



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE TALAŞ
MORFOLOJİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Beytullah ABAK

**Aralık-2024
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE TALAŞ
MORFOLOJİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Beytullah ABIK

Danışman
Doç. Dr. Şehmus BADAY

Diğer Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Oktay ADIYAMAN

Doç. Dr. Fikret SÖNMEZ

Aralık 2024
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Beytullah ABIK tarafından hazırlanan “AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Aşınması ve Talaş Morfolojisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 16/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Oktay ADIYAMAN

.....

Danışman

Doç. Dr. Şehmus BADAY

.....

Üye

Doç. Dr. Fikret SÖNMEZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Beytullah ABIK

Tarih: 16.12.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE TALAŞ MORFOLOJİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Beytullah ABAK

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanı: Doç. Dr. Şehmus BADAY

2024, 61 Sayfa

Bu deneysel tez çalışmasında, AISI 304 paslanmaz çeliğinin kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) ve kesici takım ısıtma işlem türü (kriyojenik ısıtma işlem) şartlarına bağlı olarak Taguchi deney tasarımı dizilimine göre tornalama deneyleri yapılmıştır. Kesme parametreleri; 80 - 100 ve 120 m/dk kesme hızı, 0,15-0,20 ve 0,25 mm/dev ilerleme ve 1- 1,5 ve 2 mm talaş derinliği olarak seçilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılan kesici takıma -196 °C derecede ısıtma işlem uygulanmıştır. Buna bağlı olarak kesici takım ısıtma işlem türü olarak kriyojenik ısıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış olarak kullanılmıştır. Tornalama deneyleri deney tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi mixed L36 ($2^1 3^3$) tasarımına göre gerçekleştirilmiştir. Burada (2^1) kesici takım ısıtma işlemi, (3^3) ise kesme parametrelerini temsil etmektedir. Taguchi deney tasarımı dizilimine göre gerçekleştirilen deneylerde iş parçasının yüzeyinden ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler iş parçasının yüzeyinin üç farklı noktasından ölçülerek ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Tornalama deneyleri sonucunda oluşan talaşlar toplanarak talaş morfolojileri karşılaştırılmıştır. Kesici takım ömrü sabit talaş hacmine göre karşılaştırılmıştır. Kesici takım ömrü deneyleri sabit talaş derinliği, kesme hızı ve ilerlemede yapılmıştır. Hem kriyojenik işlem görmüş hem de görmemiş kesici takımların aşınma şartları tezgâh kapasitesi göz önünde bulundurularak kesme hızı 100 m/dk, ilerleme 0,25 mm/dev ve talaş derinliği 2 mm olarak seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından elde edilen deney sonuçları Taguchi analizi ile değerlendirildiğinde, kriyojenik ısıtma işlem görmüş kesici takımla işlenmiş iş parçalarının yüzey pürüzlülüğü değerleri ısıtma işlem görmemiş takımla işlenmiş iş parçasınıninkine göre daha düşük çıkmıştır. Optimum yüzey pürüzlülüğü için elde edilen işleme parametreleri ise kriyojenik ısıtma işlem görmüş kesici takım, 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir. Taguchi sinyal/gürültü oranlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür. Bunu sırayla talaş derinliği, ısıtma işlem şartı ve kesme hızı takip etmiştir. Ayrıca, kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların SEM görüntüleri ve iş parçasından elde edilen talaşların morfolojisi analiz edilmiştir. Elde edilen SEM analizlerine göre kriyojenik ısıtma işlem görmüş kesici takımın aşınması herhangi bir ısıtma işlem görmemiş kesici takıma göre daha az aşındığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AISI 304, SEM analizi, Takım aşınması, Talaş morfolojisi, Taguchi tasarımı, Yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS, TOOL WEAR AND CHIP MORPHOLOGY IN TURNING AISI 304 STAINLESS STEEL

Beytullah ABIK

Batman University Graduate Education Institute

Department of Materials and Manufacturing Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Şehmus BADAY

2024, 61 Pages

In this experimental thesis study, turning experiments were carried out according to the Taguchi experimental design sequence depending on the cutting parameters (cutting speed, feed and depth of cut) and cutting tool heat treatment type (cryogenic heat treatment) conditions of AISI 304 stainless steel. Cutting parameters were selected as 80 - 100 and 120 m/min cutting speed, 0.15-0.20 and 0.25 mm/rev feed and 1- 1.5 and 2 mm depth of cut. The cutting tool used in the machining experiments was subjected to heat treatment at -196 °C degrees. Accordingly, the cutting tool was used as heat treatment type with and without cryogenic heat treatment. Turning experiments were carried out according to Taguchi mixed L36 ($2^1 3^3$) design, which is one of the experimental design methods. Here (2^1) represents the cutting tool heat treatment and (3^3) represents the cutting parameters. In the experiments carried out according to Taguchi experimental design sequence, measurements were taken from the surface of the workpiece. These measurements were calculated by measuring from three different points of the workpiece surface and taking their averages. The chips formed as a result of turning experiments were collected and chip morphologies were compared. Cutting tool life was compared according to constant chip volume. Cutting tool life experiments were carried out at constant depth of cut, cutting speed and feed. Considering the wear conditions and machine capacity of both cryogenically treated and untreated cutting tools, cutting speed was selected as 100 m/min, feed as 0.25 mm/rev and cutting depth as 2 mm. When the experimental results obtained in terms of surface roughness were evaluated with Taguchi analysis, the surface roughness values of the workpieces processed with cryogenic heat-treated cutting tools were lower than those of the workpiece processed with untreated tools. The machining parameters obtained for optimum surface roughness were obtained with the cryogenic heat treated cutting tool, 100 m/min cutting speed, 0.15 mm/rev feed and 1 mm depth of cut. According to Taguchi signal/noise ratios, it was seen that the most effective parameter on surface roughness was feed. This was followed by depth of cut, heat treatment condition and cutting speed. In addition, SEM images of cutting tools with and without cryogenic treatment and the morphology of the chips obtained from the workpiece were analyzed. According to the SEM analyzes obtained, it was seen that the wear of the cryogenic heat treated cutting tool was less than that of the cutting tool without any heat treatment.

Keywords: AISI 304, Chip morphology, SEM analysis, Surface roughness, Taguchi design, Tool wear

ÖNSÖZ

Bu deneysel tez çalışması 5 (beş) ana bölümden meydana gelmektedir. Bu bölümlerden ilkinde tezin giriş kısmını oluşturmakta ve AISI 304 paslanmaz çeliği, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, talaş morfolojisi, Taguchi deney tasarımı ve kriyojenik ısıtma işlem hakkında bilgiler verilmiş olup, tezin amacı açık bir şekilde ifade edilmiştir. İkinci bölümde ise bu tez çalışması hakkında detaylı bir literatür taraması yapılmış ve yapılan bu çalışmalar ile ilgili özet bilgilere yer verilmiştir. Daha sonra üçüncü bölümde bu tez çalışmasında kullanılan iş parçası malzemesi, yüzey pürüzlülük ölçümleri, uygulanan kriyojenik işlem şartları, SEM görüntüleme ile ilgili bilgilerin yer aldığı materyal ve yöntem bölümünde sunulmuştur. Dördüncü bölümde bu tez çalışması ile ilgili ortaya çıkan sonuçlar ortaya konmuştur. Sonuçlar deney tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi tasarımı ile analiz edilip değerlendirilmiş, SEM görüntüleri ile talaş morfolojisi ve takım aşınmaları ile sonuçlar desteklenmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile işlenmiş iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmıştır. Son olarak beşinci bölümde gerçekleştirilen bu tez çalışması ile ilgili elde edilen sonuçlar açık bir şekilde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ileriki çalışmalara yardımcı olacak bazı öneriler de bulunulmuştur.

Öğrenme süreci boyunca sağladığı destek, verdiği tavsiye ve teşvik, özellikle de sabrı ve hoşgörülü anlayışından dolayı Danışmanım Doç. Dr. Şehmus BADAY'a teşekkür eder şükranlarımı sunarım.

Yoğun çalışmalarım esnasında her zaman bana katlandığı ve gösterdiği sabır için eşime ve varlıklarıyla her zaman manevi desteklerini hissettiğim çocuklarıma ve bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Beytullah ABIK
Batman 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	3
1.1.1. AISI 304 paslanmaz çelik üzerine yapılan çalışmaların özeti	3
2.2. Kriyojenik İşlem Üzerine Yapılan Çalışmalar	9
2. GENEL BİLGİLER.....	15
2.1.Paslanmaz Çeliklere Ait Genel Çerçeve	15
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Gruplandırılması	16
2.2.1. Östenetik paslanmaz çelik	16
2.2.2. Paslanmaz çelik tipi ferritik.....	17
2.2.3. Paslanmaz çelikler tip dubleks	17
2.2.4. Paslanmaz çelikler tip martensitik.....	18
2.2.5. Çökelti sertleştirmeli paslanmaz çelikler.....	18
2.2.6.Paslanmaz çeliklerin özellikleri.....	19
2.2.7. Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği.....	19
2.3. Kriyojenik Isıl İşlem	20
2.3.1. Kriyojenik işlem koşulları	21
2.3.2. Kriyojenik işlem etkileri.....	23
2.3.3 Kriyojenik işlemin kullanım alanları.....	24

2.4. Kesici Takım Aşınmaları	25
2.4.1. Kesici takım aşınma tipleri	27
2.4.2. Isıl ve mekanik çatlaklar	29
2.5. Taguchi Deneysel Tasarım Metodu	31
2.6. Takım Ömrü	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. İş Parçası Malzemesi	37
3.2. İşleme Deneyleri	37
3.3. Taguchi Deney Tasarımı ve İşleme Parametreleri	38
3.4. Kriyojenik İşlem Uygulanması	40
3.5. İşlenmiş Yüzeylerden Ölçülen SEM Görüntüleri	40
3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	42
4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Deney Sonuçları	42
4.2. Kriyojenik İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Kesici Takımların Aşınmaların Değerlendirilmesi	49
4.3. Kriyojenik İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Kesici Takımların Talaş Morfolojileri	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
5.1. Sonuçlar	53
5.2. Öneriler	54
KAYNAKLAR	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3	Alüminyum oksit
TiO_2	Titanyum dioksit
SiC	Silisyum karbür
TiC	Titanyum karbür
Fe	Demir
Al	Alüminyum
Ti	Titanyum
Mg	Magnezyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
Co	Kobalt
Ni	Nikel
Br	Brom
C	Karbon
Ra	Ortalama Yüzey pürüzlülüğü
S/N	Sinyal/Gürültü oranı
Ff	İlerleme kuvveti

KISALTMALAR

AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
ANOVA	Varyans analiz
ASTM	Amerikan test ve malzeme kurumu
BCT	Gövde merkezli tetragonal
BUE	Built-up edge (Yığıntı talaş)
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
MQL	Minimum miktarda yağlama
NSGA-II	Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması II
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği
YSA	Yapay sinir ağları

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3. 1. İş parçası numunesine ait % kimyasal bileşimi	37
Tablo 3. 2. İş parçası numunesinin mekanik özellikleri.....	37
Tablo 3. 3. Tornalama deneyleri için işleme parametreleri ve seviyeleri	39
Tablo 4. 1. Isıl işlem şartı ve kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük ve S/N oranları değerleri	42
Tablo 4. 2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranlarına göre ANOVA tablosu	46
Tablo 4. 3. S/N oranları değerleri.....	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Kontrollü bir şekilde uygulanan kriyojenik işlemin şematik gösterimi (Akıncıoğlu ark., 2015).....	22
Şekil 2. 2. Talaş kaldırma işlemlerinde kriyojenik uygulamalarının çalışma alanları ve sınıflandırılması (Shokrani vd., 2013)	24
Şekil 2. 3. Aşınmış kesici takımın ana konumlarını ve meydana gelen aşınma tiplerini gösteren diyagram.....	27
Şekil 2. 4. Serbest yüzey aşınması.....	28
Şekil 2. 5. Krater aşınması.....	28
Şekil 2. 6. Çentik aşınması	29
Şekil 2. 7. Burun aşınması	29
Şekil 2. 8. Mekanik çatlak	30
Şekil 2. 9. Ağız birikimi oluşum.....	30
Şekil 2. 10. Kesici takım kenar çentiklenmesi.....	31
Şekil 2. 11. Talaş yüzey aşınması.....	31
Şekil 2. 12. Takım kırılması	31
Şekil tablosu ögesi bulunamadı.	
Şekil 3. 1. İş parçası numunesi	37
Şekil 3. 2. SMARC marka CAK6166B X200 model torna tezgâhı	38
Şekil 3. 3. Kesici takıma ait görüntü	38
Şekil 3. 4. Kesici uçlara uygulanan ısıt işlemlerin şematik gösterimi	40
Şekil 3. 5. SEM cihazı	41
Şekil 3. 6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve özellikleri.....	41
Şekil 4. 1. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları.....	43
Şekil 4. 2. Normal olasılık grafiği	44
Şekil 4. 3. Taguchi S/N oranlarına göre elde grafik	45
Şekil 4. 4. Artık değerlerin histogram grafiğinde gösterimi	45
Şekil 4. 5. Deney sıralamasına göre verilen artık değerler	46
Şekil 4. 6. Ana etki grafiği.....	48
Şekil 4. 7. Kesici takımların yan yüzey aşınmalarına ait SEM görüntüleri.....	50
Şekil 4. 8. Kriyojenik ısıt işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile elde edilen talaş morfolojileri	51

1. GİRİŞ

Son birkaç on yılda, paslanmaz çelik malzemelerin uygulamaları çeşitli mühendislik alanlarında kullanılmaları kayda değer bir şekilde artmıştır. Bunun sebebi paslanmaz çeliklerin iyi korozyon direnci, geniş mukavemet seviyeleri, iyi şekillendirilebilirlik ve estetik açıdan hoş görünüm kombinasyonu, paslanmaz çelikleri çok çeşitli uygulamalar için iyi bir seçim haline getirmiştir (Sharma vd., 2023; Selvaraj vd., 2014). Bu gibi üstün özelliklerinden dolayı paslanmaz çelikler birçok alanda kullanım yeri bulmuştur. Bu alanların başında da hiç şüphesiz sağlık sektörü gelmektedir. Sağlık sektörü için paslanmazlık çok önemli bir kriter olarak ortaya çıkmaktadır.

Üretim endüstrilerinde AISI 304 çeliği gibi sert malzemeleri işlemek, düşük ısı yayılımı kabiliyeti nedeniyle çok zordur. Bu tür malzemeler işlenirken, takım ucunda ısı birikir, bu da takım ucunun sıcaklığını yükseltir ve bu da takım aşınma oranını hızlandırır. Bunun ile birlikte, düşük ısı iletkenlik, yığıntı talaş (BUE) oluşum eğilimi ve yüksek deformasyon sertleştirilmesi nedeniyle işlenebilirlikleri diğer alaşımlı çeliklere kıyasla daha zordur (Sharma vd., 2023; Selvaraj vd., 2014). Aynı zamanda, paslanmaz çelikler mikro yapısında bulundurduğu alaşımlardan dolayı işlenmesi güç olan bir malzeme olarak ta adlandırılmaktadır. AISI 304 paslanmaz çelik, genel olarak geniş bir kullanım alanına olan şaftlar, bağlantı elemanları, cıvata, somun, vida, gıda ve havacılık, içecek endüstrisi, savunma sanayisi ve tıp gibi birçok endüstriyel uygulamalarda kullanımı giderek artan bir şekilde yaygınlaşan bir malzemedir (Tekaslan vd., 2008; Kaladhar vd., 2011; Kaladhar vd., 2012; Çaydaş ve Ekici, 2012; Balaji vd., 2016).

Tornalama işlemi silindirik bir iş parçasının dış çapından tek bir noktadan tornalamaya uygun kesici takımlar ile farklı malzemelerden talaş kaldırması işlemidir (Sharma vd., 2023). Bu işlem silindirik iş parçalarının şekillendirilmesi uygulamalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak imalat sanayinde yer alan üretim süreçlerinin çoğunda ilk işlem olarak yer almaktadır (Çaydaş ve Ekinci, 2012; Sohrabpoor vd., 2015). İmalat sektöründe iş parçalarının işlenmesinde uzun yıllardır önemini halen devam ettiren bir geleneksel üretim yöntemidir. Nihai iş parçası geleneksel üretim yöntemleriyle üretilirken kesme parametrelerinin doğru belirlenmesi hem kesici takım ömrü için hem de iş parçası yüzey pürüzlülüğü için oldukça önemlidir. Düzgün belirlenmeye kesme parametreleri maliyetleri ve kesici takım ömrünü ve bunun ile birlikte kötü yüzey pürüzlülüğü gibi istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir (Sert ve Çelik, 2019). Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takımın iş parçasına temas ettiği ikinci

deformasyon bölgesinde kesici takım ve talaş ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takımda aşınmaların oluşmasına sebep olur. Kesici takımın aşınması elde edilen ürünün yüzey kalitesini düşürür ve bununla birlikte işleme maliyetlerinin de artmasına neden olur (Vaijinath ve Dilip, 2016; Gönülaçar, 2018). Meydana gelen bu olumsuzlukların giderilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Doğru kesici takım seçimi kadar kesici takımlara uygulanan ısıtma işlemlerinde önem kazanmaktadır. Kriyojenik ısıtma işlemi tamamlayıcı bir ısıtma işlem türü olup kesici takımın sertliği, tokluğu ve aşınma direnci gibi özelliklerini iyileştiren sıfır altı bir işlemdir.

Kriyojenik ısıtma işlemi, konvansiyonel ısıtma işlemlere ek olarak iş parçası malzemelerine uygulanan tamamlayıcı bir ısıtma işlemidir. Sıfır altı veya soğuk işlem olarak da bilinen kriyojenik işlem, iş parçası malzemelerinin -196 °C sıcaklıklara kadar kademeli bir şekilde genellikle sabit bir soğutma hızında nitrojen veya azot gibi soğutma sıvıları ile bir fırında sıcaklık düşürülmektedir. Daha sonra eksi sıcaklıkta belirlenen kriyojenik türüne göre 1 saat ile 36 saat gibi belirlenen bir sürede bu eksi sıcaklıkta bekletilip ardından tekrar kademeli bir şekilde sabit hızda oda sıcaklığına yükseltilmesi olarak tanımlanabilir (Kıvak ve Şeker, 2015; Özbek vd., 2016). Kriyojenik ısıtma işlemi genel olarak -80 °C ile -196 °C arası sıcaklıklarda farklı türdeki iş parçalarına uygulanmaktadır. Uygulama sıcaklığına göre -80 °C ve -140 °C sıcaklıkları arası sığ kriyojenik ısıtma işlemi -140 °C ve -196 °C sıcaklıkları arasında ise derin kriyojenik ısıtma işlemi olarak adlandırılmaktadır (Akıncıoğlu vd., 2015). Bu sıfır altı işlem, uygulandığı iş parçasının istenilen özellikleri; genellikle sertliğini, tokluğunu, korozyon ve aşınma dayanımını geliştirir (Akıncıoğlu vd., 2015; Akıncıoğlu vd., 2016; Kara vd., 2020).

