değişkenlerinin artmasının takım aşınması değerini artırmakta olduğu ap 'nin ise, herhangi bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Takım aşınması üzerinde en etkili ve önemli faktörün V_c olduğu, elde edilen bulguların literatürle de uyumluluğu tespit edilmiştir. Optimizasyon işlemi sonucu, ulaşılan minimum takım aşınması değeri 0,0784 mm'dir. Bu değerlere ulaşmak için, faktör seviyelerinin $V_c=91,4155$ m/dak, $ap=1,0956$ mm ve $f=0,0864$ mm/dev olarak ayarlanması gerektiği görülmüştür [19].

Gürbüz ve arkadaşları, çalışmalarında AISI 316 L östenit paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde, iki farklı türle kaplanmış kesici takım (PVD ve CVD) (Şekil 2.1) kullanarak kesici takım kaplamasının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Şekil 2.1'de kesici takım ve kaplama özellikleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Kesici takım ve kaplama özellikleri [20].

Deneyler sonucunda hem CVD hem de PVD kaplı takım için kesme derinliği ve ilerleme hızı arttığında kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Kesici takım kaplama türüne bağlı olarak elde edilen en yüksek kesme kuvvetleri CVD kaplamalı kesici takımda, en düşük kesme kuvvetleri PVD kaplamalı kesici takımda gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülük sonuçlarına bakıldığında ise PVD kaplamada yüzey pürüzlülüğü değerlerinin CVD kaplamaya göre % 0,4 ~ % 9,8 kadar düştüğü gözlemlenmiştir [20].

Baş ve diğerleri, AISI O2 soğuk iş takım çeliğinden talaşlı imalat yöntemiyle üretilen numunelerin Elektrik Deşarj Metodu (EDM) ve kimyasal işleme ve kumlama yöntemlerinin uygulanması ile hassas boyutlara getirilmesi sırasında yorulma ömrünün nasıl etkilendiğini incelemiştir. Deney sonucunda elde edilen bulgular: Tornalama işleminden sonra yapılan EDM işleminin numunenin yorulma ömrünü yaklaşık % 33 oranında azalttığı görülmüştür. Bununla birlikte, EDM sonrasında yapılan kimyasal işleme ile yorulma ömrü EDM işlemine göre yaklaşık % 40 düşmüştür. Tornalama ile karşılaştırıldığında ise yorulma ömrü yaklaşık % 60'lık bir düşüş sergilemiştir. EDM sonrasında yapılan kumlama işlemi ile yorulma ömrü EDM işlemine göre % 113 tornalama ile karşılaştırıldığında ise % 42 artış gözlenmiştir [1].

Asiltürk ve diğerleri, tıbbi bir malzeme olarak kullanılan krom kobalt alaşımı malzemenin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin Taguchi ve Yanıt Yüzey Metodu kullanarak optimize etmişlerdir. Devir sayısı (n), ilerleme hızı (f), kesme derinliği (a), kesici uç radyüsü (r) değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra ve Rz) etkisi araştırılmıştır. Deney parametreleri olarak üç farklı devir (318, 477, 636 dev/dak), ilerleme hızı (0,1, 0,15, 0,25 mm/dev), kesme derinliği (0,5, 0,7, 0,9 mm) ve kesici uç radyüsü (0,4, 0,8, 1,2 mm) seçilmiştir. Deney sonuçlarından elde veriler Taguchi metodu ve Yanıt Yüzey Metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen ANOVA

analizi sonucu, Ra ve Rz üzerindeki en etkili parametrelerin sırasıyla % 38'lik oran ile kesici uç radyüsü ve % 43'lük oran ile devir sayısı olduğu görülmüştür [21].

Uysal, AISI 52100 rulman çeliğın sert tornalamasında kesici uç geometrisi ve iş parçası sertliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemiştir. Bu amaçla deneylerde farklı kesici uç formuna sahip Kübik Bor Nitrür (CBN) kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, kesici uç radyüsünün artmasıyla birlikte, kesici takım iş parçası temas alanının artmasından dolayı ortalama yüzey pürüzlülük değerinde bir düşüş olduğu farkedilmiştir [22].

Balcı, AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin tornalanması üzerine yaptığı çalışmada yüzey pürüzlülük değerlerini etkileyen kesme parametrelerini incelemiştir. Dört farklı kesici uç yarıçapına sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak 12 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle; kesici takım uç yarıçapının, ilerleme hızının ve talaş derinliğinin Ra değerine etkisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yürütülen deneysel tespitler sonucunda kesici takım uç yarıçapının ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla en düşük yüzey pürüzlülük değerine ulaşılırken; 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla da en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır [23].

2.2. KRİYOJENİK İŞLEM İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sıfır altı işlem olarak da bilinen kriyojenik işlem, malzemelerin çalışma ömrünü artırmak için gerçekleştirilen oda sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda (genellikle -196 °C) bir soğutma işlemidir. Kriyojenik işlem son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan metallerin özelliklerini iyileştirmek için tamamlayıcı bir süreçtir. Bu işlem, ilk olarak 1920 ve 1930'lu yıllarda yüksek hız çeliklerine uygulanmış ve malzeme içerisinde geleneksel ısı işleminden sonra kalan ve malzeme ömrünü olumsuz etkileyen yumuşak faz olan kalıntı östenitin sert faz olan martenzite dönüşümünden dolayı bu çeliklerin performansının iyileştiği görülmüştür [24], [25]. 1950 ve 1960'lı yıllarda yapılan çalışmalar genellikle farklı türdeki metallerin elektriksel özelliklerinde düşük sıcaklıkların etkisini belirleme üzerine olmuştur [26]-[28]. Genel olarak kriyojenik işlem ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar takım çeliklerinin aşınma ve yorulma performansı, faz dönüşümlerinin tayini, kalıntı gerilmelerin değişimi ve malzemelerin

mekanik özelliklerindeki iyileşmeler üzerine olmuştur [29].

Sing ve diğerleri, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinden üretilmiş olan zımbaya kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. Böylece zımba üzerinde meydana gelen, takım ömrü, sertlik ve ekonomiklik açısından değerlendirilmiştir. Deney sonunda işlem görmüş zımbalar ile işlem görmemiş zımbalar kıyaslandığında ise işlem görmüş zımbalar, sertlik, takım ömrü ve ekonomiklik bakımından % 60'lık üretim artışı sağlamıştır [7].

Bordin ve diğerleri, Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalama işleminde kuru ve ıslak kesme şartlarında kriyojenik işlem görmüş kesici takımının; kesme hızı ve ilerleme hızının takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Test edilen tüm kesme parametrelerinde malzeme kuru ve ıslak tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda; tüm kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülüğünde ciddi düzelmeler görülmüş ayrıca en düşük burun aşınması gözlenirken, krater oluşumunun engellediği ve takım ömrünün uzayarak daha az maliyet olduğu sonucuna varılmıştır [30].

Gao ve diğerleri, derin Kriyojenik İşlemin (KI) sementit karbürlerin (WC-Fe-Ni) mikroyapı özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için takımları, -196 °C'de 2, 12 ve 24 saat süre ile bekletilerek kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. Böylece sementit karbürlerin içyapıları, mekanik özellikleri, aşınma özelliklerini ve korozyon davranışını incelemişlerdir. Çalışma sonunda; bağlayıcı fazın $\gamma \rightarrow \alpha$ 'dan martenzit faz dönüşümü gerçekleşmiş, α - (Fe, Ni) fazının içeriği kademeli olarak artmış bağlayıcı fazdaki martenzit faz dönüşümü, sertliği artırmış ve bağlayıcı fazını güçlendirmiştir. Bununla birlikte; WC-Fe-Ni sementit karbürlerin derin kriyojenik işlemden sonraki sertliği ve kopma mukavemeti, aşınma direnci, işlemsiz takımlardan daha yüksekken, kırılma tokluğu aşınma hızı ve sürtünme katsayısı azaldığı sonucuna varıldığı gözlemlenmiştir [31].

Özbek ve diğerleri, Derin Kriyojenik İşlemin (DCT) AISI 304 östenit paslanmaz çeliğin tornalanmasında tungsten karbür uçların sertliği, mikroyapı ve aşınma performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen bulgulara dayanarak şu sonuçlar elde edilmiştir. İşlenmiş ve işlenmemiş kaplamasız uçlar üzerinde oluşan aşınma türlerinin yanak aşınması ve krater aşınması şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte, kriyojenik işlemin kaplamasız uçlarının aşınma direncini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Özellikle, kriyojenik işlem uygulanmış uçlar, krater ve çentik aşınması bakımından, işlemsiz kesici takımlara kıyasla, % 48 ve % 38 oranında daha az

aşınmıştır. Yanak aşınmasında görülen iyileşme ise % 18'lere çıktığı [8].

Chetan ve diğerleri, Nimonic 90 (nikel+ krom+ kobalt) malzeme üzerine yaptıkları tornalama deneylerinde dört tip kesici takım kullanmışlardır. Kriyojenik işlem (Kİ) görmüş uçlar, kriyojenik işlem görmemiş uçlar ile kıyaslandığında aşınma direnci bakımından daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte kriyojenik işlem, kesici uçların sertliğini arttırarak eta karbür parçacıkların ve taneciklerinin sıkılaşıarak sertleşmesini, takım ömrünün uzamasını ve aşınma direncinin artmasını sağlamıştır. Kesme kuvvetleri açısından bir değerlendirme yapıldığında ise kriyojenik işlemden sonra kesme kuvvetlerinin % 17 oranında azaldığı görülmüştür [32].

Musfirah ve diğerleri, Inconel 718 malzeme üzerine yaptıkları çalışmada, kriyojenik işlemi PVD-TiAlN/AlCrN kaplamalı tungsten karbür uçlara uygulamışlardır. Takım aşınması, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonunda ise kesme kuvvetinde % 23 azalma, yüzey pürüzlülüğünde % 88 iyileşme ve takım aşınmasında da % 10 ile 20 oranlarında iyileşme gözlenmiştir [33].

Podgornik ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmada, derin kriyojenik işlemin soğuk iş takım çeliğinin kırılma tokluğu, aşınma direnci ve yük taşıma kapasitesi etkisini araştırmak ve takım çeliği türüne ve kimyasal bileşimine bağlı olarak derin kriyojenik işlemin etkinliğini saptamayı amaçlamışlardır. Deneyler sonucunda, derin kriyojenik işlem sertliği artırırken, kırılma tokluğu ve aşınma direncini büyük ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir [34].

Çiçek ve diğerleri, M35 HSS takıma uyguladıkları kriyojenik işlemde, kriyojenik işlemin etkilerini Taguchi metodu kullanılarak istatistiksel olarak modellemiştir. Çalışmada, deneysel olarak yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik değerleri ölçülmüştür. Deney parametreleri, Taguchi L₂₇ ortogonal dizini kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, kesme parametrelerinin birbirleri üzerindeki etkileşimlerini belirlemek için Responce Surface Methodology – Yanıt Yüzey Metodu (RSM) analizi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik üzerindeki etki oranlarını belirlemek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik deneyinde etkin olan parametreler % 83,07 oranıyla ilerleme hızı ve % 64,36 oranıyla kesme hızı olarak bulunmuştur. Deneysel sonuçlar, kriyojenik işlem sonrasında yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik değerlerinde iyileşmeler olduğunu göstermiştir [35].

Akıncioğlu ve diğerleri çalışmalarında; C22 süper alaşım malzemenin tornalanmasında karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin etkilerini hem deneysel hem de istatistiki olarak incelemişlerdir. İstatistiksel analizler için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneysel olarak yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması testleri gerçekleştirilmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey bütünlüğü ve takım aşınmasına etkilerini belirlemek amacıyla ANAVO kullanılmıştır. Sonuç olarak, kriyojenik işlem (Kİ) uygulanmış kesici takımlarda yüzey pürüzlülük değerlerinde % 28,3 ve % 72,3 oranında iyileşme olduğu gözlenmiştir. Takım aşınması testi sonuçlarında da Kİ uygulanmış takımların aşınma direncinin Kİ uygulanmamış takımlara göre daha yüksek olduğu grlmştir [36].

iek ve diğerleri, derin kriyojenik işleminin (Kİ) AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin aşınma direnci ve mekanik özelliklerine olan etkileri araştırmışlardır. Takım eliklerini üç gruba ayırarak değerlendirme yapmışlardır. Birinci takıma sıradan ısıl işlem, ikinci takıma derin Kİ ve nc takıma ise derin kriyojenik işlem+temperleme işlemlerine tabi tutmuşlar. Derin kriyojenik işlemin ve derin kriyojenik+temperleme uygulanan takım çelikleri geleneksel ısıl işlem uygulanan takım çelikleriyle kıyaslandığında % 12 ve % 24 oranında iyileşme olduğu gözlenilmiştir. Numuneler; sertlik ve aşınma direnci bakımından kıyaslandığında ise derin kriyojenik işlem uygulanan takımlar daha yüksek sertlik görülürken kriyojenik işlem + temperleme uygulanan takımlar ise her koşulda aşınma direnci bakımından daha iyi performans göstermiştir [37].

He ve diğerleri, 40 Cr eliğinin tornalanmasında Kriyojenik İşlem (Kİ) uygulanmış TiAlN tungsten karbür kaplı kesici takımlar kullanarak kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü faktörlerini incelemişlerdir. Kriyojenik işlem, -196 C'de 30 saat bekletmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan alışma sonucunda Kİ uygulanmış kesici takımlar ile Kİ uygulanmamış kesici takımlara göre kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı bakımından sırasıyla % 25,6 ila % 33,8 ve % 10,7 ila % 16,3 oranlarında azalmalar grlmştir. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğü değerleri de kesici takımın kriyojenik işlemi sonucu % 24,6 oranında azalmıştır [38].

Kalsi ve diğerleri, tungsten karbür kesici takımlar üzerinde kriyojenik işlem ve sonrasında yapılan çoklu temperleme işleminin etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, mikroyapısal inceleme ve tornalama deneyleri gerçekleştirerek, kesici takımın aşınma miktarları ve mikrosertlik değerlerine bakılmıştır. Kriyojenik işlemden sonra mikrosertlik değerlerinin arttığı fakat 2, 3 ve 4 kez tekrarlanan temperleme işlemi ile

sertliğin azaldığı görülmüştür. Takım aşınması sonuçlarına göre, genel olarak kriyojenik işlem sonrası 2 ve 3 defa temperleme işlemi uygulanan takımlarda daha düşük takım aşınması değerleri ölçülmüştür. Bu durum, kriyojenik işlemden sonra daha ince ve daha yoğun ikinci karbürlerin (W_2C ve Co_3W_3C) oluşumuna ve bu sayede daha tok matris elde edilmesine atfedilmiştir. Ayrıca, kriyojenik işlemin kobalt bağlayıcının yoğunlaşması, daha ince karbür çökmesi ve homojen karbür dağılımına yardım ettiği ve böylece mikroyapıda daha sıkı karbür diziliminin elde edildiği belirtilmiştir [39].

Özbek ve diğerleri, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takımlara farklı bekletme sürelerinde uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirlik üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesici takım olarak kaplamasız, TiCN, TiAlN ve TiCN/ Al_2O_3 /TiN kaplı tungsten karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlar 12, 24, 36, 48 ve 60 saat olmak üzere beş farklı sürede -145 °C sıcaklıkta bekletilerek derin kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. İşlenebilirlik deneyleri CNC torna tezgâhında kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiş ve işlenebilirlik kıstaslarından takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Deneylerde yüzey pürüzlülük ve aşınma değerleri bakımından incelendiğinde kriyojenik işlem uygulanmış takımların bu kriterlere daha uygun olduğu gözlemlenmiş ve istenilen sonuca varılarak her iki deneyde daha düşük sonuçlara ulaşılmıştır. Aynı şekilde kesme kuvvetleri de, kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takımlarda kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlara göre daha düşük çıkmıştır. Aşınma direnci ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi performansı 24 saat kriyojenik işlem gören takım sergilemiştir. Kesme kuvvetlerinde ise, işlemsiz takım en yüksek kesme kuvvetleri sergilerken en düşük kesme kuvvetleri 24 saat kriyojenik işlem gören takımla ölçülmüştür. Bu veriler ışığında bu çalışmada kullanılan tungsten karbür kesici takımlar için optimum kriyojenik işlem bekletme süresi 24 saat olarak belirlenmiştir [40].

Akkoyun çalışmasında, DIN 1,2738 kalıp çeliğinin delinmesinde kesici takımlara uygulanan KI ve işleme değerlerinin kesme kuvveti, moment, yüzey bütünlüğü ve aşınma davranışları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kesici takım olarak, kaplamasız ve kaplamalı HSS ve tungsten karbür matkaplar kullanılmıştır. Kesici takımların bir bölümüne -145 °C'de 24 saat bekletmeyle KI uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, kriyojenik işlemin kaplamasız HSS, TiAlN kaplamalı HSS ve tungsten karbür takımların işleme performansını artırmada önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür. Aşınma deneyleri sonucunda kriyojenik işlem TiAlN kaplamalı HSS

takımlarda % 15, kaplamasız HSS takımlarda % 98 ve tungsten karbür takımlarda % 115 performans artışı sağladığı görülmüştür. İşleme çıktıları üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, kriyojenik işlemin tungsten karbür takımlar üzerindeki etkisinin diğer takımlara göre daha fazla olduğu görülmüştür [41].

Arslan ve diğerleri, AISI D3 malzemedan yapılmış zımbalara kriyojenik işlem uygulayarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Zımbaların aşınma direncine olan etkisini araştırmak için, farklı bekletme süresinde -145 °C’de kriyojenik işlem uygulamışlardır. Deney numuneleri D3 zımbalar ile 1,5 mm kalınlığında paslanmaz çelik (AISI 304) üzerinde delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Deney öncesinde ise oluşabilecek kayıpların tespit edilmesi amacıyla sertlik değerleri ve boyları ölçülmüştür. Böylece kriyojenik işlemin etkisini gözlemleyeceklerdir. Zımbalar 6000, 12000, 18000, 24000 delme işlemi yapılmış ve deney sonucunda yapılan ölçümede oluşan hacim kaybını belirlemek için; zımbaların uç, alın ve yanak aşınma belirlemek için mikroskop görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca SEM görüntüleri ve mikroyapı görüntüleri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Deney sonucunda, 24000 delme işlemiyle en fazla işlem yapılan zımbanın gözlemlenen kriyojenik işlemin D3 zımbaların aşınma direncini arttırdığı fakat kriyojenik işlem bekletme süresinin zımba ömrüne önemli bir etki yapmadığı görülmüştür [42].

Mavi ve Korkut, Ti6Al-4V alaşımının işlenmesinde kaplamasız tungsten karbür takım kullanarak uygulanan Kİ kesme kuvvetlerine (Fc) ve yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada kesici takımların bir bölümüne -145 °C’de 24 saat bekletmek suretiyle Kİ uygulanmıştır. Deney sonuçlarında; Kİ uygulanmış kesici takımların Fc ve Ra açısından Kİ uygulanmamış takımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [43].

Mavi tarafından yapılan başka bir çalışmada, Ti6Al4V alaşımının tungsten karbür kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin, kuru ve ıslak kesme şartlarında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde kaplamasız ve dört farklı tipte TiAlN/TiN, TiAlN, Al₂O₃ ve Ti(C,N)/Al₂O₃/TiN kaplamalı karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takımların bir bölümüne -145°C’de 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış diğer bir bölümüne ise kriyojenik işlemden sonra 200 °C’de 2 saat bekletilerek temperleme işlemi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, kriyojenik işlemin tungsten karbür takımların karbür boyutlarını küçülterek daha homojen bir dağılım sağladığı görülmüştür. Takım aşınması yönünden en iyi sonuç,

kriyojenik işlem uygulanmış Ti(C,N)/Al₂O₃/ TiN kaplı kesici takım ile elde edilirken, en kötü sonuç ise kriyojenik işlem uygulanmamış kaplamasız kesici takımlar ile elde edilmiştir. Bu durum, takım aşınması üzerine kesici takıma kaplama yapmanın ve kriyojenik işlemin olumlu yönde bir etkisi olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi açısından en iyi sonucu, kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmış Ti(C,N)/Al₂O₃/ TiN kaplamalı kesici takım sergilemiştir. Kesici takımlara kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem sonrası temperleme işleminin uygulanması kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi açısından olumlu sonuçlar göstermiştir [44].

Çiçek ve diğerleri, AISI H13 takım çeliklerinin sert tornalamasında derin kriyojenik işlemin asıl kesme kuvveti, yüzey bütünlüğü ve takım ömrü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney numuneleri geleneksel ısıtma işlemi görmüş, derin kriyojenik işlem görmüş, derin kriyojenik işlem ve temperleme görmüş olarak üç gruba ayrılmıştır. AISI H13 sıcak iş takım çeliği dört farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300 m/dak), 3 farklı ilerleme hızı (0,08, 0,12, 0,16 mm/dev), 0,3 mm sabit kesme derinliği kullanılarak kuru ve ıslak kesme şartlarında sert tornalama deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre en düşük kesme kuvveti, yüzey bütünlüğü ve takım ömrü değerleri Kriyojenik işlem+ temperleme görmüş takımlardan elde edilmiştir. Bununla birlikte soğutma sıvısının işlenebilirliği bir miktar iyileştirdiği görülmüştür [45].

Çiçek ve diğerleri başka bir çalışmada, AISI D2 çelik malzemenin matkapla işlenmesinde M35 HSS matkaplara uygulanan DCT'nin (-196 °C) takım ömrü, takım aşınması, mikroyapı ve mikrosertlik etkilerini araştırmışlardır. Mikroyapı fotoğrafları ve mikrosertlik değerleri, kesici takımlara uygulanan derin kriyojenik işlemin, kalıntı östeniti martenzite dönüştürmede ve malzemeye eşit olarak dağılımında önemli bir katkı sağlamıştır. KI uygulanan takımlar, aşınma ve ömür bakımından geleneksel ısıtma işlemi uygulanan takımlara göre daha iyi sonuç alınmıştır. Bununla birlikte, kriyojenik işlem uygulanmış takımların ömründe, % 33-62 oranında iyileşme olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak KI'in takım aşınma ve takım ömrü üzerine önemli etkiler sağladığı gözlemlenmiştir [46].

Çiçek ve diğerleri, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde, işleme parametreleri ve kesici takımlara uygulanan farklı ısıtma işlemlerinin kesme kuvvetleri ve delik çapları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde, kesici takım olarak kriyojenik işlem uygulanmış, kriyojenik işlem+temperleme uygulanmış ve herhangi bir

ısıtıl işlem uygulanmamış M35 HSS matkaplar kullanılmışlar. İş parçası, dört farklı kesme hızı (10, 12, 14 ve 16 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanılarak delinmiştir. Kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem+temperleme işlemi uygulanan matkaplar, kriyojenik işlem uygulanmamış matkaplara kıyasla kesme kuvvetlerinde sırasıyla % 10-16 ve % 13-25 düşüş sağladığı gözlenmiştir. Nominal çapa en yakın çap değerleri de, sırasıyla Kriyojenik işlem, kriyojenik işlem+temperleme işlemi ve kriyojenik işlem uygulanmamış matkaplardan elde edilmiştir. Takım ömrü açısından ise kriyojenik işlem+temperleme uygulanan matkapların kriyojenik işlem uygulanmamış matkaplara göre iki farklı kesme hızında % 95 ve % 48 ömür artışı sağladığı görülmüştür [47].

Gill ve diğerleri, kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür uçlara uygulayarak kuru ve ıslak şartlarda takım ömrü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Öncelikle tungsten karbür uçlar -196 °C'de kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Kesme deneyleri sürekli ve kesikli olarak tornada gerçekleştirilmiş ve kesme parametreleri uygun olarak belirlemişler. Takım ömrünü belirlemek için seçilen kıstas maksimum yanak aşınması (0,6 mm) olarak alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, hem sürekli hem de kesikli kesme şartları altında özellikle yüksek kesme hızlarında kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür uçların ıslak tornalama şartlarındaki kesici takımlara göre daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Aynı zamanda, sürekli işleme ile karşılaştırıldığında kesikli işleme şartlarında takım ömründe fark edilebilir bir artış kaydedilmiştir [48].

Sreeramareddy ve diğerleri, yaptıkları araştırmada, C45 iş parçasının tornalanmasında Kİ uygulanmış (-176 °C) ve uygulanmamış kaplamalı tungsten karbür uçlar kullanmışlardır. Deneyler sonucunda C45 çeliğin işlenmesinde Kİ uygulanmış karbür takımlardaki yanak aşınması, kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarınkinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, C45 çeliğin işlenmesi sırasındaki kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin Kİ uygulanmamış karbür takımlarla karşılaştırıldığında daha düşük olduğu tespit edilmiştir [49].

Yong ve arkadaşları, kriyojenik işlemin çoğu kesici takımın ömrünü uzattığının bilindiğini ancak bu zamana kadar kriyojenik işleme ait detaylı çalışmaların sadece takım çeliği üzerine yapıldığını belirterek kriyojenik işlemin tungsten karbür kesici takımlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çeliklerin tornalanması sırasında kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takım uçları arasındaki takım

performansları analiz edilmiştir. Kesikli işleme operasyonlarında kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha iyi performans sergiledikleri tespit edilmiştir [50].

Akhbarizadeh ve diğerleri, yaptıkları çalışmada kriyojenik işlemin D6 takım çeliğinin aşınma direnci üzerine etkilerini belirlemek için deney numunelerini sıg ve derin kriyojenik işleme (-63 °C ve -185 °C, 20 ve 40 saat) tabi tutmuşlardır. Aşınma deneyleri iki farklı yük (120 ve 180 N) ve üç farklı hız (0,05, 0,1 ve 0,2 m/s) uygulanarak Pin-on-disk aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde derin kriyojenik işlem uygulamanın kalıntı östenit miktarını azalttığını, bununla beraber aşınma direnci ve sertlik değerini olumlu şekilde etkilediği görülmüştür. Bunun nedeni olarak ta kalıntı östenitin derin kriyojenik işlemde sıg kriyojenik işleme göre daha fazla azaldığı gösterilmiştir. Kriyojenik işlemde bekletme süresi arttıkça, daha fazla kalıntı östenit martenzite dönüşmüş bundan dolayı da aşınma direnci ve sertliğin arttığı tespit edilmiştir [51].

Vadivel ve Rudramaarhy yapmış oldukları çalışmada, küresel grafitli dökme demirin tornalanmasında Kİ uygulanmış ve uygulanmamış kaplamalı karbür takımların davranışlarını karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre Kİ uygulanmış kaplamalı karbür takımlar yüzey pürüzlülüğü, güç tüketimi ve yanak aşınması bakımından Kİ uygulanmamış takımlara göre daha iyi performans göstermiştir. Kİ uygulanmış ve uygulanmamış kaplamalı karbür takımların aşınma dirençlerini belirlemek için tarama elektron mikroskobu ile analizler yapılmış ve analizler sonucunda Kİ uygulanmış takımların aşınma direncinin Kİ uygulanmamış takımlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [52].

Das ve diğerleri, AISI D2 çeliğinden üretilmiş numunelere -196 °C sıcaklıkta ve 0- 132 saat aralığında farklı sürelerde bekleterek kriyojenik işlem uygulanmış ve bu numunelerin sertlik değerleri, mikroyapı karakteristikleri ve aşınma direnci üzerindeki etkilerini araştırarak en ideal bekletme süresinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Farklı kriyojenik işlemlere tabi tutulmuş numunelerin yapı-özellik ilişkilerinin araştırılması sonucu en iyi aşınma direncinin 36 saat kriyojenik işleme tabi tutulan numunelerde elde edildiği tespit edilmiştir. Bu sonuç, mikroyapı özellikleri, sertlik değerleri ve aşınma yüzeylerinin topografisi incelenerek doğrulanmıştır [53].

Thakur ve diğerleri, çalışmalarında, sementit karbür (WC) kesici takımlara kontrollü kriyojenik işlem, ısıtma ve basınçlı hava ile soğutma ve ısıtma ve yağ banyosunda su

verme gibi ısıtma işlemleri uygulayarak kesici takımların dayanımlarını arttırmayı amaçlamışlardır. Bu ısıtma işlemleri sonrası kesici uçların, taramalı elektron mikroskobu (SEM) aracılığıyla mikroyapı değişimleri ve sertlik değerleri ölçülerek kıyaslanmıştır. Ayrıca deney sonuçları, yukarıda belirtilen işlemlerin uygulanmasıyla dikkate değer değişimlerin olduğunu göstermiştir. Kontrollü kriyojenik işlem aşınma direncini iyileştirmiştir. Bu da karbür partiküllerini sıkıca tutan kobalt metal bağlayıcılarının fiziksel değişimlerine ve yoğunlaşmalarına bağlanmıştır [54].

Firouzdor ve diğerleri, karbon içerikli çeliklerin yüksek çalışma şartları altında kuru kesme işlemi yapılan deneylerinde M2 HSS matkaplarla işlenmesinde Kİ aşınma direnci ve takım ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar Kİ uygulanmış matkap ömründe % 77 ve Kİ ardına temperleme uygulanmış matkap ömründe % 126 iyileşme olduğunu göstermiştir. Talaşların kimyasal analizi ve SEM analiz gözlemleri sonucunda, baskın aşınma mekanizması olarak difüzyon aşınması saptanmıştır. Kriyojenik işlem ile aşınma direncinin iyileşmesinde, homojen karbür dağılımının etkili olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak kalıntı östenitin martenzite dönüşmesinin de etkin rol oynadığı belirtilmiştir [55].

Özbek ve diğerleri, kriyojenik işlemi TiAlN tek katlı ve TiCN/Al₂O₃/TiN çok katlı kaplama olan, tungsten karbür kesici takımlara uygulamışlardır. Malzeme olarak da AISI 316 östenitik paslanmaz çelik kullanmış ve işlenebilirliğini araştırmışlardır. Kriyojenik İşlem, -145 °C'de 24 saat ve 200 °C'de 2 saat temperleme işlemi uygulanarak gerçekleştirilmiş ve işlenecek malzeme üzerinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, TiAlN kaplı takımların daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Öte yandan kriyojenik işlem uygulanan takımlar, kriyojenik işlem uygulanmamış takımlarla kıyaslandığında daha düşük takım aşınması değerleri ve buna bağlı olarak daha yüksek takım ömrü sergilediği görülmüştür [56].

Arslan, 1.2080 soğuk iş takım çeliği malzemeden imal edilmiş zımbaları kriyojenik işleme tabi tutmuş, zımba ile birlikte AISI (304) paslanmaz çelik sac malzemeleri zımba makinesinde işleyerek deneyini gerçekleştirmiştir. Böylelikle zımbalarda oluşan aşınma durumlarını incelemiştir. Zımbalar -145 °C'de Derin Kriyojenik İşlem + Temperleme işlemi uygulanmıştır. Her bir zımba 500, 1000, 1500, 2250, 3000 defa işleme yapılarak zımbada meydana gelen delme uç alın aşınması optik stereo (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, mikroyapı ölçümleri ile sertlik ölçümleri yapılarak

incelenmiştir. Deneyle sonucunda, kriyojenik işlemin zımbanın altında oluşan aşınma direncini yükselttiği gözlemlenirken temperleme işleminin ise alındaki yüzey aşınmasına ciddi tesir etmediği sonucuna varılmıştır [57].

Özbek ve diğerkleri, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanmasında Kriyojenik İşlemin (Kİ) yüzey pürüzlülüğü ve esas kesme kuvveti üzerine etkileri araştırmışlardır. Tornalama işlemini, kuru kesme şartlarında kesme derinliği sabit tutularak, dört çeşit kesme hızı (100, 120, 140 ve 160 m/dak) ve üç farklı ilerleme değerinde (0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Deneyle sonuçları (Kİ) uygulanmış takımların daha iyi aşınma performansı ve yüzey pürüzlülüğü sergilediğini göstermiştir. Ancak kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla daha yüksek kesme kuvveti değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerlerinde ise genel olarak kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla kriyojenik işlemin sağladığı yüksek aşınma direnci nedeniyle daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir [58].

Kıvak ve Şeker yapmış oldukları çalışmalarında, Ti-6Al-4V alaşım malzemeyi kuru kesme şartlarında, kesme sıvısı kullanarak delinmesinde tungsten karbür matkaplara uygulanan derin kriyojenik işlemin aksnel kuvvet ve moment etkisini araştırmışlardır. Deneyle kriyojenik işlemsiz (İ), kriyojenik işlem (Kİ), Kriyojenik İşlem + temperleme (KİT) işlemleri uygulanmış karbür matkap takımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşleme parametreleri olarak dört tip kesme hızı (15, 20, 25, 30 m/dak) ve üç tip ilerleme miktarı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanılarak 15 mm derinliğinde boydan boya olacak şekilde işlenmiştir. Deneyle sonucunda, soğutma sıvısının aksnel kuvvet ve momenti bir miktar artırdığı görülmüştür. En düşük aksnel kuvvet ve moment değerleri Kİ ve KİT matkaplarla yapılan delme işlemlerinde görülmüştür [59].

Kıvak ve Şeker, Ti6Al4V alaşım malzeme için HSS takım kullanmışlar ve takımlara kriyojenik işlem uygulamışlar, böylece kriyojenik işlemin takım ömrü ve mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik işlem+temperleme işlemleri uygulanmış takımlar, herhangi bir işlem uygulanmamış takımlara göre takım ömründe % 87'lere varan artış sağlamıştır. Bununla birlikte kriyojenik işlem, karbür boyutlarını küçülterek, karbür dağılımının homojen olmasını ve kalıntı östenitin martensite dönüşmesini sağlamıştır [60].

2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda yapılan literatür araştırmasına ilaveten Çizelge 2.1’de verilen çalışmalar ile kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü gibi işlenebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri ortayakoyulmuştur. Literatür araştırması ve Çizelge 2.1 için genel bir değerlendirme yapıldığında, yapılan literatür çalışmalarında kriyojenik işlemin -80 °C ve – 196 °C Sıcaklıkları arasında uygulandığı görülmüştür. Bununla birlikte bekletme sürelerinin de 24 ile 60 saat arasında değiştiği görülmektedir. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin daha çok kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü gibi işlenebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu nedenle Çizelge 2.1 bu üç çıktı düşünülerek oluşturulmuştur. Çizelge 2.1’deki sonuçları özetlemek gerekirse, kriyojenik işlemde sonra elde edilen iyileşmeler kesme kuvveti için % 17 ile 23 arasında, yüzey pürüzlülüğü için % 28,3 ile 88 arasında ve takım ömrü için % 15 ile 115 arasında olduğu görülmektedir. Bu iyileşmeler göz ardı edilemeyecek kadar yüksek oranlara karşılık gelmektedir. Bu sonuçlar ışığında kriyojenik işlemin kesici takım malzemelerine uygulanması ile farklı türdeki malzemelerin işlenebilirliğinin daha kolay hale getirilmesi mümkün olmaktadır.

Literatür araştırmaları incelendiğinde işlenebilirlikle ilgili oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Bununla beraber soğuk iş takım çeliği malzemesi olan AISI O2 ile ilgili fazla çalışmanın olmaması dikkat çekmektedir. Kriyojenik işlem üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde ise talaşlı imalatta yeni bir alan olmasına rağmen son yıllarda kriyojenik işlem ile ilgili çok sayıda çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Kriyojenik işlemin imalatta; sertlik, çekme dayanımı, kalıntı östenit, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kırılma tokluğu gibi malzeme ve kesici takımların özelliklerini geliştirmek amaçlı yapıldığı görülmüştür. Yine literatür çalışmaları incelendiğinde kesici takımlara geleneksel ısı işlem sonrası uygulanan kriyojenik işlem ve temperlemenin takım çeliği malzemelerinin işlenebilirliği üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlayan çalışmaların sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin; yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, takım aşınması ve mikrosertlik üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylelikle alışlagelmiş çalışmaların dışında yeni bir yaklaşım sunularak literatürdeki bir boşluk doldurmuş olacaktır. Ayrıca işlenebilirlik parametrelerinde elde edilecek iyileşmeler sayesinde

talaşlı imalat sektöründeki kuruluşlara teknolojik veri sağlanması bakımından yapılan tez çalışmasının önemli bir yer tutacağına inanılmaktadır.



Çizelge 2.1. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin performans değerlendirilmesi.

Yıl	Araştırmacılar	Amaç/konu	İş parçası	Yöntem	Kesici takım	Kriyojenik işlem ve süresi	Sonuç
2017	Singh et al. [7].	Takım ömrü	AISI D2	Zımba	Zımba	-196 °C 24 saat	Zımba ömründe % 60 artış
2017	Chetan [32].	Takım ömrü, yanak aşınması, kesme kuvveti	Nimonic 90	Tornalama	Kaplamalı, kaplamsız işlenmiş ve işlenmemiş karbür.	-196 °C	Kesme kuvvetinde % 17 azalma.
2017	Musfirah et al. [33].	Takım aşınması Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme kuvveti	Inconel 718	Freze	PVD kaplı TiAlN/AlCrN	Kriyojenik soğutma.	Takım aşınmasında % 20 iyileşme. Kesme kuvvetinde % 23 azalma. Yüzey pürüzlülüğünde % 88 iyileşme
2016	Özbek ve diğ. [58].	Yanak aşınması, Krater ve çentik aşınması	AISI 304	Tornalama	Kaplamasız tungsten karbür	145 °C 24 saat 200 °C 2 saat	Krater ve çentik aşınması Aşınma % 48 ve % 38 aşınma direncinde artış. Yanak aşınması % 18 iyileşme.

Çizelge 2 .1 (devam). Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin performans değerlendirilmesi.

2016	Akıncıoğlu ve diğ. [36].	Takım aşınması Yüzey Pürüzlülüğü,	C22	Tornalama	Kaplamasız tungsten karbür	Sığ -80 °C Derin -145 °C	Yüzey pürüzlülük % 28,3 ve % 72,3 iyileşme
2015	Çiçek ve diğ. [37].	Aşınma direnci	AISI H13	Tornalama	AISI H13 sıcak iş takım çeliği	-145 °C 24 saat	% 12 ve % 24 aşınma direncinde iyileşme.
2015	Kıvak ve Şeker [60].	Takım ömrü	Ti-6Al-4V	Matkap	HSS	200 °C + 2 saat temperleme	Takım ömründe % 87 artış
2014	He et al. [38].	Yüzey Pürüzlülüğü	40 Cr	Tornalama	TiAlN Tungsten Karbür	-196 °C 30 saat	% 24,6 iyileşme
2013	Akkoyun [41].	Takım ömrü	DIN 1,2738	Matkap	HSS, TiAlN kaplamalı HSS ve tungsten karbür	-145 °C'de 24	TiAlN kaplamalı HSS takımlarda % 15, kaplamasız HSS takımlarda % 98 ve tungsten karbür takımlarda % 115 performans artışı sağladığı görülmüştür

Çizelge 2. 1 (devam). Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin performans değerlendirilmesi.

2012	Çiçek ve diğ. [12].	Takım ömrü	AISI D2	Matkap	M35 HSS	-196 °C 24 saat	Takım ömründe % 33-62 iyileşme
2011	Çiçek ve diğ. [47].	Takım ömrü	AISI 304	Matkap	M35 HSS	-196 °C 24 saat	Takım ömründe % 95 ve % 48 ömür artışı
2011	Gill et al.[48].	Aşınma direnci	C-45	Tornalama	TiAlN kaplamalı tungsten karbür	Sığ -110 °C derin -196 °C	Takım ömründe % 40 iyileşme
2009	Vadivel et al.[52].	Aşınma direnci	AISI/SAE 80-55-06	Tornalama	PUMA 240L	Derin kriyojenik işlem -196 °C 10 - 60 saat	Kriyojenik işlem uygulanmış takımların, kriyojenik işlem uygulanmamış takımlara göre aşınma direncinde daha yüksek artış sağlamıştır.

3. TAKIM ÇELİKLERİ

Demir alaşımları, öncelikle demir-karbon esaslı olan sade karbonlu çelik alaşımlarını, takım çeliklerini ve dökme demirleri içermektedir. Geniş kullanım alanı olan bu çelikler, talaş kaldırmak için kesici takımların imalatında, yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellikler gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Takım çeliklerinin kimyasal bileşiminin çok geniş aralıklarda olması bu çeliklerin diğer çelik grupları ile kesişmesine neden olmaktadır. DIN 17350 normunda kullanım alanına göre yapılan sınıflandırmada, soğuk, sıcak ve yüksek hız takım çelikleri olmak üzere üç grupta toplanmıştır. Çelikleri birbirinden farklı kılan, malzeme özelliklerini etkileyen kullanım sıcaklığı ve malzemenin temperleme sıcaklığıyla sertliğinin değişimidir [61].

3.1. TAKIM ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Takım çelikleri çok çeşitli alanlarda kullanıldığından farklı şekillerde sınıflandırılabilir. AISI'nin yaptığı sınıflandırmada takım çeliklerini alaşımlarına göre (molibden ve tungsten çelikleri), uygulama alanına göre (sıcak ve soğuk iş takım çelikleri) ya da ısıtım işlem çeşidine göre (suda sertleştirilen ve yağda sertleştirilen takım çelikleri) gruplandırılmıştır. Çizelge 3.1'de takım çeliklerinin AISI standardizasyonuna göre yapılan ana grupları ve bu grupları temsil eden harfler belirtilmiştir [62].

