

**SÜPER ALAŞIM (HASTELLOY C22) ÇELİĞİNİN  
KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ TAKIMLARLA  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2015  
DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Sıtkı AKINCIOĞLU**

**SÜPER ALAŞIM (HASTELLOY C22) ÇELİĞİNİN KRİYOJENİK İŞLEM  
UYGULANMIŞ TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Sıtkı AKINCIOĞLU**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
Doktora Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ocak 2015**

Sıtkı AKINCIOĞLU tarafından hazırlanan “Süper Alaşım (Hastelloy C22) Çeliğinin Kriyojenik İşlem Uygulanmış Takımlarla İşlenebilirliğinin Araştırılması” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA.....  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 20/ 01/ 2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Muammer NALBANT (Gazi)

Üye : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Refik POLAT (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlyas UYGUR (Düzce)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Sıtkı AKINCIOĞLU

## **ÖZET**

**Doktora Tezi**

### **SÜPER ALAŞIM (HASTELLOY C22) ÇELİĞİNİN KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ TAKIMLARLA İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Sıtkı AKINCIOĞLU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**Ocak 2015, 171 sayfa**

Hastelloy C22 süper alaşımı; deniz suyu, bakır klorür, klorin, formik asit, asetik asit, asetik anhidrid, gibi çok çeşitli kimyasal ortamlara karşı üstün korozyon dirence sahip olması nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulunan Nikel-Krom-Molibden alaşımıdır. Nikel esaslı süper alaşımların, talaşlı imatları esnasında kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı, kesici takımların hızlı şekilde aşınmalarına neden olmaktadır. Kesici takım aşınmasına bağlı takım sarfiyatının artması, iş parçası kalitesini düşürmekte ve üretim maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kesici takımların performanslarının iyileştirilmesi ve ideal kesme hızı, ilerleme ve takım türünün belirlenmesi üretim maliyetlerinin azaltılmasında ve ürün kalitesinin artırılmasında önemli bir faktördür. Bu çalışmada, havacılık ve kimya sanayinde yoğun olarak kullanılan Hastelloy C22 süper alaşımın sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış farklı kesici takımlarla işlenebilirliği araştırılmıştır. Tornalama deneylerinde kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı

tungsten karbür, CVD kaplamalı tungsten karbür ve seramik takımlar kullanılmıştır. Kesme parametresi olarak, tüm kesici takımlarda 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranı ve 1 mm kesme derinliği sabit kullanılmıştır. Kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı tungsten karbür, CVD kaplamalı tungsten karbür takımlar için kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak) ve seramik takımlar için (350, 400 v3 450 m/dak) kullanılmıştır. Tornalama deneylerinde elde edilen esas kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş morfolojisi değerlendirilmiştir. Ayrıca kriyojenik işlemin kesici takımlara etkisini analiz etmek için mikro yapı incelemeleri, elektrik iletkenliği ölçümü, sertlik ölçümü ve XRD analizi yapılmıştır. Elde edilen kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması sonuçlarına göre kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin kesici takımların performansını arttırdığı tespit edilmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü derin kriyojenik işlem uygulanmış (CER-CT2) seramik takımla 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında 0,369 µm, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü ise kriyojenik işlem uygulanmamış (CER-UT) seramik takımla 350 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme oranında 4,863 µm elde edilmiştir. En düşük esas kesme kuvveti derin kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımla (CV-CT2) 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında 350,24 N, en yüksek esas kesme kuvveti ise derin kriyojenik işlem uygulanmış kriyojenik işlem uygulanmamış tungsten karbür takımla (UT), 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında (1348,36 N) elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Hastelloy C22, kriyojenik işlem, tornalama, esas kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü.

**Bilim Kodu** : 914.3.028

## **ABSTRACT**

**Ph. D. Thesis**

### **AN INVESTIGATION OF CRYOGENICALLY TREATED TURNING TOOLS ON THE MACHINING OF HASTELLOY C22**

**Sitki AKINCIOĞLU**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**January 2015, 171 pages**

Because Hastelloy C22 super alloys exhibit superior corrosion resistance against a great variety of chemical environments like sea water, copper chloride, chloride, formic acid, acetic acid and acetic anhydride, these nickel-chromium-molybdenum alloys are widely used in a number of fields. The high heat generated in the cutting region during the machining of nickel-based alloys causes rapid wear of the cutting tools. Cutting tool wear results in increased consumption and production costs and reduced workpiece quality. Therefore, determination of the ideal cutting speed, feed rate and tool type is an important factor in improving the cutting tool performance, reducing the production costs and improving product quality during the machining of nickel-based super alloys. This study investigated the machinability of Hastelloy C22 super alloys, which are extensively used in the aviation and chemical industries, by applying shallow and deep cryogenic treatment to different cutting tools. In the turning experiments, uncoated tungsten carbide, PVD-coated tungsten carbide, CVD-

coated tungsten carbide and ceramic tools were used. Feed rates of 0.1, 0.2 and 0.3 mm/rev and a fixed depth of cut of 1 mm were determined as the cutting parameters for all cutting tools. Cutting speeds of 30, 60 and 90 m/min were applied for the uncoated tungsten carbide, the PVD-coated tungsten carbide and the CVD-coated tungsten carbide tools. Moreover, for the ceramic components, the cutting speeds were established as 350, 400 and 450 m/min. In the turning experiments, the main cutting force, average surface roughness, tool wear and chip morphology were evaluated. Furthermore, to evaluate the effect of the cryogenic process on the cutting tools, microstructure investigations, electrical conductivity measurements, hardness measurements and XRD analyses were carried out. According to the results obtained for the cutting force, average surface roughness and cutting tool wear, the shallow and deep cryogenic treatment applied to the cutting tools was found to enhance their performance. The best average surface roughness of 0.369  $\mu\text{m}$  was obtained with the deep cryogenically treated ceramic tool (CER-CT2) at a cutting speed of 450 m/min and a feed rate of 0.1 mm/rev. The highest average surface roughness of 4.863  $\mu\text{m}$  was obtained with the ceramic tool untreated cryogenically (CER-UT) at a cutting speed of 350 m/min and a feed rate of 0.3 mm/rev. The lowest main cutting force of 350.24 N was obtained with the deep cryogenically treated CVD-coated tungsten carbide tool (CV-CT2) at a cutting speed of 90 m/min and a feed rate of 0.1 mm/rev. The highest main cutting force of 1348.36 N was obtained with the tungsten carbide tool untreated cryogenically (UT) at a cutting speed of 90 m/min and a feed rate of 0.1 mm/rev.

**Key Word** : Hastelloy C22, cryogenic treatment, turning, mean cutting force, average surface roughness.

**Science Code** : 914.3.028



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren ve mesleğimde kendime model aldığım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA' ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalıőmam boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen Doç. Dr. İlyas UYGUR ve Prof. Dr. Refik POLAT hocalarıma teşekkür ve őükranlarımı sunarım. Proje kapsamında maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi ve Düzce Üniversitesi Rektörlüğü' ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük emeği olan annem ve babama, tez çalıőmam boyunca desteğini esirgemeyen eőime ve yaőama sevincim olan çocuklarıma sonsuz sevgi ve őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
KRİYOJENİK İŞLEM.....	3
2.1. SOĞUTMA HIZI .....	5
2.2. KRİYOJENİK İŞLEM UYGULAMA SÜRESİ .....	7
2.3. UYGULAMA ISISI .....	9
2.4. TEMPERLEME İŞLEMİ.....	11
BÖLÜM 3 .....	13
LİTERATÜR .....	13
3.1. KESİCİ TAKIM ÜZERİNE UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMLERLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR .....	13
3.2. MALZEME ÜZERİNE UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMLERLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	30
3.3. SOĞUTMA ÜZERİNE YAPILMIŞ KRİYOJENİK İŞLEM UYGULAMALARIYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	42
3.4. LİTERATÜRÜN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
BÖLÜM 4 .....	51
DENEYSEL MATERYAL VE METOD .....	51

	<u>Sayfa</u>
4.1. DENEY NUMUNESİ .....	51
4.2. KESİCİ TAKIMLAR .....	55
4.3. TAKIM TUTUCU .....	55
4.4. TAKIMLARA KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMASI .....	56
4.5. TEMPERLEME İŞLEMİ .....	58
4.6. İŞLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE ÖN DENEYLERİN YAPILMASI .....	59
4.6.1. Kaplamasız Sementit Karbür, PVD ve CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım Ön Deneyleri .....	59
4.6.2. Seramik Kesici Takım Ön Deneyleri .....	60
4.7. TORNALAMA İŞLEMİ .....	61
4.8. KESME KUVVETİ ÖLÇÜMÜ .....	62
4.9. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ .....	64
4.10. SERTLİK ÖLÇÜMÜ .....	64
4.11. MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ .....	65
4.12. ELEKTRİK İLETKENLİĞİ .....	66
4.13. XRD ANALİZİ .....	67
4.14. VARYANS ANALİZİ (ANOVA) .....	68
BÖLÜM 5 .....	69
DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	69
5.1. KRİYOJENİK İŞLEMİN KESİCİ TAKIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİ .....	70
5.1.1. Kesme Kuvvetleri .....	70
5.1.1.1. Kaplamasız Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim .....	70
5.1.1.2. PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarla Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim .....	75
5.1.1.3. CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarla Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim .....	80
5.1.1.4. Seramik Takımlarla Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim .....	85
5.1.1.5. Kesme Kuvvetleri Genel Değerlendirme .....	90

5.1.2. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü .....	92
5.1.2.1. Kaplamasız Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim.....	93
5.1.2.2. PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim.....	98
5.1.2.3. CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim.....	103
5.1.2.4. Seramik Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim .....	108
5.1.2.5. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün Genel Değerlendirilmesi .....	113
5.1.4. Talaş Morfolojisi .....	125
5.2. KRIYOJENİK İŞLEMİN KESİCİ TAKIMLARIN KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİ .....	131
5.2.1. Mikro Yapı İncelemeleri .....	131
5.2.2. Sertlik İncelemeleri .....	134
5.2.3. Elektrik İletkenliği ve Isıl İletkenlik.....	137
5.2.4. XRD İncelemeleri.....	142
BÖLÜM 6 .....	146
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	146
6.1. SONUÇLAR .....	146
6.2. ÖNERİLER .....	152
KAYNAKLAR .....	153
ÖZGEÇMİŞ .....	164

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Derin kriyojenik işlem diyagramı .....	8
Şekil 2.2.	Farklı kriyojenik işlem uygulama sürelerinde sertlik değişimi .....	9
Şekil 2.3.	Farklı kriyojenik işlem uygulama ısılarında sertlik değişimi .....	10
Şekil 2.4.	AISI T42 için derin kriyojenik işlem döngüsü .....	12
Şekil 3.1.	Isıl işlemlerden sonraki mikro yapılar.....	15
Şekil 3.2.	CVD kaplamalı tungsten karbür (P30) kesici takımlarıyla farklı kesme hızlarında talaş kaldırma işlemi esnasında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafiği .....	16
Şekil 3.3.	CVD kaplamalı tungsten karbür (P30) kesici takımlarıyla farklı kesme hızlarında talaş kaldırma işlemi sonrasında elde edilen iş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği .....	16
Şekil 3.4.	Farklı kesici takımlarla AISI H11 çeliğin $V=95$ m/dak $f=0,11$ mm/dev parametrelerinde işlenmesinde takımlarda oluşan yanak aşınma veri grafiği .....	18
Şekil 3.5.	Farklı kesici takımlarla AISI H11 çeliğin $V=137$ m/dak $f=0,11$ mm/dev parametrelerinde işlenmesinde takımlarda oluşan yanak aşınma veri grafiği.....	18
Şekil 3.6.	PVD (TiAlN) kaplamalı kesici takıma kriyojenik işlem uygulama süreci .....	21
Şekil 3.7.	HS6-5-2 yüksek hız çeliğine uygulanan farklı ısıl işlemlerin; A grubu, B grubu, C grubu numunelerin mikro yapı görüntüleri .....	25
Şekil 3.8.	Geleneksel ısıl işlem ile kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri.....	31
Şekil 3.9.	Kriyojenik işlem uygulanmış numune ve kriyojenik işlem ardından temperleme uygulanmış numunelere ait mikro yapı görüntüleri .....	31
Şekil 3.10.	AISI 4340 çeliğin geleneksel ısıl işlem ve kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperlemenin numunelerin sertlik değişimine etkisi .....	35
Şekil 3.11.	16Cr1Mo1Cu dökme demire uygulanan.....	38
Şekil 3.12.	M2 takım çeliğinin kriyojenik işlem görmeden .....	41

Şekil 4.1.	Hastelloy süper alaşım malzemelerin oyuklu korozyon direnci test sonucu.....	52
Şekil 4.2.	Deneylerde kullanılan Hastelloy C22 süper alaşım çeliği iş parçasının boyutları .....	52
Şekil 4.3.	Bazı çeliklerin Nikel oranı ve sertliğine göre plastik deformasyon ve aşınma eğilimleri .....	53
Şekil 4.4.	Bazı malzemelerin işlenebilirlik özellikleri ve kesme kuvveti değerleri .....	54
Şekil 4.5.	Tornalama deneylerinde kullanılan takım tutucu .....	56
Şekil 4.6.	Kriyojenik işlem ünitesi şeması .....	56
Şekil 4.7.	Kriyojenik işlem süreci .....	57
Şekil 4.8.	Kesici takımlara uygulanan temperleme işlemi görüntüsü .....	58
Şekil 4.9.	Seramik takımla yapılan ön deneylerde düşük ve yüksek kesme hızlarında takımda meydana gelen kırılma aşınması görüntüsü .....	61
Şekil 4.10.	Hastelloy C22 süper alaşımı iş parçasının CNC torna tezgâhına bağlanmış görüntüsü .....	62
Şekil 4.11.	Kesme kuvvetinin ölçülmesi .....	63
Şekil 4.12.	Kesme kuvvetinin ölçülmesi Kesme kuvvetleri ölçme düzeni ve dinamometre ünitesinin şematik görünümü .....	63
Şekil 4.13.	MAHR marka perthometer M1 model pürüzlülük cihazı ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi görüntüsü .....	64
Şekil 4.14.	Metkon marka duroline M model mikro sertlik ölçüm cihazı görüntüsü .....	65
Şekil 4.15.	Quanta FEG 250 marka SEM cihazı .....	66
Şekil 4.16.	Kesici takımların elektrik iletkenliklerinin ölçüldüğü yüksek performanslı frekans analizci .....	67
Şekil 4.17.	Rigaku Ultra IV XRD cihazı .....	68
Şekil 5.1.	Deney sonuçları ve tartışma bölümü akış şeması.....	69
Şekil 5.2.	UT, CT1 ve CT2 takımlarla 30, 60 ve 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	72
Şekil 5.3.	UT, CT1 ve CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	73
Şekil 5.4.	P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 30, 60 ve 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	77
Şekil 5.5.	P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	78

Şekil 5.6.	CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 30, 60 ve 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	82
Şekil 5.7.	CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	83
Şekil 5.8.	CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla 350, 400 ve 450 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.....	87
Şekil 5.9.	CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri .....	88
Şekil 5.10.	UT, CT1 ve CT2 takımlarla 30, 60 ve 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .....	95
Şekil 5.11.	UT, CT1 ve CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .....	96
Şekil 5.12.	P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 30, 60 ve 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .	100
Şekil 5.13.	P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .....	101
Şekil 5.14.	CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 30, 60 ve 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .	105
Şekil 5.15.	CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .....	106
Şekil 5.16.	CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımla 350, 400 ve 450 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.....	110
Şekil 5.17.	CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla 0,1- 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri .....	111
Şekil 5.18.	UT, CT1 ve CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.....	116
Şekil 5.19.	UT takımıyla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.....	117
Şekil 5.20.	P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.....	118

Şekil 5.21. P-UT takımıla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.....	120
Şekil 5.22. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 60 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.....	121
Şekil 5.23. CV-CT1 takımıla 0,3 mm/dev ilerleme ve 60 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.....	122
Şekil 5.24. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 450 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.....	123
Şekil 5.25. CER-CT1 takımıla 0,3 mm/dev ilerleme ve 450 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.....	124
Şekil 5.26. CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oluşan talaş formları.....	126
Şekil 5.27. UT, CT1 ve CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	126
Şekil 5.28. P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	127
Şekil 5.29. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	128
Şekil 5.30. CV-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	129
Şekil 5.31. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 60 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	129
Şekil 5.32. CER-CT2 takımlarla 450 m/dak kesme hızında ve 0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	130
Şekil 5.33. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla 400 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.....	131
Şekil 5.34. Kaplamasız tungsten karbür takımın 10.000x ölçekli sem görüntüleri (UT, CT1 ve CT2).....	132
Şekil 5.35. Kaplamasız tungsten karbür takımın 20 000x ölçekli sem görüntüleri (UT, CT1 ve CT2).....	133
Şekil 5.36. Kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür takımın sertliğine etkisi.....	134
Şekil 5.37. Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımın sertliğine etkisi.....	135
Şekil 5.38. Kriyojenik işlemin CVD kaplamalı tungsten karbür takımın sertliğine etkisi.....	136
Şekil 5.39. Kriyojenik işlemin seramik takımın sertliğine etkisi.....	136



Şekil 5.40. Kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür takımların (UT, CT1 ve CT2) elektrik iletkenliğine etkisi.....	138
Şekil 5.41. Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımların (P-UT, P-CT1 ve P-CT2) elektrik iletkenliği etkisi .....	139
Şekil 5.42. Kriyojenik işlemin CVD kaplamalı tungsten karbür takımların (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2) elektrik iletkenliği etkisi .....	140
Şekil 5.43. Kriyojenik işlemin seramik takımların (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2) elektrik iletkenliği etkisi .....	141
Şekil 5.44. Kaplamasız tungsten karbür takımların (UT, CT1 ve CT2) XRD grafikleri.....	142
Şekil 5.45. PVD kaplamalı tungsten karbür takımların (P-UT, P-CT1 ve P-CT2) XRD grafikleri.....	143
Şekil 5.46. Seramik takımların (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2) XRD grafikleri.....	144

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Kriyojenik işlemin farklı adlandırmaları .....	4
Çizelge 2.2. Kriyojenik ısı işlem parametreleri .....	7
Çizelge 3.1. Kriyojenik işlem süreçleri .....	22
Çizelge 3.2. M2 HSS matkaplara uygulanan kriyojenik işlem süreçleri .....	24
Çizelge 3.3. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla ilgili literatür özet tablosu.....	27
Çizelge 4.1. Hastelloy C22 kimyasal bileşim.....	52
Çizelge 4.2. Hastelloy C22 numunenin fiziksel özellikleri .....	53
Çizelge 4.3. Tornalama işleminde kullanılan kesici takımlar ve özellikleri.....	55
Çizelge 4.4. Sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından elde edilen yeni tür kesici takımlar .....	58
Çizelge 4.5. Kaplamasız tungsten karbür ve kaplamalı takım ön deney tablosu ...	59
Çizelge 4.6. Seramik takımla yapılan ön deney parametreleri ve sonuçları.....	60
Çizelge 4.7. Johnford T35 CNC Torna Tezgahının Teknik Özellikleri .....	61
Çizelge 4.8. Kistler 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri.....	62
Çizelge 5.1. Hastelloy C22 iş parçasının kaplamasız tungsten karbür takımlarla tormalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri .....	71
Çizelge 5.2. Hastelloy C22 çeliğin kaplamasız tungsten karbür takımlarla tormalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları .....	75
Çizelge 5.3. Hastelloy C22 iş parçasının PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanmasında kesme hızı ve ilerleme ile kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri .....	76
Çizelge 5.4. Hastelloy C22 çeliğin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları .....	80
Çizelge 5.5. Hastelloy C22 iş parçasının CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri .....	81

Çizelge 5.6. Hastelloy C22 çeliğın CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları.....	84
Çizelge 5.7. Hastelloy C22 iş parçasının seramik takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri .....	86
Çizelge 5.8. Hastelloy C22 çeliğın seramik takımlarla tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları.....	90
Çizelge 5.9. Hastelloy C22 iş parçasının kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	94
Çizelge 5.10. Hastelloy C22 çeliğın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ait ANOVA test sonuçları.....	98
Çizelge 5.11. Hastelloy C22 iş parçasının PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	99
Çizelge 5.12. Hastelloy C22 çeliğın PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ait ANOVA test sonuçları .....	103
Çizelge 5.13. Hastelloy C22 iş parçasının PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	104
Çizelge 5.14. Hastelloy C22 çeliğın CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ait ANOVA test sonuçları .....	108
Çizelge 5.15. Hastelloy C22 iş parçasının seramik takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	109
Çizelge 5.16. Hastelloy C22 çeliğın seramik takımlarla tornalanması ile iş parçasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğüne ait ANOVA test sonuçları.....	112

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

°C	: Derece Santigrat
V	: Volt
KW	: Kilowatt
CO <sub>2</sub>	: Karbon Dioksit
N <sub>2</sub>	: Nitrojen
LN <sub>2</sub>	: Sıvı Nitrojen
µm	: Mikron Metre
Ra	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
kN	: Kilo Newton
Ω	: Direnç
κ	: Termal İletkenlik
L	: Lorenz Sayısı
σ	: Elektrik İletkenliği
S/cm	: Simens/cm (Elektrik İletkenliği)
Hz	: Frekans
kHz	: Doğal Frekans
T	: Isı
Hv	: Vickers Sertlik
η	: Eta Kerbür Fazı
α	: Tungsten Kerbür Fazı
β	: Kobalt Bağlayıcı Fazı
Kg	: Kilogram
MPa	: Mega Paskal
K	: Kelvin
N	: Newton

## **KISALTMALAR**

- UT : Kriyojenik İşlem Uygulanmamış Kaplamasız Tungsten Karbür Takım
- CT1 : Sığ Kriyojenik İşlem Uygulanmış Kaplamasız Tungsten Karbür Takım
- CT2 : Derin kriyojenik İşlem Uygulanmış Kaplamasız Tungsten Karbür Takım
- P-UT : Kriyojenik İşlem Uygulanmamış PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım
- P-CT1 : Sığ Kriyojenik İşlem Uygulanmış PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım
- P-CT2 : Derin Kriyojenik İşlem Uygulanmış PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım
- CV-UT : Kriyojenik İşlem Uygulanmamış CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım
- CV-CT1 : Sığ Kriyojenik İşlem Uygulanmış CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım
- CV-CT2 : Derin Kriyojenik İşlem Uygulanmış CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım
- CER-UT : Kriyojenik İşlem Uygulanmamış Seramik Takım
- CER-CT1 : Sığ Kriyojenik İşlem Uygulanmış Seramik Takım
- CER-CT2 : Derin Kriyojenik İşlem Uygulanmış Seramik Takım

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
EDX	: Energy- dispersive X-ray spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işınları Analizi)
Dev	: Devir
ISO	: International Organization for Standardization (Ulaslararası Standard)
ANOVA	: ANalysis Of VAriance (Varyans Analizi)
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
WC	: Tungsten Karbür
CBN	: Kübik Bor Nitrür
SAE	: Society of Automotive Engineers (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği)
TiCN	: Titanyum Karbon Nitrür
TiN	: Titanyum Nitrür
TiAlN	: Titanyum Aliminyum Nitrür
PVD	: Kaplama Yöntemi (Fiziksel Buhar Biriktirme)
CVD	: Kaplama Yöntemi (Kimyasal Buhar Biriktirme)
YT	: Yığıntı Talaş
YK	: Yığıntı Katman

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte üretim için ihtiyaç duyulan yeni ve farklı malzemeler geliştirilmektedir. Farklı alanlarda kullanılan bu yeni malzemelerin işlenmesinde bazı sıkıntılar yaşanmaktadır. Bunların en önemlileri uygun takımın tayini, uygun işleme yönteminin tespiti, kesici takım performanslarının artırılması ve kesme parametrelerinin optimize edilmesidir. Bu nedenle süper alaşımların işlenebilirliği popüler araştırma konularındandır.

Süper alaşım olan Titanyum, Titanyum alaşımları, Nimonic, Waspaloy, Inconel ve Hastelloy gibi malzemeler yüksek ısı direnç, sertlik ve aşınma dayanımları nedeniyle talaş kaldırma sırasında kesici takım malzemelerine ciddi güçlükler doğurmaktadır. Süper alaşımların düşük işlenebilirlik özellikleri kesici takım kesici uçlarında hızlı aşınmalara neden olmaktadır. Geliştirilmiş sertlikleri ile kaplamasız ve kaplamalı sinterlenmiş karbürler, seramikler ve kübik bor nitürler (CBN) bu süper alaşımların işlenmesinde oldukça sık kullanılmaktadır [1]. Kesici takımların performanslarının artırılması için kesici takımlara kaplama yapılması, kesici köşe tasarımı, talaş kırıcı tasarımı ve ısı işlem gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Kriyojenik işlem son yıllarda kesici takımların aşınma direncini, tokluğunu ve ömrünün artırılması için uygulanmaktadır [1-18]. Yapılan bilimsel çalışmalarda, kesici takımlara uygulanan kriyojenik ısı işlem ile iş parçası yüzey pürüzlülüğünde, kesici takımın aşınma direncinde, takım ömründe, homojen karbür dağılımında, sertlik ve tokluk gibi mekanik özelliklerinde iyileşmeler sağlandığı belirtilmektedir [19-28].

Bu çalışmada, havacılık ve kimya sanayinde yoğun olarak kullanılan korozyon ve ısı dirençli Hastelloy C22 süper alaşımın sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür, PVD ve CVD kaplamalı tungsten karbür ve seramik takımlarla işlenebilirliği araştırılmıştır. Araştırmada, Takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında işleme parametrelerinin kesme hızı ve ilerleme oranlarının esas kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü, aşınma, talaş morfolojisi üzerindeki etkileri araştırılarak optimum değerlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### KRİYOJENİK İŞLEM

Kesici takımların performanslarının artırılması, üretim maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir faktördür. Kesici takımların performanslarını arttırmak amacıyla, takımlara ısıtma işlemi ve kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Sıfır altı ısıtma işlemi olarak da bilinen kriyojenik ısıtma işlemi, kesici takımların aşınma direnci, takım ömrü ve ürün kalitesinin artırılmasına önemli katkı sağlamaktadır [19,29]. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik ısıtma işleminin uygulanış şekli performansları üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanış şeklinin bilinmesi/belirlenmesi gerekmektedir [30-32].

Kriyojenik kelimesi Yunanca soğuk anlamına gelen 'krys' kelimesinden gelmektedir [33]. Kriyojenik işlem ise geleneksel olmayan ve düşük ısılarda uygulanan ısıtma işlemi olarak adlandırılmaktadır [34]. Farklı adlandırmaları olan kriyojenik işlem (Çizelge 2.1) Yıllardır malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılmaya başlanmıştır [35]. 1937 yılında kriyojenik işlemin takım performansına olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir [36]. Kriyojenik işlemin, demir esaslı ve demir içermeyen metal alaşımları, plastikler, bakır, seramikler ve sementit karbürlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde [37-39] ve ayrıca talaşlı imalatta nitrojenle soğutma gibi farklı uygulama alanları bulunmaktadır [40-56].

Son yıllarda yapılan akademik çalışmalarda, kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanması sonucu takımların ömrünü ve aşınma direncini arttıran etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir [14]. Kriyojenik işlemin kesici takımlarda sertlik, yorulma dayanımı, tokluk, aşınma direnci ve takım ömrü gibi özelliklerini iyileştirdiği belirtilmektedir [24]. Kesici takımlara kriyojenik işlemin uygulanmasında en önemli parametreler kesici takım çeşidi, uygulama ısısı, uygulama süresi, soğutma hızı ve

temperleme işlemidir [37-38]. Takım çeşidine uygun parametreler kullanılarak yapılan kriyojenik işlemler kesici takım performansını arttırmaktadır [11,25,26].

Çizelge 2.1. Kriyojenik işlemin farklı adlandırmaları [15,25,31,37,52,57-60].

No	Adlandırma
1	Cryo
2	Cryogenics
3	Cryoprocessing
4	Cryogenic Processing
5	Cryogenic Treatment
6	Cryogenating
7	Cryogenic Stress Relief
8	Cryogenically treated
9	Cryotempering
10	Deep Cryogenic Treatment (DCT)
11	Deep Cryogenic Tempering
12	Cryogenic Hardening
13	Sub-zero
14	Shallow Cryogenic Treatment
15	Cryo-treated
16	Deep Subzero process
17	Cryogenic thermal cycling treatment

Kriyojenik işlemde numuneler kontrol ünitesi yardımıyla helyum, oksijen, nitrojen (azot), neon gibi gazlar kullanılan sistemler yardımıyla -80 °C ile -196 °C arasında değişen sıcaklıklarda kademeli olarak soğutulur ve belirli bir süre bekletildikten sonra tekrar kademeli olarak oda sıcaklığına getirilir [61,62]. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemde soğumaya bağlı olarak takımlarda büzülme ve karbür dağılımlarında meydana gelen homojenleşme nedeniyle kesici takımların aşınma direnci, sertliği, tokluğu, elektrik iletkenliği gibi özelliklerinde iyileşmeler sağlanmaktadır [3,23,59,63,64]. Kriyojenik işlemin kesici takım performansını olumlu olarak arttırmasından dolayı son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Takımların performansını arttırmak için uygulanan kaplama işlemlerinden daha ucuz ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Kriyojenik ısıl işlemin -

80 °C ile -140 °C arasında uygulanması sığ kriyojenik, -140 °C ile -196 °C arasında uygulanması derin kriyojenik işlem olarak adlandırılmaktadır [20, 21]. Kriyojenik işlem kesici takımlara uygulandığı gibi yarış arabası motorları, fren diskleri, takım çelikleri, alaşım çelikleri, plastikler ve kompozit gibi malzemelere de uygulanmaktadır [65-67].

Kriyojenik işlem uygulamalarında sıvı nitrojen yaygın olarak kullanılırlar [36]. Nitrojen (azot) atmosferde büyük oranda (% 78,03) bulunmaktadır [59]. Kriyojenik işlemin endüstride kullanılmasının yanında gıda ve sağlık (soğutma amaçlı) sektörlerinde geniş uygulamaları bulunması göz önünde bulundurulduğunda bu işlem için doğada çok yaygın bulunan elementin kullanılması kaçınılmazdır. Renksiz, kokusuz, tatsız olan nitrojen gazının erime noktası -210,01 °C kaynama noktası ise -195,8 °C'dir [68].

Kriyojenik işlem kesici takımlara özel olarak tasarlanmış işlemci kontrollü sistemler aracılığıyla veya takımlar direk olarak sıvı azota (LN<sub>2</sub>) daldırılarak yapılabilmektedir. Kesici takımlarda ani soğuma ve ısınmadan kaynaklanacak mikro çatlakların önlenmesi için kesici takımların kademeli soğutma/ısıtma işlemi önemlidir. Bu nedenle, kriyojenik işlem esnasında takımların oda sıcaklığından düşük ısılara ve düşük ısılardan tekrar oda sıcaklığına kademeli olarak yavaş bir şekilde getirilmesi önemlidir [68,69]. Kesici takımların performansını arttırmak için uygulanan kriyojenik işlemde en yüksek performansı elde etmek için kriyojenik işlem uygulama ısısı, bekleme süresi ve soğutma hızı değişkenlerin takım türüne göre optimize edilmesi gerekmektedir [18,35].

## **2.1. SOĞUTMA HIZI**

Kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanmasında soğutma hızının belirlenmesinde iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, termal şok olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, numuneler kriyojenik uygulama ısısına hızlı bir şekilde getirilir. Bu işlemde, genellikle kesici takımlar sıvı azota daldırılırlar. İkinci yaklaşım da ise numuneler kademeli olarak kriyojenik ısıya getirilmektedir [24]. Yapılan bilimsel

çalışmalarda kesici takımlar direkt olarak kriyojenik ısıya maruz kaldığında termal şoktan dolayı ani ısı değişikliğine bağlı olarak kesici takımlar üzerinde mikro çatlakların meydana geldiği bilinmektedir [14]. Numunelerin mikro yapılarında meydana gelebilecek çatlakların ortadan kaldırılabilmesi için kriyojenik işlemin kontrollü bir şekilde kademeli ısıtılıp soğutulması belirtilmektedir [32].

PVD kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımlara kriyojenik işlem uygulayan Bal [70], soğuma hızının etkisini değerlendirmek için takımları iki farklı hızda soğutup/ısıtarak kriyojenik işlem uygulamıştır. Soğutma hızı olarak 0,5 °C/dak ve 1 °C/dak hızını kullanarak toplam ısınma/soğutma işlemleri sırasıyla 8 ve 4 saatte tamamlamıştır. Bal, yapmış olduğu çalışmada 0,5 °C/dak soğutma hızıyla uygulanan kriyojenik işlemde takımların aşınma direncinin daha iyi olduğunu belirtmektedir. Soğutma hızı 1 °C/dak alındığında ise takımların mikro yapılarında karbür dağılımının daha iyi olduğu sonucuna varmıştır. Benzer çalışmalar, Reddy ve arkadaşları, Ramji ve arkadaşları, Amini ve arkadaşları tarafından da gerçekleştirilmiştir [18,21,71]. AISI M2 HSS takıma sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem uygulayan Gill [72], takımın mikro yapısında oluşabilecek hasarları önlemek için 0,5 °C/dak soğutma hızında kriyojenik işlemleri kesici takımlara uygulamıştır.

Kesici takımlara uygulanan termal şok kriyojenik işlemin yapılma süresini azalttığından maliyeti düşürme açısından daha ekonomiktir [31]. Kademeli ısınma/soğutma işlemi maliyetli olmasına rağmen kesici takım performansı açısından değerlendirildiğinde daha avantajlı olduğu söylenebilir. Kesici takımların termal şoka maruz kalmasıyla takımların mikro yapılarında çatlakların oluşabildiği bilinmektedir. Bu hususlar dikkate alınarak kesici takımlara uygulanan birçok kriyojenik işlemde yavaş soğutup/ısıtma yöntemi uygulanmıştır [29,73].

## 2.2. KRİYOJENİK İŞLEM UYGULAMA SÜRESİ

Yapılan kriyojenik işlem uygulamaları incelendiğinde uygulama süreleri (soaking period) malzemenin yapısına göre 1 saat ile 40 saat arasında değişmektedir [37-39]. Uygulama süresi kesici takımların östenitten martenzite dönüşümünde, yeni karbür oluşumunda ve karbürlerin dağılımında önemli bir parametredir [35]. Kriyojenik işlemde en yüksek verimin sağlanması ve işlem maliyetinin düşürülmesi için uygulama süresinin optimizasyonu önemlidir [37].

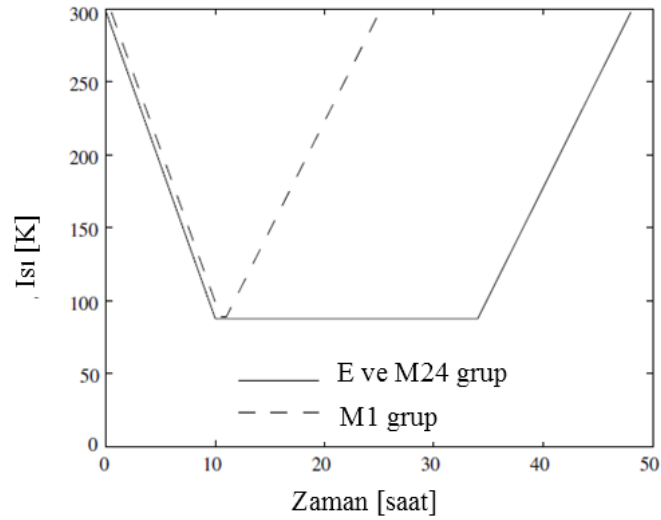
AISI 302 östenitik paslanmaz çeliğin yorulma ve korozyon direnci, sertlik ve çözünebilir malzeme performansını araştırmak amacıyla Baldissera ve arkadaşları derin kriyojenik işlem için numuneleri kriyojenik ısıda 9 ve 24 saat uygulama sürelerinin etkisine bakmışlardır [74]. Malzemenin yorulma davranışı üzerinde 9 saat uygulamanın yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Darwin ve arkadaşları, martenzit paslanmaz çelik (% 18 krom içeren SR34), ticari segmanlara maksimum aşınma direnci kazandırmak için 12, 24 ve 36 saat uygulama sürelerinde (Çizelge 2.2) kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. Numune üzerinde en iyi aşınma direncine 36 saat uygulama süresinde ulaştıkları belirtilmiştir. 36 saat uygulama süresi ile numunelerin aşınma direncinde % 24 artış tespit etmişlerdir [75].

Çizelge 2.2. Kriyojenik ısı işlem parametreleri [75].

Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Soğutma oranı	0,5 °C/dak	1 °C/dak	1,5 °C/dak
Uygulama ısısı	-120 °C	-150 °C	-184 °C
Uygulama süresi	12 saat	24 saat	36 saat
Temperleme ısısı	200 °C	250 °C	300 °C

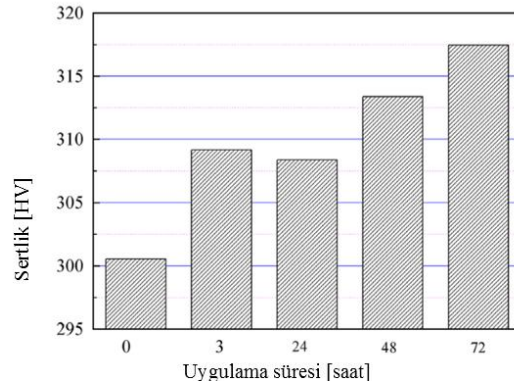
Shirbhate ve arkadaşları, HSS (M2) kesici takıma 8, 16 ve 24 saat bekleterek kriyojenik işlem uygulamışlardır [9]. Yaptıkları delme deneylerinde 24 saat bekletme

süresi kesici takımın kesme torku yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direncinde daha iyi performans gösterdiğini belirtmektedirler. HSS kesici takıma kriyojenik ısıtım işlemi uygulanması sonucu elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülüğünde % 35 iyileşme tespit etmişlerdir. Baldissera ve arkadaşları ise 18NiCrMo5 karbür çeliğin mekanik özelliklerine kriyojenik işlemin etkisinin araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, 1 saat (M1) ve 24 saat (M24) kriyojenik işlem uygulama sürelerini (Şekil 2.1) karşılaştırmışlardır. 24 saat kriyojenik işlem uygulama süresinde numunelerin sertlik ve gerilmelerinin 1 saat kriyojenik işlem uygulanan numunelere göre daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [76].



Şekil 2.1. Derin kriyojenik işlem diyagramı [76].

Kriyojenik işlem parametrelerinin Ti-6Al-4V alaşımına etkisini araştıran Gu ve arkadaşları farklı kriyojenik işlem sürelerinin numunenin sertliğine etkisini araştırmışlardır [28]. Araştırmalarında karşılaştırdıklarında 72 saatlik bekle süresinde (Şekil 2.2) maksimum sertlik artışı olduğunu belirtmişlerdir.



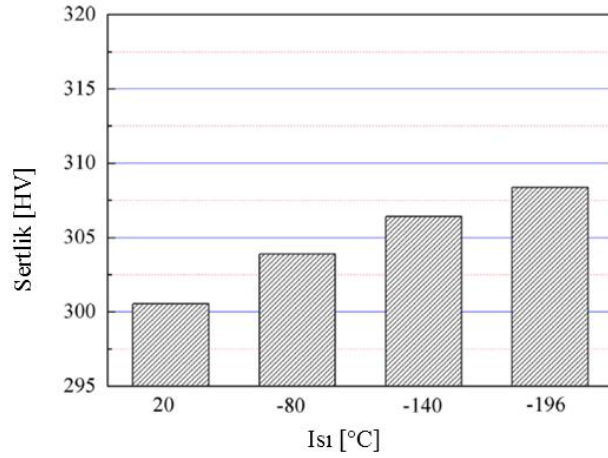
Şekil 2.2. Farklı kriyojenik işlem uygulama sürelerinde sertlik değişimi [28].

Literatür çalışmaları ışığında kesici takıma uygulanan kriyojenik işlem ile çeliklere uygulanan kriyojenik işlemlerde genel olarak benzer iyileşmeler sağlandığı gözlemlenmektedir. Bu çerçevede kriyojenik işlemin kesici takımlara etkisini araştırmak için çeliklerle ilgili çalışmaları incelemek önem kazanmaktadır. Kriyojenik işlem uygulanan takımlarla ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunun 24 saat uygulama süresi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Farklı uygulama sürelerinde farklı sonuçların alınması kriyojenik işlem uygulanan takımın malzemesine ve takımın kullanıldığı imalat türüne göre değişiklik göstermiştir [14,18,68].

### 2.3. UYGULAMA ISISI

Düşük sıcaklıklarda uygulanan kriyojenik işlemin uygulama ısısı kesici takımların türüne göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmalar ışığında kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ısıları  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir [63, 64]. Kesici takımlara uygulanacak olan kriyojenik işlemin uygulama ısısının belirlenmesi kesici takımın aşınma direnci, sertliği ve tokluğu gibi mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi açısından önem kazanmaktadır [9]. Bu amaçla yapılan birçok çalışmada, en iyi kriyojenik işlem uygulama ısısının bulunması için farklı uygulama ısıları kullanılarak optimizasyon yapılmaya çalışılmıştır. Kriyojenik işlem parametrelerinin aşınma direncine etkisini araştıran Darwin ve arkadaşları, paslanmaz çelik numunelere üç farklı ısıda kriyojenik işlem uygulamışlardır [75]. Yapmış oldukları çalışmada, kriyojenik işlem parametrelerinden uygulama ısısının

numunelerin aşınma direncinin artışında en etkili parametre olduğunu belirtmektedirler. Yapmış oldukları çalışmada, en etkili kriyojenik işlem ısısını  $-184\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak tespit etmişlerdir. Firouzdor ve arkadaşları ise CK40 karbon çeliğinin kuru şartlarda delinmesinde derin kriyojenik işlemin ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) HSS matkabın takım ömrü ve aşınma direnci performansına etkisini araştırmışlardır. HSS Takıma uyguladıkları kriyojenik işlemin kesici takım, ömrünü % 77 arttırdığını tespit etmişlerdir [19]. Reddy ve arkadaşları P30 tungsten karbür takıma  $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$  kriyojenik işlem uygulamışlardır. Kriyojenik işlemin C45 çeliğin karbür takımla işlenmesinde takımın yanak aşınmasının azaldığını tespit etmişlerdir [8]. Benzer çalışmalar, Shirbhate ve arkadaşları, Candane ve arkadaşları, Defu ve arkadaşları [9,58,77] tarafından yapılmıştır. Gu ve arkadaşları Ti-6Al-4V alaşımının sertliğine kriyojenik işlem ısısının etkisini araştırmak için yapmış oldukları çalışmalarında derin kriyojenik ısı işlem ısısının ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) Ti-6Al-4V alaşımının sertliği üzerinde etkili parametre olduğunu (Şekil 2.3) tespit etmişlerdir [34].



Şekil 2.3. Farklı kriyojenik işlem uygulama ısılarında sertlik değişimi [34].

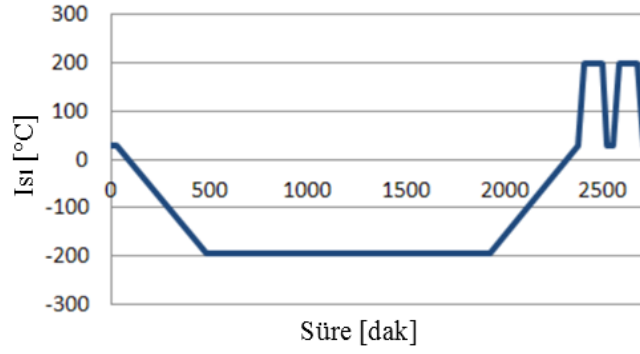
Yapılan çalışmalarda farklı ısılarda uygulanan kriyojenik işlemin malzeme türüne göre farklılık göstermektedir [9]. Bu nedenle, kriyojenik işlem uygulanacak takımların malzeme özelliklerine göre en uygun kriyojenik işlem ısısının belirlenmesi önem arz etmektedir.



## 2.4. TEMPERLEME İŞLEMİ

Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemten sonra genellikle temperleme işlemi uygulanmaktadır [16]. Temperleme işlemi, kesici takım üzerinde aşırı soğumaya bağlı olarak oluşan iç gerilmeleri gidermek amacıyla uygulanmaktadır [15,59]. Kesici takımlara uygulanan temperleme işlemi genellikle 150 °C ile 200 °C arasında 1,5 ile 2 saat arasında bekletilerek uygulanmaktadır [78]. Bazı çalışmalarda, kriyojenik işlemten sonra peş peşe birden fazla temperleme işlemi uygulanmıştır [79]. Kriyojenik işlem ve temperleme döngüsünde ilk amaç malzemelerde östenitten martenzite dönüşümü ile sertlik artışını sağlamaktır. Diğer amaç ise mikro yapıdaki karbür dağılımını iyileştirerek aşınma direncini arttırmaktır [26,80]. Yapılan çalışmalarda bu döngülerin çeşitli kombinasyonları denenerek takıma uygun en iyi döngü elde edilmek istenmektedir [63].

Bal, kaplamasız karbür takıma (P30) kriyojenik işlemin etkisini araştırmak için yapmış olduğu çalışmasında kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperlemenin karbür takımların tokluğunu arttırdığını, yanak aşınmasını azalttığını ve ölçülen kesme kuvvetlerini düşürdüğünü belirtmektedir [59]. Firouzdor ve arkadaşları ise CK40 karbon çeliğinin kuru şartlarda delinmesinde takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrünü % 77, kriyojenik işlemten sonra uygulanan temperleme işleminin ise takım ömrünü % 126 arttırdığını tespit etmişlerdir [19]. Ramji ve arkadaşları, kriyojenik işlem görmemiş, kriyojenik işlem görmüş ve kriyojenik işlem ardından kesici takımlara uygulanan tek temperleme ile çift temperleme uygulanan karbür matkaplar kullanarak gri dökme demirin delinmesini araştırmışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre kriyojenik işlem uygulanmış ve çift temperleme yapılan takımlarda kesme kuvveti, takım aşınmaları ve yüzey pürüzlülükleri sonuçlarında iyileşmeler gözlemlendiği belirtilmiştir [18]. Candane ve arkadaşları, AISI T42 HSS numunelere uygulanan kriyojenik işlem sonrasında mikro yapılarında ince karbür dağılımını sağlamak için temperleme işlemini peş peşe iki defa (Şekil 2.4) tekrarlamışlardır [58].



Şekil 2.4. AISI T42 için derin kriyojenik işlem döngüsü [58].

Kriyojenik işlemin birçok alanda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Kullanım alanlarına ve uygulama değişikliklerine göre farklı katkı oranları bulunduğu gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanması sonucu takımların ömrünü ve aşınma direncini arttıran etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Kriyojenik ısıl işlemin kesici takımlarda sertlik, yorulma dayanımı, tokluk, aşınma direnci ve takım ömründe artışlar sağlamaktadır. Kriyojenik ısıl işleminde takım performansını etkileyen önemli parametrelerin kesici takım türü, soğutma hızı, uygulama süresi, uygulama ısı ve temperleme işlemidir. Bu nedenle, takım türüne göre uygun koşullar altında yapılan kriyojenik işlem daha yüksek verim elde etmek açısından önemli olduğu anlaşılmaktadır.

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR

Malzemelerin ve kesici takımların performansını arttıran birçok yöntem bulunmaktadır. Üretim maliyetlerinin düşürülmesinde ve ürün kalitesinin artırılmasında kesici takım sarfiyatını azaltmak ve takım performansını arttırmak amacıyla takımlara uygulanan ısıl işlemler önemli yer tutmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda kriyojenik işlemin kesici takımların aşınma direnci, takım ömrü ve ürün kalitesinin artırılmasına önemli katkı sağladığı belirtilmektedir [3,19,21, 72]. Bu bölümde kriyojenik işlemin endüstriyel uygulamaları incelenmiştir. Kriyojenik işlemin endüstriyel olarak üç farklı kullanımı bulunmaktadır. Bunlar; kesici takıma uygulanan kriyojenik işlem, malzemeye uygulanan kriyojenik işlem ve soğutma uygulamalarıdır.

#### **3.1. KESİCİ TAKIM ÜZERİNE UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMLERLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

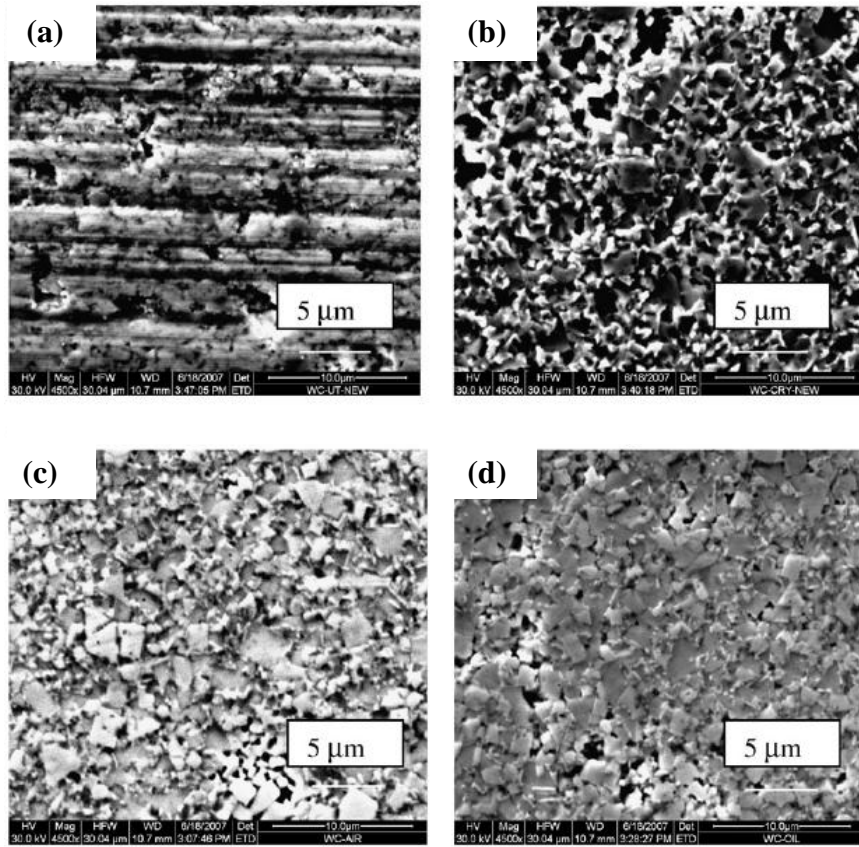
Singh ve arkadaşları, SAE-1020 iş parçasının tornalanmasında kriyojenik işlemin kesici takım performansına etkisini araştırmışlardır. Singh ve arkadaşları, çalışmalarında HSS T-42 kesici takımlar kullanmışlardır. Araştırmacılar, HSS takımlara kriyojenik işlemi -196 °C sıcaklıkta 20 ve 60 saat bekleterek uygulamışlardır. Tornalama işleminde kesme hızını 58 m/dak, ilerleme oranını 0,5 mm/dev ve kesme derinliğini 0,8 mm kullanmışlardır. Tornalama işleminden önce ağırlık kaybını hesaplamak için takımların ağırlıklarını ölçmüşlerdir. Tornalama işleminden sonra ağırlık ölçümü tekrar yapılarak toplam ağırlık kaybını hesaplamışlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış HSS (CT) ve işlem uygulanmamış HSS takımla (UT) işlemede kaybedilen ağırlığa göre tezgahın harcadığı güçü ölçmüşlerdir. Son olarak her iki takım türü (CT, UT) ile elde edilen iş parçası ortalama yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Singh ve arkadaşları, kriyojenik işlem

uygulanmış HSS takımın mikro yapı incelemelerinde CT ve UT takımların karbür partiküllerinin kriyojenik işlemde sonra homojen olarak dağıldıklarını belirtmişlerdir. Talaş kaldırma işlemi sonrasında kriyojenik işlem uygulanan HSS takımında aşınmaların azaldığını, daha düşük ağırlık kaybı olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün daha iyi elde edildiği belirtilmiştir [23].