Tornalama işlemlerinde kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi) iş parçasının yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde doğrudan etkilidir. Belirlenen işleme şartlarında iş parçasının işlenmiş yüzeyin kalitesi, yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi açısından önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Çünkü yüzey pürüzlülüğü, sürtünme, aşınma ve iş parçasının görşelliği gibi çeşitli parametrelere doğrudan etki etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, birbiriyle etkileşim (sürtünme ya da temas) halinde çalışan sistemlerde sürtünmeyi ve dolayısıyla iş parçalarının kullanım ömrünü doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir. Bundan dolayı farklı imalat yöntemleri ile işlenerek elde edilen iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi önemli hale gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş olan iş parçalarının yüzey kalitesini tespit edilmesinde önemli kriterlerden biri olduğundan dolayı mümkün olan en hassas şekilde ölçülmesi oldukça önemlidir. İstenilen bu yüzey

kalitesini elde etmek için işleme parametrelerinin doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda kullanılan Taguchi deney tasarım yöntemi, deney sayısını mümkün olan en az sayıda gerçekleştirerek üretim maliyeti ve bunun ile birlikte işleme sürelerini azaltarak optimum şartların belirlenmesinde sıklık ile kullanılan bir deney tasarım yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır. Bu deney tasarım metodunun en önemli özelliklerinden birisi, yapılacak olan deneylerin sayısını mümkün olan en az sayıda ve işleme parametrelerinin kombinasyonlarını göz önünde bulundurarak gerçekleştirmek ve elde edilen deneysel sonuçları optimum şartlarda ve yüksek doğruluk oranlarında sunmaktır (Baday ve Ersöz, 2022-2023; Baday, vd. 2017; Gürbüz ve Baday, 2019).

Bu tez çalışmasında, oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan AISI 304 paslanmaz çeliğinin kriyojenik işlem görmüş ve görmemiş kesici takımlar ile farklı kesme parametrelerinde kuru işleme şartlarında tornalanarak yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş morfolojileri araştırılmıştır. Ayrıca optimum işleme parametrelerini ve kesici takım ısıtılma şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini belirlemek için deney tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi yöntemiyle analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun ile birlikte kriyojenik işlem görmüş ve görmemiş kesici takımlar ve talaş morfolojileri, SEM görüntüleri alınarak detaylı bir şekilde incelenmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

1.1.1. AISI 304 paslanmaz çelik üzerine yapılan çalışmaların özeti

Shukla vd. (2023), çalışmalarında, soğutma sıvısı olarak soya fasulyesi yağı kullanarak AISI 304L çeliğinin kesme kuvvetiyle birlikte yüzey pürüzlülüğünün değişen kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinden nasıl tepki verdiğini incelemişlerdir ve elde ettikleri sonuçları da optimize etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini en aza indirmek için Minitab yazılımı kullanılarak yüzey yanıt yönteminde yer alan Box-Behnken yöntemi kullanarak sonuçları optimize etmişlerdir. Soya fasulyesinin kuru işlemeyle karşılaştırıldığında kesme kuvvetinde % 7,15 ve yüzey pürüzlülüğünde ise % 9,6 bir azalma sağladığını bulmuşlardır.

Sharma vd. (2023), işlenmesi güç olan AISI 304 paslanmaz çeliğinin belirlenen işleme şartlarında ve farklı soğutma yöntemleriyle tornalanmasında elde edilen takım aşınma oranlarını araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları takım aşınma oranları yüzey yanıt yöntemi kullanarak optimize etmişlerdir.

Saatçi vd. (2023), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, üç farklı kesme hızı ve ilerleme ve kuru, bitkisel bazlı sıvı minimum miktar yağlama, nano molibden disülfür (nMoS₂) takviyeli nano fluid MQL, nano grafen (nGP) takviyeli nano fluid MQL ve nMoS₂/nGP takviyeli hibrit nano fluid MQL gibi beş farklı kesme soğutma sıvısı işleme koşulu kullanılarak AISI 310S paslanmaz çeliğin ortogonal tornalama işleminde sürdürülebilirlik değerlendirmesini araştırmışlar ve bir sürdürülebilirlik optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Sürdürülebilirlik optimizasyonu, NSGA-II (Domine Edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması II) ile çok amaçlı optimizasyon ve TOPSIS (İdeal Çözüm Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği) ile çok kriterli karar verme kullanılarak ortaya çıkan kuvveti, yüzey pürüzlülüğünü, karbon emisyonunu ve toplam işleme maliyetini en aza indirmek için yürütmüşlerdir. Sonuç olarak ortaya çıkan kuvvet, yüzey pürüzlülüğü, toplam karbon emisyonu ve toplam işleme maliyeti, kuru kesme koşuluna kıyasla nGP takviyeli nanofluid MQL kesme koşulu altında sırasıyla %56,8, %86,8, %30,4 ve %2,9 oranında önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır. Sürdürülebilirlik optimizasyonunun bir sonucu olarak, AISI 310S paslanmaz çelik malzemenin tornalanmasında yüksek kesme hızı (220 m/dak), düşük ilerleme değerleri (0,11 mm/dev ile 0,14 mm/dev arasında) ve nGP takviyeli nanofluid MQL yönteminin (N2-MQL) kullanılması optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri, kesme kuvvetleri, karbon emisyonları ve toplam işleme maliyetleri sağladığını ortaya koymuşlardır.

Kafkas vd. (2022), kuru işleme şartlarında kaplama türüne (TiAlN/Al₂O₃/TiCN) sahip üç farklı takım geometrili CVD karbür uçlar kullanılarak AISI 316L'nin yüzey bütünlüğünü değerlendirmek için Taguchi deney tasarım yöntemi kullanmışlardır. İşleme deneyleri CNC tornada tezgâhında, L18 (2¹x3³) ortogonal dizilim kullanılarak deneyleri yapmışlardır. İşleme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici takım geometrisi olarak seçmişlerdir. İşleme parametrelerinin ortalama çevresel ve eksenel yüzey kalıntı gerilmeleri, yüzey pürüzlülüğü ve pekleşme derecesi üzerindeki etkilerini belirlemek için ANOVA kullanmışlardır. İşleme parametrelerinin kalite özellikleri üzerinde farklı etkileri olduğu görülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde nispeten talaş derinliği etkili bir parametre iken diğer kalite özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını bulmuşlardır. Takım geometrisinin ortalama yüzey pürüzlülüğünü etkilemediğin, fakat sırası ile sertleşme derecesi ve çevresel ve eksenel yüzey kalıntı gerilmeleri üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Kesme hızının sırasıyla eksenel ve çevresel yüzey kalıntı gerilmeleri ve pekleşme

derecesi üzerinde daha önemli bir etkiye sahip olduğu bulmuşlardır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğunu ortaya koymuşlardır.

Liu vd. (2021), AISI 304 çeliğinin minimum miktarda soğutma yağlaması ve su ile soğutma koşulları altında işlenmesinde elde edilen yüzey kalitesini ve takım titreşimini tam faktöriyel deneysel yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Kesme hızındaki artışla titreşimler ve yüzey pürüzlülüğü azaldığını ancak kesme derinliği yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Yüzey profilinin düşük frekanslı titreşimi olukların ve dalgalanmaların oluşmasına neden olduğunu ve bu neden ile optimize edilmiş kesme parametreleri, minimum yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin elde edilebileceğini bulmuşlardır.

Gopal (2021) çalışmasında, dubleks paslanmaz çeliğinin tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmek için yüzey yanıt yöntemi ve YSA kullanmıştır. ANOVA tekniği kullanılarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde parametrelerin etkisini analiz etmek için kullanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için yüzey yanıt yöntemi ve ikinci dereceden bir matematiksel model oluşturmuştur. Kesme parametreleri açısından, kesme hızı, işleme faaliyeti üzerinde en büyük etkiye sahip parametredir. Burun yarıçapı, işleme faaliyeti üzerinde daha az etkisi olan küçük bir parametredir. En iyi olası sonuçlar için, yüzey pürüzlülüğüne yol açan kesme parametreleri, yapay sinir ağı modeli Matlab kullanılarak eğitilip ve test etmiştir. Tahmin değerleri doğrulama testleri sonuçları ile deneysel değerlerle mükemmel bir uyum içinde olduğu kanıtlanmıştır.

Verma vd. (2020) AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında elde edilen talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü değerleri tam faktöriyel tasarım yöntemi kullanarak optimize etmişlerdir. Çalışmada kullanılan kesici takım türü olarak kaplamasız karbür takımdır. Deneyler, tam faktöriyel deney tasarım yöntem kullanılarak planlanmıştır. Sonuç olarak talaş kaldırma oranı için kesme hızı ana kontrol faktörü iken, yüzey pürüzlülüğü esas olarak ilerleme oranından etkilendiğini bulmuşlardır.

Gürbüz ve Baday (2019), AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalanmasında en düşük yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerlerini elde etmek için Taguchi yöntemini kullanarak en uygun ayna ve punta basıncını tespit etmişlerdir. İşleme deneyleri ilerleme, sabit kesme hızı ve talaş derinliğinde 5 farklı punta ve ayna basıncı kullanmışlardır. İşleme deneylerini Taguchi L25 (5^2) ortogonal dizilime göre gerçekleştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerleri için en küçük en iyidir yaklaşımına göre S/N (sinyal/gürültü) oranı kullanılarak en uygun punta ve ayna basıncını belirlemişlerdir. S/N

oranlarına göre optimum yüzey pürüzlülük değerlerini veren ayna ve punta basıncı değerleri ise sırasıyla 18 bar ve 11 bar iken en düşük titreşim değerlerini veren ayna ve punta basıncı sırasıyla 18 bar ve 5 bar olarak tespit edilmişlerdir. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerinde ayna basıncının punta basıncından daha etkili olduğu ifade etmişlerdir.

Singh vd. (2018), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin PVD kaplamalı kesici takımlarla farklı işleme şartlarında işlemem performanslarını araştırmışlardır. Tornalama deneyleri kuru, ıslak ve nano akışkan MQL şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda nano akışkan MQL işleme şartlarının diğer iki işleme şartlarına göre işleme performansı bakımından daha iyi sonuçlar sergilediğini ifa etmişlerdir.

Bouزيدab vd. (2018), çalışmalarında, AISI 304 paslanmaz çeliğin kesme hızı, ilerleme ve talaş kaldırma süresinde kaplamalı karbür kesici uç kullanarak tornalanması işleminde serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda kesme süresi artmasıyla serbest yüzey aşınmasının arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca serbest yüzey aşınmasını sırasıyla kesme süresi ve daha sonra kesme hızından etkilendiğini ortaya koymuşlardır.

Kumar vd. (2018), çalışmalarında, EN 19 paslanmaz çelik malzemeyi CNC tornalama işlemi kullanılarak işlemek ve iş parçası malzemesini işlerken kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranını üzerine etkilerini araştırmışlardır. İşlemi parametreleri olarak ilerleme hızı, kesme derinliği ve mil dönme hızı ve yağlayıcı olarak belirlemişlerdir. İşleme deneylerinde, kesici takım olarak karbür uçlu kesici takım kullanmışlardır. Deneyleri, Taguchi L18 karışık tip deneysel tasarımı göre yapmışlardır. Ayrıca varyans analizi (ANOVA) yanıtlar üzerinde işlem parametrelerinin önemini bilmek için uygulamışlardır.

He vd. (2017), çalışmalarında AISI 304 paslanmaz çeliğin kuru kesme şartlarında tornalanması esnasında meydana gelen kesme sıcaklıklarını incelemişlerdir. İşleme deneylerini 75, 170, 265 m/dk kesme hızları, 0,1 - 0,2 - 0,3 mm/dev ilerleme ve 0,8 - 1,2 - 1,6 mm kesme derinliği işleme parametrelerinde tornalama deneyleri yapmışlardır. Kesici takım türü olarak kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kesme hızı ve ilerleme değerlerinin artması ile hem kaplamalı hem de kaplamasız kesici takımların kesme sıcaklıklarının arttırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca kaplamasız kesici takımların kesme sıcaklık değerlerinin kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Junaidh vd. (2018), AISI 304 paslanmaz çeliğinin dört farklı 50, 100, 150 ve 200 m/dk kesme hızı, üç farklı 0,05-0,1-0,15 mm/dev ilerleme ve sabit 0,5 mm kesme derinliği değerlerinde kaplamasız karbür takım kullanarak tornalama deneylerini gerçekleştirmişlerdir. İlerlemenin artmasına paralel olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığını, kesme hızının artması ile de yüzey pürüzlülüğün düştüğünü ifade etmişlerdir.

Acayaba ve Escalona (2015), düşük kesme hızlarında işlenmiş AISI 3016 östenitik paslanmaz çeliğin yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmek için lineer regresyon ve yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Sonuçlar, yapay sinir ağının doğrusal modelden oldukça yüksek bir farkla (%1400) daha iyi performans gösterdiğini vurgulamışlardır.

Berkani vd. (2015), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, CVD kaplamalı karbür kesici takımlar kullanarak AISI 304 paslanmaz çeliğin kuru kesme şartlarında işlenmesini araştırmışlardır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği belirlemişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili işleme parametresinin ilerleme olduğunu vurgulamışlardır. Daha sonra yüzey pürüzlülüğünü etkileyen diğer işleme parametrelerinin sırasıyla kesme derinliği ve kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir.

Nayak vd. (2014), çalışmalarında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tornalanması esnasında kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi farklı işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı ölçümleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneyleri, Taguchi L27 ortogonal tasarımının işleme parametreleri göz önünde bulundurarak yapmışlardır. İşleme parametrelerini; kesme hızı 25, 35, 45 m/dk., ilerleme $f = 0,1, 0,15, 0,2$ mm/dev. ve talaş derinliği 1, 1,25, 1,5 mm olarak seçmişlerdir. Çalışılan performans kriterlerine (kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı) dayalı önerilen işleme parametrelerinin kombinasyonun kesme hızı 45 m/dak, ilerleme 0,1 mm/dev ve talaş derinliği 1,25 mm olduğunu bulmuşlardır.

Kaladhar vd. (2013), çalışmalarında, belirlenen işleme parametrelerinde karbür kesici uçlar kullanarak AISI 304 iş parçasının tornalanması sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımların yan yüzey aşınması değerlerini araştırmışlardır. İşleme parametreleri; iki farklı kesici uç burun yarıçapı, dört farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği olacak şekilde seçmişlerdir. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınmanın 0,8 mm takım burun yarıçapı, 0,5 mm talaş derinliği, 0,15 mm/dev ilerleme ve 150 m/dk kesme hızı değerlerinde olduğunu belirtmişlerdir. Yan yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili işleme parametresinin kesme hızı olduğunu ifade

etmişlerdir. Kaladhar vd. (2011), bir diğer çalışmada, AISI 304 iş parçasının tornalamasında Taguchi tasarımını kullanarak kesme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisini analiz etmişlerdir. İşleme deneylerini PVD kaplamalı sermet kesici uç kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Taguchi analizine göre yüzey pürüzlülüğünün en az olduğu işleme şartlarının 0,4 mm burun yarıçapında, 2 mm kesme derinliği 150 m/dk kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğunu sonucuna varmışlardır.

Selvaraj vd. (2014) iki farklı nitrojen alaşımlı dubleks paslanmaz çelik sınıfının kuru işleme şartlarında kesme parametrelerine bağlı olarak tornalamasını ve elde etmiş oldukları sonuçları Taguchi yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Tornalama işlemleri TiC ve TiCN kaplamalı karbür kesici takım uçlarıyla gerçekleştirmişlerdir. Tornalama deneylerinde, üç farklı kesme hızı (80, 100 ve 120 m/dk), üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,08 ve 0,12 mm/dev) ve sabit bir kesme derinliğinde (0,5 mm) kullanmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve takım aşınması üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetini etkileyen daha önemli parametre olduğunu ortaya koymuştur. Kesme hızı, takım aşınmasını etkileyen daha önemli parametre olarak belirlenmişlerdir.

Selvaraj ve Chandramohan (2010), kuru işleme şartlarında, iki farklı kaplamalı tungsten karbür kesici uç kullanarak AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlardır. Tornalama deneylerini üç farklı kesme hızı, talaş derinliği ve ilerlemede gerçekleştirmişlerdir. Elde etmiş oldukları bulgular doğrultusunda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme parametrelerinin etkisinin sırasıyla ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği olduğunu bulmuşlardır.

Mahdavinejad ve Saeedy (2011), çalışmalarında kuru ve ıslak işleme şartlarında, AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işleme parametrelerine bağlı olarak tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ve kesici takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları bulgulara göre yan yüzey aşınması üzerinde kesme hızının kayda değer bir etkiye sahip olduğunu ve bu durumun iş parçası malzemesini düşük ısı iletkenliğinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Genel olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde ilerlemenin etkili olduğu vurgulamışlardır. İlerlemeyi azaltıp ve kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin düşeceğini belirtmişlerdir.

Xavior ve Adithan (2009), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, karbür takımla AISI 304'ün tornalanması sırasında kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Ayrıca, tornalama işlemi sırasında takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada hindistan cevizi yağının etkisini belirlemek için bir girişimde bulunulmuşlardır. Hindistan cevizi yağının performansı, emülsiyon ve saf kesme yağı (suyla karışmayan) olmak üzere diğer iki kesme sıvısıyla da karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, genel olarak hindistan cevizi yağının takım aşınmasını azaltmada ve yüzey kalitesini iyileştirmede diğer iki kesme sıvısından daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

2.2. Kriyojenik İşlem Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kurşuncu (2020), çalışmasında kuru kesme şartlar altında Inconel 718 malzemesini kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımlar kullanarak frezelemesini araştırmıştır. Kesici takımlara -145 °C'de 24 saat sıg kriyojenik işlem ve -196 °C'de 36 saat derin kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Elde etmiş olduğu deneysel sonuçlara göre kriyojenik ısıl işlemin kesici takımların sertlik değerlerinde kayda değer bir oranda artırdığını ve en yüksek sertlik değerinin -145°C'de 24 saat kriyojenik işlem tabii tutulmuş takımlarda meydana geldiğini bulmuştur. Kriyojenik ısıl işlemin yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme kuvveti değerleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir.