Çizelge 3.1. AISI normuna göre yapılan gruplandırma ve bu grupları temsil eden harfler.

Grup	Sembol
Yüksek hız çelikleri, Tungsten	T
Yüksek hız çelikleri, Molibden	M
Sıcak iş takım çelikleri, krom, tungsten ve molibden	H
Yüksek karbon içeren, yüksek krom içeren soğuk iş takım çelikleri	D
Kalıp çelikleri	P
Suda sertleştirilen takım çelikleri	W
Şok dayanımlı takım çelikleri	S
Yağda sertleştirilen soğuk iş takım çelikleri	O
Havada sertleştirilen orta alaşımlı soğuk iş takım çelikleri	A

3.1.1. Soğuk İş Takım Çelikleri

Bu çelikler genellikle kalıp imalatında çeşitli şekillendirme yapılması amacıyla kullanılan çelik gruplarıdır. Ancak yapılarında yüksek sıcaklıkta sertliğini korumasını sağlayacak alaşım elementleri bulunmamasından dolayı uzun süreli yüksek sıcaklıkta ve tekrarlayan ısınma ve soğuma işlemlerinde kullanımları sınırlandırılmıştır. Soğuk iş takım çeliklerine uygulanan işlemler ile takım ömrünü uzatmak, dayanımını arttırmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amaçlanmaktadır [63].

Soğuk iş takım çeliklerinin başlıca özellikleri

- Yüksek gerilimler altında çalışırken kalıcı şekil değiştirmeye karşı yüksek dayanım özelliği,
- Abrasif ve adhesif aşınmayla yüzey yorulmasına karşı direnç,
- Tokluk (yorulma ve kırılma direnci),
- Kullanım esnasında boyutsal kararlılık,
- Homojen mikroyapısına sahip olması,
- Ön tavllanmış yapısında kolay işlenebilirlik,

- Sertleştirilmiş hali özellikle kaynak işlemlerinin ısı tesiri altında kalan bölgelerinde (ITAB) çatlak oluşturma direnci [64].

En çok kullanılan soğuk iş takım çeliklerine örnek olarak DIN (Deutsches Institut für Normung) 1.2379, 1.2363, 1.2767, 1.2842, 1.2436 kaliteleri verilebilir.

3.1.2. Soğuk İş Takım Çeliklerinin Çeşitleri

Bu çelikler, AISI ve SAE normuna göre sertleşme sıcaklığı, soğutma koşulları ve bileşimleri göz önünde bulundurularak üç gruba ayrılmışlardır [62].

3.1.3. Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri

O simgesi ile gösterilen yüksek karbonlu (% 0,90-1,50 C) çelikler olup, bileşimlerinde mangan ve bir miktar krom ve volfram içerir. Suda sertleşen takım çeliklerinden (W) daha yüksek sertleşebilirliğe sahiptir ve yağda su verilerek sertleşebilirler. Isıl işlemde çatlama ve distorsiyona uğrama riski W sınıfı takım çeliklerine göre daha düşüktür. Buna karşın ısıl işlem sırasında dekarbürizasyon ve karbürizasyona karşı korunmalıdırlar [62], [65].

3.1.3.1. Yüksek Karbonlu ve Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri

D simgesi ile gösterilen yüksek kromlu ve yüksek karbonlu soğuk iş takım çeliğinin bileşiminde yüksek oranda karbon (% 1,40-2,50) ve % 12,00 düzeyinde krom bulunur. Ayrıca molibden, vanadyum, volfram ve kobalt gibi alaşım elementleri de içerebilirler. Bu sınıfa giren çeliklerden molibden içerenler havada soğutma ile sertleşebilirken, molibden içermeyenler yağda su verilerek sertleştirilirler [62], [65].

3.1.3.2. Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kullanım Alanları ve Seçimi

Soğuk iş takım çeliklerinin kullanım alanları TS 3921 ve ASTM A681 standartlaştırılmıştır. Bu standartlara göre kullanım alanları; kesme bıçakları, bükme kalıpları, sıvama kalıpları, soğuk form verme kalıpları, baskı makaraları, zımbalar, pres takımları, ölçme aletleri ve benzeri soğuk iş uygulamaları olarak belirlenmiştir [62], [65].

3.1.4. Sıcak İş Takım Çelikleri

200 °C'nin üzerindeki uygulamalarda kullanılan çelikler olup; sıcak aşınma direnci, ısıl iletkenliği, yüksek sıcaklıklarda darbe direnci, meneviş direnci ve tokluğu yüksek

malzemelerdir. Kullanım alanından da anlaşılacağı üzere, kimyasal kompozisyonu sayesinde, tekrarlanan sıcak şekillendirme işlemlerinde yumuşamaya karşı dayanım göstermesi en önemli özelliğidir [62], [65].

3.1.5. Yüksek Hız Takım Çelikleri

Yüksek alaşımlı çelikler olup ana alaşım elementi olarak volfram veya molibden içerirler. Bileşiminde volfram ve molibdenin yanı sıra krom, vanadyum ve kobalt da bulunabilir. Karbon içeriği genellikle % 0,75-1,20 olup, bazen % 1,50 düzeyine kadar da çıkabilmektedir [65].

3.1.6. Plastik Kalıp Takım Çelikleri

P simgesi ile gösterilen ve plastik kalıbı yapımında kullanılan takım çelikleri sınıfında düşük veya orta karbonlu, krom ve nikel alaşımlı (çok az oranda vanadyum ve molibden ilaveli) bileşime sahip çelikler bulunmaktadır. Bileşimlerindeki alaşım elementlerinin toplamı % 1,50-5,00 düzeyindedir. Plastik takım çelikleri korozyona karşı gösterdikleri direnç ve parlatılabilme özellikleri ile öne çıkmaktadırlar [65].

3.1.7. Özel Amaçlı Takım Çelikleri

L simgesi ile gösterilen özel amaçlı takım çelikleri sınıfına giren çeliklerin bileşimi, suda sertleşen takım çelikleri ile hemen hemen aynıdır. Ancak özel amaçlı takım çeliklerinin bileşiminde aşınma direncini ve sertleşebilirliği artırıcı olarak belirlenenlerde krom, vanadyum, molibden ve nikel bulunabilir. Genellikle yağda su verilerek sertleştirilen L serisi takım çelikleri, yüksek aşınma direncine ve tokluğasa sahip olması istenen kalıp ve makine parçası yapımında kullanılmaktadır [65].

4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

Talaş kaldırma işlemi uzun yıllardır üzerinde en fazla çalışılan bilimsel araştırma konularından biridir. Metalin, yüksek hızın, sıcaklığın ve basıncın etkisi altında uygulanan bir yöntemdir [66].

Günlük hayatta kullanılan pek çok parça, farklı imal usullerinden biri kullanılarak imal edilmiştir. Takım tezgâhlarında, talaş kaldırma işlemiyle malzemelerin şekillendirilmesindeki amaç, nihai şekline getirilmesidir [67].

4.2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat önemli şekillendirme usullerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde; iş parçasını belirlenen forma getirebilmek amacıyla uygun takım ve tezgâh (torna, freze, matkap) kullanılarak üzerinden fazlalıkları almak veya delik delme, kanal açma vb. işlemler uygulanarak istenilen yüzey bütünlüğü sağlamak amacıyla yapılan işlemlerdir [68].

Talaşlı üretimin imalatta önemli olmasının nedenleri

- Farklı malzeme çeşitleri, bütün katı malzemeler ile beraber polimer, kompozit vb. talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilirler.
- Talaşlı imalatta düz, dairesel yüzeyler uygun tezgâh kullanılarak uygun yüzey ve geometriye getirilirler.
- Farklı imalat yöntemleri kullanılarak genel olarak karmaşık şekiller oluşturulabilir [69].

4.2.1. Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Parametreleri

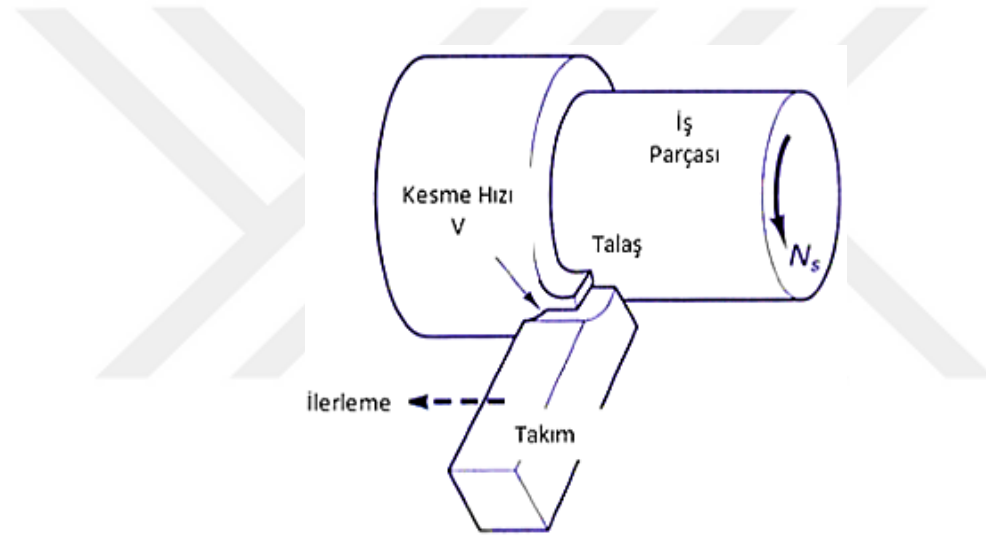
V: Kesme hızı; kesici takımın birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve m/dak olarak ifade edilmektedir.

f: İlerleme hızı; iş parçasının her bir dönüşünde yani bir devirde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak aldığı mesafedir ve mm/dev olarak ifade edilir.

a: Kesme derinliği; iş parçasından koparılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür [70].

4.3. TALAŞ OLUŞUMU

Talaş kaldırma mekaniğinin ana unsuru talaşın çıkmasıdır. İş parçasının kayma gerilmesine maruz kalması sonucu yoğun plastik deformasyona uğramasıyla gerçekteşir. Kesici ucun malzemeye nüfus etmesi sonucu, malzeme ile temasa geçtiğinde malzeme plastik Şekil değiştirmesine neden olarak yüksek gerilmeler ve sıcaklıklar meydana gelmektedir. Şekilde 4.1’de talaş kaldırma modeli görölmektedir [71].

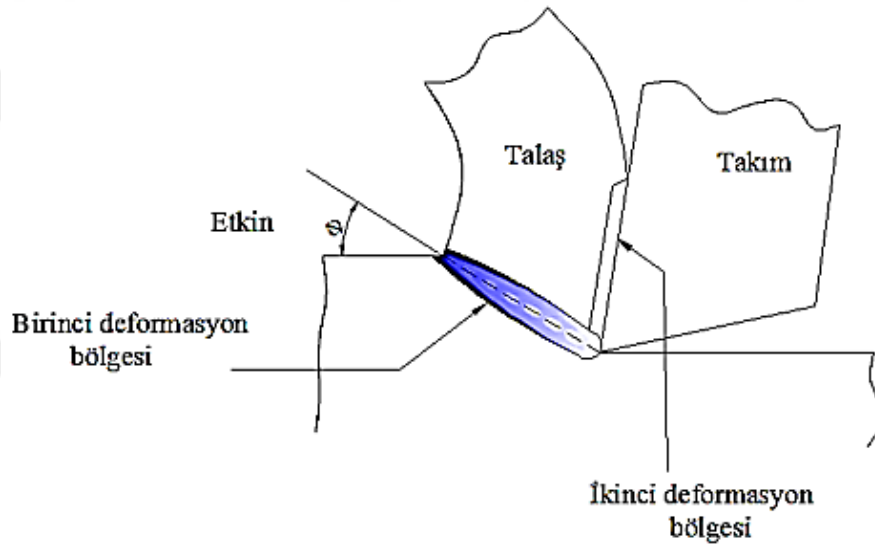


Şekil 4.1. Tornalama işleminin şematik gösterimi [71].

Talaş kaldırma işleminin amacı işlenen iş parçalarında istenilen ölçüye getirmek ve yüzey kalitesi sağlamaktır. Oluşan talaőlar atık ürün olmasına rağmen talaşın oluşmasında ve talaşın kesici takım yüzeyindeki hareketi esnasında talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan enerjinin çoğu kullanılmaktadır. Bu nedenle, talaş kaldırma ve kesici takım performansı ile ilgili esas problemler, iş parçası malzemesinin talaőa dönüşmesi ve bu talaşın uç kesici takım üzerindeki hareketinin incelenmesi ile anlaşılabilir. Talaş oluşumu hakkındaki bilgi aynı zamanda işlenmiş yüzeyin durumunu anlamak için de gereklidir [72].

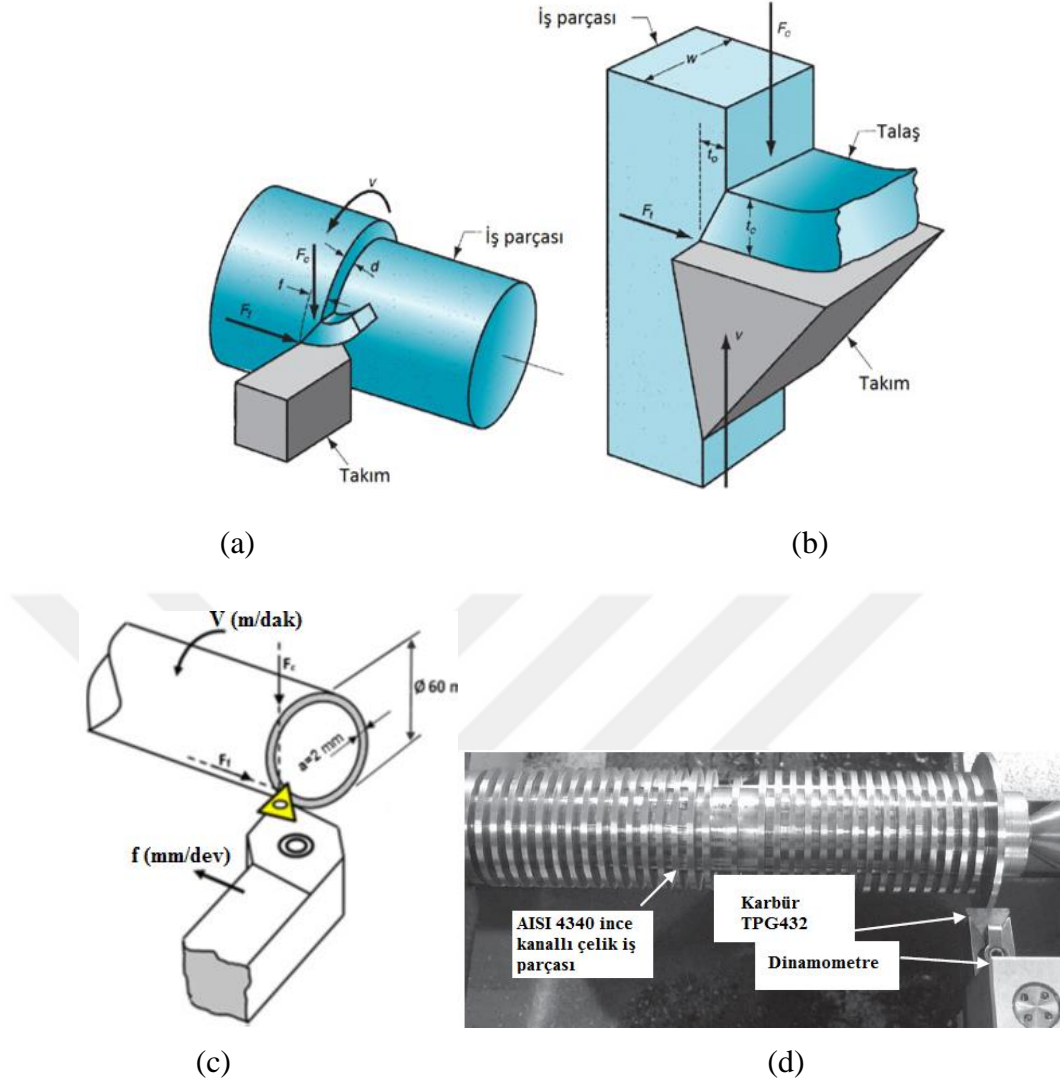
Talaş kaldırma işlemleri (torna, freze, delme vb.) farklı olsada talaşın oluşum mekanizması temelde aynıdır. Torna, Freze, Matkap gibi yapılan işlemlerde iş parçası yüzeyinden talaőlar Şeklinde parçalar kaldırılır. Talaş kaldırma, bölgesel bir kayma ile

çok dar bir bölgede gerçekleşir (birinci deformasyon bölgesi), Şekil 4.2’de gösterildiği gibi kesici takımın iş parçası ile temasa geçmesiyle başlayan ve önce iş parçasında elastik (geçici) adı verilen deformasyon meydana gelir. Daha sonra devam eden kesme süreci ile iş parçasının akma dayanımı aşılar ve malzeme plastik (kalıcı) deformasyona maruz kalır (kalıcı olarak şekil değiştirir). İş parçası ve kesici takımın göreceli hareketi ile kalıcı şekil değiştirmenin devam etmesi esnasında yüksek sıcaklığa maruz kalmış iş parçası malzemesinde büyük oranlarda dislokasyon birikmesi oluşur. Bu da iş parçası malzemesinde deformasyon sertleşmesine neden olur. Deformasyon sertleşmesi bir doyum noktasına ulaştığında iş parçası kaymaya maruz kalır ve talaş oluşur. Oluşan talaş kesici takım talaş yüzeyinden atılır [72].



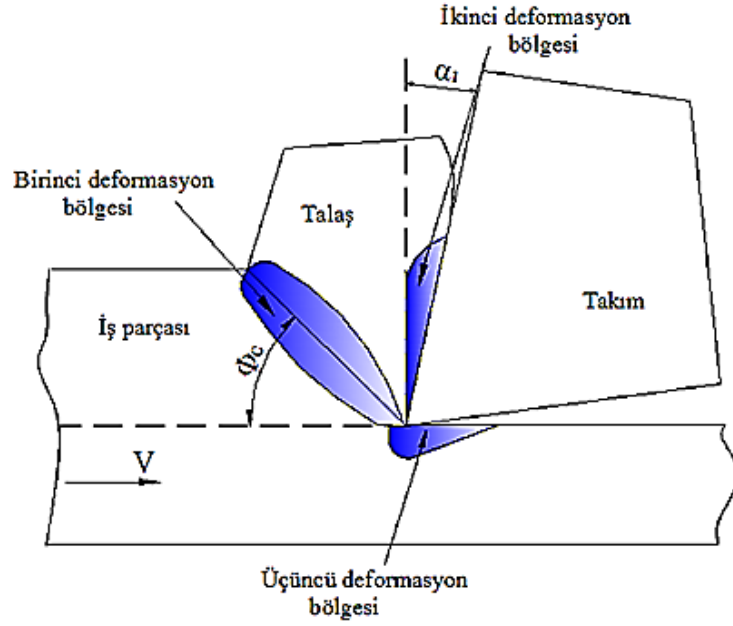
Şekil 4.2. Gerçek talaş oluşumu [69].

Talaş kaldırma işleminin temelini dik (orthogonal) kesme mekaniği ve eğik (oblique) kesme mekaniği oluşturmaktadır. Talaşlı imalat üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır. Şekil 4.3’te (b,c,d) dik kesme modeli şematik olarak gösterilmektedir [68], [69].



Şekil 4.3. Eğik (a) ve dik kesme modelleri (b, c, d) [68], [73], [74].

Şekil 4.4'te ortogonal kesmenin kesit görünüşünden de anlaşılacağı üzere kesme işleminde üç adet şekil değiştirme (deformasyon) bölgesi vardır. Takım kenarı iş parçasına dalarken takımın malzeme içerisinde hareketiyle bir talaş formu oluşmaya başlar ve ilk kayma bölgesi oluşur. Malzemenin kesilmesiyle talaş kısmen şekil değiştirir ve takımın talaş yüzeyi boyunca hareketiyle ikinci deformasyon bölgesi oluşur. Takımın yan yüzeyindeki sürtünme bölgesinde ise üçüncü bölge meydana gelir. Talaş başlangıçta takımın talaş yüzeyine yapışır ve burada yapışma bölgesi oluşur. Kayma alanındaki (talaşın takım talaş yüzeyinde ilerlediği) sürtünme gerilmesi yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine eşittir. Talaş yapışma olayı biter ve sürekli kayma sürtünmesiyle talaş yüzeyinde talaş akması başlar. Talaş takımdan ayrılır, takımın talaş yüzeyi ile temas kaybolur. Temas uzunluğu kesme hızı, takım geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır [68].



α : Kesici takım talaş açısı ϕ : Kayma düzlemi açısı

Şekil 4.4. Gerçek talaş oluşumu [68], [69].

4.4. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ

Talaşlı imalat işleminde üzerinde önemle durulması gereken hususlardan biri de, kesici takımlara etki eden kesme işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleridir. Kesme kuvvetinin bilinmesi takım tezgâhı imal edilirken bilinmesi gereken önemli bir unsurdur, böylelikle tezgâh parçaları bu kuvvetler sonucunda oluşabilecek gerilmelere dayanabilecek rijitlikte ve titreşimsiz olarak tasarlanabilecektir. Ayrıca, talaşlı imalat işleminin bilimsel analizi de kesme kuvvetlerinin bilinmesini gerektirir. Kesme kuvvetlerinin kesici takım ömrü ve işlenen yüzeyin kalitesi üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır. Kesme kuvvetleri, iş parçasının türü, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği vb.), kesici takım geometrisi, kesici takım malzemesi ve soğutma sıvısının kullanılıp kullanılmamasına göre farklılık göstermektedir [75].

Kesme kuvvetlerinin tahmin edilebilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak, talaşlı imalat işleminde kuvvetlerin ve gerilmelerin yönlerinin ve büyüklüklerinin doğru olarak bilinmemesi, malzeme özelliklerinin farklı olması ve bunun gibi çeşitli bilinmeyen etkenler nedeniyle yeterli doğrulukta kesme kuvvetlerinin hesaplama yöntemleriyle belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin ölçülmesi üzerinde çalışmalar yapılmış ve 20. yüzyılın başlarından itibaren bu alanda çalışmalara ağırlık verilerek çeşitli dinamometreler geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu dinamometreler ile kesme kuvvetleri yeterli doğrulukta ölçülebilmektedir.

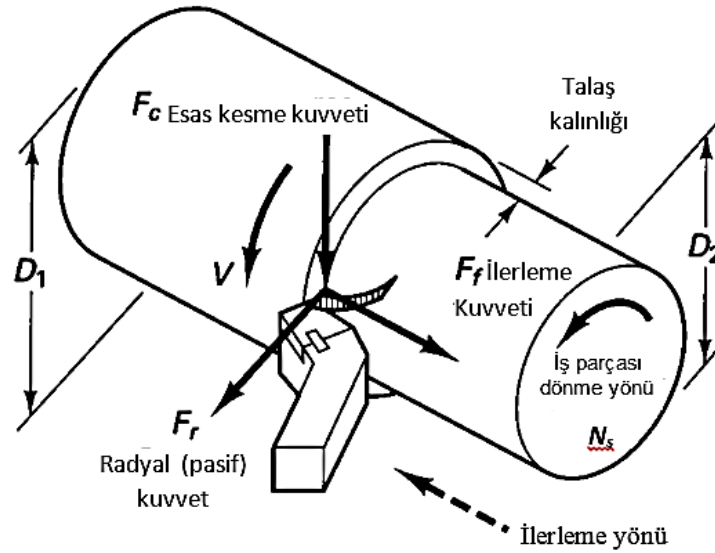
Geliştirilen dinamometrelerdeki temel prensip, yük altında kesici takımın elastik sapmasıdır. Kesme kuvvetlerini ölçmek için tasarlanan ve imal edilen ilk dinamometreler kesici takımın geçici (elastik) sapmasının komparatör saatleri ile ölçülmesini amaçlamıştır. Bu dinamometrelerin hassasiyetinin oldukça düşük olması nedeniyle yalnızca büyük yer değiştirmeler, kesiti küçük olan kesici takımlarla ölçülebilmektedir. Kesici takım kesitinin küçük olması ve buna bağlı olarak rijitliğin düşük olması nedeniyle bu tür dinamometreler çok etkin kullanım alanı bulamamıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte dinamometre yapımında yeni elemanların kullanılması ile örneğin: gerinim ölçerler (strain gauges), transdüserler, yük hücreleri ve piezoelektrik kristaller, yüke maruz kalan kesici takımlardaki sapsmalar çok daha hassas ve çok hızlı bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu gelişmiş dinamometrelerin üretimi sonucu, günümüzde daha rijit takımların kullanılabilmesi ve çok kısa zaman aralıklarında kesme kuvvetlerindeki değişikliklerin sağlıklı bir şekilde ölçülmesi mümkün olmuştur.

Talaşlı imalat işleminde kesici takım üzerine etki eden kuvvetler dövme işlemi gibi diğer şekillendirme işleminde oluşan kuvvetlerden çok daha düşüktür. Kaldırılan malzeme katmanı (talaş) çok ince olduğu için oluşan kuvvetler çoğunlukla düşüktür. Şekil 4.5'te tornalama esnasında oluşan kuvvet bileşenleri görülmektedir. Burada:

F_c : Kesme kuvveti, kesici uca dik olarak takım talaş yüzeyine etki eder. Bu genellikle üç kuvvet bileşeninin en büyüğüdür.

F_f : İlerleme kuvveti, kesici takım üzerine, iş parçası eksenine paralel olarak etki eder.

F_p : Pasif kuvvet, kesici takımı iş parçasından uzaklaştırmaya çalışan kuvvet olup kesici takım ekseninde etki eder. En küçük kuvvet bileşenidir [68].



Şekil 4.5.Tornalama esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni.

4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İmal edilen bir nihai ürün için istenilen iki temel bileşen ölçü ve yüzey kalitesidir. Bu nedenle, talaş kaldırılmış bir yüzey, kaliteli olması bakımından büyük önem taşımaktadır [76], [77]. İşlenebilirlik çalışmalarında kullanılan parametreler yüzey bütünlüğünü etkilemektedir [78]. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir [79]. Talaşlı imalat işleminde amaç, sadece parçaları şekillendirmek değil istenilen geometri, boyut ve yüzey bakımından imalat resminde belirlenen ölçülere göre imal etmektir. Parçanın yüzey kalitesi, talaş kaldırma işlemini belirleyen en önemli özelliğidir. Talaş kaldırma işlemlerinde, kesme kuvvetlerine birden çok parametreler etki etmektedir. Kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetleri, talaş kaldırmanın önemli bir safhasını oluşturur. Kesme kuvvetleri; takım tezgâhlarının rijit olması ile birlikte kesme derinliği, talaş açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı, iş parçasının malzemesi vb. faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir [80]. Kesme kuvvetlerinin modellenmesi metal kesme teorisinin uğraş alanlarından birisidir. Kesme kuvvetlerini etkileyen birbiriyle ilişkili çok sayıda parametre mevcut olması bu alanda bir model geliştirmesini zorlaştırmaktadır [81].

Çalışma şartlarına uygun olarak, bazı özel durumlar için yüksek mukavemet gerektiren, parçaların imalatında, genellikle hassas yüzey kalitesine ihtiyaç duyulur. Bu yüzden bu parçalar için, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve kalite kontrolü gerekmektedir. Sürtünmeye karşı kullanılan yağlar ve yağlayıcılar, korozyonlu ortamda çalışan makine

elemanları, dönen makaralar, kaplanmış yüzeyler, bujiler vb. gibi parçaların imalatları titizlik gerektirir [17]. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde, takım geometrisi (kesici uç yarıçapı, kenar geometrisi, talaş açısı vb.) ve kesme parametreleri (ilerleme, kesme hızı, kesme derinliği vb.) etkilidir [82].

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta birçok nokta açısından önemli bir parametre kabul edilmiştir [83]. Bunların bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bazı nedenler vardır bunlar aşağıda sıralanmıştır [83].

- Tezgâh rijitliği,
- Yataklamaya bağlı durumlar,
- Uygun takım tutucu ve rijitliği,
- Takımın aşınması,
- İşleme parametreleri,
- Soğutma sıvısı.

5. KRİYOJENİK İŞLEM

Son yıllarda yapılan araştırmalar malzeme performansını ve ekonomiklik açıdan daha az maliyet getirecek çalışmalar doğrultusunda olmuştur. Yapılan deneyler sonucunda ise kriyojenik işlem istenilen verimi vermiştir. Sıfır altı ısıl işlem olarak da bilinen kriyojenik işlem metallerin mikroyapılarını iyileştirmek için yapılan geleneksel ısıl işlemi tamamlayıcı bir soğutma işlemidir [84], [85]. Kaplamalardan farklı olarak homojen olarak dağılmış, kriyojenik işlem bir defa yapılır ekonomik ve kalıcı bir işlemdir [45].

5.1. KRİYOJENİK İŞLEMİN GELİŞİMSEL SŐURECİ

Sođu bilim anlamına gelen kriyojeni kelimesi soğuk anlamında olan yunanca “kryos”dan gelmektedir. Sođu bilim, dűřük sıcaklıklarda malzemelerin performanslarında önemli bir değişim yapan bir malzeme bilimidir. Sođuk işlemlerin 1937’ler öncesinde takım performansları üzerine yararlı etkilere sahip olduğu rapor edilmiştir [86], [87]. Sođu bilim, 19. yy.’in ortasında insanların ilk kez yeryüzünde var olan sıcaklıktan daha dűřük sıcaklığı öğrenmesiyle başlamıştır. Çalışmayı ilk olarak James Harrison 1855 yılında buhar sıkıştırmak suretiyle soğutucu geliştirmiştir. Daha sonra İngiliz bilim adamı James Dewar, 1872’de vakum şişesini bulmuştur. 1883 yılında Polonyalı bilim adamı Olszewski tarafından ilk defa havayı sıvılaştırmayı gerçekleştirmiştir. On yıl sonra Olszewski ve James Dewar tarafından hidrojen sıvılaştırılmıştır. 1902’de Georges Claude hava sıvılaştırmasının verimliliğini artırmıştır. Son olarak Hollandalı fizikçi Kamerlingh Onnes 1908’de helyumu sıvılaştırmıştır. Böylece, 20. yy’dan itibaren bilimsel çalışmalara yeni bir kapı açılmıştır [86], [88].

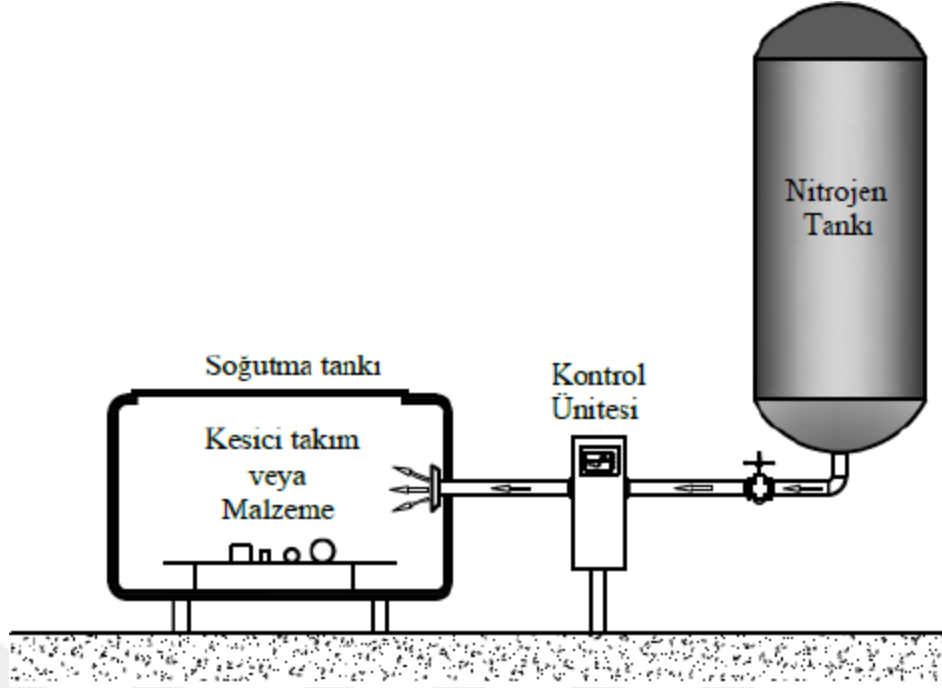
Kriyojenik işlem malzemenin tabi tutulduğu işlem sıcaklıklarına bağlı olarak sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır [4].

Sığ kriyojenik işlem, su verme işleminden sonra -50 °C ile -80 °C arasında malzemenin sıvı azot veya nitrojen gazında bekletilme işlemidir. Derin kriyojenik işlem ise -125

°C'den daha düşük sıcaklıklarda malzemelerin soğutulma işlemi uygulanarak yapılmaktadır [46]. Isıl işlem sonrası malzemeler sıg ya da derin kriyojenik işlem sıcaklıklarında belirlenen bir bekleme süresinde tutularak oda sıcaklığına kadar kademeli olarak getirilmektedir. Bu yöntemin en önemli faydası geleneksel olarak ısı işlem uygulanmış malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi, ince karbür çökeltilerinin oluşumu ve homojen karbür dağılımının oluşumuna katkı sağlamaktadır [53], [89]-[91]. Bu gerekçelere dayanarak son yıllarda yapılan çalışmalarda, metalik malzemelerin aşınma dayanımı, çekme dayanımı, işlenebilirlik, kalıntı gerilme, mikroyapı, ölçü tamlığı, sertlik, tokluk ve yorulma dayanımı gibi farklı özelliklerinin iyileştirilmesinde kriyojenik işlemin önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir [45], [46], [90], [92]-[95]. Ayrıca son yıllarda kriyojenik işlem metal ve alaşımlarının yanı sıra plastikler ve kompozitlere uygulanması ile sertlik, dayanım ve aşınma direncinde önemli iyileşmeler olduğu görülmüştür [86].

5.2. KRİYOJENİK İŞLEMİN UYGULANMASI

Kriyojenik işlemin ilk uygulanmaya başladığı yıllarda, malzemelerin doğrudan sıvı nitrojen içerisine daldırılması suretiyle yapıldığı ve bu işlem ile meydana gelen ani ısı değişiminden dolayı parçanın termal şoklara maruz kaldığı bildirilmiştir [45]. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte sıcaklığın kademeli olarak düşürülmesine olanak tanıyan bilgisayar kontrollü sistemlerin geliştirilmesiyle birlikte kriyojenik işlem daha sorunsuz hale gelmiştir. Şekil 5.1'de kriyojenik işlemin uygulandığı bilgisayar kontrollü sistemin şeması görülmektedir [86].



Şekil 5.1. Kriyojenik işlemin uygulandığı sistemin şeması [86].

Tankta bulunan sıvı azot fırın içerisine girdiğinde gaz fazına dönüşür ve sıvı azotun kriyojenik işlem uygulanacak parça ile teması engellenmektedir. Böylece sıvı azotun parça ile teması sonucu olası çatlamların önüne geçilmektedir. Ayrıca kontrol ünitesi ile sıcaklık kademeli olarak istenilen değere getirilebilmekte ve bu sıcaklıkta belirlenen bir bekleme süresinde bekletilebilmektedir.

Kriyojenik işlemden sonra yapılan temperleme işlemi, genellikle temperleme işlemi yapılan malzemelerin mukavemet dirençlerini geliştirmek için uygulanmıştır. Temperleme, malzeme niteliklerini ve ulaşılması hedeflenen özelliklere göre tek, çift veya üçlü döngüler olarak gerçekleştirilebilmektedir [96]. Ancak, nihai etki için herhangi bir temperleme işleminin kriyojenik işlem sürecinden önce gerçekleştirilmesi tavsiye edilmemektedir [97]. Ayrıca, en önemli faydanın, kriyojenik işlemin temperleme ve sertleştirme (su verme) işlemlerinin arasına yerleştirildiğinde türetildiği belirtilmiştir [98].

5.3. KRİYOJENİK İŞLEMİN ETKİLERİ

Kriyojenik işlem geniş bir malzeme yelpazesinde iyi sonuçlar verebilmektedir. Uygulandığı malzemelere bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle kriyojenik işlemle aşağıdaki iyileşmeleri elde etmek mümkündür [86].

Bunlar;

- Daha iyi aşınma direnci
- Yorulma ömründe artış
- Gerilim giderme ve boyutsal kararlılık
- İletkenlikte artış
- İşlenebilirlikte iyileşme
- Bir miktar sertlik artışı
- Daha iyi korozyon direnci
- Sertlik,
- Çekme dayanımı,
- Kırılma tokluğu,
- Aşınma dayanımı,
- Yorulma direnci,
- Mikroyapı,
- Kalıntı östenit
- Kalıntı gerilme değerlerinde ciddi iyileşmeler şeklinde sıralanabilir [29].

5.4. KRİYOJENİK İŞLEMİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

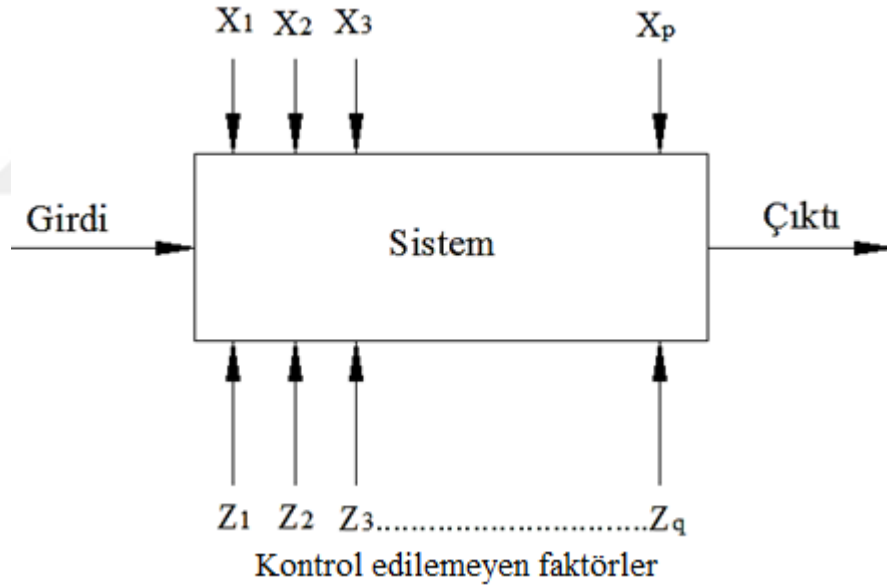
Kriyojenik işlemin; talaşlı imalat, döküm, enjeksiyon kalıplama, demir dövme, kaynak, madencilik, otomotiv, uzay, kereste, elektronik, çelik, tarım gibi daha birçok endüstriyel sektörde uygulamasını bulmak mümkündür. Kriyojenik işlem çeşitli parçaların performansını artırmak için uzay ve imalat sanayi, spor ve müzik aletleri, ateşli silahlar gibi alanlarda halen kullanılmaktadır. Son on yıl içerisinde kriyojenik işlem ile takım/sac kalıbı çeliklerinin tribolojik özelliklerini iyileştirmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Sac kalıpları, zımbalar, matkap uçları, parmak frezeçakıları, rulmanlar, kamalar, krank milleri, pistonlar vb. için servis ömürlerinde önemli artışlar kaydedilmiştir [99], [100]. Ayrıca son yıllarda kriyojenik işlem metal ve alaşımlarının yanı sıra plastikler ve kompozitlere uygulanarak plastiklerin dayanım ve kompozitlerin ise sertlik, dayanım ve aşınma direncinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır [86].

6. TASARIM VE OPTİMİZASYON

6.1. DENEY TASARIMI

Deney, bir sistem üzerindeki bir gerçeği veya varsayımı, incelemek amacıyla belirli bir yöntem ve kurallara uygun olarak yapılan işlemidir. Deney Tasarımı kavramı ise, bir sisteme giren değişkenler üzerinde amaçlanan değişikliklerin uygulanması, dönüt olarak farklılıklara ulaşılması ve bu farklılıkların yorumlanması olarak ifade edilebilir [101].

Deney Tasarımında süreç eniyilemesinde, parametrelerin belirlenmesinde tanımlanmasında ve parametrelerin azalması için kullanılan bir yöntemdir. Bir düzeneğin genel gösterimi Şekil 6.1'de gösterilmektedir [102].