Firouzdor ve arkadaşları, CK40 karbon çeliğinin kuru şartlarda delinmesinde derin kriyojenik işlemin HSS matkabın takım ömrü ve aşınma direnci performansına etkisini araştırmışlardır. Deneylelerini delik derinliğini 50 mm, ilerleme oranını 0,11 mm/dev ve devir sayısını 350 m/dak sabit tutarak gerçekleştirmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapları (CT) -196 °C yavaş yavaş soğutarak 24 saat bekletmişlerdir. Daha sonra takımları kademeli olarak oda sıcaklığına getirmişlerdir. Kriyojenik işlemde sonra bir grup takıma 200 °C de 1 saat temperleme (CTT) uygulanmış. Kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların mikro yapılarını incelemişler ve mikro yapılarında oluşan ince ve homojen karbür dağılımı sayesinde, takımların difüzyon aşınma mekanizma direncinin arttırdığı belirtilmiştir. Bu durumun takımın mikro yapısının östenit yapıdan martenzit yapıya geçmesine de etki ettiği belirtilmiştir. Kriyojenik işlemin takımın ömrünü % 77, kriyojenik işlemde sonra uygulanan temperleme işleminin ise takım ömrünü % 126 arttırdığını belirtmişlerdir [19].

Thakur ve arkadaşları çalışmalarında, sementit tungsten karbür (WC) takımlara farklı ısıtma işlemler uygulayarak mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Karbür-kobalt bileşimini kontrol altında tutmak için takımlara kriyojenik işlem, ısıtma, havada soğutma-ısıtma ve yağda su verme işlemi uygulamışlardır. Farklı ısıtma işlemlerinin mekanik özelliklere etkisini değerlendirmek amacıyla mikro sertlik, elektro mikroskop (SEM) ile mikro yapı incelemeleri ve kobalt metal faz değişimini tespit etmek için XRD değerlendirmelerini yapmışlardır. Isıtma işlemlerinde sonra elde edilen mikro yapılar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Thakur ve arkadaşları, çalışmalarında kriyojenik işlem için takımları önce buzdolabında yavaşça soğutmuşlar daha sonra takımları direkt olarak (-196 °C) sıvı nitrojene daldırmışlardır ve sıvı nitrojen içerisinde 24 saat boyunca bekletmişlerdir. Daha sonra takımlar buzdolabında kademeli olarak oda sıcaklığına getirilmiş. Kontrollü

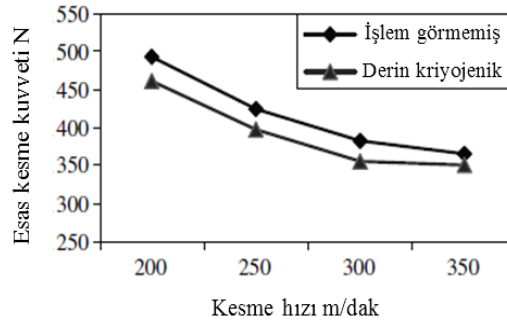
olarak uyguladıkları kriyojenik işlem ile aşınma direncinde iyileşmeler sağlamışlar ve kriyojenik işlem sonrası karbür partiküllerini sıkı bir şekilde bir arada tutan kobaltın yoğunlaşmasına, bağlı olarak fiziksel değişikliklerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca karbür dağılımının homojen dağıldığı sonucuna varmışlardır. XRD çalışmaları sonucunda kompleks faz oluşumunu gözlemlenmiş ve bu kompleks fazların sertliği arttırdığını belirtmişlerdir [20].



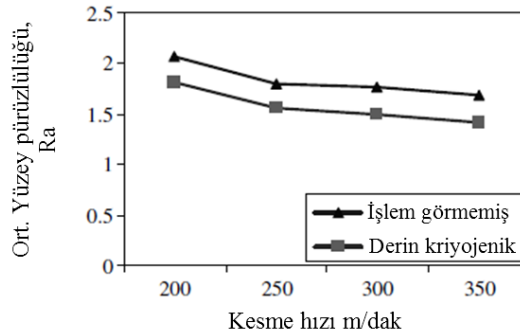
Şekil 3.1. Isıl işlemlerden sonraki mikro yapılar a) işlem uygulanmamış, b) kriyojenik işlem uygulanmış, c) hava soğutmalı, d) yağ söndürmeli [6].

Reddy ve arkadaşları, çok katmanlı CVD kaplamalı tungsten karbür (TiCN, TiN) ISO P30 kesici takımlara -176 °C’de derin kriyojenik işlem uygulayarak kriyojenik işlemin takım performansına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, C45 malzemeyi kriyojenik işlem uygulanmamış ve derin kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla işleyerek karşılaştırmışlardır. Kesici takımları dakikada 2 °C soğutarak -176 °C’ye kadar soğutmuşlar ve 24 saat bekletmişlerdir. İşlem sonrasında tekrar

dakikada 2 °C ısıtılarak oda sıcaklığına getirmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla C45 iş parçasını tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Tornalama işlemi sonrasında kesici takımların üzerinde yanak aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmelerini yapmışlardır. Deneylerde, kesme derinliğini 1 mm, ilerleme oranını 0,22 mm/dev, kesme hızını ise 200, 250, 300 ve 350 m/dak olarak tayin etmişlerdir. Derin kriyojenik işlem uygulanmış takım işlem uygulanmamış takım ile karşılaştırdıklarında; derin kriyojenik işlem uygulanmış takımın aşınma değerleri ve kesme kuvvetleri (Şekil 3.2) düşük, yüzey pürüzlülük (Şekil 3.3) değerlerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir [21].



Şekil 3.2. CVD kaplamalı tungsten karbür (P30) kesici takımlarıyla farklı kesme hızlarında talaş kaldırma işlemi esnasında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafiği [21].

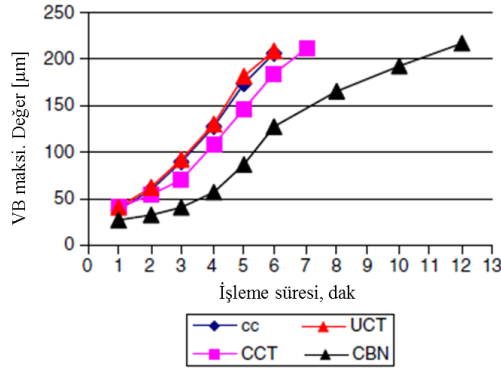


Şekil 3.3. CVD kaplamalı tungsten karbür (P30) kesici takımlarıyla farklı kesme hızlarında talaş kaldırma işlemi sonrasında elde edilen iş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği [21].

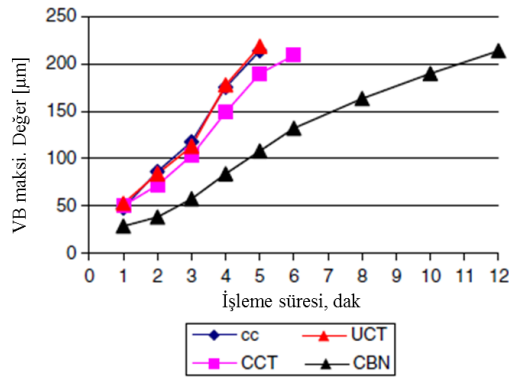
Bir başka çalışmada ise Ramji ve arkadaşları, ısıl işlem uygulanmamış (NT), kriyojenik işlem uygulanmış (CT), tek temperleme (CTT1) ve çift temperleme (CTT2) uygulanmış karbür matkaplar kullanarak farklı kesme hızı, ilerleme oranı ve

takım kombinasyonların kesme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. İş parçası olarak gri dökme demiri kullanmışlardır. Deneylerde işleme parametresi olarak delik derinliği (15 mm), ilerleme oranı (0,104- 0,211- 0,314 mm/dev), kesme hızı (210, 310 ve 450 m/dak) ve matkap çapını 5 mm kullanmışlardır. Kriyojenik işlem -178,9 °C’de 24 saat bekletilerek uygulamışlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış matkaplara kriyojenik işlem sonrası temperleme uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre CT ve CTT2 matkaplarla elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşmeler takım aşınmalarında ise azalmalar olduğu belirtilmiştir [18].

Dogra ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, (48–49 HRC) sertliğinde olan AISI H11 çeliğini CBN, (TiCN, TiN) kaplamalı karbür (CC), kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı karbür (CCT) ve kriyojenik işlem uygulanmamış karbür (UCT) takımlar ile kuru şartlarda tornalamışlardır. Tornalama işlemi sonrasında farklı takım çeşitlerinin takım aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertliklerini değerlendirmişlerdir. Kaplamalı ve kaplamasız karbür takımları –196°C ye kademeli olarak getirerek bu ısıda 24 saat kriyojenik işlem uygulamışlardır. Kesici takımlarda termal hataların oluşmasını engellemek amacıyla takımları dakikada 0,5 °C soğutmuşlardır. Kriyojenik işleminin ardından takımları tekrar oda sıcaklığına kademeli olarak getirmişlerdir. Kriyojenik işlemden sonra kesici takımlarda meydana gelecek gerilmeleri ortadan kaldırmak için takımlara temperleme uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre CBN takımlarda meydana gelen serbest yüzey aşınması diğer takımlara kıyasla daha az çıktığını bulmuşlardır. Farklı kesme işleme parametrelerinde elde edilen yanak aşınma grafiği Şekil 3.4’te ve Şekil 3.5’te verilmiştir [73].



Şekil 3.4. Farklı kesici takımlarla AISI H11 çeliğin  $V=95$  m/dak  $f=0,11$  mm/dev parametrelerinde işlenmesinde takımlarda oluşan yanak aşınma veri grafiği [73].



Şekil 3.5. Farklı kesici takımlarla AISI H11 çeliğin  $V=137$  m/dak  $f=0,11$  mm/dev parametrelerinde işlenmesinde takımlarda oluşan yanak aşınma veri grafiği [73].

Yong ve arkadaşları, ASSAB 760 orta karbonlu çeliğin ortogonal tornalama işleminde kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımın işleme performansına etkisini araştırmışlardır. Karbür kesici takımları 6 saat süreyle  $-184$  °C' ye kadar soğutmuşlar ve takımları bu ısıda 18 saat bekleterek yavaş yavaş oda sıcaklığına (6 saat) getirmişlerdir. Bu işlem ile kesici takımın mikro yapısında oluşabilecek çatlakları engellemeyi amaçlamışlardır. Oda sıcaklığına getirilen takımlar daha sonra temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Tornalama deneyleri sonucunda elde ettikleri aşınma verilerine göre kriyojenik işlem sayesinde kesici takımların çentiklenme ve yanak aşınmasını artmasını engellemişlerdir. Fakat uzun süreli tornalama işlemlerinde, takımlar yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı için kriyojenik işlemin takım üzerindeki olumlu etkisini yitirdiğini tespit etmişlerdir [63].



Silva ve arkadaşları M2 HSS takıma kriyojenik işlemin etkisini araştırmak için kriyojenik işlemde önce kesici takımları geleneksel ısıtma işlemine (su verme ve temperleme) tabi tutmuşlardır. HSS takıma kriyojenik işlem uygulamak için takımı -196 °C' ye kadar 4 saatte soğutarak bu ısıda takımları 20 saat bekletmişlerdir. Kriyojenik işlemde sonra takımları 196 °C sıcaklığına getirerek temperleme yapmışlardır. Takımlara uyguladıkları kriyojenik işlem ve temperleme işlemlerini 43 saat içinde tamamlamışlardır. Takımlara uygulanan kriyojenik işlem ve temperlemeden sonra uygulanan işlemlerin HSS takımların performanslarına etkisini değerlendirmişlerdir. AISI 8640 çeliğin delinmesinde elde ettikleri deneysel sonuçlara göre kriyojenik işlemin, HSS matkabın performansını arttırdığını bulmuşlardır. Çeliklerin delinmesi sırasında delme koşullarına bağlı olarak takım ömründeki iyileşmenin % 65 ile % 343 arasında değiştiğini belirtmişlerdir [79].

Çiçek ve arkadaşları, kriyojenik işlem uygulanmış M35 HSS matkabın AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğin delik delme performansı ile ilgili çalışmalar yapmış olup, kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, takım aşınması, kesme kuvveti ve talaş oluşumu üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Farklı kesme hızı ve ilerleme oranında, AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğin delinmesinde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış takımın performansı karşılaştırmışlardır. Deneysel 6 mm çapında HSS matkap kullanmışlardır. Matkapları -196 °C' de 24 saat bekleterek kriyojenik işlem uygulamışlardır. Soğuma esnasında matkapların yapısında oluşabilecek mikro çatlakları engellemek için takımları yavaş yavaş soğutup oda sıcaklığına getirmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımın mikro yapı görüntülerini incelediklerinde; kriyojenik işlem sayesinde takımın karbür dağılımının homojenleştiği ve karbür oranının yoğunlaştığını tespit etmişlerdir. Östenitten martenzit yapıya dönüşen mikro yapı ile takımın sertliğinin arttığını belirtmişlerdir. Delme deneyleri sonucunda kriyojenik işlem uygulanmış takımın kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, takım aşınmasının her iki paslanmaz çeliğin delinmesinde de daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliğin delinmesinde kriyojenik işlem uygulanmış matkabın takım ömrü, işlem uygulanmamış takıma göre sırasıyla % 32 ve % 14 daha yüksek çıktığını bildirmişlerdir [60].

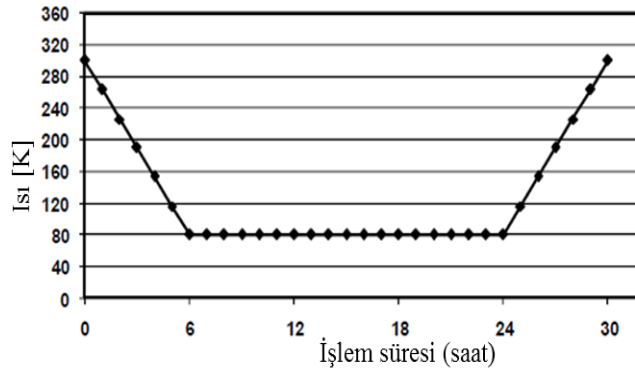
Yong ve arkadaşları, tungsten karbür takımın performansına kriyojenik işlemin etkisini araştırmışlardır. ASSAB 760 orta karbonlu çeliğin yüzey frezeleme işleminde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış tungsten karbür takımın performanslarını karşılaştırmışlardır. Kesici takımlara kriyojenik işlemi  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 24 saat bekleterek uygulamışlardır. Frezeleme deneylerini kuru ve soğutma sıvısı kullanarak yapmışlardır. Kesme hızı olarak 294,5- 343,6- 392,7- 409,9- 540,0 ve 589,0 m/dak, ilerleme oranı olarak ise 0,15 mm/diş kullanmışlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların takım aşınmasını değerlendirdiklerinde kriyojenik işlem uygulanmış takımlara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımın 392,7 m/dak hızında kriyojenik işlem uygulanmamış takımla mukayese yapıldığında takım ömründe kuru ve soğutma sıvılı işlemede sırasıyla % 28,9 ve % 38,6 artış sağlamışlardır [81].

Thamizhmanii ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmalarında, kriyojenik işlem uygulanmış (CT) ve uygulanmamış PVD takımlar (NCT) arasındaki performansını Inconel 718 malzemenin frezelenmesinde kıyaslamışlardır. Talaş kaldırma işlemi sonucunda CT ve NCT takımlarla elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma değerlerini karşılaştırmışlardır. Frezeleme işleminde işleme parametreleri olarak kesme hızı (20, 30, 40 m/dak), ilerleme oranı (0,05- 0,08 ve 0,10 mm/diş) ile kesme derinliği (0,50 mm) kullanmışlardır. PVD takımlara  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 20 saat bekleterek kriyojenik işlem uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre frezeleme işleminde CT takımın NCT takıma göre daha iyi performans gösterdiği, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranında kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplı takımla daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildiği belirtilmiştir [82].

Kriyojenik işlemin HSS takımın performansına etkisini değerlendirmek amacıyla Ramji ve arkadaşları, Gri dökme demir delinmesinde ölçülen kesme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğünü değerlendirerek kriyojenik işlemin kesici takıma etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, yaptıkları bu çalışmada 8 mm çapında HSS helisel matkap kullanmışlardır. Kriyojenik işlem için HSS takımını oda sıcaklığından  $-178,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye 3 saatte indirerek bu ısıda 24 saat bekletmişlerdir. Tekrar oda sıcaklığına 5 saatte getirmişlerdir. Ani soğumadan takımın mikro yapısında oluşabilecek çatlakları engellemek için yavaş soğuma ve ısıtmayı tercih etmişlerdir. İşleme parametresi

olarak kesme hızını (560, 710, 900, 1120 m/dak), ilerleme oranını (0,05- 0,08- 0,12- 0,19 mm/dev) ve delme derinliğini 15 mm olarak belirlemişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların (CT) işlem uygulanmamış takımlara (NT) göre daha iyi performans sergiledikleri belirtilmiştir [6].

Poomari ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada, Sermet, PVD (TiAlN) kaplamalı ve kriyojenik işlem uygulanmış PVD (TiAlN) takımdan oluşan üç farklı takıma kriyojenik işlem uygulayarak takım ömürlerini kıyaslamışlardır. Kesici takımların ömürlerini değerlendirmek için AISI 4340 malzemenin kuru şartlarda tornalanmasında farklı kesme hızı, ilerleme oranı ve işleme derinliği kullanmışlardır. PVD kaplamalı tungsten karbür takımlara kriyojenik işlemi 6 saatte  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutup (Şekil 3.6) bu ısıda 18 saat bekleterek uygulamışlardır. Kriyojenik işlemin ardından kesici takımları tekrar oda sıcaklığına 6 saatte getirmişlerdir. Kriyojenik işlem PVD kaplamalı tungsten karbür takımın ömrünü arttırdığı belirtilmiştir [64].



Şekil 3.6. PVD (TiAlN) kaplamalı kesici takıma kriyojenik işlem uygulama süreci [64].

C-60 çeliğin kuru ve soğutmalı ortogonal tornalama işleminde kriyojenik işlemin tungsten karbür takımın aşınma davranışlarına etkisini belirlemek için Gill ve arkadaşları, kesici takımlara kriyojenik işlem uygulamışlardır. Kriyojenik işlem sürecinde kesici takımları dakikada  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  soğutulurak  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürerek takımları 24 saat bekletmişlerdir. Kriyojenik işlemden sonra kesici takımların içinde meydana gelecek gerilmeleri gidermek için takımları  $196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtarak temperlemişlerdir. Tornalama işleminde, işleme parametreleri olarak kesme hızını (110, 130, 150 ve 180 m/dak), ilerleme oranını (0,1 mm/dev) ve kesme derinliğini (1

mm) olarak kullanmışlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımların özellikle yüksek kesme hızında soğutma sıvılı tornalanmasında kesintili ve sürekli işlemede her şartta üstün aşınma direnci sağladığını tespit etmişlerdir. Kesintili işlemede sürekli işlemeye oranla takım ömrü daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [7].

Bal, kriyojenik işlemin kaplamasız karbür takımının (P30) performansına etkisini araştırmak için yaptığı çalışmada, karbür takımları -190 °C’de 24 saat bekletmek suretiyle kriyojenik işlem uygulamıştır. Karbür takımlara uyguladığı kriyojenik işlem süreçleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Takımlarda hızlı soğumadan kaynaklanacak mikro çatlakları engellemek için takımların ısılarını 0,5 ve 1 °C/dak soğutma hızıyla -190 °C’ye indirmiştir. Karşılaştırma yapmak için bir grup takıma hiçbir kriyojenik işlem uygulamamıştır. AISI 304 malzemenin tornalamasında işleme parametreleri olarak kesme hızı (50, 70, ve 90 m/dak), ilerleme oranı (0,04- 0,05- 0,06 mm/dev) ve kesme derinliği (0,1- 0,2 ve 0,3 mm) değerlerini kullanmıştır. Yaptığı tornalama deneyleri sonucunda SEM, EDS, XRD, elektrik iletkenliği ve mikro sertlik ölçümleri yapmıştır. Takım aşınmaları incelemelerinde 8 saatte -190 °C’ye düşürülerek kriyojenik işlem uygulanan takımlardaki aşınmaların daha az olduğunu tespit etmiştir. 0,5 °C/dak kriyojenik şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış takımların mikro yapılarını incelediğinde daha iyi karbür dağılımına sahip olduğunu gözlemlemiştir. Kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperlemenin karbür takımların tokluğunu arttırdığını, yanak aşınmasını azalttığını ve ölçülen kesme kuvvetlerini düşürdüğünü tespit etmiştir. Karbür takımlara kriyojenik işlemin uygulanması sonucunda karbür dağılımının homojen olarak dağıldığı sonucuna varmışlardır [70].

Çizelge 3.1. Kriyojenik işlem süreçleri [70].

Kriyojenik işlem şartları	Soğutma süresi (saat)	Uygulama süresi (saat)	Isıtma süresi (saat)	Temperleme süresi (saat)	Bekleme süresi (saat)	Soğutma süresi (saat)	Toplam işlem süresi
0,5 °C/dak	8	24	8	1	3	1	45
1 °C/dak	4	24	4	1	3	1	37
1 °C/dak	4	24	4	-	-	-	32

Thornton ve arkadaşları, AISI 1045 çeliğinin tornalanmasında derin kriyojenik işlemin (-180 °C) H13A tungsten karbür takımın yüzeyinin ve iç yapısının aşınma dayanımına etkisini araştırmışlardır. Takımları nitrojen atmosferinde kademeli olarak -180 °C'ye getirerek bu ısıda 24 saat bekletmişlerdir. Kriyojenik işlemin ardından oda sıcaklığına getirilen takımlar 180 °C'de 2 saat süre ile temperlemişlerdir. Tornalama işleminde işleme parametresi olarak kesme hızı (260, 470, 840 dev/dak) ilerleme oranı (0,2 mm/dev) ve kesme derinliğini (0,5 mm) kullanmışlardır. Kriyojenik işlem ile kobalt fazında meydana gelen değişiklik ile abrasif aşınma direncinde artış sağlandığını ancak tokluk değerinde bir miktar düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, H13A karbür takıma uygulanan kriyojenik işlem ile kesici takımın sertlik değerinde % 9,2 artış sağlamışlardır [83].

Gill ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, AISI M2 HSS takıma uyguladıkları kriyojenik işlemin takımın mekanik ve metalürjik karakteristiğine etkisini incelemişlerdir. Geleneksel su verilmiş ve temperlenmiş AISI M2 HSS takıma sıg (-110 °C/18 saat) ve derin (-196°C/38 saat) kriyojenik işlem uygulamışlardır. Kriyojenik işlemin ardından kesici takımlara 150 °C'de temperleme işlemi uygulamışlardır. Kriyojenik işlem sonucunda kesici takımın mikro yapısının martenzite dönüşümü tam olarak sağlayamadığı mikro yapısında küçük ikincil karbürlerin oluşumunun hızlandığı, karbürlerin hacim oranının arttırdığı ve karbür dağılımının homojenleştiği belirtilmiştir [30].

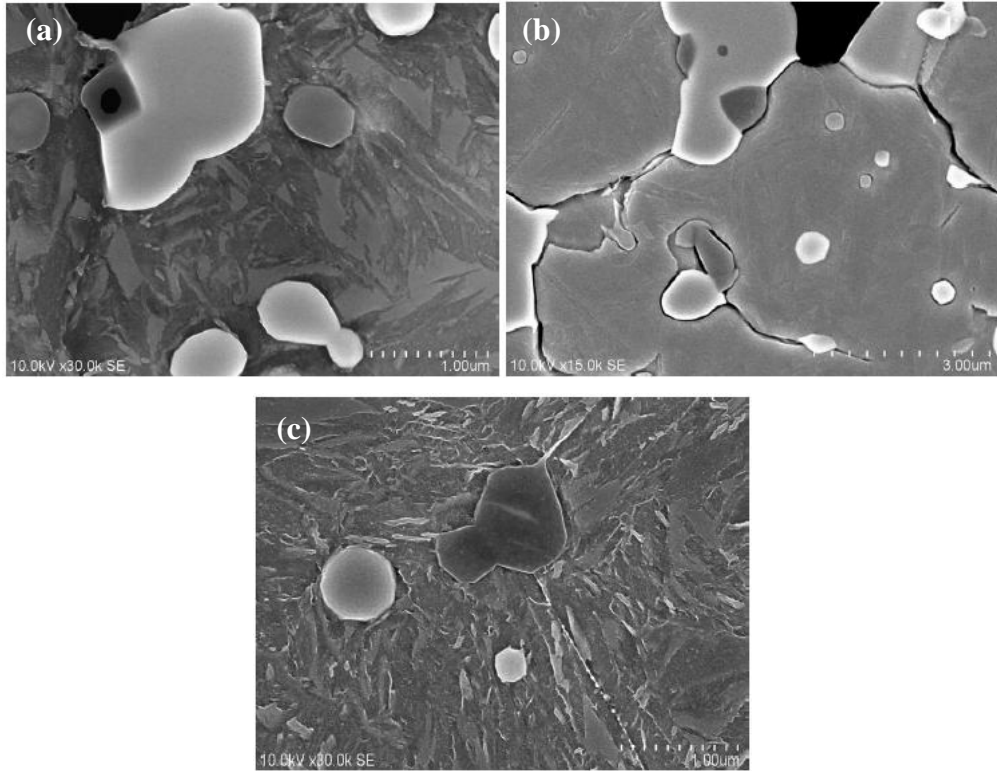
Priyadarshi ve arkadaşları, M2 ve S400 karbür takımlara derin kriyojenik işlem (-196°C) uygulayarak kriyojenik işlemin hafif çeliğin (Mild steel) tornalanmasında, takım aşınması, takım ömrü ve mikro yapılarına etkisini değerlendirmişlerdir. Kesici takımlara kriyojenik işlemi nitrojen ortamında 24 saat bekleterek uygulanmıştır. Kriyojenik işlem ile HSS takımda % 19,2 ve karbür takımda % 17,18 ömür atışı sağlamışlardır. Aşınma testi sonucunda kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda daha fazla ağırlık kaybı tespit etmişlerdir. Bu duruma takımların kriyojenik işlemden sonra gevrekleşmesine bağlamışlardır [2].

Kriyojenik işlemin ISO P40 kalite kaplamalı (TiN/TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) karbür takıma etkisini araştırmak için Reddy ve arkadaşları, takımları -176 °C’de 24 saat derin kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. Hızlı soğumadan kaynaklanabilecek çatlakları engellemek amacıyla dakikada 2 °C soğutarak kriyojenik ısıya ulaşmışlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların performanslarını AISI 1040 çeliğin tornalanmasında test etmişlerdir. Tornalama deneylerinde kesme derinliği (1 mm), ilerleme oranı (0,22 mm/dev) ve kesme hızı (200, 250, 300 ve 350 m/dak) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Tornalama deneylerinde sonucunda kesici takımlarda meydana gelen yanak aşınması, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlar ile % 11 daha düşük kesme kuvveti elde etmişlerdir. Ayrıca derin kriyojenik işlem uygulanmış takımlar sayesinde % 20 daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde etmişlerdir. Derin kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla kriyojenik işlem uygulanmamış takımlar ömür bakımından mukayese yapıldığında kriyojenik işlem uygulanmış takımın takım ömründe ise % 27’lik artış sağlandığı belirtilmiştir [3]. Shirbhate ve arkadaşları, M2 HSS matkaplara kriyojenik işlem uygulayarak kriyojenik işlemin uygulama ısısı ve uygulama sürelerinin takıma etkisini araştırmışlardır. Kesici takımlara uyguladıkları kriyojenik işlem süreci Çizelge 3.2’de verilmiştir. Kesici takımlara kriyojenik işlemi 1°C/dak soğuma ve ısıtma hızında uygulamışlardır. Kriyojenik işlemden sonra kesici takımlara 150 °C’ de 1 saat süre ile temperleme yapmışlardır. Delme işlemleri sonucunda elde ettikleri verilere göre yüzey pürüzlülüğü ve kesme torkunda kriyojenik işlemin -185 °C uygulama ısısını etkili parametre olarak tespit etmişlerdir. -185 °C ve 24 saat bekleme süresi ile uygulanan kriyojenik işleme bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün % 35 oranında düşük elde ettikleri belirtilmiştir [9].

Çizelge 3.2. M2 HSS matkaplara uygulanan kriyojenik işlem süreçleri [9].

İşlem	Uygulama süresi (saat)	Uygulama ısısı (°C)
A	İşlem uygulanmamış	İşlem uygulanmamış
B	8	-90
C	16	-90
D	24	-90
E	8	-185
F	16	-185
G	24	-185

Jeleńkowski ve arkadaşları, kesici takım malzemesi olarak kullanılan HS6-5-2 yüksek hız çeliğine derin kriyojenik işlem uygulayarak kriyojenik işlem sonucunda kesici takımın mikro yapı değişikliklerini incelemişlerdir. Geleneksel ısıl işlem uygulanmış numuneleri A grubu, kriyojenik işlem uygulanmış takımları (-180 °C/24 saat) B grubu, uygulanan kriyojenik işlemin ardından 550 °C, 2 saat temperleme işlemi uygulanan numuneleri ise C grubu olarak gruplandırılmışlardır. Elde edilen kesici takım numunelerine ait mikro yapı görüntüleri Şekil 3.7’de verilmiştir. A ve C numunelerinde benzer şekilde martenzit yapı gözlemlendiği kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde kriyojenik işleme bağlı olarak karbür dağılımının küçük boyutlarda olduğu belirtilmiştir [12].



Şekil 3.7. HS6-5-2 yüksek hız çeliğine uygulanan farklı ısıl işlemlerin; a) A grubu, b) B grubu, c) C grubu numunelerin mikro yapı görüntüleri [12].

Kalsi ve arkadaşları, karbür takıma uygulanan kriyojenik işlemde (-196 °C/24) sonra yapılan temperleme sayısının kesici takımın performansına etkisini araştırmışlardır. Kriyojenik işlemde sonra kesici takımlara uygulanan temperlemeye bağlı olarak takımların mikro sertlikleri ve mikro yapılarını incelemişlerdir. Kesici

takımlara uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme işleminin kesici takım performanslarına etkisini AISI 1040 çeliğin tornalama işlemi ile test etmişlerdir. Tornalama işleminde parametre olarak kesme hızı (42,2- 87,18 ve 124,17 m/dak), ilerleme oranı (0,04- 0,057 ve 0,08 mm/dev) ve kesme derinliği (0,75 mm) olarak belirlemişlerdir. Kriyojenik işlem sonucu takımlarda ince ve homojen karbür dağılımı ve kobalt bağlayıcılarındaki yoğunlaşma oluştuğunu tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlem sonrası kesici takımların aşınma direnci ve mikro sertliklerinde artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Kriyojenik işlem ardından uygulanan temperleme döngü sayısının artmasıyla sertlik değerinin düştüğü, düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinde daha iyi sonuçları elde edildiği belirtilmiştir [14].

Ranji ve arkadaşları, gri dökme demirin HSS matkap ile delinmesine kriyojenik işlemin kesici takımların performansına etkisini araştırmışlardır. Delme işleminde kesme hızı (560, 710, 900, 1120 dev/dak) ve ilerleme oranı (0,05- 0,08- 0,12- 0,19 mm/dev) değerlerinde kullanmışlardır. HSS matkaplara derin kriyojenik işlem (-178,9 °C/24 saat) uygulamışlardır. Kriyojenik soğutma ve ısıtma işlemini 5'er saatte yapmışlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla işlem uygulanmamış takımlar kıyaslandığında kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla daha düşük kesme kuvveti, torku ve daha iyi yüzey pürüzlülüğüne elde edildiği belirtilmiştir [84].

Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle ilgili yapılmış olan çalışmalarda kullanılan kriyojenik işlem uygulama ısısı, süresi, temperleme işlemi ve işlem sonrasında elde edilen sonuçları içeren kriyojenik işlem özeti Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Çizelge 3.3. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla ilgili literatür özet tablosu.

No	Araştırmacılar	İşlem türü	İşlenen Numune	Kriyojenik işlem ısıları (°C)	Kriyojenik işlem süresi (saat)	Temperleme	Uygulanan takımlar	Sonuçlar
1	Firouzdor ve arkadaşları [19]	Delme	CK40	-196	24	200 °C/ 1 s	HSS takım	Takım ömrü % 77, kriyojenik + temper % 126 artışı, östenitten martenzite geçiş, ince ve homojen karbür dağılımı
2	Thakur ve arkadaşları [20]	Mikro-yapı	Sementit tungsten karbür	-196	24	-	Tungsten karbür (WC)	Aşınma direnci artışı, kobalt yoğunlaşması, homojen karbür dağılımı, karmaşık faz oluşumu ile sertlik artışı
3	Reddy ve arkadaşları [21]	Tornalam a	C45	-176	24	-	CVD (TiCN, TiN)	Düşük aşınma, düşük kesme kuvveti, daha iyi pürüzlülük
4	Thornton ve ark. [83]	Tornalam a	AISI 1045	-180	24	180	H13A	Sertlik artışı (% 9,2) ve aşınma direncinde artış
5	Gill ve arkadaşları [30]	Mekanik test	-	-110, -196	38	150x2adet	AISI M2 (HSS)	Mekanik özelliklerin gelişmesi (aşınma, sertlik ve mikro yapı)
6	Gill ve arkadaşları [7]	Tornalam a	C-60	-196	24	196	Tungsten karbür (WC)	Soğutma şartlarında kesintili işlemede takım ömründe artış
7	Priyadarshini [2]	Tornalam a, Sliding test	Mild steel	-196	24	-	M2, S400	M2 takımında % 19, karbür takımında % 17 ömür artışı
8	Reddy ve ark [3]	Tornalam a	AISI 1040	-176	24	-	ISO P-40	Kesme kuvvetinde % 11'lik azalma, yüzey pürüzlülüğünde % 20 iyileşme
9	Singh ve arkadaşları [23]	Tornalam a	SAE-1020	-196	20, 60	-	HSS (T42), S 500	İyi pürüzlülük, mikro yapı homojen dağıldı, uç bozulması azaldı, daha düşük ağırlık kaybı sağlandı.

Çizelge 3.3. (devam ediyor).

10	Silva ve arkadaşları [79]	Delme	Çelik	-196	20	196/ 3 kez	M2 HSS	Performans artışı, Delme koşullarına bağlı olarak % 65 ile % 343 daha uzun takım ömrü
11	Thamizhmanii ve arkadaşları [82]	Frezeleme	Inconel 718	-196	20	-	PVD kaplamalı takım	Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranında iyi yüzey pürüzlülüğü
12	Yong ve arkadaşları [81]	Frezeleme	ASSAB 760	-150	24	-	Karbür takım	% 38,6 takım ömrü artışı
13	Ramji ve arkadaşları [6]	Delme	Gri dökme	-178,9	24	-	HSS	Kesme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşme
14	Shirbhate ve arkadaşları [9]	Delme	M.S plate	-90, -195	8, 16, 24	150	AISI M2	Yaklaşık % 10 kesme torkunda azalma, Ra değerinde % 35 iyileşme (-185°C - 24h),
15	Jeleńkowski [12]	Metalurji kanaliz	-	-180	24	180	HS6-5-2	Martenzit yapıda incelme, sertlik ve aşınma direncinde artış
16	Kalsi ve ark [14]	Metalurji kanaliz	-	-30, -196	24	200x3 adet	Tungsten karbür	Homojen ve ince yapı oluşumu Kobalt bağlayıcıda yoğunlaşma ve homojen dağılım Daha iyi aşınma direnci için sıkı bir karbür dağılımı
17	Ramji ve arkadaşları [18]	Delme	Gri dökme	-178,9	24	178	Karbür matkap	Kesme kuvvetinde düşüş, yüzey pürüzlülüğünde iyileşme, takım aşınmasında düşüş
18	Singh ve ark [24]	Tornalama	AISI/SA E-1020	-110, -184	10,18	150	T-42, S-400	Takım aşınmasında ve mikro yapıda iyileşme
19	Çiçek ve arkadaşları [25]	Tornalama	AISI H13	-145	24	565	Seramik uç	Düşük aşınma ve yüzey pürüzlük (Ra) değeri
20	Candane ve ark [58]	Aşınma Testi	-	-195	24	200	AISI T42	Sertlik ve aşınma direncinde artış

Çizelge 3.3. (devam ediyor).

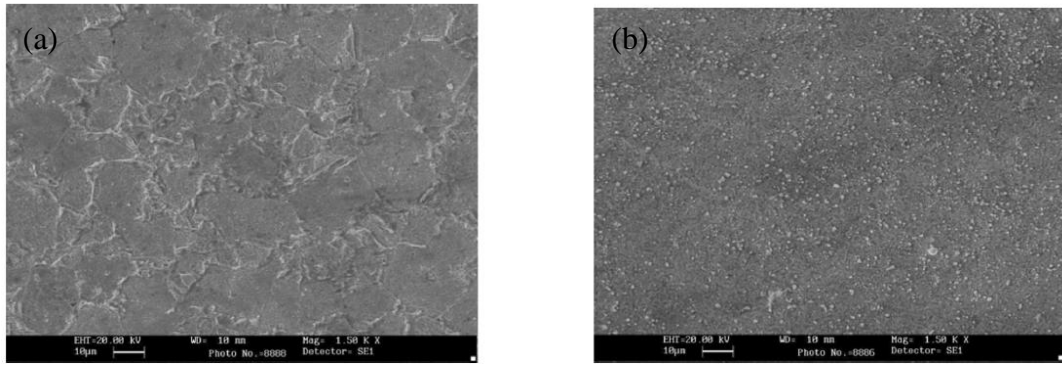
21	Çiçek arkadaşları [60]	ve	Delme	AISI 304 ve 316	-196	24	-	M35 HSS	Homojen karbür dağılımı ve yoğunluğu, östenitin martenzite dönüşüm, daha iyi kesme kuvveti, takım ömrü, takım aşınması, % 32 takım ömür artışı
22	Candane ark. [68]	ve	Aşınma Testi	-	-84, -195	8, 24	200	AISI M35	İnce karbür oluşumu (0,3-0,5µ),
23	Candane [69]		Aşınma Testi	-	-196	24	200x2adet	AISI T42	Sertlik ve aşınma direncinde artış
24	Lal arkadaşları [29]	ve	Yanak aşınması	-	-140, -180	6, 24	-	M2, T1, D3 (TiN kaplamalı)	% 110 takım ömür artışı
25	Dogra arkadaşları [73]	ve	Tornalam a	AISI H11	-196	24	Uygulandı	Kaplamalı takım (TiCN, TiN)	CBN takımların birçok özellik bakımından PCBN takımla kıyaslanabilir olduğu, işleme esnasında düşük mikro sertlik değişimi,
26	Yong arkadaşları [63]	ve	Tornalam a	ASSAB 760	-184	18	Uygulandı	Karbür takım	Çentiklenme ve yanak aşınmasında azalma, düşük işleme hızlarında yüksek performans artışı
27	Poomari arkadaşları [64]	ve	Tornalam a	AISI 4340	-195	18	-	PVD kaplı TiAlN	Takım ömründe artış, kesme hızı arttıkça takım ömründe azalma
28	Ramji arkadaşları [84]	ve ark	Delme	Gray Cast Iron	-178,9	24	-	HSS	Düşük kesme kuvveti, tork ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü (Ra)

### 3.2. MALZEME ÜZERİNE UYGULANAN KRIYOJENİK İŞLEMLERLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

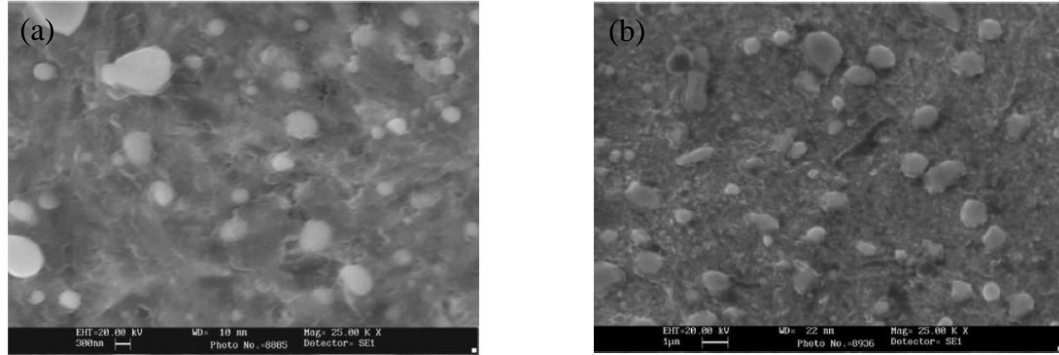
Xuan ve arkadaşları, 30Cr2Ni4MoV rotor çeliğine geleneksel ısıl işlem, kriyojenik işlem ve lazer yüzey eritme olmak üzere üç farklı ısıl işlemin etkisini ortaya koymak amacıyla malzemelere ısıl işlemler uygulamışlardır. Numunelerin korozyon direncini test etmek için gerilmeli korozyon testi kullanmışlardır. Düşük buhar basınçlı rotor türbine 850 °C/12 saat ısıl işlem, 620 °C/17 saat su verme işlemi, 560 °C/14 saat gerilim giderme (temperleme) işlemi uygulamışlardır. Numuneyi kriyojenik işlem için -196 °C'deki sıvı nitrojen dolu kaba daldırılarak 24 saat bekletmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış numuneler 200 °C'de 2 saat temperlenmiştir. Diğer numunelere ise 7 kW çok fonksiyonlu CO<sub>2</sub> lazer tarama oranı 1 m/dak olan yüzey işlemi uygulamışlardır. Uygulanan ısıl işlem sonuçlarına göre geleneksel ısıl işlem yönteminin, numunelerin akma dayanımı arttırdığını, korozyon kırılma direncini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Uygulanan derin kriyojenik işlem ile numunelerde sınırlı karbon çökeli ve östenit dönüşümü nedeniyle numunenin korozyon direnci üzerinde belirgin bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir [78].

Vimal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, En 31 çeliğine farklı şekillerde ısıl işlem ve derin kriyojenik işlem uygulamışlardır. Farklı ısıl işlem uygulanmış numunelerle derin kriyojenik işlemin mikro yapıları ve aşınma dirençlerini karşılaştırmışlardır. Kriyojenik işlem uygulamak için 5 mm çapında 30 mm boyunda numuneler kullanmışlardır. Isıl işlem için numuneleri gruplara ayırmışlardır. Araştırmacılar Grup A numunelerine temperleme işleminin ardından su verme işlemi uygulayarak Grup B numuneler -183 °C ye 3 saatte getirerek 24 saat süre bekletip ve ardından temperlemeye tabi tutulmuş Grup C numuneler, geleneksel su verme işleminin ardından temperlenmiş ve kriyojenik işlem uygulanmıştır. Grup D'de ise Grup C ye ek olarak temperleme işlemi uygulamışlardır. Isıl işlemlerden sonra Grup A,B,C,D numunelerine ait mikro yapı görüntüleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre farklı servis şartlarında uygulanan derin kriyojenik işlemin numunenin aşınma oranını % 75 oranında azalttığı sonucuna varmışlardır. Kriyojenik işleminden maksimum fayda elde etmek ve gerilmeleri gidermek için kriyojenik işlemi takiben temperleme işlemini önermişlerdir. Grup B'deki numunelerde yüksek aşınma

direnci elde etmişlerdir. Bu durumu, uygulanan derin kriyojenik işlem sayesinde östenit yapıdan martenzite dönüşen mikro yapı sayesinde karbür dağılımı ve miktarının düzenlenmesiyle açıklamışlardır. Grup C numunelerinde oluşan martenzit yapıyla sertliğin artması sonucunda Grup C'nin aşınma direnci Grup A'ya göre sıra dışı bir şekilde yükseldiği belirtilmiştir. Grup D numunelerinin Grup A ve C'ye göre daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu ve bu sonuca karbür çökmesinin neden olduğunu belirtmişlerdir [85].



Şekil 3.8. Geleneksel ısı işlem ile kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri, a) Grup A, b) Grup B [85].



Şekil 3.9. Kriyojenik işlem uygulanmış numune ve kriyojenik işlem ardından temperleme uygulanmış numunelere ait mikro yapı görüntüleri, a) Grup C, b) Grup D [85].

AISI 302 östenitik paslanmaz çeliğin yorulma ve korozyon direnci, sertlik ve çözünebilir malzeme koşulları performansını araştırmak amacıyla Baldissera ve arkadaşları tarafından AISI 302 paslanmaz çeliğe derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Bir grup numuneye geleneksel ısı işlem diğer gruba ise derin

kriyojenik işlem uygulamışlardır. Derin kriyojenik işlem için numuneleri -185 °C'de 24 ve 9 saat bekletip yine -130 °C'de 24 ve 9 saat bekletmişlerdir. Numunelere yorulma ve korozyon testi uygulamışlardır. Farklı seviyelerde yapılmış istatistikler sonuçlarda derin kriyojenik işlemin AISI 302 malzemenin yorulma davranışı üzerinde önemli etkisini tespit etmişlerdir. Fakat bu çalışmada, kriyojenik işlemin numunelerin sertliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca AISI 302 çeliğe uzun süreli kriyojenik işleme gerek olmadığını 9 saat kriyojenik işlem uygulamanın yeterli olduğunu bildirmişlerdir [74].

AISI T42 takım çeliğine uygulanan derin kriyojenik işlemin çeliğin mikro yapısına etkisini araştırmak için Gogte ve arkadaşları AISI T42 numuneyi 450 °C ve 850 °C'de ön ısıtma ile sertleştirmişlerdir. Daha sonra numuneleri 1230 °C'de temperledikten sonra 500 °C tuzlu suda söndürüp ardından 70 °C yağda soğutmuşlardır. Üçüncü temperleme işlemi 560 °C'de yapılmış ve hemen ardından 2 saat tuzlu su banyosu yaptırmışlardır. Numunelere kriyojenik işlemi -185 °C'de 8, 16 ve 24 saat sürelerde uygulamışlardır. SEM ile elde edilen görüntüler incelenerek numunenin kriyojenik işlemin ilk 8 saati içinde mikro yapısında değişiklikler olduğunu tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlem ile karbür morfolojisindeki değişimleri erime ve çökme ile iç içe geçme sonucunda meydana geldiğini açıklamışlardır [86].

Dhokey ve arkadaşları, D-3 takım çeliğinin kriyojenik işleminden sonra yapılan farklı temperleme koşullarının pin-on disk ile aşınma direncini değerlendirmişlerdir. Takım çeliğine geleneksel su verme işlemini 950 °C'de, temperleme işlemini 150 °C'de kriyojenik işlemi ise -195 °C'de uygulamışlardır. D-3 takım çeliğinin aşınma direncinin altında yatan metalürjik mekanizmaları tespit etmek amacıyla numunenin sertlik, mikro yapı, aşınma kaybı ve SEM analizlerini incelemişlerdir. Isıl işlem uygulanmış numuneler; sertleştirilmiş ve 275 °C temperlenmiş numuneleri (HT), sertleştirilmiş ve -185 °C'de kriyojenik işlem uygulanmış numuneleri (HC), -185 °C'de kriyojenik işlem gördükten sonra 150°C'de tek temperlenmiş numuneleri (HCT), çift temperlenmiş numuneleri (HCTT), üç temperleme uygulanmış numuneleri ise (HCTTT) olarak adlandırmışlardır. Numunelere temperleme işlemini 2 saat, kriyojenik işlemleri ise 8 saat uygulamışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda HT ve HCT numunelerinin ikisinin de sertliklerinde azalma tespit

etmişler. HT deney numunesinde % 93 oranda aşınmanın azaldığı belirtilmiştir. HT ve HCT numunelerin sertlik ve aşınma oranlarının aynı olması karbür boyutunun ve dağılımının aynı olmasının güçlü bir göstergesi olarak açıklamışlardır [87].

Kriyojenik işlemin sementasyon (En 353) çeliğinin artık gerilme dağılımı üzerine etkisini belirlemek için Bensely ve arkadaşları, X-Ray kırınımı tekniği kullanarak malzemelerin değişen özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla, deneylerde geleneksel ısıl işleme ek olarak sıg kriyojenik işlem (-80 °C/24 saat) ve derin kriyojenik işlem (-196 °C/3saat) uygulamışlardır. Yapılan geleneksel ısıl işlem, sıg ve derin kriyojenik işlemde östenit miktarını sırasıyla % 28, % 22 ve % 14 bulmuşlardır. Numunelere geleneksel ısıl işlem, sıg ve derin kriyojenik işlem ve temperleme işlemi yapılmadan ölçülen yüzey gerilmelerini -125MPa, -115MPa ve -235MPa olarak ölçmüşler. Temperleme işleminden sonra ise yüzey gerilmelerini sırasıyla -150MPa, -80MPa ve -80MPa olarak ölçmüşler. Deneysel çalışmalarında derin kriyojenik işlem uygulanmış çeliği temperlediklerinde baskı kalıntı gerilmede düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir [88].

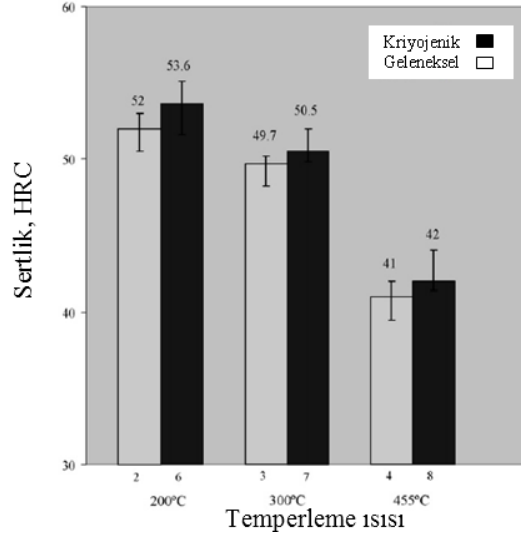
Kriyojenik işlemin 14CrZMnZV yüksek kromlu dökme demirin mikro yapısına, sertliğine ve aşınma direncine etkisini değerlendirmek için Liu ve arkadaşları, malzemeyi -196 °C'de 3 saat bekleterek kriyojenik ısıl işlem uygulamışlardır. Sonuçlar kritik altı işlemde sonra uygulanan kriyojenik işlemin bol miktarda kalıntı östenitin martenzite ve hassas ikincil karbür çökmesi ile malzemenin sertliğini ve aşınma direncini arttırdığını, kriyojenik işlemin östenit yapısını azalttığı, fakat yapının tamamen martenzit yapıya dönüşmediğini tespit etmişlerdir [89].