Patil vd. (2020), kuru işleme şartlarında AISI 304 iş parçası malzemesinin işlenmesinde kriyojenik ısıl işlem uygulanmış kesici takımların performansını araştırmışlardır. Kesici takımlara -196 °C'de 24 saat derin kriyojenik ısıl işleme tabii tutulmuştur. Sonuç olarak derin kriyojenik işleme tabii tutulan kesici takımların yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ve aşınma direncinde daha iyi bir sonuç elde edildiği belirtmişlerdir.

Varghese vd. (2019), -196 °C'de üç farklı tavlama süresi (18, 24 ve 32 saat) olmak üzere derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış karbür uçlar aşınma türlerini karşılaştırmışlardır. Yazarlar yapılan deney sonuçlarına göre derin kriyojenik ısıl işlemin kesme kuvvetlerini düşürdüğünü, yüzey kalitesini arttırdığını ve kesici takımın ömrünü iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Kriyojenik ısıl işlemin kesici takım aşınma direncini artırarak yığıntı talaş oluşumunu ve krater aşınmasını azaldığını bulmuşlardır.

Kumar vd. (2018), derin kriyojenik işleme tabii tutulan takım çeliğinin (AISI M2) aşınma davranışına etkilerini araştırmışlardır. Takım çeliğini, -195 °C'de üç farklı 12, 24 ve 36 saat bekletme süresinde derin kriyojenik ısıl işleme tabii tutulmuş ve hemen ardından 150 °C de 2 saatlik bir temperlemeye tabii tutmuşlardır. Yazarlar, bekleme süresinin aşınma

davranışı üzerinde etkili olduğu ve en ideal sürenin 24 saat bekleme süresinde meydana geldiğini bulmuşlardır. Elde etiklere bulgulara göre uygulanan derin kriyojenik ısıt işlemin takım çeliğinin aşınma direncini iyileştirdiğini ve ideal ısıt işlem bekleme süresinin 24 saat olduğunu ortaya koymuşlardır.

Padmakumar vd. (2017), kriyojenik ısıt işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların (sementit karbür) işleme performansını incelemişlerdir. Isıt işlem şartı olarak -193 °C’de derin kriyojenik işleme uygulanmıştır. Elde etikleri sonuçlara göre kriyojenik ısıt işleme tabii tutulan kesici takımların yan yüzey ve burun aşınmalarının daha geç aşındığını görmüşlerdir. Ayrıca derin kriyojenik ısıt işlemin kesici takımların sertlik değerlerinde bir artış sağladığını ifade etmişlerdir.

Akıncıoğlu vd. (2017), karbür matkaplarla soğuk iş takım çeliğinin (AISI D2) delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğüne (Ra) ve ilerleme kuvvetine (Ff) etki eden kesme parametrelerini analiz etmişlerdir. Kesici takımlara kriyojenik ısıt işleme tabii tutmuşlardır. Deney düzeneğini belirlenmesinde Taguchi deney tasarım yöntemini kullanmışlardır. Yazarlar, kriyojenik ısıt işleme tabii tutulan matkapların aşınma dirençlerini arttırdığını ve bundan dolayı kriyojenik işleme görmemiş matkaplara göre daha düşük ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri elde etiklerini ifa etmişlerdir.

Özbek vd. (2016a), AISI 316 paslanmaz çeliğin kriyojenik ısıt işleme tabii tutulan tungsten karbür kesici takımlar kullanarak tornalanmasında kesici takım aşınmasını araştırmışlardır. Kesici takımlara, derin kriyojenik işleme şartı olarak -145 °C’de 24 saat bekleme süresince ve hemen ardından 200 °C de 2 saat temperleyerek uygulamışlardır. İşleme deneyleri kuru kesme şartlarında, 100, 120, 140 ve 160 m/dk kesme hızı ve 0,15 – 0,3 ve 0.45 mm/dev ilerleme işleme parametrelerini kullanarak yapmışlardır. Yazarlar elde etmiş oldukları deneysel sonuçlara göre derin kriyojenik işlemin, kesici takımların aşınma direncinde ve sertlik değerinde önemli derecede bir iyileşmeye olduğunu gözlemlemişlerdir. Daha önceki kapsamlı çalışmalarında Özbek vd. (2014), beş farklı bekletme sürelerinin derin kriyojenik ısıt işleme tabii tutulan kesici takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İş parçası malzemesi olarak AISI 316 paslanmaz çeliğini kullanmışlardır. Tornalama işlemlerini kuru işleme şartlarında 0,3 mm ilerleme, 2,4 mm talaş derinliği ve dört farklı 100, 120, 140, 160 m/dk kesme hızı işleme parametrelerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneyler için kesici takımlara -145 °C’de fırında bekletme süreleri olarak 12, 24, 36, 48 ve 60 saat kriyojenik ısıt işlem uygulamışlardır. Kriyojenik işlemin kesici takımların aşınma direncini, sertlik değerlerini ve termal iletkenliğini arttırdığını belirtmişlerdir. Sonuçları değerlendirmek için kesici takımların işleme performansların karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kriyojenik işleme görmüş takımların daha iyi bir işleme performansı sunduğunu

vurgulanmışlardır. Kriyojenik ısıtma işlemi bekletme süresi açısından 24 saat bekleme süresindeki kesici takımın en iyi aşınma direncini gösterdiğini bulmuşlardır.

Akıncıoğlu vd. (2016), çalışmalarında, iki farklı kriyojenik ısıtma işlemi (sığ ve derin) tabii tutulan kesici takımlar kullanılarak Hastelloy C22 iş parçasının tornalamasını araştırmışlardır. Sığ ve derin ısıtma işlemi uygulanan kesici takımların yüzey pürüzlülüğü değerlerini ve aşınması incelemiştir ve elde etmiş oldukları sonuçları Taguchi yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. İşleme parametreleri olarak sabit 1 mm kesme derinliği, 30, 60 ve 90 m/dk kesme hızı ve 0,1 - 0,2 - 0,3 mm/dev ilerleme değerlerini seçmişlerdir. Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerinin düştüğünü ifade etmişlerdir. Yazarlar, yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde en önemli işleme parametresinin ilerleme olduğunu belirtmişlerdir. Kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımlarda aşınma direncinin arttığını ortaya koymuşlardır.

Özbek vd. (2016b), AISI 304 östenetik paslanmaz çeliğini kaplamasız kesici takımlar kullanarak tornalaması ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesici takımlara uygulanan derin kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımın mikro yapısında bulunan karbür miktarının arttırdığını ve homojen dağılmasından dolayı kesici takımın sertlik değerlerinin ve aşınma direncinin arttırdığını belirtmişlerdir. Kriyojenik işlemin kesici uçların sertlik değerlerini %6 arttığını gözlemlemiştir. Genel olarak hem ısıtma işlemi uygulanmış hem de ısıtma işlemi uygulanmamış kesici takımların aşınma tiplerinin yan yüzey ve krater aşınması olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca uygulanan kriyojenik ısıtma işlemin, kesici takımın aşınma direncini arttırdığını da vurgulamışlardır.

Kıvak ve Şeker (2015), çalışmalarında, alaşımlı iş parçasını kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış HSS matkapları ile delinmesinde meydana gelen iş parçasının delinmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerlerini ve kesici takımlarda meydana gelen aşınmayı araştırmışlardır. Delme işlemlerini, üç farklı kesici takım ısıtma işlemi türüne göre yapmışlardır. Bunlar kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış, kriyojenik işlemin sonrası temperlenmiş ve işlemin uygulanmamış kesici takımlardır. Kesici takım kaplama türü TiAlN/TiN kaplamalı HSS matkapları kullanmışlardır. Soğutma sıvı şartları ise kuru ve ıslak işleme şartlarını tercih etmişlerdir. Deleme işlemlerini, kesme hızı 6, 8, 10, 12 m/dk, ilerleme 0,06 mm/dev ve işleme boyu olarak 15 mm işleme parametrelerinde gerçekleştirmişlerdir. Kriyojenik ısıtma işlemin kullanılan kesici takımın aşınma direncini arttırdığını ve bunun kesici takım ömründe iyileşme sağladığını ortaya koymuşlardır. Kesici takımın sertlik ve aşınma direncinin artışı, kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımın mikroyapısındaki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesiyle ifade etmişlerdir.

Park vd. (2015), kriyojenik işlem uygulanmış, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanarak MQL, nano-MQL kuru ve ıslak kesme şartlarında Inconel 718 malzemesinin frezelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Elde etmiş oldukları deney sonuçlarına göre en az aşınmanın kriyojenik ısıl işlem uygulanmış kesici takımında meydana geldiğini, tüm kesme koşullarında kaplanmamış karbür takımında krater aşınması meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Strano vd. (2015), PVD kaplamalı ve kriyojenik ısıl işlem uygulanmış kesici takımlar kullanarak Ti-6Al-4V alaşım malzemesinin tornalanmasında kesici takım aşınma dirençlerini araştırmışlardır. Kesici takım ömrü, kriyojenik ısıl işlemin kesici takımın sertliğinin arttırmasından dolayı arttığını vurgulamışlardır.

Mavi ve Korkut (2014), çalışmalarında, 1 mm sabit talaş derinliği olmak üzere dört farklı 30, 45, 60, 75 m/dk. kesme hızı ve üç farklı 0,20- 0,25 ve 0,30 mm/dev ilerleme işleme parametrelerini seçmişlerdir. İşleme deneylerinde kullanılan sementit karbür kesici takıma, -145 °C de 24 saat bekleme süresinde derin kriyojenik ısıl işleme tabii tutmuşlardır. Kesici takımlara kriyojenik ısıl işlem uygulamışlardır. Ve bu kesiciler kullanarak Ti-6Al-4V iş parçası malzemesinin işlenmesinde kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini araştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda kriyojenik ısıl işlem görmüş takımlar kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takımın aşınması bakımından normal kesici takımlara göre daha üstün bir performans sergilediğini tespit etmişlerdir.

Güneş vd. (2014), deneylerde AISI 52100 rulman çeliğini kullanmışlardır. Bu iş parçasına -145 °C’de beş farklı bekletme süresinde 12, 24, 36, 48 ve 60 saat derin kriyojenik işleme tabii tutmuşlardır. Isıl işlemin etkisini görmek için kesici takımın aşınma direncini, sertlik ve mikroyapısı incelemişlerdir. Isıl işlem fırınında bekletme süresinin iş parçası malzemesinin yapısında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kriyojenik işlemin kesici takımın sertlik değerlerini arttırarak sürtünme katsayısını düşürdüğünü vurgulamışlardır. Yazarlar, farklı kriyojenik bekletme sürelerini karşılaştırmış en düşük aşınmanın 36 saat bekletme süresinde olduğunu bulmuşlardır. Buna ilave olarak kriyojenik ısıl işlemin malzemenin mikro yapısında yer alan karbürlerin daha homojen bir dağılım gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Çiçek vd. (2013), yapmış oldukları çalışmada, AISI H13 sıcak iş takım çeliğine kriyojenik ısıl işleme tabii tutmuşlardır. Daha sonra bu iş parçasını seramik uçlar kullanarak işlenmesi hakkında bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde kullanılacak iş parçası numunesine uygulanan ısıl işlemi üç kategoriye göre ayırmışlardır. Bunlar; kriyojenik işlem, kriyojenik işlem görmüş hemen ardından temperlenmiş ve geleneksel ısıl işlem gören iş parçası numuneleridir. İşleme deneylerini dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit

talaş derinliği olacak şekilde belirlemişlerdir. Sonuç olarak tüm iş parçalarında kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığını bulmuşlardır.

Akıncıoğlu vd. (2013), çalışmalarında kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımlar üzerindeki etkisini ve performansını araştırmışlardır. Kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımın termal iletkenliğini arttırdığı ve bundan dolayı kesici takımın aşınma direncinin artmasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Uygulanan kriyojenik ısıtma işlemin yüzey kalitesinin arttığını ve de kesme kuvvetlerinde de bir düşüş sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca yazarlar, uygulanan ısıtma işlemin takımların mekanik özelliklerini iyileştirerek kesici takımın ömrünü arttırdığını belirtmişlerdir.

Çiçek vd. (2012), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliklerin delinmesi işleminde kriyojenik ısıtma işlem görmüş M35 HSS matkaplarının performanslarını araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlara göre kriyojenik ısıtma işlemin kullanılan kesici takım ömründe bir iyileşmeye sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Uygulanan kriyojenik ısıtma işlemin uygulanmış takımla göre yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması bakımından daha iyi bir sonuç verdiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, AISI 304 östenitik iş parçasının AISI 316 östenitik iş parçasına göre işlenebilirliğinin daha güç olduğunu ifade etmişlerdir.

Gill ve ark. (2011), çalışmalarında derin ve sığ kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımların performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. İşleme deneylerini 130, 150 ve 180 m/dk. kesme hızlarında TiAlN kaplı tungsten karbür uçlar kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Hem derin hem de sığ kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımların aşınmaya karşı direncini artırarak aynı zamanda kesici takımın ömrünü artırdığını ifade etmişlerdir. İşleme performansı açısından sığ işlem uygulanmış kriyojenik işlemin hem derin hem de her hangi bir işlem uygulanmamış kesici takımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Sığ kriyojenik ısıtma işlemin her hangi bir işlem görmemiş kesici takım ömrüne kıyasla %25,5 oranında bir iyileşme gösterdiğini ifade etmişlerdir. İşleme deneylerinde, yüksek kesme hızlarında derin kriyojenik ısıtma işlemin, bunun aksine sığ kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımın efektif takım ömrünü arttırdığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda sığ kriyojenik ısıtma işleme tabii tutulan kesici takımlar kullanılarak iş parçasının tornalaması sırasında daha az titreşim meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Koneshlou vd. (2011), kriyojenik ısıtma işlem uygulanmış sıcak iş takım çeliğinin (AISI H13) mekanik özellikleri ve mikro yapısındaki değişimleri araştırmışlardır. Araştırmacılar, derin kriyojenik ısıtma işlemin iş parçasının içyapısında daha düzgün dağılım sergileyen, çok ince (fine) karbür parçacıklarının çökmesine neden olduğu ve bu sıcak iş takım çeliğinin mekanik özelliklerini önemli oranda iyileştirdiklerini ifade etmişlerdir.

Gill vd. (2012), yüksek hız çeliği olan AISI M2 iş parçasına -196 °C’de derin ve -110 °C’de sıg kriyojenik ısıt işleme tabii tutulması ardından iş parçası malzemenin aşınma davranışını ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Kriyojenik ısıt işleme tabii tutulan AISI M2 iş parçasının sertlik değerinde %7,76 değerinde bir artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Sıg kriyojenik ısıt işleme tabii tutulan iş parçası numunelerine ait aşınma dirençleri derin kriyojenik ısıt işlem görmüş iş parçalarına oranı daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Yong vd. (2006), orta karbonlu bir çeliğin ortogonal tornalanmasında, kriyojenik ısıt işlem uygulanmış tungsten karbür kesici takımlar ve kriyojenik ısıt işlem uygulanmamış kesici takımlarla işleme performanslarını araştırmışlardır. Kesme deneylerini, sabit ilerleme ve talaş derinliği ve iki farklı kesme hızı 150 ile 300 m/dk arasında seçmişlerdir. Kesme deneyi sonuçları göz önüne alındığında, kriyojenik ısıt işlem uygulanan kesici takımların daha az serbest yüzey aşınmasına uğradığını bulmuşlardır. Fakat kesme hızının 300 m/dk kesme hızına varmadığında tam tersi olduğunu gözlenmemişlerdir. Yazarlar, kriyojenik ısıt işlem görmüş kesici takımların aralıksız bir şekilde kesme işlemlerinde yüksek sıcaklıklara maruz kalmaları durumunda üstün özelliklerini kaybedebileceğini vurgulamışlardır.

Silva vd. (2006), kriyojenik ısıt işlem uygulanmış HSS takımların takım ömrünü % 92 den % 817’ye kadar bir artışla daha verimli olduğunu ifade etmişlerdir. Genel olarak gerçekleştirmiş oldukları deneyler sonuçlara göre kriyojenik ısıt işlemin kesici takımlar üzerinde pozitif etkiler sağladığını belirtmişlerdir.

Seah vd. (2003), tungsten karbür kesici uçlara kriyojenik ısıt işleme tabii tutmuşlardır. Yaptıkları ısıt işlem uygulaması sonucunda, yüksek kesme hızları şartlarında kriyojenik işlemlili tungsten karbür takımların genel olarak kriyojenik ısıt işlemsiz kesici takımlara göre aşınmaya karşı daha iyi bir direnç gösterdiğini ve daha iyi performans sergilediklerini ifade etmişlerdir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Paslanmaz Çeliklere Ait Genel Çerçeve

Krom, demirin ısı direncini ve korozyon direncini artırma yeteneğiyle ünlüdür. Paslanmaz çelik gibi demir alaşımlarında bir bileşendir ve alaşım bileşiminin en az %11,2'sini oluşturur. Çeşitli çelik bileşimleri karbon (%0,03 ila %1,1 arasında), azot, kükürt, alüminyum, silisyum, bakır, nikel, selenyum, niyobyum ve molibden gibi elementleri içerir. Örneğin 340 serisi gibi belirli paslanmaz çelik türleri genellikle AISI üç basamaklı tanımlarıyla tanımlanır. Paslanmaz çelikteki kromun varlığı alaşıma yaşlanmaya dayanıklı özellikler kazandırır. Pasif bir tabaka görevi görerek alttaki malzemeyi korozyondan korur ve oksijen olmadığında kendi kendini onarmayı kolaylaştırır.

Aşağıda listelenen teknikler korozyon direncini daha da artırmak için kullanılabilir:

- 1) En az %8 nikel ekleyin ve krom konsantrasyonunu en az %11,2'ye çıkarın.
- 2) Molibden ekleyin.
- 3) Ek olarak yapısal nitelikleri iyileştirmek ve korozyon çatlamasına karşı korumak için azot enjeksiyonu kullanılır.

Farklı uygulamalar, çeşitli krom ve molibden oranları gerektirir ve bu da çeşitli paslanmaz çelik türlerinin varlığına yol açar. Paslanmaz çelik, çeliğin mukavemetinin korozyona karşı direnç yeteneğiyle birleştiği aletler için idealdir.