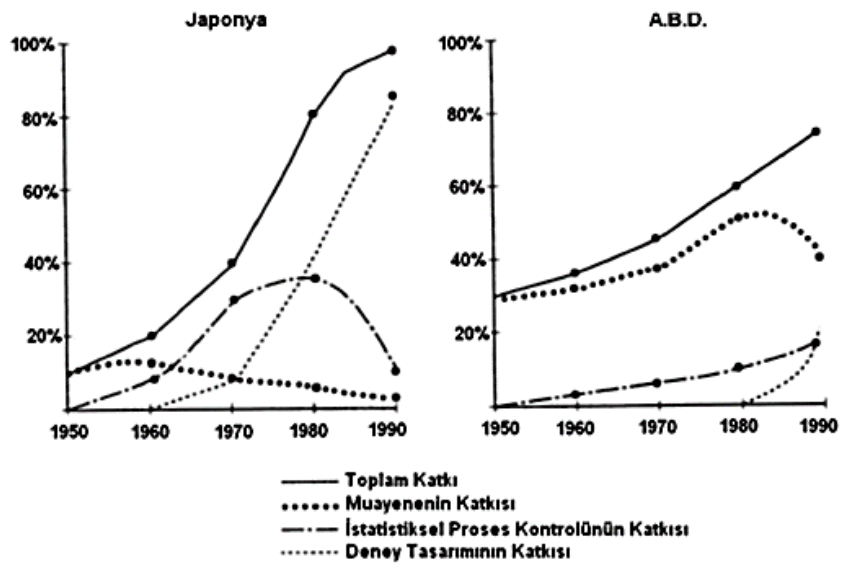
Şekil 6.1. Bir düzeneğin genel gösterimi [102].

6.2. DENEY TASARIMI TARİHÇESİ

Deney tasarımı; ilk olarak S. Ronald Fisher tarafından, tarım sektöründe verimi artırmak amacıyla 1920'lerde denenmiş ve geliştirilmiş bir kavramdır. Geliştirdiği deney tasarım yöntemi, çok kısa bir sürede, Amerika'da tarım üretiminde verimin artırılması için uygulamalar başlatılmış ve böylece Amerikanın tarım alanında lider konuma gelmesine

büyük katkı sağlamıştır. Yöntemin öncelikli olarak tarım sektöründe, iklim koşullarının, sulama yüzeylerinin; gübre ve dozları ile çeşitli ürünlere olan etkilerini belirleyebilmek için uygulanmıştır. Fisher'ın deney tasarımıyla gerçekleştirdiği varyasyon azaltılması günümüzün modern kalite kontrol anlayışını doğurmuştur. Ayrıca halen kullanılan “varyans analizi” (ANOVA) yöntemi de Fisher'ın çalışmaları sonucunda gelişmiştir [103].

Deney Tasarımı (DT), sonraki yıllarda kimya ve eczacılık alanlarında uygulanmıştır. DT bu sektörlerde kullanmış olmasına rağmen imalat sanayinde kullanımı ise 1970 yıllarından sonra başlamıştır. ABD imalat ve üretim sektörüne girdiği sıralarda, Japonya'da ise Deney Tasarımının Japon kalitesine etkileri araştırılıyor ve yeniden keşfediliyordu. DT, o zamanlar Japonya'da Prof. G. Taguchi'nin liderliğinde yoğun ve sistemli olarak uygulanmaktadır. Taguchi DT'mina kuramsallaşma anlamında yenilikler getirememiş fakat, üretim uygulamalarında yenilikler getirmiş olduğu yenilikler yapılan imalat sektöründe etkili bir şekilde uygulanarak benimsenmesini sağlamıştır [103]. Motorola firması kalite kontrol biriminde bulunan K.Bhote “Word Class Quality” ismini verdiği kitabının yazmadaki amacının hedefleri kaliteyi yakalamak olan üç metodun kalite geliştirmeye olan katkısını 1950'den 1990'a kadar olan yıllarda ABD ve Japonya için karşılaştırma yapmıştır. Bu yöntemler ise; kalite denetlenmesi, matematiksel süreç kontrol ve DT metodlarıdır. Şekil 6.2'de Japonya ve ABD kalite gelişimi görülmektedir. Japonya'da kalite kontrolün en büyük gelişimi 1970'li yıllardan sonra yaparken, ABD'de ise 1980'li yıllarda önemi anlaşılmasına başlamıştır [103].



Şekil 6.2. 1950-1990 yıllarındaki yöntemin kalite sürecine katkısı.

DT'nin amacı, bir ürünün gelişim tasarısında olası sorunlarda en iyi neticenin alınması.

6.3. DENEY TASARIMI ADIMLARI

Deney Tasarımı, mevcut problemin ortaya konulması ile başlar ve sonra amaçlar belirlenir. Problemi etkileyen faktörler ve bu faktörlerin seviyesi tespit edilir. Deney Tasarımı için bir yol seçilir ve bu sayede veriler elde edilir. Elde edilen veriler analiz edilir ve bazı sonuçlara ulaşılır. Bu sonuçlar yorumlanır. Bulunan sonuçlar gerek görülmesi halinde doğrulama deneyleri yapılarak sınanır. Bir Deney Tasarımı'nın uygulanmasında şu yöntemlerden oluşmaktadır [104].

1. Problem tespiti,
2. Hedef belirleme,
3. En iyi performans belirlenmesi,
4. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi
5. Etkenlerin (faktör) seviyelerinin belirlenmesi,
6. DT'nin belirlenmesi,
7. Dataların toplanması,
8. Dataların çözümlenmesi,
9. Sonuçların değerlendirilmesi,
10. Doğrulama deneylerinin yapılması.

6.4. TAGUCHI YÖNTEMİ

Kaliteli ürün ve zaman kaybını engellemek amacıyla geliştirilen bir yöntem olan Taguchi yöntem Japonya'nın endüstriyel gelişimine kalite ve zaman olarak yenilik katmak amacıyla Genichi Taguchi tarafından 1940'lı yıllarda geliştirilmiş ve o tarihten itibaren aktif olarak kullanılmıştır.

Makine mühendisi olan Genichi Taguchi; Japonyada endüstriyel ürün ve süreç geliştirmesinde 1940 sonlarına doğru aktif olmaya başlamıştır. Böylece ürün ve süreç tasarımı ve kalitenin geliştirmesi konusunda çalışmalarını sürdürmüştür. Çalışmalarına

ağırlıklı olarak istatistiksel kavramlara, özellikle istatistiksel deney tasarımına dayalı kalite geliştirme üzerine çalışmalarını sürdürmüştür.

Dr. Genichi Taguchi süreç eniyileme tekniği olarak geliştirmek amacıyla 1950'lerde bu yöntemi geliştirmiştir. Yönteme de Taguchi yöntemi adı verilmiştir. "Taguchi'nin kalite sahasına getirmiş olduğu en önemli katkı, kalite sistemini üretim öncesi ve üretim süreci olarak ikiye ayırarak bir ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini, üretim öncesindeki aşamada tasarım ve geliştirilenin mükemmelliği ile yakından ilgili olduğunu gösteriyor olmasıdır" [105].

Taguchi metodu farklı değişkenlerin, farklı seviyeleri içinden en iyi bileşeni bulmak amacıyla gayet kullanışlı bir metottur. Her bir değişkenin, her bir düzeyini içinde barındıran tüm bileşenler için çok fazla deneysel araştırma yapılacak durumlarda Taguchi ortogonal dizi tablosu kullanılarak (Çizelge 3.1) çok daha az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [106].

6.5. TAGUCHI YÖNTEMİNİN GELİŞİMİ

Taguchi deney tasarımının gelişimi ve adını tüm dünyaya duyurması II. Dünya savaşından sonrasında Japonya'da yapılması planlanan telefon sistemi üzerinde olmuştur.

Proje; Amerika'daki Bell telefon şirketinin kullandığı sistemi Japonya'ya kurmaktır. Fakat bu sistemin kurulması gerekli donanım o günün şartlarında yetersiz olduğundan bu süreç 20 yılı bulabilirdi. Dr. Taguchi bunu yapabilmek için geliştirmiş olduğu Robust tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım yöntemlerini deneyerek sistemi 4 yıl gibi kısa bir sürede bitirilmesini sağlamıştır. Taguchi geliştirdiği bu sistem sayesinde, daha sonralarda kullanılarak çok fazla ürününün gelişiminde kullanılarak, kalite alanında önemli ödüllerden biri olarak kabul edilen Deming ödülünü 1962'de almıştır [107].

6.5.1. Taguchi ve Kayıp Fonksiyonu

Maliyet değerlendirme hesaplamalarında kullanılan bir fonksiyon türüdür. Bu sistemde; hedeflenen değerden sapma maliyeti değerlendirmektir. Normalde yapılan kalite kontrolde parçalar, hedef değerden sağlamalarına bakılmaksızın, belirlenen sınırlar dâhilinde olmalarına göre değerlendirmeye alınırlar. Bulunan değer, sınır içinde değilse, parça yeniden işlemeye veya atık malzeme bölümüne sevk edilir. Sınır dâhilinde, kabul

edilir. Şirkete göre ise, kayıp veya tamdır, ya da sıfırdır. Bu sistemin gelişimi şematik olarak Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Şekilde, yatay eksen hedeflenen sapmanın miktarını, dikey eksen finansal kaybı ifade ediyor. Kayıp ise; malzemenin fabrika çıkışından sonra oluşan tüm kayıplar toplamıdır. Burada; ürün iadesi, garanti talepleri, müşterinin tamir giderleri gibi maliyetleri içerir. Hedeflenen değerden uzaklaştıkça sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır [103].

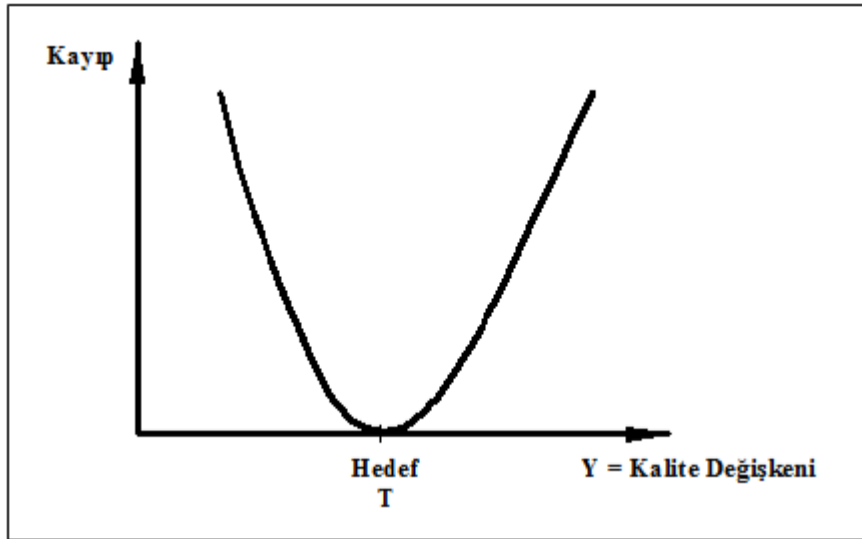
Kayıp fonksiyon denklemi;

$$\text{Kayıp: } k(Y - T)^2$$

T: Hedef değer,

Y: değişkenin ölçüm değeri

K: sapmayı birbirine çeviren katsayı [103].



Şekil 6.3. Taguchi kayıp fonksiyonu [103].

Amaç sadece belirlenen sınırları karşılamak değil, amaçlanan sapmaları minimum düzeye indirmektir.

6.6. VARYASYON ÖLÇÜMÜ

Varyasyonu ölçmek için, R ve S örneklem olmak üzere;

- R, aralık
- S, standart sapması

Aralık R, belli bir örneklem için, Denklem 6.1’de gösterildiği gibi

$$R = \text{En büyük gözlem değeri} - \text{En küçük gözlem değeri} \quad (6.1)$$

R, maksimum ve minimum değerlerden fazla etkilendiğinden, Varyasyon ölçüsü olarak R’nin yerine hesaplanması daha zor olabileceğinden, S, değeri standart sapma kullanılabilir [103].

Standart sapma S, örneklem varyansı S^2 ’nin pozitif kareköküdür. Varyansın S^2 ’nin formülü

$$S^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum (Y - \bar{Y})^2 \quad (6.2)$$

Y= Gözlenen değer

\bar{Y} = Gözlenen değerlerin ortalaması

n = Gözlem Sayısı

6.7. TAGUCHI’NİN SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANLARI

Değişkenleri azaltmak için gerçekleştiren deney tasarımı en iyi değer belirlenmesi hedeflenmiştir adına da sinyal/gürültü oranı denilmiştir ve bir takım matematiksel kurallar dâhilinde geliştirilmiştir. Taguchi, problemlerin türüne göre, hedef faktörünü üçe ayırmış ve her bir için farklı bir sinyal/ gürültü oranı belirleyerek tanımlamıştır [103].

En Küçük – En İyi

Kalite değişkeni Y’nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı;

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \cdot \log \left(\sum \frac{Y^2}{n} \right) \quad (6.3)$$

En Büyük – En iyi

Y’nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı;

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \cdot \log \left[\sum \left(\frac{1}{Y^2} \right) / n \right] \quad (6.4)$$

Hedef Değer – En İyi

Y için belli bir hedef değeri belirlenmiştir.

$$S/G \text{ Oranı} = 10 \cdot \log \left(\frac{Y^2}{S^2} \right) \quad (6.5)$$

Bu problemlerin hepsinde amaç, S/G oranını en iyi elde etmektir.

6.7.1. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi

Kaliteyi yakalamak için, oluşturulan süreçte bu üretimin gerçekleştirilmesinde olsun veya üretim esnasında oluşan ürün kalite standardını yakalamak için değişikliklerin meydana gelmesi olmak üzere, çevrim dışı ve çevrim içi kalite kontrol olmak üzere iki tip uygulama alanı söz konusudur [107].

6.7.2. Çevrim Dışı Kalite Kontrol

Müşteri isteklerine ve müşteri memnuniyetini hedef alan uygulama olarak da tanımlanabilir. Burada amaç, daha ekonomik bir üretim sağlamak, imalat için açık ve yeterli spesifikasyonların, standartların, yöntem ve metotların geliştirilmesi ile ilgilidir [104].

Ürün tasarımı ve süreç tasarımı olarak gruplandırılmaktadır.

- Ürün tasarımı aşamasında; mühendislik bakış açısı ve teknik bilgiyi kullanarak müşteri gereklerini karşılayacak şekilde bir prototip ürün geliştirilir veya mevcut üründe değişiklik/değişiklikler yapılır.
- Süreç tasarımı aşamasında; ürün tasarımı aşamasında ürün hakkındaki verilere ve mevcut imalat teknolojisine dayanarak uygun imalat süreci seçilir.

Dr. Taguchi, istenen kalite düzeyine ulaşmak için her iki aşamadaki çevrim dışı kalite kontrolünün; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak üç adımdan oluşması gerektiğini öngörmektedir.

6.7.3. Sistem Tasarımı

Müşteri gereksinimleri ve işletmenin mevcut şartları, esas alınarak minimum maliyetle ürün, üretimini dizayn etmektir. Burada iyileştirme yapılacak süreç çok iyi tasarlanıp, ihtiyaçlar belirlenmelidir.

6.7.4. Parametre Tasarımı

Parametreleri seçmekteki gâye, mamul ve işleme üzerinde farklılık teşkil eden kontrol dışı değişkenlere karşı, kontrol altında tutulabilen değişkenlerin en doğru seviyede seçilmesinde meydana gelen farklılıkları minimum seviyeye getirebilmektir [108].

“Ürün üzerinde performans değişkenlerini azaltılarak, ürünün imalat ve bakım sırasında

oluşabilecek maliyetleri düşürecek şekilde ürün seviyelerinin olması gereken değerler belirlenir. Bu sayede, üretim ve kullanımdaki performans değişkenlik oluşturan faktörlere – gürültü faktörleri duyarsız olacaktır” [104].

Gürültü Faktörü, kendiliğinden olabilen veya sistemden kaynaklı olabilecek farklılıkların azaltılması için, sebeplerini belirleyebilmek açısından optimal değerleri belirlemek gerekir. Bunlara gürültü faktörleri denmektedir.

Üç tip gürültü faktörü söz konusudur:

Dış Gürültü: Dış etkenlerden oluşan değişkenlikler.

İç Gürültü: Kullanım şartlarına bağlı olarak zaman içinde mamulde veya herhangi bir parçasında oluşabilecek yıpranmadır.

Birimlerarası Gürültü: üretim şartları aynı olmasına karşı, imalat sürecinde oluşabilecek farklılıklardır.

6.6.5. Tolerans Tasarımı

“İmalat maliyetlerini düşürerek, üründeki fonksiyonel belirleyicileri etkilemeden, parametre tasarımında hedeflenen tolerans değerini belirlemektir” [104].

Tolerans tasarımında dikkat edilmesi gereken nokta, toleransları azaltırken maliyet artırıcı olmasıdır.

6.7.5. Çevrim İçi Kalite Kontrol

Çevrim İçi Kalite Kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsamaktadır. Süreç tasarımı aşamasında geliştirilen yöntemleri kullanarak ürün tasarımı aşamasında uygun üretimin gerçekleştirilmesi ile ilgilenmektedir. Çevrim İçi Kalite Kontrol iki aşamaya ayrılır. Bunlar; imalat ve müşteri ilişkileridir.

İmalat aşamasında; süreç düzenli aralıklarla gözlenir, gerektiği durumda ayarlama yapılır. Değişken olan bir süreç parametresi düzenli aralıklarla ölçülür. Elde edilen ölçüm değerleri, süreç izlenerek hedeften sapma olduğunda durumu düzeltmek için gerekli ayar yapılır. Kusurlu ürün olduğunda ya yeniden işlenir veya ıskartaya alınır.

Müşteri ilişkileri aşamasında; ürün müşteriye sunulduktan sonra ortaya çıkan arızalı ürün tamir edilir ya da yenisi verilir. Müşterinin katlandığı maliyet müşteriye ödenir. Bu aşamada gürültü faktörü etkisi yoktur [104].

6.7.6. Robust Tasarım

Robust tasarımın ürün performansını geliştirmeye olan etkisi ile Taguchi'nin amaçladığı birçok istatistiksel metodun çok önemli olduğu kabul edilir. Bu metodlar sinyal/gürültü oranı, ortogonal diziler, doğrusal grafikler ve toplama analizidir.

Mühendisler arasında Robust tasarımın kullanılması, daha iyi, etkin ve kullanımı kolay teknik ve araçlara sahip olması bakımından popüler olmuştur [109].

Taguchi, üründe ve proseste, değişkenlik (hedef değerden farklılık) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün veya prosesteki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Sağlam tasarım ifadesindeki sağlam kelimesi, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır [110].

Robust; kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en aza indirecek şekilde belirleyen tasarım yöntemidir. Robust tasarım, Taguchi metodunun tolerans tasarımı ve parametre tasarımı adımlarını içermektedir.

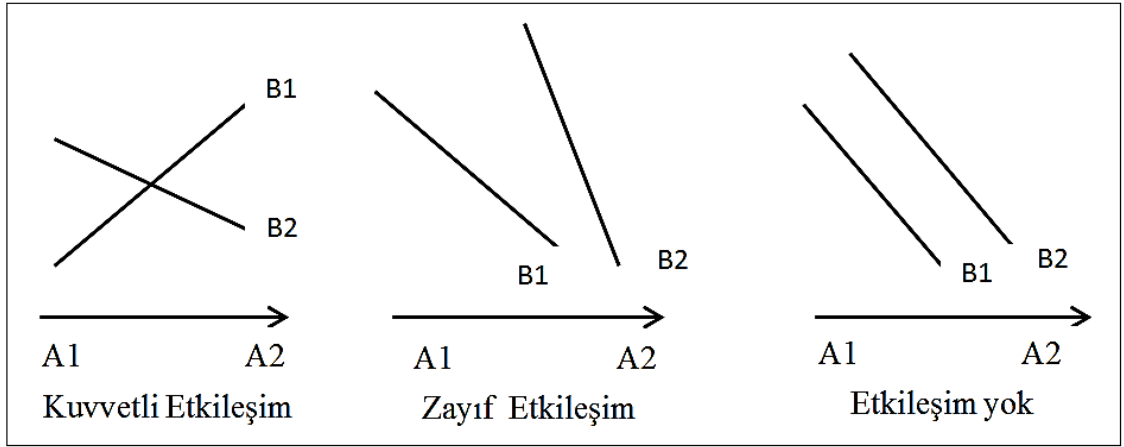
6.7.7. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi

Mevcut problemin çözümü ile ilgili amaç ortaya koyulduktan sonra klasik tasarımda olduğu gibi, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, değerlendirmeye alınacak faktör veya etkileşimler seçilmektedir. Taguchi, faktörleri kontrol edilebilen ve gürültü faktörü olarak da ifade edilen kontrol edilemeyen faktörler olarak ikiye ayırmaktadır. Faktör düzeyleri belirlenmeden önce faktörler belirlenmekte ve kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen faktör sayısına göre tasarım belirlenmekte ve denemeler yapılmaktadır.

6.7.8. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzey sayısı belirlenmektedir. Faktörlerin seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkili bir fonksiyondur. Serbestlik derecesi, faktör seviyelerinden hareketle hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi, deneyin

büyükliğini tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik seviyesi, o faktörün seviyesinin bir eksiğidir. Ayrıca, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimler de belirlenir. Bu etkileşim etkilerine interaction effects denmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıdır. Aynı ayrı her faktörün serbestlik derecesi toplamı toplam serbestlik derecesini vermektedir. İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerinde bulunduğuyla bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir. Etkileşimli ve etkileşimli olmayan faktörlerin grafikleri Şekil 6.4'te gösterilmektedir [111].



Şekil 6.4. Etkileşim grafik gösterimi [111].

6.7.9. Dikey Dizinler

Değişkenlerin, faktör ve seviyelerin fazla olması durumunda deneylerin yapılması fazla zaman alacak ve maliyet artacaktır. Taguchi bu sorunu gidermek için tam faktöriyel tasarımıyla elde edilen sonuçlara daha az deneyle, hemen zaman kaybını önlemiş hemde daha az maliyetle sağlamak için uzun çalışmalar sonucu dikey dizinler kuralını gerçekleştirmiştir [108].

Dikey dizinler farklı faktör sayıları ve seviyeleri için yapılması gereken deney sayısını ve her bir deney için seçilmesi gereken faktör seviyelerini gösteren çizelgelerdir. Dikey dizinler kullanarak, deneylerin tüm kombinasyonları denenmeden, bu deneylerin sadece bir kısmı yapılmakta ve en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerinin kombinasyonu belirlenebilmektedir. Çizelge 6.1'de Taguchi ve Tam Faktöriyel Tasarım için kombinasyonlar verilmiştir.

Çizelge 6.1. Taguchi ve Tam Faktöriyel Tasarım için kombinasyonlar [112].

Faktör	Seviye	Deney Sayıları	
		Faktöriyel tasarımı	Taguchi tasarımı
2	2	$4(2^2)$	4
3	2	$8(2^3)$	4
4	2	$16(2^4)$	8
7	2	$128(2^7)$	8
15	2	$32768(2^{15})$	16
4	3	$81(3^4)$	9

Deney sayıları arasındaki büyük farklılığın sebebi dikey dizinlerin sadece her bir faktörün ana etkisini araştırmasıdır. Ancak varlığı bilinen bileşik etkilerin deneye dahil edilmesi mümkündür.

7. MATERYAL METOD

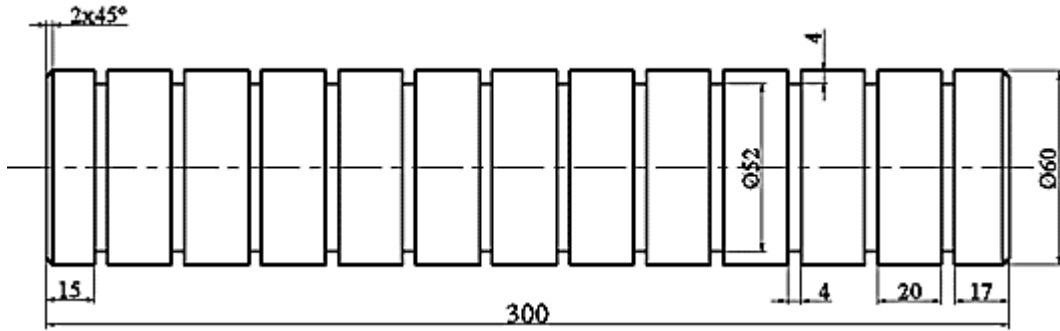
Bu çalışmada, AISI O2 soğuk iş takım çeliği malzemesinin tornalanmasında kesici takım malzemelerine uygulanan derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etkilerini incelemek amacıyla işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte kesici takımların sertliğindeki ve mikroyapısındaki karbür oranlarının değişimi ölçülmüştür.

7.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

Deneylerde Ø60x300 mm boyutlarında AISI O2 takım çeliği numuneler kullanılmıştır. AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşenleri ve teknik resmi sırasıyla Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. AISI O2 çeliğinin kimyasal bileşenleri (Ağırlıkça %).

C	Si	Mn	Cr	V
0,90	0,25	2,00	0,35	0,10



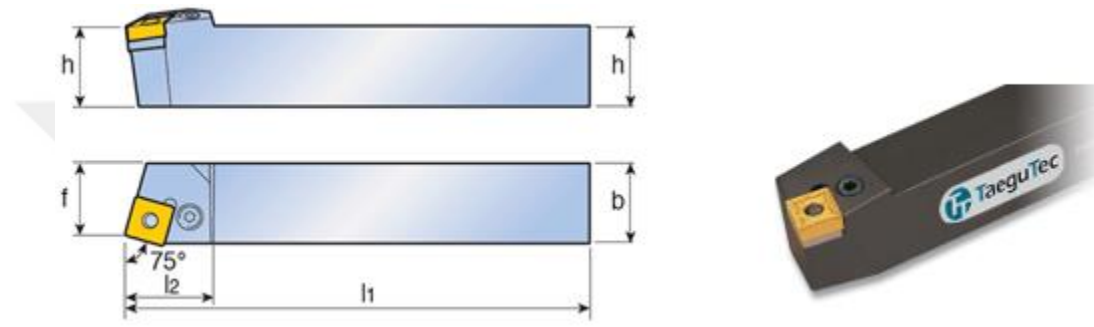
Şekil 7.1. Deney numunesinin teknik resmi.

AISI O2 çeliği, 60 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda çubuk şeklinde kestirilmiştir. Deney numuneleri ISO 3685 standardına göre oluşturulmuştur. Numuneler üzerine, ayna-punta arasında işlemeye uygun olacak biçimde alın tornalama yapıldıktan sonra tek tarafına punta deliği açılmıştır. Her bir numune üzerinde 20 mm uzunluktan sonra 4 mm kanallar açılmıştır.

7.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TUTUCULAR, KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ

7.2.1. Takım Tutucu

Bu çalışmada; tornalama deneylerinde sık kullanım alanına sahip olan TaeguTech firması tarafından imal edilmiş olan kesici uçları bağlamak için kullanılan PSBNR 2525 M12 dış çap tornalama kateri kullanılmıştır. Kullanılan takım tutucunun şekli ve ölçüleri sırasıyla Şekil 7.2 ve Çizelge 7.2’de verilmiştir.



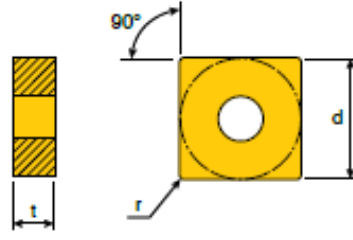
Şekil 7.2. Takım tutucu iki boyutlu ve perspektif resmi.

Çizelge 7.2. Deneyslerde kullanılan takım tutucu ve boyutları.

h_1	h	b	L_1	L_2	F
25,0	25,0	25,0	150,00	28,0	22,0

7.2.2. Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri

İşlenebilirlik çalışmalarında, kesici takım ve işlenecek malzemeye göre değişen ve işleme sonundaki çıktıları (işleme zamanı, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım ömrü vb.) en çok etkileyen unsurların başında kesme parametreleri gelir. Yapılan çalışmalar genellikle uygun kesme parametrelerini belirlemeye yöneliktir. Bu nedenle kesme parametreleri belirlenirken çalışmalarda bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar ile kesici takım firmasının uygun gördüğü değerler temel alınarak belirlenmiştir. İşleme kriterleri olarak; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi unsurlardan oluşur. Deneyslerde kaplamasız ve kaplamalı TaeguTech, firmasına ait SNGG ve SNMG serisi kaplamalı ve kaplamasız takımlar kullanılmıştır. Kaplamalı takımlar olarak; TT8115 CVD, TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı takımlar kullanılmıştır. Bu takımlar aynı içyapıya sahip karbür takımlardır. Şekil 7.3’te kesici takım boyutları verilmiştir.



Şekil 7.3. Kesici takım ölçüleri.

Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan kesici takım türleri.

No	Kesici takım malzemesi	Yapılan işlem	Kısaltma	ISO Kodu (Üretici kodu)	Kaplama yöntemi	Kesici uç resmi
1	Karbür	Kriyojenik işlem uygulanmamış	U	SNGG 120408	Kaplamasız	
2	Karbür	Kriyojenik işlem uygulanmış	UCTT	SNGG 120408	Kaplamasız	
3	Karbür	Kriyojenik işlem uygulanmamış	C	SNMG 120404	CVD TiCN + Al ₂ O ₃ +TiN	
4	Karbür	Kriyojenik işlem uygulanmış	CCTT	SNMG 120404	CVD TiCN + Al ₂ O ₃ +TiN	

Bu çalışmada uygun kesme parametrelerinin tespiti için; kesme derinliği sabit tutularak, her bir parametre dört farklı alınarak işlem gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; 4 farklı kesme hızı, 4 farklı ilerleme hızı ve sabit kesme derinliği kullanılmıştır. Kesme parametrelerine ve takıma uygulanan kriyojenik işleme bağlı olarak işleme yapılmış ve her bir işlemde yeni bir takım kullanılarak deney tamamlanmıştır. Çizelge 7.4'te deney tablosu gösterilmiştir.

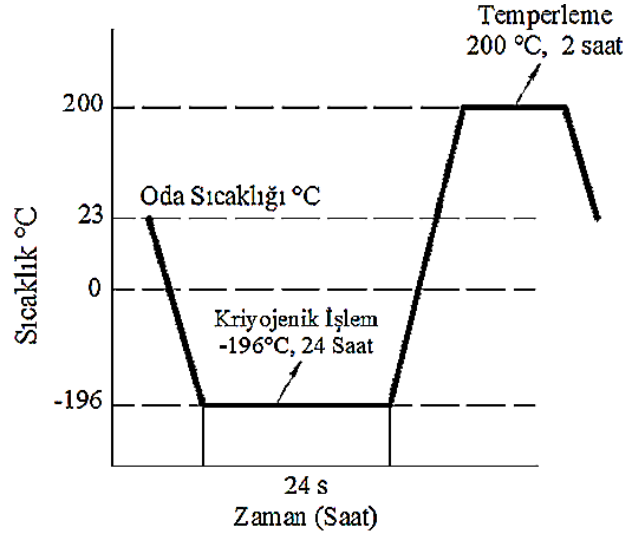
Çizelge 7.4. Deney tablosu.

Kesici takım	Kesme derinliği (mm)	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme hızı f(mm/dev)
U	0,8	150	0,08
		200	0,16
		250	0,24
		300	0,32
UCTT	0,8	150	0,08
		200	0,16
		250	0,24
		300	0,32
C	0,8	150	0,08
		200	0,16
		250	0,24
		300	0,32
CCTT	0,8	150	0,08
		200	0,16
		250	0,24
		300	0,32

7.3. KRİYOJENİK İŞLEM VE TEMPERLEME

Kriyojenik işlem son yıllarda uygulanmaya başlayan genellikle malzeme üzerine dayanımı arttırmaya yarayan bir ısıl işlem türüdür. Bununla birlikte çalışmalar kesici takımlara uygulanmaya başlamıştır. Burada amaç kriyojenik işlemin kesici takım ömrü ve diğer kesme parametrelerin kriyojenik işlemin etkisini ölçebilmek ve böylece kriyojenik işlem uygulanmayan takımlarla kıyaslama yapabilmektir.

Bu çalışmada da kesici takım üzerine kriyojenik işlem uygulayarak kesici takımların kriyojenik işlem uygulanmayan takımlarla; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve mikrosertlik değerleri incelenmiştir. Kriyojenik işlem sürecinin şematik gösterimi Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Kriyojenik işlem süresi.

Deneylerde kullanılacak kesici takımlar, iki grup olarak ayrılarak bir bölümüne DCT ve temperleme işlemi uygulanmıştır. Kriyojenik işlem, $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat bekletme süresi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kesici takımların sınıflandırılması ve uygulanacak ısıl işlemler Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5. Kesici takımların sınıflandırılması.

Numune Grubu	Numune Adı	Uygulanacak Isıl İşlem
1	U	-
2	UCTT	Kriyojenik işlem (24 saat) + Temperleme işlemi
3	C	-
4	CCTT	Kriyojenik işlem (24 saat) + Temperleme işlemi

7.4. TAKIM TEZGÂHI

Kesme deneyleri Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü atelyelerinde bulunan Johnford TC35 Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (CNC-Computer Numerical Control) torna tezgâhında (Şekil 7.5) yapılmıştır. Bu tezgaha ait teknik özellikler Çizelge 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.5. CNC torna tezgâhı.

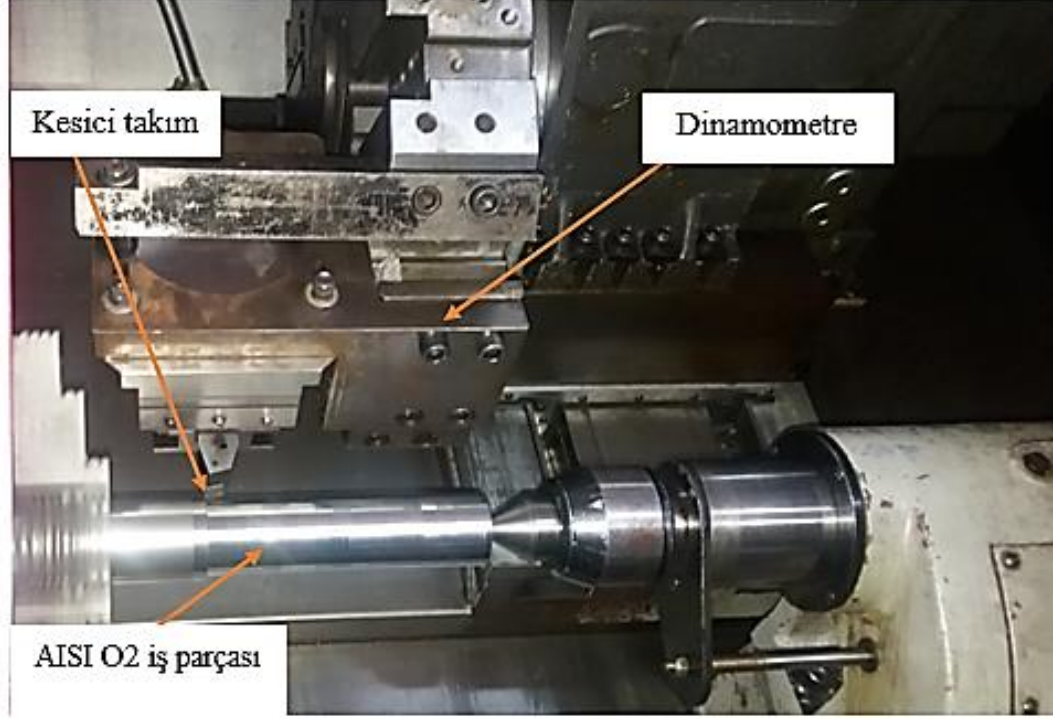
Çizelge 7.6. CNC torna tezgâhı özellikleri.

Fener mili maksimum numune bağlama çapı	450 mm
Maksimum parça bağlama boyu	1200 mm
Sürekli dönme devir sayıları	10-3500 dev/dak
Fener mili gücü	10 kW
Kesici bağlama hane sayısı	12 Adet
İşletim sistemi	Fanuc OT

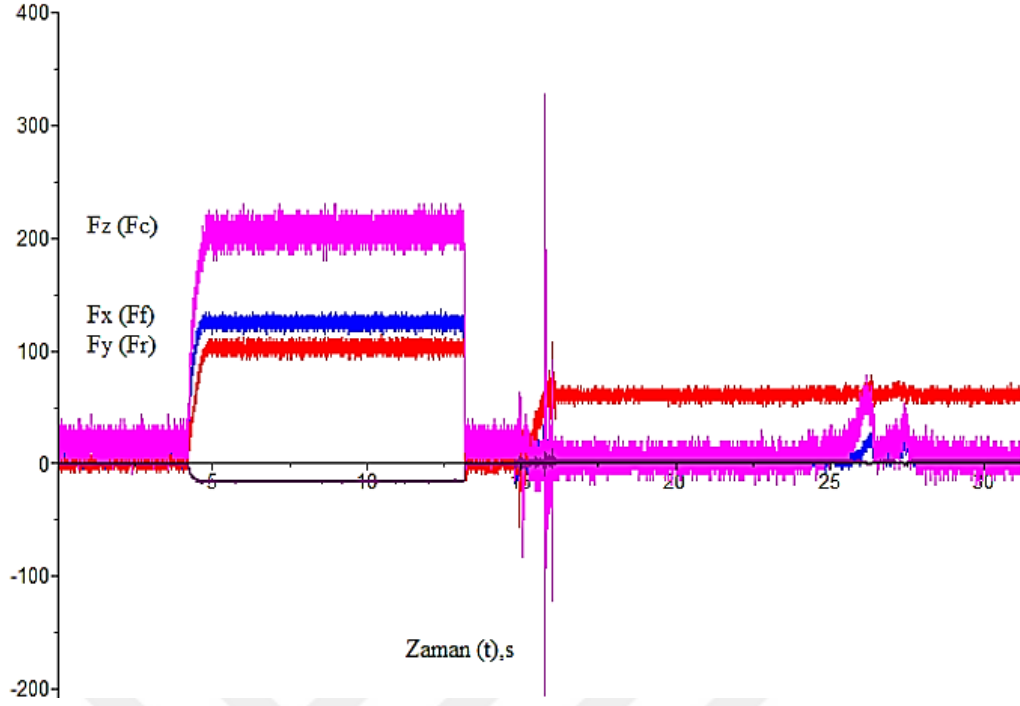
7.5. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Kesme kuvvetlerinin ölçümünde, F_c , F_f , F_r olmak üzere üç farklı kesme kuvveti bileşenini ölçme kapasitesine sahip, Johnford TC35 tipi CNC torna tezgâhına adaptörle bağlanmış Kistler 9257 B model dinamometre kullanılmıştır. Aynı anda üç kesme kuvveti bileşenini ölçebilen dinamometre yardımıyla, AISI O2 östenitik paslanmaz çelik çubuk tezgâh aynası ile punta arasına bağlanarak CNC torna tezgâhında kesme kuvvetlerinin ölçümü yapılmıştır. Her ölçüm için yeni kesici takım kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 7.6’da gösterilmektedir. Kesme kuvvetleri, her bir deneyde talaş kaldırma süresince Şekil 7.7’de görüldüğü gibi ölçülmüştür. “DynoWare” programı

kullanılarak, kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamaları alınmış ve grafikler oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda, ölçülen kuvvet bileşenleri F_f , F_r ve F_c sırasıyla ilerleme kuvveti, radyal (pasif) kuvvet ve esas kesme kuvveti olarak değerlendirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin tespiti için kesme sırasında ölçülen kuvvetlerin ortalaması kullanılmıştır.



Şekil 7.6. Deney düzeneği.



Şekil 7.7. Kesme kuvveti bileşenlerinin DynoWare programında ölçülmesi.

7.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

Yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi için MAHR-Perthometer M1 cihazı ile pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Cihaza ait resim Şekil 7.8’de ve cihazın teknik özellikleri Çizelge 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.8. Yüzey Pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

Çizelge 7.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	Perthometer M ₁ (Mahr)
Ölçme hızı	150 µm/sn
Ölçme kuvveti	0,7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Kesme uzunluğu	0,8mm
Değerlendirme uzunluğu	1,75 – 5,6 – 12,5 mm
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil

Yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi için, tornalama işleminden sonra iş parçasına paralel bir şekilde tutularak ve iş parçası 120° döndürülerek, üç farklı noktadan ölçüm alınarak tamamlanmıştır. İş parçası üzerinde işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçümleri için kesme uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu 5,6 mm olarak seçilmiştir.