Karbürüze çelik 815M17'in gerilme davranışı üzerinde kriyojenik işlemin etkisi Bensely ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır. Araştırmacılar, derin kriyojenik işlem (DCT), sıg kriyojenik işlem (SCT) ve geleneksel ısıl işlemin (CHT) numunenin gerilme davranışına etkisini incelemişlerdir. Numunelere, sıg kriyojenik işlem, geleneksel ısıl işlemin ardından -80 °C'de 5 saat bekleterek uygulamışlardır. Bu işlemin ardından SCT numunelere 150 °C'de 1,5 saat temperleme yapmışlardır. DCT numuneleri ise geleneksel ısıl işlemin ardından hemen -196 °C'de 24 saat

bekletip daha sonra 150 °C'de 1,5 saatte temperlenmiş. Geleneksel ısıl işlemin bir uzantısı olan kriyojenik işlem ile %100 martenzit yapı elde etmenin mümkün olduğu sonucuna varmışlardır. Elde ettikleri sonuçları karşılaştırdıklarında gerilmeler DCT ve SCT numunelerde CHT numunelere göre daha düşük çıktığını tespit etmişlerdir. Çatlak yüzeyler için yapılan SEM analizleri, çukurların ve kırık yüzeylerin varlığının SCT numunede DCT ve CHT numuneye oranla daha yaygın olduğunu belirlemişlerdir [90].

Zhirafar ve arkadaşları, AISI 4340 çeliğinin mekanik özellikleri ve mikro yapısına kriyojenik işlemin etkisini araştırmışlardır. Kriyojenik işlemin etkisinin saptamak için mekanik test olarak döndürme yorgunluğu ve sertlik ölçümleri yapmışlardır. Numuneler, yağda su verme işleminden sonra argon atmosferli boru fırın içinde 850 °C'de 15 dak bekletilerek sertleştirilmiştir. Temperleme işlemi ile aynı argon atmosferini koruyarak 2 saat boyunca 200, 300 ve 450 °C'de temperlemişlerdir. Kriyojenik işlemi (DCT) daha önceden su verilmiş numunelerin -196 °C'de 24 saat bekletilmesiyle oluşturmuşlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış numuneleri geleneksel ısıl işlemlerle karşılaştırdıklarında DCT numunelerde diğer numunelere göre sertliğin ve yorulma dayanımının arttığını, tokluğun azaldığını gözlemlemişlerdir. Isıl işlemlerden sonra farklı ısılardaki sertlik değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Kriyojenik işlem sayesinde nötron kırınımlı mikro yapının, temperlemeden sonra oluşan karbürler ile östenitten martenzite dönüştüğünü tespit etmişler [91].





Şekil 3.10. AISI 4340 çeliğin geleneksel ısıtım işlem ve kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperlemenin numunelerin sertlik değişimine etkisi [91].

Molinari ve arkadaşları, derin kriyojenik işlemin AISI M2 ve AISI H13 takım çeliğinin mekanik özelliklerine etkisini ortaya koymak için numunelere derin kriyojenik işlem (-196 °C) uygulamışlardır. Derin kriyojenik işlemde önce numunelere geleneksel su verme işlemi uygulanmış, temperleme yapılmış, sonrasında derin kriyojenik işlem ve tekrar temperleme işlemleri uygulanmıştır. Kriyojenik işlem, su verme ve temperleme işlemlerinin HSS takımların sertliğini ve sertliğin homojenliğini arttırdığını, takım ömrünün arttığını böylece takım maliyetini % 50 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlem sonucunda AISI M2 çeliğinin sertliğinin ve aşınma direncinin arttığını, AISI H13 çeliğinin aşınma direncinin artmasıyla da numunelerin tokluğunun artması arasında ilişki olduğunu belirtmişlerdir [92].

Preciado ve arkadaşları kriyojenik işlemin dişlilerin yapımında kullanılan karbürüzyon çeliklerin aşınma direncine ve sertliklerine etkisini araştırmışlardır. Numunelere 920 °C'de karbürüzyon, 820 °C'de su verme işlemi 160, 170 ve 200 °C'de ise temperleme işlemi uygulamışlardır. Su verme ve temperleme işlemini (QT), temperleme ve kriyojenik işlemi (QTC) olarak adlandırmışlardır. Kriyojenik işlem -190 °C'de 22 saat bekleterek uygulamışlardır. Numunelere kriyojenik işlem uygulanmadan önce kalıntı östenitin etkisini önlemek ve bu uygulamanın etkilerini kullanabilmek için sabitleştirme işlemi yapmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre

numunelere uyguladıkları su verme ve birinci kademe temperleme işleminden sonra kriyojenik işlemin numunelerin aşınma direncini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Fakat numunelerin sertliği sadece 200 °C’de yapılan temperleme işleminden sonra arttırdığını bildirmişlerdir. En iyi aşınma direncini 160 °C temperleme işleminden sonra uygulanan kriyojenik işlemlerle elde etmişlerdir. Numunelerdeki aşınma direncinin artmasını karbür atomlarının kriyojenik işlem boyunca kalıntı östenitin gerilim-indüklenme martenzite dönüşmesi ile açıklamışlardır [93].

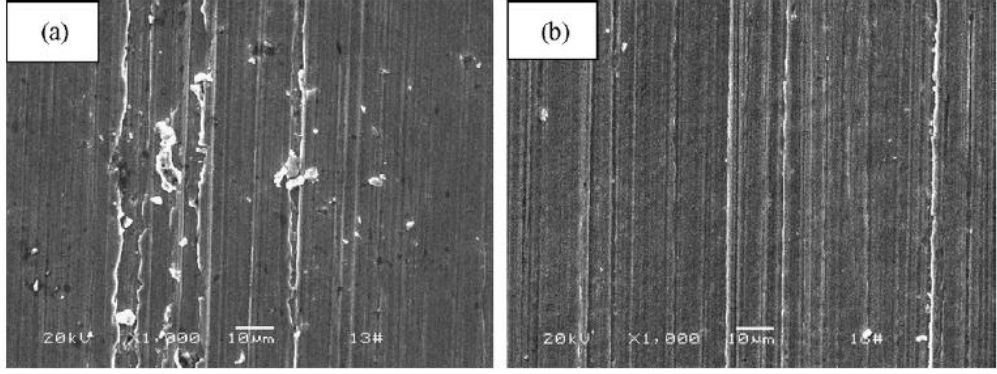
Bensely ve arkadaşları, karbürüze En 353 çeliğe kriyojenik işlem uygulayarak kriyojenik işlemin aşınma direncine etkisini araştırmışlardır. Numunelere 820 °C sertleştirme işlemi uyguladıktan sonra 910 °C’de karbürüzasyon işlemi yapmışlardır. Numunelere 40 °C’de yağda su verme işlemi ve 150 °C’de temperleme işlemi uygulamışlardır. Yağlamasız şartlarda pin-on disk ile aşınma testleri yapmışlardır. Numunelere geleneksel ısıtma işlemi (CHT), sığ kriyojenik işlem (SCT) ve derin kriyojenik işlem (DCT) uygulamışlardır. Numunelere kriyojenik işlemler (SHT) -80 °C/5 saat, (CHT) -196 °C/24 saat bekleterek yapmışlardır. SCT ve DCT uygulanmış numunelerin sayesinde numuneler CHT numunelere göre daha yüksek aşınma direncine ulaştıkları sonucuna varmışlardır. SCT ve DCT numunelerinin CHT numunelere göre aşınma direncinde sırasıyla % 85 ve %3 72 artış sağladığını tespit etmişlerdir. DCT numunenin aşınma direncini SCT numuneye göre % 152 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. DCT ve SCT numunelerin sertliklerini ise aynı ölçmüşlerdir. Aynı sertliğe sahip DCT numunelerinin aşınma direncinin SCT numunelerinde yüksek çıkmasını ise DCT numunelerdeki karbür çökmesi, mikro yapısındaki homojen ve ince karbür dağılımı ile açıklamışlardır [94].

Kriyojenik işlemin D6 takım çeliğinin aşınma direncine etkisini belirlemek için Akhbarizadeh ve arkadaşları, numunelere sığ kriyojenik işlem (-63 °C) ve derin kriyojenik işlem (-185 °C/20 ve 40 saat) uygulamışlardır. Aşınma deneylerinde pin-on diske 120 N ve 160 N yük uygulanarak, üç farklı hızda (0,05- 0,1 ve 0,2 m/san) uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar kriyojenik işlemin D6 çeliğin yapısındaki kalıntı östeniti azalttığı, sertlik ve aşınma direncini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Kriyojenik işlem ile homojen karbür dağılımı sayesinde kalıntı östenitin giderildiği belirtilmiştir. Ayrıca derin kriyojenik işlemin numunelerin sertlik ve aşınma direncini

sıg kriyojenik işleme göre daha fazla arttırdığını numunenin daha uzun süre kriyojenik ortamda bekletilmesiyle daha fazla kalıntı östenitten martenzite dönüşmesi sayesinde aşınma direnci ve sertlikte artışlar sağlandığı belirtilmiştir [95].

Baldissera ve arkadaşları, kriyojenik işlemin karbürüze dişli çeliğinin (18NiCrMo5) mekanik özelliklerini araştırmak için sertlik ölçümleri ve gerilme testleri yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada mekanik özellikleri iyileştirmek için geleneksel ısı işlemin ardından farklı şekilde kriyojenik işlem ve temperleme uygulamışlardır. Kriyojenik işlemi numunelere -185 °C'de 1 saat ve 24 saat bekleterek, temperleme işlemini ise 180 °C' de uygulamışlardır. Temperleme öncesinde yapılan kriyojenik işlemin bekletme süresinin numunelere etkilerini de değerlendirmişlerdir. Uygulanan kriyojenik işlemden sonra numunelerde kayda değer bir sertlik artışı (0,6 HRC'den 2,4 HRC'ye) sağlamışlardır. Numunelerin gerilme direncinde ise % 11'lik artış sağlandığını tespit etmişlerdir [76].

Wang ve arkadaşları, derin kriyojenik işlemin 16Cr1Mo1Cu dökme demirin mikro yapısına sertliğine abrasive aşınma direncine etkisini belirlemek için yapmış oldukları çalışmada, bir grup numuneler kriyojenik işlemden sonra temperlenmiş ve hava ortamında oda sıcaklığına getirmiştir. bir grubu ise direk sıvı azot (-196 °C) içerisine daldırarak 3 saat bekletmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre kriyojenik işlemin kalıntı östeniti azalttığını belirtmişlerdir. İki farklı ısı işleminden sonra elde ettikleri numunelere ait mikro yapılar Şekil 3.11'de verilmiştir. Kriyojenik işlemden sonra kalıntı östenitin martenzite tamamen dönüşmediğini gözlemlemişlerdir. Kriyojenik işlemden sonra uyguladıkları temperleme işleminin krom dökme demirin abrasive aşınma direncini ve hacim sertliğini önemli derecede arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Temperlemeden sonra uygulanan kriyojenik işlem, havada soğutma işlemine göre hacim sertliğini ve abrasive aşınma direncini daha fazla arttırdığını belirlemişlerdir [96].



Şekil 3.11. 16Cr1Mo1Cu dökme demire uygulanan a) hava soğutma ve b) kriyojenik soğutma işleminin numunelerin mikro yapılarına etkisi [96].

Bensely ve arkadaşları, Kron tekeri ve pinyon dişli gibi iletme elemanlarında kullanılan karbürüze çeliğin yorulma ve çatlama davranışlarını irdelemek için yaptıkları araştırmada, En 353 numunenin yorulma dayanımını arttırmak için üç farklı ısıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Yapılan bu ısıl işlemleri sırasıyla; geleneksel ısıl işlem (CHT), sığ kriyojenik işlem (SCT) ve derin kriyojenik işlem (DCT) olarak adlandırmışlardır. Sığ kriyojenik işlem (SCT)  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, derin kriyojenik işlemi ise çeliğe  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat uygulamışlardır. Kriyojenik işlemin ardından numunelere  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de temperleme yapmışlardır. Numunelerin karbürüzasyonunu erimiş sodyum siyanür tuz banyosunda gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem karbürüze çeliğin yorulma ömrünü, geleneksel ısıl işleme göre sırasıyla % 71 ve % 26 oranında arttırdığı sonucuna varmışlardır [97].

Baldissera, geleneksel karbürüzasyon işleminden sonra gerçekleştirilecek olan farklı derin kriyojenik işlem (DCT) ve temperleme işleminin 18NiCrMo5 çeliğinin mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. İki farklı bekletme süresinin DCT'den önce uygulanmış temperleme, işleminin etkilerini incelemiştir. Sertleştirme işleminden sonra bir gruba temperleme, diğer gruba temperlemeden sonra DCT uygulamıştır. Diğer bir gruba ise DCT uygulandıktan sonra temperleme yapmıştır. DCT işlemini numunelere  $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1ve 24 saat süreyle uygulamıştır. Ardından temperleme işlemini ise  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saatte yapmıştır. Yaptığı kriyojenik işlemin numunelerin yorulma dayanımına önemli bir etkisinin olduğunu belirtmiştir. DCT'den sonra uygulanan temperleme işleminin numunenin yorulma gerilesini % 50

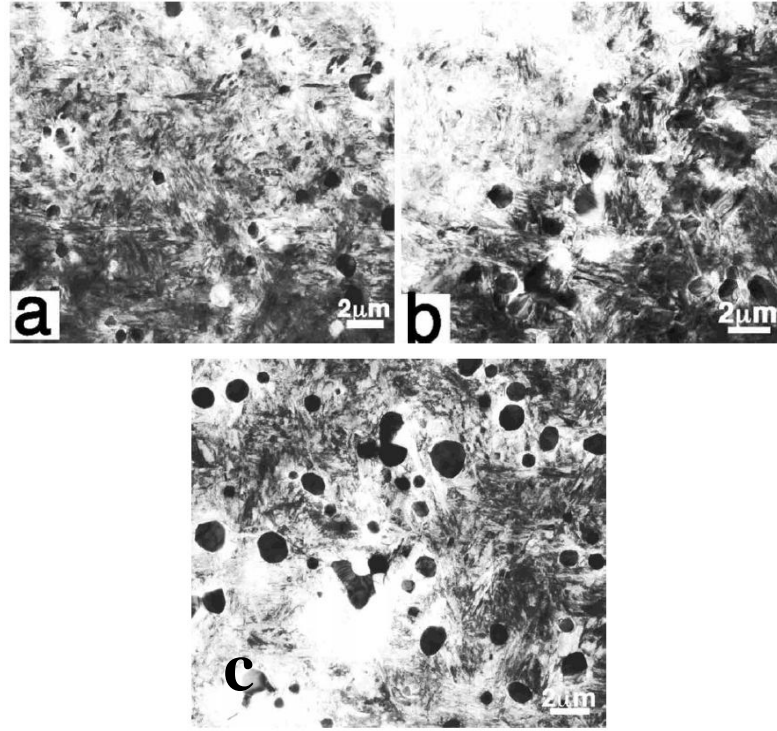
oranında düşürdüğünü tespit etmiştir. Temperlemeden sonra uygulanan DCT işleminin ise numunenin yorulma gerilemesine önemli bir etkisi bulunmadığı sonucuna varmıştır [98].

Leskovsek ve arkadaşları, ESR AISI M2 yüksek hız çeliğine uygulanan vakum ısıtılma işlemle kriyojenik işlemin (-196 °C) aşınma davranışlarına etkisini karşılatırmışlardır. Aynı sıcaklıklarda östenitlenmiş M2 numuneleri 4 farklı ısıda temperleyerek en iyi Rockwell-C sertliği ve kırılma tokluğunu ulaşmayı amaçlamışlardır. Malzemeye yatay vakum ocağında sabit yüksek basınçlı sertleştirme işlemini 5 bar basınçla uygulamışlardır. Sertleştirme işleminden sonra numuneler östenit sıcaklığı olan 1230 °C' ye kadar ısıtarak 2 saat bekletmişlerdir. 25 °C' de gaz sertleştirme yaptıkları numuneye -196 °C'de 1 saat kriyojenik işlem uygulamışlardır. Derin kriyojenik işlemin ardından numunelere ayrı ayrı 500, 540 550 ve 600 °C'de temperleme uygulamışlardır. Farklı sıcaklıklarda uygulanan ısıtılma işlem ve kriyojenik işlem kombinasyonlarında farklı kırılma tokluğu ve aşınma direnci değerlerini tespit etmişlerdir. Genel olarak elde ettikleri sonuçları incelediklerinde derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin vakum ısıtılma işlem uygulanmış numunelere göre daha iyi aşınma direncine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Temperleme işleminin aşınma direncini arttırdığını belirtmişlerdir [99].

Kriyojenik işlemin En 19 çeliğinin aşınma direncine etkisini araştırmak için Kumar ve arkadaşları, geleneksel ısıtılma işlem (CHT), sıg kriyojenik işlem (SCT, -80 °Cx24 saat) ve derin kriyojenik işlem (DCT, -196 °Cx24 saat) uygulanmış numuneleri kuru kaydırma aşınma testine tabi tutmuşlardır. Geleneksel ısıtılma işlem (875 °C) testleri sonucunda numunelerin mikro yapılarını SEM ile görüntülemişlerdir. SCT ve DCT numunelerinin aşınma dirençlerini CHT ile karşılaştırdıklarında SCT ve DCT numunelerin daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. X-ray kırınım modeli ile kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ile numunelerin aşınma direncinin arttırdığını bulmuşlardır. SCT ve DCT numunelerin aşınma dirençleri ile CHT numunelerinin aşınma direnci karşılaştırıldığında sırasıyla CHT'nin aşınma direncine göre sırasıyla % 118,38 ile % 214,94 oranında artmıştır [100].

Sıg kriyojenik işlem (SCT) ve derin kriyojenik işlemin (DCT) Harish ve arkadaşları, En 31 rulman çeliğinin mikro yapısına etkisini araştırmak için numuneleri 820 °C ısıtılıp 60 dak beklettikten sonra yağın içerisinde soğutmuşlardır. Daha sonra numunelere SCT (-80 °C) ve DCT (-196 °C) olmak üzere iki tür kriyojenik işlemi 24 saat süreyle uygulamışlardır. Daha sonra tüm numuneleri kriyojenik işlemden sonra 150 °C'de 1,5 saat süreyle temperlenme işlemine tabi tutmuşlardır. Kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin sertlikleri geleneksel ısıl işlem uygulanmış numunelere göre daha yüksek çıktığını bulmuşlardır. SCT ve DCT işleminden sonra numunelerin sertlikleri % 13 ve % 14 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış numunenin kırılma analizi sonuçlarını SEM ile incelemişlerdir. Sonuçlarda DCT numunede görülen kırık yüzeydeki çukurların ve mikro çatlakların SCT numunelere göre daha geniş boyutlara sahip olduğunu uygulamışlardır. Mikro yapı analiz sonuçları temperlemenin sonucu olarak martenzit matriste ince karbür parçacıkların oluşumunu gözlemlemişlerdir. Sertlik ve aşınma direncini arttırmak için ikincil karbür parçacık oluşumu geleneksel bir işlem olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kriyojenik işlemden sonra uygulanan temperleme işleminin de karbür parçacık oluşturduğunu tespit etmişlerdir [101].

M2 takım çeliğinin kriyojenik işlemden önce ve sonra mikro yapısındaki değişimlerini ortaya koymak amacıyla Huang ve arkadaşları tarafından M2 çeliğe kriyojenik işlem uygulamışlardır. Numuneleri östenitlenme sıcaklığı 1100 °C nitrojen atmosferinde 1 saat bekletmişlerdir. Daha sonra numuneler sıvı nitrojen (-196 °C) içinde 1 hafta bekletmişlerdir. Kriyojenik işlemin ardından numuneleri 200 °C'de temperlemişlerdir. Yapılan ısıl işlemlerden sonra numunelerin mikro yapılarındaki değişimleri gözlemek amacıyla TEM (Geçirimli Elektron Mikroskobu) görüntülerini (Şekil 3.12) çekmişlerdir. Numunelere uygulanan temperlemelerden sonra karbürlerin daha büyüdüğünü gözlemlemişlerdir. Kriyojenik işlemin ardından çektikleri TEM görüntüleri ile (Şekil 3.12 c) karbür dağılımının yoğunlaştığını tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlemin karbür kümelerinin oluşumunu kolaylaştırdığı ve oluşan karbür yoğunluğu sayesinde numunenin aşınma direncinin arttığını belirtmişlerdir [102].



Şekil 3.12. M2 takım çeliğinin kriyojenik işlem görmeden a), temperlemeden sonraki b) ve kriyojenik işlemden sonraki c) TEM görüntüleri [102].

Das ve arkadaşları, farklı bekletme sürelerinde (0-132 saat) kriyojenik işlem (-196 °C) uygulanmış AISI D2 çeliğin sertlik, mikro yapı karakteristiği ve aşınma direnci özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Farklı kriyojenik işlem uygulama sürelerinde elde ettikleri çeliğin aşınma oranlarını değerlendirdiklerinde en düşük aşınma oranına 36 saat bekletme süresinde ulaşmışlardır. Artan kriyojenik işlem uygulama süresiyle aşınma oranlarında da artış gözlemlenmiştir. Kriyojenik uygulama sürelerinin çeliğin yapısında ikincil karbür oluşumuna etkide bulunduğunu tespit etmişlerdir. D2 çeliğin yapısında oluşan ikincil karbür miktarının ve dağılımının kriyojenik uygulama süresi ile ilişkili olduğunu ve bunun da aşınma direncine etki ettiği sonucuna ulaşmışlardır [33].

AISI D2 çeliğine sertleştirme ve temperleme işlemi arasında derin kriyojenik işlem uygulayarak malzemenin işlenebilirlik süresini düşürmek, son işleme kalitesini arttırmak ve boyutsal stabilizeyi sağlamak için Surberg ve arkadaşları, D2 çeliğe kriyojenik işlem uygulamışlardır. Sertleştirilmiş numuneleri önce temperlemişler (520 ve 540 °C) ardından derin kriyojenik işleme (-90 -120 ve -150 °C/24 saat) tabi

tutmuşlardır. Deneyler sonucunda D2 çelikteki en iyi boyutsal stabilizeye soğutma süresinden bağımsız olarak düşük sıcaklıkta (-150 °C) uygulanan derin soğutma işleminde ulaşmışlardır [103].

### **3.3. SOĞUTMA ÜZERİNE YAPILMIŞ KRİYOJENİK İŞLEM UYGULAMALARIYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR**

Yapmış oldukları gözden geçirmede Yıldız ve arkadaşları, sıvı nitrojeninin talaşlı imalatta soğutma kriyojenik soğutma uygulamalarını gözden geçirmişlerdir. Kriyojenik soğutmanın kaldırma işlemlerine, kesici takıma, iş parçası malzemesine, takım aşınmasına, takım ömrüne, yüzey pürüzlülüğüne, boyutsal sapmaya, sürtünmeye ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmışlardır. Kesme şartlarına, takıma ve malzemeye göre kullanılan yöntem değiştiğini bildirmişlerdir. Kuru şartlarda işleme, geleneksel soğutma ve kriyojenik soğutmada talaşlı imalat performansları karşılaştırıldığında kriyojenik soğutmanın daha verimli olduğu görmüşlerdir. Sonuç olarak kriyojenik soğutma uygulaması talaşlı imalatta, kesme bölgesinde oluşan ısıyı kontrol etme, takım ömrünü arttırma, takım aşınmasını azaltma, yüzey pürüzlülüğünü azaltma gibi etkilerinden dolayı tercih edilebilecek bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır [40].

Güncel malzemelerin işlenmesinde, daha iyi yüzey kalitesi, üretim maliyeti performanslarını arttırmak için farklı teknikleri deneyen Sharma ve arkadaşları, yapmış oldukları değerlendirmeler sonucunda: Kriyojenik soğutmanın takıma ve kesme bölgesine uygulanarak oluşan ısıyı kontrol altında tuttuğunu ve işleme anında takımın sertliğini korumasına yardımcı olduğunu açıklamışlardır. Bunun sonucunda takım aşınmasını azaldığını, takım ömrünü arttığını, işleme kalitesinin arttığını ve üretim maliyetlerin düşmesine yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kriyojenik soğutmanın geleneksel soğutma yöntemlerine göre daha çevreci olduğunu bildirmişlerdir. Yatıkları çalışmada paslanmaz çeliğin kaplamalı karbür takımla tornalanmasında geleneksel soğutma ile kriyojenik soğutmanın karşılaştırması yapılmışlardır. Kriyojenik soğutma işleminde sıvı nitrojenin uygulama basıncı ve akış hızının optimizasyonu soğutmanın sürekli elde edilmesi önemli olduğu sonucuna



varmışlardır. Kriyojenik soğutmanın etkisi yüksek kesme hızlarında azaldığını bulmuşlardır. Fakat kriyojenik soğutma yüksek ilerleme oranlarında daha verimli sonuçlar elde etmişlerdir [41].

Kuru işleme şartlarında meydana gelen toz oluşumunu etkileyen parametreleri Balout ve arkadaşları, tespit etmek amacıyla kriyojenik soğutma işleminin kesme şartlarına etkisini araştırmak kriyojenik soğutma işlemini uygulamışlardır. Kuru işleme şartlarında meydana gelen toz hem çevreye hem de çalışanlara olumsuz etki etmektedir. İşlemenin hemen öncesinde malzeme (-198 °C) sıvı nitrojen içerisine daldırmışlardır. Ön soğutulmuş iş parçası talaş tipini değiştirmekte, kesme kuvvetini düşürmekte ve toz oluşumunu % 70 oranında azalttığını tespit etmişlerdir [42].

Sert işlemede kriyojenik soğutma uygulamasının etkilerini araştırmak için Ranajit ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada gevrek takımların takım ömrü, sağlamlık ve işlemin çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. İşleme esnasında insert takıma uygulanan kriyojenik soğutma ile takımdan uzaklaştırılan ısı sayesinde termal yumuşamanın önlenmesinin bu sonuçta en önemli etmen olduğunu tespit etmişlerdir [43].

Yapmış oldukları çalışma ile Sharma ve arkadaşları, minimum miktar yağlama (MQL) / yakın kuru işleme (NDM), yüksek basınçlı kesme sıvısı (HPC), kriyojenik soğutma, basınçlı hava soğutma ve katı yağlar / soğutma kullanımı gibi tekniklere genel bir bakış sunmuşlardır. Bu teknikler ile kesme bölgesindeki sürtünme ve ısıda azalma sağlayarak, süreci iyileştirip verimliliği arttırmışlardır. Kriyojenik soğutmada püskürtülen nitrojen havada buharlaşarak kaybolduğundan geleneksel soğutma sıvısı gibi çevreye zarar vermediğini gözlemlemişlerdir. Kriyojenik soğutma ile talaş kırılmasının kolaylaştığını ve kesme ısının düştüğünü tespit etmişlerdir. İşlenebilirliği zor malzemelerin işlenmesinde kriyojenik soğutma ile takım ömrünü çevreye zarar vermeden arttırmışlardır. Kriyojenik soğutma takım ile talaş arasına nüfus ederek hem soğutma hem de yağlama işlevini sağlayarak takım ömrünü arttırdığını tespit etmişlerdir [44].

AISI-4037 çeliğinin farklı hız ve ilerleme kombinasyonlarında kaplamalı karbür takım ile tormalanmasında Dhar ve arkadaşları, kriyojenik soğutma işleminin takım ömrü, yüzey kalitesi ve boyutsal kararlılığa etkisini araştırmışlardır. Kriyojenik soğutma işlemini kuru işleme ve bor yağı ile soğutma şartları ile kıyaslamışlardır. Kriyojenik soğutma için (-196 °C) sıvı nitrojeni nozul yardımı ile kesme bölgesine püskürtmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlar kriyojenik soğutmanın takım ömrü, yüzey kalitesi ve boyutsal kararlılığa önemli etkisinin olduğunu göstermiştir. Yağ ile soğutma takım ömrünü arttırmada ve yüzey kalitesini iyileştirmede başarısız olduğu sonucuna ulaşmışlardır [45].

Kaplamalı karbür insert (SNMG) ile AISI 9310 çeliğin kriyojenik soğutma kullanılarak tormalamasında kesme ısısı, takım aşınması, yüzey kalitesi ve boyutsal kararlılık gibi özellikler Dhar ve arkadaşları, tarafından incelenmiştir. Kriyojenik soğutmada elde ettikleri sonuçları kuru şartlarda işleme şartları ile kıyaslamışlardır. Yaptıkları çalışma ile takım aşınmasında, takım ömründe boyutsal kararlılıkta ve yüzey kalitesinde önemli iyileşmeler sunmuşlardır. Kesme bölgesinde ısının düşürülmesiyle takımla talaş etkileşiminde olumlu değişiklikler sağlamışlardır [46].

Soğutma kriyojenik soğutma için takım tutucunun modifiyesi ve modifiye edilmiş takım tutucunun takım ömrüne etkisini ortaya koymak için Ahmed ve arkadaşları, çeşitli testler yapmışlardır. Soğutma performansını test etmek için deneylerde kesici takım olarak karbür insert kullanmışlardır. Yeniden düzenlenen takım tutucu ile yapılan nitrojen püskürtme işlemi ile soğutmanın daha etkili olduğunu anlamışlardır. Modifiyeli takım tutucu ile yüksek kesme hızında, fazla kesme derinliğinde daha az nitrojen sarf etmiş ve daha iyi takım ömrü ve yüzey kalitesi elde etmişlerdir [47].

Takımların aşınmalarını azaltmak için Gisip ve arkadaşları, kriyojenik soğutma, hava soğutma ve iki işlemin karışımı ile soğutma işlemini karşılaştırmışlardır. Orta yoğunluklu lift levhaları CNC freze tezgahında toplam dört tür; çift oluklu, katı, tungsten karbür freze ucu ile işlemişlerdir. Dört takımın üç tanesini -149 °C'de kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. Kriyojenik işleme tabi tutulan takımların bir grubu kuru şartlarda diğer grubu ise hava soğutmada kullandılar. Kesme boyunca

diğer iki takımını hava ile soğutmuşlardır. Tüm takımlardaki aşınmaları tespit etmek için mikroskopla ölçüm yapmışlardır. Hava soğutma ve kriyojenik işlemin takımın aşınmasını azalttığını tespit etmişlerdir [48].

Kriyojenik soğutma ile işlenebilirliği geliştirmeye katkıda bulunmak amacıyla Fredj ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada, AISI 304 paslanmaz çeliğin taşlanması, kriyojenik soğutmanın malzemenin yorgunluk ömrü, yüzey pürüzlülük bütünlüğü üzerindeki yararlı etkilerini incelemiştir. Kriyojenik soğutma ile elde edilen sonuçları değerlendirip bor yağı soğutma işlemi ile karşılaştırdıklarında; iş parçasında düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek çalışma sertliği, az hata, düşük kalıntı gerilme tespit etmişlerdir. SEM ile yapılan yüzey kırık testinde kriyojenik soğutma işlemi sayesinde daha düşük çatlakların olduğu tespit etmişlerdir. Kriyojenik soğutma yağ temelli soğutma ile karşılaştırıldığında taşlama kuvvetlerinde iki yöntem arasında belirgin farkın olmadığı anlaşılmıştır [49].

Toz metalürjisi (P/M) malzemenin seramik takım ile son paso tornalama işleminde en iyi yüzey kalitesini ve en düşük maliyeti elde etmek için Zurecki ve arkadaşları, çalışmalar yapmışlardır. (P/M) ile geleneksel tornalama işlemi ile üretilen otomotiv parçalarının işlenebilirliği düşük ve yüksek yüzey kalitesi gerektirmektedir. Bu parçaların işlenmesinde CBN takım ve soğutma sıvısı kullanımını gerektirdiğini, bunun da maliyeti arttırdığını ve çevre kirliliğine yol açtığını bildirmişlerdir. Tornalama işleminde -195 °C nitorojen takıma püskürterek soğutma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlara göre kriyojenik soğutma kullanılan seramik takımın, CBN takımdan daha uzun ömürlü olduğunu ve elde edilen yüzey kalitesinin daha iyi olduğunu göstermişlerdir [104].

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin taşlanması yüzey kalitesini arttırmak amacıyla Fredj ve arkadaşları, kriyojenik soğutma kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında malzemenin taşlanabilirliği, yüzey bütünlüğü ve korozyon direncini değerlendirmişlerdir. Taşlama işlemini kuru, bor yağı ve kriyojenik soğutma şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Kriyojenik soğutma uygulanmasında düşük taşlama ısısı oluşmuş fakat soğutmanın taşlama kuvvetlerinde fazla bir etkisinin olmadığını

görmüşlerdir. Kriyojenik soğutma ile yüzey bütünlüğünde önemli gelişmeler sağlamışlardır. Kriyojenik soğutma ile yüzey pürüzlülüğünde % 40 iyileşme sağlamışlardır. Yüksek sertlikte gerçekleşen taşlama işleminden dolayı düşük seviyede çekme kalıntı gerilme, korozyon çatlağı ve çukur korozyon gerilmesi ölçmüşlerdir. Bu sonuçları yüksek kesme hızı ve düşük kesme derinliklerinde elde etmişlerdir [105].

Inconel 718 malzemenin işlenmesine Wang ve arkadaşları, yaptıkları çalışma ile yeni bir soğutma yaklaşımı sunmuşlardır. Kriyojenik soğutma ile kesme ısısını düşürerek takım aşınmasını azaltıp, takım ömrünü arttırma ve plazma işlemi ile malzemenin ısısını arttırıp yumuşamasını sağlayarak işlenebilirliği arttırmayı amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmada iki farklı uygulamayı karşılaştırmışlardır. Deneylede WG-300 seramik takım kullanmışlardır. Karma işleme uygulamalarıyla yüzey pürüzlülüğünü % 250 oranında, takım ömrünü ise % 156 oranında iyileştirmişlerdir. Kesme kuvvetlerinde ise % 30 -% 50 arasında düşüş sağlamışlardır [106].

Khan ve arkadaşları, paslanmaz çeliğin işlenmesinde titanyum karbon-nitrat kaplamalı karbür takımı delerek kesme bölgesine kriyojenik soğutma uygulamışlardır. Böylece takım ömrünü arttırmak ve yüksek talaş kaldırarak yüzey kalitesini arttırmak için yeni bir soğutma tekniği geliştirmişlerdir. Yeniden düzenlenerek delinen takımlar sayesinde kullanılan kriyojenik soğutma ile takım ömrünü dört kat arttırmışlardır. Sonuçlar yüksek kesme hızı ve yüksek delme derinliklerinde kriyojenik soğutmanın etkili olduğunu göstermiştir. Kriyojenik soğutma işlemi yüksek kesme hızında yüksek kesme derinliğine göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Geleneksel soğutma işlemleri ile yapılan tüm işlemlerde belirgin şekilde yanak aşınması, mikro çatlaklar ve abrasion aşınma meydana geldiğini tespit etmişlerdir [107].

Kesme sıvıları ve bunların etkilerini ortaya çıkarmak için Stanford ve arkadaşları, (En32b) düz karbon hafif çeliği kuru kesme dahil çeşitli kesim ortamlarda test etmişlerdir. Kriyojenik soğutma yöntemi ile WC-Co kaplamasız takımla En32b çeliğinin tornalamasında % 55 daha düşük takım yanak aşınması tespit etmişlerdir.

Yanak aşınma testi sonuçlarına göre en iyi sonuçlar sıvı azot ortamında soğutmada en kötü sonuçlar ise basınçlı hava ile soğutma işleminde gerçekleştiğini bulmuşlardır. Talaş kalınlıkları açısından bakıldığında en ince talaş kalınlığına sıvı nitrojen ve soğuk azot gazlı ortamlarda ulaşmışlardır. En kalın talaş kalınlığına ise azot ve soğutmasız ortamda tespit etmişlerdir. Kesme kuvvetleri açısından bakıldığında ise sıvı nitrojen ve soğuk azot gazlı ortamda en iyi sonuçlara ulaştılar. Kesme esnasında ölçülen ısıları değerlendirdiklerinde en düşük ısıları sıvı nitrojen ortamında ölmüşlerdir [108].

Kumar ve arkadaşları, paslanmaz çeliğin yüksek hızda işleme sırasında oluşan yüksek frekanslı dinamik kesme kuvvetleri ve takım aşınmasına kriyojenik soğutmanın etkisini deneysel olarak aratmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kriyojenik soğutma ile işleme ısısını düşürerek takımın yanak aşınmasını % 37,39 oranında azaltmışlardır. Tornalama esnasında ölçülen kesme kuvvetlerini değerlendirdiklerinde kriyojenik soğutmanın kuru şartlarda işleme şartlarına göre kesme kuvvetlerinde % 14,83 oranında bir iyileşme sağlanmışlardır. Ayrıca kriyojenik soğutma yüksek hızla işlemede çevre dostu bir çözüm olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanında kriyojenik soğutma işleminin ekstra bir maliyet getirdiği sonucuna varmışlardır [109].

İşleme sıcaklığının Ti-6Al-4V tribolojik özelliklerine etkisini ve farklı kriyojenik soğutma stratejilerini Hong ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada karşılaştırmışlardır. Hong ve arkadaşları, çalışmalarında farklı mini nozul tipleri kullanılarak kesme ısısını düşürmede etkili iki soğutma şekli bulmuşlardır. Kesme işlemi kuru şartlarda, malzeme işlenmeden önce nitrojen ile soğutulmuş ve takım ile kesme bölgelerinin farklı yerlerine kriyojenik soğutma uygulayarak yöntemlerin işleme performanslarına etkilerini karşılaştırmışlardır. En iyi sonuçlara talaş kırıcı kullanarak takım talaş yüzeyi arasından kesme alanını kriyojenik soğutma ile direk soğutarak ulaşmışlardır. Nozul/talaş konumunu geliştirerek kesme performansını arttırmışlardır. Kriyojenik soğutma işlemi ile takım ömründe beş kat iyileşme sağlamışlardır [110].

Venugopal ve arkadaşları, Ti-6Al-4V alaşımını mikro kristalli karbür insert uç ile kuru şartlarda, soğutma sıvısı ile soğutma ve kriyojenik soğutma işlemi ile işleyerek takım aşınmasını düşürmek istemişlerdir. Elde ettikleri sonuca göre kriyojenik soğutma düşük kesme hızında daha etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışma sayesinde araştırmacılar kriyojenik soğutma ile kesme bölgesindeki ısıyı düşürerek bu olumsuzluğu önemli oranda azaltmışlardır [111].

Dhar ve arkadaşları, C 60 çeliğinin kaplamasız karbür takımla işlenmesinde takım aşınmasına, boyutsal sapma ve yüzey kalitesine kriyojenik işlemin etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları kuru ve soğutmalı şartlarda gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma ile boyutsal kararlılık, iyi yüzey kalitesi ve düşük takım aşınması sağlamışlardır. Bu sonuçları kriyojenik soğutma kullanarak takım ile talaş arasındaki ısının düşürülmesiyle elde ettiklerini açıklamışlardır. Yağ ile soğutma işleminde performansı arttıramamışlar, ayrıca yağ ile soğutma işlemi çevreye de zarar verdiğini gözlemlemişlerdir. Nitrojen ile soğutma işlemi ile takımda abrasive ve kimyasal aşınmayı da azaltmışlardır [112].

### **3.4. LİTERATÜRÜN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kriyojenik işlemin talaşlı imalat alanındaki uygulamalarını; soğutma, kesici takım ve malzeme üzerine uygulamaları şeklinde sıralayabiliriz. Kesme alanına uygulanan kriyojenik soğutma kesici takımın performansında geleneksel soğutmalara göre iyileşmeler sağlamışlardır. Kesme işlemini ve yüzey kalitesini etkileyen önemli etmenlerden olan ısıyı kontrol altına almak amacıyla kriyojenik soğutma işlemi farklı şekillerde uygulanmıştır. Geleneksel soğutma işlemlerinde önemli bir sorun olan çevresel kirliliği de ortadan kaldırmış olmaktadır. Kriyojenik işlemin kesici takım performansına, soğutma alanındaki uygulamalar ile kesme şartlarının iyileştirilmesine ve malzeme uygulanan kriyojenik işlem ile de tribolojik özelliklerin iyileştirilmesine katkıda bulunduğu anlaşılmıştır. Kriyojenik işlemin homojen karbür dağılımı sağlayarak mikro yapıyı olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Geleneksel ısıl işlem ile kıyaslandığında ise kriyojenik işlemin malzemenin bütününe etki ettiği tespit edilmiştir. Böylece geleneksel ısıl işlemin yüzeysel etkisine bir çözüm

sunmuştur. Kriyojenik işlem ile mikro yapı daha yumuşak bir yapı olan östenit yapıdan daha düzenli, ince taneli martenzit yapıya dönüşmüştür. Elde edilen martenzit yapı ile malzemelerin ve kesici takımın aşınma direncini arttırdığı belirtilmiştir. Kriyojenik işlem malzemenin ve kesici takımın özelliklerine göre farklı şekillerde uygulanmıştır. Kriyojenik işlemden sonra uygulanan temperleme işlemi ile takımların ve malzemelerin gerilimi giderilerek tokluğu artırılmıştır. Kriyojenik işlemin performansa etkisini uygulama sıcaklığı, uygulama süresi ve kriyojenik işlemden önce ve sonra uygulanan temperleme işlemleri etkilemektedir.

Kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemler uygulanan sıcaklıklara göre derin ve sığ kriyojenik işlem olarak adlandırılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde genel olarak sığ kriyojenik işlem (-80 ile -140 °C), derin kriyojenik işlem ise (-140 ile -196 °C) olarak adlandırılmıştır. Derin ve sığ kriyojenik işlemin kesici takımların performansına farklı katkılar sağladığı tespit edilmiştir. Sığ kriyojenik işlemde ağırlıklı olarak -80 °C, derin kriyojenik işlemde ise -196 °C kullanılmıştır. Uygulama süreleri açısından bakıldığında ise ortalama 6 saat ile 36 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Genelde kriyojenik işlemin 24 saat uygulama süresinde kesici takımların performansındaki artışların daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Temperleme sıcaklıkları ağırlıklı olarak 150 ve 200 °C olarak kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda kriyojenik işlemden önce bazılarında ise kriyojenik işlemden sonra temperleme işlemi uygulanmıştır. Kriyojenik işlemin uygulandığı takım türleri incelendiğinde genel olarak HSS ve kaplamasız sementit karbür ile kaplamalı takımlara uygulandığı görülmüştür.

Kesici takım üzerine uygulanan kriyojenik işlemlerle ilgili çalışmalar incelendiğinde, kriyojenik işlemin kesici takımın aşınma direnci, takım ömrü, termal iletkenlik, elektrik iletkenliği ve sertliği gibi birçok özelliğini geliştirdiği anlaşılmıştır. Son yıllarda kriyojenik işlemin takım ömrünün arttırıldığıyla ilgili çalışmaların yoğunlaştığı görülmüştür. Fakat her geçen gün farklı tür takımın geliştirildiği bir ortamda kriyojenik işlemin tüm takımlara etkisiyle ilgili belirsizliklerin olduğu görülmüştür.

Bu alışmada, Hastelloy C22 malzemenin tornalanmasında kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı tungsten karbür, CVD kaplamalı tungsten karbür ve seramik takımların performanslarına etkileri araştırılmasına karar verilmiştir. Kriyojenik işlemin uygulama sıcaklıkları olarak sığ kriyojenik işlem için -80 °C, derin kriyojenik işlem için -145 °C, uygulama süresi olarak ise 24 saat belirlenmiştir.



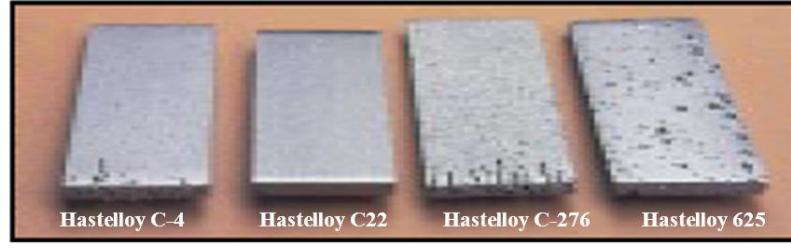
## BÖLÜM 4

### DENEYSEL MATERYAL VE METOD

Bu çalışma Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla işlenebilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Hastelloy C 22 çeliğin tornalanabilmesi için kaplamasız tungsten karbür, CVD kaplamalı tungsten karbür, PVD kaplamalı tungsten karbür, ve Seramik takım belirlenmiştir. Tornalama deneylerinde kullanılacak olan takımların kesme performanslarını arttırmak amacıyla takımlara Sığ (-80 °C) ve derin (-145 °C) kriyojenik işlem uygulanmıştır. Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Talaş kaldırma işlemi sonrası iş parçasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerine etki eden faktörlerin belirlenmesi için ANOVA analizi yapılmıştır. Kesici takımlarda meydana gelen aşınmaları gözlemlemek için takımların aşınma görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin kesici takımların performansına etkisi analiz etmek amacıyla uygulanan kriyojenik işlemlerin ardından takımların sertlikleri, elektrik iletkenlikleri ölçülmüştür. Mikro yapı görüntüleri incelenerek XRD analizleri de yapılmıştır.

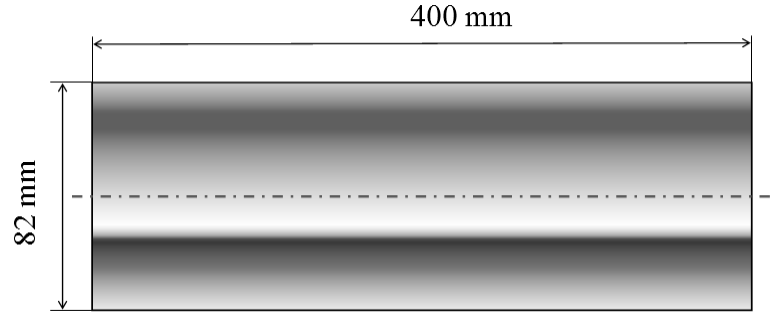
#### 4.1. DENEY NUMUNESİ

Deneysel çalışmalarda Hastelloy C22 süper alaşımı deney numunesi olarak kullanılmıştır. Hastelloy C22; Hastelloy C276, Hastelloy C4 ve Inconel 625 vb. diğer tüm Nikel-Krom-Molibden alaşımlarının hepsinden çok daha iyi korozyon direncine sahiptir. Bunun yanında Hastelloy C22, karıncalanma, çatlak korozyonu ve gerilim korozyonu çatlama direncine sahiptir. C22, demir klorür, bakır klorür, klorin, sıcağdan bozulmuş çözeltiler, formik, asetik asit, asetik anhidrid, deniz suyu ve salamura çözeltileri gibi çok çeşitli kimyasal ortamlara karşı çok üstün bir dirence sahiptir [113]. Hastelloy süper alaşım çelik türlerinin asit ortamında oyuklu korozyon direnci test sonucu Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Hastelloy süper alaşım malzemelerin oyuklu korozyon direnci test sonucu [113].

Oyuklu korozyon testi sonuçları incelendiğinde asit ortamlarında Hastelloy C22 süper alaşım çeliğinin diğer Hastelloy türlerine göre daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. Deneylerde kullanılacak Hastelloy C22 süper alaşım deney numunesine ait ölçüler Şekil 4.2’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan Hastelloy C22 süper alaşım çeliği iş parçasının boyutları.

Tornalama deneylerinde kullanılacak Hastelloy C22 numuneye ait kimyasal bileşim Çizelge 4.1’de fiziksel özellikler ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

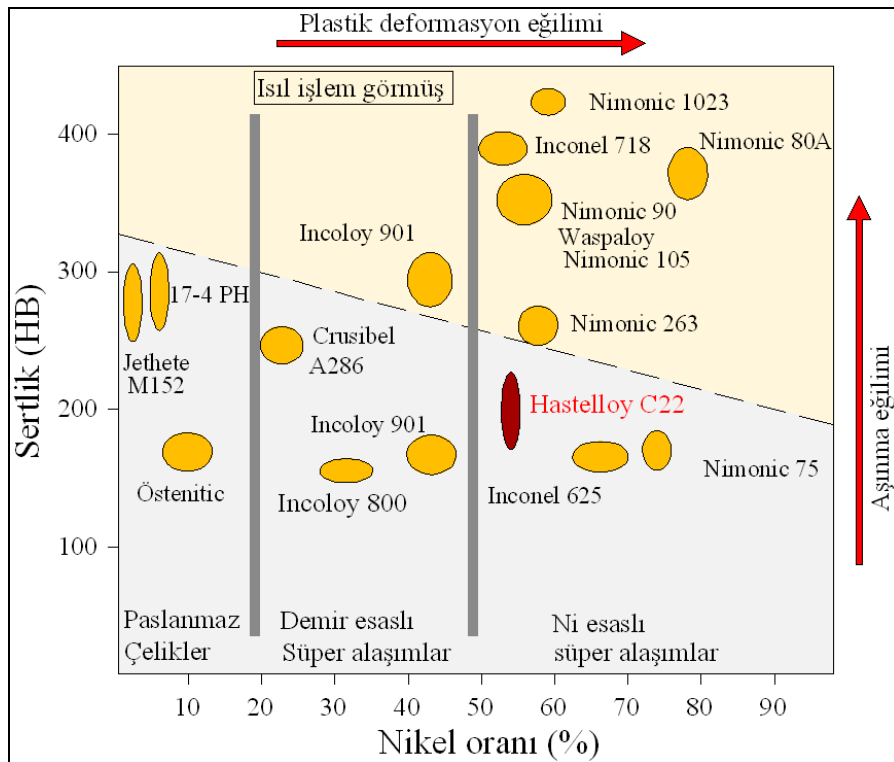
Çizelge 4.1. Hastelloy C22 kimyasal bileşim.

Ni	Cr	Mo	Fe	W	Diğer
58,2	21,28	12,94	4	2,87	0,71

Çizelge 4.2. Hastelloy C22 numunenin fiziksel özellikleri.

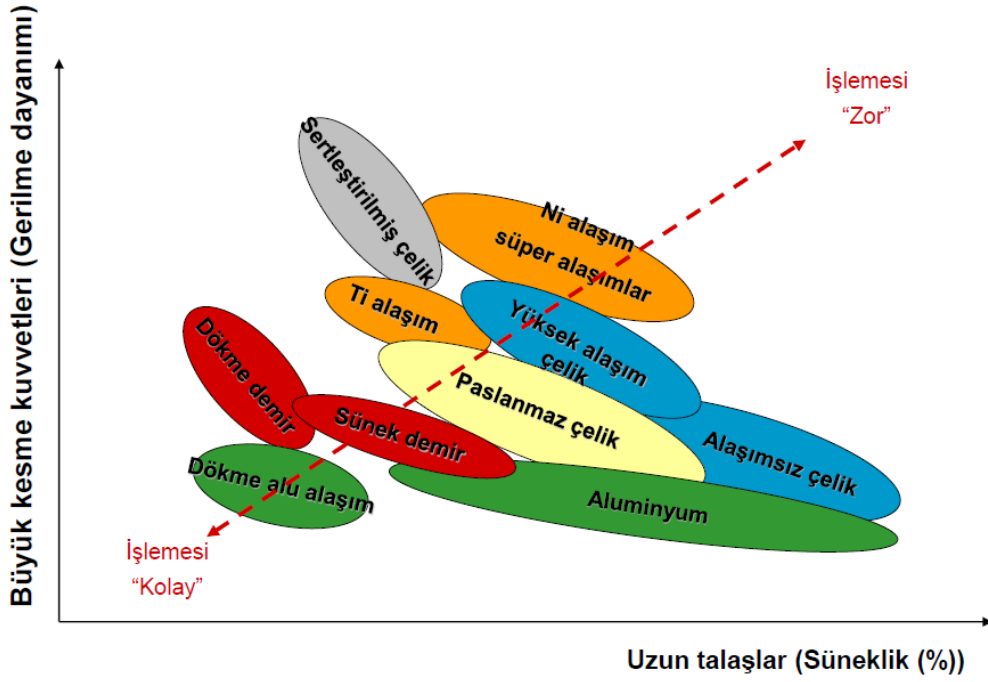
Sertlik (Rockwell B)	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Isıl İletkenlik (W/m-K)	Yüzde uzama (%)
93	358	765	10,1	70

Hastelloy alaşımları soğuk şekillendirilebilen alaşımlardır. Çünkü iyi bir tokluk özelliği sergilerler. Aynı zamanda sertlik açısından östenitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek sertliğe sahiptir. Isıya dayanıklı nikel esaslı süper alaşımların talaşlı imalatta işlenebilirliği en düşük malzemelerdir. Düşük ısıl iletkenlik ve yüksek sertlik işleme sırasında yüksek sıcaklıklar oluştururlar. Yüksek gerilme dayanımı, işleme sertleştirilmesi ve yapışma sertleştirilmesi özellikleri maksimum kesme derinliğinde çentik, yanak ve yığıntı talaş gibi kesici takım üzerinde aşınmalar oluşturma ortamı yaratmaktadır [113]. Hastelloy C22 ve yaygın kullanılan süper alaşımların nikel oranı ve sertliğine göre plastik deformasyon ve aşınma eğilimleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Bazı çeliklerin Nikel oranı ve sertliğine göre plastik deformasyon ve aşınma eğilimleri [114].