Bu malzeme, lekelenmeye ve korozyona karşı olağanüstü direnci, düşük bakım ihtiyacı ve belirgin parlaklığıyla öne çıkar. Ek olarak, paslanmaz çelik neredeyse sınırsız sayıda formda bükülebilir, haddelenebilir veya şekillendirilebilir. Birçok uygulaması arasında, bu çok yönlü aletler özellikle cerrahi ekipmanlarda faydalıdır. 1950'lerde ve

1960'larda, devrim niteliğindeki bilimsel gelişmeler, geniş bir yelpazede çelik malzeme üretmeyi mümkün ve arzu edilir hale getirdi. Çeşitli tipler arasında, östenitik paslanmaz çelik popüler bir seçim olarak öne çıkar. Tanımlayıcı özellikleri, östenitik bileşimi ve yüzey merkezli kübik kristal yapısıdır. Çelik eritme işlemi sırasında nikel, manganez ve azot gibi elementlerin eklenmesi, östenitik mikro yapının çok soğuk koşullardan yumuşama noktasına kadar geniş bir sıcaklık aralığında korunmasını sağlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki düzgün mikro yapısı, mukavemetlerinin ısıl işlemle etkilenmediği anlamına gelir.

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Gruplandırılması

Paslanmaz çelikler doğal olarak tutarlı miktarda krom içerir, ancak özellikleri genellikle ek alaşım elementlerinin eklenmesiyle geliştirilir. Paslanmaz çeliklerin diğer metallerden ayıran benzersiz bir özelliği, kristal yapı olarak da bilinen mikro yapıya dayalı sınıflandırmalarıdır. Bu yapı, çeliğin tanecikleri içindeki atomların düzenlenmesini ifade eder. Genel olarak, paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde krom ve krom-nikel bileşiklerinin varlığıyla karakterize edilen iki ana türe ayrılabilir.

Sonuç olarak, mikro yapı, dubleks (austenitik-ferritik), martensitik, ferritik ve östenitik aileler dahil olmak üzere birkaç ana çökelme sertleştirme malzemesi grubu için önemli bir ayırt edici faktördür. Paslanmaz çeliklerin uzama, akma dayanımı, elastik modül ve nihai çekme dayanımı (UTS) gibi mekanik özellikleri hem alaşım kimyasından hem de mikro yapıdan etkilenir. Bu ilişki Tablo 3.1'de gösterilmiştir. İstisnai bir durum, paslanmaz çelik alaşımlarının karmaşık mikro yapısı ve kimyasal bileşiminden önemli ölçüde etkilenen 'Young modülü'dür.

2.2.1. Östenetik paslanmaz çelik

Endüstriyel olarak üretilen paslanmaz çeliğin yaklaşık %70'ini oluşturan östenitik paslanmaz çelik, paslanmaz çeliklerin en bol ve çeşitli kategorisidir. Mikro yapısı içinde yüz merkezli kübik (FCC) kristal yapıya sahip kararlı bir östenitik faz ile karakterize edilir. Diğer paslanmaz çelik türleriyle karşılaştırıldığında, östenitik varyantlar korozyon direnci, manyetik olmayan özellikler ve kaynaklanabilirlik gibi alanlarda öne çıkar. Mukavemetlerini artırmanın bir yolu soğuk metal şekillendirme işlemlerinin kullanılmasıdır. Östenitin manyetik olmayan yapısı, onu özellikle ortopedik implant malzemeleri için uygun hale getirir ve bu, MRI'nın yaygın kullanımı göz önüne alındığında istenen bir özelliktir. Ortopedik uygulamalar için önemli bir husus, malzemenin fizyolojik sıvılarda korozyona karşı mükemmel direncidir. Doğal nitelikleri nedeniyle, östenitik paslanmaz çelikler ortopedik implantlar için mükemmel bir seçimdir. Ancak, diğer türlere kıyasla çukurlaşma korozyonuna, gerilim korozyon çatlamasına (SCC) ve yarık korozyonuna daha yatkındırlar. Ek olarak, zorlu ortamlarda daha savunmasız olabilirler.

2.2.2. Paslanmaz çelik tipi ferritik

Karbon çeliklerine benzer şekilde, ferritik paslanmaz çelikler sürekli olarak gövde merkezli kübik (BCC) kristal yapısıyla karakterize edilen bir ferrit mikro yapısı gösterir. Ferritik sınıflardaki krom içeriği genellikle düşük bir seviyede, yaklaşık %0,08'de tutulur, ancak %30,0'a kadar ulaşabilir. Krom baskın bir element olsa da, birçok ferritik fazın eser miktarda nikel, molibden (yaklaşık %4'lük bir konsantrasyona kadar) veya bazen hiç içermemesi dikkat çekicidir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin aksine, birçok ferritik paslanmaz çelik sınıfı ısı ile işleme güçlendirilemez veya sertleştirilemez. Karbon çeliğine benzer manyetik özellikler gösteren ferritik sınıflar, genellikle daha az tokluğun gerekli olduğu uygulamalarda kullanılır. Ancak, ferritik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı direnç kapasitesinin sınırlı olduğunu belirtmek önemlidir. Belirli stresli koşullara ve aşındırıcı ortamlara maruz kaldıklarında özellikle stres korozyon çatlama (SCC) karşı hassastırlar. Ferritik paslanmaz çeliğin yaygın uygulamaları arasında tamponlar ve egzoz sistemleri gibi çeşitli otomotiv bileşenleri ve su ısıtıcıları gibi ev aletleri yer alır.

2.2.3. Paslanmaz çelikler tip dubleks

Dubleks paslanmaz çeliklerin (DSS) mikro yapısı, her iki fazın da paslanmaz olduğu (yani %13'ten fazla krom içeren) ferritik ve östenitik yapıların benzersiz bir çift fazlı bileşimidir. Ticari alaşımlar genellikle 40/60'a yakın bir faz oranını korur, ancak ideal olarak, östenitik ve ferritik fazların dengeli bir karışımı tercih edilir. Dubleks ferritik-östenitik çelikler, her iki türün avantajlı özelliklerini birleştirerek farklı bir alaşım oluşturur. Bu malzemeler, tamamen ferritik çeliklerden daha fazla aşınma ve yıpranma direnci sunar, ancak tamamen östenitik çeliklerin mukavemetine ulaşmazlar.

Gerilim korozyon çatlama (SCC) karşı dirençleri, ferritik çeliklerinki kadar sağlam olmasa da yine de önemlidir. Dubleks paslanmaz çelikler, manyetik özellikler ve önemli bir doğal elastik sınır ile karakterize edilir. Özellikle, mükemmel korozyon direnciyle birlikte östenitik paslanmaz çeliklerin neredeyse iki katı bir akma dayanımı sergilerler. 304 ve 316 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin aksine, karmaşık mikro yapıları onları klorür kaynaklı gerilim korozyonuna dahil olmak üzere çeşitli korozyon biçimlerine karşı oldukça dirençli hale getirir. Dubleks paslanmaz çelikler, ısı eşanjörleri,

kimyasal işleme, su filtrasyon sistemleri, deniz ortamları ve kağıt üretimi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulama bulur.

2.2.4. Paslanmaz çelikler tip martensitik

Martensitik paslanmaz çeliklerden (MSS) yapılan bileşenler olağanüstü mekanik özellikler, orta düzeyde korozyon direnci gösterir ve hem yüksek hem de düşük sıcaklık koşullarında iyi performans gösterir. Bu çelikler çok yönlüdür ve türbinler, basınç tankları, kesici takımlar ve açık deniz petrol çıkarma platformları dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde uygulamalar bulur. Bu çeliklerin özelliklerinin ısıtılma işlemle etkili bir şekilde değiştirilebilmesi dikkat çekicidir. Belirli bir martenzit türü olan martenzitik paslanmaz çelikler tipik olarak %11,5 ila %18 aralığında krom (Cr), %0,1 ila %4,2 aralığında nikel (Ni) ve %0,11 ila %1,2 aralığında karbon (C) içerir. Bu çelikler ısıya maruz kaldığında önemli özellik değişimlerine uğrar. Soğutma sırasında ferrit oluşumunu önlemek ve martenzitik bir yapıya düzgün bir dönüşüm sağlamak için, karmaşık yapıdaki martenzitik paslanmaz çelikler kapsamlı ısıtılma işlemi gerektirir. Martenzitik paslanmaz çelikler, gövde merkezli tetragonal (BCT) bir yapı oluşturan karbon ve krom alaşımından oluşur. Isıl işlemle sonra alaşımın mukavemeti karbon içeriğine bağlıdır.

2.2.5. Çökelti sertleştirmeli paslanmaz çelikler

Çökelti Sertleştirmeli (PH) paslanmaz çelikler çok yüksek çekme mukavemetlerine ulaşabilir. Bu çelikler öncelikle krom ve nikel alaşımlarından oluşur. Bu özel paslanmaz çelik türlerinin temel avantajları arasında üretim kolaylığı ve olağanüstü korozyon direnci yer alır. Ek olarak, malzemenin mukavemeti nispeten düşük bir kütle oranı karbon içeren yüksek alaşımlı yapısıyla desteklenir. Çökelti sertleştirme kristalin fazın mukavemetini daha da artırır. Diğer martenzitik tiplerle karşılaştırıldığında, PH paslanmaz çelikler üstün güçlendirme kabiliyetlerine sahiptir, ancak korozyon dirençleri östenitik çeliklerinkine benzerdir.

Başlangıçta, çökelti sertleştirmeli paslanmaz çeliklerin mikro yapısı hem östenitik hem de martenzitik fazların özelliklerini gösterebilir. Östenitik sınıflar, dönüşüm sürecinde kritik bir adım olan çökelti sertleştirmeden önce martenzitik sınıflara dönüşmek için ısıtılma işlemi tabi tutulur. Bu kasıtlı değişiklik, daha dayanıklı bir ürünle sonuçlanır ve dayanıklılığını ve kullanım ömrünü artırır. Martenzitik yapının ısıtılması, kristal kafesten

çökelen sert metaller arası bileşiklerin oluşumuna yol açar, bu çökelti sertleştirme olarak bilinen bir işlemdir. Çökelme sertleştirmeli paslanmaz çelikler havacılık ve teknoloji sektörlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu kategorideki en yaygın sınıf, 630 sınıfı olarak da bilinen 17-4 PH'dir. Referansında belirtildiği gibi, bu malzeme yaklaşık %18 krom, %5 nikel, %4,3 bakır ve %0,33 niyobyumdan oluşur.

2.2.6.Paslanmaz çeliklerin özellikleri

Paslanmaz çeliklerin birçok farklı türü bulunmaktadır ve bu türler genellikle çeşitli üstün özellikler taşır. Bu özelliklerden bazıları şunlardır:

- Yüksek korozyon direncine sahip olma
- İyi şekillendirilebilirlik esnekliğine sahip olma
- Yüksek enerji emme kapasitesinin olması
- Kolay kaynaklanabilir özelliğine sahip olma
- Yüksek ısı direnci olması
- Güçlü mekanik özelliklerinin olması
- Düşük ve yüksek sıcaklık dayanım mukavemetinin olması
- Estetik tasarım görseiliğinin olması
- Geri dönüşüm olanaklarının olması
- Düşük toplam yaşam maliyeti
- Hijyenik özellikler

2.2.7. Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği

İşlenebilirlik, kesici takım ile iş parçası malzemesi arasındaki etkileşime ve kesme parametrelerine bağlı olarak değişir. Talaş kaldırarak şekillendirme işlemleri, tornalama, frezeleme, delme, raybalama ve taşlama gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerin her biri, malzemenin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı sonuçlar doğurabilir.

2.3. Kriyojenik Isıl İşlem

Kesici takımlar, imalat sürecinde asıl hedefleri arasında minimum maliyetle yüksek yüzey kalitesi sağlamak olan önemli bir bileşendir. Bu sebepten dolayı işleme deneylerinde kullanılan kesici takımların malzemelerinin geliştirilmesi, gerek servis ömrünü gerekse de üretim verimliliğini artıran ekonomik bir faktördür (Sert ve Çelik, 2019). Çevresel unsurlar ile işleme maliyetleri göz önüne alındığında, kesici takımlarda sürekli olarak meydana gelen aşınmanın mümkün olacak şekilde en az indirgenmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu sorunu çözmek ve kesici takımını geliştirmek amacıyla yıllardır birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. İşlem esnasında çevreye verilen zararın azaltılması, kesici takımın ömrünü uzatılması ve işlem maliyetlerinin düşürülmesi kullanılacak yöntemlerin arzu edilen özellikleridir (Kurşuncu, 2020). Kesici takımların farklı tip kaplamalar ile kaplanması, MQL ve kesici takımların kriyojenik ısıtılmasının uygulanması gibi bu bağlamda kullanılan yöntemlerden bir kaçıdır (Kurşuncu vd. , 2018). Kriyojenik ısıtılma işlemi, iş parçası malzemelerine ve kesici takımlara alışılmadık derecede çok düşük sıcaklıklarda uygulanan bir ısıtılma işlemi türüdür. Bu terim, Yunanca 'soğuk' anlamına gelen "krys" kelimesinden türetilmiştir. 16. yüzyıl sonlarından itibaren, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan bu işlem, 1937 yılında kesici takımlara uygulanmış ve bu süreçlerin takım performansını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir (Akıncıoğlu vd. , 2015). Geleneksel ısıtılma işlemi tamamlayıcı bir uygulaması olan kriyojenik işlem, esasen aşırı aşınmaya maruz kalan malzemelere aşınma direncini artırmak amacıyla gerçekleştirilir (Kara vd. , 2020; Özbek vd. , 2016). Kriyojenik ısıtılma işlemi, ayrıca sıfır altı veya soğuk işlem ve kısacası kriyojenik işlem olarak da adlandırılmaktadır (Kıvak ve Şeker, 2015). Kriyojenik ısıtılma işlemi, PVD ve CVD gibi ince film kaplama teknikleriyle kesici takımların iyileştirilmesine yönelik diğer alternatif yöntemlerle karşılaştırıldığında, yalnızca malzemenin yüzeyini değil, malzemenin tamamını etkileyen kalıcı bir süreçtir (Varghese ve diğerleri, 2019). Kriyojenik işlem, malzemeleri genellikle sabit bir soğutma hızıyla kademeli olarak çok düşük sıcaklıklara soğutmayı, ardından bu sıcaklıklarda belirli bir süre (genellikle 24 saat) bekletmeyi ve son olarak yavaş bir şekilde aynı sabit soğutma hızında oda sıcaklığına döndürmeyi kapsamaktadır (Özbek vd. , 2016). Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, malzemelerin doğrudan bir kriyojenik ısıtılma işlemi sıcaklığında soğutulması sırasında ani termal şoklar nedeniyle mikro çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir (Akıncıoğlu vd. , 2015). Bunları önlemek için iş parçası ve kesici takımlara uygulanan ani termal şokların

etkisiyle oluşan mikro çatlakları gidermek için kriyojenik ısıtma işlemi dikkatlice kademeli bir şekilde gerçekleştirilir (Akıncıoğlu vd., 2016).

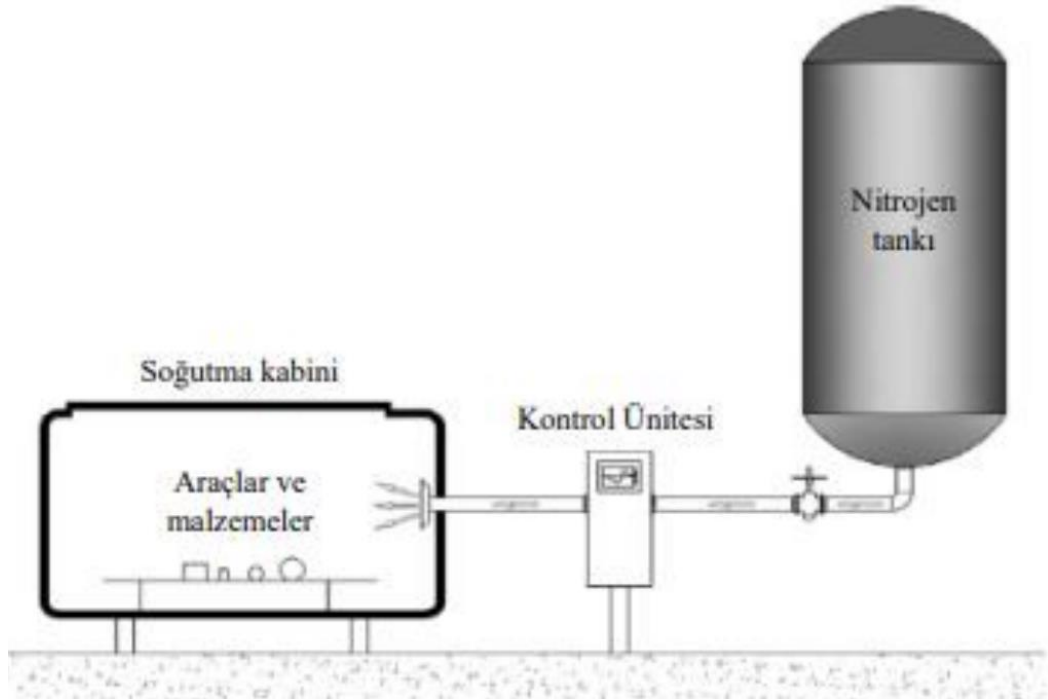
2.3.1. Kriyojenik işlem koşulları

Kriyojenik ısıtma işlem süresi; İş parçası veya kesici takım malzemene uygulanan önceden planlanan kriyojenik sıcaklıktaki tutulduğu süreyi ifade eder. Başka bir ifade ile tavlama süresi olarak da ifade edilmektedir. Tavlama süresi iş parçası veya uygulanan kesici takımın özellikle aşınma direncini, mekanik özellikleri, genel işlem maliyeti ve kesici takımların ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Varghese vd., 2019). Genel olarak kriyojenik ısıtma işlem süresi bir ile kırk saat arasında bekletme süreleri olarak değişmektedir (Akıncıoğlu vd., 2015).

Kriyojenik ısıtma işlem sıcaklığı kademesi; Kriyojenik ısıtma işlem sıcaklığı, malzeme cinsi ve uygulanan işlem süresinin tipine göre belirlenen uygun bir sıcaklıktır. Malzeme türü göz önünü alınarak önceden belirlenen kriyojenik ısıtma işlem sıcaklığı işlemin uygulandığı malzeme için oldukça etkili bir ısıtma işlem parametresi olduğunu kanıtlamaktadır.