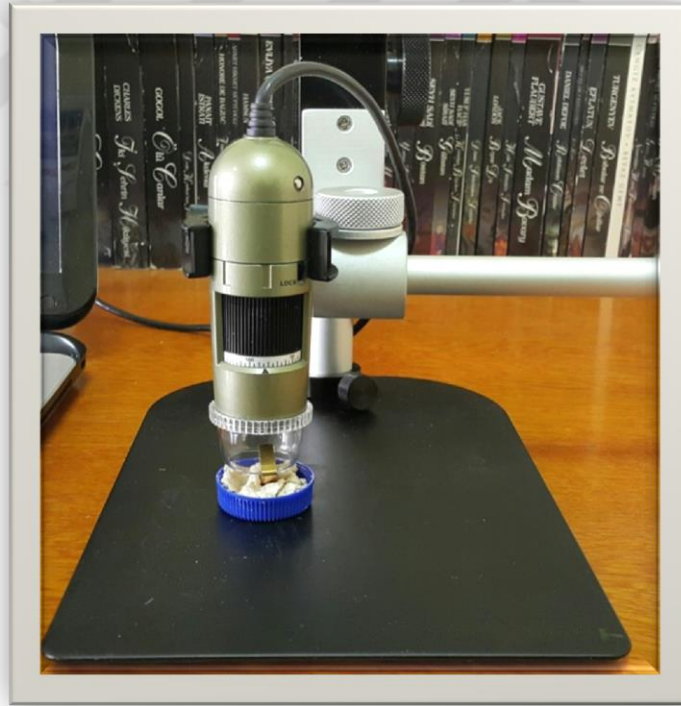
7.7. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜMLERİ

Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı ve kaplamasız takımların aşınma performansı üzerindeki etkileri ilerleme hızı ile kesme hızına bağlı olarak araştırılmıştır. Her bir ilerleme ve kesme hızı değeri için farklı işleme zamanı belirlenerek, işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla belirlenen bu sürelerde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Takım aşınması deneyleri için, dört farklı kesici takım (U, UCTT, C, CCTT), iki farklı kesme hızı (200, 250 m/dak), iki farklı ilerleme hızı (0,08, 0,16 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,8 mm) kullanılarak takım ömrü ve burun aşınmasına bakılmıştır. Aşınma deneyleri takım ömründe belirlenen değere (0,3 mm – TS 10329 Haziran 1992) ulaşıncaya kadar işleme yapılmıştır. Belirlenen süre tamamlanana kadar belirli aralıklarla kesme işlemi durdurulmuş ve Dino-Lite dijital mikroskobu kullanılarak aşınan yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 7.9'da görüldüğü gibi Dino Capture 2.0 programında kesici takımın genişliği (4,76 mm) tanıtıldıktan sonra burun aşınma miktarları ölçülmüştür. Kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları zamana, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Dino-Lite dijital mikroskobunun teknik özellikleri Çizelge 7.8'de resmi Şekil 7.9'da ve verilmiştir. Ayrıca Şekil 7.10'da görüldüğü gibi aşınan yüzeylerin

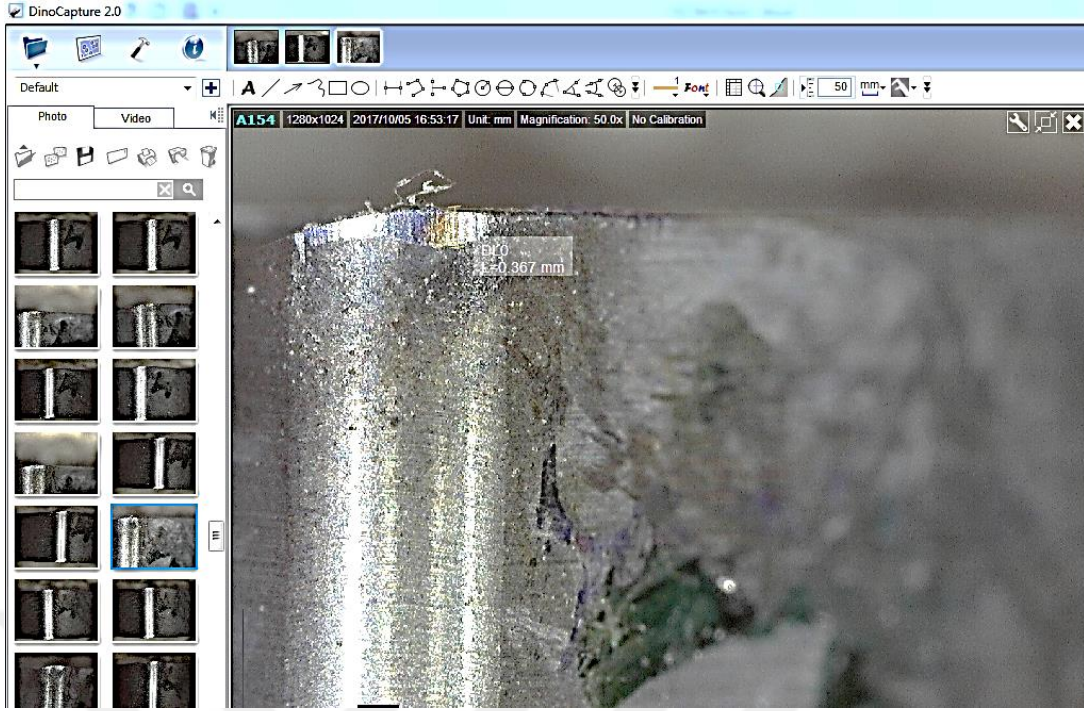
SEM fotoğrafları çekilerek oluşan aşınma tipleri incelenmiştir.

Çizelge 7.8. Dino-Lite dijital mikroskobu teknik özellikleri.

Model	AM 2011
Çözünürlük	640x480 pixels (VGA)
Büyütme	10x~70x, ~200x
Arayüz	USB 2,0
LED sayısı	4
LED rengi	Beyaz
Gövde malzemesi	Kompozit
Çıkış	Resim, video ve hızlandırılmış video
Video kare hızı	Saniyede 30 kare
Uyumluluk	Windows: XP, Vista, 7, MAC OS 10,4 ve üstü
Yazılım (Dahil)	Windows: Dino Capture, Mac: Dino Xcope



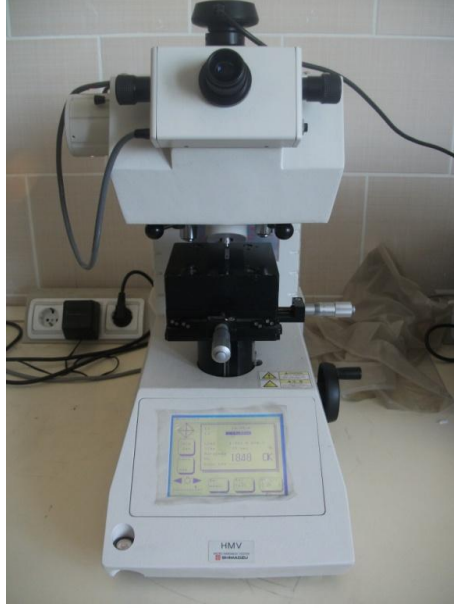
Şekil 7.9. Aşınma ölçümlerinde kullanılacak Dino-Lite dijital mikroskobu.



Şekil 7.10. Dino-Lite dijital mikroskobu ile çekilen takım aşınması resmi.

7.8. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik İşlem uygulanmamış kaplamalı ve kaplamasız karbür takımların mikrosertlik ölçümleri, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Şekil 7.11’de görülen Metkon marka mikrosertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik test cihazında 10 saniye süre ile 1000 gram yük altında gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik değerlerinin tespiti için, her numuneden en az 5 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



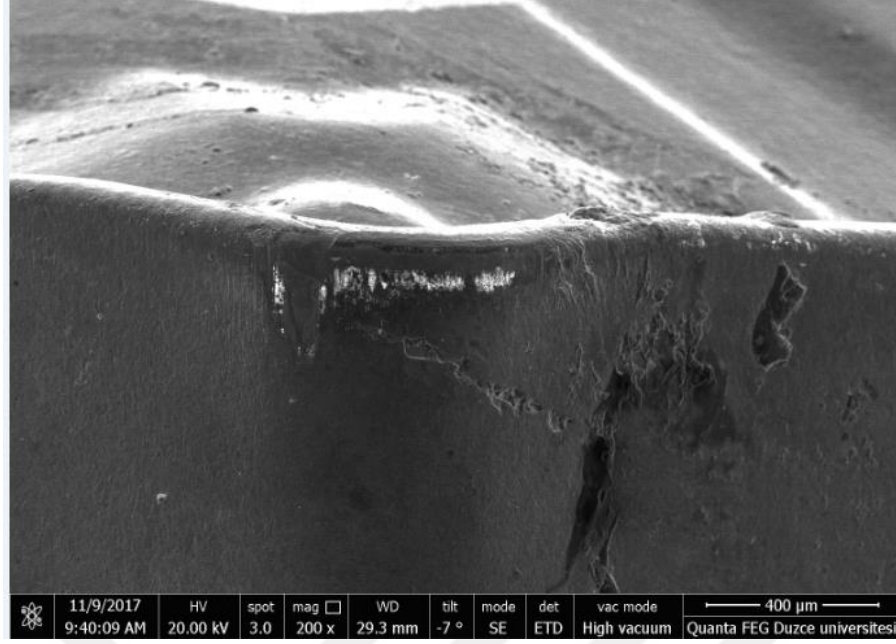
Şekil 7.11. Mikrosertlik ölçme cihazı.

7.9. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ANALİZLERİ

Kesici takımlarda oluşan aşınmaları daha yüksek büyütme oranlarında görüntülemek amacıyla Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan FEI marka Quanta FEG 250 model taramalı elektron mikroskopunda mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. FEI marka SEM cihazının resmi Şekil 7.12’de verilmiştir. Şekil 7.13’te cihazla görüntüsü alınan aşınma resmi gösterilmektedir.



Şekil 7.12. Taramalı elektron mikroskopu.



Şekil 7.13. Sem görüntüleri.

7.10. RIELTVELD ANALİZİ

Kesici takımların mikroyapısında bulunan karbür oranlarının kriyojenik işlemde nasıl bir değişime uğradığını tespit etmek amacıyla takımlara rietveld analizi uygulanmıştır. 4 adet kaplamasız ve kaplamalı WC-Co kesici takımdan XRD numunelerinin çıkarılması için elmas disk kullanılarak yaş kesme metodu ile numuneler kesilmiştir. XRD analizinde kesici takımlarda bağlayıcı olarak kullanılan Co fazının tespit edilebilmesi için numuneler Murakami çözeltisi içerisinde 9 volt akım uygulanarak derin dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Dağlanan numunelerden çekilen XRD verileri kullanılarak MAUD programı vasıtasıyla Rietveld analizi gerçekleştirilmiş ve α -Co ve ϵ -Co fazlarının miktarları belirlenmiştir.

7.11. TAGUCHI L₁₆ DENEY TASARIMI

Deneysel çalışmalarda doğru sonuca ulaşabilmek için doğru deney tasarımının yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada, deney tasarım ve analiz yöntemi olarak Taguchi metodu kullanılmıştır. Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bu yaklaşımda, sonuçları analiz edebilmek için S/G oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılır. Deneylerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/G) çevrilerek değerlendirme yapılır. S/G oranındaki S sinyal faktörünü, N ise

gürültüfaktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir [108]. S/G oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı nominal en iyidir, en büyük en iyidir ve en küçük en iyidir metotları kullanılır [113]. Bu çalışmadaki S/G değerlerinin belirlenmesinde, işleme verimliliği bakımından Ra ve Fc değerlerinin en küçük olması istenildiği için Eşitlik 7.1’de verilen “en küçük en iyi” prensibine karşılık gelen formül kullanılmıştır.

$$\frac{S}{G} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (7.1)$$

Burada;

y_i : ölçülen yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerini,

n : yapılan deney sayısını ifade etmektedir.

AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri Çizelge 7.9’da verilmiştir. Deneysel sonuçlara % 95 güven aralığında Varyans Analizi (ANOVA) uygulanarak Ra üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Taguchi metoduna göre yapılan deney tasarımı ve istatistiksel analizler Minitab 16 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7.9’da kontrol faktörleri ve seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 7.9. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Sembol	Kontrol faktörleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye3	Seviye 4
A	Kesici takım (Ct)	U	UCTT	C	CCTT
B	Kesme hızı – V (m/dak)	150	200	250	300
C	İlerleme hızı – f (mm/dev)	0,08	0,16	0,24	0,32

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

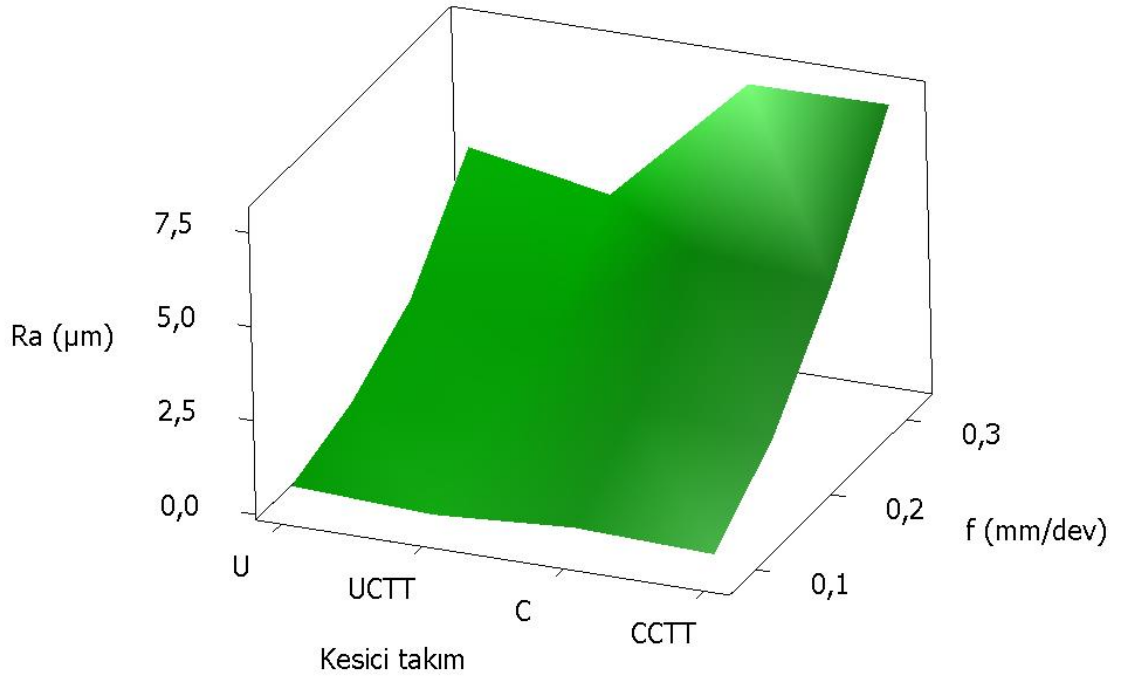
Bu çalışmada, AISI O2 soğuk iş takım çeliğın tornalanmasında kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü, asıl kesme kuvveti, takım ömrü ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlar; 196 °C’de, 24 saat kriyojenik işlem ve sonrasında 200 °C’de 2 saat temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Böylece 4 farklı takım gurubu oluşturulmuştur. Bunlar da kaplamasız karbür kesici takım (U), derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız karbür kesici takım (UCTT), kaplamalı karbür kesici takım (C) ve derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı karbür kesici takım (CCTT) şeklinde kodlanmıştır. Deneysel olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri için Taguchi optimizasyonu gerçekleştirilerek minimum Ra ve Fc değerlerini veren kesme parametreleri belirlenmiştir. Tez çalışmasının aşağıdaki bölümlerinde Ra ve Fc için gerçekleştirilen Taguchi optimizasyonu, takım aşınması ve takım ömrü deneyi sonuçları ve son olarak mikroyapıdaki karbür oranlarındaki ve mikrosertlikteki değişimler detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

8.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DENEYSEL OPTİMİZASYONU

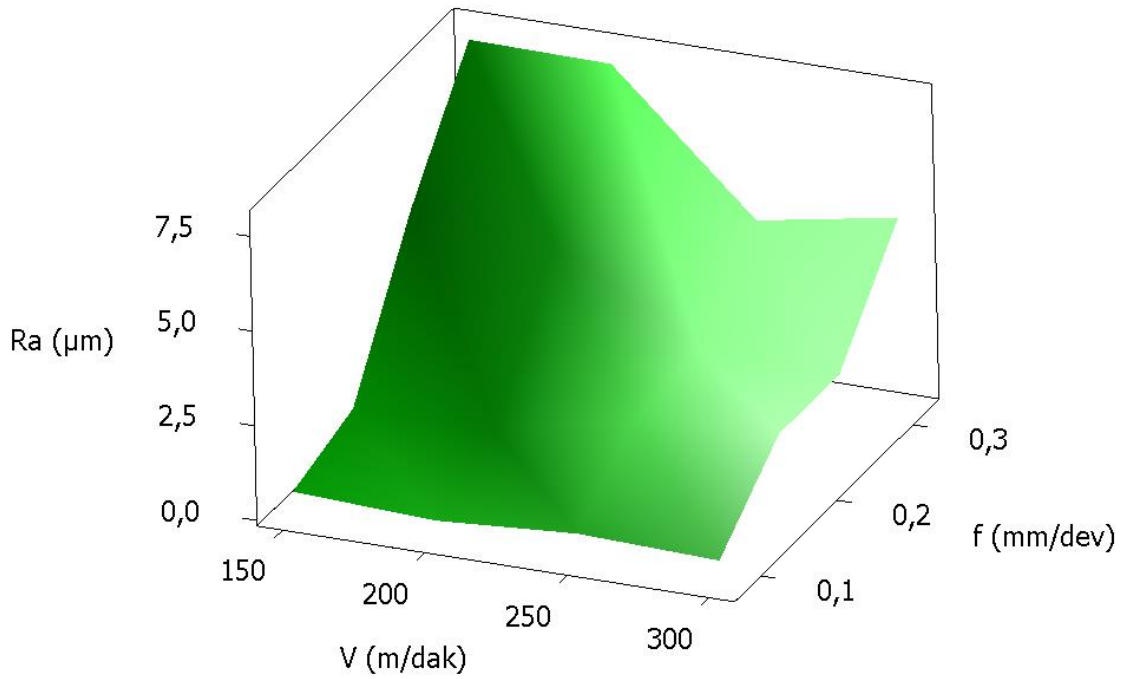
Bu bölümde en düşük yüzey pürüzlülüğünü veren kesme parametrelerini belirlemek için deneysel verilere L₁₆ Taguchi optimizasyonu uygulanmıştır. Şekil 8.1 ve 8.2’de kesici takım türü, kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı Ra değerlerinin değişimleri verilmiştir.

Şekillere bakıldığında, genel olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 0,4140 µm ile 7,7323 µm aralığında değiştiği görülmüştür. Genel olarak kesme parametrelerinin tüm değerleri için artan kesme hızıyla birlikte her iki takım da Ra değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte kesme hızındaki artış takım-talaş temas alanını azaltarak sürtünmeyi azaltmakta bu da daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesine imkân tanımaktadır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar, kesme hızının artmasıyla Ra değerinin düşmesinin kesme hızının artması ile yığıntı talaş oluşum eğiliminin azalmasına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir [114], [115]. Ancak yüksek kesme hızlarında (250 m/dak) Ra değerleri bir miktar artış göstermiştir. Bu durum yüksek

kesme hızlarında kesme bölgesinde artan sıcaklıklar ve kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına bağlı olarak artan takım aşınması ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 8.1. İlerleme hızı ve kesici takımın Ra üzerindeki etkisi.



Şekil 8.2. İlerleme hızı ve kesme hızının Ra üzerindeki etkisi.

İlerleme hızına bağlı olarak bir değerlendirme yapıldığında, ilerleme hızının artması ile Ra değerlerinin tüm deney şartlarında arttığı görülmüştür. İlerleme hızının artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı da artmaktadır. Artan talaş kesiti ile birlikte, birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı da büyümekte ve dolayısıyla talaşı yüzeyden koparmak için daha fazla bir enerji sarf edilmesi gerekmektedir. Bu da kesme işlemini zorlaştırmaktadır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır [114].

Kesici takım türüne göre sonuçları yorumladığımızda, kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda yüzey pürüzlülüğünün düştüğü dikkati çekmektedir. Bu sonuç, kriyojenik işlemden sonra kesici takımlarda oluşan aşınmaların azalması ve takım ömrünün artması ile ilişkilendirilmiştir. Aşınan kesici takımlar ile yapılan kesme işlemi sonucunda daha kötü yüzeylerin elde edilmesi beklenen bir durumdur. Sreerama Reddy ve diğerlerinin P-40 tungsten karbür kesici takımlara kriyojenik işlem uyguladıkları çalışmada, kriyojenik işlem uygulanan takımlar ile %20 oranında daha düşük yüzey kalitesi elde edilmiştir. Bu durum, kriyojenik işlem ile birlikte kesme esnasında kesici takım uçlarında daha düşük aşınma kuvvetinin oluşması nedeniyle daha az aşınma, daha düşük sıcaklık ve kesici kenarın daha az bozulması ile açıklanmıştır [116].

Kaplamalı ve kaplamasız takımlar kendi arasında karşılaştırıldığında, kaplamasız takımlar ile daha düşük Ra değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Bu durum bu iki kesici takımın uç radyüsünün farklı olmasına atfedilmiştir. Kaplamasız karbür takımların uç radyüsü 0,8 mm iken kaplamalı takımların radyüsü 0,4 mm'dir. Literatür çalışmalarında da uç radyüsünün artması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği vurgulanmıştır [117]. Günay ve arkadaşları çalışmalarında, kesici takım uç radyüsündeki artışla birlikte Ra değerlerinde önemli bir azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir [117], [118].

Çalışmanın bu bölümünde Ra değerleri için Taguchi optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve optimum yüzey pürüzlülüğünü veren kesme parametreleri belirlenmiştir. AISI O2 soğuk iş takım çeliği üzerinde, Taguchi L_{16} deney tasarımına göre gerçekleştirilen tornalama deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri ile hesaplanan S/G oranları, Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Deney tasarımı, Ra ve S/G oranları.

Deney numarası	(A)	(B)	(C)	Yüzey	Ra - S/G
	Kesici takım	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Pürüzlülüğü Ra (µm)	Oranı (dB)
1	U	150	0,08	0,5823	4,6971
2	U	200	0,16	1,1880	-1,4963
3	U	250	0,24	2,3510	-7,4251
4	U	300	0,32	4,8170	-13,6555
5	UCTT	150	0,16	1,1810	-1,4450
6	UCTT	200	0,08	0,4140	7,6600
7	UCTT	250	0,32	4,1470	-12,3547
8	UCTT	300	0,24	2,2780	-7,1511
9	C	150	0,24	4,8240	-13,6681
10	C	200	0,32	7,6840	-17,7117
11	C	250	0,08	0,6647	3,5475
12	C	300	0,16	2,2880	-7,1891
13	CCTT	150	0,32	7,7323	-17,7662
14	CCTT	200	0,24	4,5350	-13,1315
15	CCTT	250	0,16	2,0810	-6,3654
16	CCTT	300	0,08	0,5470	5,2403

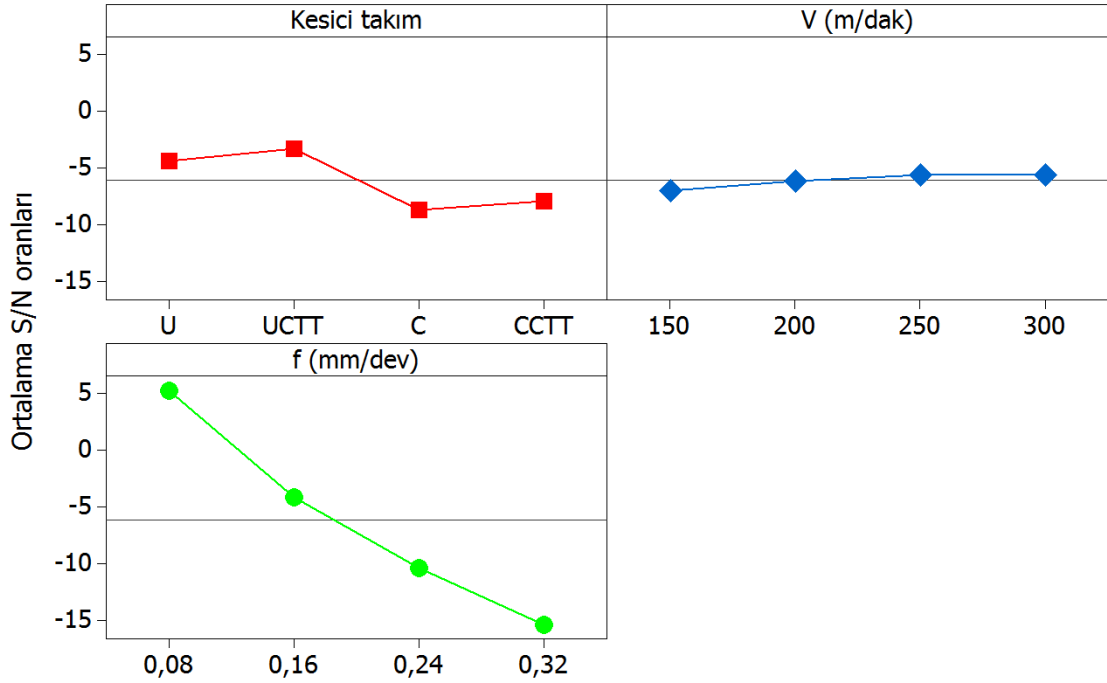
Kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri ve performans karakteristiği (yüzey pürüzlülüğü) üzerinde bu faktörler arasından en etkili olanının belirlenmesinde Taguchi metoduyla oluşturulan S/G yanıt tablosu kullanılmaktadır. Bu tablodaki en büyük S/G değerleri, o kontrol faktörüne ait optimum seviyeyi göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kontrol faktörünün etkisini gösteren S/G yanıt tablosu Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2. S/G yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol faktörleri		
	Ct	V	f
Seviye 1	-4,470	-7,046	5,286
Seviye 2	-3,323	-6,170	-4,124
Seviye 3	-8,755	-5,649	-10,344
Seviye 4	-8,006	-5,689	-15,372
Delta	5,433	1,396	20,658
Sıralama	2	3	1

Çizelge 8.2 incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme hızı, kesici takım ve kesme hızı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, yapılan varyans analizi ile doğrulanmıştır. Bununla birlikte AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında optimum yüzey pürüzlülüğü; kesici takımın ikinci seviyesinde, kesme hızının üçüncü seviyede, ilerleme hızının birinci seviyesinde elde edilmiştir.

Kontrol faktörlerinin yani kesme parametrelerinin optimum değerlerini gösteren ana etki grafiği Şekil 8.3'te verilmiştir. S/G yanıt tablosunda olduğu gibi ana etki grafiğinde de en büyük S/G değerleri, o parametreye ait optimum seviyeyi göstermektedir. Buna göre kesici takım tipi, kesme hızı ve ilerleme hızı için optimum değerler sırasıyla kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takım (UCTT), 250 m/dak ve 0,08 mm/dev olarak belirlenmiştir.



Sinyal gürültü: En küçük en iyi

Şekil 8.3. S/G oranları için ana etki grafiği (Ra).

8.1.1. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans Analizi (ANOVA) deney tasarımında kullanılan kontrol faktörlerinin birbirleri ile etkileşimlerini ve performans karakteristiği üzerinde etki seviyelerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir [108]. Kontrol faktörlerinin (kesici takım, kesme hızı ve ilerleme hızı) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 8.3’de verilmiştir. Bu analiz % 95 güvenirlilik ve % 5 önem seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Tabloda, her bir değişkenin önem seviyesini gösteren F değerleri ve yüzde etki oranları görülmektedir. F değeri en yüksek olan kontrol faktörü performans karakteristiğine en fazla etki eden faktördür.

Çizelge 8.3. Ra'nın S/G oranını için ANOVA sonuçları.

Kontrol faktörü	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F oranı	P	PCR (%)
Ra						
Ct	3	11,3640	3,7880	26,86	0,001	12,98
V	3	5,1153	1,7051	12,09	0,006	5,86
f	3	70,1696	23,3899	165,86	0,000	80,20
Hata	6	0,8461	0,1410			0,96
Toplam	15	87,4950				100,00

Bu çalışmadaki ANOVA sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin % 80,20 oranıyla ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Kesici takım tipi % 12,98 iken kesme hızı % 5,86 ile en az etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Benzer şekilde Das ve diğerleri [119], AISI 4140 çeliğinin tornalanması üzerine yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğunu, bu parametreden sonra kesme hızının etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ancak Aslan ve diğerleri [120], yaptıkları çalışmada en etkili parametrelerin sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olduğunu rapor etmişlerdir. Bu yazarların aksine Kabra ve diğerleri [121] ile Elbah ve diğerleri [122] AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğunu, bu parametreden sonra kesme derinliği ve kesme hızının etkili olduğunu bildirmişlerdir.

8.1.2. Doğrulama Deneyleri

Optimizasyon işleminin son adımı, doğrulama deneylerinin yapılması ve optimizasyon işleminin geçerliliğinin test edilmesidir. Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri için optimum kesme parametreleri tespit edilmiş ve ANOVA analizleri yapılarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki seviyeleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğü için optimum sonuç A2-B3-C1 deney şartlarında ulaşılmıştır. Taguchi tarafından belirlenen optimum kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülük değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 8.1. ve Eşitlik 8.2. kullanılmıştır [123]. Bu eşitlikler

kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda optimum koşullar için Ra değeri 0,37 μm olarak hesaplanmıştır. Doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar, yapılan optimizasyonun başarısını yansıtmaktadır. Doğrulama deneyi sonuçları ve hesaplanan optimum Ra değerleri Çizelge 8.4.'de verilmiştir. Doğrulama deneyi sonucunda optimum parametreler için Ra değeri 0,40 μm olarak ölçülmüştür.

$$\eta_G = \bar{\eta}_G + (\bar{A}_2 - \bar{\eta}_G) + (\bar{B}_3 - \bar{\eta}_G) + (\bar{C}_1 - \bar{\eta}_G) \quad (8.1)$$

$$Ra_{cal} = 10^{-\eta_G / 20} \quad (8.2)$$

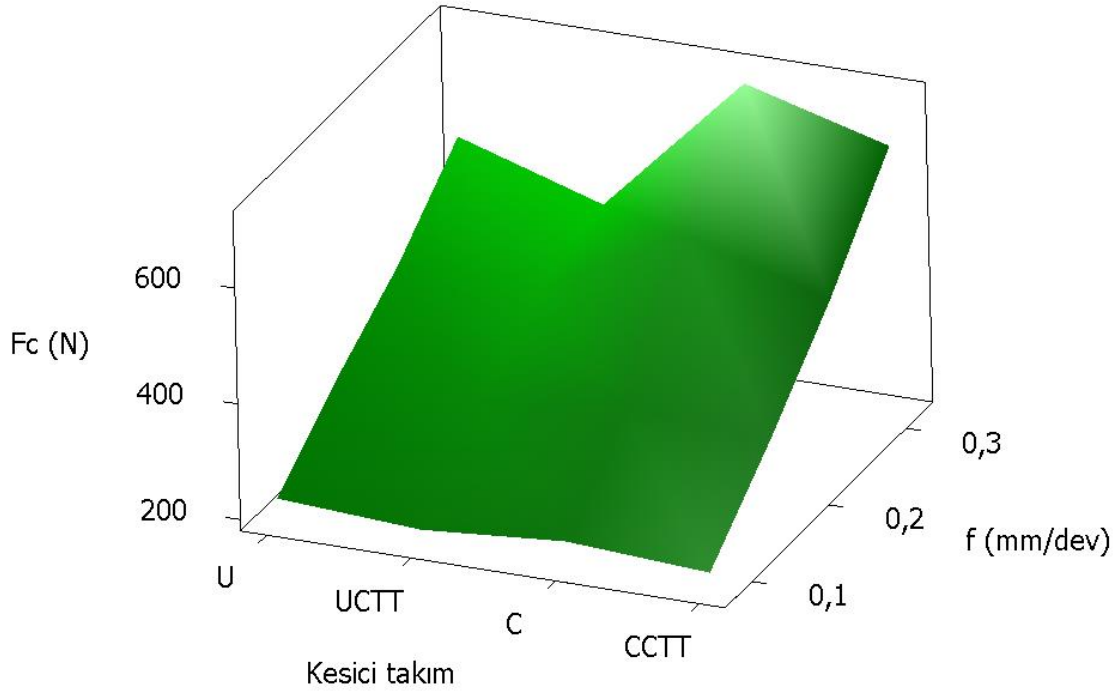
Çizelge 8.4. Ra için doğrulama deney sonuçları.

Seviyeler	Ra (μm)		
	Deneysel	Tahmin	Hata (%)
A ₂ B ₃ C ₁ (Opt.)	0,40	0,37	8,10
A ₁ B ₂ C ₃ (Rastgele)	2,41	2,72	11,39

İstatistiki sonuçlar, AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasındaki minimum Ra değerlerinin belirlenmesinde Taguchi deneysel tasarım metodunun başarılı bir şekilde uygulandığını göstermiştir.

8.2. KESME KUVVETLERİNİN DENEYSEL OPTİMİZASYONU

Kesme işleminin gerçekleştirilmesinde en etkili kuvvet asıl kesme kuvveti olan Fc kuvvetidir ve deneyler sonucunda en yüksek değerler bu kuvvet bileşeninde ölçülür. Bu nedenle yapılan tez çalışmasında diğer iki kuvvet dikkate alınmamıştır. Şekil 8.4 ve 8.5'de kesici takım türü, kesme hızı ve ilerleme hızınana göre Fc değerlerindeki değişimler verilmiştir.



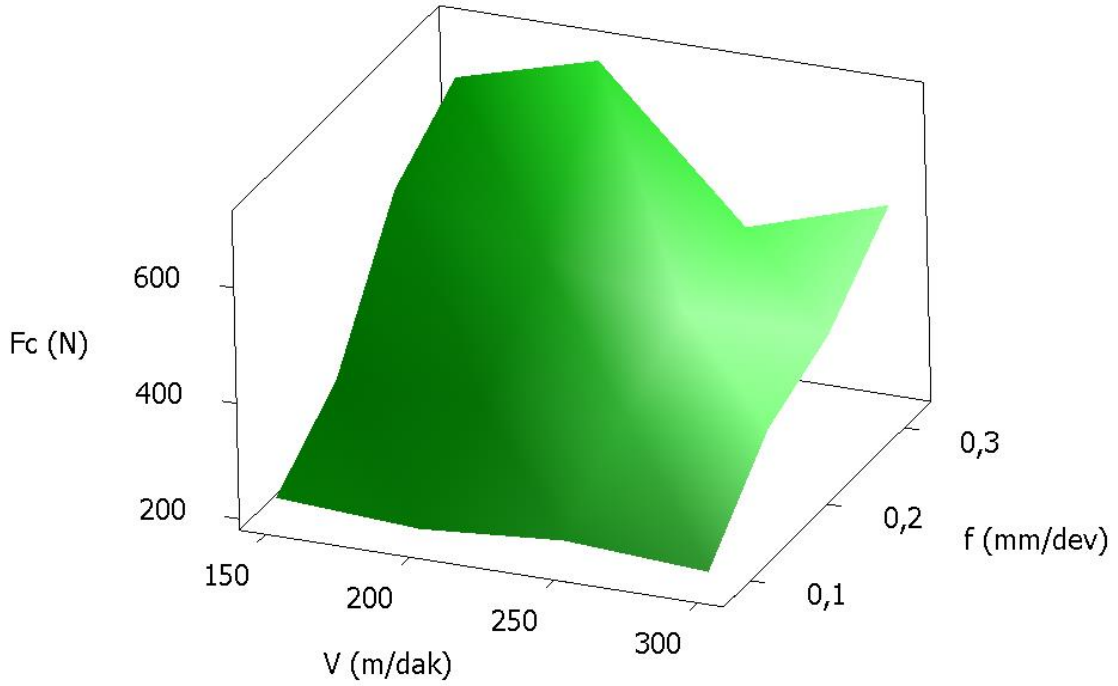
Şekil 8.4. İlerleme hızı ve kesici takımın Fc üzerindeki etkisi.

Grafikler incelendiğinde genel olarak Fc değerlerinin 209,96 N ile 703,12 N aralığında değiştiği görülmüştür. İlerleme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. İlerleme hızı kesme işleminin karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden birisidir. İlerleme hızı kesme işlemi esnasında kesici takımın birim zamanda kaldırmaya çalıştığı talaşın kesitini doğrudan etkilemektedir. İlerleme hızı artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı da artmaktadır. Artan talaş kesiti ile birlikte, birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı da büyümekte ve dolayısıyla talaşı yüzeyden koparmak için daha fazla bir enerji sarf edilmesi gerekmektedir. Bu da kesme işlemini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla kesme kuvvetleri artmaktadır. Şekil 8.4'te görüldüğü gibi ilerleme miktarındaki % 50'lik artışa karşılık esas kesme kuvveti % 20'lere varan bir artış göstermiştir. Literatür çalışmalarında bu ifade ile sıklıkla karşılaşılmaktadır [44], [75], [116]. Kim ve diğerleri çalışmalarında ilerleme hızındaki artış ile kesme kuvvetlerinin de arttığını belirtmişlerdir [124]. Benzer ifade Ramulu tarafından yapılan çalışmada da kullanılmıştır [125].

Kesici takımlar kendi arasında karşılaştırıldığında, kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda daha düşük kesme kuvveti değerlerinin ölçüldüğü görülmüştür. Kriyojenik işlem kesici takım malzemesinin sertliğini ve tokluğunu bir miktar artırmaktadır. Sertlik ve tokluktaki bu artış takımların dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Bu da

kesmekuvvetlerinin düşmesine neden olmaktadır. Mavi ve Korkut tarafından yapılan çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarda esas kesme kuvvetleri, kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ucunda oluşan ısının düşük olması ve kesici kenarın daha az aşınmaya maruz kalmasıyla açıklanmıştır [43]. Dhiman ve diğerlerinin yaptığı çalışmada yine kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımlar daha düşük kesme kuvveti değerleri sergilemiştir. Bu sonuç, düşük sıcaklıklarda kesici takım malzemesinin daha sert ve daha yüksek dayanım özellikleri kazanması ile ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, daha düşük sıcaklık, malzemeyi daha az yapışkan hale getirir ve böylece sürtünme kuvvetini azaltır [126].

Yukarıdaki ifadelerin aksine çeşitli literatür çalışmalarında [75], [127], [128] kesici takımlara kriyojenik işlem uygulamasından sonra kesme kuvvetlerinde artış olduğu vurgulanmıştır. Bu durum ise kriyojenik işlemin tungsten karbürlerin tane boyutunu artırması ve böylece kesici takımın ısı iletkenliğini artırması ile ilişkilendirilmiştir. Isıl iletkenlikteki artış, kesici takımın ısı dağıtım kapasitesini artırır ve takım uç sıcaklığını azaltmaya yardım eder. Kesme esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürerek plastik deformasyonu kolaylaştırmaktadır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlardaki yüksek ısı iletkenlik ile kesme esnasında oluşan ısı hızla kesme bölgesinden uzaklaştırılır ve kesme işlemi bir miktar zorlaşır. Bu nedenle, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla ölçülen kesme kuvvetlerinin işlemsiz takımlara kıyasla bir miktar daha yüksek olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8.5. İlerleme miktarı ve kesme hızının F_c üzerindeki etkisi.

Kesme hızının artmasıyla, birinci deformasyon bölgesinde (kesici takım/talaş ara yüzeyi) meydana gelen sıcaklık da artmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte kesme bölgesinde termal yumuşama meydana gelecektir. Ayrıca kesme bölgesindeki sıcaklığın artışı nedeniyle, kesici takım/talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısı da azalır. Bunun sonucunda iş malzemesini kesmek daha kolay hale gelmektedir. Bu da kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır [129], [130].

Çalışmanın bu bölümünde F_c değerleri için Taguchi optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve optimum yüzey pürüzlülüğünü veren kesme parametreleri belirlenmiştir. AISI O2 soğuk iş takım çeliği üzerinde, Taguchi L_{16} deney tasarımına göre gerçekleştirilen tormalama deneyleri sonucunda elde edilen F_c değerleri ile hesaplanan S/G oranları, Çizelge 8.5'te verilmiştir.

Çizelge 8.5. Deney tasarımı, Fc ve S/G oranları.