Hastelloy C22 paslanmaz çeliklere göre daha yüksek nikel oranına (Şekil 4.3) sahiptir. Inconel 718 süper alaşıma göre ise hemen hemen aynı nikel oranına sahip, ancak sertlik değeri daha düşüktür. Süper alaşımlar, diğer alaşımlardan farklı olarak yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik gerilmelere ve yüzey yapısı değişimlerine karşı üretilmiş ısıl direnci yüksek, demir-nikel, nikel ya da kobalt esaslı alaşımlardır. Isıya dayanıklı nikel esaslı süper alaşımların talaşlı imalatta işlenebilirliği düşük malzemelerdir [115]. Süperalaşımların düşük işlenebilirlik özellikleri (Şekil 4.4) kesici takım malzemeleri üzerinde plastik deformasyona ve hızla artan takım aşınmalarına yol açan kesme kenarına yakın oldukça yüksek termal ve mekanik gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır [1].



Şekil 4.4. Bazı malzemelerin işlenebilirlik özellikleri ve kesme kuvveti değerleri [116].

Nikel ve krom oranı yüksek Hastelloy C22 süper alaşımın düşük ısıl iletkenliği nedeniyle tornalanması esnasında meydana gelen yüksek ısılar kesici takımları kısa sürede deforme etmektedir. Yüksek ısılara maruz kalan kesici takımların seçimi ve performansının yüksek olması önem kazanmaktadır. Yüksek ısıl iletkenliğe sahip kesici takımlar, birinci deformasyon bölgesindeki ısıyı daha hızlı kesici kenardan

uzaklaştıracağı için Hastelloy C22 gibi süper alaşımların işlenmesinde daha iyi performans gösterebilir.

#### 4.2. KESİCİ TAKIMLAR

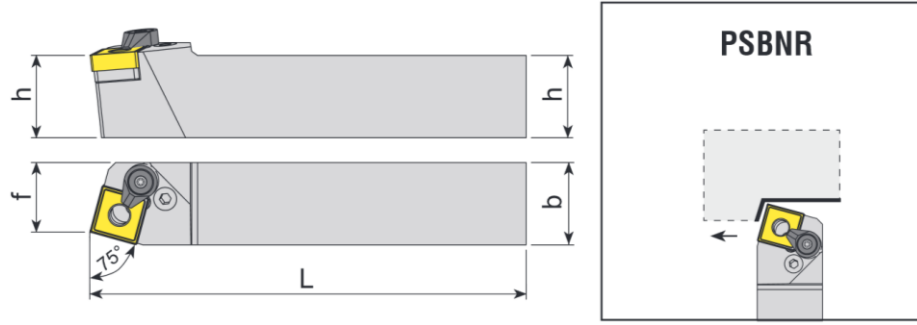
Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması için ISCAR firmasından temin edilen kesici takımlar kullanılmıştır. Değiştirilebilir uçlar ISO 1832'ye uygun olarak belirlenmiştir. Tornalama işlemlerinde kullanılacak olan kesici takımların listesi Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Tornalama işleminde kullanılan kesici takımlar ve özellikleri.

No	Takım Türü	Kodu	Talaş kırıcı formu	Kalitesi	Kaplama türü
1	Kaplamasız tungsten karbür	SNMG 120408	GN	S-20	-
2	CVD kaplamalı tungsten karbür takım	SNMG 120408	TF	S-20	TiCN+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
3	PVD kaplamalı tungsten karbür takım	SNMG 120408	TF	S-20	TiAlN + TiN
4	Seramik takım	SNGA 120408	-	S-15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiCN

#### 4.3. TAKIM TUTUCU

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında PSBNR 2525M12C ticari takım tutucular tercih edilmiştir. Takım tutucu biçimi ise ISO 5608 referans alınarak seçilmiştir. Tornalama işlemlerinde kullanacağımız kesici takımların ölçülerine uygun çift kenetlemeli bir takım tutucudur. Tornalama işlemlerinde kullanılan negatif açılı takım tutucunun ölçüleri Şekil 4.5'de verilmiştir.



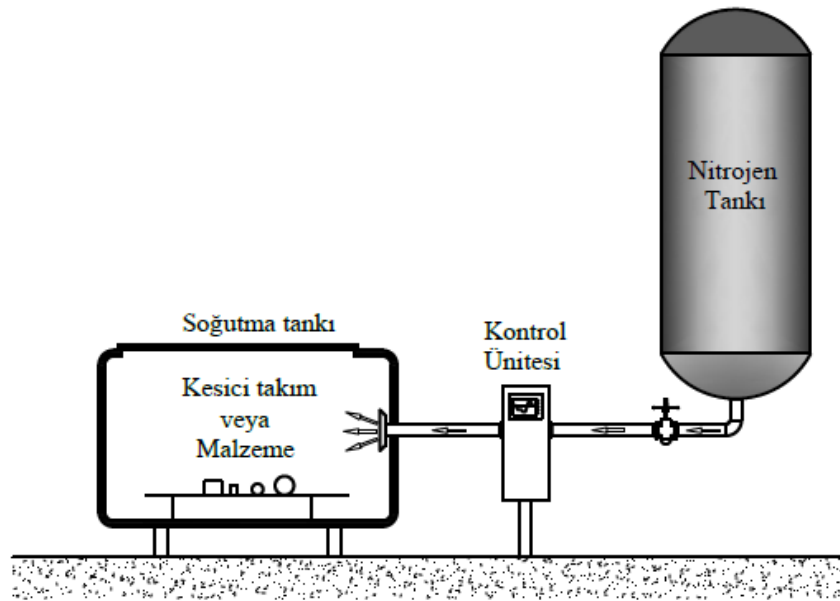
$h= 25 \text{ mm}$ ,  $b=25 \text{ mm}$ ,  $L=150 \text{ mm}$  ve  $f= 22\text{mm}$ 'dir.

Şekil 4.5. Tornalama deneylerinde kullanılan takım tutucu [117].

Tornalama işlemlerinde kullanılacak olan kesici takımların kama açısı  $90^\circ$  olduğu için negatif (-) eğim açısına sahip ( $6^\circ$ ) takım tutucu kullanılmıştır.

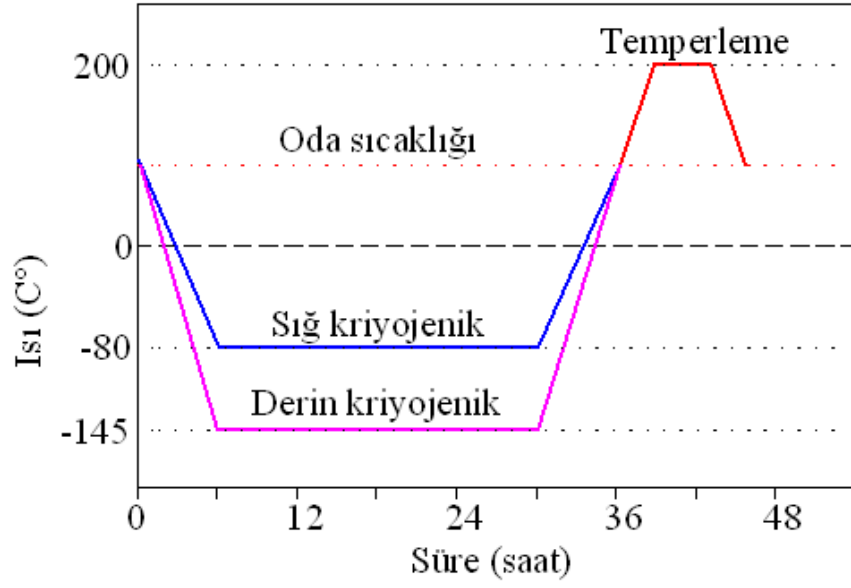
#### 4.4. TAKIMLARA KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMASI

Kesici takımlara kriyojenik işlem, özel hazırlanmış bilgisayar kontrollü kriyojenik ısıtma ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Literatür incelemeleri sonucunda kriyojenik bekleme ısısı  $-80^\circ\text{C}$  ve  $-145^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Kesici takımlar kriyojenik işlem ünitesinin haznesine konularak hazne kapağı kapatılmıştır. Kriyojenik işlem uygulama ünitesi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kriyojenik işlem ünitesi şeması.

Takımlarda meydana gelebilecek mikro çatlakları engellemek için kademeli soğutma-ısınma işlemi kontrol ünitesinde programlanmıştır. Takımlar 6 saatte kademeli olarak -80 °C ve -145' ye kadar soğutulmuştur. Bu ısılarda takımlar 24'er saat bekletilmiştir. Isınma işlemi sonrasında takımlar kademeli olarak oda sıcaklığına 6 saatte getirilmiştir. Takımlara uygulanan kriyojenik işlem süreci Şekil 4.7'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kriyojenik işlem süreci.

Sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından elde edilen yeni tür kesici takımlar ve takımların kısaltmaları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından elde edilen yeni tür kesici takımlar.

No	İşlem görmemiş takımlar		Sığ kriyojenik işlem görmüş takımlar (-80 °C)		Derin kriyojenik işlem görmüş takımlar (-145 °C)	
	Takım türü	Kısaltma	Takım türü	Kısaltma	Takım türü	Kısaltma
1	Kaplamasız tungsten karbür takım	UT	Kaplamasız tungsten karbür takım	CT1	Kaplamasız tungsten karbür takım	CT2
2	CVD kaplamalı tungsten karbür takım	CV-UT	CVD kaplamalı tungsten karbür takım	CV-CT1	CVD kaplamalı tungsten karbür takım	CV-CT2
3	PVD kaplamalı tungsten karbür takım	P-UT	PVD kaplamalı tungsten karbür takım	P-CT1	PVD kaplamalı tungsten karbür takım	P-CT2
4	Seramik takım	CER-UT	Seramik takım	CER-CT1	Seramik takım	CER-CT2

#### 4.5. TEMPERLEME İŞLEMİ

Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerden sonra kesici takımların mikro yapılarında soğumaya bağlı olarak meydana gelen iç gerilmeleri gidermek amacıyla temperleme işlemi yapılmıştır. Yapılan literatür incelemesi sonucunda takımlar 200 °C’de 2 saat bekletilerek uygulanmıştır. Temperleme işlemi Termal marka ısıtma fırınında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Kesici takımlara uygulanan temperleme işlemi görüntüsü.



#### 4.6. İŞLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE ÖN DENEYLERİN YAPILMASI

İşleme parametreleri, kesici takım üretici firmasının katalogu (ISCAR) ve Hastelloy C22 süper alaşımı iş parçasına ait ürün kataloğundan faydalanılarak kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği belirlenmiştir. Kesme derinliği tüm takımlar için 1 mm olarak belirlenmiştir. İlerleme oranı tüm atkımlar için 0,1- 0,2 ve 0,3 olarak belirlenmiştir. Kesme hızları ise katalog değerlerinden faydalanarak ön deneyler sonucunda belirlenmiştir.

##### 4.6.1. Kaplamasız Sementit Karbür, PVD ve CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takım Ön Deneyleri

Kaplamasız sementit karbür ve kaplamalı takımlarla yapılan ön deneyler sonucunda kesme hızları belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Kaplamasız tungsten karbür ve kaplamalı takım ön deney tablosu.

Deney no	Takım	Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)	Ön deney sonucu
1	Kaplamasız tungsten karbür	50	0,2	1	280 mm boyda takımın ömrü tamamlandı
2	Kaplamasız tungsten karbür PVD	100	0,2	1	280 mm boyda takımın ömrü tamamlandı
3	kaplamalı tungsten karbür takım	100	0,2	1	150 mm boyda takımın ömrü tamamlandı

Yapılan ön deneyler sonucunda ISCAR takım katalogu ve Hastelloy C22 süper alaşımın katalogunun tavsiye edilen değerlerden yararlanılarak kaplamasız tungsten karbür PVD ve CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarda kesme hızı 30, 60 ve 90 m/dak olarak belirlenmiştir.

#### 4.6.2. Seramik Kesici Takım Ön Deneyleri

Seramik takımlar yüksek kesme hızlarında iyi performans göstermektedir. Bu nedenle, ön deneyler ilk önce 100 m/dak kesme hızı denenerek yapılmıştır. 100 m/dak kesme hızı, seramik kesici takımın performansı için düşük değer olduğu tespit edilmiştir. Bir sonraki ön deney kesme hızı 300 m/dak olarak tayin edilmiştir. 300 m/dak da seramik kesici takımın performansı için ideal kesme hızı olmadığı ve takımda kırılmalar gerçekleşmiştir. Bir sonraki ön deney kesme hızı olarak 400 m/dak kesme hızı seçilerek talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. 400 m/dak kesme hızı seramik kesici takımın performansı için iyi kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, ön deney kesme hızı 500 m/dak ön deney kesme hızı seçilmiştir. 500 m/dak kesme hızında takımın performansı 300 m/dak kesme hızındaki performansa benzerlik göstermiştir. Yapılan ön deney sonuçları Çizelge 4.6’te verilmiştir. Düşük ve çok yüksek kesme hızlarında seramik kesici takım kırılmıştır (Şekil 4.9).

Çizelge 4.6. Seramik takımla yapılan ön deney parametreleri ve sonuçları.

Deney no	Takım	Kesme Hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme derinliği, a (mm)	Ön deney sonucu
1	Seramik	100	0,1	1	20 mm boyda takımın parçalandı
2	Seramik	300	0,1	1	50 mm boyda takım zırladı ve yüzey çok pürüzlü çıktı, sıvama oluştu.
3	Seramik	400	0,1	1	280 mm boyu rahat işledi
4	Seramik	500	0,1	1	130 mm’de takım kırıldı

Ön deneyler sonucu elde edilen veriler ışığında gerçek deneylerde kullanılmak üzere kesme hızı olarak 350, 400 ve 450 m/dak değerleri belirlenmiştir.



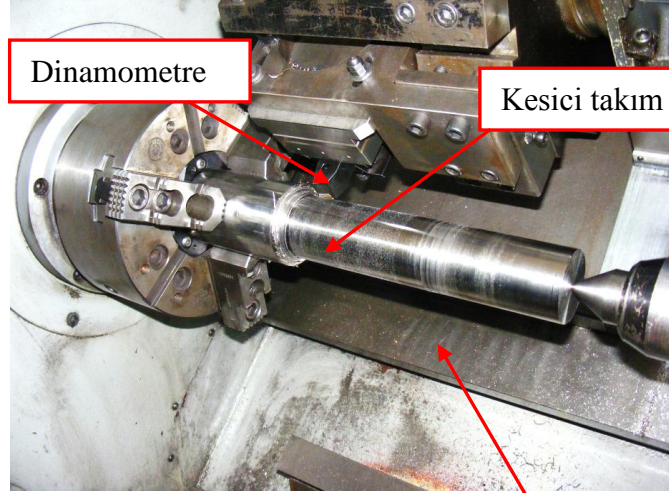
Şekil 4.9. Seramik takımla yapılan ön deneylerde düşük ve yüksek kesme hızlarında takımda meydana gelen kırılma aşınması görüntüsü.

#### 4.7. TORNALAMA İŞLEMİ

Deney numunelerinin tornalama işlemleri Johnford T35 CNC Torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. CNC Torna tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 4.7’de verilmiştir. CNC Torna tezgahına Hastelloy C22 süper alaşımı iş parçası rijit bir şekilde bağlanmıştır (Şekil 4.10).

Çizelge 4.7. Johnford T35 CNC torna tezgahının teknik özellikleri.

Özellik	Ölçü	Birim
X eksen	350	mm
Z eksen	600	mm
Tezgah Gücü	10	kW
Devir sayısı	3500	dev/dak
Hidrolik ayna çapı	350	mm
Hassasiyet	0,001	mm
Taret hane sayısı	12	adet



Şekil 4.10. Hastelloy C22 süper alaşımı İş parçasının C Dinamometre Hastelloy-C22 Kesici takım bağlanmış görüntüsü.

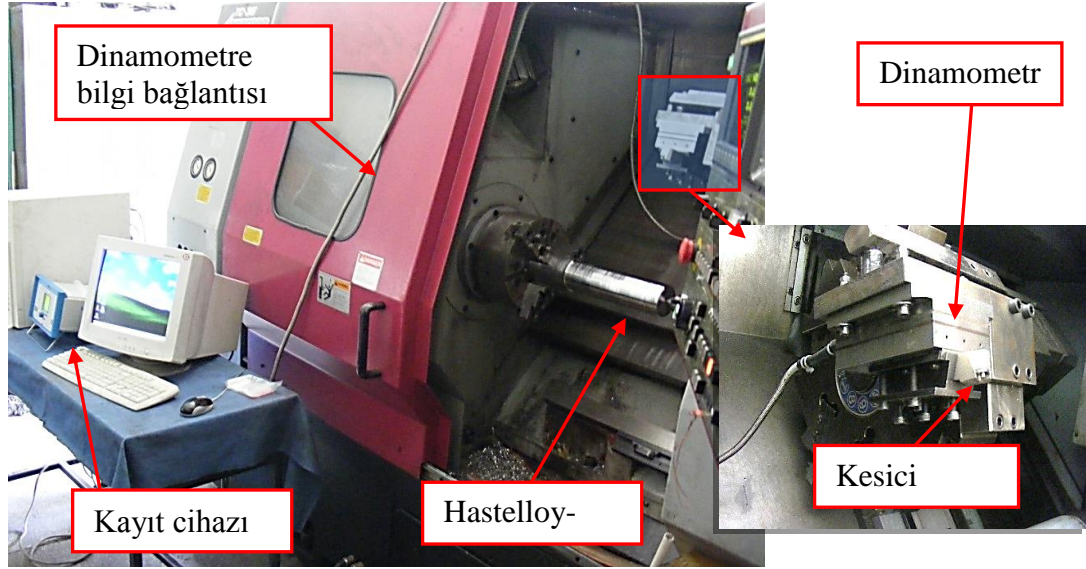
#### 4.8. KESME KUVVETİ ÖLÇÜMÜ

Deney numunesinin tornalanması esnasında meydana gelen esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ölçümleri Kistler marka dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dinamometreye ait teknik özellikler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kistler 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri.

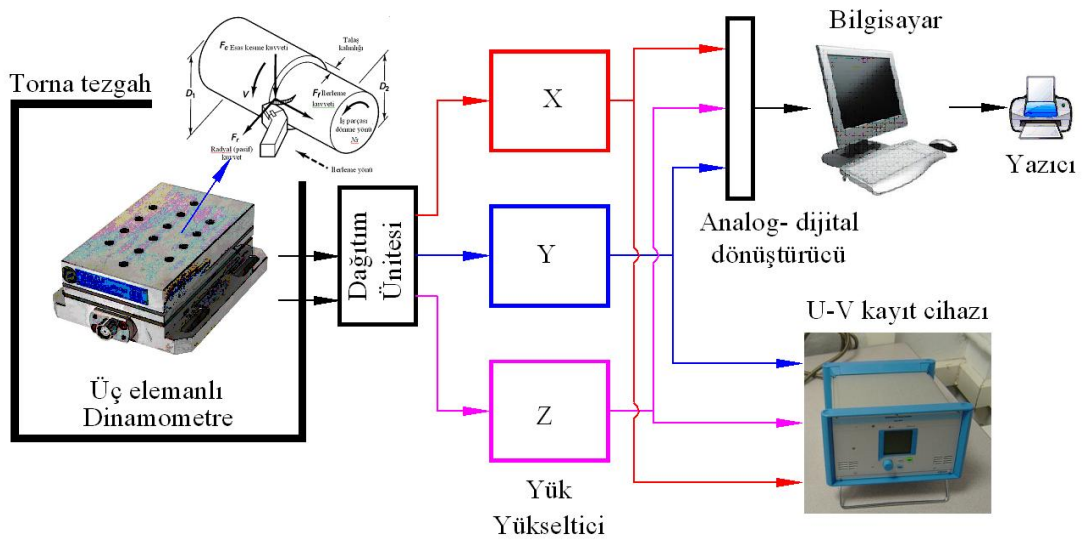
Özellik	Değer
Kuvvet aralığı ( $F_x, F_y, F_z$ )	-5...10 kN
Tepki verme	<0,01 N
Hassasiyet $F_x, F_y$	-7,5 pC/N
$F_z$	-3,5 pC/N
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$	3,5 kHz
Çalışma sıcaklığı	0...70°C
Kapasitans	220 pF
20°C’deki yalıtım direnci	> 1013 $\Omega$
Topraklama yalıtımı	> 108 $\Omega$
Ağırlık	7,3 kg

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri Şekil 4.11’de gösterildiği gibi bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 4.11. Kesme kuvvetinin ölçülmesi.

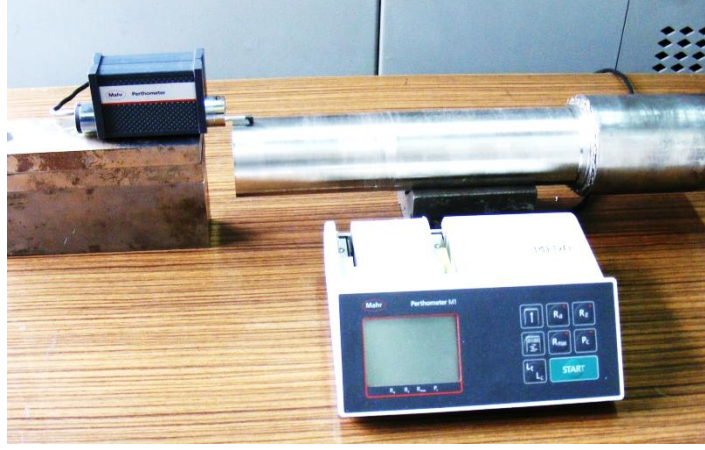
Tornalama esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için dinamometrenin bağlantısı Şekil 4.12’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kesme kuvvetinin ölçülmesi kesme kuvvetleri ölçme düzeni ve dinamometre ünitesinin şematik görünümü [115].

#### 4.9. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

Hastelloy C22 deney numunesi tornalandıktan sonra yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için MAHR marka perthometer M1 model masa tipi pürüzlülük ölçüm cihazı (Şekil 4.13) kullanılmıştır.



Şekil 4.13. MAHR marka perthometer M1 model pürüzlülük cihazı ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi görüntüsü.

Ölçümden kaynaklanabilecek hataları en aza düşürebilmek amacıyla her bir parametre için 4 farklı yerden ölçüm yapılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin ( $R_a$ ) ortalaması alınmıştır.

#### 4.10. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin mikro sertliğe etkisini araştırmak amacıyla mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Metkon marka Duroline- M model mikro sertlik ölçüm cihazında (Şekil 4.14) gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri 1000 gr yük altında 10 saniye uygulanarak yapılmıştır. Numunelerin 10 farklı bölgesinden alınan değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.14. Metkon marka duroline M model mikro sertlik ölçüm cihazı görüntüsü.

#### 4.11. MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ

Deneylede kullanılacak olan takım türlerine uygulanan kriyojenik işlemin mikro yapılarına etkisini araştırmak için takımların mikro yapı görüntüleri çekilmiştir. Kesici takımların mikro yapı görüntüleri Quanta FEG 250 marka SEM (taramalı elektron mikroskop) cihazda çekilmiştir. Mikro yapı görüntülerinin çekildiği SEM cihazı Şekil 4.15’te verilmiştir.



Şekil 4.15. Quanta FEG 250 marka SEM cihazı.

#### 4.12. ELEKTRİK İLETKENLİĞİ

Wiedemann-Franz kanununa göre katı metallerin ısı iletkenliği ile elektrik iletkenliği (Simens/cm) arasında sabit bir oran vardır [38,70]. Malzemelerin elektrik iletkenliğinin artması ile ısı iletkenliği de artmaktadır. Fizikte, Wiedemann-Franz yasasına göre bir metalin termal iletkenliğinin ( $\kappa$ ), elektriksel iletkenliğine ( $\sigma$ ) oranı Lorenz sayısı ile sıcaklığın ( $T$ ) çarpımına eşittir. Elektrik iletkenliği ile ısı iletkenlik arasındaki bağıntı formül 4.1 ve formül 4.2’de verilmiştir.

$$\frac{K}{\sigma} = LT. \quad (4.1)$$

Teorik olarak, Lorenz sayısı olarak da bilinen orantı sabit değeri ( $L$ ) bir eşitliktir. Şu şekilde bulunur;

$$L = \frac{K}{\sigma T} = 2.44 \times 10^{-8} W \Omega K^{-2}. \quad (4.2)$$

Kesici takımların ısı iletkenliğinin yüksek olması halinde kesme esnasında oluşan ısı kesici takım yardımı ile kesme bölgesinden hızlı şekilde uzaklaştırılmaktadır. Isının hızlı şekilde kesme bölgesinden uzaklaştırılması kesici takımın aşınmasını yavaşlatmaktadır. Bu nedenle kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemlerin kesici takımların elektrik iletkenliğini tespit etmek için kesici takımların



elektrik iletkenlikleri ölçülmüştür. Elektrik iletkenliği ölçümleri Alpha-A High Performance Frequency Analyzer test cihazında yapılmıştır. Elektrik iletkenliği ölçüm test cihazı Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Kesici takımların elektrik iletkenliklerinin ölçüldüğü yüksek performanslı frekans analizci.

### 4.13. XRD ANALİZİ

Kesici takımlara uygulanan sıg ve derin kriyojenik işlemin ardından takımların mikro yapılarında meydana gelen değişimleri incelemek için X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılmıştır. XRD analizleri Rigaku Ultra IV XRD cihazı (Şekil 4.17) ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.17. Rigaku Ultra IV XRD cihazı.

#### **4.14. VARYANS ANALİZİ (ANOVA)**

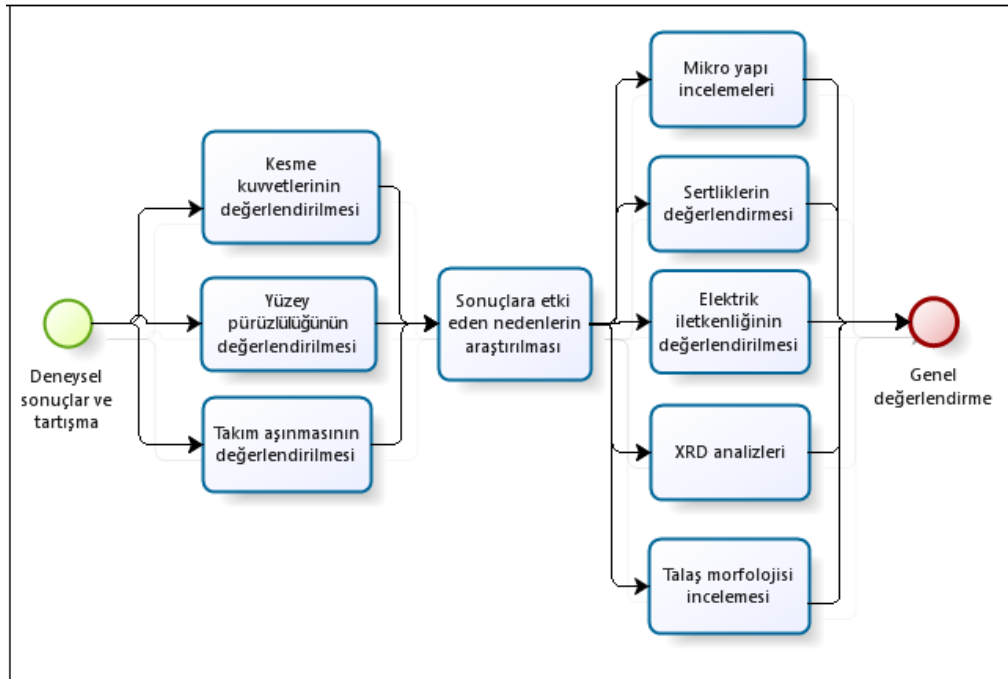
Varyans Analizi (ANOVA, ANalysis Of VAriance) test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan bir istatistiksel metottur. ANOVA testi performansı etkileyen faktörleri bulup problemin çözümüne ilişkin karar verebilmek amacıyla yapılır.

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında kesici takımların performansının tespiti ve optimum kesme parametrelerinin bulunması amacıyla yapmış olduğumuz çalışmada ölçülen yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini etkileyen birden fazla faktör vardır. Bular kesici takım türü, kesme hızı, ilerleme oranıdır. Bu faktörlerden hangilerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde etkileri bulunduğu ve bu faktörlerin etki yüzdelerinin belirlenmesi önemlidir. Kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüklerine etki eden faktörleri ve faktörlerin etki derecelerini belirlemek için ANOVA analizleri yapılmıştır. ANOVA testleri Minitab 16 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

## BÖLÜM 5

### DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla işlenebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, elde edilen veriler analiz edilmiştir. Deneysel sonuçları ve tartışma bölümünün akış şeması Şekil 5.1’de verilmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla, Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetleri, iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmaları değerlendirilmiştir. Tornalama işleminde elde edilen esas kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma değerlerine etki eden kesme hızı, ilerleme oranı, kesici takım türü ve kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem faktörleri optimize edilmiştir. İşleme performanslarını etkileyen faktörler ANOVA testi ile analiz edilerek en etkili işleme parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel sonuçları ve tartışma bölümü akış şeması.

Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların Hastelloy C22 süper alaşımın işleme performansına etki eden sebeplerin araştırılması amacıyla kesici takımların mikro yapıları, sertlikleri, elektrik iletkenlikleri, XRD analizleri ve tornalama işleminde elde edilen talaşların morfolojisi incelenmiştir.

## **5.1. KRİYOJENİK İŞLEMİN KESİCİ TAKIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİ**

### **5.1.1. Kesme Kuvvetleri**

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri kesici takımı ve iş parçası yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [22]. Bu nedenle talaşlı imalat esnasında kesme kuvvetlerini azaltmak verimlilik açısından önem kazanmaktadır. Kesme hızının artmasına bağlı olarak birinci deformasyon bölgesinde oluşan ısı, iş parçasının kolay deforme edilmesine yol açmaktadır [120]. Deformasyon bölgesindeki ısı artışına bağlı olarak da kesme kuvvetlerinde düşüş elde edilmektedir [21]. Talaşlı imalatta yüksek kesme hızlarına, üstün özelliklere sahip, aşınma hızı düşük takımlarla ulaşılmaktadır [121]. Bu nedenle kesici takımların aşınma direnci, tokluğu ve takım ömrü gibi özelliklerinde sağlanabilecek iyileşmeler ve uygun kesici takımın seçimi işleme verimliliğini arttırmaktadır [37]. Kesici takımlara kriyojenik ısıl işlem uygulanması sonucu kesici takımların sertliğinde, tokluğunda, aşınma dayanımında ve takım ömründe iyileşmeler sağlandığı bilinmektedir [25-28]. Bu bölümde farklı takım türleri ve kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirilmiştir.

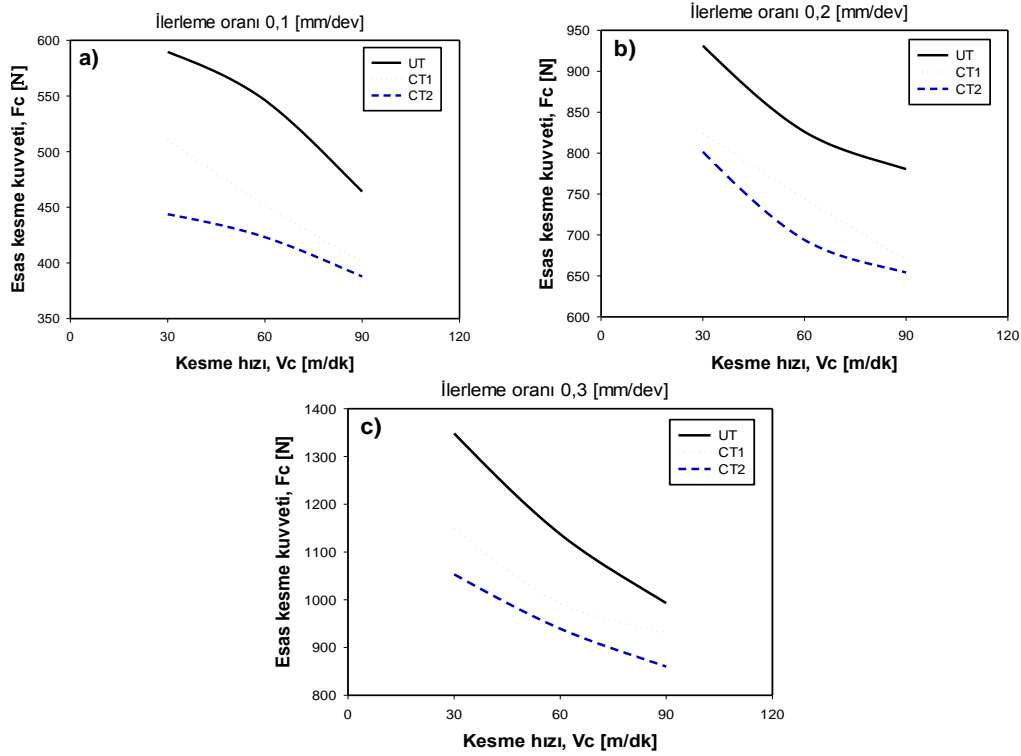
#### **5.1.1.1. Kaplamasız Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim**

Hastelloy C-22 süper alaşımının farklı kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takım türleriyle (UT, CT1 ve CT2), kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), farklı ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Hastelloy C22 iş parçasının kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Esas kesme kuvveti, Fc, (N)
1	UT	30	0,1	589,570
2	UT	60	0,1	546,250
3	UT	90	0,1	464,140
4	UT	30	0,2	931,270
5	UT	60	0,2	826,070
6	UT	90	0,2	780,540
7	UT	30	0,3	1348,360
8	UT	60	0,3	1137,410
9	UT	90	0,3	992,800
10	CT1	30	0,1	510,710
11	CT1	60	0,1	451,780
12	CT1	90	0,1	400,980
13	CT1	30	0,2	824,110
14	CT1	60	0,2	744,200
15	CT1	90	0,2	669,680
16	CT1	30	0,3	1149,450
17	CT1	60	0,3	992,350
18	CT1	90	0,3	930,940
19	CT2	30	0,1	443,680
20	CT2	60	0,1	423,090
21	CT2	90	0,1	387,750
22	CT2	30	0,2	801,640
23	CT2	60	0,2	693,830
24	CT2	90	0,2	654,120
25	CT2	30	0,3	1053,040
26	CT2	60	0,3	939,140
27	CT2	90	0,3	859,920

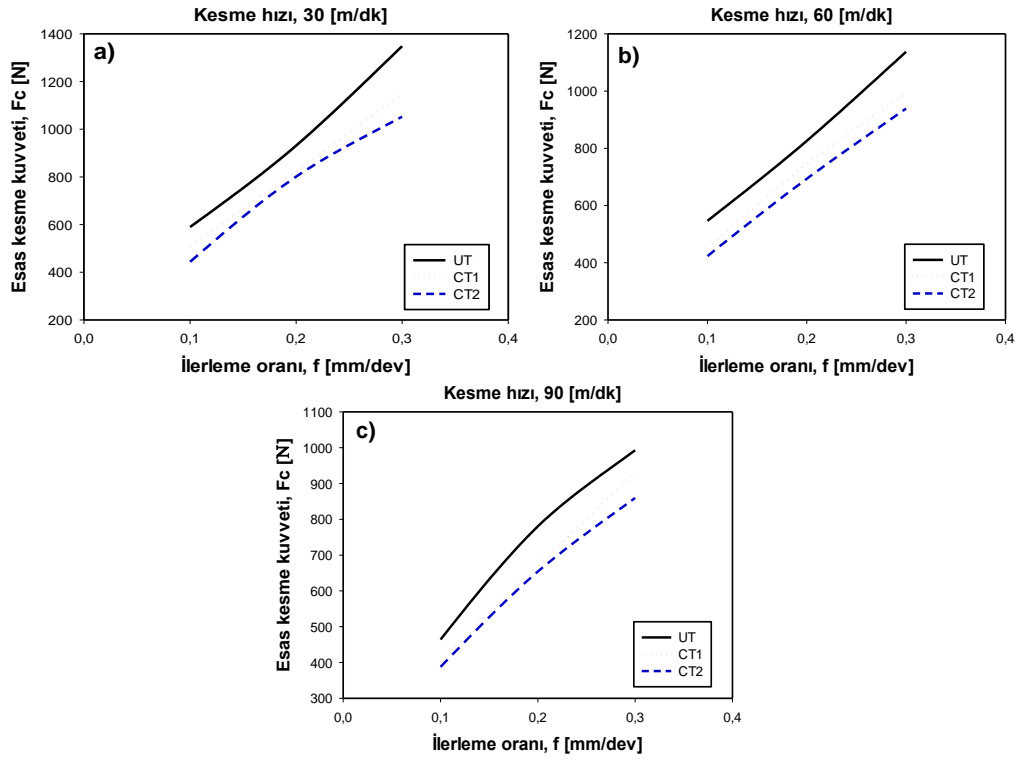
Hastelloy C 22 süper alaşımın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin kesme hızlarına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. UT, CT1 ve CT2 takımlarla a) 30, b) 60 ve c) 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvveti değişim grafikleri incelendiğinde kesme hızının artışına bağlı olarak esas kesme kuvvetlerinde düşüş görülmektedir [115]. UT takımla 30 m/dak kesme hızı 0,1 dev/ dak ilerleme oranında ölçülen esas kesme kuvveti 589,570 N iken, aynı ilerleme oranı 90 m/dak kesme hızında 464,140 N olarak ölçülmüştür. Kesme hızının artması ile esas kesme kuvvetlerindeki düşüş akış bölgesindeki sıcaklıklar ve azalan temas yüzey alanı ile açıklanabilir [122]. Kaplamasız tungsten karbür takımlarla elde edilen kesme kuvvetleri açısından en uygun kesme hızı parametresinin 90 m/dak olduğu tespit edilmiştir.

Hastelloy C 22 süper alaşımın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin ilerleme oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. UT, CT1 ve CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

İlerleme oranlarının değişim grafiklerine göre kaplamasız tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri incelendiğinde ilerleme oranının artması ile kesme kuvvetlerinde artış olduğu görülmektedir. UT takım ile 30 m/dak kesme hızına 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilen esas kesme kuvveti 589,570 N iken 0,3 mm/dev ilerleme oranında bu değer 1348,360 N olarak elde edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında 30 m/dak kesme hızında UT takımla 0,3 mm/dev ilerleme oranı yerine 0,1 mm/dev ilerleme oranını tercih edilmesi durumunda esas kesme kuvveti % 129 oranında düşük elde edilmiş olacaktır. Kaplamasız tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde 0,1 mm/dev parametresinin en uygun ilerleme oranı olduğu bulunmuştur. İlerleme oranının artmasıyla kaldırılan talaşın artması nedeniyle plastik deformasyon ve titreşimlerin artmasıyla kesme anında ölçülen esas kesme kuvvetleri

artmaktadır [3,109]. Ayrıca ilerleme oranının artmasıyla birinci deformasyon bölgesinde oluşan ısı ile kesici takımlarda meydana gelen takım aşınmalarının esas kesme kuvvetlerini arttırdığı söylenebilir [122].

Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında ölçülen esas kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerini düşürdüğü görülmüştür. CT1 ve CT2 kesici takımlarla elde edilen esas kesme kuvveti değerleri UT takımlardan daha düşük elde edilmiştir. Tüm kesme hızı ve ilerleme oranlarında elde edilen en düşük esas kesme kuvveti değerlerine CT2 takımlarla ulaşılmıştır. Talaş kaldırma işleminde kesme hızı (90 m/dak) ve ilerleme oranında (0,1 mm/dev) UT, CT1 ve CT2 takımlarla ölçülen esas kesme kuvvetleri sırasıyla 464,140 N, 400,980 N ve 387,750 N olarak elde edilmiştir. CT2 takımla elde edilen esas kesme kuvveti, UT ve CT1 takıma göre sırasıyla % 16,5 ve % 3,3 iyileşme sağlanmıştır. CT1 takımla elde edilen esas kesme kuvveti değerleri UT takımla elde edilen değerlere göre ise % 13,16 daha iyi bulunmuştur. Esas kesme kuvvetleri açısından CT 2 takım ile CT1 takım arasında fazla fark (% 3,3) olmadığı anlaşılmaktadır. Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin düşürülmesi uygulanan kriyojenik işlemler ile takımların mekanik ve metalürjik özelliklerinde meydana gelen değişimlerle açıklanabilir [109]. Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin sertliğini arttırdığı, mikro yapısında oluşan eta karbürler ile aşınma direncinin artması ve ısıl iletkenliğindeki artışların ölçülen kesme kuvvetlerini düşürdüğü görülmüştür [19,70,83]. Ramji ve arkadaşları kriyojenik işlem uygulanmış karbür matkaplar kullanarak gri dökme demirin delinmesinde esas kesme kuvvetlerinde iyileşmeler sağlamıştır [18]. Thakur karbür takımlara uyguladıkları kriyojenik işlem ile aşınma direncinde iyileşmeler sağlamışlar ve kriyojenik işlem sonrası karbür partiküllerini sıkı bir şekilde bir arada tutan kobaltın yoğunlaşmasına, bağlı olarak fiziksel değişikliklerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca karbür dağılımının homojen dağıldığı ve oluşan kompleks fazların sertliği arttırdığını belirtmişlerdir [20].



Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Hastelloy C22 çeliğin kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	107875	107875	53937	27,67	0,000	6,09
Kesme hızı	2	128332	128332	64166	32,91	0,000	7,3
İlerleme oranı	2	1494809	1494809	747404	383,36	0,000	84,4
Hata	20	38992	38992	1950	-	-	2,21
Toplam	26	1770008	-	-	-	-	100

S = 44,1543 R-Sq = % 97,80 R-Sq (adj) = % 97,14

Kaplamasız tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetlerine ait ANOVA Çizelgesi incelendiğinde kesici takım, kesme hızı ve ilerleme oranında  $P < 0,05$  olduğundan parametreler ile esas kesme kuvvetleri arasında anlamlı bir ilişki vardır. Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında elde edilen esas kesme kuvvetlerine etki eden en etkili parametre % 84,4’lük katkı ile ilerleme oranı olduğu tespit edilmiştir.

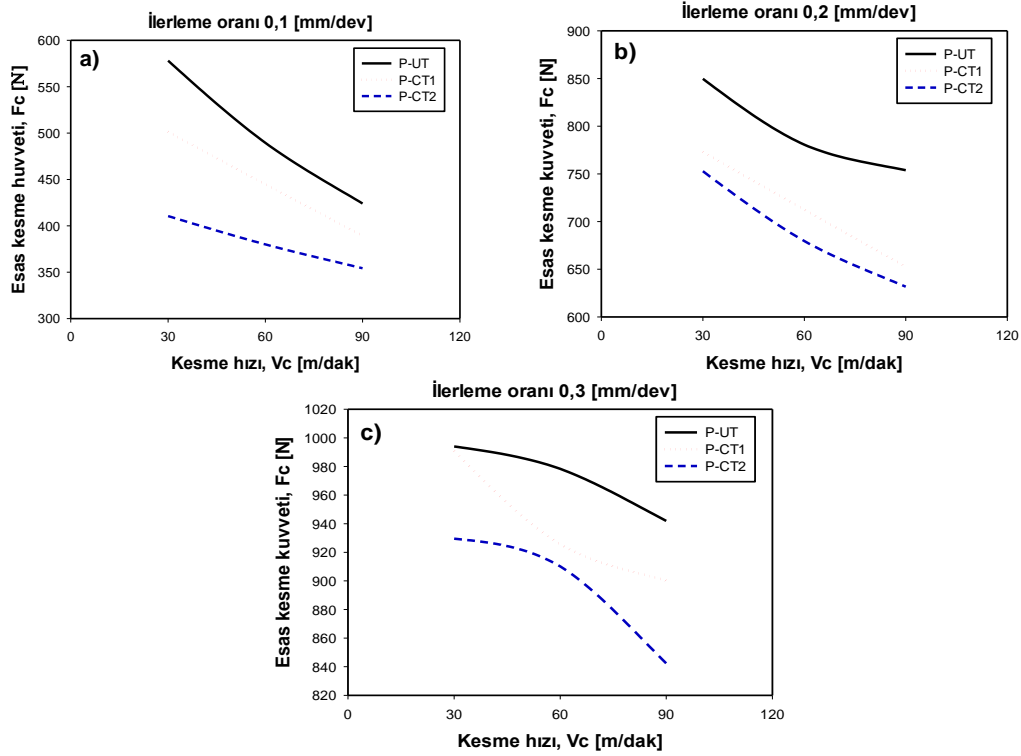
#### 5.1.1.2. PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarla Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim

Hastelloy C-22 süper alaşımının kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (P-UT, P-CT1 ve P-CT2), üç farklı kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Hastelloy C22 iş parçasının PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı ve ilerleme ile kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Esas Kesme kuvveti, Fc, (N)
1	P-UT	30	0,1	578,090
2	P-UT	60	0,1	489,520
3	P-UT	90	0,1	424,040
4	P-UT	30	0,2	849,730
5	P-UT	60	0,2	780,660
6	P-UT	90	0,2	753,910
7	P-UT	30	0,3	994,000
8	P-UT	60	0,3	978,370
9	P-UT	90	0,3	941,950
10	P-CT1	30	0,1	501,480
11	P-CT1	60	0,1	444,780
12	P-CT1	90	0,1	389,250
13	P-CT1	30	0,2	773,100
14	P-CT1	60	0,2	712,400
15	P-CT1	90	0,2	652,550
16	P-CT1	30	0,3	990,770
17	P-CT1	60	0,3	925,730
18	P-CT1	90	0,3	900,200
19	P-CT2	30	0,1	410,490
20	P-CT2	60	0,1	379,880
21	P-CT2	90	0,1	354,180
22	P-CT2	30	0,2	752,860
23	P-CT2	60	0,2	679,500
24	P-CT2	90	0,2	631,610
25	P-CT2	30	0,3	929,550
26	P-CT2	60	0,3	910,160
27	P-CT2	90	0,3	842,370

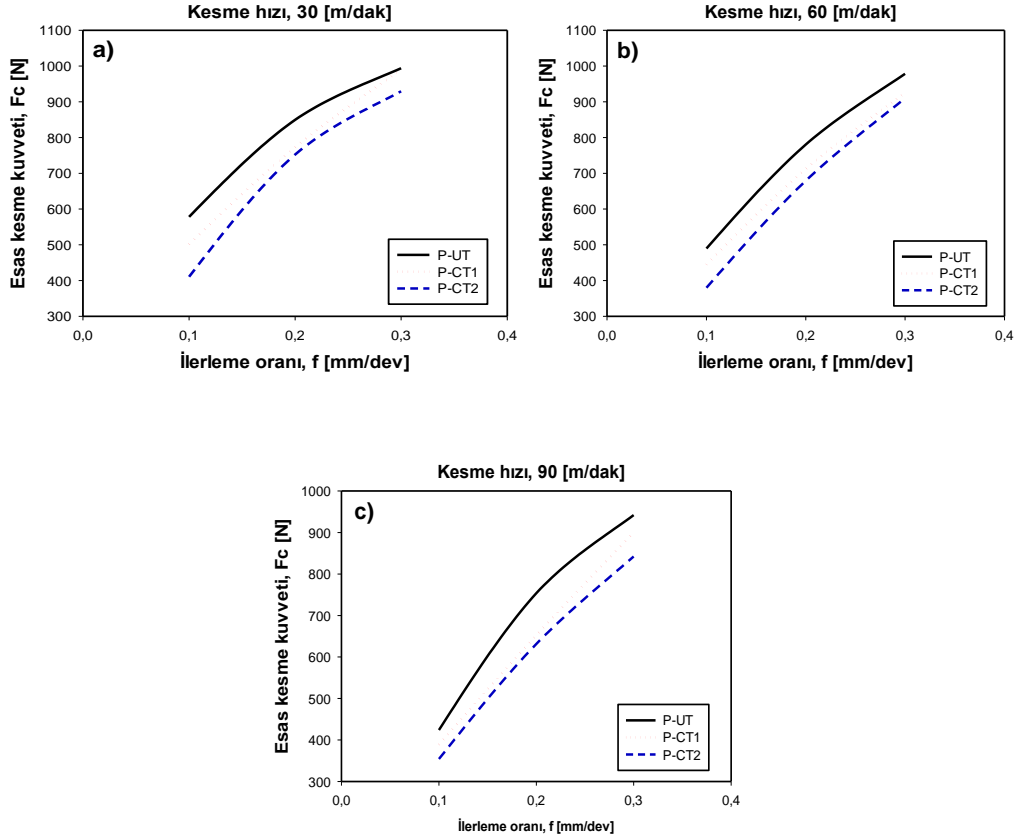
Kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla Hastelloy C 22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin, kesme hızlarına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla a) 30, b) 60 ve c) 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen kesme hızlarına göre değişen esas kesme kuvvetleri incelendiğinde, kesme hızının artışıyla birlikte esas kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetlerinin azalması literatürle de örtüşen bir sonuçtur [115,122]. Kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde oluşan ısı ile oluşan talaşlar akıcı şekilde takımdan uzaklaşır. Bu nedenlerle kesme hızlarının artması ile esas kesme kuvvetlerinde de düşüşler sağlanabilmektedir. P-UT takımla 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve 30 m/dak kesme hızında elde edilen esas kesme kuvveti 578,090 N iken 90 m/dak kesme hızında elde edilen esas kesme kuvveti 424,040 N olarak bulunmuştur. Kesme hızı artırılarak (30'dan 90 m/dak'ya) P-UT takımla elde edilen esas kesme kuvveti % 36,2 oranında düşürülmüştür.

Hastelloy C 22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (P-UT, P-CT1 ve P-CT2) tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin ilerleme oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen ilerleme oranına göre esas kesme kuvvetlerindeki değişim incelendiğinde ilerleme oranının artmasıyla esas kesme kuvvetlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu sonuç ilerleme oranının artmasıyla takımın kaldırdığı talaş miktarının artmasıyla açıklanabilir [122]. Kesici takımın kaldırdığı talaş miktarının artmasıyla kesici takıma uygulanan basınçta artmaktadır. Ayrıca kesme ortamında oluşan ısı kesici takımı deforme ederek kesme işlemini olumsuz etkilediğinden esas kesme kuvvetinin artışı kaçınılmazdır [109]. P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1-0,2 ve 0,3 ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvvetleri sırasıyla 354,180 N, 631,610 N ve 842,370 N'dur. P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında

ölçülen esas kesme kuvveti değerleri 0,2 ve 0,3 ilerleme oranında elde edilen değerlerden sırasıyla % 137,8 ve % 33,37 düşük bulunmuştur. İlerleme oranının esas kesme kuvvetlerine etkisinin bu kadar açık şekilde görülmesi uygun ilerleme oranının belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır.

PVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında oluşan esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde; kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Reddy ve arkadaşları, kriyojenik işlemin ISO P40 kalite kaplamalı (TiN/TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) karbür takıma etkisini araştırmak için tornalama deneyleri sonucunda kesici takımlarda meydana gelen yanak aşınması ve esas kesme kuvvetini değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kriyojenik işlem görmüş takımlar ile % 11 daha düşük esas kesme kuvveti elde etmişlerdir. Bu sonucu takımlara uygulanan kriyojenik işleme bağlı olarak takım aşınmalarının azalmasıyla açıklamışlardır [3]. Araştırmacıların buldukları bu sonuçlar kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı elde ettiğimiz esas kesme kuvvetleri sonuçları ile örtüşmektedir. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvvetleri sırasıyla 424,040 N, 389,250 N ve 354,180 N'dur. P-CT2 takımlarla elde edilen esas kesme kuvveti değerleri P-UT ve P-CT1 takımlarla elde edilen değerlerden sırasıyla % 19,7 ve % 9,9 düşük bulunmuştur.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi (Çizelge 5.4) yapılmıştır.

Çizelge 5.4. Hastelloy C22 çeliğin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	45153	45153	22577	55,40	0,000	3,7
Kesme hızı	2	44093	44093	22046	54,10	0,000	3,7
İlerleme oranı	2	1107380	1107380	553690	1358,69	0,000	91,9
Hata	20	8150	8150	408	-	-	0,7
Toplam	26	1204776	-	-	-	-	100

S = 20,1871 R-Sq = % 99,32 R-Sq (adj) = % 99,12

ANOVA test sonuçları incelendiğinde tüm parametrelerde  $P < 0,05$  olduğundan kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı ile esas kesme kuvveti arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Yapılan ANOVA testi sonucunda Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametre % 91,9 katkı payı ile ilerleme oranı olarak belirlenmiştir.

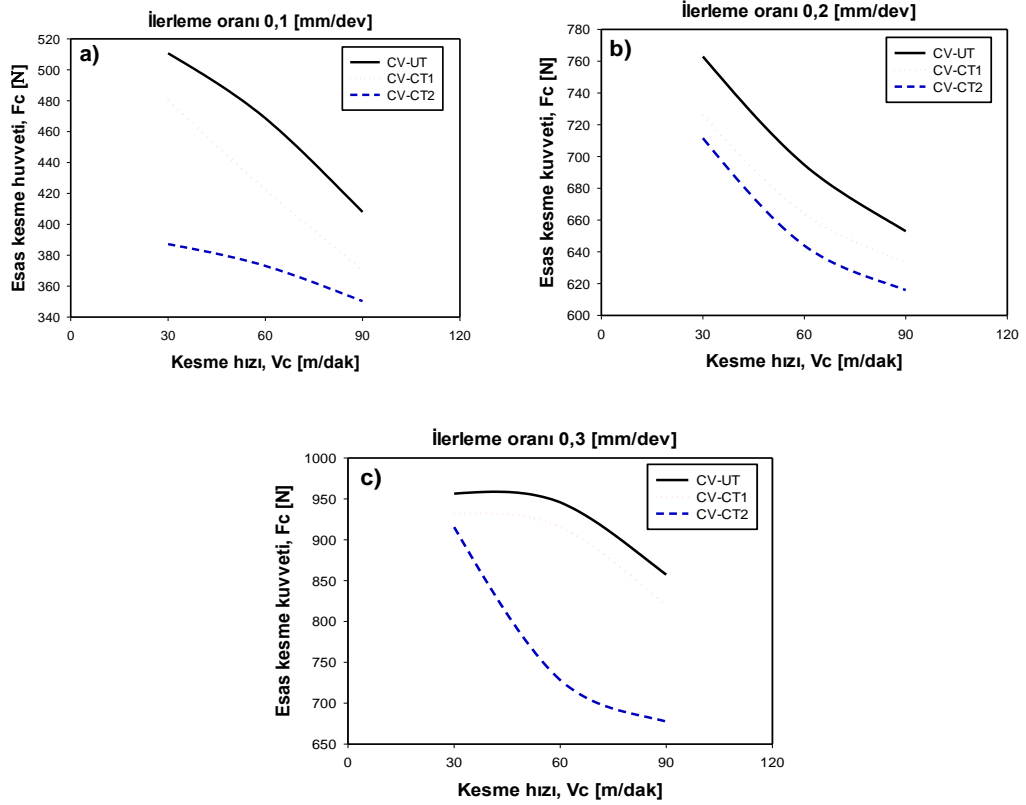
### 5.1.1.3. CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarla Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim

Kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2), kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), farklı ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde Hastelloy C-22 süper alaşımının tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara kriyojenik işlem uygulanmasıyla elde edilen takımlarla (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2) Hastelloy C 22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin, kesme hızlarına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Hastelloy C22 iş parçasının CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Esas Kesme kuvveti, Fc, (N)
1	CV-UT	30	0,1	510,710
2	CV-UT	60	0,1	468,700
3	CV-UT	90	0,1	408,020
4	CV-UT	30	0,2	762,970
5	CV-UT	60	0,2	694,760
6	CV-UT	90	0,2	652,960
7	CV-UT	30	0,3	956,430
8	CV-UT	60	0,3	945,830
9	CV-UT	90	0,3	857,270
10	CV-CT1	30	0,1	480,210
11	CV-CT1	60	0,1	422,390
12	CV-CT1	90	0,1	370,360
13	CV-CT1	30	0,2	726,090
14	CV-CT1	60	0,2	663,920
15	CV-CT1	90	0,2	633,150
16	CV-CT1	30	0,3	931,540
17	CV-CT1	60	0,3	915,790
18	CV-CT1	90	0,3	819,870
19	CV-CT2	30	0,1	387,150
20	CV-CT2	60	0,1	373,070
21	CV-CT2	90	0,1	350,240
22	CV-CT2	30	0,2	711,600
23	CV-CT2	60	0,2	643,880
24	CV-CT2	90	0,2	615,890
25	CV-CT2	30	0,3	915,440
26	CV-CT2	60	0,3	728,170
27	CV-CT2	90	0,3	677,460



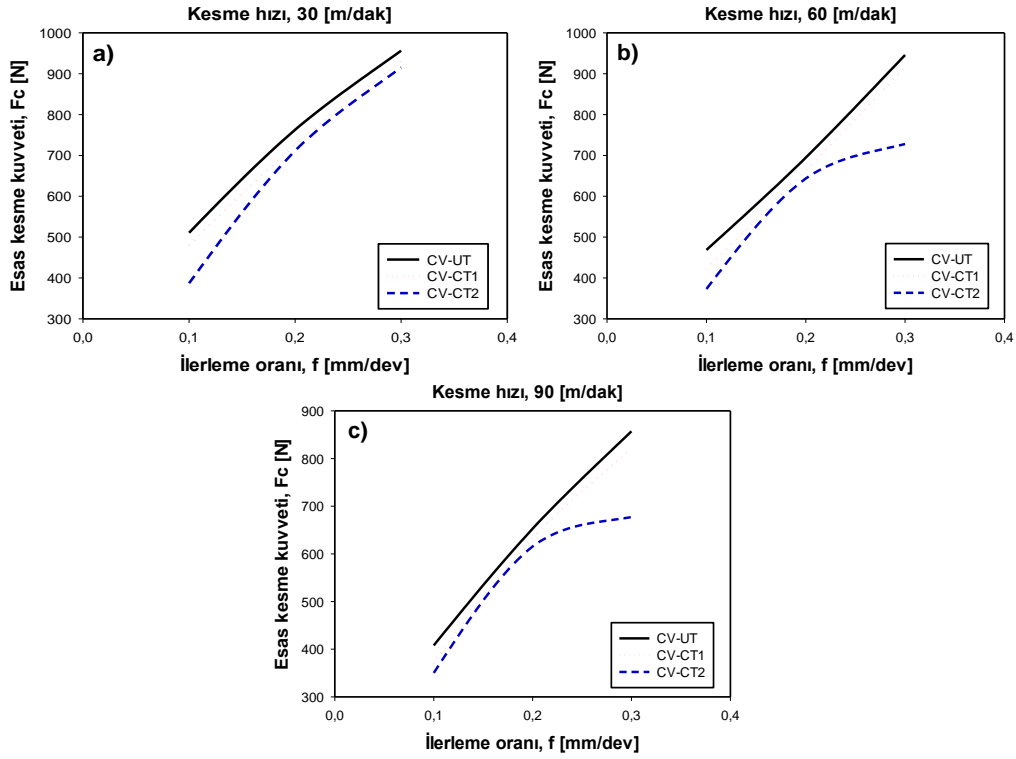
Şekil 5.6. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla a) 30, b) 60 ve c) 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Kriyojenik işlem uygulanan CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara elde edilen esas kesme kuvvetlerine göre değişen kesme kuvvetleri incelendiğinde esas kesme kuvvetlerinin kesme hızının artmasıyla düştüğü belirlenmiştir [21,115]. Kesme hızının artmasıyla oluşan yüksek ısı ile akıcı hale gelen talaş takım üzerinden rahat akmaktadır. Rahat akan talaş ile kesici takımlarda oluşan basıncın azalmasıyla kesme kuvvetlerinde düşüşler gözlemlenir [7]. CV-UT kesici takımla 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve 30-60 ve 90 m/dak kesme hızında bulunan esas kesme kuvveti değerleri sırasıyla 510,710 N, 468,700 N ve 408,020 N olarak bulunmuştur. 90 m/dak kesme hızında bulunan esas kesme kuvveti değerleri 30 ve 60 m/dak kesme hızı değerinden sırasıyla % 20,1 ve %12,9 daha düşük elde edilmiştir. Tüm parametrelerde en düşük esas kesme kuvvetine 90 m/dak. kesme hızında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar esas kesme kuvvetinin belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2) Hastelloy C 22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen



esas kesme kuvvetlerinin ilerleme oranına bağı olarak değişim grafikleri Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı kesici takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetlerinin ilerleme oranına göre değişim grafikleri incelenmiştir. İnceleme sonucu ilerleme oranının artması ile esas kesme kuvvetlerinin de arttığı belirlenmiştir. İlerleme hızının artmasıyla kesici takımlarda meydana gelen titreşimler kesme kuvvetlerinde dalgalanmalar oluşturmaktadır [109]. Bu nedenle esas kesme kuvvetlerinde ilerleme oranının artışına bağı olarak artışlar gözlemlenmektedir. CV-CT1 kesici takımla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvveti değerleri sırasıyla 370,360 N, 633,150 N ve 819,870 N olarak bulunmuştur. 0,1 mm/dev ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvveti değerleri 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında sırasıyla % 121,4 ve % 29,5 daha düşük elde edilmiştir. İlerlemeye bağı olarak elde edilen esas kesme kuvvetlerine bakıldığında en düşük kesme kuvvetlerine 0,1 mm/dev ilerleme oranında ulaşılmıştır.

CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde; kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin esas kesme kuvvetlerine olumlu katkı sağladığı söylenebilir. CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle elde edilen esas kesme kuvveti sonuçları literatürdeki çalışmalarla da örtüşmektedir [21]. Reddy ve arkadaşları C45 iş parçasını derin kriyojenik işlem uygulanmış çok katlı CVD kaplamalı tungsten karbür (TiCN, TiN) takımlarla talaş kaldırma esnasında ölçülen esas kesme kuvvetinde düşüş tespit etmişlerdir. Elde ettikleri bu sonucu takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle düşük takım aşınmasının, kesici takımın kesme köşesindeki düşük ısı ve kesici kenarlardaki bozulmanın azalmasıyla açıklamışlardır [21]. Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında elde edilen sonuçlar esas kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde en iyi kesme kuvvetlerine CV-CT2 takımlarla ulaşılmıştır. En ideal parametre olan CV-CT2 kesici takım, 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve 90 m/dak kesme hızında bulunan esas kesme kuvveti 350,240 N olarak belirlenmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Hastelloy C22 çeliğin CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	41900	41900	20950	15,58	0,000	4,1
Kesme hızı	2	55269	55269	27634	20,55	0,000	5,5
İlerleme oranı	2	887536	887536	443768	330,07	0,000	87,7
Hata	20	26889	26889	1344	-	-	2,7
Toplam	26	1011594	-	-	-	-	100

S = 36,6670 R-Sq = % 97,34 R-Sq (adj) = % 96,54

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında elde edilen kesme kuvvetlerine ait ANOVA Çizelgesi incelendiğinde kesici takım, kesme hızı ve ilerleme oranında  $P<0,05$  olduğundan parametreler ile kesme kuvvetleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında elde edilen kesme kuvvetlerine etki eden en etkili parametre % 87,7'lük katkı ile ilerleme oranı olarak belirlenmiştir.

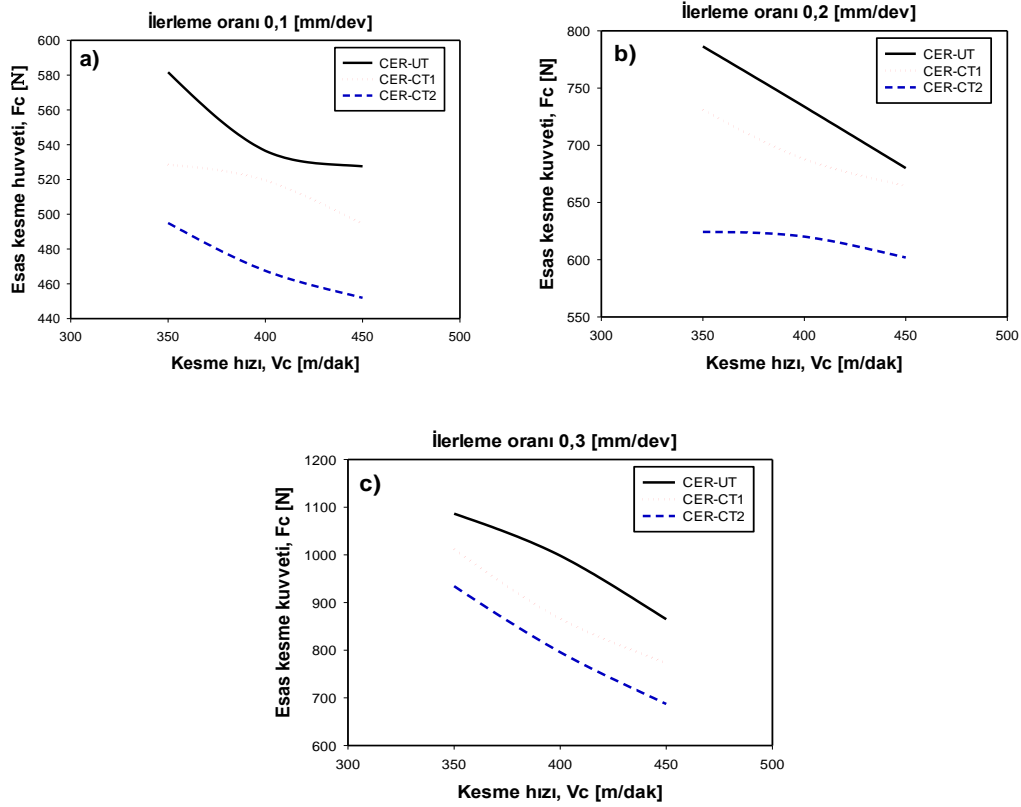
#### **5.1.1.4. Seramik Takımlarla Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Esas Kesme Kuvvetindeki Değişim**

Seramik takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle elde edilen takımlarla (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2), kesme hızı (350, 400 ve 450 m/dak), farklı ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde Hastelloy C-22 süper alaşımının tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvveti değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Hastelloy C22 iş parçasının seramik takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvveti değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Esas kesme kuvveti, Fc, (N)
1	CER-UT	350	0,1	581,680
2	CER-UT	400	0,1	536,480
3	CER-UT	450	0,1	527,590
4	CER-UT	350	0,2	786,400
5	CER-UT	400	0,2	733,770
6	CER-UT	450	0,2	680,100
7	CER-UT	350	0,3	1086,450
8	CER-UT	400	0,3	998,370
9	CER-UT	450	0,3	865,020
10	CER-CT1	350	0,1	528,570
11	CER-CT1	400	0,1	519,550
12	CER-CT1	450	0,1	494,510
13	CER-CT1	350	0,2	731,040
14	CER-CT1	400	0,2	687,890
15	CER-CT1	450	0,2	664,480
16	CER-CT1	350	0,3	1012,000
17	CER-CT1	400	0,3	866,210
18	CER-CT1	450	0,3	772,600
19	CER-CT2	350	0,1	494,950
20	CER-CT2	400	0,1	467,450
21	CER-CT2	450	0,1	451,900
22	CER-CT2	350	0,2	624,280
23	CER-CT2	400	0,2	620,110
24	CER-CT2	450	0,2	601,840
25	CER-CT2	350	0,3	934,370
26	CER-CT2	400	0,3	795,580
27	CER-CT2	450	0,3	686,910

Kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla Hastelloy C 22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin, kesme hızlarına (350, 400 ve 450 m/dak) bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.8’de verilmiştir.

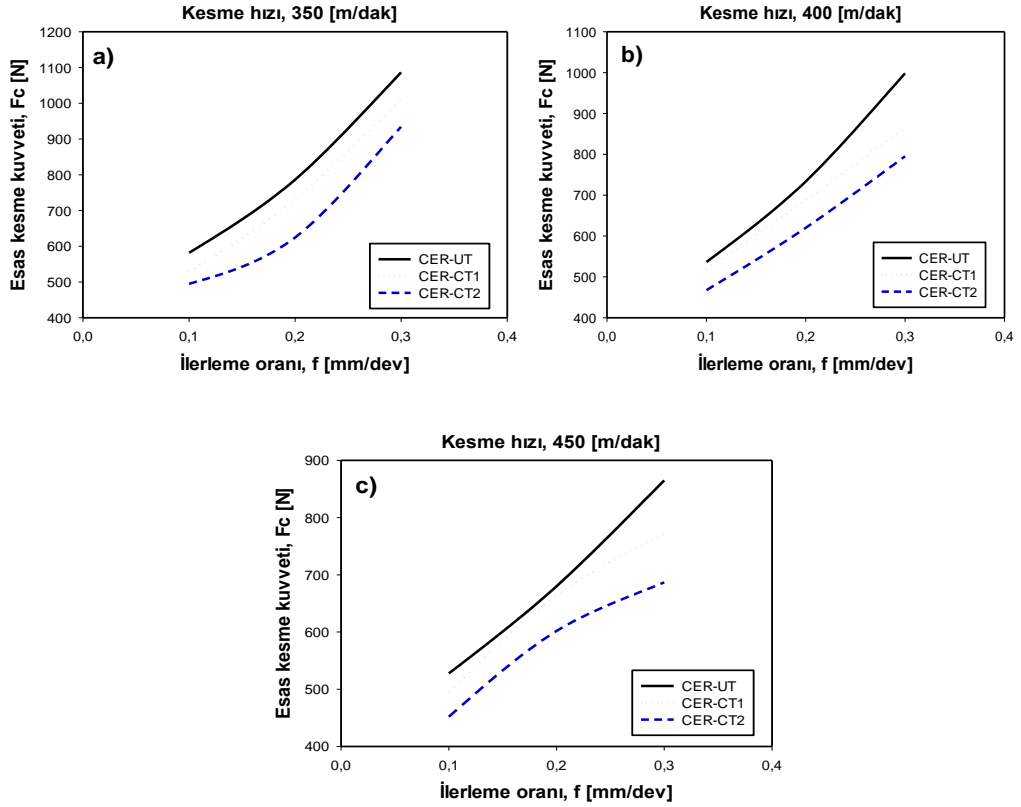


Şekil 5.8. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla a) 350, b) 400 ve c) 450 m/dak kesme hızlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Kesme hızlarına göre kesme hızlarının değişim grafikleri incelendiğinde esas kesme kuvvetlerinin kesme hızının artışına bağlı olarak azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [115, 124]. Kesme hızının artışıyla akışkan hale gelen talaş kesici takıma yapışmadan rahat şekilde takımdan uzaklaşır. Kesme hızının artışına bağlı olarak artan ısı kesici takıma gelen kuvvetleri de azaltmaktadır. Bu nedenle kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetlerinde düşüş sağlanmaktadır. CER-UT kesici takımla 0,3 mm/dev ilerleme oranı ve 350, 400 ve 450 m/dak kesme hızında bulunan esas kesme kuvveti değerleri sırasıyla 1086,450 N, 998,370 N ve 865,020 N olarak bulunmuştur. 450 m/dak kesme hızında bulunan esas kesme kuvveti değerleri 350 ve 400 m/dak kesme hızı değerinden sırasıyla % 20,4 ve % 13,4 daha düşük elde edilmiştir. Kesme hızına

bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvetlerine bakıldığında en düşük esas kesme kuvveti 450 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2) tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetlerinin, ilerleme oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.9' da verilmiştir.



Şekil 5.9. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen esas kesme kuvvetleri değişim grafikleri.

Seramik takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında ölçülen esas kesme kuvvetleri ilerleme oranında göre değişim grafikleri incelenmiştir. Esas kesme kuvvetinin ilerleme oranının artmasına bağlı olarak artış gösterdiği belirlenmiştir. Esas kesme kuvvetleri tornalama esnasında kesici takıma gelen basınçlar nedeniyle oluşmaktadır. İlerleme oranının artmasıyla kaldırılan talaş miktarı artmaktadır. Artan talaş miktarı ile kesici takımında oluşan basınç, aşınma ve titreşim artmaktadır. Böylece ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetleri de

artmaktadır [122,123]. CER-CT2 kesici takımla 450 m/dak kesme hızı ve 0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvveti değerleri sırasıyla 451,900 N, 601,840 N ve 686,910 N olarak bulunmuştur. 0,1 mm/dev ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvveti değerleri 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında sırasıyla % 14,13 ve % 52 daha düşük elde edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın seramik takımlarla tornalanmasında, tüm parametrelerde elde edilen esas kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde en düşük kesme kuvvetlerine 0,1 mm/dev ilerleme oranında ulaşılmıştır.

Seramik takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasına esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde kriyojenik işlemin seramik takımlara olumlu etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Kesme kuvvetlerindeki düşüş daha iyi kesme şartlarında elde edilmektedir. Özellikle Hastelloy C22 gibi ısıl dirençli süper alaşımların tornalanmasında oluşan yüksek ısıların kesici takımı en az şekilde etkilemesi esas kesme kuvvetlerinin düşürülmesinde önemlidir. Kriyojenik işlemin kesici takımların takım aşınma direncini, tokluğunu, sertliğini, elektrik iletkenliğini ve ısıl iletkenliğini arttırdığı bilinmektedir [11,21,70]. Talaşlı imalatta yüksek ısıl iletkenlik kesme işlemi esnasında oluşan ısının kesme bölgesinden hızlı şekilde uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle kesici takımların elektrik veya ısıl iletkenliklerinde elde edilecek herhangi bir iyileşme kesici takımlarda ısıdan kaynaklanacak aşınmaları azaltabilecektir [122]. Kriyojenik işlemin seramik takımlara etkisini tespit etmek için yaptığımız araştırmalarda; kriyojenik işlemler ile seramik takımların aşınma direncinde (Şekil 5.25), elektrik iletkenliğinde (Şekil 5.43) ve sertliğinde (Şekil 5.39) artışlar sağlanmıştır. Bu sonuçların seramik takımların Hastelloy süper alaşımın tornalanması esnasında elde edilen kesme kuvvetlerinin düşmesini sağladığı sonucuna varılabilir. En ideal kesme hızı 450 m/dak ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında, CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla elde edilen esas kesme kuvveti değerleri sırasıyla 527,590N, 494,510 N ve 451,900 N olarak bulunmuştur. CER-CT2 takımlarla 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında ölçülen esas kesme kuvveti değerleri CER-UT ve CER-CT1 takımlarla elde edilen değerlerden sırasıyla % 16,7 ve % 6,7 daha düşük belirlenmiştir. En düşük kesme kuvvetlerine derin kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla (CER-CT2) ulaşılmıştır.

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında elde edilen sonuçlar esas kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde en iyi kesme kuvvetlerine CER-CT2 takımlarla ulaşılmıştır. En ideal parametre olan CER-CT2 kesici takım, 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve 450 m/dak kesme hızında bulunan esas kesme kuvveti 451,900 N olarak belirlenmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş seramik kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Çizelge 5.8’ de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Hastelloy C22 çeliğin seramik takımlarla tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvvetine ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	69618	69618	34809	15,39	0,000	8,4
Kesme hızı	2	59589	59589	29795	13,17	0,000	7,2
İlerleme oranı	2	650242	650242	325121	143,74	0,000	78,8
Hata	20	45238	45238	2262	-	-	5,6
Toplam	26	824688	-	-	-	-	100

$\bar{S} = 47,5594$   $R-Sq = \% 94,51$   $R-Sq (adj) = \% 92,87$

Seramik takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetlerine ait ANOVA test sonuçları incelendiğinde tüm parametrelerde  $P < 0,05$  olduğundan kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı ile esas kesme kuvveti arasında anlamlı bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan ANOVA testi sonucunda Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş seramik kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametre % 78,8 katkı payı ile ilerleme tespit edilmiştir.

#### 5.1.1.5. Kesme Kuvvetleri Genel Değerlendirme

Hastelloy C-22 süper alaşımının farklı kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takım türleriyle (UT, CT1 ve CT2), kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak),



farklı ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde tornalanması esnasında elde edilen esas kesme kuvveti değerleri değerlendirildiğinde; en düşük esas kesme kuvveti CT2 takımla, 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında ulaşılmıştır. Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında ölçülen esas kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerini düşürdüğü görülmüştür. CT2 takımla elde edilen esas kesme kuvveti, UT ve CT1 takıma göre sırasıyla % 16,5 ve % 3,3 iyileşme sağlanmıştır. CT2 kesici takımla optimum şartlarda elde edilen esas kesme kuvveti değeri 387,750 N olarak elde edilmiştir.

Kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetleri incelendiğinde, P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1-0,2 ve 0,3 ilerleme oranında bulunan esas kesme kuvvetleri sırasıyla 354,180 N, 631,610 N ve 842,370 N olarak elde edilmiştir. P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında ölçülen esas kesme kuvveti değerleri 0,2 ve 0,3 ilerleme oranında elde edilen değerlerden sırasıyla % 137,8 ve % 33,37 düşük bulunmuştur. Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetlerini düşürdüğü belirlenmiştir.

CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde; kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin esas kesme kuvvetlerine olumlu katkı sağladığı söylenebilir. En ideal parametre olan 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında CV-CT2 kesici takımla elde edilen esas kesme kuvveti 350,240 N olarak belirlenmiştir. Aynı parametrelerde CV-UT kesici takımla elde edilen esas kesme kuvveti 408,020 N'dur. CV-CT2 kesici takımla CV-UT kesici takıma göre esas kesme kuvvetinde % 16,5'lik düşüş sağlanmıştır.

Seramik takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasına esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde kriyojenik işlemin seramik takımlara olumlu etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. En ideal kesme

hızı 450 m/dak ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında, CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla elde edilen esas kesme kuvveti değerleri sırasıyla 527,590 N, 494,510 N ve 451,900 N olarak bulunmuştur. CER-CT2 takımlarla 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında ölçülen esas kesme kuvveti değerleri CER-UT ve CER-CT1 takımlarla elde edilen değerlerden sırasıyla % 16,7 ve % 6,7 daha düşük belirlenmiştir.

Genel olarak kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde tüm kesici takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetlerine sıg ve derin kriyojenik işlemin esas kesme kuvvetlerine olumlu katkı sağladığı görülmüştür. En düşük esas kesme kuvvetleri tüm takımlarda derin kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda elde edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde düşüş sağlanmış olup, artan ilerleme oranlarıyla kesme kuvvetlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Aynı kesme hızı ve ilerleme oranında tornalama yapılan kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı ve CVD kaplamalı karbürlerle elde edilen kesme kuvvetleri farklılık göstermektedir. Tüm bu takım türlerinde en düşük kesme kuvvetlerine derin kriyojenik işlem görmüş takımlarla ulaşılmıştır. 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve 90 m/dak kesme hızında CT2, P-CT2 ve CV-CT2 takımlarla elde edilen kesme kuvvetleri sırasıyla 387,75 N, 354,18 N ve 350,24 N olarak tespit edilmiştir. En düşük kesme kuvvetlerine CV-CT2 takımlarla ulaşılmıştır. CV-CT2 takımlarla elde edilen esas kesme kuvveti CT2 ve P-CT2 kesici takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinden sırasıyla % 10,7 ve % 9,4 daha iyi olarak belirlenmiştir. Derin kriyojenik işlem görmüş seramik takımlarla (CER-CT2) 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve 450 m/dak kesme hızında elde edilen esas kesme kuvveti 451,90 N bulunmuştur.

### **5.1.2. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü**

Talaşlı imalatta işlenen parçaların ürün kalitesi önemlidir. Ürünlerin yüzey kalitesinin iyi elde edilmesi talaşlı imalat esnasındaki parametrelerin optimize edilmesi ile gerçekleşmektedir. Teknolojinin gelişesiyle birlikte yüksek kesme hızlarında talaş kaldıracılma özelliğine sahip üstün özellikli kesici takımlar üretilebilmektedir. Kesici takımların gelişmesiyle birlikte yeni üstün özellikli yeni tür

endüstri malzemeleride üretilmektedir. Bu üstün özellikli malzemelerden olan süper alaşımların işlenebilme zorlukları parçaların yüzey kalitesinin iyi elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu tür malzemelerin yüksek kalite ve verimlilikte işlenebilmesi için uygun takımların, parametrelerin seçilmesi var olan kesici takımların performanslarının geliştirilmesi için önem kazanmaktadır. Bu bölümde, Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla işlenmesi ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmiştir.

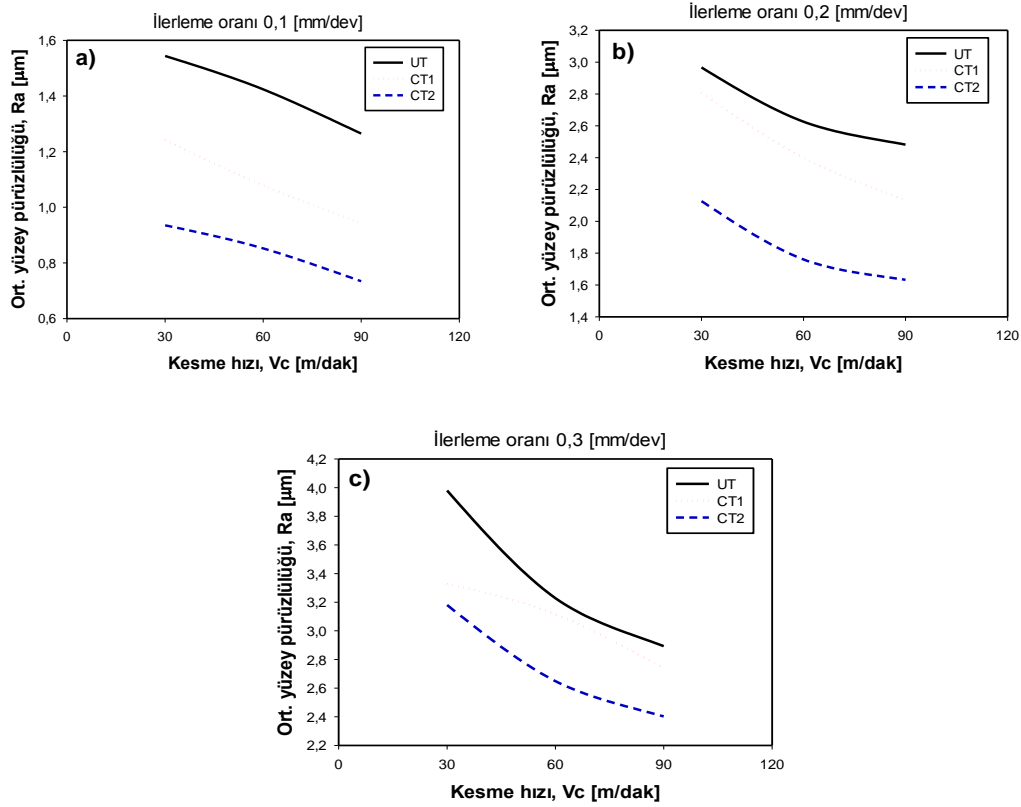
#### **5.1.2.1. Kaplamasız Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hizi, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim**

Hastelloy C22 süper alaşımının farklı kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımlarla (UT, CT1 ve CT2), üç farklı kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Hastelloy C22 iş parçasının kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra, (µm)
1	UT	30	0,1	1,544
2	UT	60	0,1	1,424
3	UT	90	0,1	1,265
4	UT	30	0,2	2,967
5	UT	60	0,2	2,626
6	UT	90	0,2	2,482
7	UT	30	0,3	3,980
8	UT	60	0,3	3,228
9	UT	90	0,3	2,893
10	CT1	30	0,1	1,242
11	CT1	60	0,1	1,079
12	CT1	90	0,1	0,942
13	CT1	30	0,2	2,809
14	CT1	60	0,2	2,399
15	CT1	90	0,2	2,132
16	CT1	30	0,3	3,329
17	CT1	60	0,3	3,117
18	CT1	90	0,3	2,740
19	CT2	30	0,1	0,935
20	CT2	60	0,1	0,852
21	CT2	90	0,1	0,734
22	CT2	30	0,2	2,127
23	CT2	60	0,2	1,760
24	CT2	90	0,2	1,632
25	CT2	30	0,3	3,181
26	CT2	60	0,3	2,648
27	CT2	90	0,3	2,402

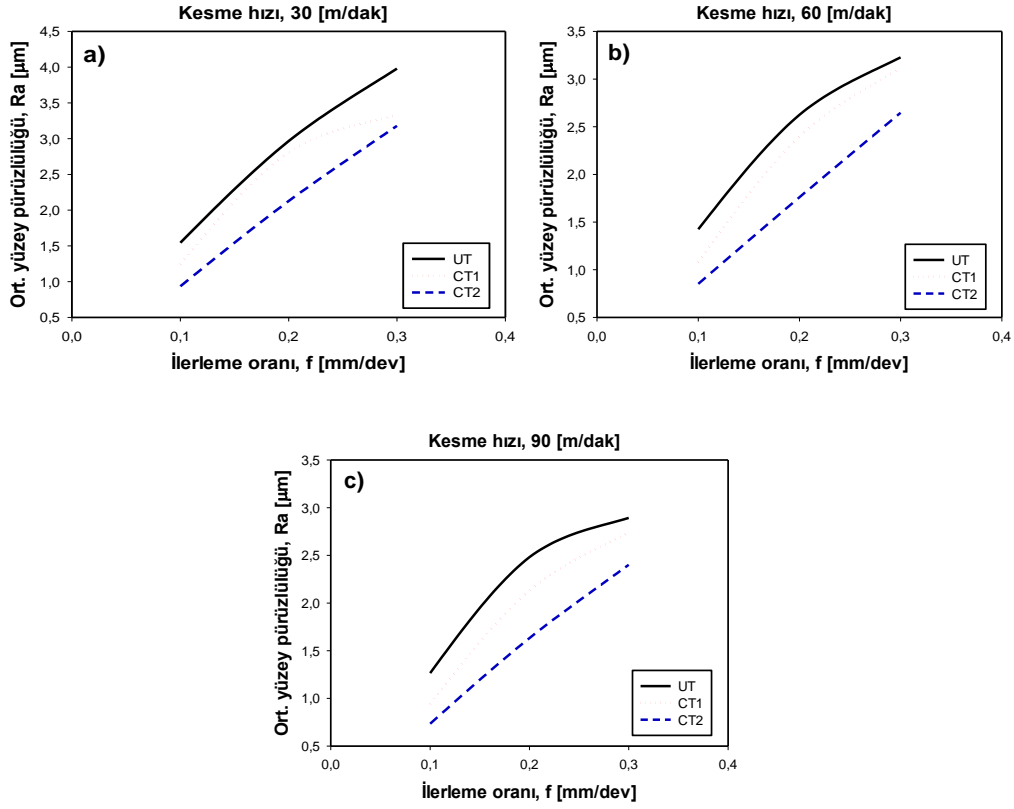
Hastelloy C22 süper alaşımın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin kesme hızlarına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. UT, CT1 ve CT2 takımlarla a) 30, b) 60 ve c) 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

Kaplamasız tungsten karbür takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlüklerinin kesme hızının artmasına bağlı olarak düşüş göstermiştir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün düşüş göstermesi beklenen bir durumdur [122]. Kesme hızının artması ile azalan kesme kuvvetleri sayesinde ortalama yüzey pürüzlülükleri de azalmıştır (Şekil 5.2). Kesme kuvvetlerinin azalması ile kesici takımda oluşan titreşimlerin azalması yüzey pürüzlüklerini olumlu yönde etkilemektedir [3,125]. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 90 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında ilerleme oranına göre değişen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. UT, CT1 ve CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

İlerleme oranının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri artış göstermiştir. İlerleme oranının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün artış göstermesinin nedeni; ilerlemenin artmasıyla kaldırılan talaş miktarında meydana gelen artış ile açıklanabilir [83]. İlerlemenin artması ile kesici takımında oluşan titreşimler yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir [122]. İlerleme oranlarının ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine etkisi incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir.

Takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisine bakıldığında tüm kesme hızı ve ilerleme oranlarında derin kriyojenik işlem uygulanmış CT2 takımlar daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. CT1 takımlarla ise UT takıma göre daha düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük sonuçlarına göre sığ ve derin kriyojenik işlemin karbür takımının kesme performansını iyileştirerek ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini daha düşük değerlerde elde edilmesini sağlamıştır [126]. Kaplamasız tungsten karbür takımlara

uygulanan derin ve sığ kriyojenik işlemlerin takımların performansı üzerindeki etkilerine bakıldığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha yüksek performans göstermişti. Kriyojenik işlem uygulanan karbür kesici takımlarla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük elde edilmesinin nedeni; kaplamasız tungsten karbür takımların kriyojenik işleme bağlı olarak mikro yapılarında iyileşmelerin (Şekil 5.34 ve Şekil 5.35) sebep olduğu söylenebilir. Kaplamasız tungsten karbür takımlar üzerinde yapılan mikro analizlerde, mikro yapılarında olumlu anlamda meydana gelen değişimler sonucunda, takım aşınma direncinde, elektrik iletkenliğinde ve takım sertliğinde önemli iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Isıl dirençli süper alaşım olan Hastelloy C22' nin tornalanması esnasında oluşan yüksek ısılar kesici takımların aşınmasını hızlandırmaktadır [122]. Kaplamasız tungsten karbür takımların kriyojenik işleme bağlı olarak elektrik iletkenliğinin artışı, talaş kaldırma anında kesme bölgesinde oluşan ısıların kesici takımla kesme bölgesinde hızlı bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmıştır. Kesici takımın kesme yapan köşesinde hızla uzaklaştırılan ısı takımın aşınmasını azaltmaktadır [30]. Tüm işleme parametreleri incelendiğinde Hastelloy C22 süper alaşımın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanmasında en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri derin kriyojenik işlem uygulanmış CT2 takımlar 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir. CT2 takımla 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,734  $\mu\text{m}$ 'dur. Aynı kesme hızı ve ilerleme oranında UT takımında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1,265  $\mu\text{m}$ , CT1 takımla ise 0,942  $\mu\text{m}$  değerleri elde edilmiştir. CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile UT ve CT1 takımlara göre sırasıyla % 72,3 ve % 28,3'lük iyileşme göstermiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Hastelloy C22 çeliğin kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	2,1080	2,1080	1,0540	44,08	0,000	9,8
Kesme hızı	2	1,3507	1,3507	0,6754	28,25	0,000	6,3
İlerleme oranı	2	17,3635	17,3635	8,6818	363,08	0,000	81,5
Hata	20	0,4782	0,4782	0,0239	-	-	2,4
Toplam	26	21,3005	-	-	-	-	100

S = 0,154632 R-Sq = % 97,75 R-Sq (adj) = % 97,08

Kaplamasız tungsten karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerine ait ANOVA Çizelgesi incelendiğinde kesici takım, kesme hızı ve ilerleme oranında  $P < 0,05$  olduğundan parametreler ile ortalama yüzey pürüzlülükleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre % 81,5'lik katkı oranı ile ilerleme olduğu tespit edilmiştir.

#### **5.1.2.2. PVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim**

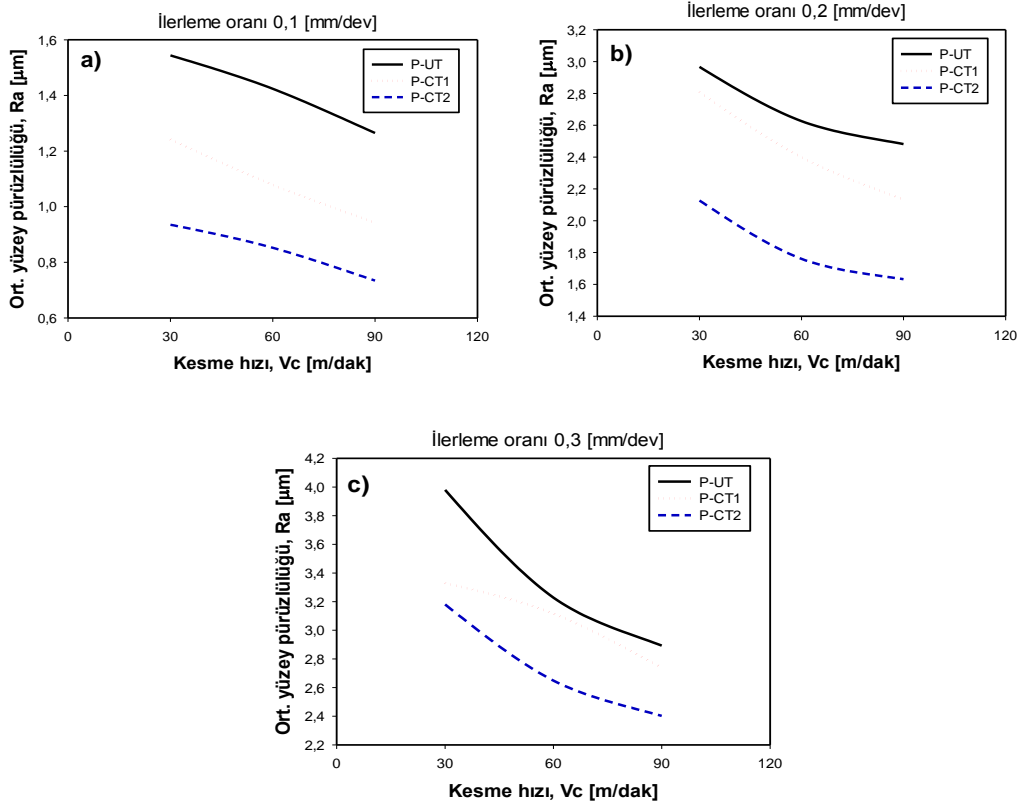
Kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (P-UT, P-CT1 ve P-CT2), Hastelloy C22 süper alaşımının kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerleri Çizelge 5.11'de verilmiştir.



Çizelge 5.11. Hastelloy C22 iş parçasının PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra, (µm)
1	P-UT	30	0,1	1,407
2	P-UT	60	0,1	1,313
3	P-UT	90	0,1	1,233
4	P-UT	30	0,2	2,288
5	P-UT	60	0,2	2,176
6	P-UT	90	0,2	2,145
7	P-UT	30	0,3	3,001
8	P-UT	60	0,3	2,945
9	P-UT	90	0,3	2,809
10	P-CT1	30	0,1	0,968
11	P-CT1	60	0,1	0,918
12	P-CT1	90	0,1	0,757
13	P-CT1	30	0,2	2,168
14	P-CT1	60	0,2	1,795
15	P-CT1	90	0,2	1,681
16	P-CT1	30	0,3	2,965
17	P-CT1	60	0,3	2,882
18	P-CT1	90	0,3	2,581
19	P-CT2	30	0,1	0,690
20	P-CT2	60	0,1	0,641
21	P-CT2	90	0,1	0,618
22	P-CT2	30	0,2	1,877
23	P-CT2	60	0,2	1,685
24	P-CT2	90	0,2	1,544
25	P-CT2	30	0,3	2,883
26	P-CT2	60	0,3	2,536
27	P-CT2	90	0,3	2,229

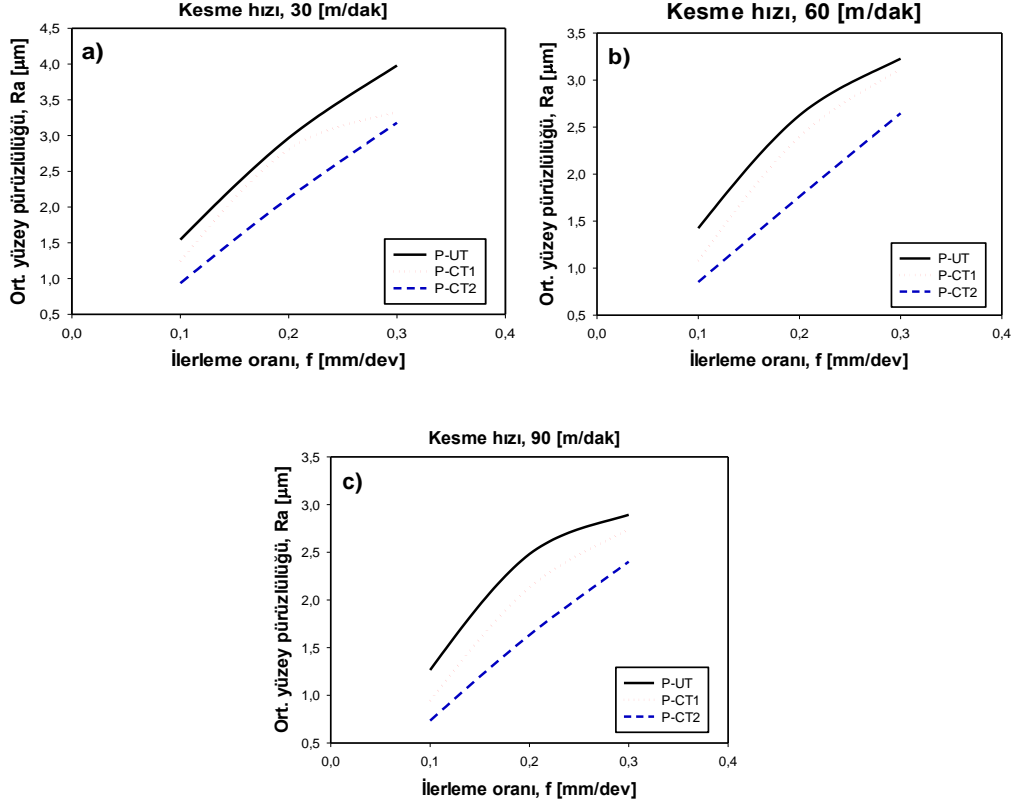
Kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin kesme hızlarına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.12’te verilmiştir.



Şekil 5.12. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla a) 30, b) 60 ve c) 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

PVD kaplamalı kesici takımlarla kesme hızlarına bağlı olarak değişen ortalama yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde kesme hızının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür. Kesme hızının artması ile kesme birinci deformasyon bölgesinde oluşan ısı artmaktadır. Birinci deformasyon bölgesindeki artan ısı nedeniyle plastik deformasyon kolaylaşmakta, titreşimler azalmakta bunlara bağlı olarak da ortalama yüzey pürüzlülük değerleri düşüş göstermektedir [109,120,127,128]. PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla Hastelloy C22 süper alaşım çeliğinin işlenmesinde kesme hızlarının ortalama yüzey pürüzlülüğü etkisi açısından bakıldığında en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 90 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (P-UT, P-CT1 ve P-CT2) tormalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin ilerleme oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tormalanması sonucu ilerleme oranının artışına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerindeki değişim incelendiğinde; ilerleme oranının artışıyla ortalama yüzey pürüzlülükleri artış göstermiştir. İlerlemenin artmasıyla kaldırılan talaş miktarında meydana gelen artış titreşimi arttırmakta bunlara bağlı olarak da ortalama yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermektedir [83,125]. PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla en iyi ortalama yüzey pürüzlülükleri 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir.

Kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde kriyojenik işlemin yüzey pürüzlüklerine olumlu etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Kriyojenik işlem uygulanan PVD kaplamalı tungsten karbür kesici takımlarla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük elde edilmesinin nedeni; PVD kaplamalı tungsten karbür takımların kriyojenik işleme bağlı olarak mekanik yapılarında iyileşmelerin sebep olduğu söylenebilir [30]. PVD kaplamalı tungsten karbür takımlar üzerinde yapılan mikro analizlerde, mikro yapılarında olumlu anlamda meydana gelen değişimler sonucunda, takım aşınma direncinde, elektrik iletkenliğinde ve takım sertliğinde önemli iyileşmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Isıl dirençli süper alaşım olan Hastelloy C22' nin tornalanması esnasında oluşan yüksek ısılar kesici takımların aşınmasını hızlandırmaktadır [125]. PVD kaplamalı tungsten karbür takımların kriyojenik işleme bağlı olarak elektrik iletkenliğinin artışı, talaş kaldırma anında kesme bölgesinde oluşan ısıların kesici takımla kesme bölgesinde hızlı bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmıştır. Kesici takımın kesme yapan köşesinde hızla uzaklaştırılan ısı takımın aşınmasını azaltmaktadır [30]. Bu sebeplerden dolayı en iyi yüzey pürüzlülük değerlerine derin kriyojenik işlem uygulanmış P-CT2 takımlarla ulaşılmıştır. Hastelloy C22 süper alaşımın PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında en iyi parametreler: 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla P-UT takımla 1,233 µm, P-CT1 takımla 0,757 µm ve P-CT2 takımla 0,618 µm olarak elde edilmiştir. P-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri P-UT ve P-CT1 takıma göre sırasıyla % 99,5 ve % 22,5'lik iyileşme sağlanmıştır.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi (Çizelge 5.12) yapılmıştır.

Çizelge 5.12. Hastelloy C22 çeliğin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	1,1892	1,1892	0,5946	44,42	0,000	7,1
Kesme hızı	2	0,3902	0,3902	0,1951	14,57	0,000	2,3
İlerleme oranı	2	14,7686	14,7686	7,3843	551,61	0,000	88,8
Hata	20	0,2677	0,2677	0,0134	-	-	1,8
Toplam	26	16,6157	-	-	-	-	100

0,115701 R-Sq = % 98,39 R-Sq (adj) = % 97,91

ANOVA test sonuçları incelendiğinde tüm parametrelerde  $P < 0,05$  olduğundan kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasında anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Yapılan ANOVA testi sonucunda Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı tungsten karbür kesici takımlarla tormalanması sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre % 88,8'lik katkı oranı ile ilerleme olduğu tespit edilmiştir.