Kriyojenik ısıtma işlemin soğuma hızı; Soğuma hızı, malzemenin termal şoka maruz kalmaması için belirlenen hız değeridir (Kuşuncu, 2020). Bu parametre kriyojenik proseslerde önemli bir unsurdur ve işlenecek malzemenin oda sıcaklığından kriyojenik sıcaklıklara düşürülmesinde önemli bir rol oynar. Kriyojenik ısıtma işlemin parametreleri, farklı kombinasyonlarda işlemin uygulandığı malzemenin özelliklerini etkilemektedir. Uygulanan kriyojenik prosesin yüksek verimini elde etmek için bu parametrelerin doğru seçimi önemlidir. Kriyojenik işlemler -80°C ile -196°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Kriyojenik prosesler, uygulama sıcaklığına bağlı olarak iki ana sınıfa ayrılır: sığ kriyojenik prosesler ve derin kriyojenik prosesler. A. Sığ kriyojenik prosesler: Bu proses tipinde malzemelere -80°C ile -140°C arasında ısıtma işlem uygulanır. B. Derin kriyojenik işlem: -140°C ile -196°C arasındaki malzemelere uygulanan ısıtma işlem türüdür. Bu sıcaklıkların ne kadar süre ile fırında bekletilmesine bağlı olarak malzemelerin performansı ve işlenebilirlik gibi özellikleri üzerinde farklı etkiler gözlemlenmektedir (Akıncıoğlu vd., 2015). Kriyojenik ısıtma işlem, geleneksel ısıtma işlem sonrasında iş parçası numunelerinin mikro yapısında yer alan östenit kalıntısının martenzite dönüşmesine yardımcı olur. Ayrıca uygulanan iş parçası malzemesinin mikro yapısında yer alan ince karbür parçacıklarının oluşumunu ve homojen dağılmasına katkıda bulunur (Özbek vd.,

2014). Bu da iş parçası malzemenin sertliğini ve aşınma direncinde bir artış meydana getirir (Kara vd., 2020). Bu nedenle kriyojenik ısıtma işlemi, malzemelerin mikro yapısında bulunan kristalleri değiştirerek mekanik özelliklerinin iyileştirildiği tamamlayıcı bir ısıtma işlemi türüdür (Varghese vd., 2019). Kriyojenik ısıtma işleminin uygulama şeması Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Şekil 2.1'de belirtildiği gibi bu ısıtma işlemi hem kesici takımlara hem de iş parçası malzemelerine uygulanabilen bir tamamlayıcı ısıtma işlemi yöntemidir. Kriyojenik ısıtma işlemi uygulamasında kullanılan gazlar; nitrojen, oksijen ve helyum gibi gazlar kullanılarak gerçekleştirilir. Ayrıca azot gazı da kullanılmaktadır. Kriyojenik ısıtma işlemi uygulamalarında en sık tercih edilen gaz ise sıvı nitrojen'dir (Akıncıoğlu vd., 2015). Kokusuz ve renksiz olan bu gazın erime noktası $-210,01^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası ise $-195,8^{\circ}\text{C}$ 'dir (Akıncıoğlu vd., 2015). Kriyojenik ısıtma işleminde kullanılan gazlar daha az zararlı gazlar olduğu için bu yöntemin çevre dostu bir yöntem olarak da nitelendirilebilir (Varghese vd., 2019).



Şekil 2. 1. Kontrollü bir şekilde uygulanan kriyojenik işlemin şematik gösterimi (Akıncıoğlu ark., 2015)

Talaşlı imalat işlemleri arasında yer alan frezeleme, tornalama ve delme sırasında kesici takımlar ağır yükler, yüksek sıcaklık, sürtünme ve mekanik kuvvetler gibi birçok faktörden etkilenir. Bu etkiler kesici takımında hasara ve potansiyel hasara neden olabilir (Kumar vd., 2018). Özellikle östenitik paslanmaz çelik AISI 304 gibi işlenmesi zor

malzemelerin işlenmesi sırasında aşırı ısınma, aşırı aşınma ve zayıf yüzey kalitesi gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle etkili ve güçlü işleme sağlamak için aşınma direnci ve sertliği yüksek kesici takımların kullanılması gerekir.

Metal işleme prosesinin sonuçları, işlenen malzemenin tipine ve malzeme ve istenen şekil dikkate alınarak uygun kesici takımın seçimine bağlıdır. İşleme, büyük ölçüde en önemli bileşen olarak kabul edilen kesici takımlara dayanır. Kesici takım malzemesinin seçimi, kesme parametreleri ve takım geometrisi, işleme sürecinin verimliliğini önemli ölçüde etkiler.

Kesici takımların sık sık değişmesi nedeniyle bu malzemelerin üretiminin basit ve uygun maliyetli olması gerekmektedir. Yukarıda sıralanan tüm özellikleri bir araya getirmek oldukça zordur. Bu nedenle kesici takımların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi üretim gündeminde önemli bir hedef haline gelmiştir. Bu proses elemanının ilerlemesi, kesici takımların ömrünü, yüzey durumunu ve maliyetini belirlemede çok önemli bir rol oynar, dolayısıyla kesici takım endüstrisi oldukça rekabetçidir (Gillil ve diğerleri, 2012)

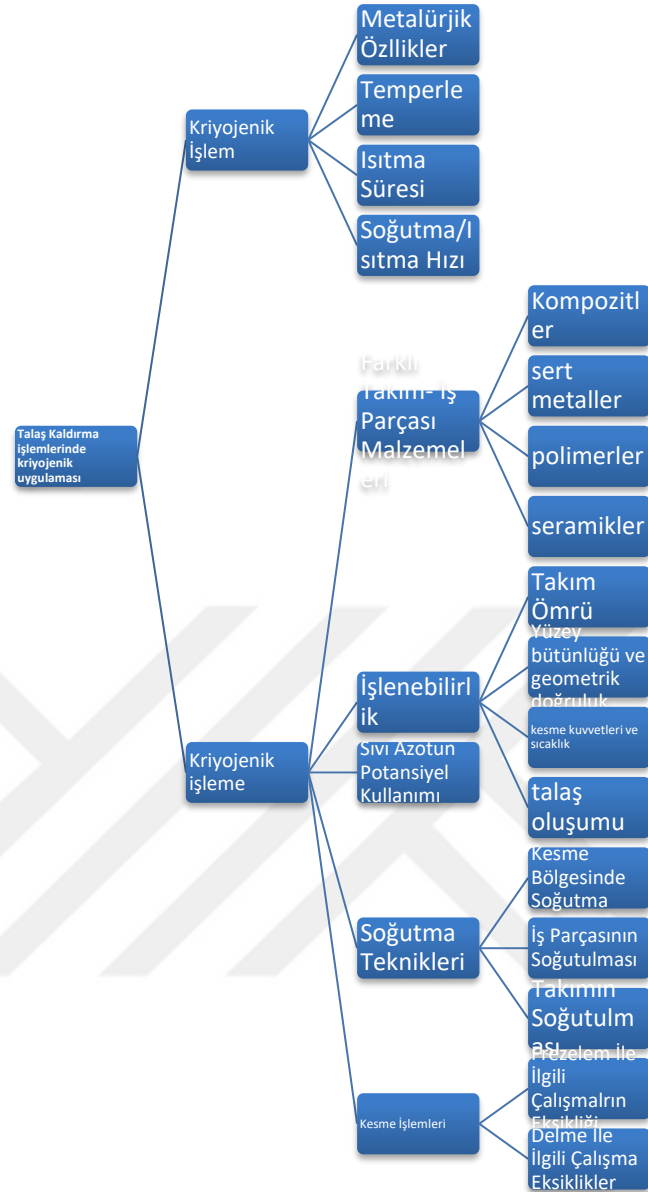
Rekabetin yoğun olduğu bir endüstride kesici takım üreticileri, kesici takımlarda oluşan hasarları anlamak ve servis ömürlerini uzatmanın yollarını keşfetmek için bu konudaki araştırma ve çalışmalara öncelik vermektedir (Gill vd., 2009).

2.3.2. Kriyojenik işlem etkileri

Talaşlı imalatla kriyojenik proseslerin uygulanmasına yönelik çalışma alanları ve sınıflandırılması Şekil 2.2'de gösterilmektedirler. Yıllar süren araştırmalar, kriyojenik süreçlerin malzeme üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Literatür incelemesine göre malzemeye kazandırdığı özellikler şunlardır:

- ✓ Daha yüksek aşınma direnci
- ✓ Daha uzun servis ömrü
- ✓ Boyutsal kararlılık
- ✓ Isıl iletkenlik
- ✓ Arttırılmış sertlik ve tokluk değerleri (Akıncioğlu al., 2015)
- ✓ Arttırılmış korozyon direnci



Şekil 2. 2. Talaş kaldırma işlemlerinde kriyojenik uygulamalarının çalışma alanları ve sınıflandırılması (Shokrani vd., 2013)

2.3.3 Kriyojenik işlemin kullanım alanları

Kriyojenik ısıl işlemin uygulama alanları üzerine yapılan araştırmalar dikkate alındığında malzemenin sertlik, aşınma direnci açısından olumlu avantajlara sahip olduğu söylenebilir (Akıncıoğlu et al., 2016). Kriyojenik işlem, bir çok malzeme grubuna hem demir hem de demir dışı metal alaşımların yanı sıra seramik ve plastikler gibi çeşitli nesnelere de uygulanmaktadır (Akıncıoğlu et al., 2016). Örneğin, işlenen parçaların, uçak motor parçalarının, elektronik cihazların, müzik aletlerinin, endüstriyel aletlerin, spor ekipmanlarının, dişliler ve yatakların, tıbbi cihazların, diş hekimliği ve cerrahi

implantların ömrünü uzatmak için çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. kompozit malzemelerde (Akıncıoğlu et al.2016; Singla ve ark). Kriyojenik işleme uygulamaları arasında petrol platformları, silah namluları, beyzbol sopaları, bıçaklar ve golf sopaları yer almaktadır (Baldissera ve Delprete, 2008).

2.4. Kesici Takım Aşınmaları

Kesici takımlar aşınma direnci yüksek malzemelerden yapılmış olsa da zamanla aşınabilirler. Kesici takımın aşınması, malzemenin kalitesi, kesim hızı, kesici takımın geometrisi ve kesilen malzemenin özelliklerine bağlıdır. Kesici takımın aşınması, keskinliğinin azalmasına neden olur ve sonuç olarak iş parçasının kalitesini düşürür. Ayrıca, kesici takımın aşınması, işlem maliyetini artırabilir ve kesici takımın ömrünü kısaltabilir. Kesici takımın aşınmasını önlemek için, uygun kesici takım malzemesi seçilmeli, doğru kesme parametreleri belirlenmeli ve kesici takımın düzenli olarak bakımı yapılmalıdır. Kesici takımın aşınması zamanla kaçınılmaz olsa da, doğru kullanım ve bakım ile ömrü uzatılabilir. Kesici takımlar, endüstriyel uygulamalarda malzemeleri kesmek, delmek veya işlemek için kullanılan araçlardır. Bu takımların aşınması, kullanım süresi boyunca performanslarını ve verimliliklerini etkileyebilir. Kesici takımların aşınması, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bunlar arasında kullanılan malzemenin sertliği, kesme hızı, besleme hızı, kesici takımın geometrisi ve kesme sıvısı gibi faktörler yer alır.

Kesici takımların aşınması, genellikle üç türde gerçekleşir:

1. Kesme kenarı aşınması: Kesici takımın kesme kenarı aşındığında, kesme kenarının yuvarlaklaşması veya düzleşmesi nedeniyle kesim kalitesi azalır.
2. Üst yüzey aşınması: Kesici takımın üst yüzeyi aşındığında, takımın kesme özellikleri değişir ve takımın ömrü kısalır.
3. Çip oluşumu: Kesme işlemi sırasında malzemedan ayrılan parçalar çipler olarak adlandırılır. Kesici takımların çip oluşumu ve çipi atma kabiliyeti, performanslarını ve verimliliklerini etkileyebilir.

Kesici takımların aşınması, periyodik olarak takımın kontrol edilmesi ve gerekli bakım işlemlerinin yapılmasıyla önlenabilir veya azaltılabilir.

Kesici takımlar, genellikle metal veya diğer sert malzemeleri kesmek veya şekillendirmek için kullanılan aletlerdir. Bu tür aletlerin aşınması, kesici kenarların yavaş yavaş körelmesine neden olur, bu da kesme performansının ve kalitesinin azalmasına yol

açabilir. Kesici takımların aşınması birkaç farklı şekilde meydana gelebilir. Birincisi, sürtünme aşınmasıdır. Kesici takım, işlenen malzemenin yüzeyine sürtündükçe, kesici kenarları yavaş yavaş körelebilir. Bu tür aşınma genellikle yüzey pürüzlülüğüne neden olur ve kesici takımın kesme performansını olumsuz etkiler.

İkincisi, sertlik aşınmasıdır. Kesici takımlar, işlem sırasında sert metaller veya diğer malzemelerle temas ederken, kesici kenarlarının aşınması nedeniyle aşınabilir. Bu tür aşınma, kesici takımın kesme kabiliyetini azaltabilir ve kesme kenarlarının pürüzlü hale gelmesine neden olabilir.

Üçüncüsü, yorulma aşınmasıdır. Kesici takımların sık sık kullanılması nedeniyle, kesici kenarlarında küçük çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar, kesici takımın kullanım ömrü boyunca genişleyebilir ve nihayetinde takımın kullanım ömrünü kısaltabilir. Kesici takımların aşınması genellikle kaçınılmazdır, ancak doğru bakım ve kullanım ile ömrü uzatılabilir. Kesici takımların doğru kullanılması, kesici kenarların hasar görmesini önler ve kesme performansını artırır. Ayrıca, kesici takımların düzenli olarak temizlenmesi, yağlanması ve bileşenlerinin değiştirilmesi, ömrünü uzatır. Kesici takımlar, genellikle metal, ahşap, plastik ve diğer malzemeleri kesmek için kullanılan aletlerdir. Bu takımların aşınması, kullanım süresi ve yoğunluğuna bağlı olarak değişebilir. Kesici takımların aşınmasına neden olan faktörler arasında malzeme yoğunluğu, malzemenin sertliği, kesim hızı, kesme süresi, kesme sırasındaki sürtünme ve kesici takımın malzeme kalitesi sayılabilir.

Kesici takımların aşınması, keskinliğin kaybolması, yüzey pürüzlülüğünün artması, kesme gücünün azalması ve kesme keskinliğinin azalması gibi sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, kesici takımların bakımı ve düzenli olarak değiştirilmesi önemlidir.

Kesici takımların ömrünü uzatmak için, doğru kesme teknikleri kullanılmalı ve kesme işlemi sırasında takımın yeterli yağlama ve soğutma sağlanmalıdır. Ayrıca, uygun kesici takım seçimi ve kaliteli malzeme kullanımı da önemlidir. Kesici takım aşınmaları, kesici takımların işlem sırasında yıpranması ve aşınması sonucu meydana gelir. Bu tür aşınmalar, kesici takımların kesme kenarlarının matlaşması veya körelmesi, kesici takımların yapısının bozulması, aşındırıcı etkilerin oluşması veya çatlaklar ve kırılmalar gibi çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir.

Kesici takım aşınmalarının nedenleri arasında aşağıdakiler sayılabilir:

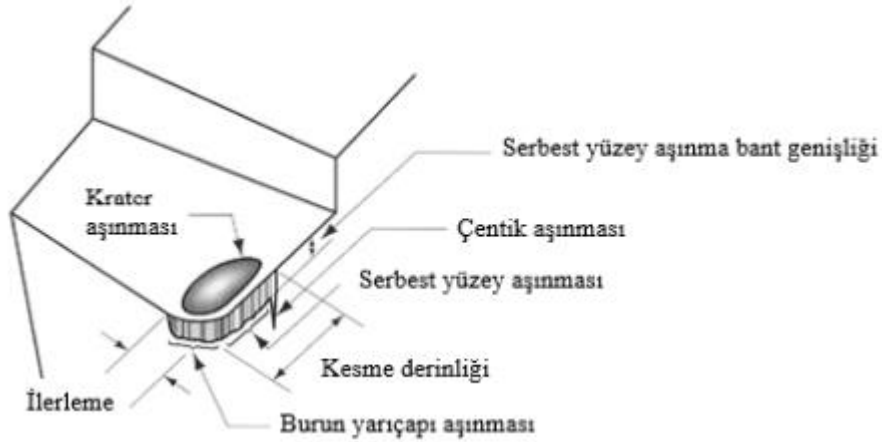
1. Sürtünme: Kesici takımların işlem sırasında malzeme yüzeyleriyle temas etmesi ve sürtünme sonucu yıpranması.

2. Yorulma: Kesici takımların tekrarlanan yüksek basınç ve gerilimlere maruz kalarak yıpranması.
3. Isı: Kesici takımların işlem sırasında ısınması ve bu nedenle deforme olması veya sertliğinin azalması.
4. Kimyasal etkiler: Kesici takımların işlem sırasında malzeme ile temas etmesi sonucu kimyasal etkilere maruz kalması.

Kesici takım aşınmaları, kesici takımların ömrünü kısaltabilir ve işlem sırasında kaliteyi etkileyebilir. Bu nedenle, kesici takımların doğru şekilde seçilmesi ve bakımı, aşınmaların önlenmesi veya en aza indirgenmesi açısından önemlidir.

2.4.1.Kesici takım aşınma tipleri

Bir iş parçası işlenirken kesici takım ile etkileşimi sonucunda kesi takımın iş parçası ile temas ettiği veya talaş ile teması sonucunda birçok aşınma meydana geldiği bilinmektedir. Kesici takımda meydana gelen aşınma tipleri Şekil 2.3'te verilmiştir.

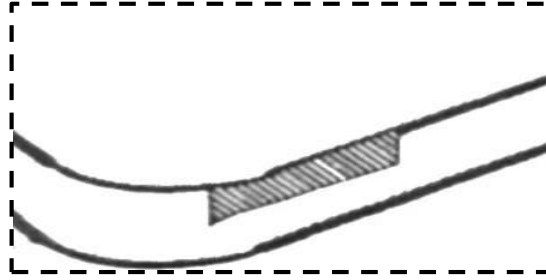


Şekil 2. 3. Aşınmış kesici takımın ana konumlarını ve meydana gelen aşınma tiplerini gösteren diyagram

2.4.1.1.Serbest yüzey aşınması

Yüzeylerin temas halinde olan takım parçalarının birbirine sürtünmesi sonucu oluşan aşınmaya serbest yüzey aşınması denir (Şekil 2.4). Kaldırılan talaş parça yüzeyi işlenen bölgeye sürtünmesi sonucunda bölgenin aşınmasıyla hasar oluşur. Standart olmayan formlarda genellikle serbest yüzey aşınması kenara yakın bölgelerde oluşur.