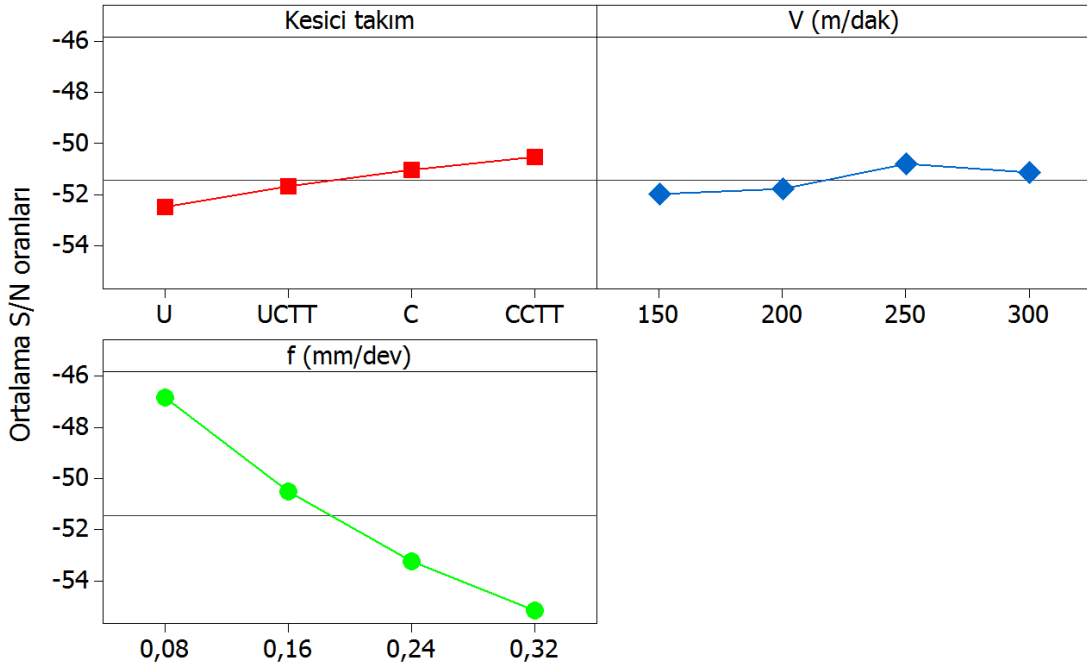
Deney numarası	(A)	(B)	(C)	Kesme	Fc - S/G
	Kesici takım	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Kuvveti Fc (N)	Oranı (dB)
1	U	150	0,08	224,56	-47,0266
2	U	200	0,16	327,14	-50,2947
3	U	250	0,24	415,03	-52,3616
4	U	300	0,32	532,22	-54,5216
5	UCTT	150	0,16	322,26	-50,1641
6	UCTT	200	0,08	209,96	-46,4427
7	UCTT	250	0,32	454,10	-53,1430
8	UCTT	300	0,24	415,03	-52,3616
9	C	150	0,24	546,57	-54,7529
10	C	200	0,32	703,12	-56,9406
11	C	250	0,08	229,49	-47,2153
12	C	300	0,16	356,44	-51,0397
13	CCTT	150	0,32	634,76	-56,0522
14	CCTT	200	0,24	473,63	-53,5088
15	CCTT	250	0,16	336,91	-50,5503
16	CCTT	300	0,08	192,72	-46,6423

Kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri ve performans karakteristiği (kesme kuvvetleri) üzerinde bu faktörler arasından en etkili olanının belirlenmesinde Taguchi metoduyla oluşturulan S/G yanıt tablosu kullanılmaktadır. Bu tablodaki en büyük S/G değerleri, o kontrol faktörüne ait optimum seviyeyi göstermektedir. Asıl kesme kuvveti üzerinde her bir kontrol faktörünün etkisini gösteren S/G yanıt tablosu Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Çizelge 8.6. S/G yanıt tablosu.

Seviyeler	Kontrol faktörleri		
	Ct	V	f
Seviye 1	-52,49	-52,00	-46,83
Seviye 2	-51,69	-51,80	-50,51
Seviye 3	-51,05	-50,82	-53,25
Seviye 4	-50,03	-51,14	-55,16
Delta	1,96	1,18	8,33
Sıralama	2	3	1

Çizelge 8.6 incelendiğinde, kesme kuvvetleri üzerinde en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme hızı, kesici takım ve kesme hızı olduğu görülmektedir. Bu sonuç, yapılan varyans analizi ile doğrulanmıştır. Bununla birlikte AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında optimum kesme kuvvetlerinin; kesici takımın dördüncü seviyesinde, kesme hızının üçüncü seviyesinde ve ilerleme hızının birinci seviyesinde elde edilmiştir.



Sinyal gürültü: En küçük en iyi

Şekil 8.6. S/G oranları için ana etki grafiği (Fc).

Kontrol faktörlerinin yani kesme parametrelerinin optimum değerlerini gösteren ana etki grafiği Şekil 8.6'da verilmiştir. S/G yanıt tablosunda olduğu gibi ana etki grafiğinde de en büyük S/G değerleri, o parametreye ait optimum seviyeyi göstermektedir. Buna göre kesici takım tipi, kesme hızı ve ilerleme hızı için optimum değerler; kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takım (CCTT), 250 m/dak ve 0,08 mm/dev olarak belirlenmiştir.

8.2.1. Varyans Analizi (ANOVA)

Kontrol faktörlerinin (kesici takım, kesme hızı ve ilerleme hızı) kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 8.7'de verilmiştir. Bu analiz % 95 güvenirlilik ve % 5 önem seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelgede her bir değişkenin önem seviyesini gösteren F değerleri ve yüzde etki oranları görülmektedir. F değeri en yüksek olan kontrol faktörü performans karakteristiğine en fazla etki eden faktördür.

Çizelge 8.7. Ra'nın S/G oranı için ANOVA sonuçları.

Kontrol faktörü	Serbestlik derecesi (DF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F oranı	P	PCR (%)
			Fc			
Ct	3	27201	9067	9,16	0,012	7,94
V	3	15767	5256	5,31	0,040	4,60
f	3	293332	97777	98,75	0,000	85,70
Hata	6	5941	990			1,73
Toplam	15	342240				100,00

Fc değerleri için gerçekleştirilen ANOVA sonuçlarına göre kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin % 85,70 oranıyla ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Daha sonra kesici takım türü % 7,94 ve kesme hızı % 4,60 ile en az etkiye sahip parametreler olarak sıralanmıştır.

8.2.2. Doğrulama Deneyleri

Fc değerleri için gerçekleştirilen Taguchi analizi sonucu optimum sonuçlara A4-B3-C1 deney şartlarında ulaşılmıştır. Bu parametreler optimizasyonun gerçekleştirildiği deney grupları içerisinde olmadığı için 17. deney olarak doğrulama deneyi yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan çalışmada kesme kuvveti için optimum sonuç A4-B3-C1 deney şartlarında ulaşılmıştır. Taguchi tarafından belirlenen optimum kesme şartlarındaki kesme kuvveti değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 8.3. ve Eşitlik 8.4. kullanılmıştır [123]. Bu eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda optimum koşullar için Fc değeri 184 N olarak bulunmuştur. Doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar, yapılan optimizasyonun başarısını yansıtmaktadır. Doğrulama deneyi sonuçları ve hesaplanan optimum Fc değerleri Çizelge 8.8'de verilmiştir. Doğrulama deneyi sonucunda A4-B3-C1 deney şartlarındaki Fc değeri 192 N olarak ölçülmüştür.

$$\eta_G = \bar{\eta}_G + (\bar{A}_4 - \bar{\eta}_G) + (\bar{B}_3 - \bar{\eta}_G) + (\bar{C}_1 - \bar{\eta}_G) \quad (8.3)$$

$$Ra_{cat} = 10^{-\eta_G / 20} \quad (8.4)$$

Çizelge 8.8. Fc için doğrulama deney sonuçları.

Seviyeler	Fc (N)		
	Deneysel	Tahmin	Hata (%)
A ₄ B ₃ C ₁ (Opt.)	192	184	4,34
A ₃ B ₂ C ₁ (Rastgele)	234	218	7,33

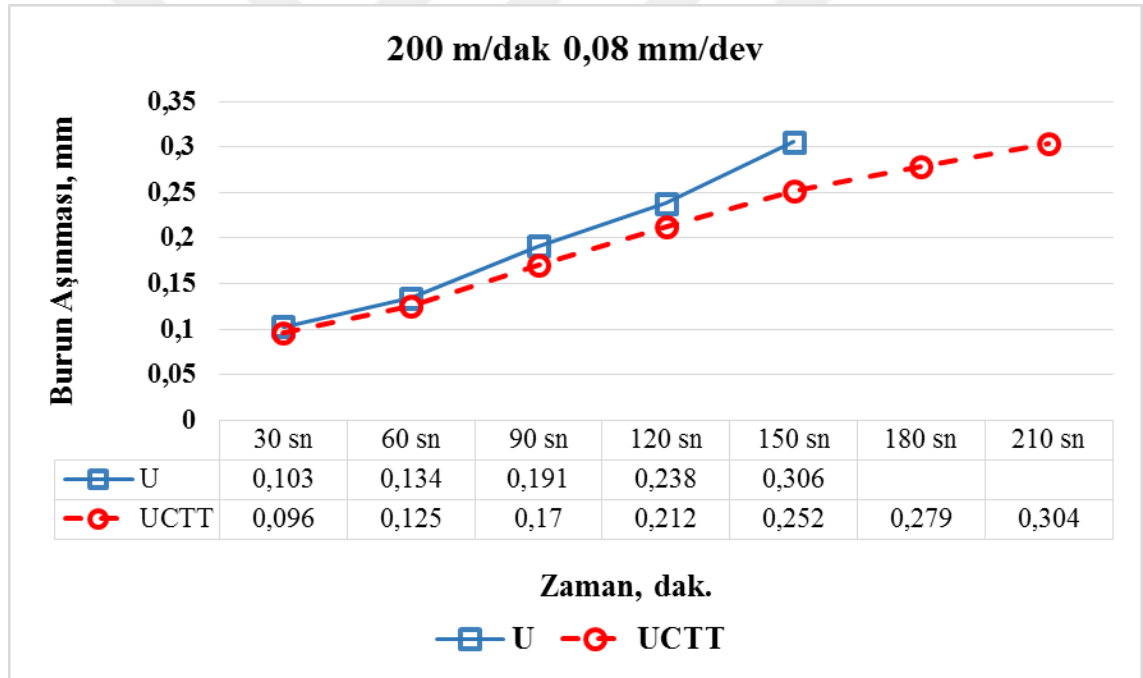
Optimizasyon sonuçlarına göre, AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasındaki minimum Fc değerinin belirlenmesinde Taguchi deneysel tasarım metodunun başarılı bir şekilde uygulandığı görülmüştür.

8.3. KESİCİ TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Takım aşınması, kesici takım malzemesinin iş parçasıyla temas ettiği bölgelerde meydana gelen sürtünmeler ve sıcaklığın bir sonucudur. Aşınma olayında en önemli neden sürtünmedir. Sıcaklık ise takımın aşınmaya karşı direncini azalttığı için aşınma olayını hızlandıran bir etkidir. Talaşlı imalatta meydana gelen ve sık karşılaşılan aşınma tiplerinden birisi burun aşınmasıdır [131], [132]. Takım aşınması deneyleri için, dört farklı kesici takım (U, UCTT, C, CCTT), iki farklı kesme hızı (200, 250 m/dak), iki

farklı ilerleme hızı (0,08, 0,16 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,8 mm) kullanılarak takım ömrü ve burun aşınmasına bakılmıştır. Aşınma deneyleri takım ömründe belirlenen değere (0,3 mm – TS 10329 Haziran 1992) ulaşıncaya kadar işleme yapılmıştır. İşleme süresi ise 30 sn ile 210 sn. arasında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda takımlarda oluşan burun aşınmaları incelenmiştir. İşleme süreleri sonunda oluşan burun aşınması değerleri doğrusal olarak kameralı ölçüm cihazında hassas bir şekilde ölçülmüştür.

Aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için çekilen U ve UCTT kodlu kaplamasız karbür takımların aşınma fotoğrafları Çizelge 8.9’da verilmiştir. Her iki takımda burun aşınmasının zamana göre aşınma ömrü gösterilmiştir. Ayrıca takımların aşınma ömrünü gösteren grafikler Şekil 8.7 – Şekil 8.14’te verilmiştir. Yine kesici takımlarda oluşan aşınmaların resimleri de Çizelge 8.9 – Çizelge 8.16’da verilmiştir.



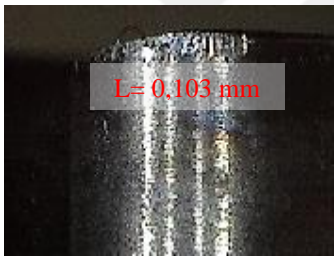
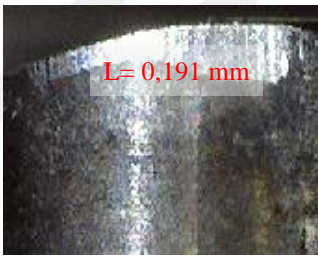
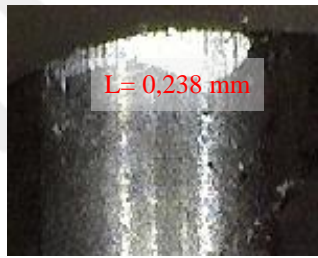
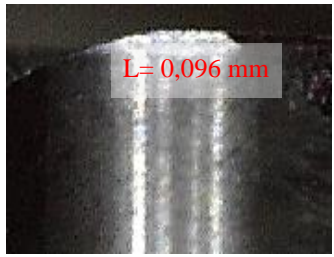
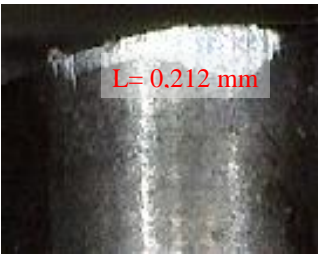
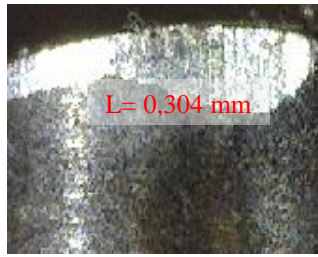
Şekil 8.7. U ve UCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.

Şekil 8.7’de 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm /dev ilerleme hızında yapılan takım ömrü deneyinde, kaplamasız (U) takım ile kaplamasız kriyojenik işlemlenmiş (UCTT) takım ile yapılan deneyde burun aşınması incelenmiştir ve takımların ömürleri karşılaştırılmıştır. Deneylerde, U kodlu kesici takım ile yapılan işlemede aşınma kriterine 150. saniyede varılırken, UCTT kodlu takım ile 210. saniyede ulaşılmıştır.

Grafikte de görüldüğü gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımında daha geç aşınma oluşmuştur. Böylece, 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında gerçekleştirilen kesme işlemi sonucunda, kriyojenik işlem takım ömrü üzerinde % 40 oranında ömür artışı sağlamıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha geç aşınması, kriyojenik işlemin homojen karbür dağılımı ve ikincil karbür (eta karbür) çökmesi sağlayarak kesici takımlara kazandırmış olduğu yüksek sertlik ve aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir [52], [54], [55], [75], [133], [134].

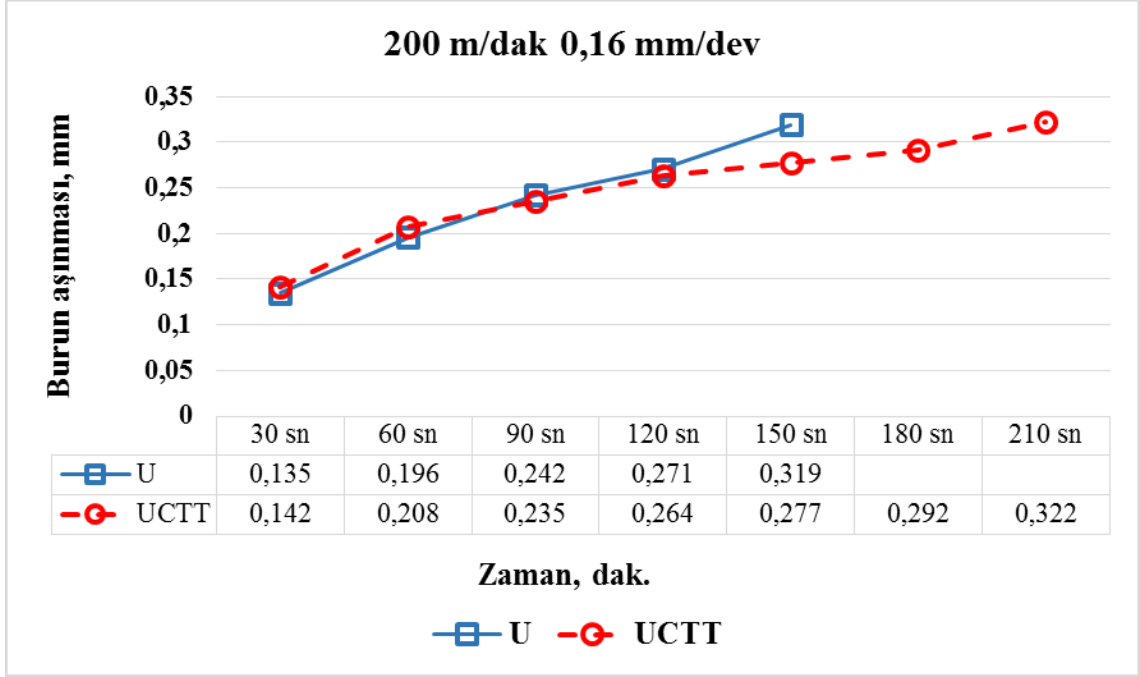
Takım ömrü deneyleri sonucunda takımlarda oluşan burun aşınmaları gösteren aşınma resimleri Çizelge 8.9 ile 8.16 arasında verilmiştir.

Çizelge 8.9. U ve UCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

200 m/dak 0,08 mm/dev			
	30 sn	90 sn	120 sn
U			
	30 sn	120sn	210 sn
UCTT			

Çizelge 8.9’da U ve UCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. Çizelge 8.9’a bakıldığında, takımlarda burun aşınması olduğu görülmektedir. İşleme sürelerine paralel olarak aşınma miktarlarının da yükseldiğini söyleyebiliriz. Çizelgede, kaplamasız takımlarda; 30, 90 ve 120 saniye resimleri kaplamasız işlemlerle takımlarda ise 30, 120 ve 210 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. U kodlu takım 30 sn’lik işleme süresi sonunda 0,103 mm aşınırken UCTT kodlu takım aynı süre sonunda 0,096 mm aşınmıştır. Aynı

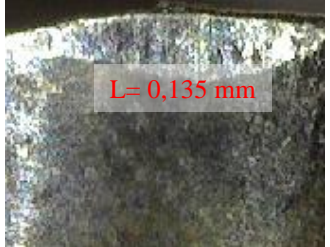
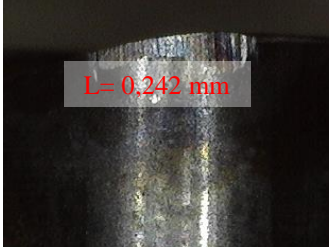

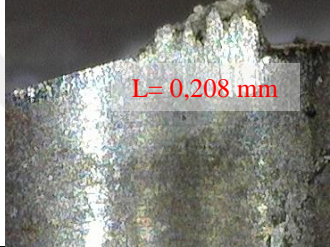
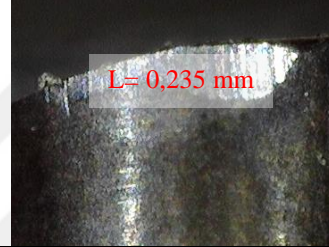
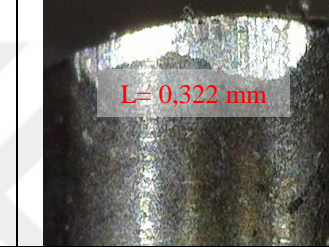
şekilde U kodlu takım 120 sn sonunda 0,238 mm aşınırken UCTT kodlu kriyojenik işlem uygulanmış takımındaki aşınma değeri 0,212 mm olarak ölçülmüştür. Farklı değerler alındığı halde resimlerde de görülüyor ki kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha fazla süre işleme yapılmış ve bu sayede kriyojenik işlemin takım üzerindeki performansı % 40 oranında artırmıştır.



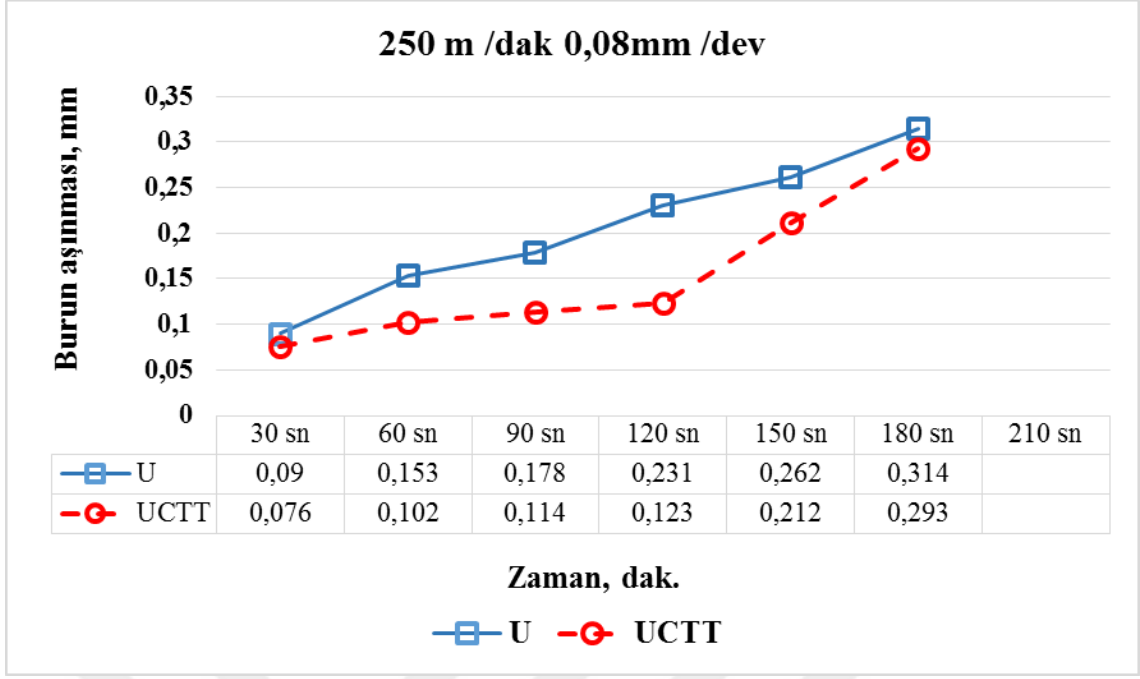
Şekil 8.8. U ve UCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.

Şekil 8.8’de 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm /dev ilerleme hızında yapılan takım ömrü deneyinde, kaplamasız (U) takım ile kaplamasız kriyojenik işlemli (UCTT) takım ile yapılan deney sonucunda oluşan burun aşınması incelenmiş takımların ömürleri karşılaştırılmıştır. Deneylerde, U kodlu kesici takım ile yapılan işlemede 0,3 mm olan aşınma kriterine 150. saniyede varılırken, UCTT kodlu takım ile 210. saniyede ulaşılmıştır. Şekilden anlaşılacağı üzere yine kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha geç sürelerde aşınmıştır. Bir önceki parametrelerde olduğu gibi 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında da yine takım ömrü kriyojenik işlemde sonra % 40 oranında artmıştır. 120. saniyeye kadar iki takımında oluşan aşınma miktarları neredeyse aynı olduğu gözlenirken bu süreden sonra işlemsiz takımında ani bir aşınma artışı görülmüştür ve takım ömrünü 30 saniye sonra tamamlamıştır.

Çizelge 8.10. U ve UCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

200 m/dak 0,16 mm/dev			
	30 sn	90 sn	150 sn
U			
	60 sn	120sn	180 sn
UCTT			

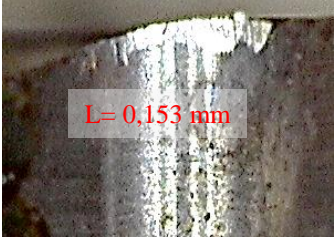
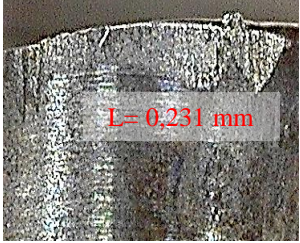
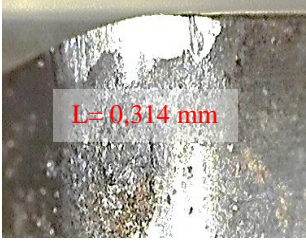
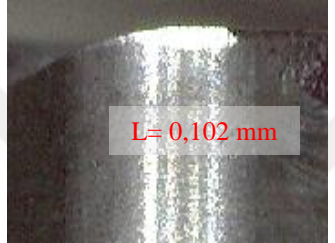

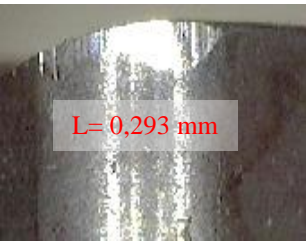
Çizelge 8.10'da U ve UCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm /dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. Çizelge 8.10'a bakıldığında, takımlarda burun aşınması olduğu görülmüştür. Aşınma süreleri işleme hızlarına paralellik göstermektedir. Çizelgede, kaplamasız takımlarda; 30, 90 ve 150 saniye resimleri, kaplamasız işlemler için ise 60, 120 ve 180 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. U kodlu takım 30 sn'lik işleme süresi sonunda 0,135 mm aşınırken UCTT kodlu takım 60 sn sonunda 0,208 mm aşınma olmuştur. Yine aynı şekilde U kodlu takım 90 sn sonunda 0,242 mm aşınırken, UCTT kodlu takım kriyojenik işlem uygulanmış takımında 0,235 mm ölçülmüştür. U kodlu kesici takım 150 sn sonunda 0,319 mm aşınarak ömrünü tamamlarken, UCTT kodlu takım 180 sn sonunda 0,322 mm aşınarak ömrünü tamamlamış ve yine bu kesme parametreleri için kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda % 40'lık bir ömür artışı görülmüştür.



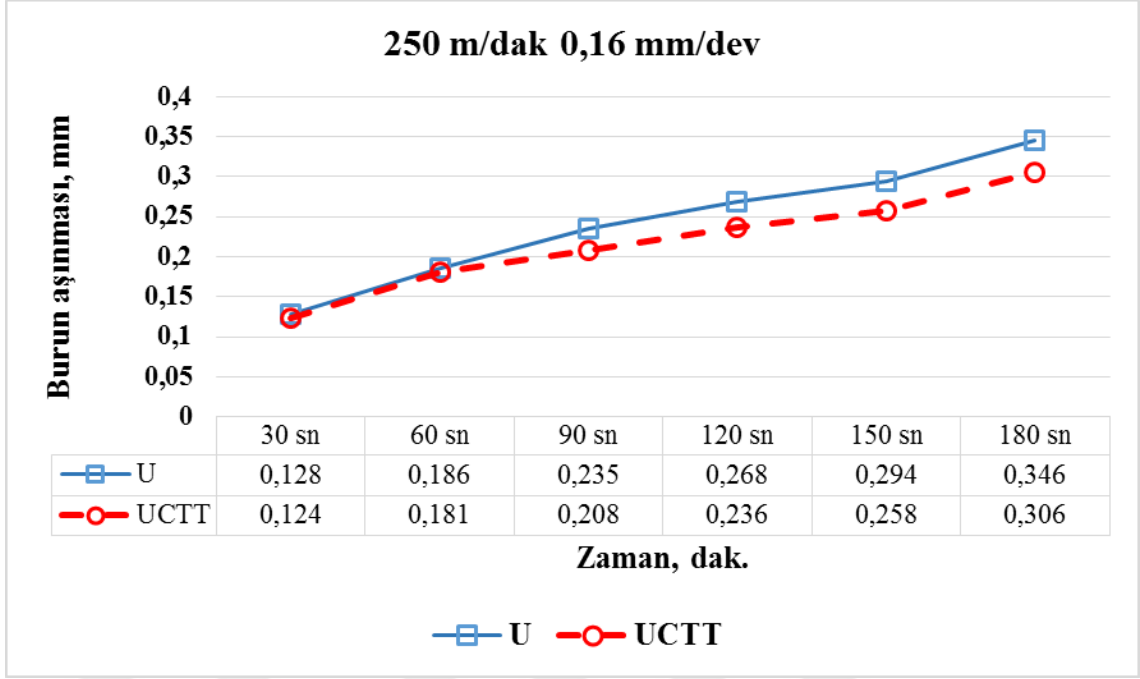
Şekil 8.9. U ve UCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.

Şekil 8.9’da 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işlemi sonunda U ve UCTT kodlu takımlarda oluşan aşınmaların işleme süresine bağlı değişimleri verilmiştir. U kodlu takım 180 sn sonunda 0,314 mm aşınmıştır. UCTT kodlu takım ise bu süre sonunda 0,293 mm aşınmıştır ve deney sonlandırılmıştır. Her iki takım da 180 sn sonunda aşınmış kabul edilmiştir. Bu süre sonundaki aşınma miktarlarına bakıldığında az da olsa kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların yaklaşık % 7 oranında daha az aşınma değeri sergilediğini söyleyebiliriz.

Çizelge 8.11. U ve UCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

250 m/dak 0,08 mm/dev			
	60 sn	120 sn	180 sn
U	 L= 0,153 mm	 L= 0,231 mm	 L= 0,314 mm
UCTT	 L= 0,102 mm	 L= 0,123 mm	 L= 0,293 mm

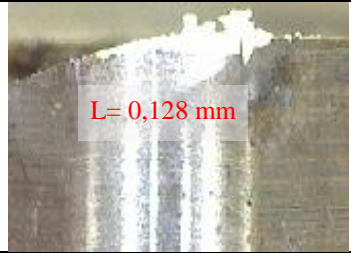
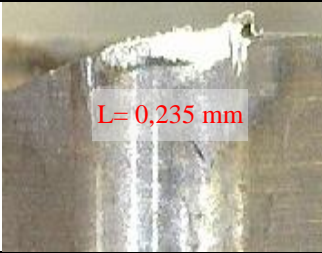
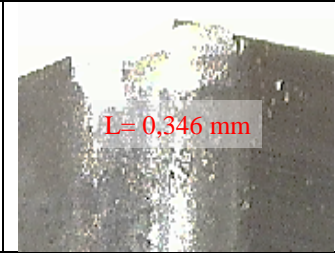
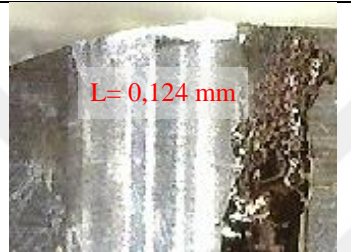
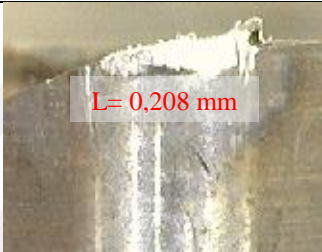

Çizelge 8.11’de U ve UCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. İşleme sürelerindeki artış ile aşınma miktarlarında da artışlar görülmektedir. Çizelgede, kaplamsız kriyojenik işlemsiz takımlarda 60, 120 ve 180 saniye resimleri, kaplamsız kriyojenik işlemlili takımlarda ise 60, 120 ve 180 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. U kodlu takım 60 sn sonunda 0,153 mm aşınırken UCTT kodlu takım aynı süre sonunda 0,102 mm aşınmıştır, U kodlu takım 120 sn sonunda 0,231 mm aşınırken UCTT kodlu takım 120 sn sonunda 0,123 mm aşınmıştır. 180 sn sonunda U kodlu takım 0,314 mm ve UCTT kodlu takım ise 0,293 mm aşınma ölçülmüştür. Burada görüldüğü gibi takımlar aynı sürelerde farklı aşınma değerleri ölçülmüştür.



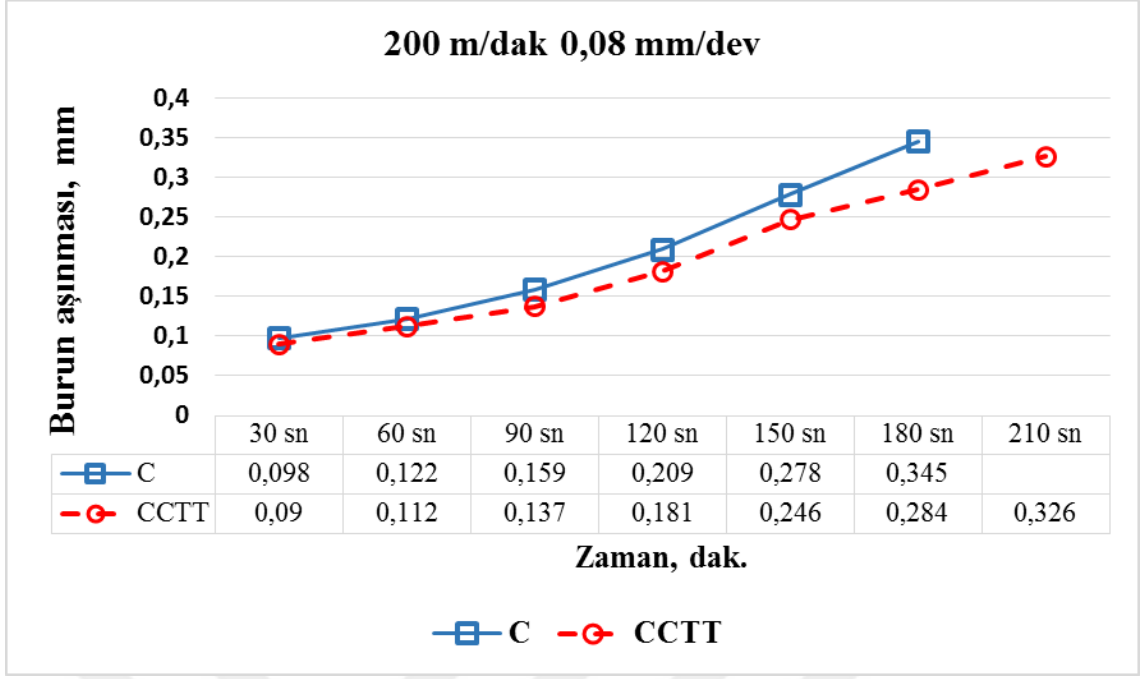
Şekil 8.10. U ve UCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.

Şekil 8.10’da 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işlemi sonunda U ve UCTT kodlu takımlarda oluşan aşınmaların işleme süresine bağlı değişimleri verilmiştir. Deneyleerde, U kodlu ve UCTT kodlu kesici takım ile yapılan işlemede aşınma kriterine 180. saniyede varılmıştır. Her iki takımda da aşınma süreleri aynı çıkmıştır fakat aşınma miktarları farklıdır. U kodlu kesici takım 180 sn sonunda 0,346 mm aşınırken, UCTT kodlu kesici takım 0,306 mm aşınmıştır. Görüldüğü gibi yine kriyojenik işlem uygulanmış takımlardaki aşınma miktarı kriyojenik işlem uygulanmamış takımlara göre daha az çıkmıştır. Bu da % 11,56’lık bir orana karşılık gelmektedir. Yani UCTT kodlu takım U kodlu takıma göre % 11,56 oranında daha az aşınma değeri sergilemiştir.

Çizelge 8.12. U ve UCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

250 m/dak 0,16 mm/dev			
	30 sn	90 sn	180 sn
U			
	30 sn	90 sn	180 sn
UCTT			

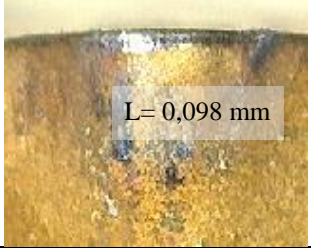
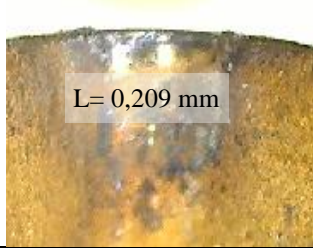
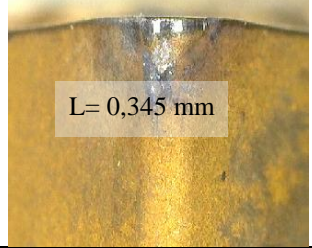
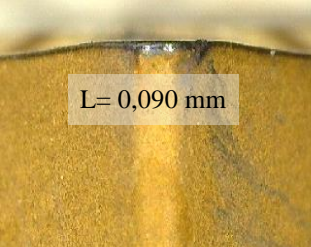
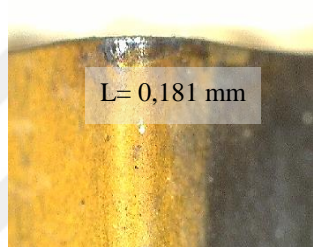
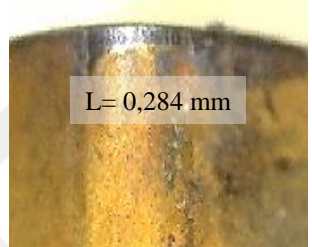
Çizelge 8.12’de U ve UCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri verilmiştir. Çizelge 8.12’ye bakıldığında, takımlarda burun aşınması olduğu görülmektedir. İşleme sürelerine paralel olarak aşınma miktarlarının da yükseldiği görülmektedir. Çizelgede, her iki takım da; 30, 90 ve 180 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. U kodlu takım 30 saniyede 0,128 mm aşınırken UCTT kodlu takım 0,124 mm aşınmıştır. Aynı şekilde U kodlu takım 180 saniye sonunda 0,346 mm aşınırken, UCTT kodlu takım 0,306 mm olarak ölçülmüştür. Yukarıda da bahsedildiği gibi iki takımın aşınma ömrü aynı çıkmıştır fakat aynı ömürdeki aşınma miktarlarında farklılık vardır. UCTT kodlu takım U kodlu takıma göre aynı süreler sonunda % 11,56 oranında daha az aşınmıştır.



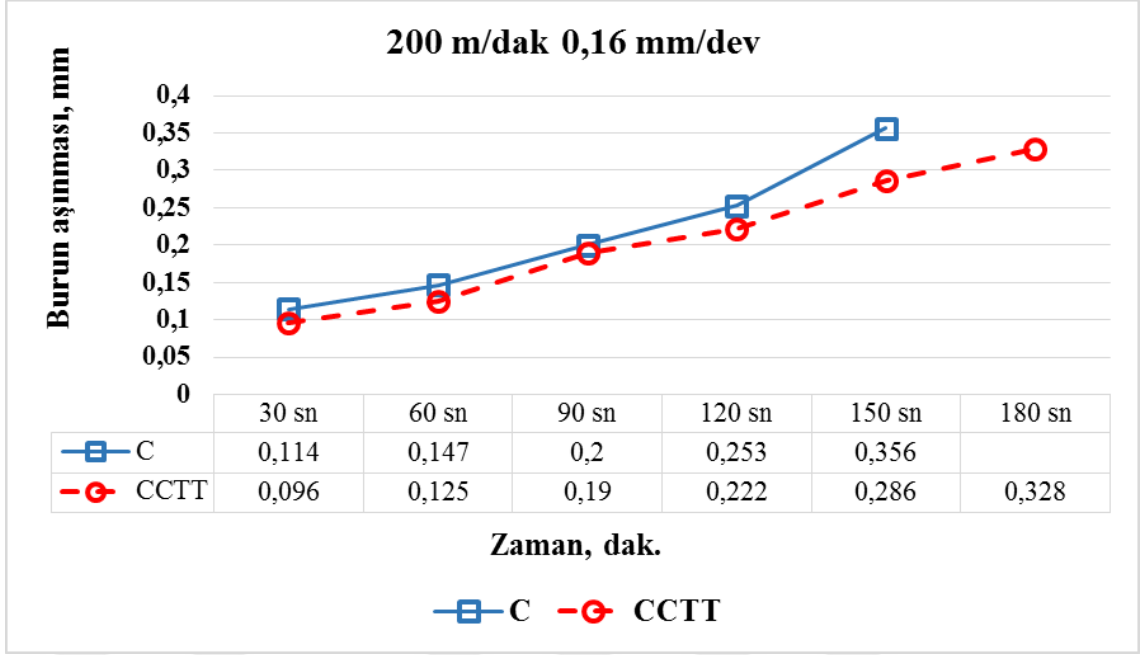
Şekil 8.11. C ve CCTT kodlu takımın 200 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.

Şekil 8.11’de 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm /dev ilerleme hızında yapılan takım ömrü deneyinde, kaplamasız (C) takım ile kaplamasız kriyojenik işlemlili (CCTT) takım ile yapılan deneyde burun aşınması incelenmiştir ve takımın ömürleri karşılaştırılmıştır. Deneylerde, C kodlu kesici takım ile yapılan işlemede aşınma kriterine 180. saniyede varılırken, CCTT kodlu takım ile 210. saniyede ulaşılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımında daha geç aşınma oluşmuştur. Böylece, 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında gerçekleştirilen kesme işlemi sonucunda, kriyojenik işlem takım ömrü üzerinde % 16 oranında ömür artışı sağlamıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımın daha geç aşınması, kriyojenik işlemin homojen karbür dağılımı ve ikincil karbür (eta karbür) çökmesi sağlayarak kesici takımlara kazandırmış olduğu yüksek sertlik ve aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir [52], [54], [55], [75], [133], [134].