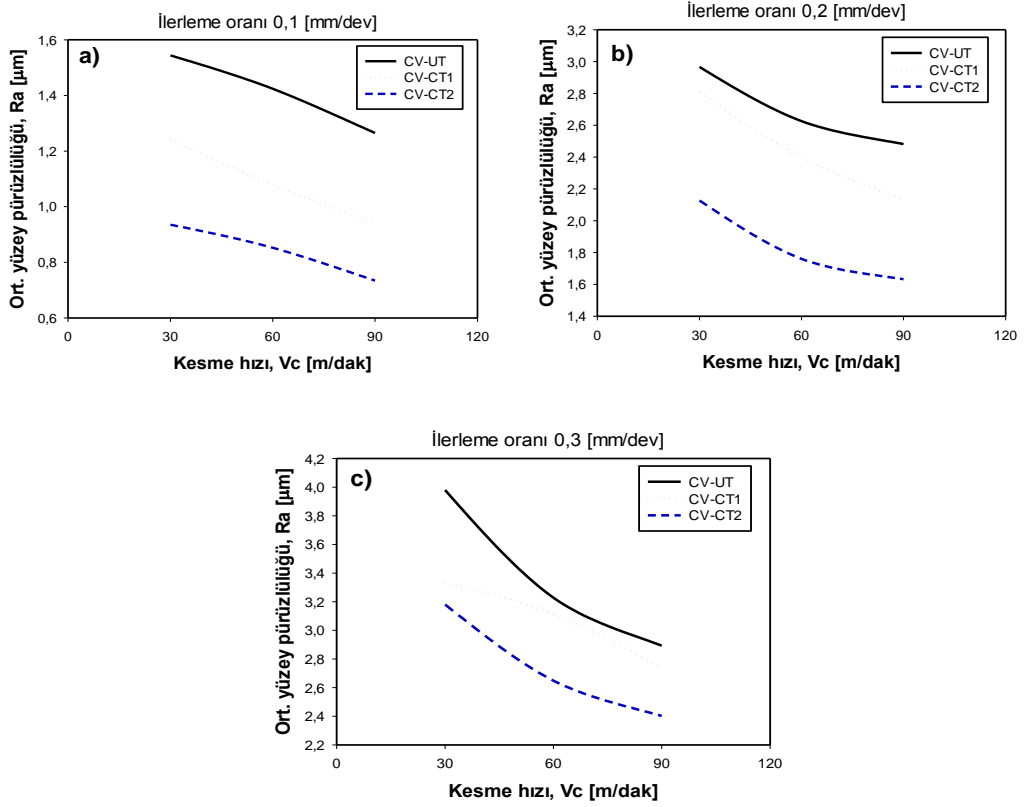
### 5.1.2.3. CVD Kaplamalı Tungsten Karbür Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim

Kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2), kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde Hastelloy C-22 süper alaşımının tormalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerleri Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Hastelloy C22 iş parçasının PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra, (µm)
1	CV-UT	30	0,1	0,896
2	CV-UT	60	0,1	0,893
3	CV-UT	90	0,1	0,787
4	CV-UT	30	0,2	1,997
5	CV-UT	60	0,2	1,993
6	CV-UT	90	0,2	1,897
7	CV-UT	30	0,3	3,235
8	CV-UT	60	0,3	2,877
9	CV-UT	90	0,3	2,342
10	CV-CT1	30	0,1	0,627
11	CV-CT1	60	0,1	0,620
12	CV-CT1	90	0,1	0,615
13	CV-CT1	30	0,2	1,944
14	CV-CT1	60	0,2	1,717
15	CV-CT1	90	0,2	1,608
16	CV-CT1	30	0,3	3,167
17	CV-CT1	60	0,3	2,662
18	CV-CT1	90	0,3	1,948
19	CV-CT2	30	0,1	0,611
20	CV-CT2	60	0,1	0,570
21	CV-CT2	90	0,1	0,559
22	CV-CT2	30	0,2	1,757
23	CV-CT2	60	0,2	1,645
24	CV-CT2	90	0,2	1,462
25	CV-CT2	30	0,3	2,896
26	CV-CT2	60	0,3	2,161
27	CV-CT2	90	0,3	1,693

CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara kriyojenik işlem uygulanmasıyla elde edilen takımlarla (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2) Hastelloy C 22 süper alaşımın tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin kesme hızlarına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.14’de verilmiştir.

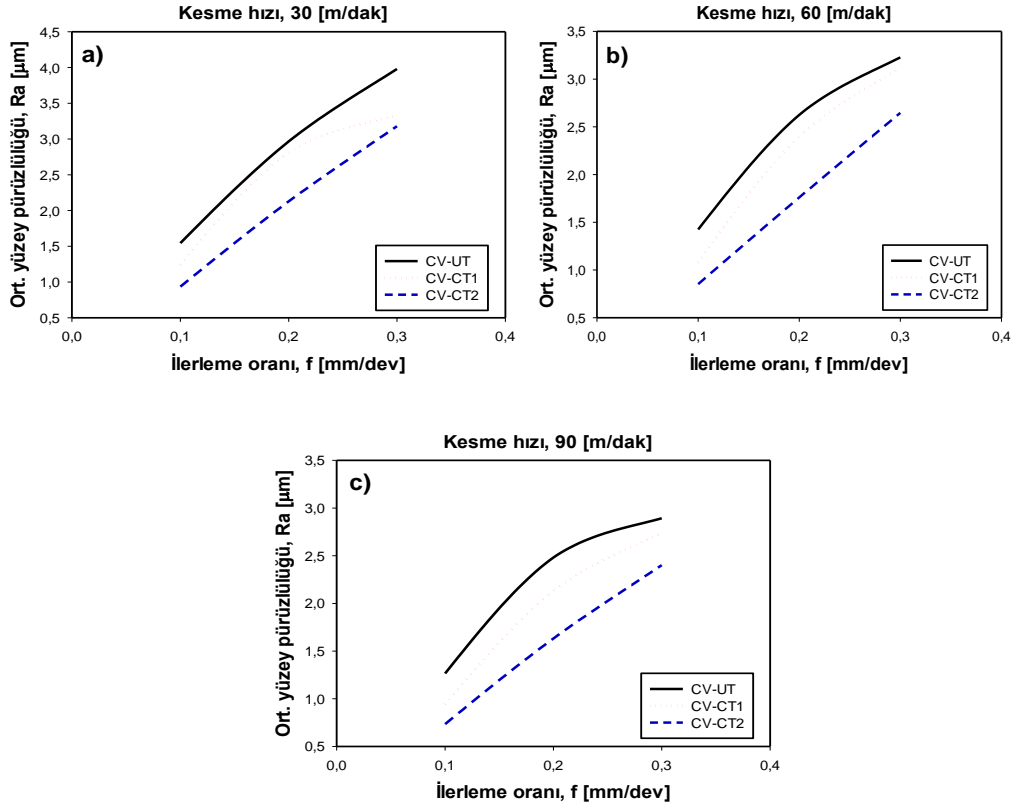


Şekil 5.14. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla a) 30, b) 60 ve c) 90 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlerinde iyileşme tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla akışkan hale gelen talaş kesme ortamında daha kolay atılabilmektedir. Talaşın kolayca kesici takım üzerinden akması kesici takımlarda oluşan kesme kuvvetlerini düşürmektedir (Şekil 5.6). Kesme işleminin iyileştirilmesi kesme kuvvetlerinin düşmesine olanak sağlamaktadır [122,124]. Talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetlerinin azalması ortalama yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmektedir [3]. CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla kesme hızlarının ortalama yüzey pürüzlülüğü

açısından bakıldığında en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 90 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

Kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2) Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin ilerleme oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.15. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

CVD kaplamalı kesici takımlarla ilerleme oranındaki değişime bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde ilerleme oranının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuca ilerleme oranının artması ile artan kesme kuvvetleri sebep olmaktadır (Şekil 5.7). Kesme kuvvetlerinin artması kesme işlemini zorlaştırmakta ve işleme anında kesici takımda oluşan titreşimi arttırmaktadır. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla oluşan titreşimlerle birlikte elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri de artmaktadır [122]. CVD



kaplamalı tungsten karbür takımlarla en iyi ortalama yüzey pürüzlülükleri 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir.

Kriyojenik işlemin CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerine etkisi incelendiğinde CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin, iş parçası yüzey pürüzlüklerine olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç Reddy ve arkadaşlarının C45 iş parçasını derin kriyojenik işlem uygulanmış çok katlı CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (TiCN, TiN) ile işlemelerinde elde ettiği sonuçlarla örtüşmektedir [21]. CVD kaplamalı tungsten karbür takıma uygulanan kriyojenik işlem sayesinde kesme kuvvetlerinde elde edilen iyileşmeler (Şekil 5.7) ortalama yüzey pürüzlülüklerini olumlu etkilemiştir. CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların elektrik iletkenliğinde artışlar elde edilmiştir. Elektrik iletkenliğine bağlı olarak artan ısıl iletkenlik (Şekil 5.42) Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında oluşan yüksek ısıları CVD takımların ısıl direncinin arttırılmasıyla kesme bölgesinde kolaylıkla uzaklaştırılmaktadır. Derin kriyojenik işlem uygulanmış CVD takımlarla CV-CT2 elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri CV-T1 ve CV-UT takımlarla elde edilen değerlerden daha düşük elde edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında en iyi parametreler: 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla CV-UT takımla 0,787 µm, CV-CT1 takımla 0,615 µm ve CV-CT2 takımla 0,559 µm olarak elde edilmiştir. CV-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri CV-UT ve CV-CT1 takıma göre sırasıyla % 40,78 ve % 27,9'luk iyileşme sağlanmıştır.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı tungsten karbür kesici takımlarla tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Hastelloy C22 çeliğin CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	0,7087	0,7087	0,3544	6,37	0,007	3,8
Kesme hızı	2	0,9899	0,9899	0,4950	8,90	0,002	5,3
İlerleme oranı	2	15,8383	15,8383	7,9191	142,36	0,000	84,92
Hata	20	1,1126	1,1126	0,0556	-	-	5,98
Toplam	26	18,6495	-	-	-	-	100

S = 0,235855 R-Sq = % 94,03 R-Sq (adj) = % 92,24

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerine ait ANOVA Çizelgesi incelendiğinde kesici takım, kesme hızı ve ilerleme oranında  $P < 0,05$  olduğundan parametreler ile ortalama yüzey pürüzlülükleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür Yapılan ANOVA testi sonucunda Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş CVD kaplamalı kesici takımlarla tormalanması sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre % 84,92 'lik katkı oranı ile ilerleme olduğu tespit edilmiştir.

#### 5.1.2.4. Seramik Takımlarda Kesme Hızı, İlerleme ve Kriyojenik İşleme Bağlı Olarak Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim

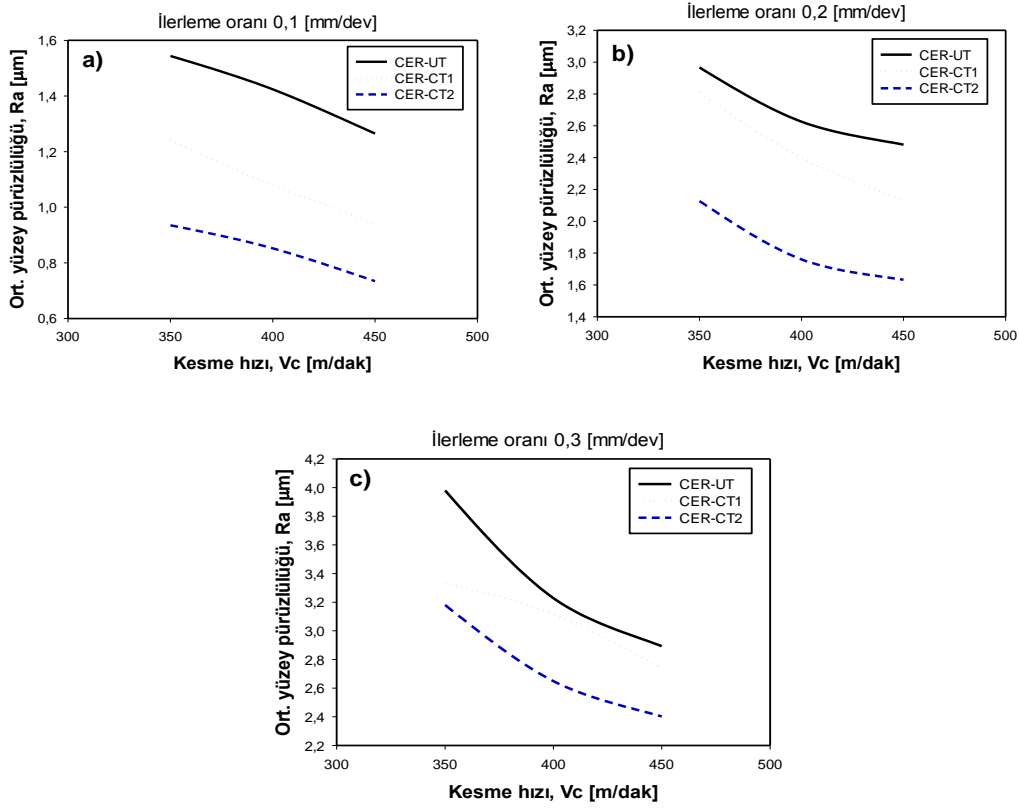
Seramik takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle elde edilen takımlarla (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2), kesme hızı (350, 400 ve 450 m/dak), ilerleme oranı (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde Hastelloy C-22 süper alaşımının tormalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerleri Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Hastelloy C22 iş parçasının seramik takımlarla tornalanmasında kesme hızı, ilerleme ve kriyojenik işleme bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Deney no	Takım türü	Kesme hızı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra, (µm)
1	CER-UT	350	0,1	1,633
2	CER-UT	400	0,1	1,477
3	CER-UT	450	0,1	1,151
4	CER-UT	350	0,2	3,924
5	CER-UT	400	0,2	2,917
6	CER-UT	450	0,2	2,635
7	CER-UT	350	0,3	4,863
8	CER-UT	400	0,3	3,775
9	CER-UT	450	0,3	3,417
10	CER-CT1	350	0,1	1,251
11	CER-CT1	400	0,1	0,984
12	CER-CT1	450	0,1	0,824
13	CER-CT1	350	0,2	2,826
14	CER-CT1	400	0,2	2,621
15	CER-CT1	450	0,2	1,944
16	CER-CT1	350	0,3	3,233
17	CER-CT1	400	0,3	3,083
18	CER-CT1	450	0,3	2,319
19	CER-CT2	350	0,1	0,486
20	CER-CT2	400	0,1	0,429
21	CER-CT2	450	0,1	0,369
22	CER-CT2	350	0,2	2,162
23	CER-CT2	400	0,2	1,604
24	CER-CT2	450	0,2	1,308
25	CER-CT2	350	0,3	2,475
26	CER-CT2	400	0,3	1,948
27	CER-CT2	450	0,3	1,754

Kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla Hastelloy C 22 süper alaşımın tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin kesme

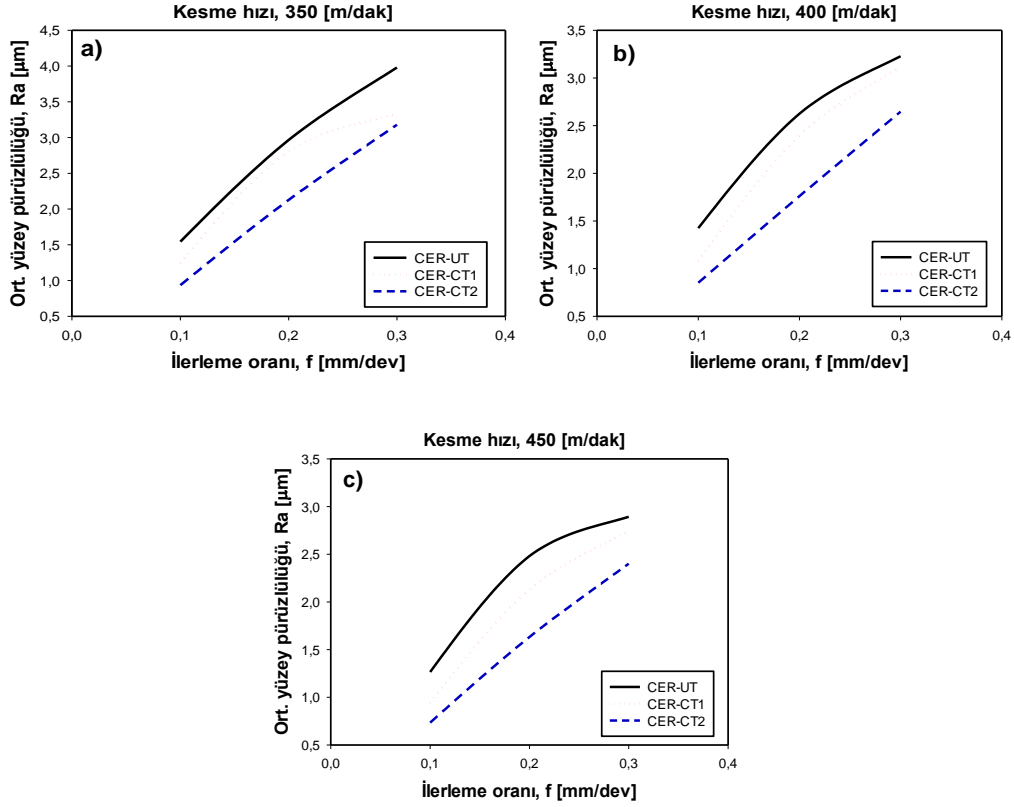
hızlarına (350, 400 ve 450 m/dak) bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımları a) 350, b) 400 ve c) 450 m/dak kesme hızlarında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

Seramik takımlarla, kesme hızlarına bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde kesme hızının artışı ortalama yüzey pürüzlülüklerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Seramikler takımların yüksek kızıl sertlikleri sayesinde yüksek kesme hızlarında iş parçası ile reaksiyona girmeden işleme yapabilmektedir [122]. Yüksek kesme hızlarında oluşan ısı talaşın daha akıcı hale getirerek kesme işlemini kolaylaştırmıştır (Şekil 5.8). Yüksek kızıl sertliği ve kimyasal kararlılığı ile takımlarda aşınmanın düşük olması da ortalama yüzey pürüzlülüklerini iyileştirdiği söylenebilir. Bu özelliklerinden dolayı Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında karbür takımlarla 90 m/dak kesme hızında düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken, seramik takımlarla 450 m/dak kesme hızında daha düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2) tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin, ilerleme oranına bağlı olarak değişim grafikleri Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla a) 0,1- b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri.

Seramik takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın ortalama yüzey pürüzlülüklerinin ilerleme oranının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Bu durum yüksek ilerleme oranlarında işleme esnasında daha büyük titreşimler nedeniyle daha yüksek pürüzlülük değerlerinin oluşmasıyla açıklanabilir [3]. Hastelloy C22 süper alaşımın seramik takımlarla tornalanmasında en düşük ortalama yüzey pürüzlük değerleri 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilmiştir.

Kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında kriyojenik işlemin ortalama yüzey pürüzlük değerlerine olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Seramik kesici takımlar üstün

özelliklerinin yanında düşük ısı iletkenlikleri ile de dikkat çekmektedir [122]. Kesici takımların ısı iletkenliklerinin düşük olması ısı dirençli malzemelerin işlenmesinde oluşan ısının çoğunu kesici takımlara aktarmaktadır. Bu durum da kesici takımların aşınmalarını arttırmaktadır. Her ne kadar seramikler yüksek kızıl sertliğe sahip olsalar da uzun işleme sürelerinde düşük ısı iletkenliklerinden dolayı takımdan atılamayan ısıdan kaynaklanan aşınmalar meydana gelmektedir. Seramik takımlara uygulamış olduğumuz kriyojenik işlemlerle seramik kesici takımların elektrik (Şekil 5.43) ve ısı iletkenlikleri artırılmıştır. Seramik takımlarda elde edilen bu iyileşmeler sayesinde CER-CT2 ve CER-CT1 takımlarla daha iyi ortalama yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. En uygun parametre olan 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 1,151 µm, 0,824 µm ve 0,369 µm olarak bulunmuştur. CER-CT2 takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile CER-UT ve CER-CT1 takıma göre sırasıyla % 211,9 ve % 39,7'lik iyileşme sağlanmıştır.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş seramik kesici takımlarla tornalanması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerini etkileyen etkili parametreyi belirlemek için yapılan ANOVA testi sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Hastelloy C22 çeliğin seramik takımlarla tornalanması ile iş parçasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğüne ait ANOVA test sonuçları.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı oranı (%)
Kesici takım	2	9,7637	9,7637	4,8819	55,25	0,000	28,5
Kesme hızı	2	2,8411	2,8411	1,4205	16,08	0,000	8,3
İlerleme oranı	2	19,8405	19,8405	9,9203	112,26	0,000	57,9
Hata	20	1,7673	1,7673	0,0884	-	-	5,3
Toplam	26	34,2126	-	-	-	-	100

S = 0,297264 R-Sq = % 94,83 R-Sq (adj) = % 93,28

Seramik takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerine ait ANOVA test sonuçları incelendiğinde tüm parametrelerde  $P < 0,05$  olduğundan kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı ile esas kesme kuvveti arasında anlamlı bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan ANOVA testi sonucunda Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş seramik kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüklerine etki eden en etkili parametre % 57,9 katkı payı ile ilerleme oranı tespit edilmiştir. Kesici takım çeşidinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne katkısı ise % 28,5 olmuştur [129].

#### **5.1.2.5. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğünün Genel Değerlendirilmesi**

Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisine bakıldığında tüm kesme hızı ve ilerleme oranlarında derin kriyojenik işlem görmüş CT2 takımın daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanmasında en iyi parametreler; 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve CT2 takım türü olarak tespit edilmiştir. CT2 takımla 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,734  $\mu\text{m}$ 'dur. CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile UT ve CT1 takımlara göre sırasıyla % 72,3 ve % 28,3'lük iyileşme göstermiştir.

Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerine etkisi incelendiğinde kriyojenik işlemin yüzey pürüzlüklerine olumlu etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Hastelloy C22 süper alaşımın PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında en iyi parametreler: 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla P-UT takımla 1,233  $\mu\text{m}$ , P-CT1 takımla 0,757  $\mu\text{m}$  ve P-CT2 takımla 0,618  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. P-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri P-UT ve P-CT1 takıma göre sırasıyla % 99,5 ve % 22,5'lik iyileşme sağlanmıştır.

Derin kriyojenik işlem uygulanmış CVD takımlarla CV-CT2 elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri CV-T1 ve CV-UT takımlarla elde edilen değerlerden daha düşük elde edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında en iyi parametreler: 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla CV-UT takımla 0,787  $\mu\text{m}$ , CV-CT1 takımla 0,615  $\mu\text{m}$  ve CV-CT2 takımla 0,559  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. CV-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri CV-UT ve CV-CT1 takıma göre sırasıyla % 40,78 ve % 27,9'luk iyileşme sağlanmıştır.

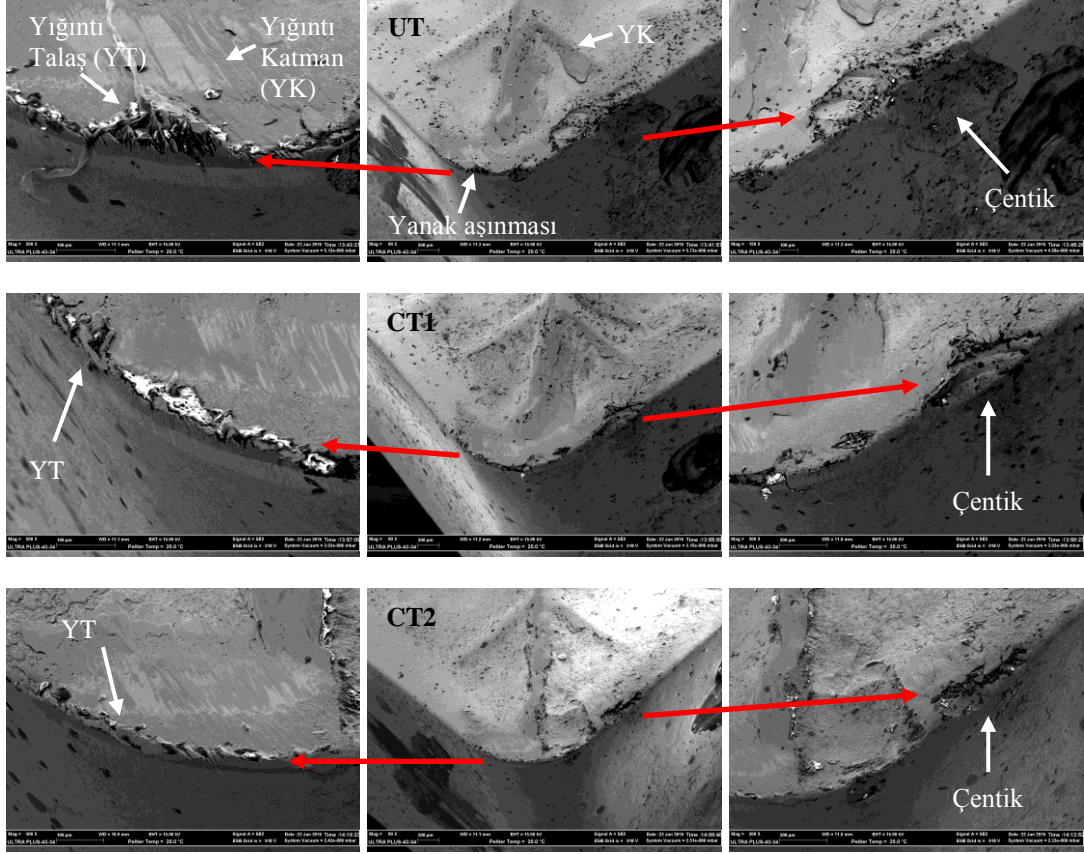
Seramik takımlarla en uygun parametre olan 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında derin kriyojenik işlem görmüş CER-CT2 takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,369  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. CER-CT2 takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile CER-UT ve CER-CT1 takıma göre sırasıyla % 211,9 ve % 39,7'lik iyileşme sağlanmıştır.

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında farklı kesici takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değişiklik göstermektedir. Fakat tüm kesici takımlara (kaplamsız karbür, PVD kaplamalı ve CVD kaplamalı tungsten karbür takım ve seramik kesici takım) uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin ortalama yüzey pürüzlülüklerine olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Derin kriyojenik işlemin ortalama yüzey pürüzlülüğüne katkısı sığ kriyojenik işlemde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İdeal parametreler olan 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranında CT2, P-CT2 ve CV-CT2 takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 0,734  $\mu\text{m}$ , 0,618  $\mu\text{m}$  ve 0,559  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. CV-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü CT2 ve P-CT2 takımdan sırasıyla % 1,3 ve % 18,7 daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Seramik takımda ideal parametreler olan 450 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranında ve CER-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,369  $\mu\text{m}$ 'dur. Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında tüm kesici takımlarda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri kıyaslandığında en iyi yüzey pürüzlülüklerine sırasıyla derin kriyojenik işlem uygulanmış olan CER-CT2, CV-CT2, P-CT2 ve CT2 takımlarla ulaşılmıştır.



### 5.1.3. Kesici Takım Aşınması

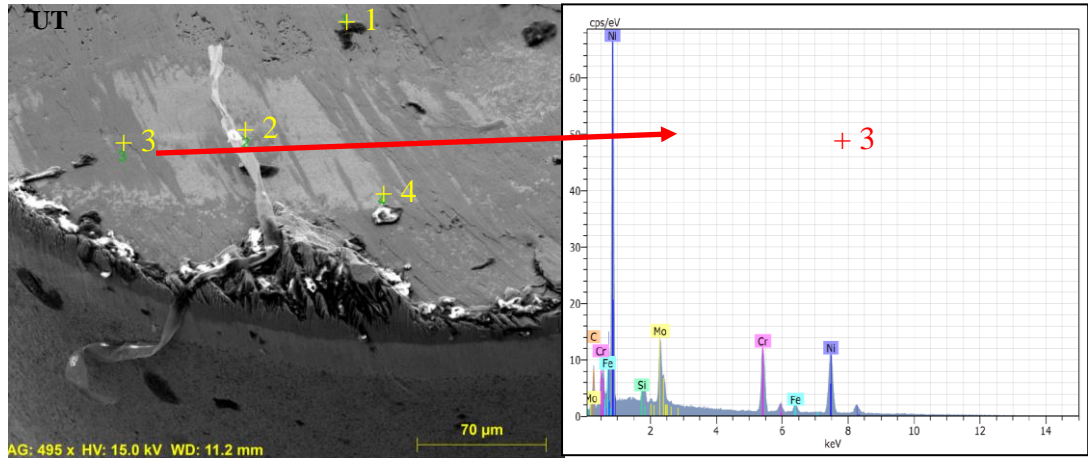
Talaşlı imalatta üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve ürün kalitesinin artırılmasında kesici takımların aşınma direnci önemli bir faktördür. Aşınma direnci yüksek kesici takımlar ile yüksek kesme hızlarında kesme işlemi yapılabilir. Yüksek kesme hızlarında kesme yapmak, üretim süresini kısaltmakta ve maliyetin düşürülmesine etki etmektedir. Ayrıca yüksek aşınma direncine sahip kesici takımlar sayesinde daha uzun süre işleme yapılması ile takım giderleri de düşmektedir. Özellikle Hastelloy C22 gibi işlenmesi zor olan malzemelerin işlenebilmesinde kesici takımların performansının artırılması önemlidir. Takım performansının yanında iş parçası yüzey kalitesi de önem arz etmektedir. Bu çalışmada, kaplamasız tungsten karbür, PVD ve CVD kaplamalı tungsten karbür ve seramik takımlara uygulanan kriyojenik işlemin takım aşınmasına etkisinin araştırmak için yapılan tornalama işleminde elde edilen takım aşınma görüntüleri değerlendirilmiştir. Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür kesici takımlar ile Hastelloy C22 süper alaşımın üzerinde belirlenen parametrelerde talaş kaldırma işlemi sonunda kesici takımın üzerinde oluşan aşınma görüntüleri Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. UT, CT1 ve CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.

Kaplamasız tungsten karbür takımların aşınma görüntüleri incelendiğinde kesici takımlarda genellikle kesici kenarlarda yığıntı talaş (YT), yığıntı katmanı (YK), yanak ve çentik aşınmaları görülmüştür. Kaplamasız tungsten karbür kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin aşınma dirençleri irdelendiğinde (Şekil 5.18) kriyojenik işlem uygulanmış takımların aşınma performanslarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kriyojenik işlemin takım aşınmalarına olumlu katkısının olduğu anlaşılmıştır. UT takımında çentik aşınmasının kesici takımın performansını olumsuz etkileyecek oranda olduğu görülmüştür (Şekil 5.2 ve Şekil 5.10). UT takımlarda (Şekil 5.18) YT ve YK oluşumu dikkat çekmektedir. Kaplamasız tungsten karbür takıma uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlem ile YT ve TK oluşumu azalma göstermiştir. UT takımlarla ölçülen esas kesme kuvveti değerleri CT1 ve CT2 takımlara göre daha yüksektir. Bu aşınma oranları CT1 takımında UT takıma kıyasla daha azdır. Fakat en az aşınma CT2 takımlarda oluşmuştur. Çentik aşınması, CT2 takımın kesici kenarında düşük miktarda

görülürken UT takımında ise büyük miktarda oluşmuştur. Çentik aşınması özellikle yüksek sıcaklık ve basınçta ortaya çıkan bir oksidasyon aşınma tipidir [122]. Hastelloy C22 ısıl dirençli malzemenin de ısıl dirençli olduğu göz önünde bulundurulduğunda çentik aşınması kaçınılmazdır. Kesici takımlar üzerinde oluşan talaş ve yığıntı katmanını üzerinde element analizi yapmak için EDX görüntüleri alınmıştır. UT takımıyla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsünün EDX analizi Şekil 5.19’da verilmiştir.



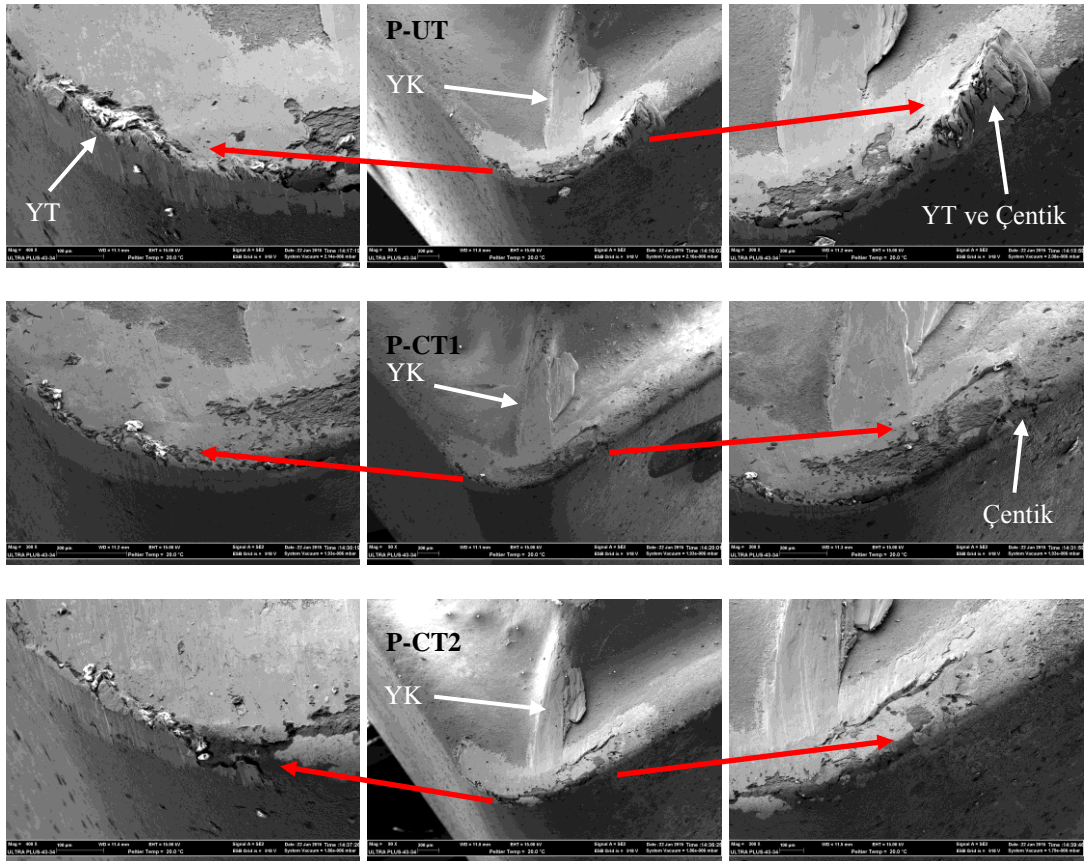
Nokta	C	Si	Cr	Fe	Co	Ni	Mo
1	70,83	0,33	4,85	0,74	-	9,75	4,50
2	55,55	4,44	7,87	1,60	1,36	24,22	4,96
3	12,26	0,89	18,04	3,36	-	54,28	11,17
4	64,74	0,67	7,64	1,37	-	17,75	7,83

Şekil 5.19. UT takımıyla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.

UT takımdan alınan EDX analizi incelendiğinde kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımların kesici kenarlarında iş parçasından kopan nikel, karbon ve molibdeninin kesici takıma yapıştığı (YT) görülmüştür. Ayrıca kesici takımın yüzeyine yapışan nikel ile takımın yüzeyinde YK olduğu görülmüştür. Elde edilen görüntülerde, derin kriyojenik işlemin UT takımların aşınma direncine dikkate değer bir katkısının olduğu tespit edilmiştir. UT takımların mikro yapılarında meydana gelen değişimler kesici takımların aşınma direncine olumlu katkı sağlamıştır.

Kriyojenik işlemin ardından kesici takımların yapısında bulunan kobalt bağlayıcıların yerinde oluşan eta ince karbürler ile kesici takımların sertliği (Şekil 5.36), tokluğu, elektrik iletkenliği (Şekil 5.40), ısıl iletkenlik ve aşınma direnci artmıştır. Ayrıca UT takımlara uygulanan kriyojenik işlemler ile YT ve YK oluşumu azaltılmıştır. Kesici takımların ısıl iletkenliğinin artması ile Hastelloy C22 gibi nikel esaslı ısıl dirençli malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan ısı takımının kesici köşesinden daha çabuk uzaklaştırılır [14,70]. Kesici takımların ısıl iletkenliğinin artırılması takım aşınması açısından önemlidir [122].

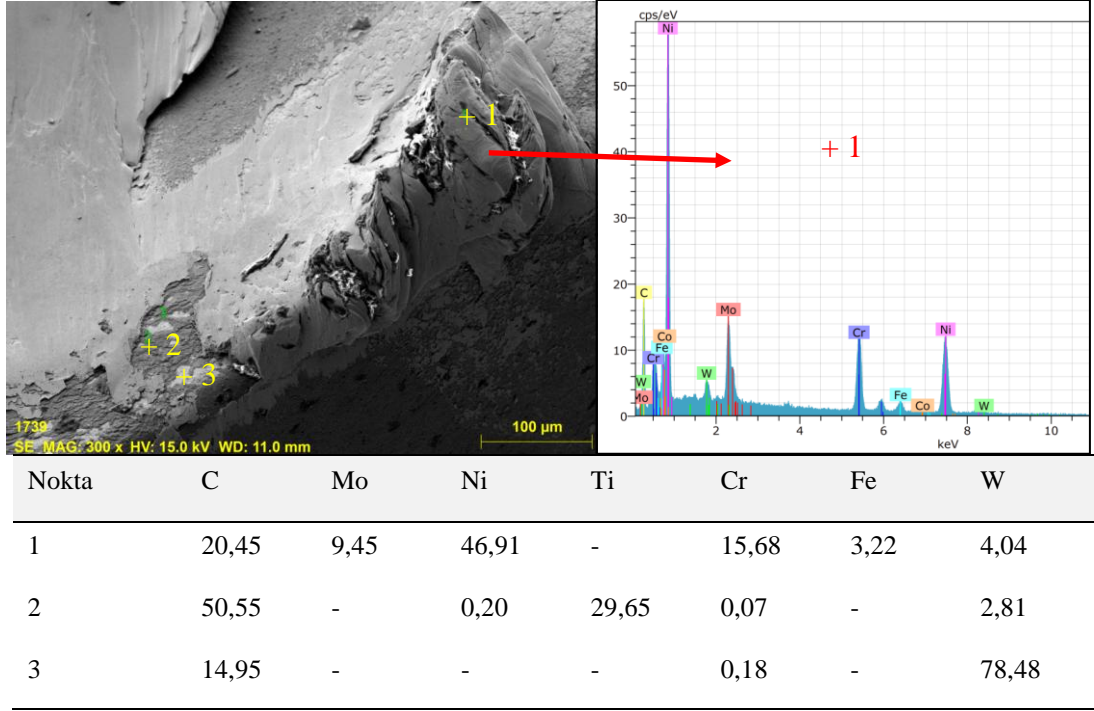
Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla Hastelloy C22 süper alaşım üzerinde belirlenen parametrelerde talaş kaldırma işlemi sonunda kesici takımın üzerinde oluşan aşınma görüntüleri Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.

Sığ ve derin kriyojenik uygulanmış PVD (TiAlN + TiN) kaplamalı tungsten karbür kesici takımların aşınma görüntüleri incelendiğinde P-UT takımında yanak aşınması, serbest yüzey aşınması, YT, YK ve çentik aşınması daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış P-CT1 ve derin kriyojenik işlem uygulanmış P-CT2 takımlarda aşınma P-UT takımlara göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. P-UT kesici takımlarda oluşan YT ve YK, P-CT1 ve P-CT2 takımlarda YT ve YK'lara göre daha fazla oluşmuştur. Elde edilen aşınma tipleri literatürle benzerlik göstermiştir [82,64,122]. P-UT takımında P-CT1 ve P-CT2 takımlara göre daha fazla serbest kenar yanak aşınması tespit edilmiştir. Fakat en belirgin aşınma tipinin çentik aşınması olduğu tespit edilmiştir. Çentik aşınması özellikle yüksek sıcaklık ve basınçta ortaya çıkan bir oksidasyon aşınma tipidir [122]. Hastelloy C22 ısıl dirençli malzemenin de ısıl dirençli olduğu göz önünde bulundurulduğunda çentik aşınması kaçınılmazdır. Kaplamalı takımlarda alüminyum-oksit, titanyum karbür gibi tabakalar difüzyon aşınması oluşumunu önlerler [122]. PVD kaplamalı takımların aşınma direncine derin kriyojenik işlemin, sığ kriyojenik işleminden daha çok katkısı olduğu sonucunda varılmıştır.

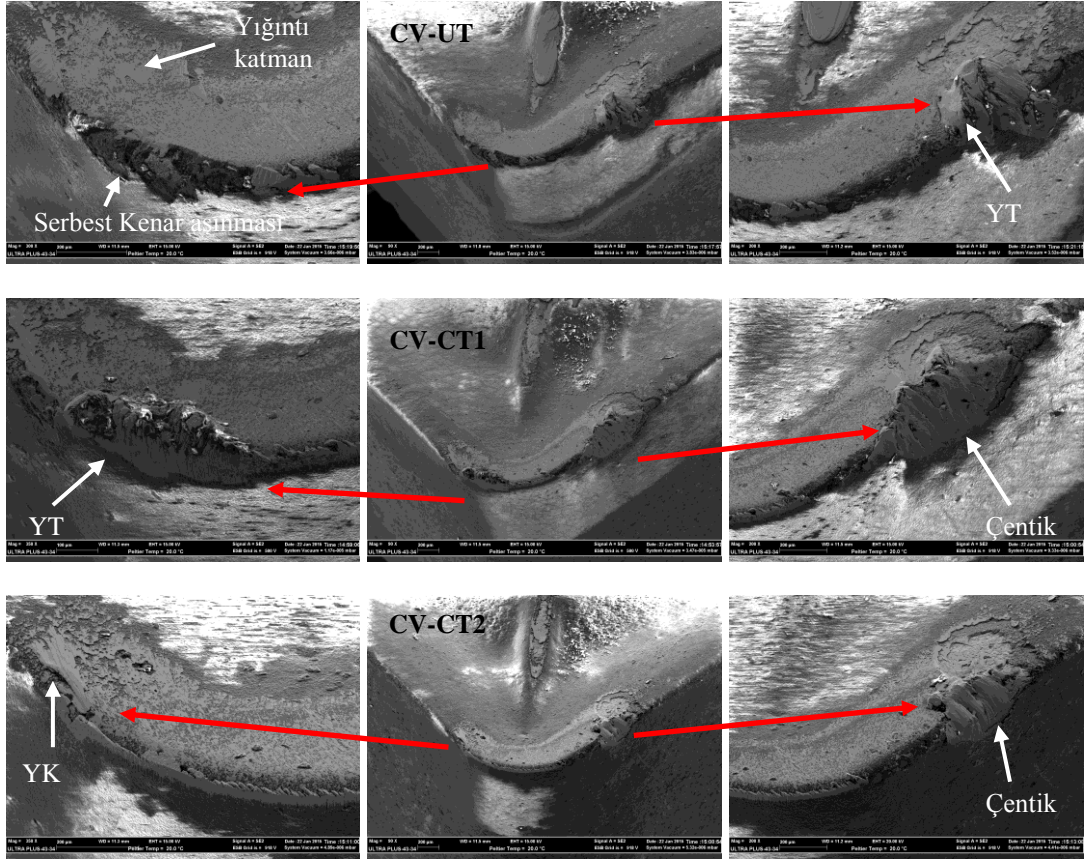
P-UT takımına 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsünün EDX analizi Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21. P-UT takımıla 0,3 mm/dev ilerleme ve 30 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.

P-UT takımdan alınan EDX analizi sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.21); kesici takımın kesici kenarına nikel, krom ve karbonun yapışması ile YK ve YT oluştuğu görülmektedir. Üç numaralı nokta incelendiğinde aşınma ile TiAlN + TiN kaplama katmanlarının aşınma sonucu soyulduğu görülmektedir. Aşınma sonucu kaplama katmanlarının işlevini yitirmesi kriyojenik işlem görmemiş takımların daha çabuk aşınmasına yol açmıştır. Daha sert, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı düşük TiN tabakasının YK ile atılması kesici takımların aşınmasını hızlandırmıştır. Kaplamasız karbür takımlara göre sürtünme katsayısı düşük PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarda aşınma daha az miktarda oluşmuştur.

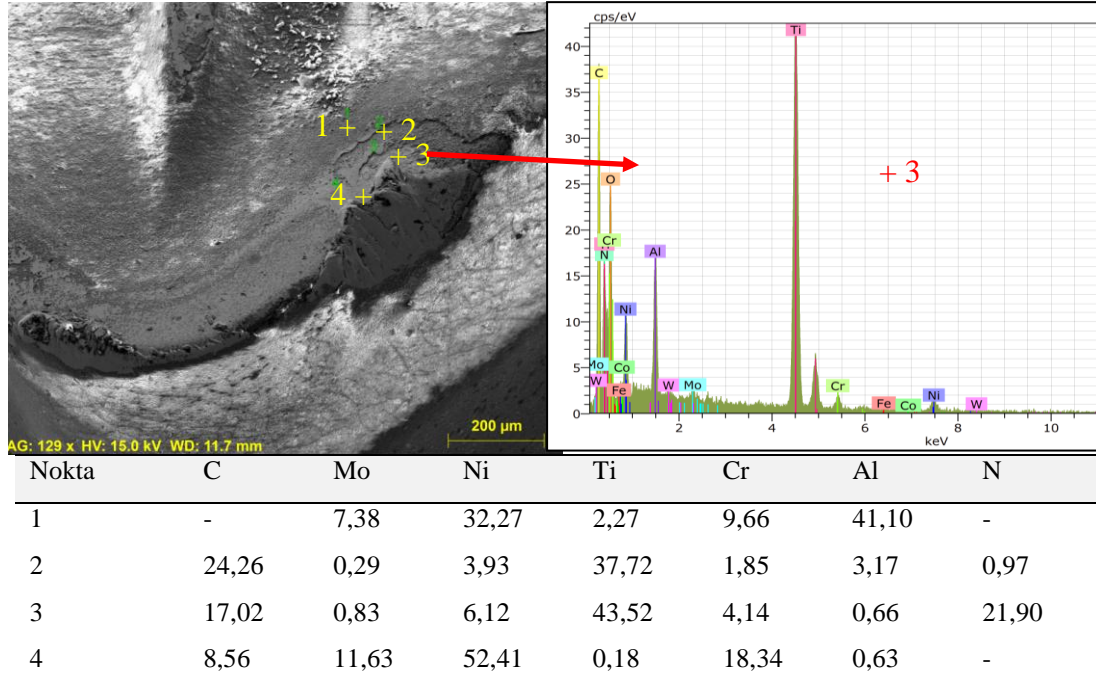
Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın üzerinde belirlenen parametrelerde talaş kaldırma işlemi sonunda kesici takımın üzerinde oluşan aşınma görüntüleri Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.22. CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 60 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.

CVD kaplamalı ( $TiCN + Al_2O_3 + TiN$ ) tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin katkısı incelendiğinde kriyojenik işlem uygulanmayan takım (CV-UT) yanak aşınması, serbest kenar aşınması, YT, YK ve çentik aşınması olduğu gözlemlenmiştir. Sığ (CV-CT1) ve derin (CV-CT2) kriyojenik işlem görmüş takımlarda YT oluşumu PVD kaplamalı takım ve kaplamasız tungsten takımlarda oluşan YT'lara göre bir hayli düşük göstermiştir. Fakat çentik aşınmasından fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, artan kesme hızına bağlı olarak oluşan takım talaş ara yüzeyinde yüksek sıcaklığa bağlanmıştır. Isıl dirençli malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan aşınma tipi olan oksidasyon aşınma tipi çentik aşınmasına sebep olmaktadır. Elde edilen aşınma tipleri literatür ile benzerlik göstermiştir [82,64,122]. Gill ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada kaplamalı karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin kaplamalı takımların aşınmalarını önemli bir miktar azalttığını belirtmişlerdir [130-132].

CV-CT1 takımla 0,3 mm/dev ilerleme ve 60 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsünün EDX analizi Şekil 5.23'te verilmiştir.

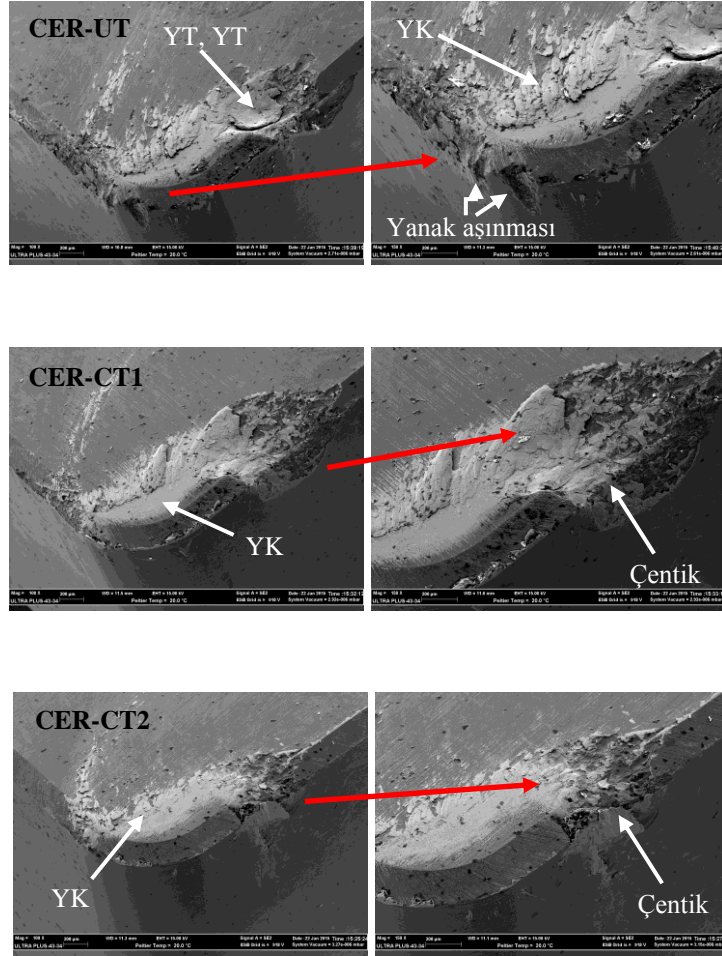


Şekil 5.23. CV-CT1 takımla 0,3 mm/dev ilerleme ve 60 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.

CV-CT1 takımlardaki aşınmaların değerlendirilmesi için EDX analizi yapılmıştır. EDX analizine göre CV-CT1 kesici takımda YT oluştuğu görülmektedir. Dört numaralı noktanın kimyasal kompozisyonu incelendiğinde takıma iş parçası içeriğinde bulunan nikel ve kromun yapııştığı görülmektedir. Takımda meydana gelen YT ile takımın ( $TiCN + Al_2O_3 + TiN$ ) tabakalarının sıyrıldığı görülmektedir. CV-CT2 takımlarda daha az YT oluştuğu görülmektedir. Bu nedenle krater aşınması da derin kriyojenik işlem ile azalmaktadır. YT'ın azalması katmanların sıyrılmasını azalttığından takım aşınmaları da azalmaktadır. Genel olarak CVD kaplamalı takımlarda meydana gelen aşınmaların PVD kaplamalı takımlardan daha az olduğu görülmüştür. Bu duruma kaplama yöntemine ve CVD kaplamalı takımlarda bulunan  $Al_2O_3$  tabakası sayesinde oluşan ısıl bariyer ile tornalama esnasında ortaya çıkan yüksek ısılarda meydana gelen kesici takım aşınmalarının azaltılmasının neden olduğu söylenebilir.



Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın üzerinde belirlenen parametrelerde talaş kaldırma işlemi sonunda kesici takımın üzerinde oluşan aşınma görüntüleri Şekil 5.24’de verilmiştir. Görüntülerde kriyojenik işlem uygulanmamış seramik takımlarla sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımların aşınmaları irdelenmiştir.