Aşınmalardan yüzeylerdeki serbest aşınmayı bitirmek mümkün değil fakat aşınmayı azaltıcı tedbirler alınabilir.

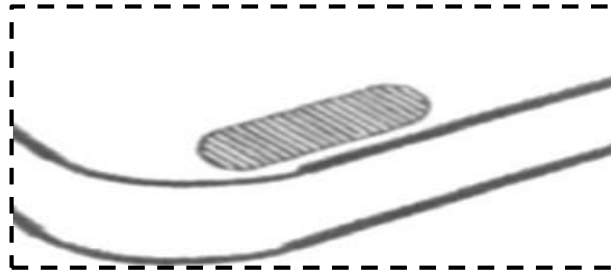


Şekil 2. 4. Serbest yüzey aşınması

"Serbest yüzey aşınması, serbest yüzeyde meydana gelen abrasif aşınma mekanizmaları sonucu oluşur. Bu aşınma, genellikle aşınma değerinin artmasıyla birlikte sürtünmenin de yükselmesine neden olur ve bu durum yüzey kalitesini olumsuz etkiler."

2.4.1.2. Krater aşınma

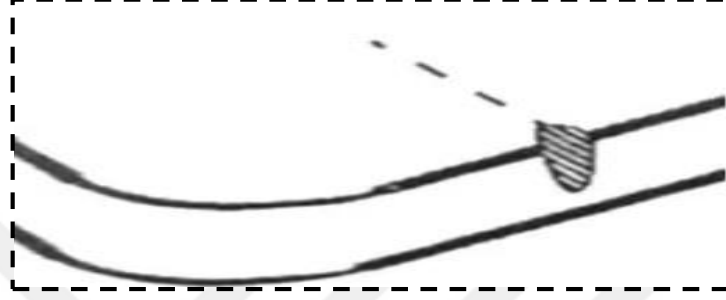
İş yapılan parçadan kaldırılan talaş parçaların kaldırıldığı yüzeye krater aşınma denir (Şekil 2.5). Ilımlı olan krater aşınmaları takımlardaki performans fazla düşürmez. Bu yönden bakıldığında olumsuz bir durum olmamaktadır. Ancak kesme kenarlarındaki aşırı krater aşınmaları parçayı zayıflatarak kenar parçalarının deformasyonuna veya kırılmasına sebebiyet verir. Bundan dolayı da parçanın bilenmesi zorlaşarak, takım ömrü de kısaldığından aşınma tipi olan aşırı krater aşınmadan kaçınılmalıdır. Krater aşınması, difüzyon ve abrasif aşınma mekanizmalarının birleşimi sonucu oluşur. Bu aşınma türü, kesici ucun mukavemetinin azalmasına ve kesici kenar şeklinde bazı değişikliklere yol açar. Aşınmanın büyümesi, kesici uçta krater şeklinde çukurların oluşmasına neden olur.



Şekil 2. 5. Krater aşınması

3.4.1.3. Çentik aşınma

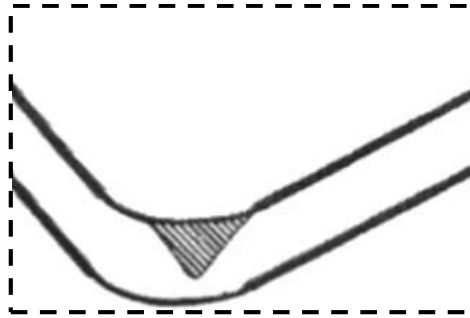
Adezyon ve oksidasyon aşınma mekanizmalarının etkisiyle oluşan, kesici ucun mukavemetini azaltan ve yüzey kalitesini olumsuz etkileyen aşınma türüne 'yardımcı kenarda çentik oluşumu' denir. Kesici takım üzerindeki görüntüsü Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Çentik aşınması

2.4.1.4. Burun aşınması

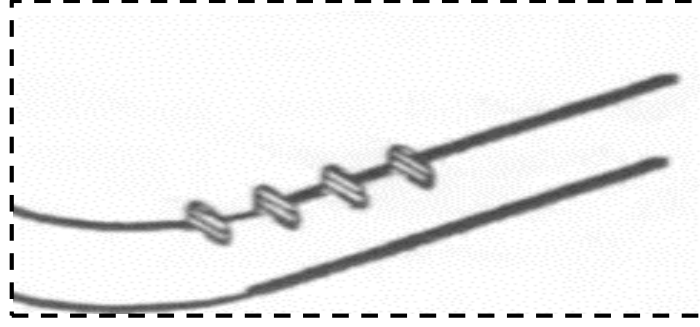
Burun aşınması Şekil 2.7 'de gösterilen ve genel olarak işlenmesi güç olan iş parçalarının işlenmesi ortaya çıkan bir aşınma türüdür. Bura da meydana gelen aşınma şekli Şekil 'de verilmiştir. Kesici takım ve iş parçası arasında yüksek sıcaklık değerlerine ulaştığında kesici uça kopmalara sebep vermektedir.



Şekil 2. 7. Burun aşınması

2.4.2. Isıl ve mekanik çatlaklar

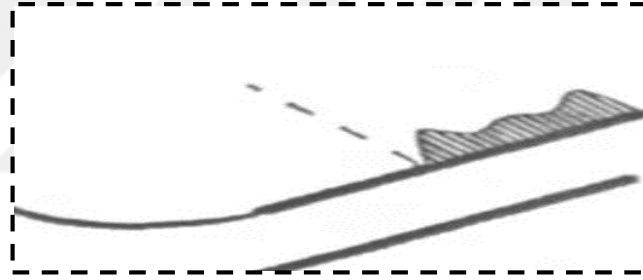
Yorulma aşınma mekanizmasından kaynaklanan sıcaklık değişimleri, çatlakların kesici kenara dik şekilde oluşmasına neden olur. Bu çatlakların sayısının artması, kesici



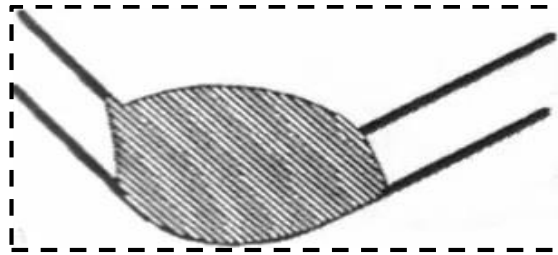
Şekil 2. 10. Kesici takım kenar çentiklenmesi

Talaş Vurması

Kesici takım üzerine talaşın sürtünmesi sonucu kesici takım üzerinde oluşan izden dolayı talaş yüzey aşınması meydana gelir (Şekil 2.11). Aşırı yüklerden ve BUE oluşumunun bir sonucu olarak kesici takımda kırılmalar meydana gelebilir. Takım kırılması ile ilgili görsel Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2. 11. Talaş yüzey aşınması



Şekil 2. 12. Takım kırılması

2.5. Taguchi Deneysel Tasarım Metodu

Bir sistemi incelerken, bu sistemde meydana gelen değişimlerin nedenlerini anlamak ve bu değişimleri önlemek veya sisteme karşı direnç geliştirmek temel amaçtır. Örneğin, bir üretim sürecindeki hataları azaltmak veya yeni bir ürünün kalitesini artırmak

gibi durumlar deneysel tasarımın ilgi alanına girer. Maliyetleri düşürürken aynı zamanda kaliteyi artırmak, değişkenleri kontrol altına almakla doğrudan ilişkilidir. Yani, bir ürünün maliyetini düşürmek için hammadde kalitesinden ödün vermek yerine, üretim sürecindeki değişkenleri (örneğin, sıcaklık, basınç, hammadde içeriği) kontrol ederek hem maliyeti düşürmek hem de kaliteyi artırmak mümkündür. Yüksek kalitede ürünler üretmenin yanı sıra, bu süreçte maliyetleri de düşürmek isteyen araştırmacılar, önceden geliştirilmiş deneysel tasarım tekniklerine başvurmaktadır. Bu teknikler, araştırmacılara deneylerini daha etkili ve verimli bir şekilde planlama imkanı sunar. Ross (1987)'nin de belirttiği gibi, bu alandaki yoğun ilgi, pek çok farklı deneysel tasarım yönteminin geliştirilmesine yol açmıştır.

- Her bir deneyde tek bir bağımsız değişkeni sistematik olarak değiştirerek deneysel koşullar oluşturma.
- İstatistiksel yöntemlerin temel ilkelerine dayanılarak planlanan ve analiz edilen deneysel çalışmalar.

a) Tam faktöriyel deney tasarımı

b) Kesirli faktöriyel deney tasarımı

Taguchi deney tasarımı, deneylerin sayısını önemli ölçüde azaltarak zaman ve maliyet kaybını önleyen etkili bir yöntemdir. Geliştirdiği ortogonal diziler ve deney planları sayesinde, Taguchi, deney sürecini daha verimli hale getirmiştir. Bu yöntem, parametre, sistem ve tolerans tasarımına odaklanan bir deney tasarım ve optimizasyon tekniğidir. Taguchi'ye göre, bir ürünün kalitesi, geliştirildiği süreçte şekillenir. Yani, bir ürünün istenen özellikleri karşılama durumu kaliteli sayılacağı düşüncesiyle, bu özelliklerin tasarım aşamasında belirlenmesi gerekmektedir. Böylece hedeflenen performansa sahip ürünler üretmek mümkün hale gelir (Taguchi et al. 2005). Taguchi yöntemi, farklı parametrelerin çeşitli seviyeleri arasında optimum kombinasyonları belirlemek için sıkça başvurulmuş ve son derece faydalı bir araçtır.

Taguchi'ye (Ross, 1987) göre, bir ürün veya sürecin performansı, aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Kullanılacağı çevre koşulları
- Üretimde kullanılan bileşenler

Bu durumda, ürün veya süreç faktörlerinin optimum değerleri, ilgili ürün veya sürecin kullanılacağı çevresel koşullar ve üretimde yer alan bileşenlerin durumları göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Ürünü ve süreci etkileyen faktörler ise iki ana grupta toplanabilir: kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler.

Taguchi deney stratejisinde, kontrol edilebilen faktörlerin optimum değerlerini belirlemek amacıyla ortogonal diziler içeren yüksek kesirli deneyler kullanılmaktadır. Elde edilen verilerin analizi sonrasında belirlenen optimum koşullar altında doğrulama deneyleri gerçekleştirilerek, beklenen sonucun elde edilip edilemeyeceği kontrol edilmektedir (Ross, 1987). Taguchi, 18 farklı ortogonal dizi geliştirmiştir ve pek çok sorunda bu standart ortogonal diziler doğrudan deney planı olarak kullanılabilir. Bu sayede, çok faktörlü ve/veya seviyeli deneylerin planlanmasında hem basitlik hem de mükemmel esneklik sağlanmaktadır.

Öte yandan, kontrol edilemeyen faktörlerin olumsuz etkilerini belirlemek ve ortadan kaldırmak genellikle yüksek maliyetler gerektirmektedir. Bununla birlikte, bu olumsuz etkileri azaltacak veya ortadan kaldıracak kontrol edilebilen parametrelerin değerlerini araştırmak daha avantajlı bir yaklaşımdır.

Kontrol edilebilen faktörler, performans değerine etkileri açısından üç gruba ayrılabilir:

Kontrol Faktörleri

Düzeltilme Faktörleri

Etkisiz Faktörler

Deneyler sonucunda elde edilen performans değerleri ve performans istatistiği (signal to noise ratio) dikkatlice analiz edilerek sınıflama yapılmıştır. Bu aşamanın ardından, kontrol faktörleri kullanılarak değişkenlik azaltılmış, düzeltme faktörleri aracılığıyla ise ortalamanın hedeflenen değere ulaşması sağlanmıştır. Ayrıca, etkisiz faktörler için en uygun ve ekonomik değerler de belirlenmiştir. Ross (1987), incelenen probleme bağlı olarak 60'tan fazla farklı performans istatistiği geliştirildiğini vurgulamaktadır. "Daha büyük daha iyi" ilkesi için ise özel bir yaklaşım benimsenmiştir.

$$z_B = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad 3.1$$

Ve “daha küçük daha iyi” durumu için geliştirilen;

$$z_k = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad 3.2$$

Performans istatistiği, optimizasyon kriterleri arasında yer alan iki alternatiften biridir. Bu bağlamda, Z_B ve Z_k performans istatistiklerini, n bir deneysel

kombinasyondaki tekrar sayısını ve Y_i ise i. deneyin performans değerini temsil etmektedir. Taguchi yönteminde optimum çalışma koşullarına yönelik deneylerin yapılmamış olması mümkün olabilir. Bu tür durumlarda, optimum şartlara karşılık gelen performans değeri, aşağıda verilen toplamsal modelden yararlanarak tahmin edilebilir (Ross, 1987):

$$y_i = \mu + x_i + e_i \quad 3.3$$

Burada, μ performans değerinin genel ortalaması, (X_i) ise i. deneydeki parametre-seviye kombinasyonunun sabit etkisini ve (e_i) ise i. deneydeki rastgele hatayı ifade etmektedir. Eşitlik 1, deneysel veriler kullanılarak hesaplanan bir nokta tahmini olduğu için, bu değer anlamlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla bir güven aralığı hesaplanması gerekmektedir. Seçilen hata seviyesindeki güven aralığı, aşağıda yer alan eşitlik yardımıyla belirlenebilir (Ross, 1987).

$$y_i \mp \sqrt{F_{\alpha; 1DF^X} MSE \left(\frac{1+m}{n} + \frac{1}{n_i} \right)} \quad 3.4$$

Burada, F çizelgesi değeri, α hata seviyesi, DF_{MSE} hata kareler ortalamasının serbestlik dereceleri toplamı; m ise optimum çalışma koşullarının tahmininde kullanılan parametrelerin serbestlik dereceleri toplamını temsil etmektedir. N, toplam deney sayısını, n_i ise doğrulama deneyindeki tekrar sayısını göstermektedir. Eğer deneysel sonuçlar yüzdelik (%) olarak ifade ediliyorsa, eşitlik 1 ve 2'nin hesaplanmasından önce, yüzdelik değerlerin omega dönüşümü aşağıdaki eşitlik yardımıyla gerçekleştirilir. Ardından, ilgilendiğimiz değerler aynı eşitlik yardımıyla ters dönüşüm yapılarak belirlenir (Ross, 1987):

$$\Omega(db) = -10 \log \left(\frac{1}{p} - 1 \right) \quad 3.5$$

Burada, $\Omega(db)$ yüzdelik değer omega dönüşümü ile elde edilen desibel değeri, P deneyi ile elde edilen ürünün yüzdelik değerini ifade etmektedir. Deneysel maliyetleri asgari düzeyde tutmayı hedefleyen Taguchi yöntemi, klasik deney tasarım yöntemine göre birkaç önemli avantaja sahiptir. Bunlardan ilki, performans değerinin ortalamasını

hedeflenen düzeye getirirken, bu seviyedeki değişkenliği en aza indirmesidir. Diğer bir avantajı ise, zaman ve maliyetleri önemli ölçüde azaltabilmesidir.

Bir deney tasarım yöntemi olan Taguchi tasarımı Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, tasarım aşamasında malzeme ve üretim süreçlerinin doğasında var olan değişkenliğin dikkate alındığı bir dizi yöntemdir. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Fakat bir maddenin üretim uygulamalarında yenilikler yapmış ve bu başarılı uygulamalar ile Taguchi ortogonal yönteminin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. Geleneksel deneysel tasarımların özellikle çok sayıda deneyle uğraşırken ve işleme parametresi sayısı arttırıldığında kullanılması zordur. Bundan dolayı Taguchi deneysel tasarım yöntemi aynı anda birden fazla faktörün göz önünde bulundurulmasını sağlamakla birlikte daha az deney yapılarak en optimum sonucun elde edilmesini de sağlamaktadır (Anonim 5). Taguchi metodun genel amaçlarından birisi, üreticiye mümkün olan en düşük maliyetlerde ve yüksek kalitede bir ürünü üretmektir. Bu deneysel tasarımda, işleme prosesini veya elde edilmek istenen bir ürünü etkileyen parametrelerin ve bu parametrelerin gereken seviyeleri düzenlemek için ortogonal dizilerin kullanılmasını içeren ortogonal ve mixed dizilere sahiptir. Deney tasarım yöntemlerinden biri olan faktöriyel tasarım tüm olası kombinasyonları test ederken Taguchi deney tasarım yöntemi ise giriş parametrelerinin kombinasyon çiftlerini test eder. Bu işlemde, mümkün olan en az sayıda deneme sayısı ile ürün kalitesini üzerinde en çok hangi faktörlerin etkilediğini belirlemek için gerekli dataların toplanmasını sağlar. Bundan dolayı bu yöntem ile hem zamandan hem de kaynaktan tasarruf sağlanmış olunur (Anonim 1).

2.6. Takım Ömrü

Bir kesici takımın ömrü, pratikte bir kesici takımın iki bileme işlemi arasındaki aktif çalışma süresi olarak tanımlanır. Başka bir ifade ile belirlene bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme süresi olarak da tanımlanır. Talaşlı imalatla önemli maliyet unsurlarından biri, kesici takım ve kesici uçlarının maliyetidir. Bu maliyetler, gereken önlemler alınmadığı takdirde işletmeyi ciddi finansal sıkıntılara sokabilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Dolayısıyla, kesici takımın kullanım süresi veya ömrü, talaşlı imalat prosesinin vazgeçilmez ve en önemli kritik öğelerinden biri haline gelmiştir. Bu sebeple, yıllar boyunca araştırmacılar, kesici takımlar ve onların ömrü üzerine yoğunlaşmışlardır. Özellikle son dönemde yapılan bilimsel çalışmalarda, ekonomik takım ömrü ve minimum

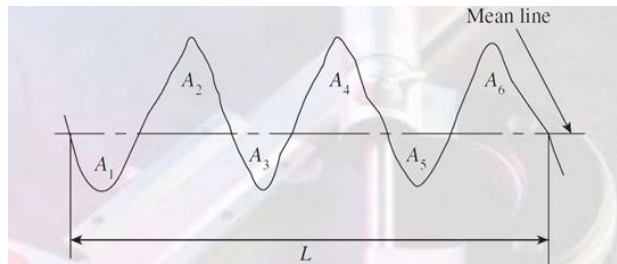
takım maliyeti konuları üzerinde yoğunlaşma devam etmektedir. Takım ömrü esas itibarıyla aşınma olayıyla bağlantılıdır ve aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler arasında takım ve iş malzemeleri, takım ile talaşın geometrisi, kesme hızı ve soğutma sıvısı gibi unsurlar yer almaktadır.