Çizelge 8.13. C ve CCTTkodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

200 m/dak 0,08mm/dev			
	30 sn	120 sn	180 sn
C			
	30 sn	120 sn	180 sn
CCTT			

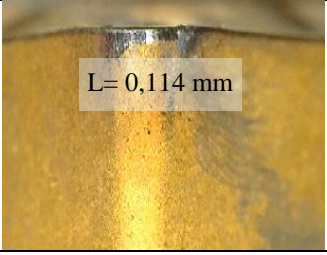
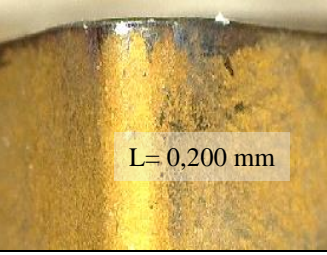
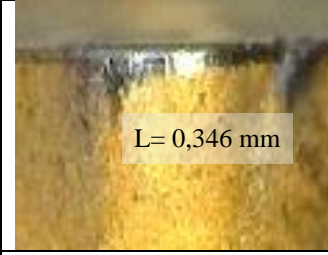
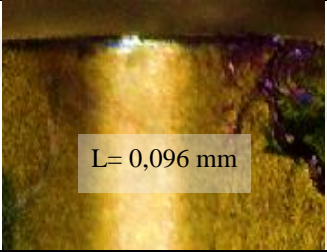
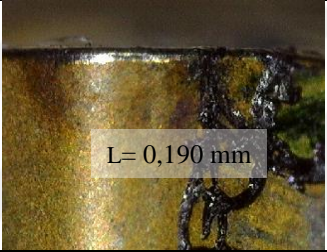
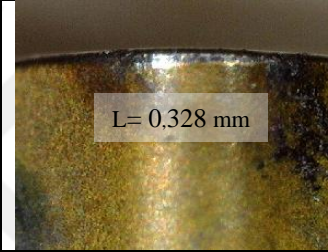
Çizelge 8.13'te C ve CCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. Çizelge 8.13'e bakıldığında, takımlarda burun aşınması olduğu görülmektedir. Çizelgede, kaplamalı takımlarda; 30, 120 ve 180 saniye resimleri kaplamalı işlemlerle takımlarda ise 30, 120 ve 180 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. C kodlu takım 30 sn'lik işleme süresi sonunda 0,098 mm aşınırken CCTT kodlu takım aynı süre sonunda 0,090 mm aşınmıştır. Aynı şekilde C kodlu takım 180 sn sonunda 0,345 mm aşınırken CCTT kodlu kriyojenik işlem uygulanmış takımdaki aşınma değeri 0,284 mm olarak ölçülmüştür. Grafikte de görüldüğü gibi aşınma süreleri aynı olsa da aşınma miktarları farklılık göstermektedir. 180 saniyelik işleme sonunda CCTT kodlu takım C kodlu takıma göre % 18 oranında daha az aşınmıştır. Buradan da anlaşılmaktadır ki kriyojenik işlem kaplamalı takımlarda da takım ömründe artışlar sağlamıştır.



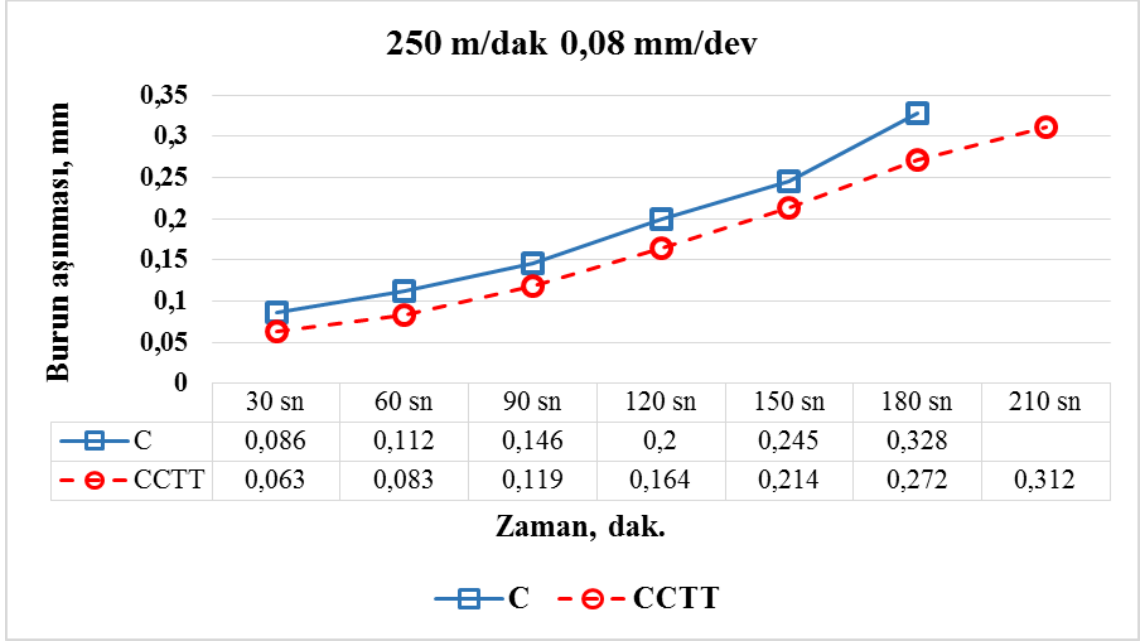
Şekil 8.12. C ve CCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınmaların zamana bağlı değişimleri.

Şekil 8.12’de 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işlemi sonunda C ve CCTT kodlu takımlarda oluşan aşınmaların işleme süresine bağlı değişimleri verilmiştir. Deneylerde C kodlu takım ile 0,3 mm’lik aşınma kriterine 150. saniye sonunda ulaşılırken, CCTT kodlu takım ile 180. saniyede ulaşılmıştır. 150 saniye sonunda C kodlu takımdaki aşınma değeri 0,356 mm olmuştur. Buna karşın CCTT kodlu takım 180 sn sonunda 0,328 mm değerinde aşınmıştır. Takım ömrü bakımından CCTT kodlu takım C kodlu takıma göre % 20 ömür artışı göstermiştir.

Çizelge 8.14. C ve CCTT kodlu kesici takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

200 m/dak 0,16 mm/dev			
	30 sn	90 sn	180 sn
C			
CCTT			

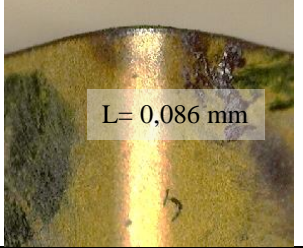
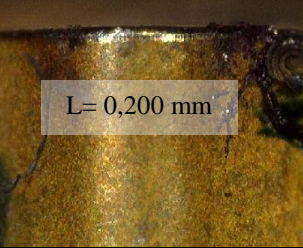
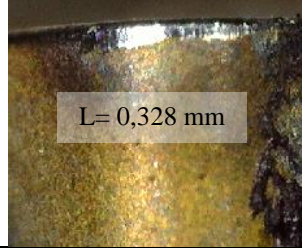
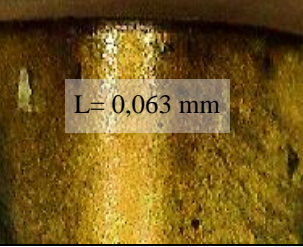
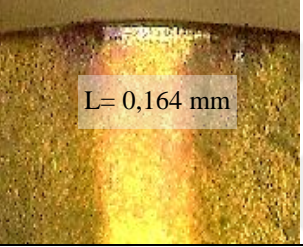
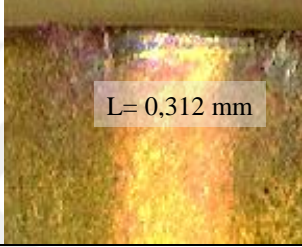
Çizelge 8.14'te C ve CCTT kodlu takımların 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. Çizelge 8.14'e bakıldığında, takımlarda burun aşınması olduğu görülmüştür. Aşınma süreleri işleme hızlarına paralellik göstermektedir. Çizelgede, kaplamasız takımlarda; 30, 90 ve 150 saniye resimleri, kaplamasız işlemlilerde ise 30, 90 ve 180 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. C kodlu takım 30 sn'lik işleme süresi sonunda 0,114 mm aşınırken CCTT kodlu takım 30 sn sonunda 0,96 mm aşınma olmuştur. Yine aynı şekilde C kodlu takım 90 sn sonunda 0,200 mm aşınırken, CCTT kodlu takım kriyojenik işlem uygulanmış takımda 0,190 mm ölçülmüştür. Aynı şekilde C kodlu takım 150 sn sonunda 0,356 mm aşınırken, CCTT kodlu takım 180 sn sonunda 0,328 mm aşınmıştır. İşleme süreleri farklı alındığı halde resimlerde de görüldüğü gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha fazla süre işleme yapılmış ve bu sayede kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki performansı % 20 oranında artmıştır.



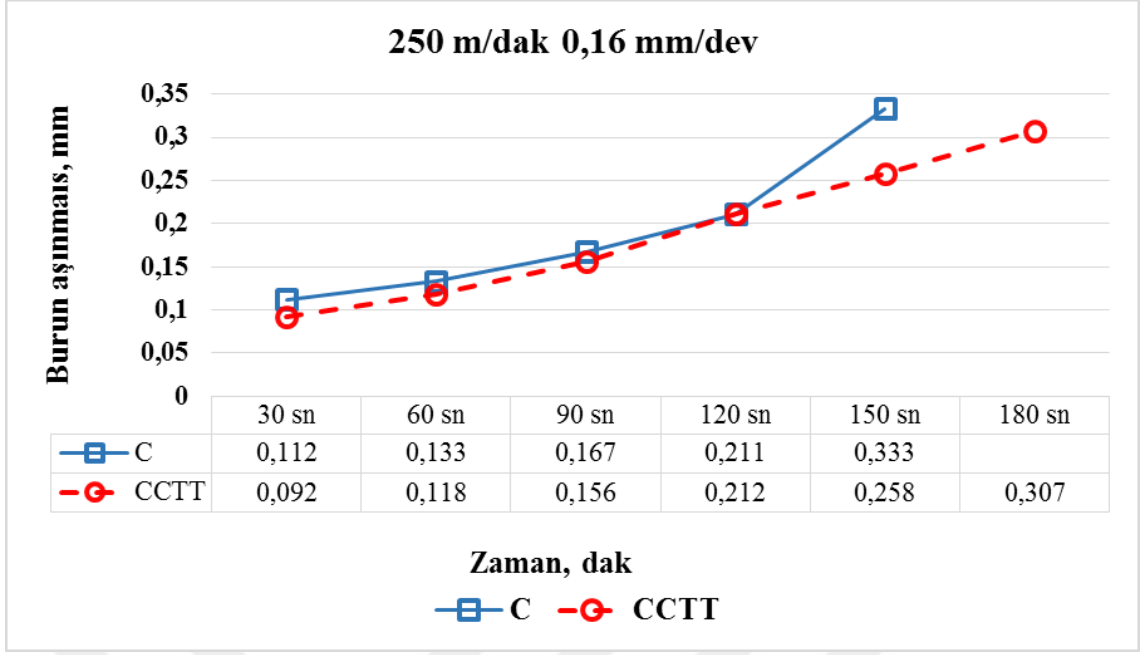
Şekil 8.13. Kaplamalı ve kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/ dev ilerleme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri.

Şekil 8.13’de 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işlemi sonunda C ve CCTT kodlu takımlarda oluşan aşınmaların işleme süresine bağlı değişimleri verilmiştir. Deneylerde, C kodlu kesici takım ile yapılan işlemede aşınma kriterine 180. saniyede varılırken, CCTT kodlu takım ile 210. saniyede ulaşılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımda daha geç aşınma oluşmuştur. Böylece, 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında gerçekleştirilen kesme işlemi sonucunda, kriyojenik işlem takım ömrü üzerinde yaklaşık % 16 oranında ömür artışı sağlamıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha geç aşınması, kriyojenik işlemin homojen karbür dağılımı ve ikincil karbür (eta karbür) çökmesi sağlayarak kesici takımlara kazandırmış olduğu yüksek sertlik ve aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir [52], [54], [55], [75], [133], [134].

Çizelge 8.15. C ve CCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

250 m/dak 0,08 mm/dev			
	30 sn	120 sn	180 sn
C			
	30 sn	120 sn	210 sn
CCTT			

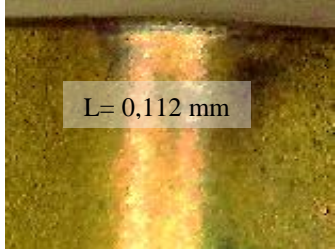
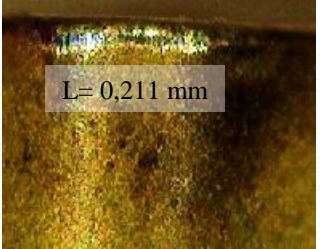

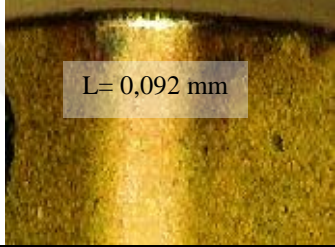
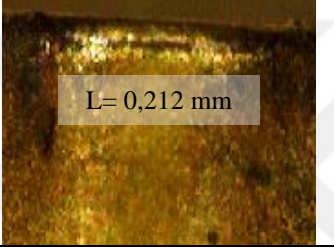
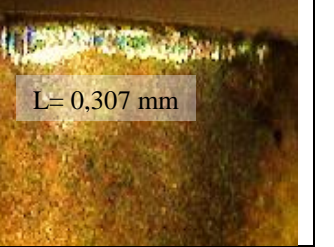
Çizelge 8.15'te C ve CCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm /dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. Çizelgede, kaplamalı takımlarda; 30, 120 ve 180 saniye resimleri, kaplamalı kriyojenik işlemlili takımlarda ise 30, 120 ve 210 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. C kodlu takım 30 sn'lik işleme süresi sonunda 0,086 mm aşınırken CCTT kodlu takım 30 sn sonunda 0,063 mm değerinde aşınmıştır. Yine aynı şekilde C kodlu takım 120 sn sonunda 0,200 mm aşınırken, CCTT kodlu takımındaki aşınma miktarı 0,164 mm olarak ölçülmüştür. 120 saniye sonunda CCTT kodlu takım C kodlu takıma göre 0,036 mm aşınma miktarı ile % 18 oranında daha az aşınma davranışı sergilemiştir. 180 saniye sonunda C kodlu takım 0,328 mm aşınırken, CCTT kodlu takım 210 saniye sonunda 0,312 mm aşınmıştır. CCTT kodlu kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takım C kodlu işlemsiz kaplamalı takıma göre 30 saniye daha fazla işleme yapmış ve 0,016 mm daha az aşınmıştır.



Şekil 8.14. C ve CCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınmaların zamana bağlı değişimleri.

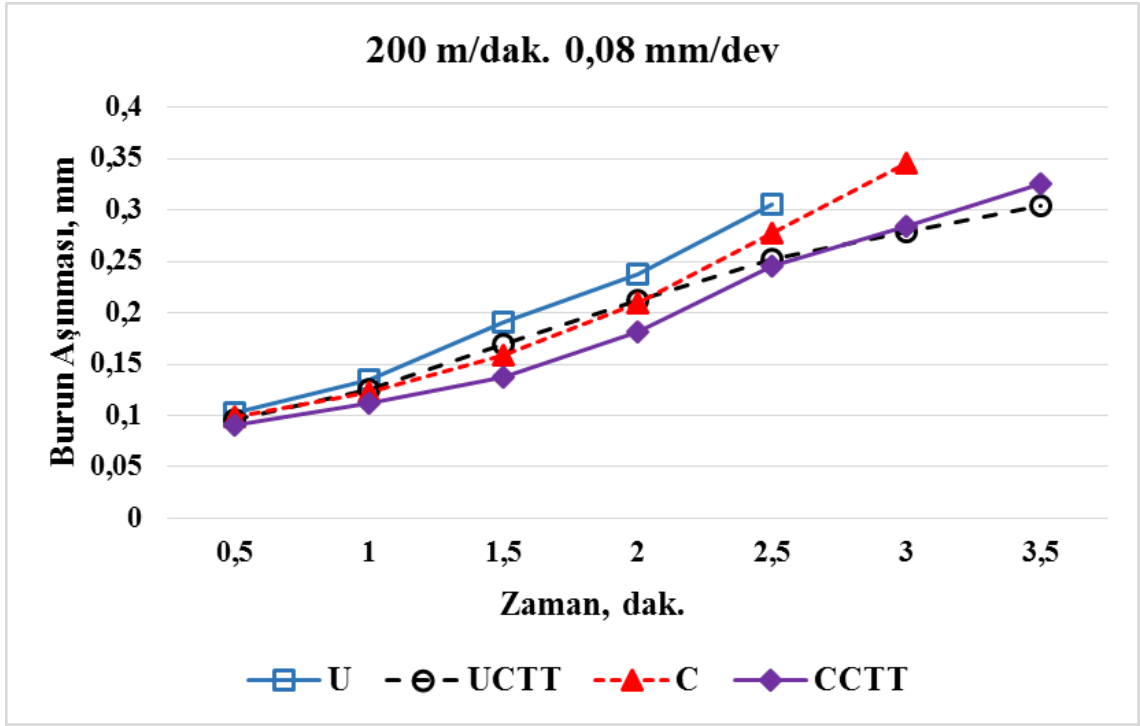
Şekil 8.14'te 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işlemi sonunda C ve CCTT kodlu takımlarda oluşan aşınmaların işleme süresine bağlı değişimleri verilmiştir. Deneylede, C kodlu kesici takım ile yapılan işlemede aşınma kriterine 150. saniyede varılırken, CCTT kodlu takım ile 180. saniyede ulaşılmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımında daha geç aşınma oluşmuştur. Böylece, 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında gerçekleştirilen kesme işlemi sonucunda, kriyojenik işlem takım ömrü üzerinde % 16 oranında ömür artışı sağlamıştır.

Çizelge 8.16. C ve CCTT kodlu kesici takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma resimleri.

250 m/dak 0,16 mm/dev			
	30 sn	120 sn	150 sn
C			
	30 sn	120 sn	180 sn
CCTT			

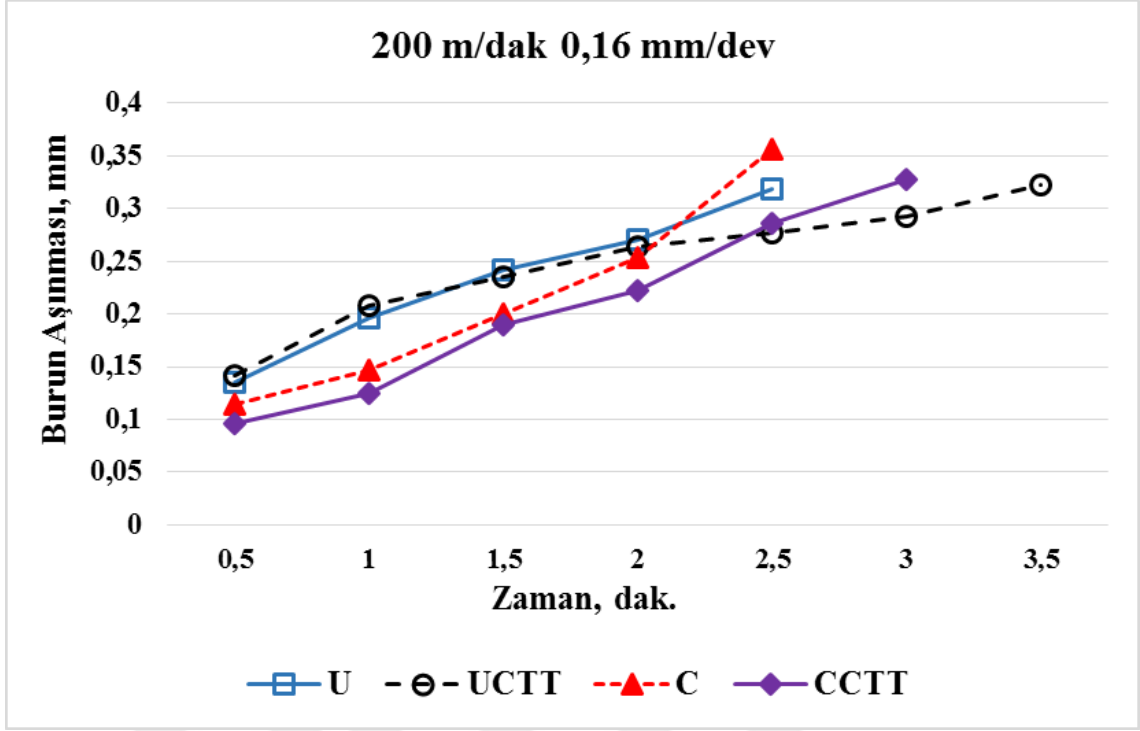
Çizelge 8.16’da C ve CCTT kodlu takımların 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm /dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları verilmiştir. Çizelgede, kaplamalı takımlarda; 30, 120 ve 150 saniye resimleri, kaplamalı işlemlili takımlarda ise 30, 120 ve 180 saniyede oluşan aşınma resimleri yer almaktadır. C kodlu takım 30 sn’lik işleme süresi sonunda 0,112 mm aşınırken CCTT kodlu takım 30 sn sonunda 0,92 mm aşınma olmuştur. Yine C kodlu takım 150 sn sonunda 0,333 mm aşınırken CCTT kodlu takım 180 sn sonunda 0,307 mm değerinde aşınmaya maruz kalmıştır. İşleme süreleri farklı alındığı halde resimlerde de görüldüğü gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımlar ile daha fazla süre işleme yapılmış ve bu sayede kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki performansı % 16 oranında artmıştır.

Bu bölümde takımların kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı olarak takımların U, UCTT, C, CCTT toplu olarak birbirlerine göre durumları değerlendirilmiştir.



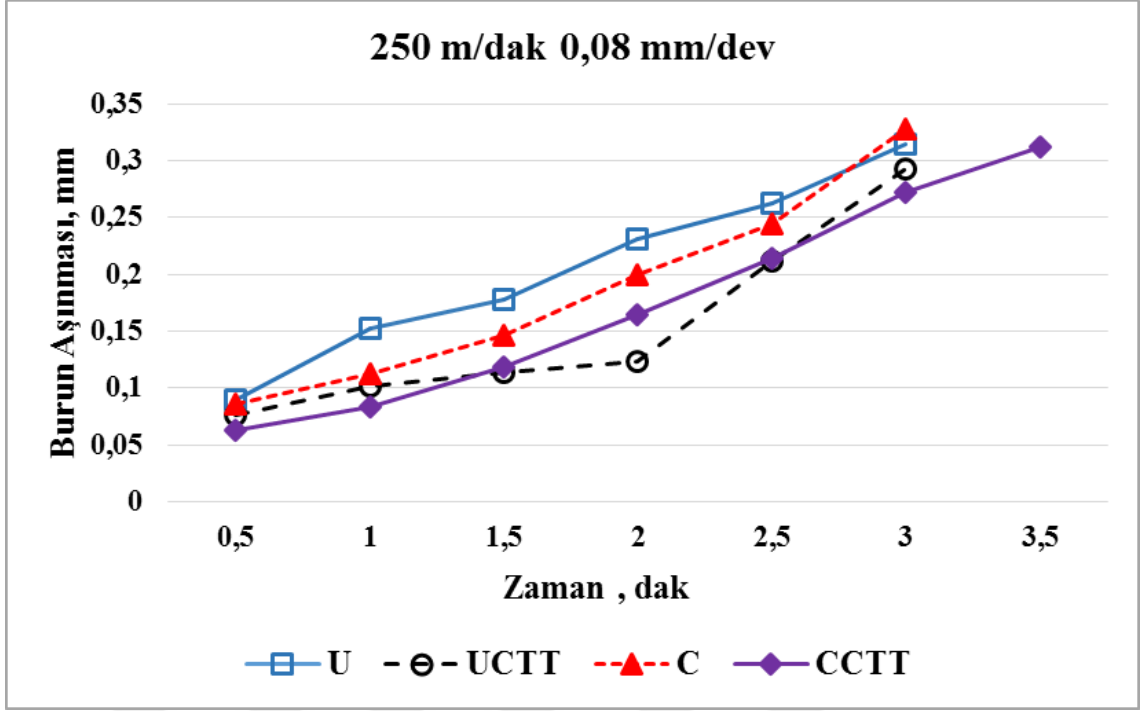
Şekil 8.15. 200 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.

Şekil 8.15'te 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında yapılan aşınma deneyi sonuçları görülmektedir. Grafiğe bakıldığında, kriyojenik işlem uygulanmamış kaplamasız ve kaplamalı takımlar (U ve C) sırasıyla 2,5 ve 3 dakikada ömrünü tamamlarken, UCTT ve CCTT kodlu kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız ve kaplamalı karbür takım 3,5 dakikalık işleme sonrasında ömrünü tamamladığı görülmektedir. Bu veriler ışığında kriyojenik işlem uygulanmış takımların diğerlerine göre ortalama % 27'lik bir ömür artışı sağladığını söylemek mümkündür.



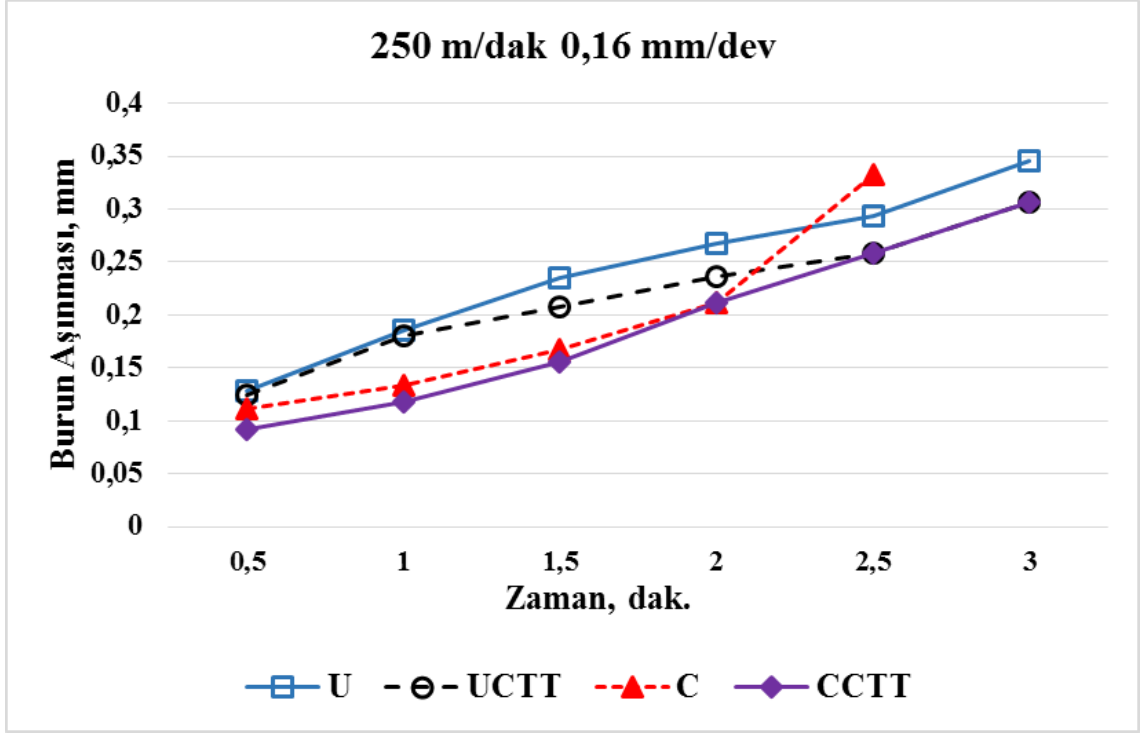
Şekil 8.16. 200 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.

Şekil 8.16’de 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında yapılan takım aşınması deneyi sonuçları verilmiştir. İlerleme hızının 0,08 mm/dev’den 0,16 mm/dev’e çıkarılması kesici takımların aşınma sürelerinde hızlanma olmuş takım ömürleri bir miktar düşmüştür. İlerleme hızı 0,08 mm/dev iken U ve C kodlu kesici takımlar toplamda 330 saniye sonunda aşınırken bu süre 0,16 mm/dev olduğunda 300 saniyeye düşmüştür. Bu durum, ilerleme hızındaki artışla birlikte talaş kesit alanının artması buna bağlı olarak talaşın yüzeyden koparılması için daha fazla güç ve enerji gereksinimi ve sonuç olarak kesme işleminin zorlaşması ile ilişkilendirilmiştir. Kesme işleminin zorlaşması da takımın daha kısa sürede aşınması anlamına gelmektedir. 200 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında yapılan işlemler sonrasında U ve C kodlu işlemsiz takımlar 2,5 dakika sonrasında aşınırken, UCTT ve CCTT kodlu takımlar sırasıyla 3,5 ve 3 dakika sonunda ömrünü tamamlamıştır. Yine bu grafikten de görüldüğü gibi kriyojenik işlem kesici takım ömründe olumlu artışlar sağlamıştır.



Şekil 8.17. 250 m/dak kesme hızında ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.

Şekil 8.17’de 250 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında yapılan işlemler sonucunda kesici takım ömürlerinin kesici takım türüne göre değişimi verilmiştir. Şekli incelediğimizde 3 dakika sonunda U, UCTT ve C kodlu takımların aşındığı görülmektedir. CCTT kodlu takım ise 3,5 dakika sonunda ömrünü tamamlamıştır. Bu takımlar için takım ömrü aynı olsa da aşınma miktarları arasında farklar vardır. Genel olarak yine bu parametreler için yapılan işlemler sonucunda kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha az miktarlarda aşınmıştır.



Şekil 8.18. 250 m/dak kesme hızında ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında takımların karşılaştırılması.

Şekil 8.18’de 250 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme hızında yapılan işlemler sonucunda kesici takım ömürlerinin kesici takım türüne göre değişimi verilmiştir. İlerleme hızındaki artış ile takım ömürlerinde bir miktar düşüş yaşanmıştır. Bu durum yine ilerleme hızındaki artış ile kesme kuvvetinin artmasına ve takım aşınmasının daha fazla olması ile ilişkilendirilmiştir. C kodlu takım 2,5 dakika sonuna ömrünü tamamlarken, U, UCTT ve CCTT kodlu takımlar 3 dakika sonunda aşınma kriterini geçmiş ve ömürlerini tamamlamıştır. Yine burada da kriyojenik işlemin ömür üzerinde az da olsa olumlu etkisinin olduğunu söyleyebiliriz.

Burun aşınması grafiklerinin tamamı birlikte değerlendirildiğinde, kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki olumlu etkisi açıkça görülmektedir. Kriyojenik işleme tabi tutulmuş kesici takımlar işlemsiz takımlara göre daha geç aşınmış ve daha uzun takım ömrü sergilemiştir. Kesici takımlar kendi aralarında kıyaslandığında, CCTT kodlu kesici takımın en uzun işleme sürelerini sağladığı görülmektedir. Daha sonra sırasıyla, C, UCTT ve U kodlu takımlar gelmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında, kriyojenik işlemin kesici takım ömrü ve aşınma direncinin artmasında olumlu etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir [5], [135]. Takım ömründeki bu iyileşme, kriyojenik işlemin kesici ucun morfolojik yapısını değiştirilmesi ile ilişkilendirilmiştir [48], [136]. Bu durum

benzer literatür çalışmalarında dahi belirtilmiştir [116], [137]-[139]. Takım ömrünü etkileyen bir diğer unsur ise aşınma direncidir. Aşınma direncinin iyi olması veya farklı proseslerle iyileştirilmesi takım ömrünü olumlu yönde etkileyerek ömürde artış sağlamaktadır. Bununla birlikte, kesme bölgesindeki sıcaklık artışı kesici takımın aşınma direnci ve sertliğini olumsuz yönde etkileyen bir unsur olmakla birlikte artan ısı işlenen parçalarda boyutsal değişimlere neden olmaktadır. Bu da boyutsal doğruluğun kontrolünü zorlaştırmaktadır. Ayrıca kriyojenik işlemin termal iletkenliği artırma etkisi kesici takımın ısı dağıtım kapasitesini artırmaktadır. Kesici takım malzemesinin termal iletkenliğinin yüksek olması, kesme esnasında kesme bölgesinde oluşan yüksek ısıların daha çabuk ve kolay uzaklaştırılması anlamına geleceğinden özellikle talaş kaldırma işleminde kullanılan kesici takımların daha geç aşınması anlamına gelmektedir [29], [137], [140]. Bununla birlikte termal iletkenliğin artması, takım uç sıcaklığının düşürülmesine yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak, işleme esnasında kesici takım sıcak sertliğini korumakta ve işlemsiz takımlara göre kriyojenik işlemlerle takımlarda daha az aşınma meydana gelmektedir [44].

Literatüre bakıldığında, kriyojenik işlemin kesici takımların takım ömründe artış sağladığını bildiren çalışmalar oldukça fazladır. Firouzdor ve arkadaşları, derin kriyojenik işlemin HSS matkapların aşınma direnci ve takım ömründe % 77, kriyojenik işlemle sonra temperleme uygulanmasının ise % 126 iyileşme sağladığını rapor etmişlerdir [55]. Da Silva ve arkadaşları, kriyojenik işlemin M2 HSS takımların sertliği ve mikrosertliğini önemli derecede etkilemediğini ancak takım ömrü deneylerinde kriyojenik işlemin avantajlı bulunduğunu bildirmişlerdir. İşlemsiz numunede gözlemlenen kalıntı östenitin % 25'i kriyojenik işlem ile martenzite dönüşmüştür. Kesme şartlarına bağlı olarak takım ömründe % 65' den % 343'e ulaşan bir performans artışı gözlenmiştir [5]. Çiçek ve diğerleri AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde, kriyojenik işlem üzerine temperleme uygulanmış (KİT) ve işlemsiz (KİU) M35 HSS matkapların, takım ömrü açısından kıyaslandığında KİT matkaplar KİU matkaplara göre iki farklı kesme hızında % 95 ve % 48 ömür artışı sağladığını rapor etmişlerdir [47]. Ayrıca Çiçek ve arkadaşları, yaptıkları bir diğer çalışmada AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin M35 matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlem uygulanmış matkaplarla % 218 daha uzun takım ömrü elde edildiğini bildirmişlerdir. Takım ömründeki bu artışı, kriyojenik işlemin HSS takımların sertlik ve aşınma direncini artırmasına atfetmişlerdir. Bu duruma, kriyojenik işlem ile kalıntı östenitin

büyük oranda martenzite dönüşmesi ve ikincil karbür çökmesi ile daha homojen karbür dağılımının sağlanmasının sebep olduğu bildirilmiştir [75], [141].

Kaplamasız kesici takımlar ile kaplamalı kesici takımlar karşılaştırıldığında, kaplamalı takımların daha yüksek aşınma direnci sergilediği görülmüştür. Aynı şekilde takım ömrü grafiklerine bakıldığında, en iyi takım ömrü performansını CCTT ve C kodlu takımların sergilediği görülmektedir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımın en iyi performansının başlıca nedeni, ince sert film kaplamanın ucun oksitlenmesi ve aşınmasını önlenmesidir. Aynı zamanda kaplama ucun yanak aşınma hızını etkili bir şekilde düşürmektedir. Kesme hızının artmasıyla birlikte takım aşınmalarında da bir artışın olduğu bariz bir şekilde görülmektedir. Bu durum yüksek kesme hızlarında ortaya çıkan aşırı ısının kesici takım malzemesinde yol açmasıyla ilişkilendirilebilir [142] – [144].

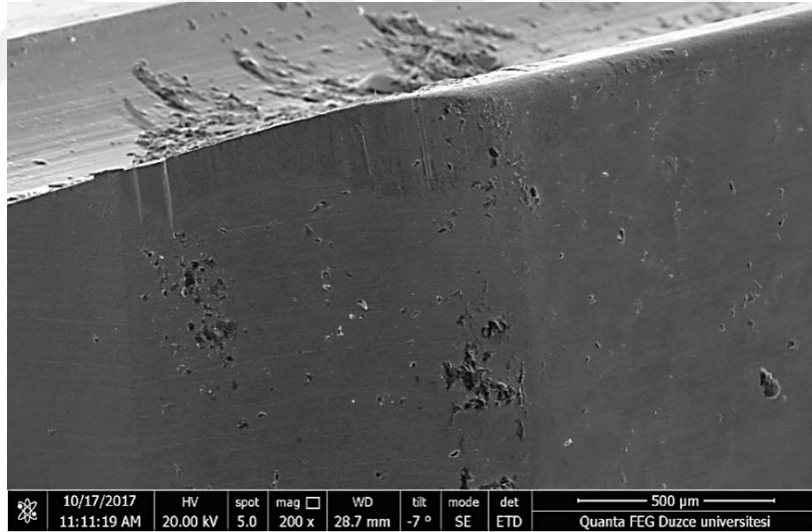
Kaplamalı karbür, seramik ve kübik bor nitrür (CBN) takımlar sahip oldukları kendilerine ait özellikler nedeniyle bu aşınmalara karşı dayanım sağlamaktadırlar [145] – [148]. Kaplamalı karbürlerde özellikle kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Sementit karbür kesici takımların yüzeyleri aşınmaya dirençli, sert ve işleme esnasında iş parçası ile kesici takım etkileşimini engellemek için kimyasal olarak kararlıdır. Bu tür kesici takımların sahip oldukları özelliklerin daha da iyileştirilmesi amacıyla yüzeyleri bir veya birden fazla aşınmaya dirençli ince bir katmanla kaplanabilir. Titanyum karbür (TiC), Titanyum nitrür (TiN) ve Alüminyum oksit (Al_2O_3) yaygın olarak kullanılan kaplama malzemeleridir. Bu kaplamalar takımın aşınmaya karşı direncini artırır [148] – [151].

Şekil 8.18'e bakıldığında kesme hızı ve ilerlemenin artmasına bağlı olarak kaplamalı takımlarda önce normal bir ömür atışı sergilerken daha sonra hızlı bir artış ile 2,5 dk.'da ömrünü tamamlamıştır. Bu durum kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıkların takım ömrü üzerinde olumsuz etkiye sahip olması ile ilişkilendirilmiştir. Uluğ ve Dilipak yaptıkları çalışmada, takım ömrü açısından kaplamalı ve kaplamasız karbür takımların performansını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kaplamalı takım daha iyi takım ömrü sağlamıştır. Bununla birlikte, kesme hızının artmasıyla takım ömründe her iki takım için de azalmanın olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak kesme hızının artmasıyla sürtünme artmakta buna bağlı olarak da kesici takımında oluşan aşınma miktarının arttığı düşünülmektedir [3], [4], [11], [44], [152]. Yüksek kesme hızlarında uygun bir

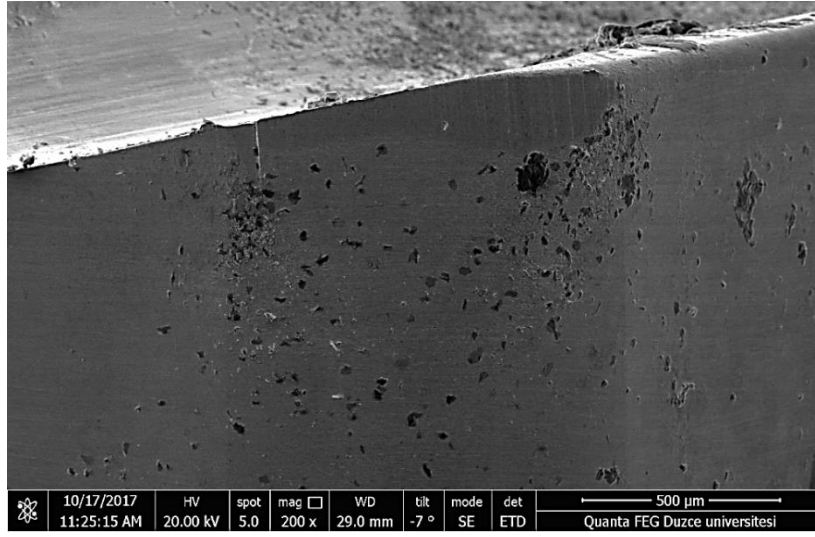
yöntemle takım yüzeyindeki sıcaklığın giderilmesi gerektiği sıcaklığın yüksek olmasından dolayı aşınmanın hızlanacağı ve takım malzeme taneciklerinin arasındaki kopmaların bu sebepten hızlanacağı düşünülmektedir [55].

8.4. SEM, EDX VE RIELTVELD ANALİZİ

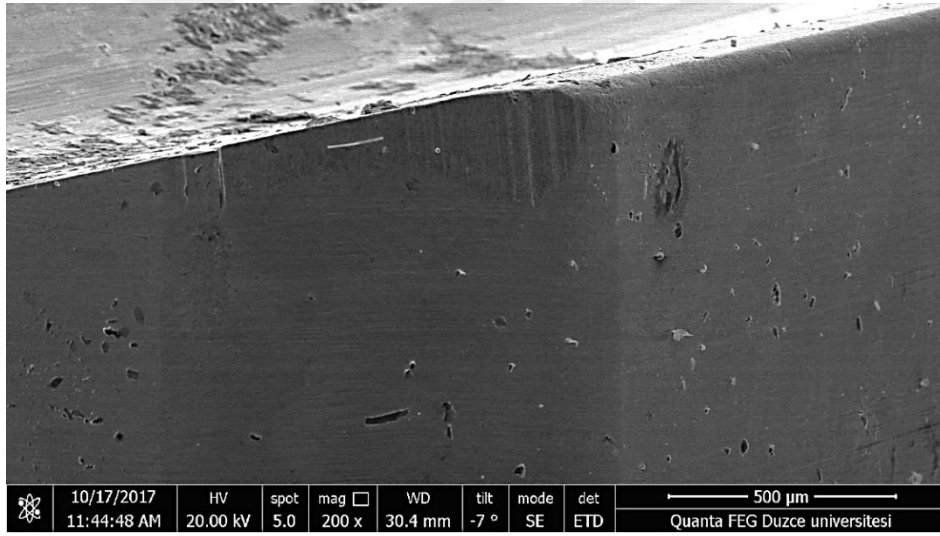
Aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için kesici takımların işlem yapılan her bir köşesinin SEM fotoğrafları çekilmiş ve oluşan talaş ve yığıntı katmanı üzerinde elementlerin türünü belirleyebilmek için EDX analizi yapılmış ve görüntüleri alınmıştır. Çekilen SEM fotoğrafları ve EDX analizi sonuçları Şekil 8.19 – Şekil 8.37’de verilmiştir. 200 m/dak kesme hızı ve 0,08 mm/devilerleme hızında işlem yapılan U kodlu kesici takıma ait SEM fotoğrafı 8.19’da verilmiştir. Kesici takımın uç radyüsünde burun aşınmasının meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte takım üst yüzeylerinde talaş yapışması (BUE) aşınması oluşmuştur. Burun aşınması abresif aşınma mekanizması sonucunda kesici takım ile iş parçası arasındaki temas sonucu oluşmaktadır.