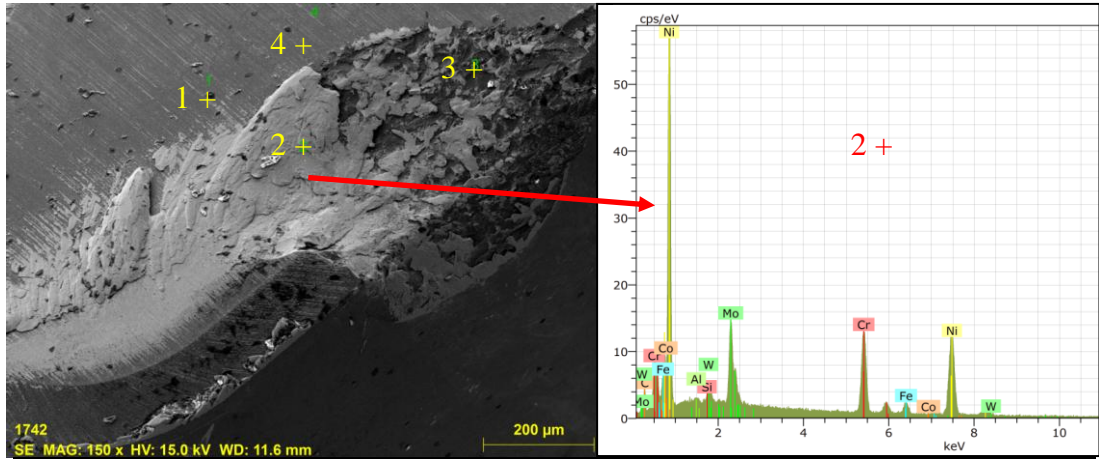


Şekil 5.24. CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve 450 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüleri.

Seramik takım ( $Al_2O_3$ -TiCN) oksitlenmeye karşı yüksek dirençli  $Al_2O_3$  katmanı üzerine seramiğin tokluğunu ve ısıl iletkenliğini arttırıcı TiCN tabakası kaplanmış olan seramik takımların aşınma görüntüleri incelenmiştir. Yüksek kesme hızlarında yüksek aşınma direnci sağlayan bu takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesici takımların aşınma direncini arttırdığı söylenebilir. CER-UT takımın aşınma görüntüleri incelendiğinde çentik aşınması, yanak aşınması YT ve YK olduğu tespit

edilmiştir. CER-UT kesici takımında meydana gelen YT ve YK ile kriyojenik işlem görmüş seramik takımlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. CER-CT1 takımında da benzer şekilde çentik aşınması ve yanak aşınması oluşmuştur. Fakat bu takımında oluşan çentik aşınması daha az olduğu gözlemlenmiştir. Derin kriyojenik işlem görmüş CER-CT2 takım üzerinde oluşan aşınma tipleri irdelendiğinde CER-CT1 ve CER-UT takımlarda oluşan çentik aşınması ve yanak aşınmalarında daha az aşınmalar oluşur. Seramik takımlara uygulanan kriyojenik ısıl işlemler takımlar üzerinde oluşan aşınmaları azaltmış fakat önleyememiştir. Aşınma oluşumunun önlenememiş olmasının nedeni iş parçasının işlenebilirliğine bağlanmıştır.

CER-CT1 takım üzerinde 0,3 mm/dev ilerleme ve 450 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü üzerinde element tayini için EDX analizi Şekil 5.25'te yapılmıştır.



Nokta	C	O	Cr	Ti	Al	Ni	Mo
1	59,34	31,21	0,13	2,22	5,58	0,23	1,11
2	5,82	-	18,82	-	0,38	55,81	11,58
3	19,77	-	2,46	31,62	35,25	8,45	1,08
4	41,65	-	0,78	17,36	38,85	0,47	0,10

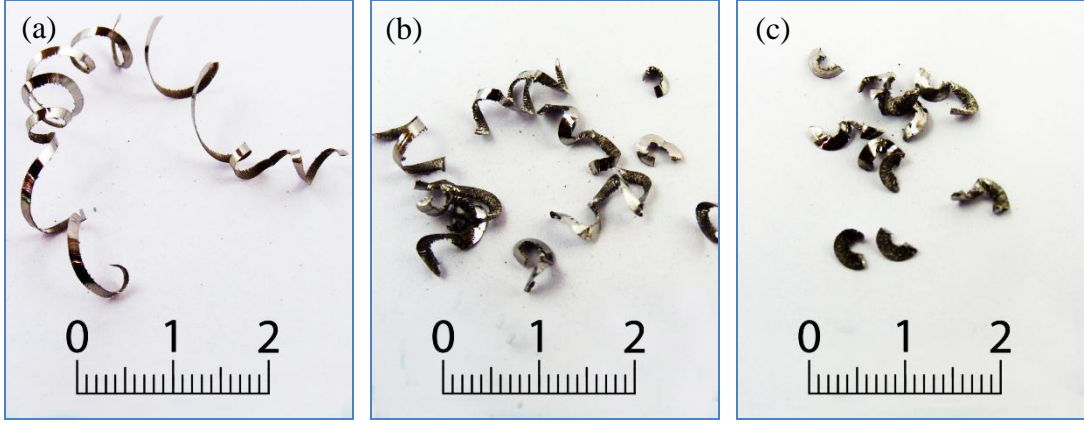
Şekil 5.25. CER-CT1 takımıla 0,3 mm/dev ilerleme ve 450 m/dak kesme hızında meydana gelen aşınma görüntüsü ve EDX analizi.

EDX analizine göre iki numaralı alanda iş parçası malzemesindeki nikel, krom ve molibden yapıştığı görülmektedir. Ayrıca kesici takımın yüzeyinde YK oluşumu dikkat çekmektedir. Kesici takıma yapışan talaşların kopması ile takımda aşınmalar meydana gelmektedir. CER-UT takımlarda YT ve YK oluşumunun daha fazla olduğu görülmektedir.

Seramik takımlarda oluşan aşınmalar; kaplamasız tungsten karbür, PVD ve CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarda oluşan aşınmalara benzer aşınmalar oluşmuştur. Ancak, seramik takımlarla çok daha yüksek kesme hızlarında (400 m/dak) kesme yapılmıştır. Kaplamasız tungsten karbür takımlara göre sürtünme katsayısı düşük PVD kaplamalı takımlarda aşınma daha az miktarda oluşmuştur. CVD kaplamalı takımlarda meydana gelen aşınmaların PVD kaplamalı takımlardan daha az olduğu görülmüştür.

#### **5.1.4. Talaş Morfolojisi**

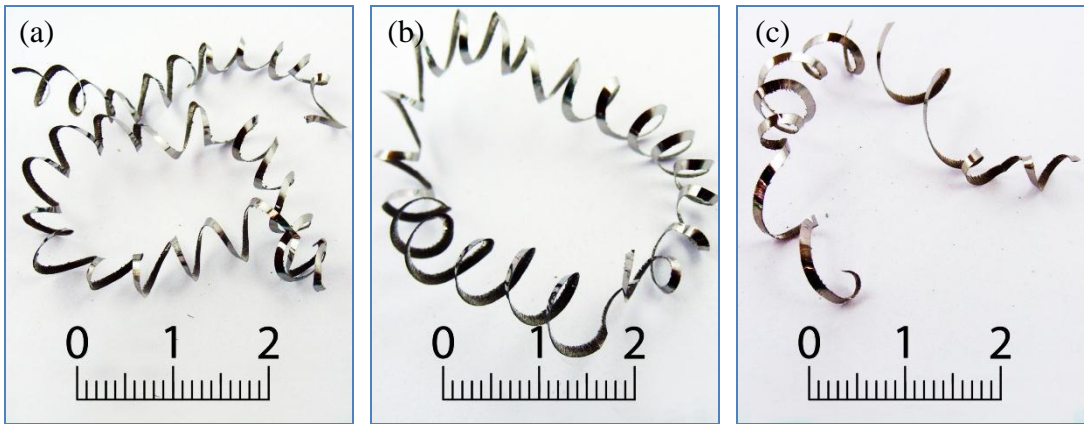
Talaş kaldırma işleminde kesici takım iş parçası üzerine belirli bir kuvvetle ilerleme yönünde bastırıldığında malzemedeki elastik ve plastik şekil değiştirmelerden sonra aşınmalar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda talaş olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası iş parçasından ayrılır [122]. Kesme işlemi esnasında oluşan talaş tipi kesme işleminin performansı hakkında bilgi verdiği için talaş kontrolü ve talaş oluşumunun incelenmesi önemlidir. Talaşlı imalatta, oluşan talaş formu öncelikle iş parçası malzemesinden etkilenir. Kesme parametrelerinden ilerleme oranı ve kesme derinliği talaş oluşumunu etkileyen diğer önemli faktörlerdir. İlerleme değerinin artmasıyla birlikte birim zamanda kesici takımın koparmaya çalıştığı talaş miktarının artmasıyla oluşan talaş formu da değişmektedir [123]. Hastelloy C22 süper alaşımın derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımlarla (CT2) tornalanması esnasında oluşan talaş formları Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.26. CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve a) 0,1 b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oluşan talaş formları.

CT2 takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında oluşan talaşların ilerleme oranının artışına bağlı olarak formlarındaki değişimi incelendiğinde; düşük ilerleme oranında spiral şekilde olan talaş formu, ilerleme oranının artmasına bağlı olarak dairesel forma dönüşmüştür. İlerleme oranının artmasına bağlı olarak kaldırılan talaş miktarının artması talaş formunun değişimine etki etmektedir [122,123].

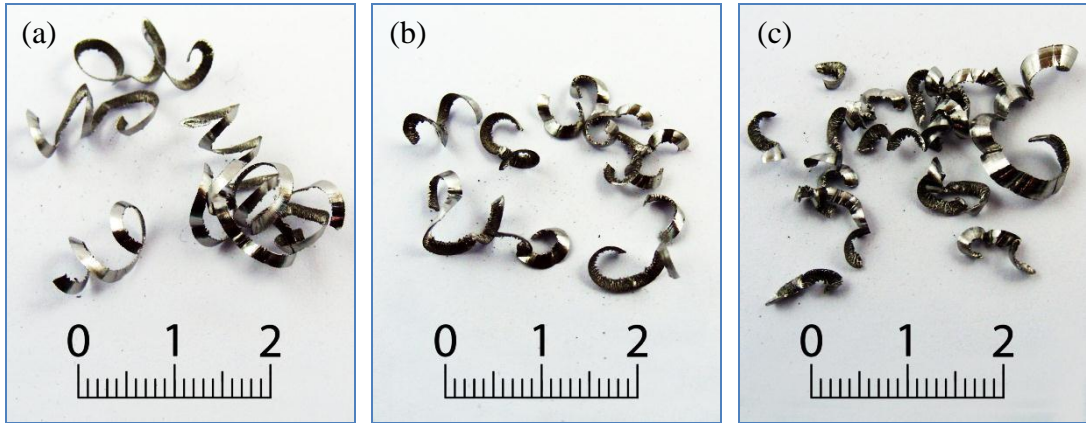
Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında oluşan talaş formlarının karşılaştırılması Şekil 5.27’de verilmiştir.



Şekil 5.27. a) UT, b) CT1 ve c) CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

UT, CT1 ve CT2 kesici takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında elde edilen talaş oluşumları incelendiğinde; UT takımlarla elde edilen talaşların daha çok kıvrıma sahip olduğu görülmektedir. Isıl iletkenlik katsayısı düşük olan kesici takım kaplamaları, ısının büyük bir miktarını talaşa aktaracağı için ısınmış olan talaş daha yumuşak bir yapıya sahip olacağından talaşın daha çok kıvrılmasına sebebiyet verecektir [123]. CT1 ve CT2 kesici takımların ısıl iletkenlikleri UT takımlara göre daha yüksek olduğu için talaş olumları UT takımla elde edilen talaşlara göre daha az kıvrılmıştır.

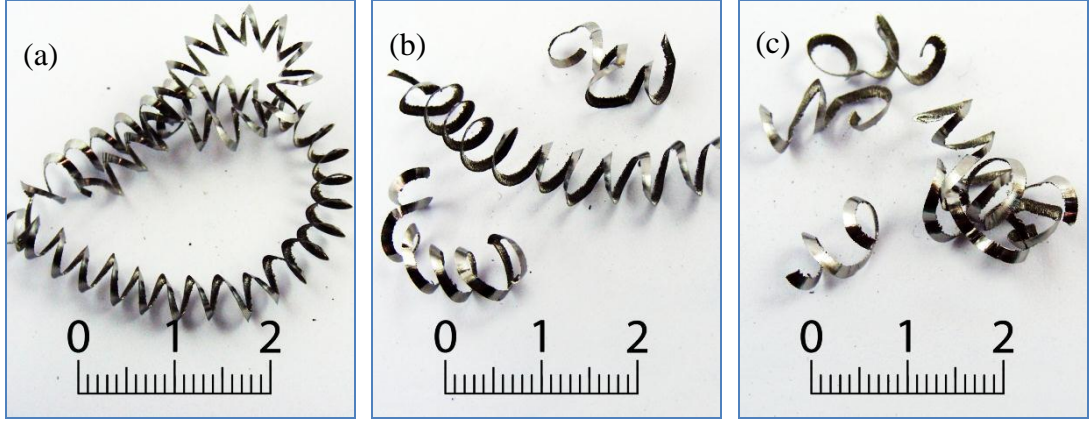
Hastelloy C22 süper alaşımın derin kriyojenik işlem görüş PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (P-CT2) tornalanması esnasında oluşan talaş formları Şekil 5.28'te verilmiştir.



Şekil 5.28. P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve a) 0,1 b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla ilerleme oranının değişimine göre elde edilen talaş oluşumları incelendiğinde; 0,1 mm/dev ilerleme oranında spiral şekilde oluşan talaş formu 0,3 mm/dev ilerleme oranında talaş formu dairesel şekle dönüşmüştür. İlerleme oranının artmasıyla kesilen talaş miktarının artması bu duruma neden olmuştur [115].

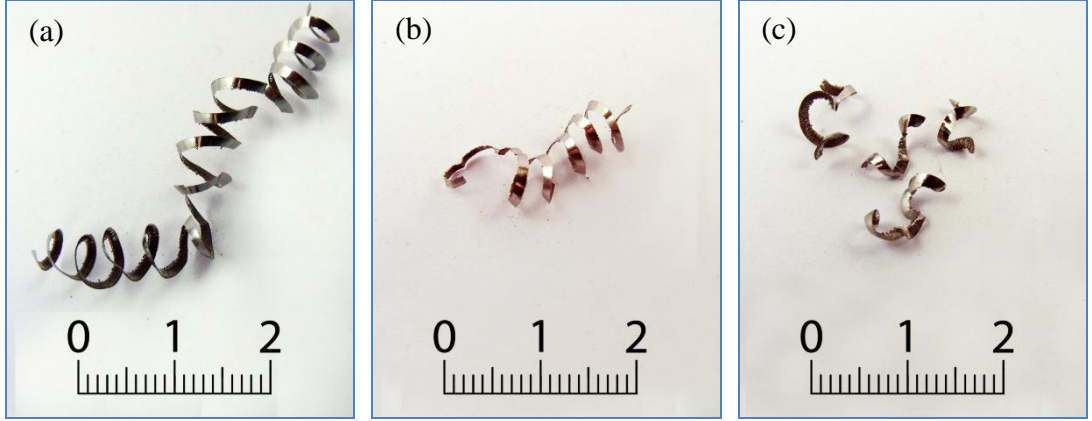
Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında oluşan talaş formlarının karşılaştırılması Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.29. a) P-UT, b) P-CT1 ve c) P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

Kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen talaş formları P-UT, P-CT1 ve P-CT2 takımlarda değişiklik göstermektedir. P-UT takımlarla elde edilen talaş formları daha spiral ve uzun forma oluşmuştur. CT1 ve CT2 takımlarda ise talaşları spiral boyu daha kısa ve spiral çapları daha büyük olmuştur. Talaş formunda gerçekleşen bu durum kesme anında oluşan ısı ile talaşın formunun değişimiyle ilişkilidir. Kriyojenik işlem ile ısı iletkenliğinin artması ısının talaştan takım üzerine hızla akmasıyla birlikte talaşın daha düşük ısılarında meydana gelmesini sağlamaktadır. Isının artmasıyla yumuşak hale gelen talaş küçük çaplı spiraller oluşturmaktadır [115].

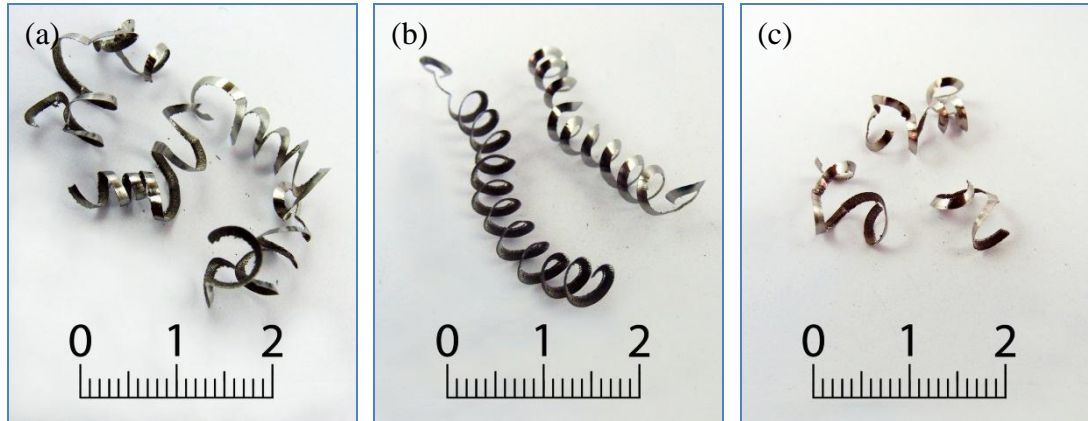
Hastelloy C22 süper alaşımın derin kriyojenik işlem görüş CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla (CV-CT2) tornalanması esnasında oluşan talaş formları Şekil 5.30'da verilmiştir.



Şekil 5.30. CV-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızında ve a) 0,1 b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla ilerleme oranının değişimine göre elde edilen talaş oluşumlarının değiştiği görülmüştür. İlerleme oranının artmasıyla spiral formda olan talaşlar dairesel forma dönüşmüştür. Bu durum ilerleme oranının artmasıyla birlikte kaldırılan talaşın artmasıyla açıklanabilir [122].

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanması esnasında oluşan talaş formlarının karşılaştırılması Şekil 5.31’de verilmiştir.

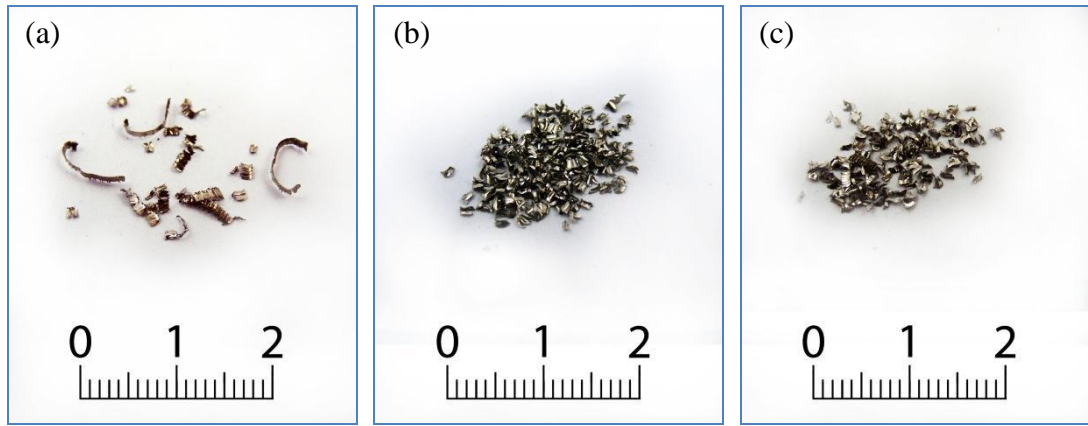


Şekil 5.31. a) CV-UT, b) CV-CT1 ve c) CV-CT2 takımlarla 60 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

Kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı kesici takımlarla elde edilen talaşlar incelenmiştir. İncelenen talaş formlarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Bu durum, CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme işleminde değişikliğe sebep olduğunu göstermektedir. Sığ ve derin kriyojenik işlem ile CVD kaplamalı tungsten karbür takımların ısıl iletkenlikleri arttırmıştır. Artan ısıl iletkenlik ile talaşta oluşan ısının daha hızlı şekilde kesici takımla atılmasından dolayı talaşlar daha düşük ısılarda oluşmaktadır. Düşük ısıda oluşan talaşlar dairesel formda veya spiral çapları büyük olmaktadır [115].

Hastelloy C22 süper alaşımın derin kriyojenik işlem görüş seramik (CER-CT2) tormalanması esnasında oluşan talaş formları Şekil 5.32’de verilmiştir.

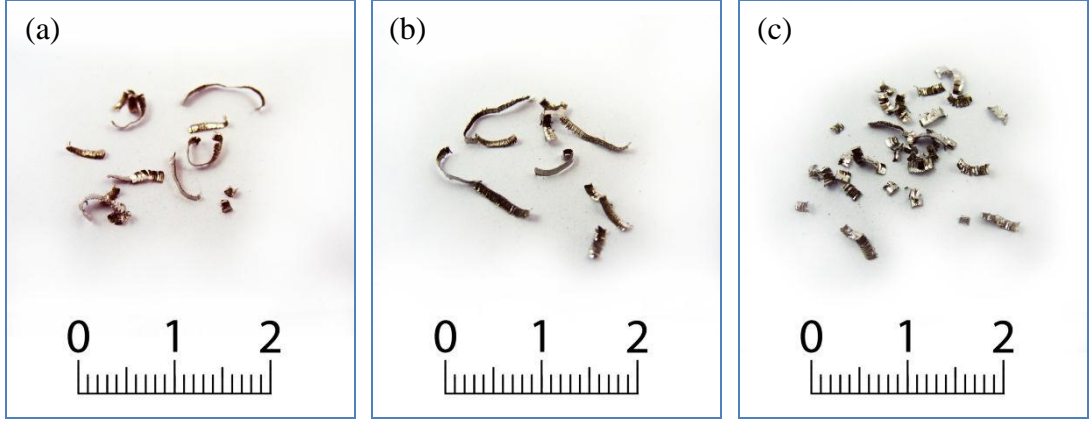


Şekil 5.32. CER-CT2 takımlarla 450 m/dak kesme hızında ve a) 0,1 b) 0,2 ve c) 0,3 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

Hastelloy C22 süper alaşımın derin kriyojenik işlem görüş seramik (CER-CT2) tormalanması esnasında oluşan talaş formlarının dairesel formda olduğu görülmektedir. İlerleme oranının artmasıyla birlikte talaşlar kırık süreksiz talaşlar şekline dönüşmüştür.

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımlarla tormalanması esnasında oluşan talaş formlarının karşılaştırılması Şekil 5.33’de verilmiştir.





Şekil 5.33. a) CER-UT, b) CER-CT1 ve c) CER-CT2 takımlarla 400 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında oluşan talaş formları.

Seramik takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin oluşan talaş formunu değiştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. CER-CT2 takımlarla elde edilen talaşların CER-UT ve CER-CT1 takımlarla elde edilen talaşlara göre daha küçük parçacıklar halinde olduğu görülmektedir. Seramik takımlara uygulanan kriyojenik işleme artan ısı iletkenliğin sebep olduğu söylenebilir. Artan ısı iletkenlik ile talaşta oluşan ısı takıma aktarılmaktadır. Bu durum sonucunda talaşın ısısı düştüğünden talaş formu değişmektedir [115].

## 5.2. KRİYOJENİK İŞLEMİN KESİCİ TAKIMLARIN KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİ

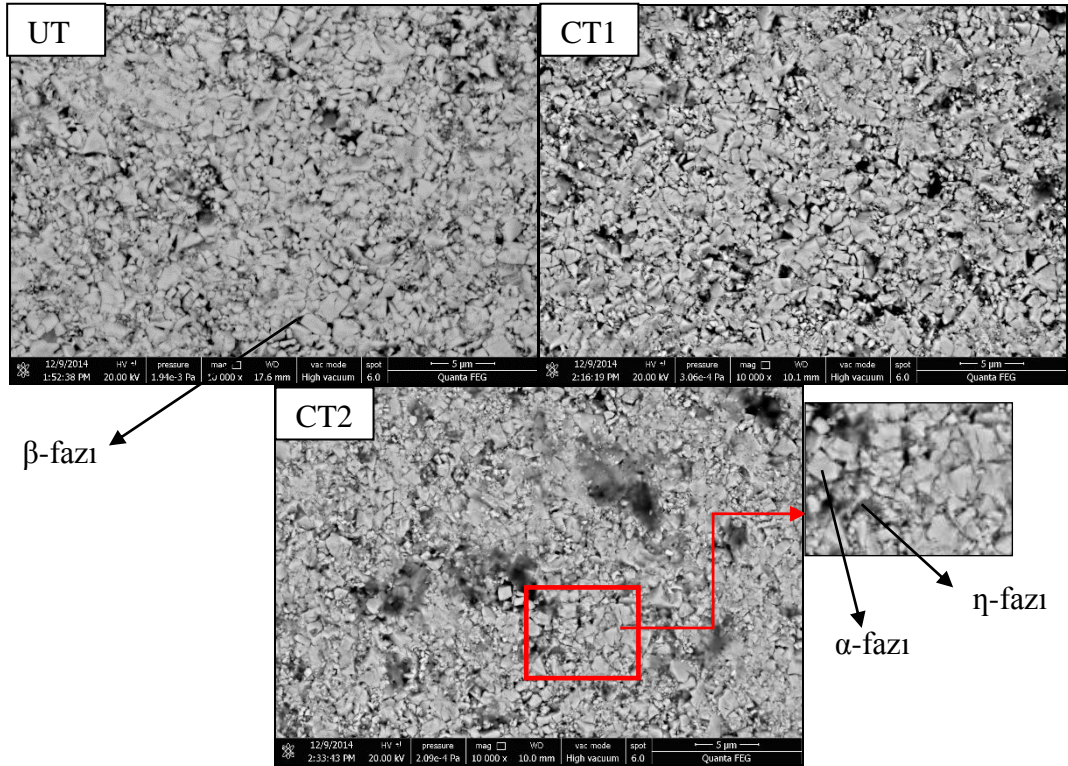
Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış takımların Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü, esas kesme kuvvetine ve takım aşınmasına etkisini araştırmak için kriyojenik işlemin takımların mikro yapılarından SEM görüntüleri alınarak incelenmiştir.

### 5.2.1. Mikro Yapı İncelemeleri

Kriyojenik işlem uygulanan kesici takım malzemelerinin mikro yapılarında ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler, takım performanslarında artış sağlamaktadır [30]. Kesici takımlarda meydana gelen bu iyileşmeler takım türüne ve

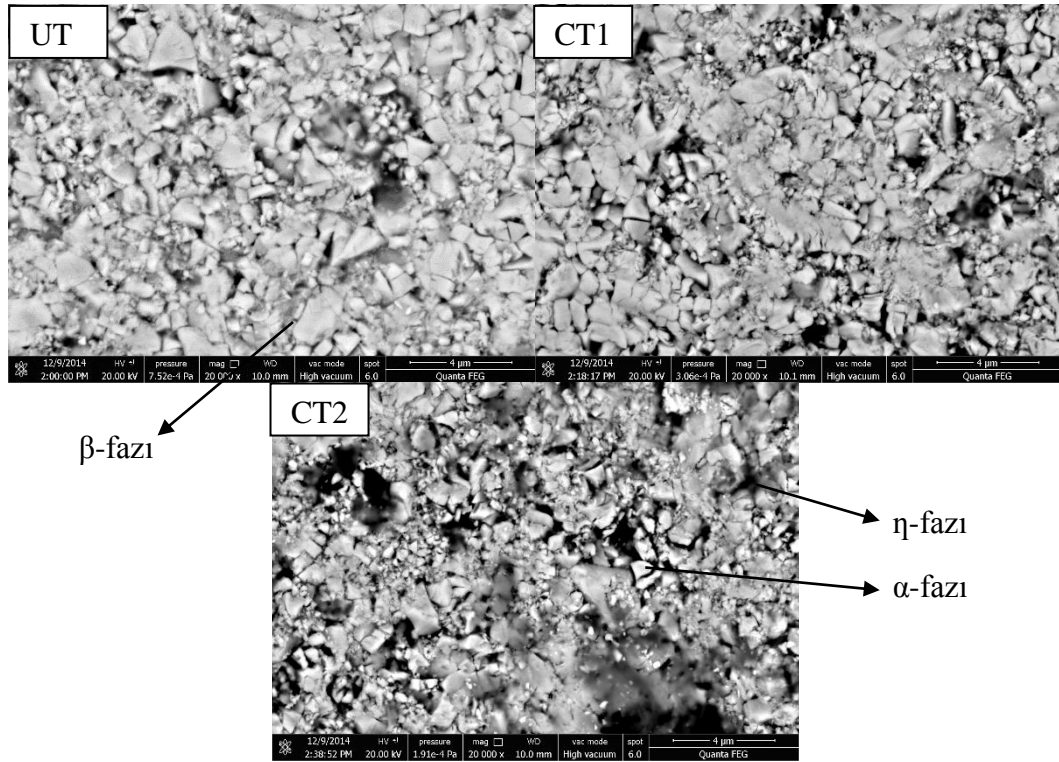
kriyojenik işlem uygulama parametrelerine göre değişiklikler göstermektedir [27,35,37,38,]. Kriyojenik işlemin kesici takım performansına etkisini araştıran çalışmalarda, mekanik özelliklerin iyileşme oranını arttırmak ve artış sebeplerini ortaya koymak adına işlemin ardından yapılan mikro yapı incelemeleri önemli bir yer tutmaktadır [23,24,30,55,68].

Sığ ve derin kriyojenik işlemin takımların performansına olan katkılarını ortaya koyabilmek için takımların uygulanan işlemlerden sonra mikro yapılarının incelenmesi önemlidir. Bu nedenle, kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür takımların mikro yapılarına olan katkılarını araştırmak için kaplamasız tungsten karbür takımların SEM görüntüleri irdelenmiştir. İşlem görmemiş kaplamasız tungsten karbür takım (UT), sığ kriyojenik işlem görmüş takım (CT1) ve derin kriyojenik işlem görmüş takım (CT2) takımların mikro yapıları incelenerek kriyojenik işlemin takımların mikro yapısına etkisi araştırılmıştır. Kaplamasız tungsten karbür takımlara ait mikro yapı görüntüleri Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’de verilmiştir.



Şekil 5.34. Kaplamasız tungsten karbür takımın 10.000x ölçekli sem görüntüleri (UT, CT1 ve CT2).

Kaplamasız tungsten karbür takımların mikro yapıları incelendiğinde kesici takımın yapısında  $\eta$ ,  $\beta$  ve  $\alpha$  fazı bulunmaktadır. Mikro yapıdaki  $\alpha$ -fazı tungsten karbürü,  $\beta$ -fazı kobalt bağlayıcıyı ve  $\eta$ -fazı ise eta karbürleri ifade etmektedir [130]. Mikro yapılar incelendiğinde açık gri parçacıklar  $\alpha$ -fazı, bunlar tungsten karbür parçacıklarıdır.  $\beta$ -fazı karbürün taneciklerini çevresel olarak saran bir kobalt bağlayıcıya aittir. Eta ( $\eta$ ) fazı karbür gibi görünen koyu gri benekler gibi olan şekillerdir [21]. Eta ( $\eta$ ) fazı kriyojenik işlem ile eskiden kobalt bağlayıcının işgal ettiği bölgelere yerleşir. Kriyojenik işlemin karbür takımların mikro yapısına etkisine bakıldığında UT takımların yapısında eta ( $\eta$ ) fazın fazla bulunmadığı görülmektedir. CT1 takımında kriyojenik işlemlerle birlikte bir miktar eta karbürlerin oluştuğu görülmektedir. CT2 takımların yapısında ise belirgin şekilde eta karbür oluşumu dikkat çekmektedir [21].



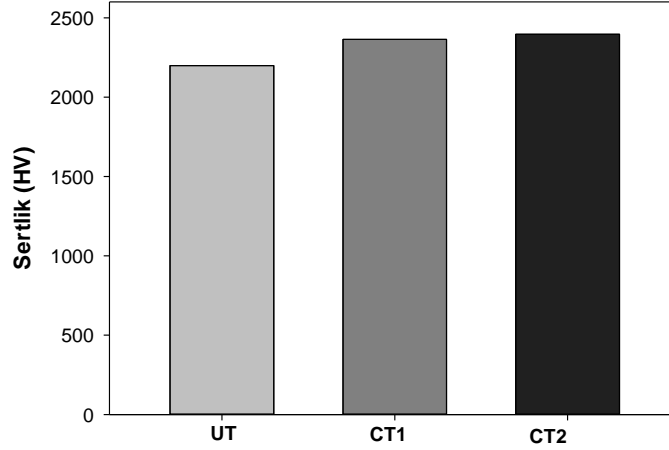
Şekil 5.35. Kaplamasız tungsten karbür takımın 20 000x ölçekli sem görüntüleri (UT, CT1 ve CT2).

Eta fazı tungsten karbürde bir karbon (dekarbürizasyon, karbon fakirleşmesi) eksikliğidir. Eta karbürlerinin oluşmasıyla daha sert ve kırılğan bir karbür yapı ortaya

çıkılmaktadır. İnce eta karbür oluşumları tungsten karbürün kriyojenik işlem gibi düşük sıcaklara maruz kalması sonucu ortaya çıkmaktadır [8,21].

### 5.2.2. Sertlik İncelemeleri

Kriyojenik işlemim takımın sertliğine etkisine tespit etmek için yapılan sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kesici takımların aşınma dirençleri takımların sertlikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Kesici takımların sertliğinin artırılması bu nedenle takımların performansının artırılması açısından önemlidir. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların sertliğin artırıldığı söylenmektedir [73]. Bu amaçla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında kullanılan kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı, CVD kaplamalı ve seramik kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin takımların sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaplamasız takımların uygulanan kriyojenik işlemlerden sonra sahip olduğu sertlikler Şekil 5.36'da verilmiştir.

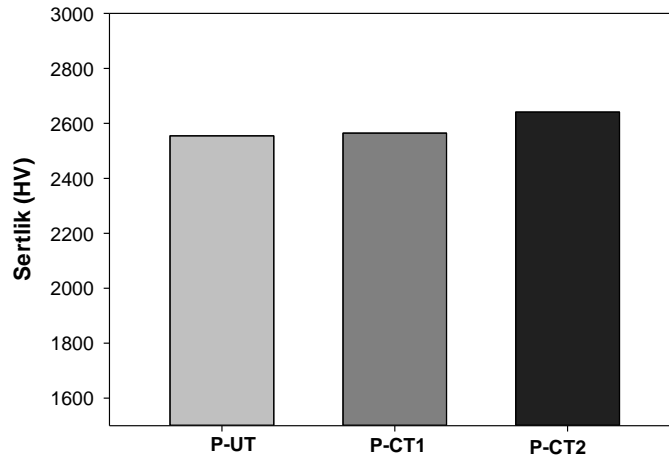


Şekil 5.36. Kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür takımın sertliğine etkisi.

Sığ ve derin kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür takımların sertliğine etkisi incelendiğinde takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin karbür kesici takımların sertliğini belirgin şekilde arttırdığı görülmektedir. Derin kriyojenik işlem görmüş takımların sertliği sığ kriyojenik işlem görmüş takımlara göre çok az miktar artmaktadır. Yapılan birçok çalışmada kriyojenik işlem uygulanan kesici takımların sertliğinin arttığı bildirilmiştir [30]. Ayrıca kesici takımlara uygulanan kriyojenik

işlem ile aşınma direnci, tokluk, yorulma direncinde artış kaçınılmaz sonuç olduğu vurgulanmıştır [68]. Bu nedenle karbür takımlardaki sertlik artışı literatürdeki çalışmalar ile örtüşmektedir. Kriyojenik işlem ile elde edilen sertlik artışları takımların mikro yapılarında oluşan ince eta ( $\eta$ -fazı) karbürlerinin (fine eta carbide) oluşması ile gerçekleşmektedir [8]. Eta karbürleri karbür takımlarda bulunan kobalt bağlayıcıların ( $\beta$ -faz) kapladığı alanlarda oluşmaktadır. Kobalt bağlayıcılara göre daha sert olan eta karbürlerin bağlayıcıların yerlerinde oluşması ile mikro yapıdaki bu değişiklik sertlik artışları ile sonuçlanmaktadır [15]. Kalsi ve arkadaşları karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların sertliğinin artmasını kriyojenik işlem sonucunda kobalt bağlayıcı yoğunlaşması ile açıklamışlardır [14].

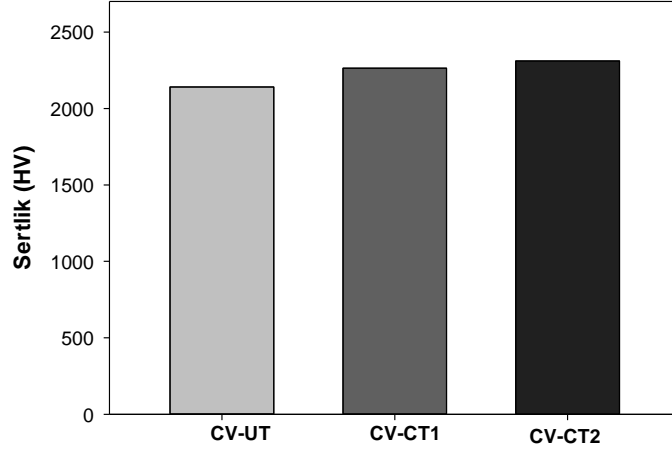
Sığ ve derin kriyojenik işlemin PVD kaplamalı karbürün sertliğine etkisi Şekil 5.37’te verilmiştir.



Şekil 5.37. Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımın sertliğine etkisi.

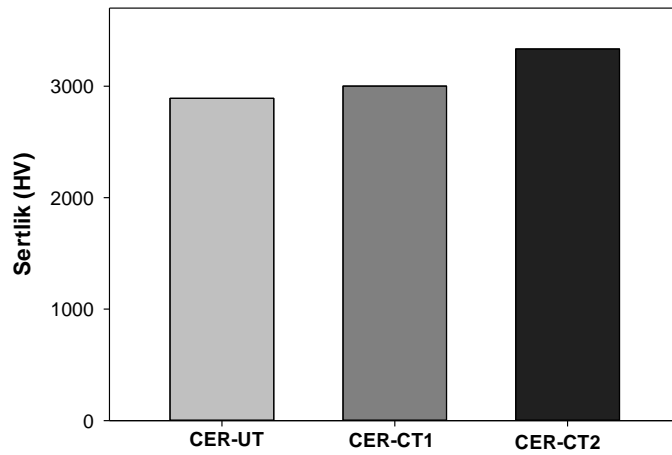
PVD kaplamalı kesici takımların kriyojenik işlemde sonra değişen sertlik değerleri incelendiğinde kriyojenik işlemin takımların sertlik değerlerini arttırdığı görülmektedir. Sığ kriyojenik işlem ile PVD takımın sertliği az miktar artmıştır. Fakat derin kriyojenik işlemin ardından kesici takımların (P-CT2) sertliğinde ciddi bir artış tespit edilmiştir. Bal [70] PVD kaplamalı karbür takımlara uyguladığı kriyojenik işlem sonucunda takımların sertliğinde artış sağlamıştır.

Kriyojenik işlemin CVD kaplamalı karbür takımların sertliğine etkisini incelemek için yapılan sertlik ölçümü sonuçları Şekil 5.38’de verilmiştir.



Şekil 5.38. Kriyojenik işlemin CVD kaplamalı tungsten karbür takımın sertliğine etkisi.

Sığ ve derin kriyojenik işlemin CVD kaplamalı takımların sertliğine etkisi incelendiğinde takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların sertliğinde önemli artış sağlandığı görülmektedir. Ölçülen sertlik açısından Sığ ve derin kriyojenik işlemin CVD kaplamalı karbür takımların sertliğinde belirgin farklılık görülmemektedir. Seramik takımların sertliğine kriyojenik işlemin etkisini gösteren grafikler Şekil 5.39’da verilmiştir.



Şekil 5.39. Kriyojenik işlemin seramik takımın sertliğine etkisi.

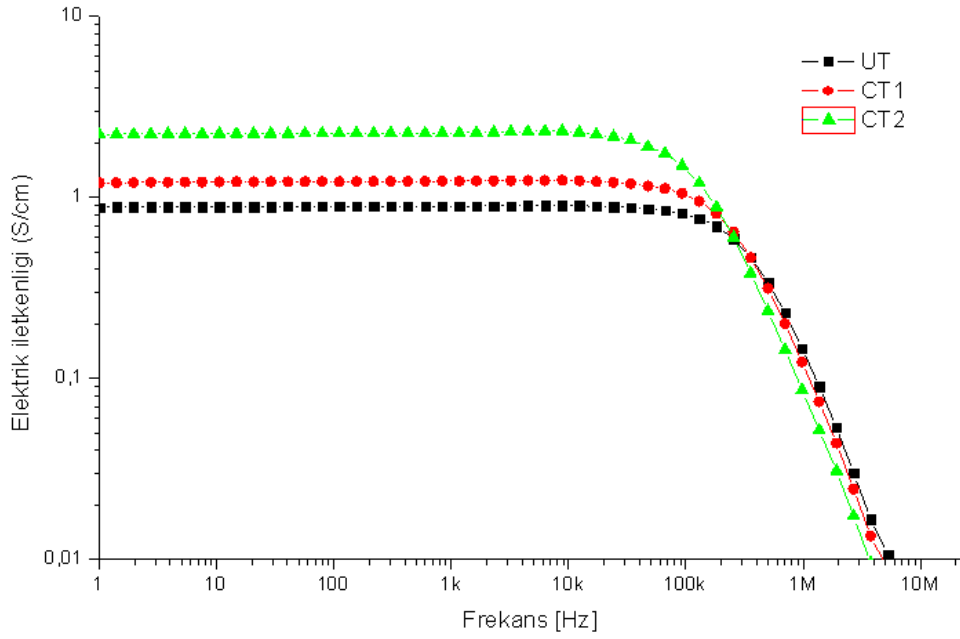
Seramik takımların sertlik değerleri incelendiğinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların sertliklerinde önemli artışlar olduğu görülmüştür. Sığ kriyojenik işlemden sonra takımların sertliği az miktar artmıştır. Derin kriyojenik işlemden sonra ise çok daha fazla artış görülmektedir.

Kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı karbür, CVD kaplamalı karbür ve seramik kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından ölçülen sertlik değerlerine genel olarak bakıldığında takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle takımların sertliklerinde önemli artışlar sağlanmıştır. Kesici takımlarda elde edilen sertlik artışları soğuma esnasında takımların mikro yapılarında daha sıkı bir yapının oluştuğunu göstermektedir. Kesici takımlarla kesici takımların aşınma dirençleri arasında bağıntı olduğu bilinmektedir [15,68]. Kesici takımların kesme kuvvetleri ve ortalama yüzey pürüzlülüğü gibi performanslarında meydana gelen olumlu artışlar takımların sertlik değişimleri ile açıklanabilir.

### **5.2.3. Elektrik İletkenliği ve Isıl İletkenlik**

Literatürde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile takımların mikro yapısında meydana gelen değişimler nedeniyle kesici takımların elektrik iletkenliğinin arttığı bildirilmektedir [21]. Yapılan çalışmalarda kesici takımların elektrik iletkenlikleri ile takım aşınma dirençleri arasında doğru orantının olduğu bilinmektedir. Bu amaçla sığ ve derin kriyojenik işlem sonrasında kesici takımların elektrik iletkenlikleri ölçülmüştür. Wiedemann-Franz kanununa göre katı metallerin ısı iletkenliği ile elektrik iletkenliği (Simens/cm) arasında sabit bir oran vardır [38, 70]. Talaşlı imalatta yüksek ısı iletkenlik kesme işlemi esnasında oluşan ısının kesme bölgesinden hızlı şekilde uzaklaştırılması demektir [122]. Bu nedenle kesici takımların elektrik veya ısı iletkenliklerinde elde edilecek herhangi bir iyileşme kesici takımlarda ısıdan kaynaklanacak aşınmaları azaltabilecektir.

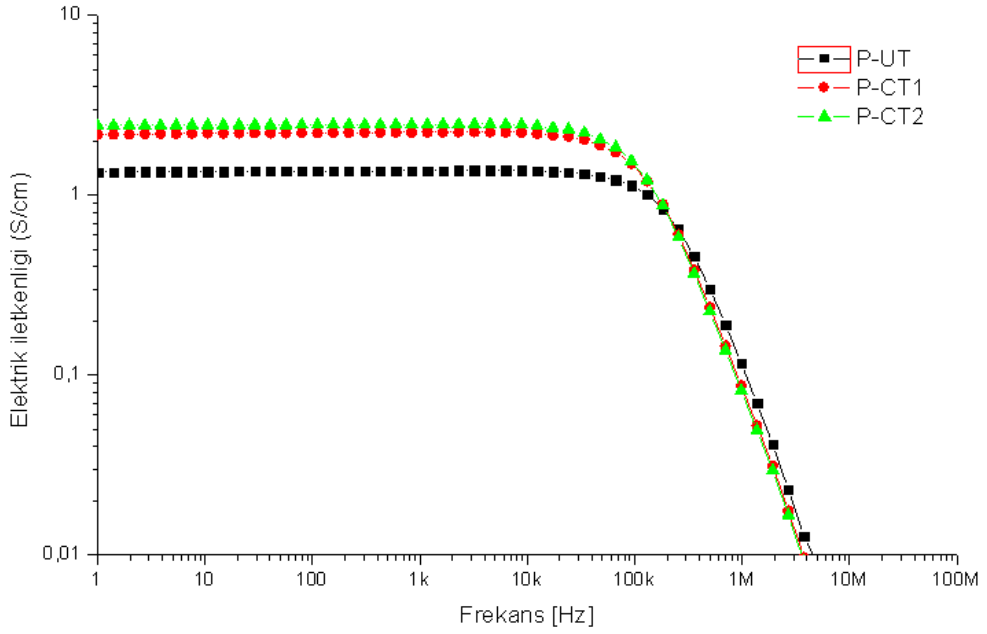
Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından kesici takımlarda değişen elektrik iletkenliği Şekil 5.40'da verilmiştir.



Şekil 5.40. Kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür takımların (UT, CT1 ve CT2) elektrik iletkenliğine etkisi.

Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin ardından ölçülen elektrik iletkenliği incelendiğinde derin kriyojenik işlem görmüş CT2 takımlarda elektrik iletkenliği işlem görmemiş kaplamasız karbür (UT) ve sığ kriyojenik işlem görmüş takımlara (CT1 göre daha yüksek çıkmıştır. Gill ve arkadaşları karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemin karbür takımının karakteristiğine etkisini incelediği çalışmalarında karbür takımların kriyojenik işlemde sonra ısı iletkenliğinin arttığını bildirmişlerdir. Bu ısı iletkenlik artışına tungsten karbürün yapısında bulunan  $\beta$ -fazının (kobalt bağlayıcıyı) azalması ve bu fazın yerini eta karbürlerin almasıyla açıklamışlardır [15]. Bu sonuç kaplamasız çalışmamızda yapmış olduğumuz karbür takımların mikro yapılarıyla örtüşmektedir. Kriyojenik işlemin ardından CT1 ve CT2 takımların mikro yapılarında eta karbürlerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu da sığ ve derin kriyojenik işlem görmüş takımların elektrik ve ısı iletkenliğini arttırmıştır. En yüksek elektrik iletkenliği sonuçlarına CT2 takımlarla ulaşılmıştır. PVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin kesici takımların elektrik iletkenliğine etkisi Şekil 5.41'de verilmiştir.

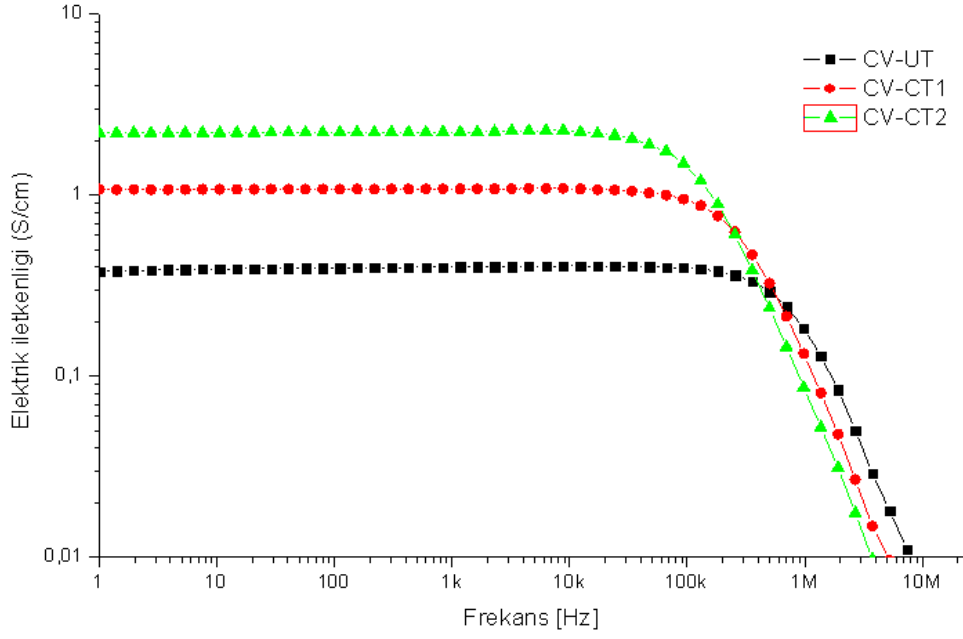




Şekil 5.41. Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarının (P-UT, P-CT1 ve P-CT2) elektrik iletkenliği etkisi.

PVD kaplamalı tungsten karbür takımları elektrik iletkenliği incelendiğinde sığ ve derin kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımları elektrik iletkenliklerine olumlu etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En yüksek elektrik iletkenliğine P-CT2 takımlarla ulaşılmıştır. P-CT1 ve P-CT2 takımların elektrik iletkenliğinin birbirine yakın değerler sergilediği görülmektedir. Bu sonuçlar kesici takımların mikro yapısında meydana gelen değişimlerle açıklanabilir [73]. Derin kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımların elektrik iletkenliği açısından olumlu sonuçlar ortaya koyduğu söylenebilir.

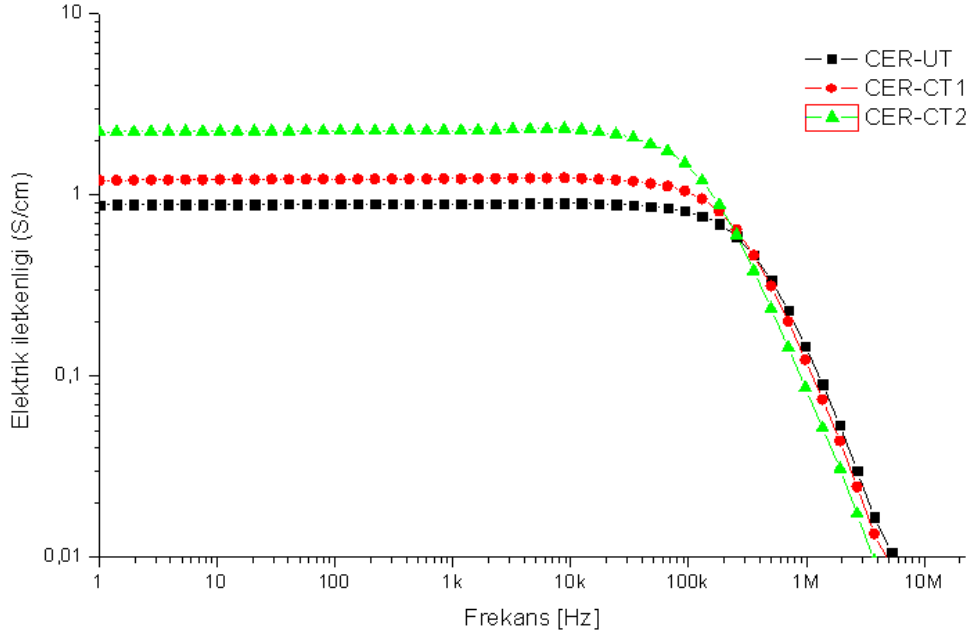
CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından kesici takımlarda değişen elektrik iletkenliği Şekil 5.42'de verilmiştir.