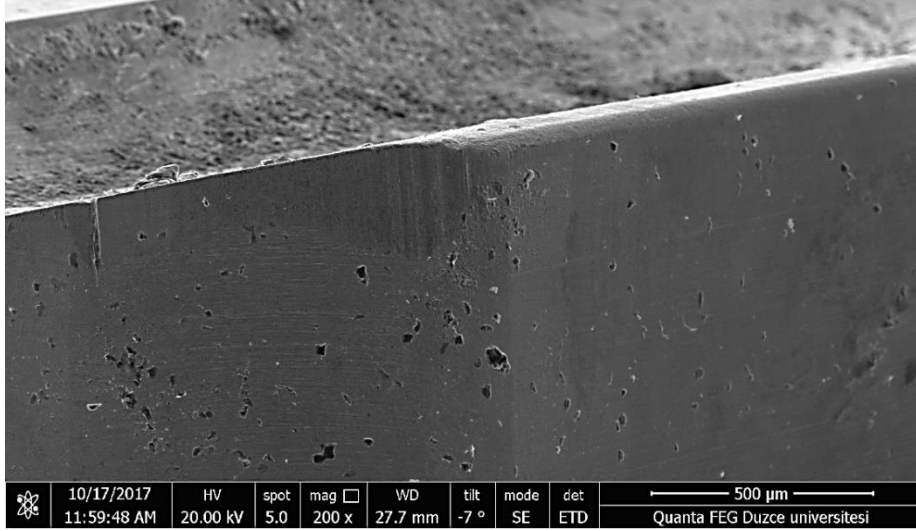
Şekil 8.19. U kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



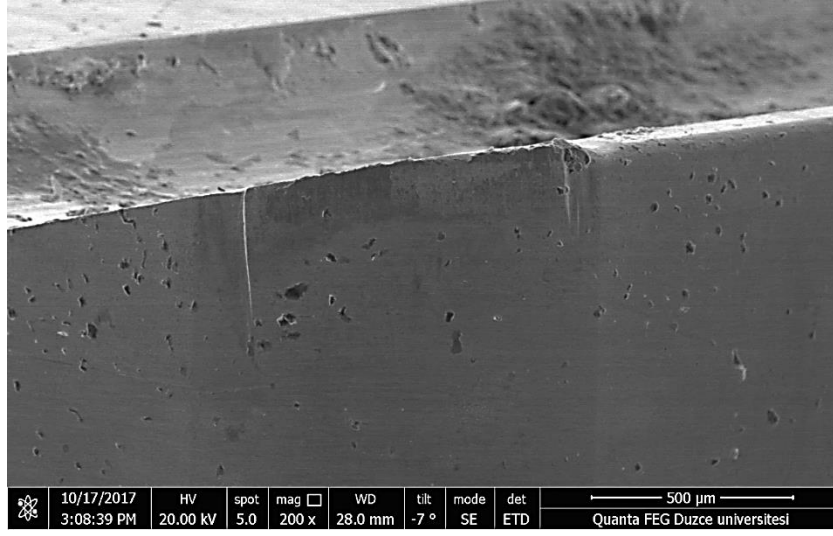
Şekil 8.20. U kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



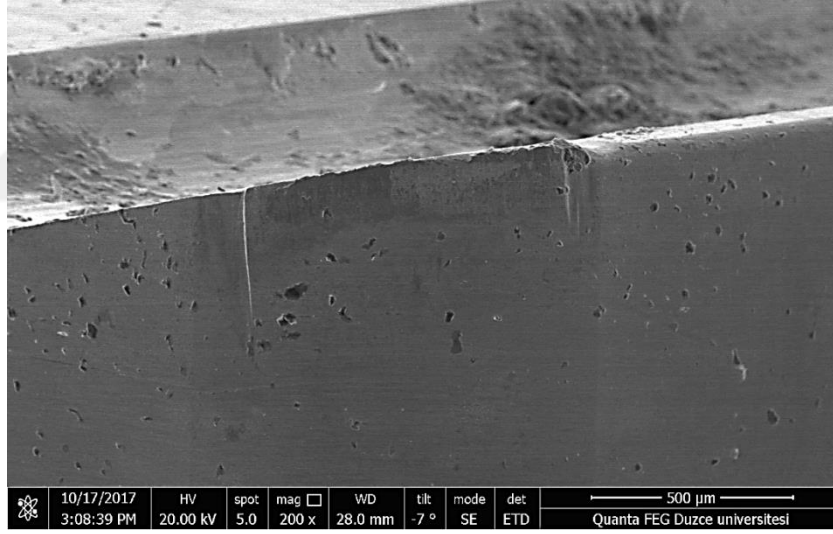
Şekil 8.21. U kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



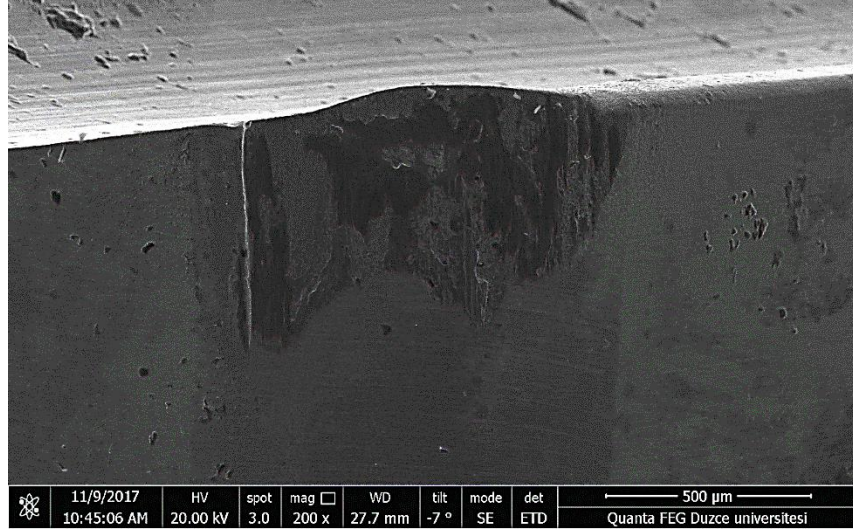
Şekil 8.22. U kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



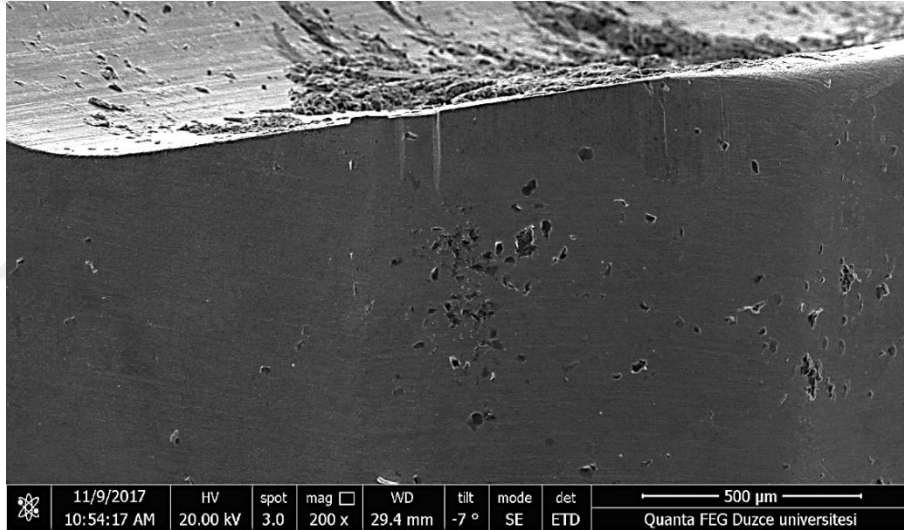
Şekil 8.23. UCTT kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



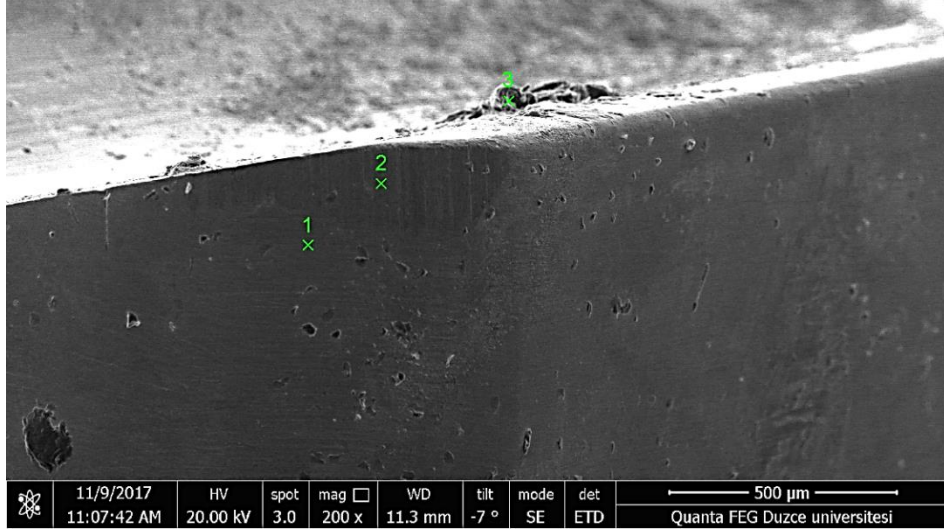
Şekil 8.24. UCTT kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



Şekil 8.25. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.

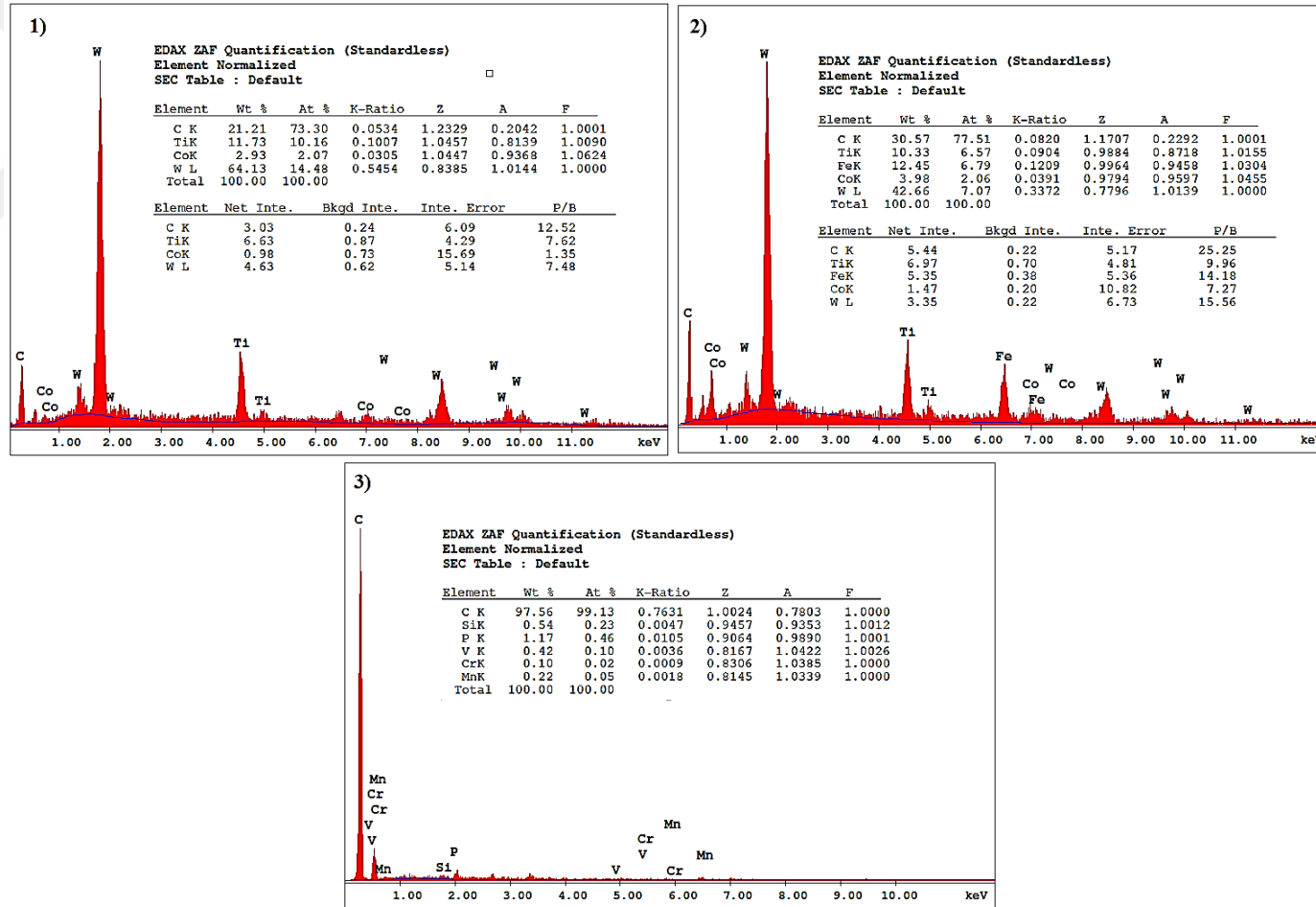


Şekil 8.26. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.

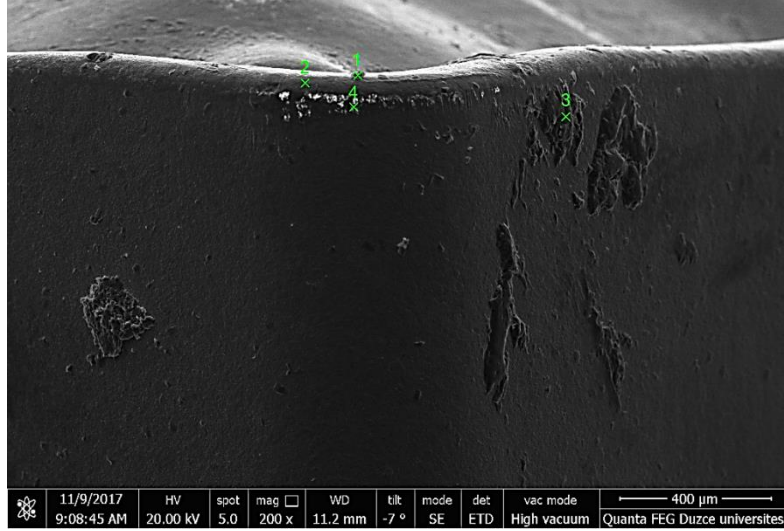


Şekil 8.27. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.

Kesici takımın SEM görüntüleri alındıktan sonra element oranlarını belirlemek amacıyla EDX analizi yapılmıştır. Şekil 8.27'deki 1, 2 ve 3 numaraları ile gösterilen noktalara ait EDX sonuçları Şekil 8.28'de verilmiştir. 1. noktada tespit edilen elementlere bakıldığında, kaplamasız karbür (WC+Co+TiC+TaC) takımın içerisinde bulunan wolfram (W), karbon (C), kobalt (Co), titanyum (Ti) ve tantalyum (Ta) elementlerinden oluştuğu görülmektedir. 2. noktadaki elementlerde yine benzerlik göstermektedir. Fakat 3. noktaya bakıldığında elementlerin AISI O2 soğuk iş takım çeliği iş parçasının mikroyapısında da bulunan C, Co, Cr, Mn, V, P ve Si olduğu görülmektedir. Bu sonuç bu noktada bir yapışma olduğunun ispatıdır. 3 ile gösterilen noktada yığıntı talaş oluşumu meydana gelmiştir.

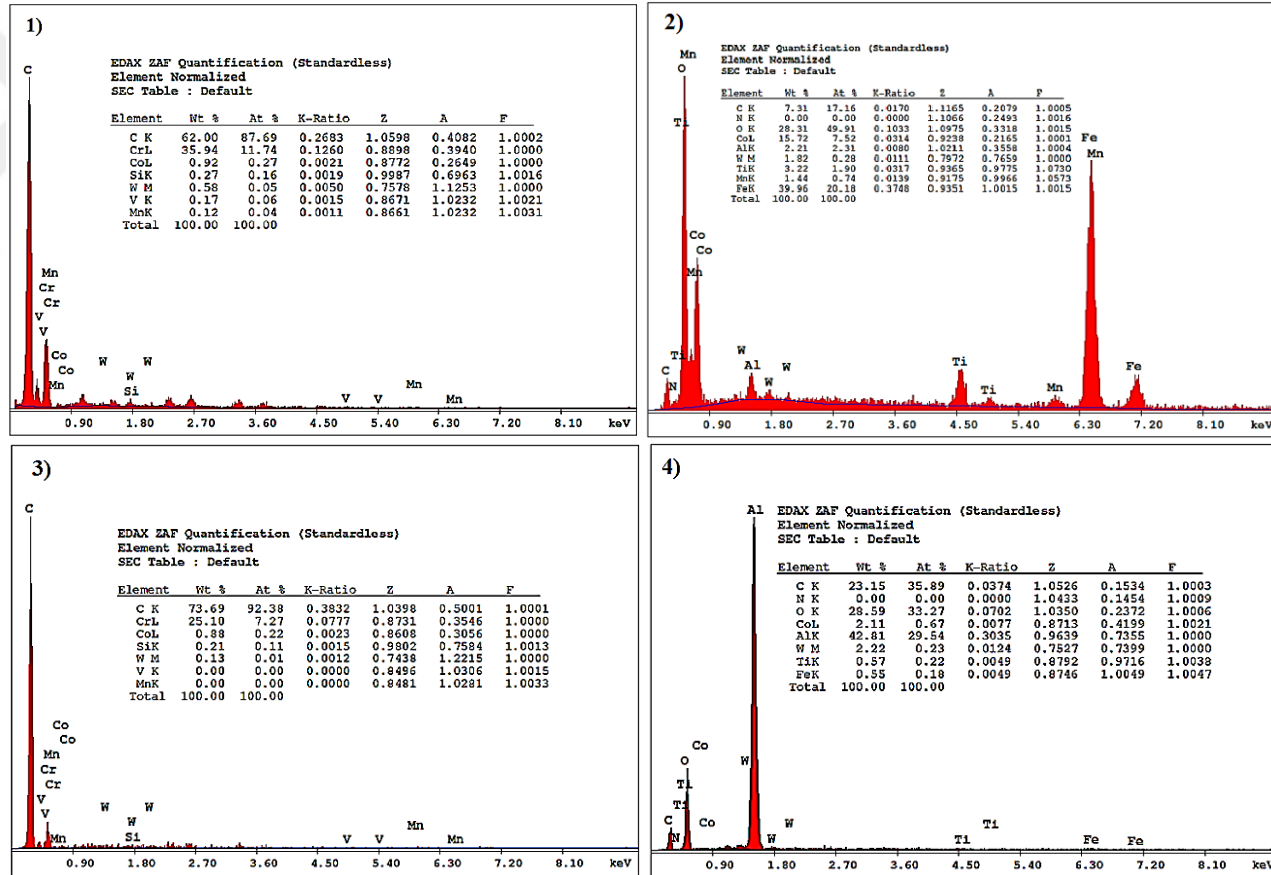


Şekil 8.28. UCTT kodlu takım için 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınmasının EDX analizi.

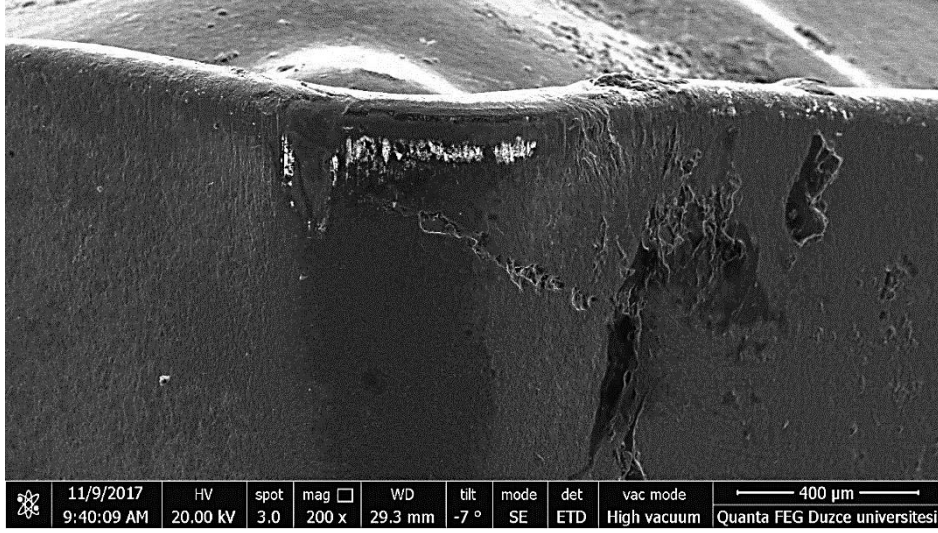


Şekil 8.29. C kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.

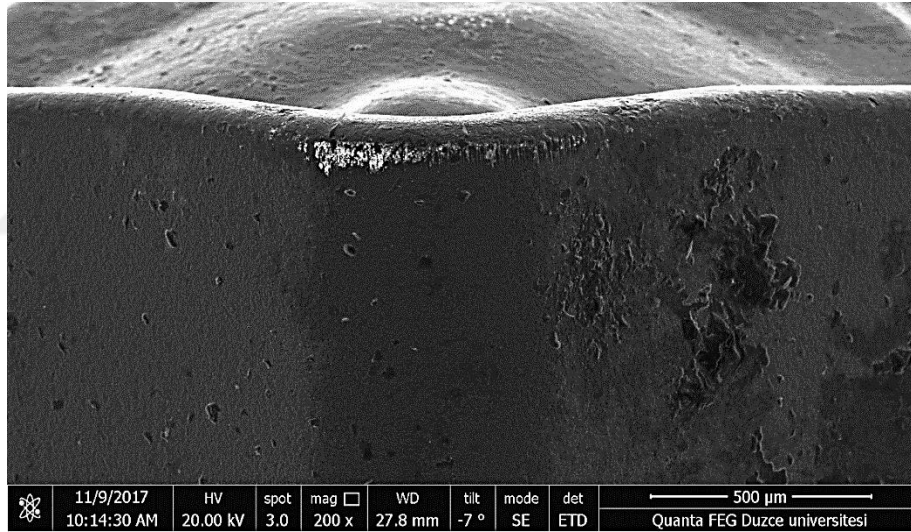
Şekil 8.29'daki 1, 2, 3 ve 4 numaraları ile gösterilen noktalara ait EDX sonuçları Şekil 8.30'da verilmiştir. 1 ve 3 numaralı noktalarda görüldüğü gibi yığıntı talaş oluşumu meydana gelmiştir. Bu noktalarda iş parçası malzemesine ait elementler EDX analizi sonucu görülmüştür. 2 ve 4 numaralı noktalar ise kaplamalı karbür kesici takım malzemesine ait elemtleri içermektedir. 2 numaralı bölgede kaplama kalkmasından şüphe edilmiştir. Fakat EDX analizi sonucunda kaplama kalkmasının olmadığı görülmüştür. Kaplama kalkması meydana geldiğinde kaplamalara ait elemtlerin EDX analizinde çıkması mümkün olmamaktadır. Fakat burada yine kaplama malzemelerine ait olan TiC, Al₂O₃ ve TiN bileşiklerinin tayin edildiği görülmüştür.



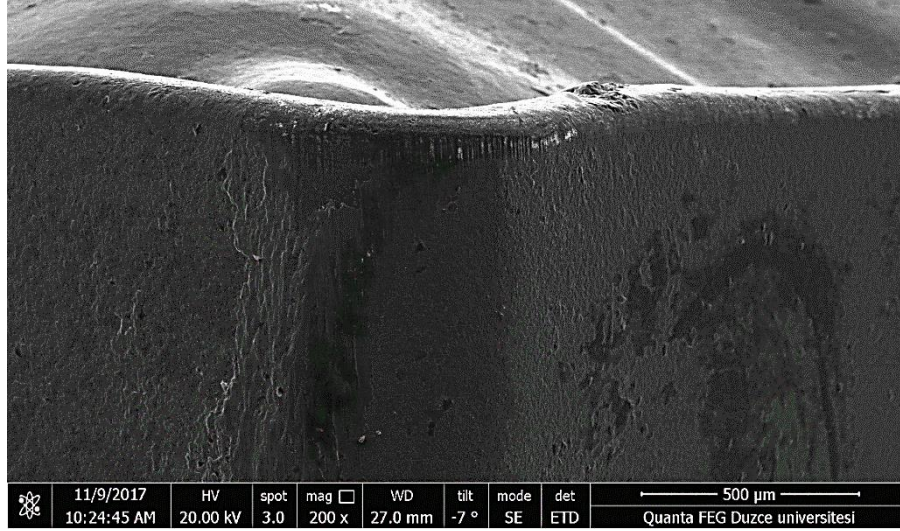
Şekil 8.30. C kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınmasının EDX analizi.



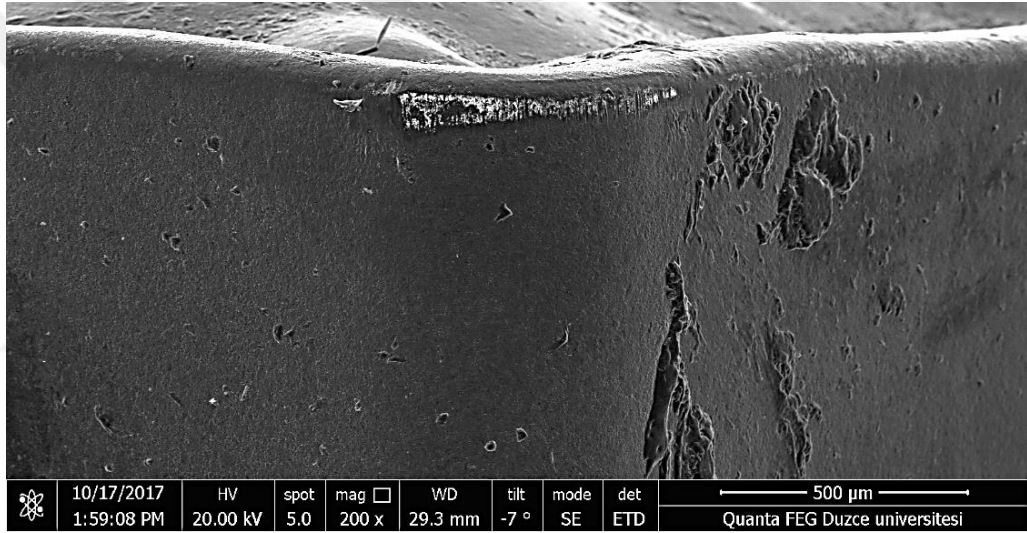
Şekil 8.31. C kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



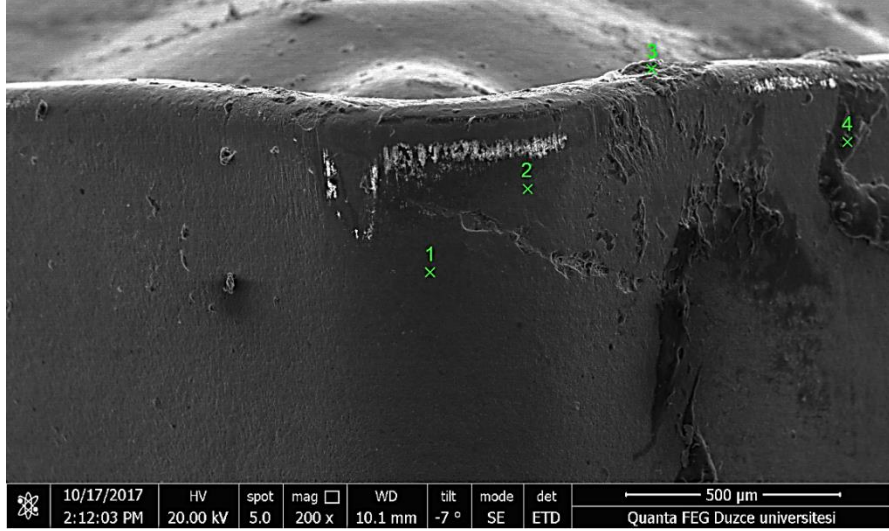
Şekil 8.32. 250 m/dak – 0,08 dev/dak işlem yapılan C kesici takımın SEM görüntüleri.



Şekil 8.33. 250 m/dak – 0,08 dev/dak işlem yapılan C, kesici takımın SEM görüntüleri.

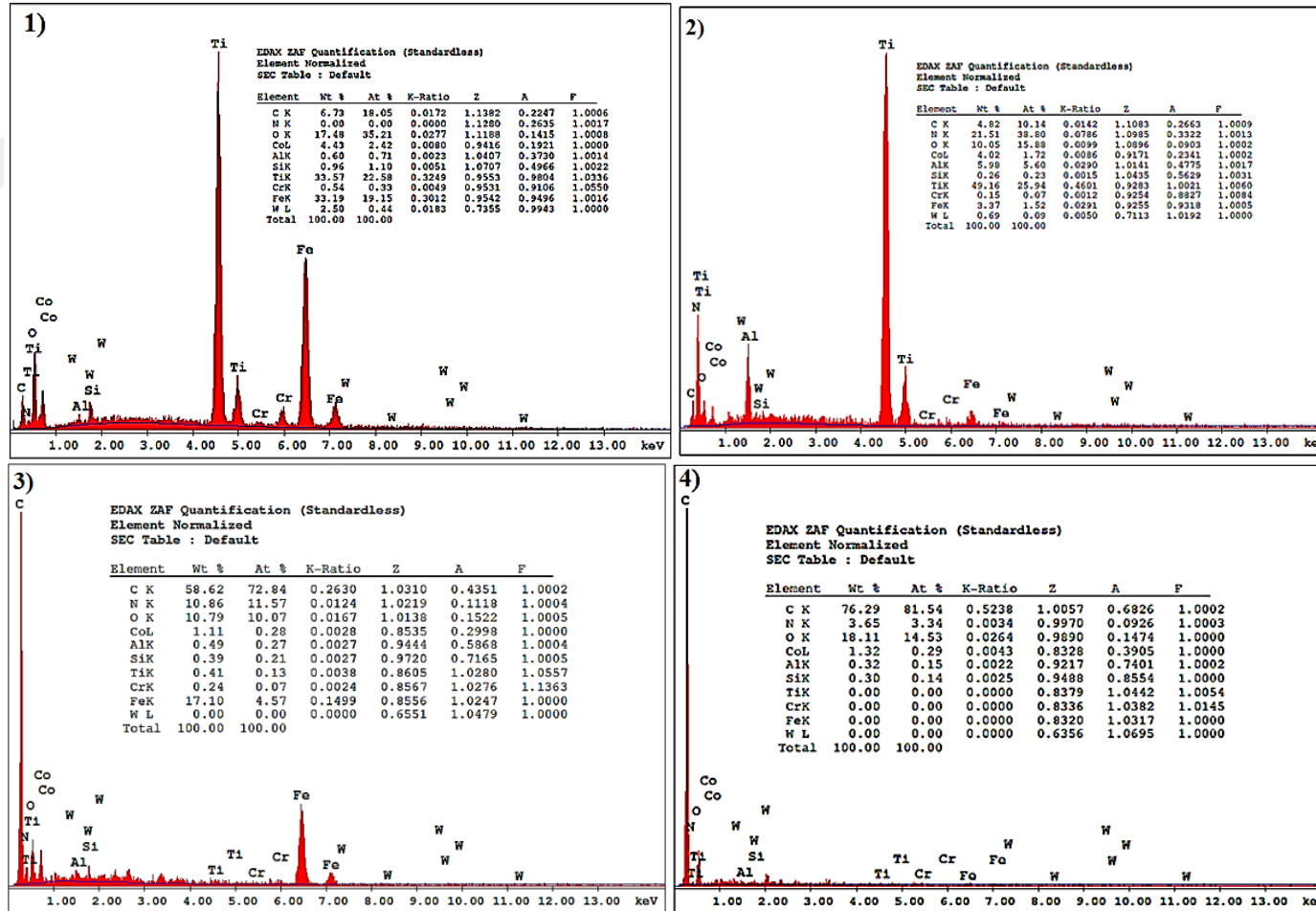


Şekil 8.34. 200 m/dak – 0,08 dev/dak işlem yapılan CCTT, kesici takımın SEM görüntüleri.

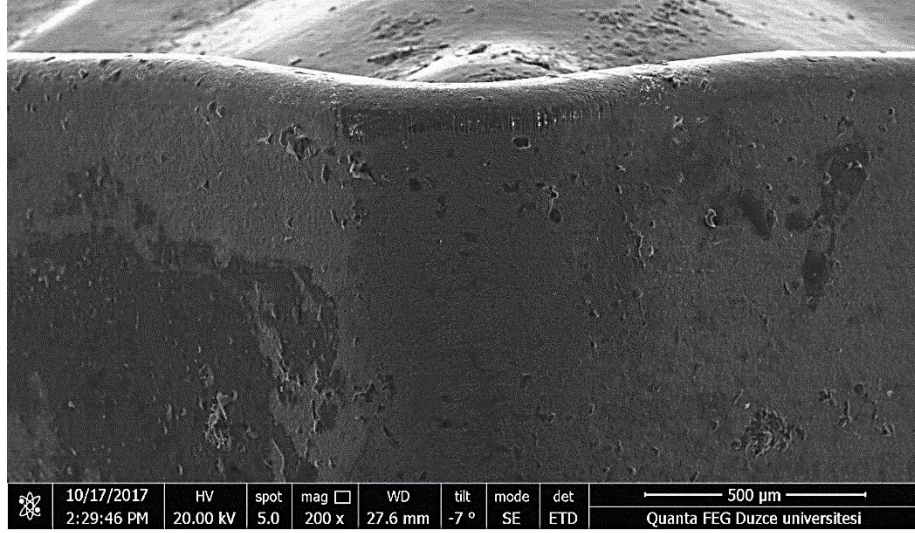


Şekil 8.35. 200 m/dak – 0,16 dev/dak işlem yapılan CCTT, kesici takımın SEM görüntüleri.

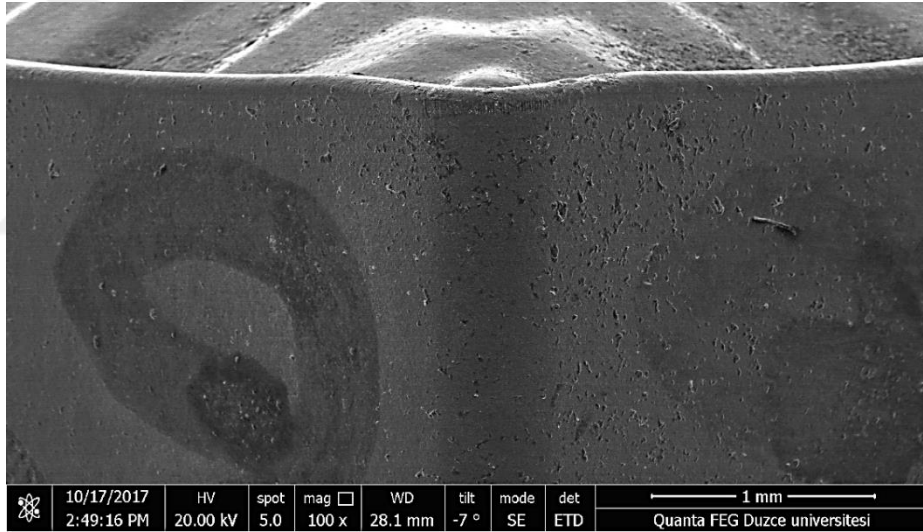
Şekil 8.35'deki 1, 2, 3 ve 4 numaraları ile gösterilen noktalara ait EDX sonuçları Şekil 8.36'da verilmiştir. 1 ve 2 numaralı bölgede kaplamalı karbür kesici takıma ait Tİ, C, N, Al ve O elementlerinin elde edildiği görülmektedir. 3 ve 4 numaralı bölgelerde yığıntı talaş oluşumu meydana gelmiştir. Bu aşınma türü EDX analizi sonucunda elde edilen elementler ile ispatlanmıştır.



Şekil 8.36. CCTT kodlu takım için 200 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınmasının EDX analizi.

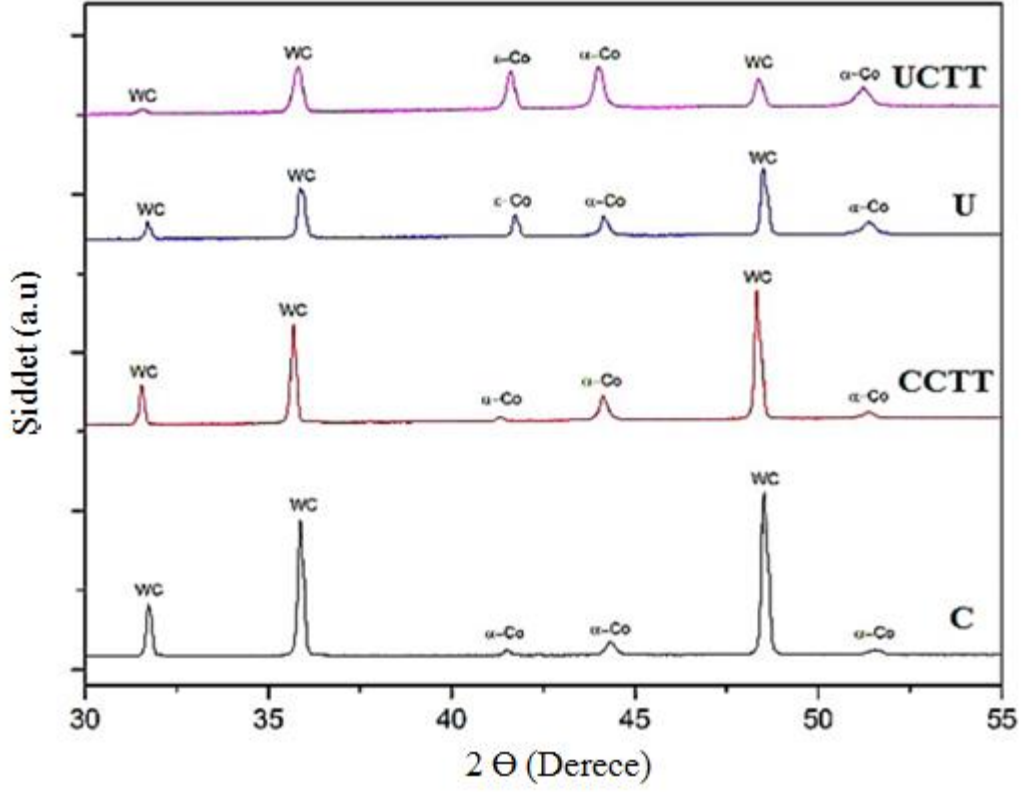


Şekil 8.37. CCTT kodlu 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.



Şekil 8.38. CCTT kodlu 250 m/dak kesme hızı 0,16 mm/dev ilerleme hızında oluşan takım aşınması.

Rieltveld analizlerini yapmak için, 1 adet kaplamalı ve ısıl işlem uygulanmamış WC-Co kesici takım (C), 1 adet kaplamalı ve ısıl işlem uygulanmış WC-Co kesici takım (CCTT), 1 adet kaplamasız ve ısıl işlem uygulanmamış WC-Co kesici takım (U), 1 adet kaplamasız ve ısıl işlem uygulanmış WC-Co kesici takım (UCTT), olmak üzere toplam 4 adet numunenin analizleri yapılmıştır. Şekil 8.39'da derin dağlanmış kesici takımlara ait XRD diyagramları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kriyojenik işlemde sonra karbür piklerinde artış meydana gelmiştir.



Şekil 8.39. Derin dağlanmış kesici takımlara ait XRD diyagramları.

Kesici takımların XRD numunelerinin çıkarılması için elmas disk kullanılarak yaş kesme metodu ile numuneler kesilmiştir. XRD analizinde kesici takımlarda bağlayıcı olarak kullanılan Co fazının tespit edilebilmesi için numuneler Murakami çözeltisi içerisinde 9 volt akım uygulanarak derin dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Dağlanan numunelerden çekilen XRD verileri kullanılarak MAUD programı vasıtasıyla Rietveld analizi gerçekleştirilmiş ve α -Co ve ϵ -Co fazlarının miktarları belirlenmiştir. Çizelge 8.17’de rietveld analizi sonucu hesaplanan α -Co ve ϵ -Co fazlarının oranları verilmiştir.

Çizelge 8.17. Rietveld analizi sonucu hesaplanan α -Co ve ϵ -Co fazlarının oranları ve ϵ -Co yüzde değişimi.

	C	CTTT	U	UCTT
α -Co (%)	21,353	36,542	26,421	34,463
ϵ -Co (%)	8,768	11,410	18,142	27,332

Numuneler üzerinde yapılan analizler sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir; Gerçekleştirilen Rietveld analizleri sonucunda numunelerin farklı oranlarda dağlandığı

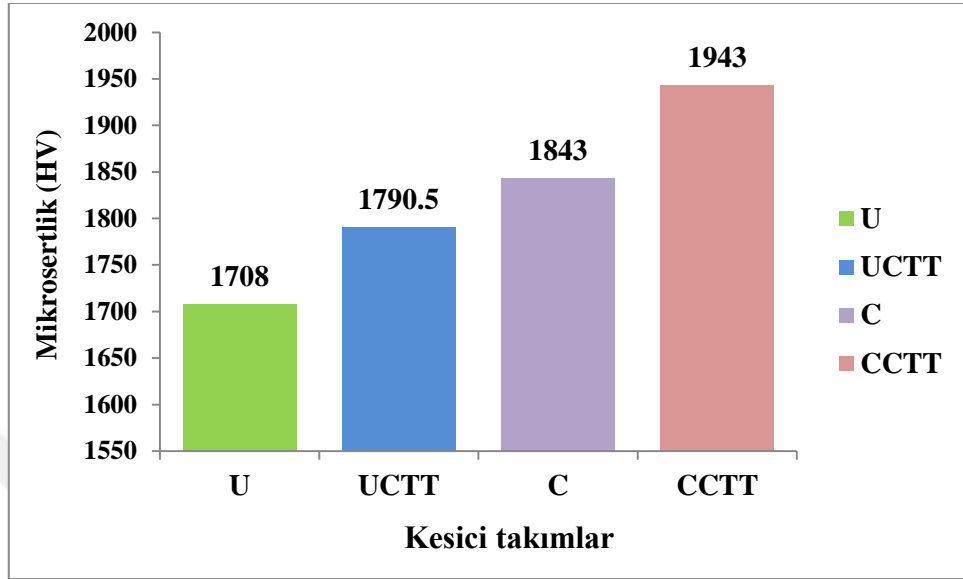
ve bu nedenle farklı WC oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Derin dağlama işlemi Co fazlarındaki değişimlerin Rietvelt analizi ile tespit edilebilmesi için bu fazlara ait piklerin şiddetlerinin artırılması amacıyla yapılan bir işlemdir. Elde edilen XRD diyagramlarından bu fazlara ait piklerin yeterli şiddette olduğu görülmesi nedeniyle derin dağlama işlemi tekrarlanmamıştır. Yapılan hesaplamalarda α -Co ve ϵ -Co fazlarının hacimsel oranları kıyaslanacağı için WC fazı hesaplamalara dahil edilmeyerek düzeltilmiş oranlar üzerinden fazların değişim miktarları belirlenmiştir. Çizelge 8.17'ye bakıldığında, α -Co ve ϵ -Co karbürlerinin oranlarının kriyojenik işleminden sonra önemli şekilde arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar literatür çalışmaları ile benzerlik göstermektedir.

8.5. KESİCİ TAKIMLARIN SERTLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sertlik deneyleri, diğer mekanik özelliklerin tanımlanmasında kullanılan yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneye daha az hasar vermesidir. Ayrıca bir malzemenin sertliği biliniyorsa aynı malzemenin diğer mekanik özellikleri hakkında bir değerlendirme yapılabilir. Yani sert malzeme daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir denilebilir. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek ve karşılaştırma yapmak mümkündür [29].

Kriyojenik işlemim takımın sertliğine etkisine tespit etmek için sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kesici takımların aşınma dirençleri takımların sertlikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle kesici takımların sertliğinin artırılması takımların performansının artırılması açısından önemlidir. Literatürde, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların sertliğinin arttığı belirtilmektedir [153]. Bu amaçla AISI O2 malzemenin tormalanmasında kullanılan kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlara uygulanan derin kriyojenik işleminden sonra takımların sertlik değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Şekil 8.39'da verilmiştir. Şekile bakıldığında kriyojenik işleminden sonra hem kaplamasız hem de kaplamalı karbür takımların sertliğinin arttığını söyleyebiliriz. Sertlik ölçümleri büyükten küçüğe verilecek olursa en yüksek değerler sırasıyla CCTT, C, UCTT ve U kodlu takımlarda ölçülmüştür. Kaplamasız karbür takımın kriyojenik işlem öncesindeki sertlik değeri 1708 HV iken kriyojenik işleminden sonra % 4,8 oranında artarak 1790,5 HV olmuştur. Kaplamalı

karbür takımında ise başlangıçta 1843 HV sertlik değeri saptanmış iken kriyojenik işlemden sonra bu değer % 5 artarak 1943 HV olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kriyojenik işlemin karbür kesici takımların sertliğini belirgin şekilde arttırdığı görülmektedir.



Şekil 8.40. U, UCTT, C, CCTT karbür takımların sertlik değişimleri.

Literatürde yapılan birçok çalışmada kriyojenik işlem uygulanan kesici takımların sertliğinin arttığı bildirilmiştir [153]. Collins yaptığı çalışmada, kriyojenik işlemin takım malzemesinin sertliğini arttırdığını ileri sürmüştür. Collins bu durumu, kriyojenik işlem esnasında ince karbürlerin çökmesi ile aşınma direnci ve takım tokluğunda bir artışın gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak sertlikte de küçük bir miktar artış olması ile ilişkilendirmektedir [136]. Thakur ve arkadaşları da, az da olsa kriyojenik işlemin karbür uçların mikrosertliğinde artış sağladığını bildirmişlerdir [54]. Gill ve arkadaşları ise karbür uçlarda % 5 oranda sertlik artışı gözlemlemişlerdir [154]. Sertlikte bu olumlu artış, kriyojenik işlemin kesici takım mikro yapısında ikincil karbür çökmesi sağlaması ve daha sert ve homojen bir mikroyapı oluşturması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir [49], [52], [134], [154]. Ayrıca kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile aşınma direnci, tokluk ve yorulma direncinde artışın kaçınılmaz bir sonuç olduğu vurgulanmıştır [155]. Bu nedenle karbür takımlardaki sertlik artışı literatürdeki çalışmalar ile örtüşmektedir. Kriyojenik işlem ile elde edilen sertlik artışları takımların mikro yapılarında oluşan ince eta (η -fazı) karbürlerinin (fine eta carbide) oluşması ile gerçekleşmektedir [140]. Eta karbürleri karbür takımlarda bulunan kobalt bağlayıcıların (β -faz) kapladığı alanlarda oluşmaktadır. Kobalt bağlayıcılara göre daha sert olan eta

karbürlerin bağlayıcıların yerlerinde oluşması ile mikro yapıdaki bu değişiklik sertlik artışları ile sonuçlanmaktadır [154]. Kalsi ve arkadaşları karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların sertliğinin artmasını kriyojenik işlem sonucunda kobalt bağlayıcı yoğunlaşması ile açıklamışlardır. Sığ kriyojenik işlem ile takımın sertliği az miktar artmıştır. Fakat derin kriyojenik işlemin ardından kesici takımların sertliğinde ciddi bir artış tespit edilmiştir [39]. Bu görüşlerin aksine Seah ve diğerleri çalışmalarında, karbür uçlarda kriyojenik işlemin herhangi bir sertlik artışı sağlamadığını rapor etmişlerdir [134].



9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI O2 soğuk iş takım çeliğın işlenmesinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız (WC+Co+TiC+TaC) ve kaplamalı (CVD, TiCN+Al₂O₃+TiN) karbür kesici takımlar kullanılmış ve takımların bir kısmına kriyojenik işlem+temperleme işlemi uygulanmıştır. İşlenebilirlik deneyleri CNC torna tezgâhında kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiş ve işlenebilirlik kriterlerinden takım aşınması, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün değişimleri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti deneylerinde, dört farklı kesici takım (U, UCTT, C, CCTT), dört farklı kesme hızı (150, 200, 250 ve 300 m/dak) ve dört farklı ilerleme hızı (0,08, 0,16, 0,24 ve 0,32 mm/dev) kesme parametresi olarak alınmıştır. Deneyler, Taguchi L₁₆'nın ortogonal dizinine göre tasarlanmıştır. Optimum Ra ve Fc değerlerini belirlemek için deney sonuçlarına Taguchi optimizasyonu uygulanmıştır. Ayrıca işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri ANOVA ile belirlenmiştir. Optimizasyonun geçerliliği doğrulama deneyleri ile test edilmiştir. Takım aşınması deneylerinde ise; yine dört farklı kesici takım, iki farklı kesme hızı (200 ve 250 m/dak) ve iki farklı ilerleme hızı (0,08 ve 0,16 mm/dev) kullanılmıştır. Kriyojenik işlemde sonra kesici takımların mikroyapısında bulunan karbürlerin oranlarındaki değişimi belirlemek için Rietveldanalizi yapılmıştır. Son olarak kesici takımların sertlikleri ölçülerek kriyojenik işlemin sertlik üzerine etkisi ortaya koyulmuştur. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Artan kesme hızıyla birlikte tüm takımlarda da Ra değerlerinde azalma eğilimi görülmüştür. Bu durum, kesme hızındaki artış ile takım-talaş temas alanının azalarak sürtünmeyi azaltması ve bunun da daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesine imkân tanınması ile ilişkilendirilmiştir.
- Kriyojenik işlem uygulanmış, kriyojenik işlem uygulanmamış, kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlarla yapılan işleme sonucu kesme kuvveti bileşenlerinin takım türüne ve ilerleme hızına bağlı olarak elde edilen kesme

kuvvetinde belirgin bir artış görülmüştür. İlerleme miktarı kesme kuvvetini belirleyen en önemli faktördür. İlerleme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinde de % 20'lere varan bir artış göstermiştir.

- Kaplamalı ve kriyojenik işlem uygulanmış takımlar ile kesme işleminde ise; kaplamalı takımlarla yapılan işlemlerde genel olarak % 15 oranında takım ömründe artış gözlenmiştir. Bu durum kaplamasız ile değerlendirildiğinde kaplamalı takımların kriyojenik işlem uygulanan takımlara göre daha az takım ömründe azalma olduğu düşünülse de aslında kaplama uygulanmanın takım ömrü için ciddi bir artış olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum kaplama da uygulanan mazlemelerin Titanyum karbür (TiC), Titanyum nitrür (TiN) ve Alüminyum oksit (Al_2O_3) yaygın olarak kullanılan kaplama malzemeleridir. Bu kaplamalar takımın aşınmaya karşı direncini artırır.
- Kaplamasız karbür takımın kriyojenik işlem öncesindeki sertlik değeri 1708 HV iken kriyojenik işlemden sonra % 4,8 oranında artarak 1790,5 HV olmuştur. Kaplamalı karbür takımında ise başlangıçta 1843 HV sertlik değeri saptanmış iken kriyojenik işlemden sonra bu değer % 5 artarak 1943 HV olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, kriyojenik işlemin karbür kesici takımların sertliğini belirgin şekilde arttırdığı görülmüştür.
- S/G yanıt tablosunda olduğu gibi ana etki grafiğinde de en büyük S/G değerleri, o parametreye ait optimum seviyeyi göstermektedir. Buna göre kesici takım tipi, kesme hızı ve ilerleme hızı için optimum değerler sırasıyla kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takım (UCTT), 250 m/dak ve 0,08 mm/dev olarak belirlenmiştir.
- ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme hızı (% 80,20), daha sonra sırasıyla kesici takım tipi (% 12,98) ve kesme hızı (% 5,86) olduğu görülmüştür.
- Optimum kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülüğü sırasıyla hesaplamalar ve doğrulama deneyleri sonucu sırasıyla 0,37 μ m ve 0,40 μ m olarak bulunmuştur.
- S/G yanıt tablosunda olduğu gibi ana etki grafiğinde de en büyük S/G değerleri, o parametreye ait optimum seviyeyi göstermektedir. Buna göre kesici takım tipi, kesme hızı ve ilerleme hızı için optimum değerler; kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takım (CCTT), 250 m/dak ve 0,08 mm/dev olarak belirlenmiştir.

- Fc değerleri için gerçekleştirilen ANOVA sonuçlarına göre kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin % 85,70 oranıyla ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Daha sonra kesici takım türü % 7,94 ve kesme hızı % 4,60 ile en az etkiye sahip parametreler olarak sıralanmıştır.
- Optimum kesme şartlarındaki kesme kuvveti doğrulama deneyleri sonucunda Fc değeri 192 N olarak ölçülmüştür.
- Doğrulama deneyleri sonucunda Taguchi optimizasyonunun başarıyla uygulandığı görülmüştür.

9.2. ÖNERİLER

- Kesici takımlara sığ kriyojenik işlem uygulayarak işlenebilirlik üzerindeki etkileri tespit edilebilir.
- Farklı bekletme ve farklı sıcaklıklarda kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesici takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Farklı kaplama malzemesine sahip kesici takımlara kriyojenik işlem uygulaması yapılarak bu kaplamalar üzerindeki etkileri bulunabilir.
- Aynı parametreler ıslak kesme şartlarında yapılarak kuru ve ıslak kesme arasındaki fark bulunabilir.
- İş parçası malzemesine kriyojenik işlem uygulayarak işlenebilirlik üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Minimum miktarda yağlama, kriyojenik soğutma gibi farklı soğutma yöntemleri ile işlemeler yapılarak bu metotların karşılaştırılması yapılabilir.
- Deney sonuçlarına regresyon analizi ve yapay sinir ağları gibi tahmin yöntemleri uygulayarak sonuçlar tahmin edilebilir.

10. KAYNAKLAR

- [1] M. Baş, R. Ertan ve N. Yavuz, “Yüzey işleme yöntemlerinin soğuk iş takım çeliğinin yorulma davranışına etkisinin incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 16, s. 1, ss. 19-27, 2011.
- [2] S. Ekinovic, S. Dolinsek and E. Begovic, “Machinability of 90MnCrV8 steel during high-speed machining”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 162-163, pp. 603-608, 2005.
- [3] H. Çalışkan, C. Kurbanoglu, D. Kramar, P. Panjan and J. Kopac, “Hard milling operation of AISI O2 cold work tool steel by carbide tools protected with different hard coatings”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 21-26, 2012.
- [4] J. Y. Huang, Y. T. Liao, X. Z. Zhu, I. J. Beyerlein, M. A. Bourke, T. E Mitchell, “Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel”, *Materials Sciences Engineering A*, vol. 339, pp. 241–244, 2003.
- [5] F. J. Da Silva, D. S. Franco, A. R. Machado, E. O. Ezugwu and A. M. Souza Jr., “Performance of cryogenically treated HSS tools”, *Wear*, vol. 261, pp. 674-685, 2006.
- [6] V. Braic, C. N. Zotia, M. Balaceanu, A. Kiss, A. Vladescu, A. Braic and M. Popescu, “TiAlN/TiAlZrN Multilayered hard coatings for enhanced performance of HSS drilling tools”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 204, pp. 1925–1928, 2010.
- [7] G. Singh, S. S. Gill and M. Dogra, “Techno-economic analysis of blanking punch life improvement by environment friendly cryogenic treatment”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 1060-1068, 2017.
- [8] N. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin and O. Özbek, “Application of deep cryogenic treatment to uncoated tungsten carbide inserts in the turning of AISI 304 stainless steel”, *The Minerals, Metals and Materials Society and ASM International*, 2016.
- [9] I. Paulina, B. Podgornika, B. Zajecb, S. Jacobsonc and V. Leskov, “Deep cryogenic treatment of tool steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 229, pp. 398–406, 2016.
- [10] K. Amini, M. Negahbani and H. Ghayour, “The effect of deep cryogenic treatment on hardness and wear behavior of the H13 tool steel”, *La Metallurgia Italiana*, vol. 3, pp. 53-58, 2015.
- [11] A. Shokrani, V. Dhokia and S. T. Newman, “Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti–6Al–4V titanium alloy”, *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 21, pp. 172–179, 2016.
- [12] N. W. Khun, E. Liu, A. W. Y. Tan, D. Senthilkumar, B. Albert and D. M. Lal, “Effects of deep cryogenic treatment on mechanical and tribological properties of AISI D3 tool steel”, *Friction*, vol. 3, no. 3, pp. 234–242, 2015

- [13] P. V. S. Suresh, R. P. Venkateswara and S. G. Deshmukh, “A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, pp. 675–680, 2002.
- [14] C. X. J. Feng, and X. Wang, “Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, pp. 348–356, 2002.
- [15] I. A. Choudhury and M. A. El-Baradie, “Surface roughness in the turning of high-strength steel by factorial design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 67, pp. 55–61, 1997.
- [16] Y. Işık ve M. C. Çakır, “Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji*, c. 1, s. 2, ss. 111-118, 2001.
- [17] D. Taylan, “Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi”, Doktora tezi, Endüstri Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.
- [18] Y. Işık “Investigation the machinability of tool steels in turning operations”, *Materials and Design*, vol. 28, no. 5, pp. 1417 -1424, 2007.
- [19] D. Murat, M. C. Çakır, N. Gürsakal ve A. Oral, “Sert malzemelerin tornalaması işlemlerinde takım aşınmasını etkileyen faktörlerin tepki yüzeyi metodolojisi ile belirlenmesi”, *The 16th International Conference on Machine Design and Production*, 2014.
- [20] H. Gürbüz, F. Kafkas ve U. Şeker “Kesici takıma farklı yöntemle uygulanmış kaplamaların kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak araştırılması”, *6 th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Turkey, 2011.
- [21] İ. Asiltürt, S. Neşeli and M. A. İnce, “Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the taguchi and RSM methods”, *Measurement*, vol. 78, pp. 120-128, 2016.
- [22] A. Uysal, “Kesici ağzı yuvarlatılmış aşınmış kesici takımlar ile ortogonal talaş kaldırmanın kayma hatları ile modellenmesi ve analizi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [23] B. Balcı, “AISI 304 Östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı tezi, Makine Eğitimi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2008.
- [24] R. L. Dowdell and O. E. Harder, “The decomposition of the austenitic structure in steel. Part II, The decomposition of austenite in liquid oxygen,” *Transactions of the American Society for Steel Treating*, vol. 11, pp. 391-392, 1927.
- [25] A. Gulyaev, “Transformation of retained austenite at subzero temperatures with highspeed steel”, *Metallurg*, vol. 14, pp. 64-77, 1939.
- [26] H. M. Rosenberg, “The properties of metals at low temperatures,” *Progress in Metal Physics*, vol. 7, pp. 339-354, 1958.
- [27] A. B. Miller, “An austenitic cast steel for low temperature applications”, *Cryogenic*, vol. 5, no. 6, pp. 320–324, 1965.
- [28] A. F. Clark, G. E. Childs and G. H. Wallace, “Electrical resistivity of some

- engineering alloys at low temperatures”, *Cryogenic*, vol. 10, no. 4, pp. 295–305, 1970.
- [29] F. Kara, “AISI 52100 çeliğinin yorulma ömrü ve taşlanabilirliğine kriyojenik işlem parametrelerinin etkilerinin araştırılması”, Doktora tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2014.
- [30] A. Bordin, S. Sartori, S. Bruschi and A. Ghiotti “Experimental investigation on the feasibility of dry and cryogenic machining as sustainable strategies when turning Ti6Al4V produced by Additive Manufacturing”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, pp. 4142-4151, 2017.
- [31] Y. Gao, B. H. Luo, Z. hai Bai, B. Zhu and S. Ouyang, “Effects of deep cryogenic treatment on the microstructure and properties of WC-Fe-Ni cemented carbides”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 58, pp. 42–50, 2016.
- [32] J. Chetan, S. Ghosh and P. V. Rao, “Performance evaluation of deep cryogenic processed carbide inserts during dry turning of Nimonic 90 aerospace grade alloy”, *Tribology International*, vol. 115 pp. 397–408, 2017.
- [33] A. H. Musfirah, J. A. Ghani and C. H. Che Haron, “Tool wear and surface integrity of inconel 718 in dry and cryogenic coolant at high cutting speed”, *Wear*, vol. 376-377, pp. 125–133, 2017.
- [34] B. Podgornik, I. Paulina, B. Zajecb, S. Jacobsonc and V. Leskovsek, “Deep cryogenic treatment of tool steels Podgornika”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 229, pp. 398–406, 2016.
- [35] A. Çiçek, T. Kivak, E. Ekici “Optimization of drilling parameters using Taguchi technique and Response Surface Methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 26, pp. 295–305, 2015.
- [36] S. Akıncioğlu, H. Gökkaya, İ. Uygur, “The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of hastelloy C22 based on Taguchi method”, *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 82, no. 1-4, pp. 303-304, 2016.
- [37] A. Çiçek, F. Kara, T. Kivak, E. Ekici and İ. Uygur, “Effects of deep cryogenic treatment on the wear resistance and mechanical properties of AISI H13 hot-work tool steel”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 24, pp. 4431–4439, 2015.
- [38] H. He, W. Han, H. Li, D. Li, J. Yang, T. Gu and T. Deng, “Effect of deep cryogenic treatment on machinability and wear mechanism Of TiAlN coated tools during dry turning”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol.15, no. 4, pp. 655 - 660, 2014.
- [39] S. N. Kalsi, R. Sehgal, S. V. Sharma “Effect of tempering after cryogenic treatment of tungsten carbide–cobalt bounded inserts”, *Bulletin of Materials Science*, vol. 37, no. 2, pp. 327–335, 2014.
- [40] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin and O. Özbek, “Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 86, pp. 34–43, 2014.

- [41] B. Akkoyun, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin DIN 1,2738 kalıp çeliğinin delinebilirliğine etkilerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [42] Y. Arslan ve A. Özdemir, “Farklı sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış AISI D3 soğuk iş takım çeliği zımbalarda aşınma davranışları ve takım ömrü”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 3, ss. 87-99, 2013.
- [43] A. Mavi ve İ. Korkut, “Kriyojenik işlem uygulanmış tungsten Karbür takımların kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 10, s. 3, ss. 1-6, 2013.
- [44] A. Mavi, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [45] A. Çiçek, F. Kara, T. Kıvak ve E. Ekici, “Evaluation of machinability of hardened and cryo-treated AISI H13 hot work tool steel with ceramic inserts”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 41, pp. 461–469, 2013.
- [46] A. Çiçek, E. Ekici, İ. Uygur, S. Akıncıoğlu ve T. Kıvak, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması”, *International Journal of Technologic Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 1-9, 2012.
- [47] A. Çiçek, T. Kıvak, Y. Turgut, İ. Uygur ve E. Ekici, “Derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri”, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 2011.
- [48] S. S. Gill, R. Singh, H. Singh and J. Singh, “Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 49, pp. 256-260, 2009.
- [49] T. V. S. Reddy, T. Sornakumar, M. V. Reddy and R. Venkatram, “Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 27, pp. 181–185, 2009.
- [50] A. Y. L. Yong, K. H. W. Seah and M. Rahman, “Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide, tools in turning”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47, pp. 754-759, 2008.
- [51] A. Akhbarizadeh, A. Shafyei and M. A. Golozar, “Effect of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel”, *Materials and Design*, vol. 30, pp. 3259-3264, 2009.
- [52] K. Vadivel and R. Rudramoorthy, “Performance analysis of cryogenic treated coated carbide inserts”, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, vol. 42, pp. 222-232, 2009.
- [53] D. Das, A. K. Dutta and K. K. Ray, “Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel”, *Cryogenics*, vol. 49, pp. 179-184, 2009.
- [54] D. Thakur, B. Ramamoorthy and L. Vijayaraghavan, “Influence of different post treatments to maximize the wear resistance of 18 % Cr martensitic stainless steel by Taguchi method”, *Materials Letters*, vol. 62, pp. 4403-4406, 2008.

- [55] V. Firouzdor, E. Nejati and F. Khomamizadeh, "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 206, pp. 467- 472, 2008.
- [56] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin ve O. Özbek, "AISI 316 çeliğinin tornalanmasında kaplamalı karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri", *7. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2016*.
- [57] Y. Arslan, "DIN 1.2080 Soğuk iş takım çeliği zımbalarda derin kriyojenik işlem ve temperlemenin alın aşınmasına etkisi", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 45-55, 2014.
- [58] N. Altan, Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin and O. Özbek, "Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız Wc-Co takımlarla AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin incelenmesi", *1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences*, Turkey, 2016.
- [59] T. Kıvak, U. Şeker, "Ti-6Al-4V Alaşımının delinmesinde tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin eksenel kuvvet ve moment üzerindeki etkileri", *17. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, Bursa, 2016.
- [60] T. Kıvak ve U. Şeker, "Effect of cryogenic treatment applied to M42 HSS drills on the machinability of Ti-6Al-4V alloy", *Materials and Technology*, vol. 49, pp. 6, 949-956, 2015.
- [61] N. G. Kınıkoğlu, *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001, ss. 451-547.
- [62] G. Roberts, G. Krauss, and R. Kennedy, *Tool Steel*, 5th ed., USA: ASM International, 1998.
- [63] Anonymous, ASM International Handbook Committee, *ASM Handbook and Iron Steel and High Performance Alloys*, 1st. ed., Ohio, USA: ASM International, 1990.
- [64] D. Viale, J. Béguinot, F. Chenou, and G. Baron "Optimizing microstructure for high toughness cold-work tool steels", *6th International Tooling Conference*, 2002.
- [65] N. Ö. Asan, "Sıcak iş takım çeliklerinde hasar oluşumu ve önlemleri", Yüksek lisans tezi, Metalurji Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [66] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri*, Bursa, Türkiye: Vipaş A.Ş., 2000, ss. 267.
- [67] U. Şeker, Takım tasarımı, *Ders Notları*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1997.
- [68] Y. Altıntaş, *Manufacturing Automation*, London, UK: Cambridge University Press, 2000, pp. 18-32.
- [69] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, processes and systems*, Prentice-Hall Inc., 1996, pp. 220-639.
- [70] E. M. Trent, *Metal Cutting*, London, UK: Butterworths Press, 1989, pp. 1-171.
- [71] M. Akkurt, *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*, 3. Baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 1996, 1-40.

- [72] İ. Çiftçi, *Ders Notları*, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye, 2007.
- [73] F. Kara, K. Aslantas, A. Çiçek, “ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel”, *Neural Comput and Application*, vol. 26, pp. 237–250, 2015.
- [74] P. J. Arrazola and T. Özel, “Investigations on the effects of friction modeling in finite element simulation of machining”, *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 52, pp. 31–42, 2010.
- [75] N. A. Özbek, “AISI 316 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkileri”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [76] U. Çaydaş ve A. Hasçalık “CNC Tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Teknoloji*, c. 8, s. 2, ss. 167-172, 2005.
- [77] K. J. Stout, “Engineering surfaces – A Philosophy of manufacture (a proposal for good manufacturing practise)”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 212, pp. 169 – 174, 1998.
- [78] B. J. Griffiths, “*Manufacturing surface technology*”, in: *Surface Integrity And Functional Performance*, 1st. ed., London, *Penton Press*, UK: 2001.
- [79] I. Puertas, and C. J. Luis Perez, “Surface roughness prediction by factorial design of experiments in turning processes”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 143, pp. 390 – 396. 2003.
- [80] A. Duran, ve A. Acır, “HSS Torna kalemindeki talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 211-215, 2004.
- [81] İ. A. Özkan, İ. Sarıtaş ve S. Yıldız, “Tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin ve takım ucu sıcaklığının yapay sinir ağı ile tahmin edilmesi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2009.
- [82] T. Özel and Y. Karpat, “Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, pp. 467-479, 2005.
- [83] B. Özses, “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.
- [84] A. Stojko, “Sub-zero treatment of tool steels”, M.S. thesis, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 2001.
- [85] P. L. Yen, “Effect of cryogenic treatment on the wear resistance of tool steel”, Ph.D. dissertation, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, U.S.A., 1996.
- [86] S. Kalia, “Cryogenic processing: A study of materials at low temperatures”, *Journal of Low Temperature Physics*, vol. 158, pp. 934–945, 2010.
- [87] P. Paulin, “Frozen gears”, *Gear Technology*, vol. 26, pp. 27- 29, 1993.
- [88] W. Foerg, “History of cryogenics: the epoch of the pioneers from the beginning to the year 1911”, *International Journal of Refrigeration*, vol. 25, no. 3, pp. 283–292, 2002.
- [89] K. Amini, A. Akhbarizadeh and S. Javadpour, “Investigating the effect of the

- quench environment on the final microstructure and wear behavior of 1.2080 tool steel after deep cryogenic heat treatment”, *Materials and Design*, vol. 45, pp. 316–322, 2013.
- [90] D. Das, A. K. Dutta and K. K. Ray “Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part I. Microstructure and hardness”, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 527, pp. 2182–2193, 2010.
- [91] S. G. Singh, J. Singh, R. Singh and H. Singh, “Effect of cryogenic treatment on AISI M2 high speed steel: metallurgical and mechanical characterization”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 21, pp. 1320–1326, 2012.
- [92] K. Amini, S. Nategh, and A. Shafyei, “Influence of different cryotreatments on tribological behavior of 80CrMo12 5 cold work tool steel”, *Materials and Design*, vol. 31, pp. 4666-4675, 2010.
- [93] K. Amini, A. Akhbarizadeh and S. Javadpour, “Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment”, *Vacuum*, vol. 86, pp. 1534–1540, 2012.
- [94] P. Baldissera, “Fatigue scatter reduction through deep cryogenic treatment on the 18NiCrMo5 carburized steel”, *Materials and Design*, vol. 30, pp. 3636–3642, 2009.
- [95] N. B. Dhokey, J. Dandawate, H. Gangurde and A. Harle, “Metallurgical investigation of cryogenically cracked M35 tool steel”, *Engineering Failure Analysis*, vol. 21, pp. 52–58, 2012.
- [96] E. A. Carlson, “Cold treating and cryogenic treatment of steel”, *ASM Handbook, ASM International*, Pennsylvania, U.S.A. vol. 4, pp. 203–206, 1991.
- [97] Y. Yıldız, “Soğuk ve kriyojenik işlemlerle bakır elektrot ve berilyum–bakır alaşımı iş parçalarının elektro erozyon işleme performansına etkileri”, Doktora tezi, Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [98] D. N. Collins, “Cryogenic treatment of tool steels”, *Advanced Materials and Processes*, vol. 154, no. 6, pp. 23–29, 1998.
- [99] Hogarth, S. “Cryogenics: a technology seeks legitimacy”, *Manufacturing Engineering*, vol. 124, no. 3, pp. 132-146, 2000.
- [100] P. Baldissera, and C. Delprete, “Deep cryogenic treatment: A Bibliographic Review Open”, *Mechanical Engineering Journal*, vol. 2, pp. 1-11, 2008.
- [101] D. H. Besterfield, C. Besterfield, G. H. Besterfield, and M. Besterfield, “Total quality management”, *Prentice Hall Inc.*, New Jersey, pp. 1-55, 1995.
- [102] M. Lunani, V.N. Nair and G. S. Wasserman, “Graphical methods for robust design with dynamic characteristics”, *Journal of Quality Technology*, vol. 29, pp. 327-338, 1997.
- [103] M. Şirvancı, *Kalite için Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı*, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, 1997, ss. 1-20.
- [104] A. S. Anagün, Kalite kontrolde ileri teknikler, *Ders Notları*, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 2000.

- [105] K. R. Ranjit, *A Primer on the Taguchi method*, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [106] G. Güral, “Gaz kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2003.
- [107] G. S. Peace, “Taguchi Methods”, A Hands-On Approach, Addison-Wesley Publishing Company, inc. ISBN 0-201-56311-8, 1992.
- [108] G. Taguchi, S. Chowdhury and Y. Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons Inc., pp. 501-617, 2005.
- [109] J. Tang, K. Tang “Design product specifications for multi-characteristic inspection”, *Management Science*, vol. 35, no. 6, pp.743-755, 1989.
- [110] A. M. Connor, “Parameter sizing for fluid power circuits using Taguchi methods”, *Journal of Engineering Design*, vol.10, no. 4, pp. 377 -390, 1999.
- [111] P. J. Ross, Loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design, “*Taguchi Techniques For Quality Engineering*”, 2nd ed., New York, U.S.A., McGraw – Hill International book company, 1996, pp. 1-73,
- [112] E. Canyılmaz and F. Kutay, “Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 18, s. 3, ss. 51-63, 2003.
- [113] N. Masmıati, Ahmed A. D. Sarhan “Optimizing cutting parameters in inclined end milling for minimum surface residual stress – Taguchi approach”, *Measurement*, vol. 60, pp. 267–275, 2015.
- [114] İ. Çiftçi, “Machining of austenitic stainless steels using CVD multilayer coated cemented carbide tools,” *Tribology International*, vol. 39, pp. 565–569, 2006.
- [115] S. Thamizhmanii, K. Kamarudin, E. A. Rahim, A. Saporudin and S. Hassan, “Tool wear and surface roughness in turning AISI 8620 using coated ceramic tool”, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, U.K., 2007.
- [116] T. V. Sreerama Reddy, T. Sornakumar, M. V. Reddy, R. Venkatram, and A. Senthilkumar, “Turning studies of deep cryogenic treated p-40 tungsten carbide cutting tool inserts – technical communication”, *Machining Science and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 269-281, 2009.
- [117] M. Akgün, H. Demir ve İ. Çiftçi. (2017, 12 Aralık). Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu, [Online]. Erişim: <http://dergipark.gov.tr/politeknik/issue/33364/385481>.
- [118] M. Günay, “AISI 316L çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, s. 3, ss. 437-444, 2013.
- [119] S. R. Das, D. Dhupal and A. Kumar, “Experimental investigation into machinability of hardened AISI 4140 steel using TiN coated ceramic tool”, *Measurement*, vol. 62, pp. 108- 126, 2015.
- [120] E. Aslan, N. Camuşcu, and B. Birgören, “Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 Steel (63 HRC) with Al₂O₃+ TiCN mixed ceramic tool”, *Materials and Design*, vol. 28, no.5, pp. 1618-1622, 2007.
- [121] A. Kabra, A. Agarwal, V. Agarwal, S. Goyal, and A. Bangar, “Parametric

- optimization and modeling for surface roughness, feed and radial force of EN-19/ANSI-4140 Steel in CNC turning using taguchi and regression analysis method”, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 3-1, pp. 1537-1544, 2013.
- [122] M. Elbah, M. A. Yallese, H. Aouici, T. Mabrouki and J. F. Rigal, “Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel”, *Measurement*, vol. 46, no. 9, pp. 3041-3056, 2013.
- [123] E. Yücel and H. Saruhan “Design optimization of rotor-bearing system considering critical speed using Taguchi method”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, vol. 231, no. 2, pp. 138-146, 2015.
- [124] D. Kim and M. Ramulu, “Cutting and drilling characteristics of hybrid titanium composite laminate (HTCL)”, *In Proceedings of Materials and Processing Technologies for Revolutionary Applications Fall Technical Conference 37th*, 2005.
- [125] M. Ramulu, T. Branson and D. Kim, “A study on the drilling of composite and titanium stacks”, *Composite Structures*, vol. 54, no. 1, pp. 67-77, 2001.
- [126] S. Dhiman, V. Kondal, S. Puri and R. Kumar “Investigation of cutting forces during turning of en31Steel using cryogenated and uncryogenated tungsten carbide inserts” *Journal of Applied Global Research*, vol. 5, no.13, pp. 36-45, 2012.
- [127] G. Sur, “Karma takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2008.
- [128] Y. Özçatalbaş ve A. Baş, “Tornalamada hava püskürtme ile soğutmanın kesme kuvvetleri ve takım ömrüne etkilerinin araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 3, ss. 451-455, 2006.
- [129] İ. Çiftçi “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 20, s. 2, 205-209, 2005.
- [130] G. Liu, N. He, Z. L. Man and L. Li, “Cutting force in the milling of inconel 728”, *Key Engineering Material*, vol. 259, no. 191, pp. 824-828, 2004.
- [131] W. Grzesik, P. Niesłony, W. Habrat, J. Sieniawski and P. Laskowski, “Investigation of tool wear in the turning of Inconel 718 superalloy in terms of process performance and productivity enhancement”, *Tribology International*, vol. 118, pp. 337–346, 2018.
- [132] E. Uhlmann, H. Riemer, D. Schröter, S. Henze, F. Sammler, F. Barthelmä and H. Frank, “Investigation of wear resistance of coated PcBN turning tools for hard Machining”, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 72, pp. 270–275, 2018.
- [133] A. Bensely, A. Prabhakaran, D. M. Lal and G. Nagarajan, “Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment”, *Cryogenics*, vol. 45, pp.747–754, 2006.
- [134] K. H. W. Seah, M. Rahman and K. H. Yong, “Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts”, *Proceedings of the*

- Institution of Mechanical Engineers*, vol. 217, pp. 29–43, 2003.
- [135] E. S. Zhmud, “Improved tool life after shock cooling”, *Termicheskaya Obrabotka Metallov*, vol. 10, pp. 3–5, 1980.
- [136] D. N. Collins, “Deep cryogenic treatment of tool steels: A Review”, *Heat Treatment Metals*, vol. 23, pp. 40–42, 1996.
- [137] S. S. Gill, J. Singh, “Effect of deep cryogenic treatment on machinability of titanium alloy (Ti-6246) in electric discharge drilling”, *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no.6, pp. 378–385, 2010.
- [138] R. F. Barron, “Low temperature properties of engineering materials”, *Cryogenic Systems*, New York, USA: McGraw-Hill, 1996, pp. 15–23.
- [139] M. Albert, “Cutting tools in the deep freeze”, *Mod Mach Shop*, vol. 64, no. 8, pp. 55–61, 1992.
- [140] T. V. Sreerama Reddy, T. Sornakumar, M. Venkatarama Reddy, and R. Venkatram, “Machining performance of low temperature treated P–30 tungsten carbide cutting tool inserts”, *Cryogenic*, vol. 48, no. 9-10, pp. 458–461, 2008.
- [141] A. Çiçek, İ. Uygur, T. Kıvak and N. A. Özbek, “Machinability of AISI 316 austenitic stainless steel with cryogenically treated M35 high-speed steel twist drills”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 134, pp. 1-6, 2012.
- [142] A. K. Ghani and L. A. Choudhury, “Study of tool life surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 127, pp. 17-22, 2002.
- [143] K. A. Hossein-El-Abou and A. Yahya, “High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 162, no. 163, pp. 596-602, 2006.
- [144] S. K. Kahrais, and Y. J. Lin, “Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steels”, *Wear*, vol. 262, no. 1-2, pp. 64-69, 2006.
- [145] A. R. Motorcu, “Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 Rulman çeliğinin farklı takımlarla İşlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 25, s.1, ss. 65-75, 2010.
- [146] Y. L. Huang and Y. Steven “CBN tool wear modeling in finish hard turning”, *International Mechanical Engineering Congress and Exposition American Society of Mechanical Engineers*, pp. 193-200, 2003.
- [147] G. Poulachon, B. P. Bandyopadhyay, I. S. Jawahir, S. Pheulpin and E. Seguin, “Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels”, *Wear*, vol. 256, pp. 302–310, 2004.
- [148] H. K. Tönshoff, C. Arendt and R. B. Amor, “Cutting of hardened steel”, *CIRP Annals*, vol. 49, no 2, pp. 547-566, 2000.
- [149] F. Klocke, E. Brinksmeier, and K. Weinert, “Capability profile of hard cutting and grinding processes”, *CIRP Annals*, vol. 54, no 2, pp. 557- 580, 2005.
- [150] R. Komanduri and S. K. Samanta, “Ceramics”, *Metals Handbook-Machining-16th ed.*, Ohio, USA: ASM International, Materials Park, 1989, pp. 98-104.

- [151] A. R. Motorcu, “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 Çeliklerinin farklı takımlarla işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, 2006.
- [152] D. Uluğ, H. Dilipak, “Kaplama ve kaplamasız sementit karbür takımlar için takım ömrü modeli’ndeki “n” üstel değerinin deneysel olarak araştırılması”, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2012.
- [153] S. Akıncıoğlu, “Süper alaşım (hastelloy C22) çeliğinin kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla işlenebilirliğinin araştırılması” Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, 2015.
- [154] S. S. Gill, J. Singh, H. Singh and R. Singh, “Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co)”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 58, no. 119, pp. 131, 2012.
- [155] D. Candane, N. Alagumurthi and K. Palaniradja, “Effect of cryogenic treatment on microstructure and wear characteristics of AISI M35 HSS”, *International Journal of Materials Science and Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 56-65, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aysun TAKMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 21.04.1972 / MALATYA
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : aysun_takmaz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği	Düzce Üniversitesi	2015
Ön Lisans	Makine Resim Konstrüksiyon	Selçuk Üniversitesi	1998
Lise	Makine Ressamlığı	Y. Emre End. Meslek Lisesi	1990

Yayımlar

Takmaz, A., Erkan, Ö., Yücel, E, “Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit Malzemenin Kenar Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 2, 2016.

Kara, F., Takmaz, A., Altan Özbek, N., Özbek, O., “AISI O2 soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında optimum kesme parametrelerinin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi”, *Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu (UMAS'2017)*, 11-13 Eylül 2017, Düzce, Türkiye.

Kara, F., Takmaz, A., “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu”, *International Academic Research Congress (INES 2017)* 18-21 Ekim 2017, Antalya, Turkey.