Şekil 5.42. Kriyojenik işlemin CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarının (CV-UT, CV-CT1 ve CV-CT2) elektrik iletkenliği etkisi.

Sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarının elektrik iletkenliği sonuçları gözden geçirildiğinde takımlara uygulanan kriyojenik işlemin elektrik iletkenliğine olumlu etkisi olduğu görülmüştür. CV-UT takım elektrik iletkenliği CV-CT1 ve CV-CT2 takıma göre daha düşüktür takımlara uygulanan sığ kriyojenik işlem ile elektrik iletkenliği bir miktar artmıştır. Derin kriyojenik işle ile bu oran daha da artmaktadır. En yüksek elektrik iletkenliği sonuçlarına CV-CT2 takımlarla ulaşılmıştır. Bu sonuçlar literatür ile de örtüşmektedir [73].

Seramik takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından kesici takımlarda değişen elektrik iletkenliği Şekil 5.43’de verilmiştir.



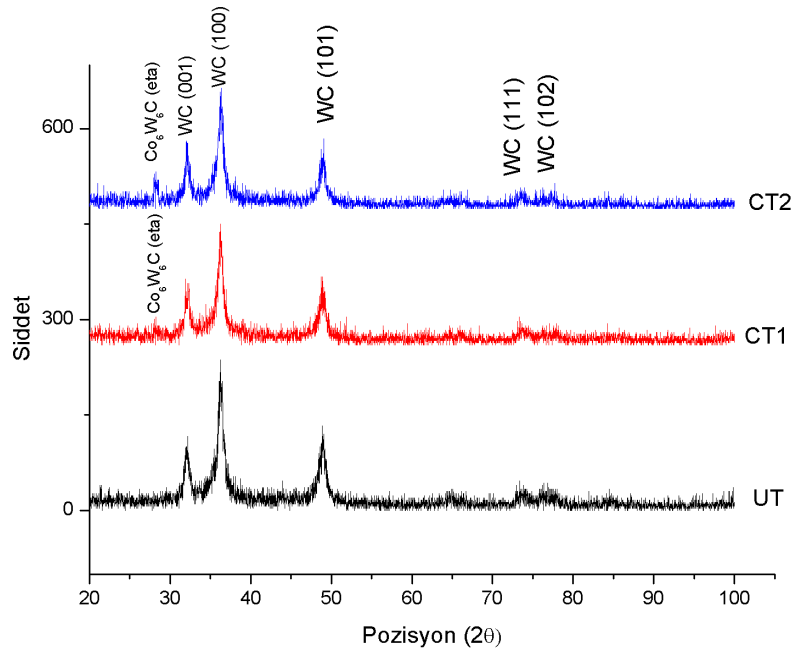
Şekil 5.43. Kriyojenik işlemin seramik takımların (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2) elektrik iletkenliği etkisi.

Seramik ( $Al_2O_3$ -TiCN) takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin ardından takımları elektrik iletkenliklerinde artış olduğu sonucu elde edilmiştir. CER-CT2 takımlarda elektrik iletkenliği diğer takımlara oranla daha yüksektir. Seramik takımlara uygulanan sığ kriyojenik işlemin de elektrik iletkenliğine katkı sağladığı görülmektedir. Fakat bu katkı derin kriyojenik işlem kadar değildir. Bu sonuçlara seramik takımların mikro yapısında meydana gelen değişimlerin neden olduğu söylenebilir.

Genel olarak kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin takımların elektrik iletkenliğine olumlu katkıları olmuştur. Derin kriyojenik işlem görmüş takımlarda elektrik iletkenliği daha yüksektir. Elektrik iletkenliği ile ısıl iletkenlik arasında olan doğru orantı sayesinde takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerle takımların ısıl iletkenliklerinin de arttığı söylenebilir. Bu durumda tornalanması esnasında yüksek ısı oluşan Hastelloy C22 süper alaşımın işlenmesi esnasında oluşan ısı kesici takımlardan daha hızlı şekilde atılabilecektir. Bu ise takımın aşınma dirençlerinin artmasında rol alacağı düşünülebilir.

#### 5.2.4. XRD İncelemeleri

Kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin takımların kristal yapı özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. XRD analizleri ile kesici takımların yapısında meydana gelen faz değişimi ve dağılımları değerlendirilmiştir. Kriyojenik ısıl işlem uygulanmamış kaplamasız tungsten karbür takım ile sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların mikro yapılarında meydana gelen faz değişimleri Şekil 5.44'te gösterilmiştir.

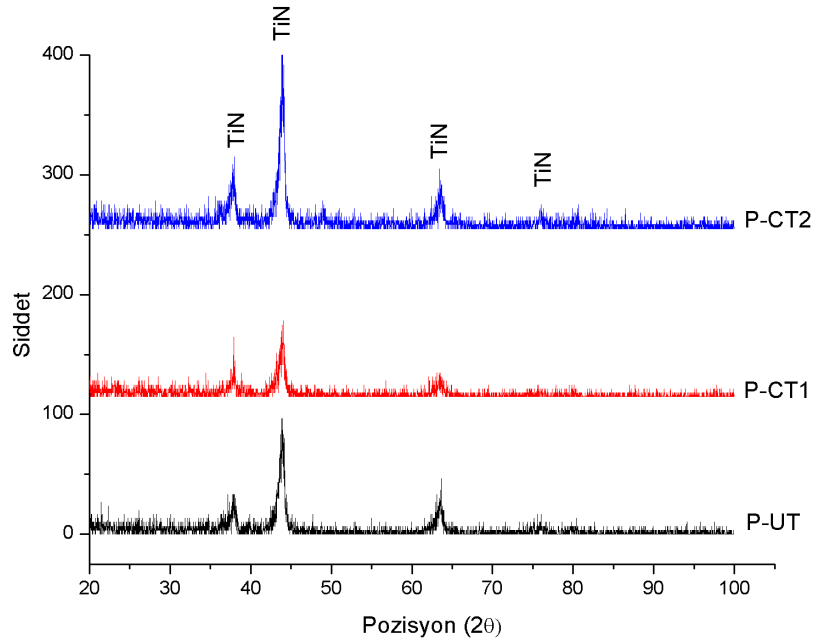


Şekil 5.44. Kaplamasız tungsten karbür takımların (UT, CT1 ve CT2) XRD grafikleri.

Kriyojenik işlem ile tungsten karbür takımların yapısında kobalt metal bağlayıcı yoğunlaşması gibi fiziksel değişiklikler meydana gelir ve bu değişiklikleri XRD ile görmek mümkündür. Kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür takımlar (CT1 ve CT2) kriyojenik işlem uygulanmamış tungsten karbür (UT) takımlarla karşılaştırdıklarında genel olarak benzer bir davranış göstermiştir. Fakat kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemlerin ardından eta fazın oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.44). Tungsten karbür takımlara uygulanan

kriyojenik işlemlerin ardından eta karbür fazının arttığı tespit edilmiştir. Kalsi ve arkadaşları tungsten karbür (WC) takımlara uyguladıkları kriyojenik işlemde sonra karbür fazının azaldığını, eta karbür oluşumunun arttığını tespit etmişlerdir. Kobalt fazı yerine oluşan yeni eta fazı daha sert ve yoğun bir yapıya sahiptir. Yeni oluşan eta fazının takımın özelliklerinin geliştirilmesinde önemli rol oynadığını bildirmişlerdir [14]. Gill ve arkadaşları, kriyojenik işlemlerin ardından takımın yapısında oluşan ince eta karbürlerin, büyük karbür tanecikleriyle daha uyumlu, yoğun ve tok matriks oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca azalan kobalt fazı tungsten karbür takımların termal iletkenliğini arttırdığını açıklamışlardır [16]. Bu sonuç kaplamasız tungsten karbür takımların elektrik iletkenliğinin artışı da (Şekil 5.40) açıklamaktadır. Elde edilen bulgular literatür ile örtüşmektedir [14,16].

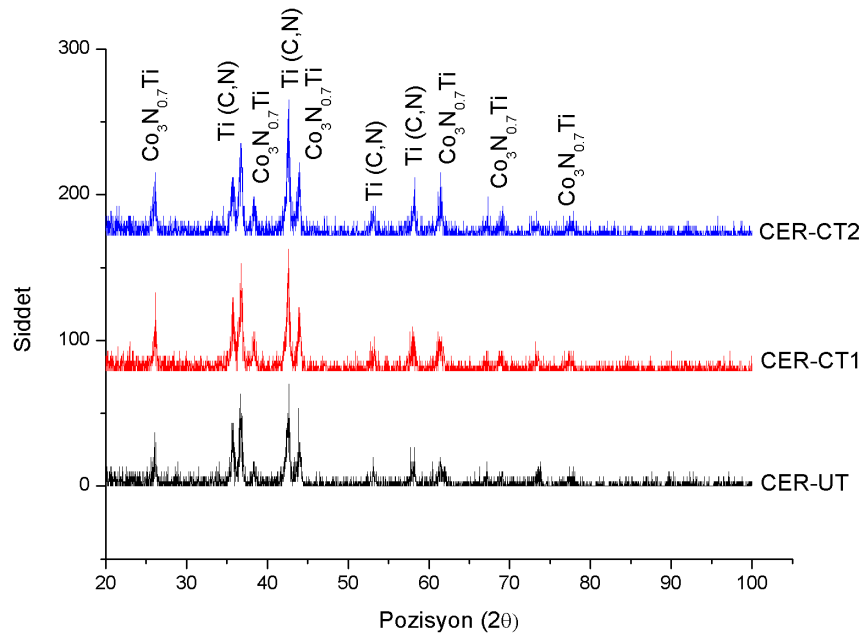
Kriyojenik ısı işlem uygulanmamış PVD kaplamalı tungsten karbür takım ile sıg ve derin kriyojenik işlem uygulanmış PVD kaplamalı tungsten karbür takımların XRD ile tespit edilen mikro yapı faz değişimleri Şekil 5.45'te gösterilmiştir.



Şekil 5.45. PVD kaplamalı tungsten karbür takımların (P-UT, P-CT1 ve P-CT2) XRD grafikleri.

PVD kaplamalı takımlara uygulanan kriyojenik işlemin etkisini gösteren grafik (Şekil 5.45) incelendiğinde, kriyojenik işlemin ardından XRD analizleri sonuçlarında takımın mikro yapısında meydana gelen değişimler sonucunda tercihli büyüme düzlemleri yer değiştirmiştir. XRD analizinde meydana gelen pikler dikkatli bir şekilde incelendiğinde yaklaşık  $45^\circ$  açılarda görülen TiN pikinin derin kriyojenik işlem uygulanan takımda şiddetinin arttığı görülmektedir. Bu piklerde görülen artış derin kriyojenik işlem sonucu yapıda büyüme düzleminin yer değişimine neden olacak bir değişikliğin meydana geldiği söylenebilir. Kriyojenik işlem sonucunda PVD kaplamalı tungsten karbür takımların pik şiddetlerindeki değişim, Derin kriyojenik işlemin takımların mikro yapısında meydana gelen değişikliklerin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu değişiklikler tane boyutu, homojen dağılımını etkilemekte, kesici takımın performansına olumlu katkılar sağlayabilmektedir [14].

Kriyojenik ısıtım işlem uygulanmamış seramik takım ile sıg ve derin kriyojenik işlem uygulanmış seramik takımların mikro yapılarında meydana gelen faz değişimleri için yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 5.46’da gösterilmiştir.



Şekil 5.46. Seramik takımların (CER-UT, CER-CT1 ve CER-CT2) XRD grafikleri.

Seramik takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemler sonucunda elde edilen XRD analizinde TiCN fazının pik şiddetlerinde kriyojenik işleme bağlı olarak artışlar tespit edilmiştir. Bu farklılıklar mekanik özelliklerden elektriksel özelliklere kadar kesici takımın özelliklerini değiştirmektedir [16]. XRD analizleri sonucunda sığ ve derin kriyojenik işlemin ardından farklı düzlemlerdeki TiCN fazı şiddetindeki değişimlerin etkileri seramik takımların sertlik ölçümleri (Şekil 5.39) ve elektrik iletkenliği ölçümlerinde (Şekil 5.43) görülmektedir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte üstün özelliklere sahip süper alaşımların kullanım alanı yaygınlaşmaktadır. Deneylerde kullanılan Hastelloy C22 süper alaşımı çok iyi korozyon direncine sahip olan çok yönlü bir Nikel-Krom-Molibden alaşımıdır. Deniz suyu, bakır klorür, klorin, formik asit, asetik asit, asetik anhidrid, gibi çok çeşitli kimyasal ortamlara karşı üstün dirence sahip olan Hastelloy C22 süper alaşımın geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Fakat içerisinde yüksek oranda Nikel barındırdığından işlenmesi zor olan bir malzemedir. Talaş kaldırma sırasında oluşan yüksek seviyedeki ısı ve sıcaklık, kesici takımları hızlı şekilde aşındırmaktadır. Kesici takım sarfiyatının artması ve çabuk aşınan takımlar nedeniyle ürün kalitesinin bozulması ürün kalitesini düşürüp üretim maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kesici takımların performanslarının artırılması ve uygun kesme hızı, ilerleme oranının ve takım türünün belirlenmesi üretim maliyetlerinin azaltılmasında ve ürün kalitesinin artırılmasında önemli bir faktördür. Son yıllarda yapılan akademik çalışmalarda, kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanması sonucu takımların ömrünü ve aşınma direncini arttıran etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir.

Literatürdeki ve uygulamadaki bulgulardan yola çıkılarak yapılan bu çalışmada kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı, CVD kaplamalı ve seramik takımlara sıg ve derin kriyojenik işlem uygulanarak Hastelloy C22 süper alaşımın izlenebilirliğine etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla kriyojenik işlem uygulanmış Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında en ideal takım türü, kesme hızı ve ilerleme oranı elde edilmeye çalışılmıştır. Tornalama işlemleri sonucunda elde edilen



yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızında tornalanmasında elde edilen kesme kuvveti sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- Kaplamasız tungsten karbür takımlara uygulanan sıg ve derin kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında ölçülen esas kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerini düşürdüğü görülmüştür. CT2 takımla elde edilen esas kesme kuvveti, UT ve CT1 takıma göre sırasıyla % 16,5 ve % 3,3 iyileşme sağlanmıştır. CT2 kesici takımla optimum şartlarda elde edilen esas kesme kuvveti değeri 387,750 N olarak elde edilmiştir.
- Kriyojenik işlem görmüş PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetleri incelendiğinde, P-CT2 takımlarla 90 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında ölçülen esas kesme kuvveti değerleri 0,2 ve 0,3 ilerleme oranında elde edilen değerlerden sırasıyla % 137,8 ve % 33,37 düşük bulunmuştur.
- CVD kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde; kesme kuvvetleri açısından CVD kaplamalı tungsten karbür takım olarak belirlenen CV-CT2 kesici takımla CV-UT kesici takıma göre esas kesme kuvvetinde % 16,5'lık düşüş sağlanmıştır.
- Seramik takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasına esas kesme kuvvetlerine etkisi değerlendirildiğinde kriyojenik işlemin seramik takımlara olumlu etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. CER-CT2 takımlarla 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme oranında ölçülen esas kesme kuvveti değerleri CER-UT ve CER-CT1 takımlarla elde edilen değerlerden sırasıyla % 16,7 ve % 6,7 daha düşük belirlenmiştir.
- Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için % 95 güven aralığında yapılan ANOVA testi

sonuçlarına göre kesme kuvvetlerine etki eden en etkili parametre ilerleme hızı olarak belirlenmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızında tormalanmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- Hastelloy C22 süper alaşımın tormalanmasında ilerleme oranının değişimine göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre tüm takım türlerinde (kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı, CVD kaplamalı ve seramik takım) en iyi yüzey pürüzlülüklerine 0,1 mm/dev ilerleme oranında ulaşılmıştır.
- Kesme hızının değişimine göre Hastelloy C22 süper alaşımın tormalanmasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde takım türüne göre en ideal kesme hızı değişiklik göstermektedir. Kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı ve CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla en iyi ortalama yüzey pürüzlülüklerine 90 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır. Seramik takımlarla en iyi yüzey pürüzlülüklerine 450 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır.
- Hastelloy C22 süper alaşımın kaplamasız tungsten karbür takımlarla tormalanmasında en iyi parametreler; 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranı ve CT2 takım türü olarak tespit edilmiştir. CT2 takımla 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,734  $\mu\text{m}$ 'dur. CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile UT ve CT1 takımlara göre sırasıyla % 72,3 ve % 28,3'lük iyileşme göstermiştir.
- Kriyojenik işlemin PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerine etkisi incelendiğinde kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüklerine olumlu etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Hastelloy C22 süper alaşımın PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tormalanmasında P-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri P-UT ve P-CT1 takıma göre sırasıyla % 99,5 ve % 22,5'lik iyileşme sağlanmıştır.

- Derin kriyojenik işlem uygulanmış CVD takımlarla CV-CT2 elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri CV-T1 ve CV-UT takımlarla elde edilen değerlerden daha düşük elde edilmiştir. Hastelloy C22 süper alaşımın CVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalanmasında; CV-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri CV-UT ve CV-CT1 takıma göre sırasıyla % 40,78 ve % 27,9'luk iyileşme sağlanmıştır.
- Seramik takımlarla en uygun parametre olan 450 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme oranında derin kriyojenik işlem görmüş CER-CT2 takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değeri 0,369 µm olarak bulunmuştur. CER-CT2 takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile CER-UT ve CER-CT1 takıma göre sırasıyla % 211,9 ve % 39,7'lik iyileşme sağlanmıştır.
- İdeal parametreler olan 90 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme oranında CT2, P-CT2 ve CV-CT2 takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 0,734 µm, 0,618 µm ve 0,559 µm olarak bulunmuştur. CV-CT2 takımla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü CT2 ve P-CT2 takımdan sırasıyla % 18,7 ve % 1,3 daha iyi olduğu tespit edilmiştir.
- Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında tüm kesici takımlarda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri kıyaslandığında en iyi yüzey pürüzlülüklerine sırasıyla derin kriyojenik işlem uygulanmış olan CER-CT2, CV-CT2, P-CT2 ve CT2 takımlarla ulaşılmıştır.
- Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem görmüş kesici takımlarla tornalanması esnasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en etkili parametreyi belirlemek için % 95 güven aralığında yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüklerine etki eden en etkili parametre ilerleme hızı olarak belirlenmiştir.

Hastelloy C22 süper alaşımın farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızında tornalanmasında elde edilen takım aşınma sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- Kaplamasız tungsten karbür kesici takımlara uygulanan sıg ve derin kriyojenik işlemin aşınma dirençleri kıyaslandığında kriyojenik işlemin takım aşınmalarına olumlu katkısının olduğu anlaşılmaktadır. En düşük aşınma oranlarına CT2 takımlarla ulaşılmıştır. Kriyojenik işlemin ardından kaplamasız

tungsten karbür kesici takımların yapısında bulunan kobalt bağlayıcıların yerinde oluşan eta ince karbürler ile kesici takımların sertliği, tokluğu, elektrik iletkenliği, ısıl iletkenlik ve aşınma direnci artmıştır.

- Sığ ve derin kriyojenik işlemin PVD (TiAlN + TiN) kaplamalı kesici takımların aşınmasına etkisi incelendiğinde P-UT takımlarda belirgin şekilde aşınmanın bulunduğu gözlemlenmektedir. P-CT1 ve P-CT2 takımlarda aşınma P-UT takımlara göre daha azdır. P-UT takımında kesici köşe aşınması, yanak aşınması, serbest yüzey aşınması ve çentiklenme olduğu tespit edilmiştir.
- CVD kaplamalı (TiCN+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ TiN) takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerin katkısı incelendiğinde kriyojenik işlem uygulanmamı takımlarda (CV-UT) kesici takımında belirgin şekilde çentiklenme ve az miktarda serbest yüzey aşınması olduğu görülmektedir. Sığ (CV-CT1) ve derin (CV-CT2) kriyojenik işlem görmüş takımlarda ise çentiklenme oluşumunun yeni başladığı belirlenmiştir.
- CER-UT takımın aşınma görüntüleri incelendiğinde çentiklenme ve serbest kenar aşınması olduğu tespit edilmiştir. CER-CT1 takımında da benzer şekilde çentiklenme ve serbest yüzey aşınması oluşmuştur. Fakat bu takımında oluşan çentiklenme daha azdır. Derin kriyojenik işlem görmüş CER-CT2 takımın aşınması incelendiğinde daha az çentiklenme oluştuğu görülmektedir. Ayrıca serbest yüzey aşınması da hiç yok denecek kadar azdır. Derin kriyojenik işlemin seramik takımların aşınma direncine önemli katkı sağladığı söylenebilir.

Hastelloy C22 süper alaşımın farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızında tornalanması esnasında oluşan talaş formlarının değerlendirilmesi aşağıda özetlenmiştir;

- İlerleme hızının artmasıyla birlikte birim zamanda kesici takımın koparmaya çalıştığı talaş miktarının artmasıyla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında oluşan talaş formu da değişmektedir.
- Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında oluşan talaşların ilerleme oranının artışına bağlı olarak değişimi incelendiğinde; düşük ilerleme oranında

spiral şekilde olan talaş formu, ilerleme oranının artmasına bağlı olarak dairesel forma dönüşmüştür.

- Sığ kriyojenik ve derin kriyojenik işlem görmüş kesici takımlarla Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanması esnasında elde edilen talaş oluşumları incelendiğinde; işlem görmemiş takımlarla elde edilen talaşların daha çok kıvrıma sahip olduğu görülmektedir. Isıl iletkenlik katsayısı düşük olan kesici takım kaplamaları, ısının büyük bir miktarını talaşa aktaracağı için ısınmış olan talaş daha yumuşak bir yapıya sahip olacağından talaşın daha çok kıvrılmasına sebebiyet vermektedir. Sığ ve derin kriyojenik işlem görmüş kesici takımların ısıl iletkenlikleri işlem görmemiş takımlara göre daha yüksek olduğu için talaş olumları, işlem görmemiş takımlarla elde edilen talaşlara göre daha az kıvrılmıştır.
- Hastelloy C22 süper alaşımın derin kriyojenik işlem görüş seramik (CER-CT2) tornalanması esnasında oluşan talaş formlarının dairesel formda olduğu görülmektedir. İlerleme oranının artmasıyla birlikte talaşlar kırık süreksiz talaşlar şekline dönüşmüştür.

Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında kullanılan takımlara uygulanan kriyojenik işlemin, kesici takımların karakteristiğine etkisinin değerlendirilmesi aşağıda özetlenmiştir;

- Kriyojenik işlemin karbür takımların mikro yapısına etkisine bakıldığında UT takımların yapısında eta ( $\eta$ ) fazın fazla bulunmadığı görülmektedir. CT1 takımında kriyojenik işlemlerle birlikte bir miktar eta karbürlerin oluştuğu görülmektedir. CT2 takımların yapısında ise belirgin şekilde eta karbür oluşumu dikkat çekmektedir.
- Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında kullanılan kaplamasız tungsten karbür, PVD kaplamalı, CVD kaplamalı ve seramik kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin takımların sertlik sonuçlarına göre kriyojenik işlem ile kesici takımların sertlikleri artmıştır. Derin kriyojenik işlem görmüş takımlarla en yüksek sertlik artışı sağlanmıştır.
- Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin ardından ölçülen elektrik iletkenliği incelendiğinde derin kriyojenik işlem görmüş takımlarda elektrik

iletkenliği işlem görmemiş takım ve sığ kriyojenik işlem görmüş takımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Kesici takımların artışıyla birlikte takımların ısıl iletkenliklerinde de artış sağlanmıştır.

## 6.2. ÖNERİLER

Hastelloy C22 süper alaşımın kriyojenik işlem uygulanmış farklı kesici takımlarla tornalanmasında ideal kesme parametrelerinin bulunarak ürün kalitesini ve üretim maliyetini düşürmeyi hedefleyen bu deneysel çalışmada, deneylerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasında elde edilen veriler esas alınarak, bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması açısından, aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir.

- Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında kriyojenik işlemin etkisini araştırmak için farklı tür ve geometride kesici takımlar kullanılabilir.
- Kriyojenik işlemin etkisini araştırmak için farklı takım türlerine kriyojenik işlemin etkininin arttırılması için farklı kriyojenik işlem uygulama parametreleri (uygulama ısısı, uygulama süresi, soğutma hızı) denenebilir.
- Kesici takım türüne göre değişik katkı sağlayan temperleme işleminin farklı sürelerde ve sayıda uygulanmasının kesici takım performansına etkisi incelenebilir.
- Kesici takımlara uygulanan sığ ve derin kriyojenik işlemin Hastelloy C22 süper alaşımın tornalanmasında takım ömrüne etkisi araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Motorcu, A. R., “Nikel Esaslı Süperalaşımların ve Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (1-2): 302 - 330 (2009).
2. Priyadarshini, A., “A study of the effect of cryogenic treatment on the performance of high speed steel and carbide inserts”, Ms. C. Thesis, *Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology*, Rourkela (2007).
3. Reddy, T. V. S., Sornakumar, T., and Reddy, M. V., “Turning studies of deep cryogenic treated P-40 Tungsten Carbide Cutting Tool Inserts - technical communication”, *Machining Science and Technology: An International Journal*, 13 (2): 269-281 (2009).
4. Barron, R. F., “Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance”, *Cryogenics*, 22: 409–413 (1982).
5. Dhar, N. R., and Kamruzzaman, M., “Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning Aisi-4037 steel under cryogenic condition”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 754-759 (2007).
6. Ramji, B. R., Murthy, H. N. N., and Krishna, M., “Performance study of cryo treated Hss drills in drilling cast iron” *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2 (7): 2530-2536 (2010).
7. Gill, S. S., Singh, R., Singh, H., and Singh, J., “Wear behavior of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 256–260 (2009).
8. Reddy, T. V. S., Sornakumar, T., Reddy, M. V., and Venkatram, R., “Machining performance of low temperature treated P-30 Tungsten carbide cutting tool inserts”, *Cryogenics*, 48: 458–461 (2008).
9. Shirbhate, A. D., Deshpande, N. V., and Puri, Y. M., “Effect of cryogenic treatment on cutting torque and surface finish in drilling operation with Aisi M2 high speed steel”, *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res.*, 1: 51-62 (2012).
10. Chang, Y. P., Wang, G., Horng, J. H., Chu, L. M., and Hwang, Y. C., “Effects of deep cryogenic treatment on wear mechanisms and microthermal expansion for the material of drive elements”, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013: 7 doi:/10.1155/2013/945657 (2013).
11. Vadivel, K., and Rudramoorthy, R., “Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 42: 222–232 (2009).

12. Jeleńkowski, J., Ciski, A., and Babul, T., “Effect of deep cryogenic treatment on substructure of Hs6-5-2 high speed steel”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43: 80-86 (2010).
13. Šolić, S., Cajner, F., and Panjan, P., “Influence of deep cryogenic treatment of high speed steel substrate on TiAlN coating properties”, *Material wissenschaft und Werkstofftechnik*, 44: 12 DOI:10.1002/mawe.201300168 (2013).
14. Kalsi, N. S., Sehgal, R., and Sharma, V. S., “Effect of tempering after cryogenic treatment of tungsten carbide–cobalt bounded inserts”, *Bull. Mater. Sci.*, 37 (2): 327–335 (2014).
15. Gill, S. S., Singh, J., Singh, H., and Singh, R., “Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC–Co)”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 58: 119–131 (2012).
16. Gill, S. S., Singh, H., Singh, R., and Singh, J., “Flank wear and machining performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts”, *Materials and Manufacturing Processes*, 26 (11): 1430-1441 DOI: 10.1080/10426914.2011.557128 (2011).
17. He, H. B., Han, W. Q., Li, H. Y., Li, D. Y., Yang, J., Gu, T., and Deng, T., “Effect of deep cryogenic treatment on machinability and wear mechanism of tialn coated tools during dry turning”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15 (4): 655-660 (2014).
18. Ramji, B. R., Narasimha, M. H. N., and Krishna, M., “Performance analysis of cryogenically treated carbide drills in drilling white cast iron”, *International Journal of Applied Engineering Research*, Dindigul, 1: 553-560 (2010).
19. Firouzdor, V., Nejati, E., and Khomamizadeh, F., “Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 Hss drill”, *Journal of materials processing technology*, 206: 467–472 (2008).
20. Thakur, D., Ramamoorthy, B., and Vijayaraghavan, L., “Influence of different post treatments on tungsten carbide–cobalt inserts”, *Materials Letters*, 62: 4403-4406 (2008).
21. Reddy, T. V. S., Sornakumar, T., Reddy, M. V., and Venkatram, R., “Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts”, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 27: 181–185 (2009).
22. Senthilkumara, D., Rajendran, I., Pellizzari, M., and Siiriainen, J., “Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 396–401 (2011).
23. Singh, L. P., and Singh, J., “Effects of cryogenic treatment on high-speed steel tools”, *Journal of Engineering and Technology*, 1: DOI:10.4103/0976-8580.86640 (2012).



24. Singh, L. P., and Singh, J., “Effects of cryogenic treatment on the cutting tool durability”, *Ijdm*, 3 (1): 11-23 (2012).
25. Çiçek, A., Kara, F., Kıvak, T., ve Ekici, E., “Evaluation of machinability of hardened and cryo-treated Aisi H13 hot work tool steel with ceramic inserts”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41: 461–469 (2013).
26. Çiçek, A., Kıvak, T., ve Ekici, E., “Optimization of drilling parameters using taguchi technique and Response Surface Methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills”, *J. Intell. Manuf.*, DOI 10.1007/s10845-013-0783-5 (2011).
27. Balasubramanian, S., Gupta, M. K., and Singh, K. K., “Cryogenics and its application with reference to spice grinding: A review”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52: 781-794 (2012).
28. Zhao, Z., and Hong, S. Y., “Cryogenic properties of some cutting tool materials”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1 (5): 705-714 (1992).
29. Lal, D. M., Renganarayanan, S., and Kalanidhi, A., “Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels”, *Cryogenics*, 41: 149-155 (2001).
30. Gill, S. S., Singh, J., Singh, R., and Singh, H., “Effect of cryogenic treatment on AISI M2 high speed steel: metallurgical and mechanical characterization”, *JMEPEG*, 21: 1320–1326 (2012)
31. Reitz, W., and Pendray, J., “Cryoprocessing of materials: A review of current status”, *Materials and Manufacturing Processes*, 16 (6): 829-840 (2001).
32. Gill, S. S., Singh, J., Singh, R., and Singh, H., “Metallurgical principles of cryogenically treated tool steels—A review on the current state of science” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 54: 59–82 (2010).
33. Das, D., Dutta, A. K., and Ray, K. K., “Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel”, *Cryogenics*, 49: 176–184 (2009).
34. Gu, K., Wang J., and Zhou Y., “Effect of cryogenic treatment on wear resistance of Ti-6al-4v alloy for biomedical applications”, *Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 30: 131–139 (2014).
35. Baldissera, P., and Delprete, C., “Deep cryogenic treatment: A bibliographic review”, *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2: 1-11 (2008).
36. Kalia, S., “Cryogenic processing: A study of materials at low temperatures”, *J. Low Temp. Phys.*, 158: 934–945 (2010).

37. Gill, S. S., and Singh, H., "Cryoprocessing of cutting tool materials- A review", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 48: 175-192 (2010)
38. Kalsi, N. S., Sehgal, R., and Sharma, V. S., "Cryogenic treatment of tool materials: A review", *Materials and Manufacturing Processes*, 25: 1077–1100 (2010).
39. Dhokey, N. B., Hake, A., Kadu, S., Bhoskar, I., and Dey, G. K., "Influence of cryoprocessing on mechanism of carbide development in cobalt-bearing high-speed steel (M35)", *Metallurgical And Materials Transactions*, 45: 1508-1516 (2014).
40. Yıldız, Y., and Nalbant, M., "A review of cryogenic cooling in machining processes", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48: 947–964 (2008).
41. Sharma, V. S., Dogra, M., and Suri, N. M., "Advances in the turning process for productivity improvement - A review", *Journal of Engineering Manufacture*, 222: 1417 (2008).
42. Balout, B., Songmene, V., and Masounave, J., "An Experimental study of dust generation during dry drilling of pre-cooled and pre-heated workpiece materials", *Journal of Manufacturing Processes*, 9 (1): 23-34 (2007).
43. Ranajit, G., Zurecki, Z., and Frey, J. H., "Cryogenic machining with brittle tools and effect on tool life", *Proceedings of IMECE'03*, 16-21 (2003).
44. Sharma, V. S., Dogra, M., and Suri, N. M., "Cooling techniques for improved productivity in turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, DOI:10.1016/j.ijmachtools.2008.12.010 (2008).
45. Dhar, N. R., and Kamruzzaman, M., "Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 754–759 (2007).
46. Dhar, N. R., and Islam, S., "Effect of Cryogenic Cooling by Liquid Nitrogen Jet on Tool Wear and Product Quality in Turning AISI-9310 Steel" *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1 (1): 1-6 (2006).
47. Ahmed, M. I., Ismail, A.F., Abakr, Y. A., and Amin, A. K. M. N., "Effectiveness of cryogenic machining with modified tool holder", *Journal of Materials Processing Technology*, 185: 91–96 (2007).
48. Gisip, J., Gazo, R., and Stewart, H. A., "Effects of cryogenic treatment and refrigerated air on tool wear when machining medium density fiberboard", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 5117–5122 (2009).

49. Fredj, N. B., and Sidhom, H., “Effects of the cryogenic cooling on the fatigue strength of the AISI 304 stainless steel ground components”, *Cryogenics*, 46: 439–448 (2006).
50. El-Tayeb, N. S. M., Yap, T. C., and Brevern, P. V., “Wear characteristics of titanium alloy Ti54f or cryogenic sliding applications”, *Tribology International*, 43: 2345–2354 (2010).
51. Das, D., Dutta, A. K., Toppo, V., and Ray, K. K., “Effect of deep cryogenic treatment on the carbide precipitation and tribological behavior of D2 steel”, *Materials and Manufacturing Processes*, 22: 474–480 (2007).
52. Gogte, C. L., Likhite, A., Peshwe, D., Bhokarikar, A., and Shetty, R., “Effect of cryogenic processing on surface roughness of age hardenable AA6061 alloy”, *Materials and Manufacturing Processes*, 29 (6): 710-714 DOI: 10.1080/10426914.2014.901526 (2014).
53. Li, Y. S., Tao, N. R., and Lu, K., “Microstructural evolution and nanostructure formation in copper during dynamic plastic deformation at cryogenic temperatures”, *Acta Materialia*, 56: 230–241 (2008).
54. Nayan, S. V. S. N., Murty, N., Abhay, K., Pant, B. J., Sharma, S. C., George, K. M., and Sastry, G. V. S., “Mechanical properties of aluminium–copper–lithium alloy AA2195 at cryogenic temperatures”, *Materials and Design*, 58: 445–450 (2014).
55. Isaak, C. J., and Reitz, W., “The effects of cryogenic treatment on the thermal conductivity of GRCop-84”, *Materials and Manufacturing Processes*, 23: 82–91 (2008).
56. Yong J., Chen, D., Chen, Z., and Liu, J., “Effect of cryogenic treatment on the microstructure and mechanical properties of AZ31 magnesium alloy”, *Materials and Manufacturing Processes*, 25: 837–841 (2010).
57. Indumathi, J., Bijwe, J., Ghosh, A. K., Fahim, M., and Krishnaraj, N., “Wear of cryo-treated engineering polymers and composites”, *Wear*, 225–229: 343–353 (1999).
58. Candane, D., Alagumurthi, N., and Palaniradja, K., “Tribological studies on deep cryogenic treated AISI T42 high speed steel using response surface methodology”, *Advances in Materials*, 2: 12-22 (2013).
59. Bensely, A., Venkateswaran, S., Subisak, A. D., Lal, D. M., Rajadurai, A., Lenkey, G. B., and Paulin, P., “Influence of deep cryogenic treatment on alloy carbide precipitations and mechanical properties of AISI M2 high speed tool steel”, *Published in Cold Facts*, 28: 2 (2012).
60. Çiçek, A., Kıvık, T., Uygur, İ., Ekici, E., and Turgut, Y., “Performance of cryogenically treated M35 Hss drills in drilling of austenitic stainless steels”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 60: 65–73 (2012).

61. Senthilkumar, D., and Rajendran, I., "Influence of shallow and deep cryogenic treatment on tribological behavior of En 19 steel", *Journal of Iron and Steel Research, International*, 18 (9): 53-59 (2011).
62. Podgornik, B., Leskovšek, V., and Vižintin, J., "Influence of deep-cryogenic treatment on tribological properties of P/M high-speed steel", *Materials and Manufacturing Processes*, 24: 7-8, 734-738 (2011).
63. Yong, A. Y. L., Seah, K. H. W., and Rahman, M., "Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 2051–2056 (2006).
64. Poomari, A., Mohan, B., Rajadurai, A., and Senthilkumar, A., "Study on tool life of coated, cryogenically treated and coated and plain cermet cutting tools while machining steel", *European Journal of Scientific Research*, 85 (3): 394-407 (2012).
65. Pande, K. N., Peshwe, D. R., and Kumar, A., "Effect of the cryogenic treatment on polyamide and optimization of its parameters for the enhancement of wear performance", *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 65 (3): 313-319 (2012).
66. Zhang, Z., Zhang, H., Guo, F., Wang, K., and Jiang, W., "Enhanced wear resistance of hybrid PTFE/Kevlar fabric/phenolic composite by cryogenic treatment", *Journal of Materials Science*, 44 (22): 6199-6205 (2009).
67. Gill, S. S., and Singh, H., "Cryogenic treatment of materials: cutting tools and polymers", *Polymers at Cryogenic Temperatures*, 245-273 (2013).
68. Candane D., Alagumurthi, N., and Palaniradja, K., "Effect of cryogenic treatment on microstructure and wear characteristics of AISI M35 HSS", *International Journal of Materials Science and Applications*, 2 (2): 56-65 (2013).
69. Candane, D., Alagumurthi, N., and Palaniradja, K., "Effect of deep cryogenic treatment on AISI T42 high speed steel", *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3: 1164-1170 (2013).
70. Bal, K. S., "Performance appraisal of cryo-treated tool by turning operation", *National Institute of Technology*, M. Sc. Thesis, Rourkela, 45-75 (2012).
71. Amini, K., Amin, and A., Sirius, J., "Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment", *Vacuum*, 86: 1534-1540 (2012).
72. Gill, S. S., "Machining performance of cryogenically treated AISI M2 high speed steel tools", *JERS*, 3 (2): 45-49 (2012).

73. Dogra, M., Sharma, V. S., Sachdeva, A., Suri, N. M., and Dureja, J. S., "Performance evaluation of CBN, coated carbide, cryogenically treated uncoated/coated carbide inserts in finish-turning of hardened steel", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 57: 541–553 (2011).
74. Baldissera, P., and Delprete, C., "Deep cryogenic treatment of AISI 302 stainless steel: part ii – fatigue and corrosion", *Materials and Design*, 31: 4731–4737 (2010).
75. Darwin, J. D., Lal, D. M., and Nagarajan, G., "Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 195: 241–247 (2008).
76. Baldissera, P., and Delprete, C., "Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18nicrmo5 carburized steel", *Materials and Design*, 30: 1435-1440 (2009).
77. Defu, L., and Shen, L., "Effect of cryogenic and QPQ compound treatment on the microstructures and performance of high speed steel", *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 25: 1-6 (2012).
78. Xuan, F. Z., Huang, X., and Tu, S. T., "Comparisons of 30cr2ni4mov rotor steel with different treatments on corrosion resistance in high temperature water", *Materials and Design*, 29: 1533–1539 (2008).
79. Silva, F. J., Franco, S. D., Machado, A. R., Ezugwu, E. O., and Souza, J. A. M., "Performance of cryogenically treated HSS tools", *Wear*, 261: 674–685 (2006).
80. Seah, K. H. W., Rahman, M., and Yong, K. H., "Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts", *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 217 (B): 29-43 (2003).
81. Yong, A. Y. L., Seah, K. H. W., and Rahman, M., "Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 32: 638-643 (2007).
82. Thamizhmanii, S., Nagib, M., and Sulaiman, H., "Performance of deep cryogenically treated and non-treated PVD inserts in milling", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 49 (2): 460-466 (2011).
83. Thornton, R., Slatter, T., and Lewis, R., "Effects of deep cryogenic treatment on the wear development of H13A tungsten carbide inserts when machining AISI 1045 steel", *Prod. Eng. Res. Devel.*, 8: 355–364 (2014).
84. Ramji, B. R., Murthy, H. N. N., Krishna, M., and Raghu, M. J., "Performance study of cryogenically treated HSS drills in drilling gray cast iron using orthogonal array technique", *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 2 (5): 487-491 (2010).

85. Vimal, A. J., Bensely, A., Lal, D. M., and Srinivasan, K., “Deep cryogenic treatment improves wear resistance of En 31 steel”, *Materials and Manufacturing Processes*, 23 (4): 369-376 (2008).
86. Gogte, C. L., Iyer, K. M., Paretkar, R. K., and Peshwe, D. R., “Deep subzero processing of metals and alloys: evolution of microstructure of AISI T42 tool steel”, *Materials and Manufacturing Processes*, 24: 7-8, 718-722 (2009).
87. N. B. Dhokey, and Nirbhavne S., “Dry sliding wear of cryo treated multiple tempered D-3 tool steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 1484–1490 (2009).
88. Bensely, A., Venkatesh, S., Lal, D. M, Nagarajan, G., Rajadurai, A., and Junik, K., “Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized En 353 steel”, *Materials Science and Engineering*, 479: 229–235 (2008).
89. Liu, H., Wang, J., Yang, H., Shen, B., Gao, S., and Huang, S., “Effect of cryogenic treatment on property of 14Cr2Mn2V high chromium cast iron subjected to subcritical treatment”, *Journal of iron and steel research, international*, 13 (6): 43-48 (2006).
90. Bensely, A., Senthilkumar, D., Lal, D. M., Nagarajan, G., and Rajadurai, A., “Effect of cryogenic treatment on tensile behavior of case carburized steel-815M17”, *Materials Characterization*, 58: 485–491 (2007).
91. Zhirafar, S., Rezaeian, A., and Pugha, M., “Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 298–303 (2007).
92. Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G., and Stiasny, K. H., “Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 350- 355 (2001).
93. Preciado, M., Bravo, P. M., and Alegre, J. M., “Effect of low temperature tempering prior cryogenic treatment on carburized steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 176: 41–44 (2006).
94. Bensely, A., Prabhakaran, A., Lal D. M, and Nagarajan, G., “Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment”, *Cryogenics*, 45: 747–754 (2006).
95. Akhbarizadeh, A., Shafyei, A., and Golozar, M. A., “Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel”, *Materials and Design*, 30: 3259–3264 (2009).
96. Wang, J., Xiong, J., Fan, H., Yang, H. S., Liu, H. H., and Shen, B. L., “Effects of high temperature and cryogenic treatment on the microstructure and abrasion

- resistance of a high chromium cast iron” *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 3236–3240 (2009).
97. Bensely, A., Shyamala, L., Harish, S., Lal, D. M., Nagarajan, G., Junik, K., and Rajadurai, A., “Fatigue behaviour and fracture mechanism of cryogenically treated En 353 steel”, *Materials and Design*, 30: 2955–2962 (2009).
  98. Baldissera, P., “Fatigue scatter reduction through deep cryogenic treatment on the 18nicrmo5 carburized steel”, *Materials and Design*, 30: 3636–3642 (2009).
  99. Leskovsek, V., Kalin, M., and Vizintin, J., “Influence of deep-cryogenic treatment on wear resistance of vacuum heat-treated HSS”, *Vacuum*, 80: 507–518 (2006).
  100. Senthilkumar, D., and Rajendran, I., “Influence of shallow and deep cryogenic treatment on tribological behavior of En 19 steel”, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 18 (9): 53-59 (2011).
  101. Harish, S., Bensely, A., Lal, D. M., Rajadurai, A., and Lenkey, G.B., “Microstructural Study Of Cryogenically Treated En 31 Bearing Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 3351–3357 (2009).
  102. Huang, J. Y., Zhu, Y. T., Liao, X. Z., Beyerlein, I. J., Bourke, M. A., and Mitchell, T. E., “Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel”, *Materials Science and Engineering*, 339: 241-244 (2003).
  103. Surberg, C. H., Stratton, P., and Lingenhole, K., “The effect of some heat treatment parameters on the dimensional stability of AISI D2”, *Cryogenics*, 48: 42–47 (2008).
  104. Zurecki, Z., Ghosh, R., and Frey, J. H. “Finish- turning of hardened powder-metallurgy steel using cryogenic cooling”, *PM2TEC* (2003).
  105. Fredj, N. B., Sidhom, H., and Braham, C., “Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI 304 using cryogenic cooling”, *Surface & Coatings Technology*, 200: 4846-4860 (2006).
  106. Wang, Z. Y., Rajurkar, K. P., Fan, J., Lei, S., Shin, Y. C., and Petrescu, G., “Hybrid machining of inconel 718”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 1391–1396 (2003).
  107. Khan, A. A., and Ahmed, M. I., “Improving tool life using cryogenic cooling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 196: 149–154 (2008).
  108. Stanford, M., Lister, P. M., Morgan, C., and Kibble, K. A., “Investigation into the use of gaseous and liquid nitrogen as a cutting fluid when turning BS 970-80A15 (En32b) plain carbon steel using wc-co uncoated tooling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 961–972 (2009).

109. Kumar, K. V. B. S. K., and Choudhury, S. K., “Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments”, *Journal of Materials Processing Technology*, 203: 95–101 (2008).
110. Hong, S. Y., Markus, I., and Jeong, W., “New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41: 2245–2260 (2001).
111. Venugopal, K. A., Paul, S., and Chattopadhyay, A. B., “Tool wear in cryogenic turning of Ti-6Al-4V alloy”, *Cryogenics*, 47: 12-18 (2007).
112. Dhar, N. R., Islam, S., Kamruzzaman, M., and Paul, S., “Wear behavior of uncoated carbide inserts under dry, wet and cryogenic cooling conditions in turning C-60 steel”, *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, 2: 146-152 (2006).
113. İnternet: Haynes International Inc., “Hastelloy C22 Alloys”, <http://www.haynesintl.com/HASTELLOYC22Alloy/C22TechInfo.htm> (2014).
114. İnternet: Sandvik, A.Ş., “Sandvik Cutting Tools”, [www.sandvik.com](http://www.sandvik.com) (2014)
115. Altın, A., Gökkaya, H., ve Nalbant, M., “İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımın işlenebilirliğine etkisi”, *J. Fac. Eng. Arch.*, 21 (3): 581-586 (2006).
116. İnternet: Seco, “Catalog”, [www.seco.com](http://www.seco.com) (2014)
117. İnternet: Sandvik A.Ş., “Akkor Catalog”, [www.sandvik.com](http://www.sandvik.com) (2014)
118. İnternet: ISCAR “Cutting Tools Catalog”, [www.iscar.com](http://www.iscar.com) (2014).
119. Taşlıyan, A., Acarer, M., Şeker, U., Gökkaya, H., ve Demir, B., “Inconel 718 süper alaşımının işlenmesinde kesme parameterelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 22 (1): 1-5 (2007).
120. Gökkaya, H., “Takım-talaş ara yüzey sıcaklığının ısı çift yöntemiyle ölçülmesi ve kesici takım ile takım tutucu üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlarla incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 30-85 (2004).
121. Sugihara, T., and Enomoto, T., “Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces”, *Precision Engineering*, 37: 888–896 (2013).
122. Çakır, M. C, “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Vipaş*, 16: 31-305 (1999).



123. Oyman, E., Aslantaş, K., ve Pazarkaya, İ., “Ortogonal kesme işleminde talaş morfolojisi ve kayma bandını etkileyen parametrelerin araştırılması”, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 10 (2): 59-71 (2013).
124. Gökkaya, H., “AA5052 alaşımının işlenmesinde işleme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Journal of engineering sciences*, 12: 295-301 (2006).
125. Nalbant, M., Altın, A., and Gökkaya, H., “The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base inconel 718 super alloys”, *Materials and Design*, 28: 1334–1338 (2007).
126. Akıncıoğlu, G., “Derin kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür matkap kullanılarak AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı parametreler ile delinebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 50-64 (2012).
127. Nalbant, M., Gökkaya, H., Toktaş, İ., and Sur, G., “The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD- and CVD-Coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25: 211–223 (2009).
128. Gökkaya, H., and Nalbant, M., “The effects of cutting tool geometry and processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel”, *Materials and Design*, 28: 717–721 (2007).
129. Nalbant, M., Gökkaya, H., and Sur G., “Application of Taguchi Method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning”, *Materials & Design*, 28: 1379–1385 (2007).
130. Sanathanam, A. T, “Kennametal Inc., Cemented carbides”, ASM Metal Hand Book, *Metallography of Cemented Carbides*, 9: 1066–1077 (2004).
131. Gill, S. S., Singh, J., Singh, H., and Singh, R., “Investigation on wear behavior of cryogenically treated tialn coated tungsten carbide inserts in turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51: 25–33 (2011).
132. Ramji, B. R., Murthy, H. N. N., and Krishna, M., “Analysis of forces, roughness, wear and temperature in turning cast iron using cryotreated carbide inserts”, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2 (7): 2521-2529 (2010).

## ÖZGEÇMİŞ

Sıtkı AKINCIOĞLU , (d. 08 Şubat 1981, Dört Yol/ HATAY), Öğr. Gör. / Düzce Üniversitesi;

İlköğrenimini Hatay'da Kenan Evren ilkokulunda, ortaöğrenimini Adana'da Gazi İlköğretim okulunda bitiren Akıncioğlu, Ceyhan Teknik Lisesinin Makine bölümünde aldığı eğitimin ardından, 2005 yılında Gazi Üniversitesi Makine Resim ve Konstrüksiyon öğretmenliği Bölümü'nde lisansını tamamladı. 2005 ile 2008 yılları arasında Ankara'da uluslararası baraj projeleri çizen özel bir şirkette çalıştı. 2008 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini Gazi Üniversitesi, Makine Eğitiminde 2011 yılında tamamladı. Şu an Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Makine Resim ve Konstrüksiyon Programında Öğretim Görevlisi (2008- ..) olarak çalışmaktadır. Düzce Üniversitesi'nde çalıştığı yıllarda çeşitli idari görevlerde bulunmuştur; Yüksekokul Sekreter Vekili, Gümüşova MYO/Düzce Üniversitesi, (2008- 2009/4 ay), Yüksekokul Müdür Yardımcısı, (2009-...), Makine Resim ve Kons. Program Koordinatörlüğü ( 2009-...). Evli olan AKINCIOĞLU bir kız ve bir erkek çocuk sahibidir.