2.7. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş bir iş parçasının işlenmiş yüzeyinde yer alan dokuların özelliğini veren ve de genel olarak ortalaması hesaplanarak elde edilen bir değerdir. Genellikle pürüzlülük olarak kısaltılmaktadır. Başka bir ifadeyle yüzey pürüzlülüğü, iş parçasının işlenmiş yüzeyinin referans düzlemine göre belirlenmiş olan bir yatay çizginin üstünde ve altındaki yüzeylerin yüksekliğindeki değişimleri ifade etmektedir (Rao, vd. 2016). Hesaplamalarda kullanılan ortalama çizgisi (Mean line) gösterimi Şekil 2.21’de verilmiştir. Gerçekte bir yüzeyin ideal biçiminden ölçülmesi ise normal vektörü yönündeki sapmalar ile belirlenir. Ölçülen bu sapmalar küçükse yüzey pürüzsüzdür aksi ise yüzey pürüzlüdür. (Anonim 2).

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

Genel olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade eden Ra değeri, global bir terim olarak bilinen pürüzlülük parametresini ifade eder. İşlenmiş bir yüzeyin üzerinde meydana gelen dip ve tepe değerlerin gösterimi Şekil 2.21’de verilmiştir.



Şekil 2. 21. Ra değeri gösterimi

Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri aşağıda yer alan Eşitlik 2.1 yardımıyla bulunabilir (Eşitlik 2.1).

$$Ra = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N / L \quad (2.1)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İş Parçası Malzemesi

Bu tez çalışmasında, boyuna tornalama deneylerinde kullanılmak üzere çap 36 mm ve 100 mm boyda iş parçaları kesilerek hazır hale getirilmiştir. Bu iş parçasının malzemesi ise AISI 304 östenitik paslanmaz çeliktir. İş parçası numunesine ait kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de, mekanik özellikleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir. Tornalama deneylerinde kullanılan iş parçası numunesine ait resim Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. İş parçası numunesi

Tablo 3. 1. İş parçası numunesine ait % kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
0.080	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00- 20.00	8.00- 11.00	0.1000

Tablo 3. 2. İş parçası numunesinin mekanik özellikleri

İş Parçası malzemesi	Uzama (%)	Sertlik (HBV)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Kesit alanı daralması (%)
AISI 304	30-58	181	515-606	40-75

3.2. İşleme Deneyleri

Üç farklı ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinde boyuna tornalama işlemleri deneyleri SMARC marka CAK6166B X200 model Şekil 3.2’deki CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri kesici takım firmasının önerileri ve Smarc marka CNC torna tezgahının işleme kapasitesine göre belirlenmiştir. Bu doğrultuda üç farklı kesme hızı 80, 100 ve 120 m/dk, ilerleme 0,15-0,20 ve 0,25 mm/dev ve talaş derinliği ise 1-1,5 ve 2 mm olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 3. 2. SMARC marka CAK6166B X200 model torna tezgâhı

İşleme deneylerinde kullanılan kesici takım olarak KORLOY firmasından temin edilmiştir. Bu kesicini özellikleri; talaş kırıcı formu olarak MP, WNMG 080408 formlu ve CVD kaplı, orta ve kaba işlemler için uygun kesici bir takım belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3. Kesici takıma ait görüntü

3.3. Taguchi Deney Tasarımı ve İşleme Parametreleri

Taguchi tasarımı deney tasarım zaman ve maliyet uyumu açısından en çok tercih edilen deney tasarım yöntemlerinden biridir. Bu yöntemin en önemli avantajlarından birisi, seçilen parametre ve seviyelerinin mümkün olan en az sayıda deney gerçekleştirilerek belirlenen deneylerin yapılması için birden fazla ortogonal dizilim seçeneği sunmaktadır. Belirlenen girdilerin yanıtlar (çıkıtlar) veya sonuçlar üzerinde optimum şartları belirlemek için kullanılmaktadır (Durairaj, 2013; Parashar, 2019).

Bu tez çalışmasında, CNC torna tezgâhında yapılan kesme deneylerinde; ilerleme hızı, kesme hızı, talaş derinliği ve ısıtılma işlem türü girdi parametreleri olarak belirlenmiştir (Tablo 3.2). Çıkış parametresi olarak ise iş parçasının yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülüğüdür. Bu tez çalışmasındaki işleme deneylerinde; üç farklı ilerleme, üç farklı

kesme hızı, üç farklı talaş derinliği ve iki farklı işlem seviyesine sahip kriyojenik ısıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takım seçilmiştir. Bu işleme parametreleri CNC torna tezgâhının giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu işleme parametrelerinin değerleri ve seviyeleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3. 3. Tornalama deneyleri için işleme parametreleri ve seviyeleri

İşleme Parametreleri	Seviyeler		
	1. Seviye	2. Seviye	3 Seviye
Isıl işlem türü	Kriyojenik	Normal	
Kesme hızı (m/dk.)	80	100	120
İlerleme (mm/dev)	0,15	0,20	0,25
Talaş derinliği (mm)	1	1,5	2

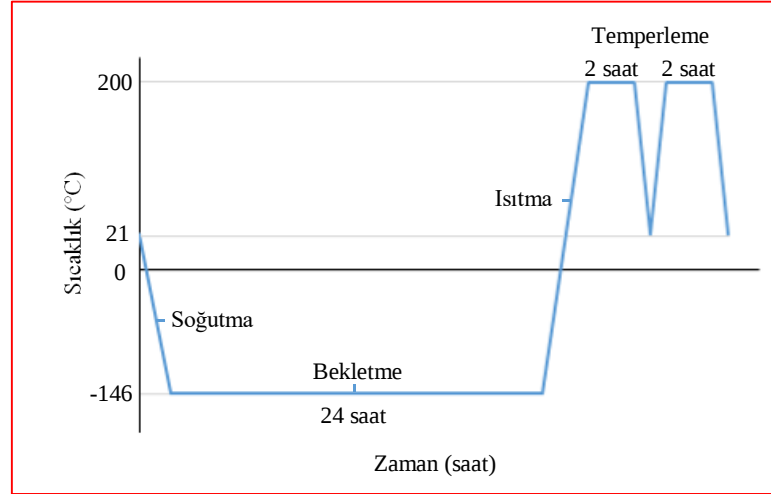
Taguchi deney tasarımında işlem parametreleri ve seviyeleri giriş olarak belirlenirken çıkış parametresi olarak iş parçasının yüzeyinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri seçilmiştir. Boyuna tornalama deneyleri giriş parametreleri göz önüne alınarak Taguchi L36 ($2^1 3^3$) mixed (karışık) ortogonal dizilimine göre gerçekleştirilmiştir. Bir iş parçası numunesi son işlem olarak finiş işlem ile sonlandırılmaktadır. Finiş işleminde iş parçası numunesinin yüzey pürüzlülüğü hem estetik açıdan iyi görülmesi hem de düşük değerlerde olması arzu edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değerlendirilmesinde kriter olarak mümkün olan en düşük değerlerde olması istenilmektedir. Bundan dolayı optimum yüzey pürüzlülüğü değerlerinin analiz edilmesinde Taguchi S/N oranlarının hesaplanmasında kullanılan “en küçük en iyidir” yaklaşımı seçilmiştir. Taguchi deney tasarımında kullanılan Sinyal/Gürültü (S/N) oranına gösteren formül Eşitlik 1’de sunulmuştur.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.1)$$

Burada n; gerçekleştirilen deneylerin sayısını ve y_i yüzey pürüzlülüğü değerlerini ifade etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin analizi için Minitab paket programı kullanılmıştır.

3.4. Kriyojenik İşlem Uygulanması

Kriyojenik ısıtma işlemi, genellikle iş parçası veya kesici uçların sertliğini ve aşınmaya karşı direncini artırmak için sıklıkla kullanılan sıfır altı bir ısıtma işlemi türüdür. Ayrıca malzemelerin yapısal özelliklerini değiştirmek veya dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, malzemelerin mikro yapısında yer alan kalıntı östenitik fazları martenzite dönüştürmektedir. Kriyojenik ısıtma işleminin kesici takım malzemesinin mikro yapısını değiştirmekte ve bundan dolayı da kesici ucun aşınma direncine katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda kesici takım uca derin kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmıştır. Kesici takımlara uygulanacak ısıtma işlemi süresi literatür araştırması ışığında 24 saat olarak belirlenmiştir. İncelenen çalışmaların çoğunluğunda 24 saat tercih edilmektedir. Isıtma işlemi sıcaklığı olarak -146°C seçilmiştir. Kesici takımlar ısıtma işlemi fırınına oda sıcaklığında yerleştirilmiştir. Fırın 2 saat süre ile kademeli bir şekilde -146°C 'e düşürülmüştür. Ve numuneler bu sıcaklıktaki değerde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra kesici takımların gerilimlerinin giderilmesi için fırın tekrar kademeli olarak 200°C 'e yükseltilmiştir. Burada 2 döngü şeklinde tekrar edilmiştir. Temperleme süresi olarak 2 saat seçilmiştir. Gerçekleştirilen bu ısıtma işlemi döngüsüne ait şematik gösterim Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. 4. Kesici uçlara uygulanan ısıtma işlemlerinin şematik gösterimi

3.5. İşlenmiş Yüzeylerden Ölçülen SEM Görüntüleri

İşleme deneylerinde elde edilen talaş morfolojileri ve kesici takım aşınmalarının incelenmesi için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınmıştır. SEM

görüntüleri, Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarındaki (Çümerlab) SEM cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3. 5. SEM cihazı

3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Tornalama deneyleri Taguchi L36 mixed tasarımına göre CNC torna tezgâhında işleme şartları göz dikkate alınarak sırasıyla yapılmıştır. her bir deney sonrası işlenmiş iş parçası numunesinin işlenmiş yüzeyinin 3 farklı yerinden ölçümler alınmıştır. Alınan bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak nihai Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. İş parçası numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri “Surface Roughness Tester SRT-6210” markalı ölçüm cihazında yapılmıştır. Elde edilen yüzey pürüzlülük ölçümleri ise 0,8 mm ölçme aralığında ve 4,8 mm ölçme boyunda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve cihaza ait teknik özellikleri Şekil 3.6’da verilmektedir.



Cihaz Markası ve Modeli	SRT-6210
Ölçme yöntemi (Filtreleme Yöntemi)	GAUSS
Ölçme birimi	Ra
Ölçme hızı	0,25 Vt:0,135 mm/s

Şekil 3. 6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ve özellikleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, AISI 304 paslanmaz çeliği kuru işleme şartlarında CNC torna tezgâhında ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği işleme parametrelerine bağlı olarak kriyojenik ısıt uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile işlenmiştir. İşleme deneyleri Taguchi L36 mixed tasarımına göre tasarlanmış ve yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Deney Sonuçları

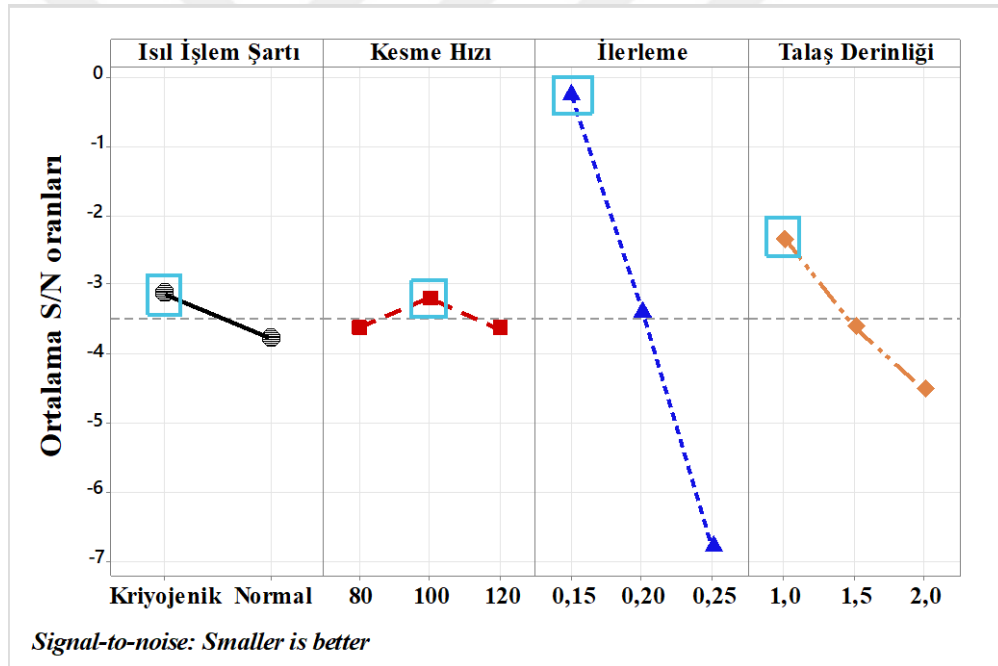
Kriyojenik ısıt işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile CNC torna tezgâhında üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve üç farklı talaş derinliğinde işlenen AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4. 1. Isıl işlem şartı ve kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük ve S/N oranları değerleri

Isıl İşlem Şartı	Kesme Hızı	İlerleme	Talaş Derinliği	Ra	S/N
Kriyojenik	80	0,15	1	1,09	-0,748529959
Kriyojenik	100	0,2	1,5	1,3	-2,278867046
Kriyojenik	120	0,25	2	2,26	-7,082168783
Kriyojenik	80	0,15	1	1,09	-0,748529959
Kriyojenik	100	0,2	1,5	1,3	-2,278867046
Kriyojenik	120	0,25	2	2,26	-7,082168783
Kriyojenik	80	0,15	1,5	1,025	-0,214477308
Kriyojenik	100	0,2	2	1,47	-3,346346695
Kriyojenik	120	0,25	1	2,35	-7,421357245
Kriyojenik	80	0,15	2	1,04	-0,340666786
Kriyojenik	100	0,2	1	1,24	-1,868433703
Kriyojenik	120	0,25	1,5	2,18	-6,769129872
Kriyojenik	80	0,2	2	1,57	-3,917993048
Kriyojenik	100	0,25	1	1,65	-4,349678884
Kriyojenik	120	0,15	1,5	0,86	0,806080732
Kriyojenik	80	0,2	2	1,57	-3,917993048
Kriyojenik	100	0,25	1	1,65	-4,349678884
Kriyojenik	120	0,15	1,5	0,96	0,806080732
Normal	80	0,2	1	1,19	-1,510939228
Normal	100	0,25	1,5	2,369	-7,491301214
Normal	120	0,15	2	1,39	-2,860296005
Normal	80	0,2	1,5	1,84	-5,29635646
Normal	100	0,25	2	2,409	-7,636736
Normal	120	0,15	1	0,71	2,974833026
Normal	80	0,25	1,5	2,16	-6,689075023

Normal	100	0,15	2	1,44	-3,167249842
Normal	120	0,2	1	1,41	-2,984382253
Normal	80	0,25	1,5	2,16	-6,689075023
Normal	100	0,15	2	1,44	-3,167249842
Normal	120	0,2	1	1,41	-2,984382253
Normal	80	0,25	2	2,409	-7,636736
Normal	100	0,15	1	0,88	1,110346557
Normal	120	0,2	1,5	1,73	-4,760922063
Normal	80	0,25	1	2,05	-6,235077221
Normal	100	0,15	1,5	0,975	0,219907686
Normal	120	0,2	2	1,71	-4,659922208

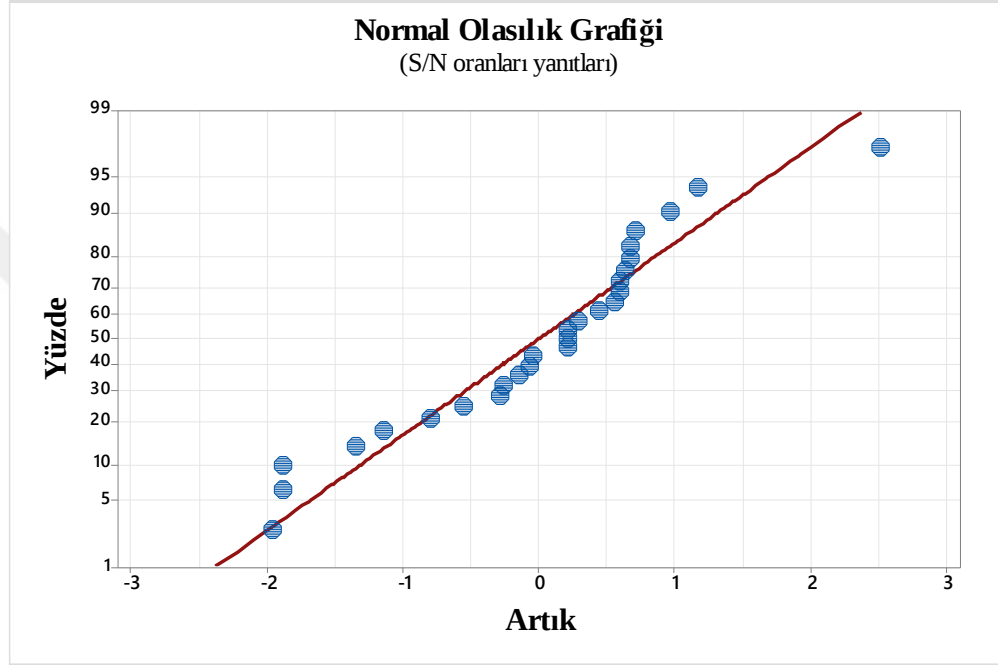
Taguchi L36 ($2^1 3^3$) mixed deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin analizde elde edilen grafikler Şekil 1111-222’de verilmiştir. İşleme şartlarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerin için elde edilen Sinyal/Gürültü (S/N) oranları Şekil 4.1’de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4. 1. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları

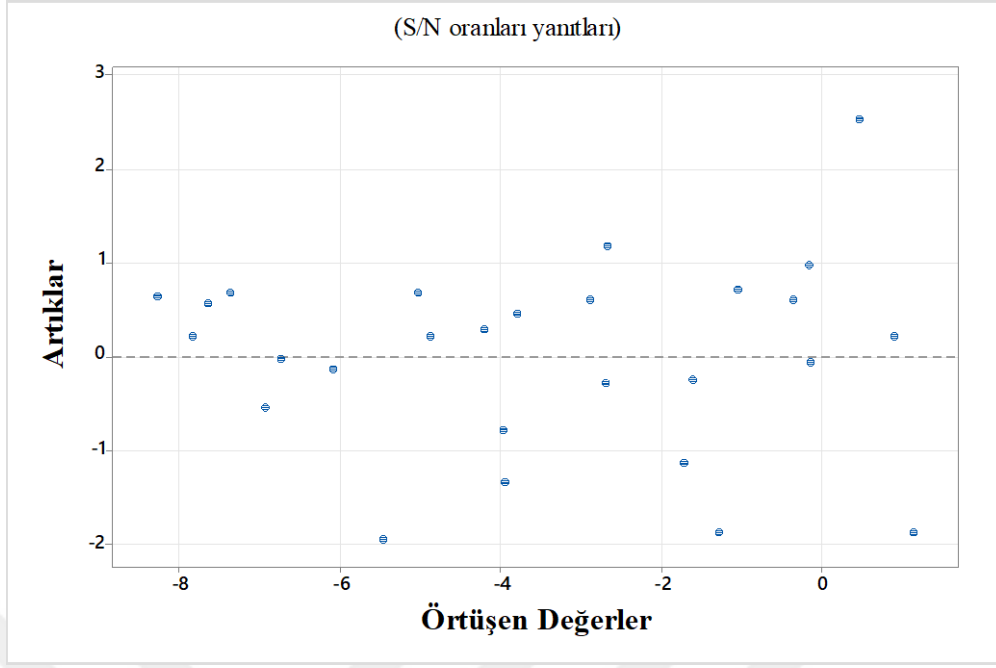
Şekil 4.1’deki grafik incelendiğinde, ısıtım işlem şartı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğini yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili oldukları görülmektedir. Burada yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametreleri arasında en önemli etkiye “ilerleme” olduğu söylenebilir. Çünkü dikeyde en fazla alana sahip ilerleme olduğu açıkça görülmektedir. Bunu sırasıyla talaş derinliği, ısıtım işlem şartı ve kesme hızı takip etmektedir. İş parçaları işlenirken mümkün olan en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşmak istenmektedir. Bundan dolayı Taguchi deney tasarımında en düşük en iyidir (Smaller is

better) şartına göre en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir. Optimum yüzey pürüzlülüğü için elde edilen işleme parametreleri ise kriyojenik ısıtma işlem görmüş kesici takım, 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir. Bu da grafikteki her bir işleme şartının en tepesindeki mavi kutular içine alınan değerlere karşılık gelen işleme parametreleri alınarak elde edilmiştir. Taguchi tasarımında elde edilen normal olasılık grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



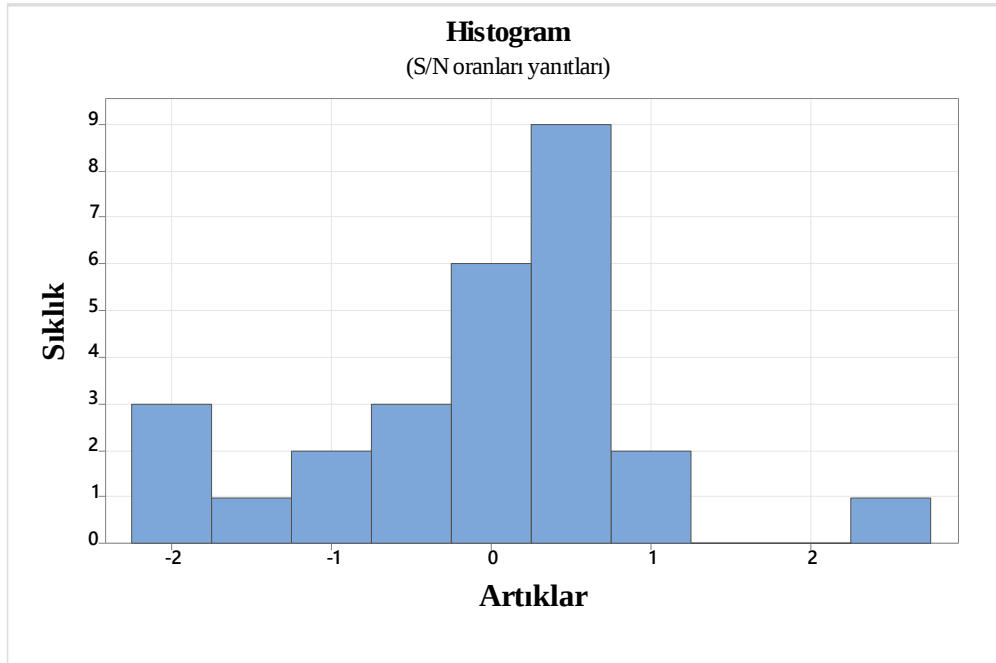
Şekil 4. 2. Normal olasılık grafiği

Şekil 4.2’de verilen grafiği bakıldığında, Taguchi deney tasarımı deney sonuçları tahminlerinin büyük oranda başarılı olduğu söylene bilinir. Bu durum artık değerlerin lineer kırmızı çizgi etrafında bir dağılım göstermesinin bir sonucudur. Taguchi deney tasarımının belirlenen işleme şartlarında büyük oranda yüzey pürüzlülüğü değerleri tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir. Taguchi tasarımı S/N oranlarına göre elde edilen artık değerlerin gösterimi Şekil 4.3’te verilmiştir.



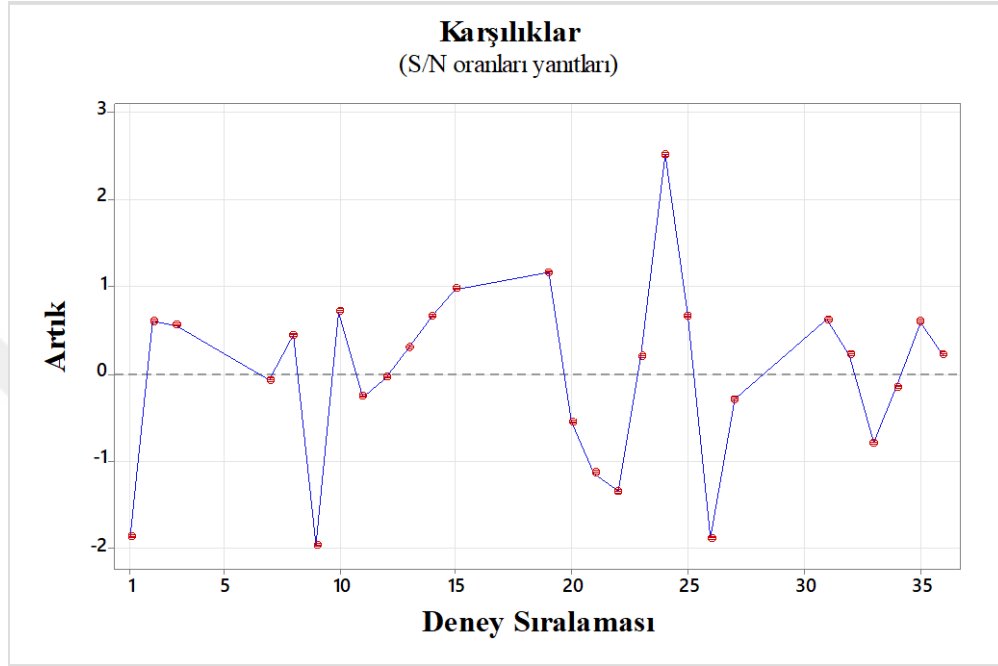
Şekil 4. 3. Taguchi S/N oranlarına göre elde grafik

Taguchi S/N oranlarına göre elde edilen Şekil 4.3'teki grafik incelendiğinde, artıkların yatay çizgi etrafında toplandığı görülmektedir. Taguchi deney tasarımından elde edilen artıklara ait histogram grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4. 4. Artık değerlerin histogram grafiğinde gösterimi

Şekil 4.4'teki histogram grafiği artık değerlerin dağılımlarını göstermektedir. Bu dağılımın çan eğrisi şeklinde dağılması istenilmektedir. Grafik incelendiğinde simetriğe yakın bir şekilde artık değerlerin çan eğrisi şeklinde dağılım gösterdiği görülmektedir. Deney sıralamasına göre elde edilen artık değerlerin gösterimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4. 5. Deney sıralamasına göre verilen artık değerler

Şekil 4.5'teki grafik incelendiğinde, birkaç deney hariç diğer deney değerlerinin artık değerleri yatay çizgi etrafında toplandığı görülmektedir. Bu da deneyleri düşük hata oranlarında başarılı bir şekilde tahmin edildiğini ve elde edilen analizlerin başarılı olduğunu bir göstergesidir. Taguchi S/N oranlarının ANOVA analizine göre işleme parametrelerini etkisini veren Tablo 4.3 aşağıda verilmiştir.

Tablo 4. 2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranlarına göre ANOVA tablosu

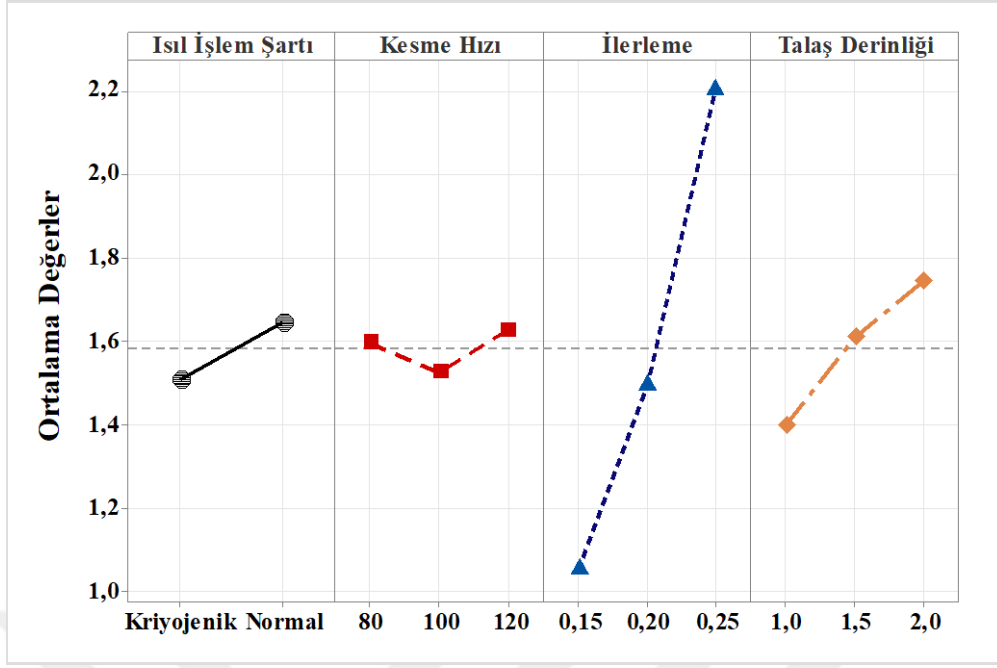
Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Isıl İşlem Şartı	1	2,793	2,793	2,7933	1,96	0,177
Kesme Hızı	2	1,108	1,108	0,5541	0,39	0,683
İlerleme	2	194,084	194,084	97,0419	68,23	0,000
Talaş	2	21,572	21,572	10,7862	7,58	0,004
Derinliği						
Hatalar	19	27,024	27,024	1,4223		
Toplam	26	246,582				

Tablo 4.2’de verilen “P” değeri altında verilen değerler incelendiğinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını ifade etmektedir. P değerinin istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için bu değer 0,05’ten küçük olması istenilmektedir. Bu tez çalışmasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme parametreleri içerisinde ilerleme ve talaş derinliğinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. En yüksek “F” değeri, en etkili deney parametresini vermektedir. Bu doğrultuda tablo incelendiğinde, “F” değerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin “ilerleme” olduğu söylenebilir. En az etkiye sahip olan parametrenin ise kesme hızı olduğu görülmektedir. Taguchi deney tasarımına göre elde edilen S/N oranları değerleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4. 3. S/N oranları değerleri

Seviyeler	Isıl İşlem Şartı	Kesme Hızı	İlerleme	Talaş Derinliği
1	-3,1276	-3,6211	-0,2467	-2,3370
2	-3,7749	-3,2009	-3,4027	-3,6082
3		-3,6397	-6,8124	-4,5165
Delta	0,6473	0,4388	6,5657	2,1794
Sıralama	3	4	1	2

Tablo 4.3’te verilen değerlere bakıldığında, her bir işleme parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili olduğu seviye ve bunların sıralaması verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinden tablodaki sıralama göre 1 (bir) ilerleme bunu sırasıyla talaş derinliği, ısıl işlem şartı ve kesme hızı şeklinde sıralandığı görülmektedir. Bundan dolayı yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu anlaşılmaktadır. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden seviyeleri ise tabloda koyu olarak işaretlenmiştir. Bu seviyeler; ısıl işlem şartı için 1 (bir), kesme hızı 2 (iki), ilerleme bir (1) ve talaş derinliği ise 1 (bir)’dir. Bir diğer ifade ile kriyojenik ısıl işlemli kesici takım, 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliği işleme şartlarını ifade etmektedir. Bu durum seviyelerde yer alan en yüksek değerlere denk gelmektedir. Taguchi deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneylerin yüzey pürüzlülüğü için elde edilen ana etki grafiği Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4. 6. Ana etki grafiği

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme parametrelerinin etkisini doğrudan veren ana etki grafiği Şekil 6'a bakıldığında, kriyojenik ısıtım işlemi uygulanmış kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Kriyojenik ısıtım işlemi uygulanan malzemenin daha yüksek aşınma direncine, sertlik ve tokluk değerlerinin artmasına katkı sağlamaktadır (Akıncıoğlu vd., 2015). Bu durum kriyojenik ısıtım işlemin kesici takıma kazandırmış olduğu sertlikten kaynaklandığı ve daha geç bir aşınma sürecine girmesi ile açıklanabilir.

Kesme hızının artması ile 100 m/dk yüzey pürüzlülüğü değerleri önce bir düşüş göstermekte kesme hızının 120 m/dk'ya yükseltilmesi ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla talaş takım ara yüzeyindeki sıcaklık artmaktadır. Sıcaklığın artması ile talaş akışı kolaylaşmakta bu da yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşüşüne katkı sağlamaktadır. Çeliklerin işlenmesinde belirli bir işleme hızından sonra BUE oluşumu artmakta ve bu durum yüzey pürüzlülüğü değerlerini artırmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerlemenin etkisi incelendiğinde, ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı Şekil 6'daki ilerleme faktörü bölümünden açıkça görülmektedir. Meydana gelen bu durum artan ilerlemeye paralel olarak artan talaş miktarı artmakta ve bu da yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım normal kesici takım ile

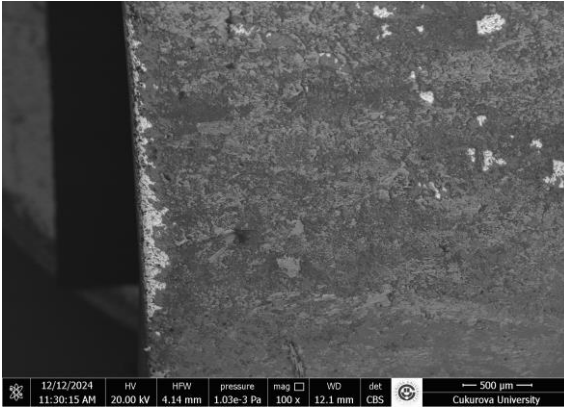
karşılaştırıldığında, kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış kesici takımların yüzey pürüzlülüğü değerlerinin daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum kriyojenik ısıtma işlemin kesici takımın sertliğini artırmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar literatürle de benzerlik göstermektedir (Baday ve Ersöz 2022; Mavi ve Korkut, 2014; Patil ve ark., 2020) Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün artan ilerleme ile artmasının bir diğer nedeni, ideal yüzey pürüzlülüğü tahmininde kullanılan denklem ile de açıklamak mümkündür.

Artan talaş derinliği açısından Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu ve de yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığı görülmüştür. Bu durum artan talaş derinliği ile kesici takım ve iş parçası arasında artan ısı ile BUE oluşumunu arttırmakta ve bundan dolayı iş parçası yüzeyinin kötüleştiği düşünülmektedir.

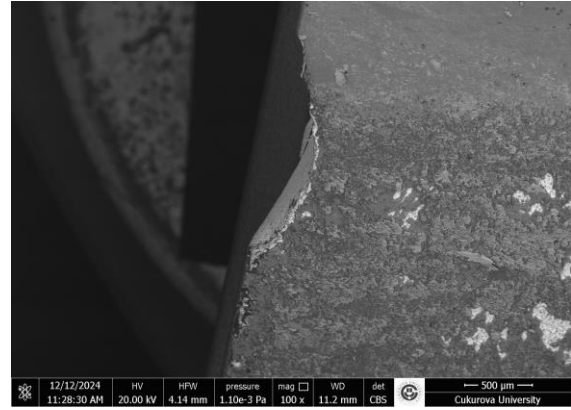
4.2. Kriyojenik İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Kesici Takımların Aşınmaların Değerlendirilmesi

Kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların aşınma davranışlarını incelemek için 2 mm talaş derinliği 100 m/dk kesme hızı ve 0,20 mm/dev ilerlemede 60 mm boyda 11 paso iş parçalarında sabit talaş kaldırılarak ölçülmüştür. Bu kesici takımlara ait SEM görüntüleri Şekilde verilmiştir. Şekil 4.7'deki SEM görüntüleri incelendiğinde kriyojenik ısıtma işlemi görmüş kesici takım herhangi bir işlem görmemiş kesici takımdan daha az aşındığı görülmektedir. Bu durum kriyojenik ısıtma işlemin kesici takıma kazandırmış olduğu sertlik ve aşınmaya karşı direncinin artırılmasıyla açıklanabilir. Aynı zamanda kriyojenik ısıtma işlemi kesici takımın ısıtma iletkenliğini de artırmaktadır. Bundan dolayı kesici takım ile talaş arasında etkileşim kriyojenik ısıtma işlemi görmemiş kesici takıma göre daha iyi olduğu söylenebilir. Kriyojenik ısıtma işlemi görmemiş kesici takımda kırılmalar BUE oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. BUE kesici takıma sıvanarak daha sonrasında kesici kenardan parça kopmasına sebep olmaktadır.

Kriyojenik işlemlili



Kriyojenik işlemsiz

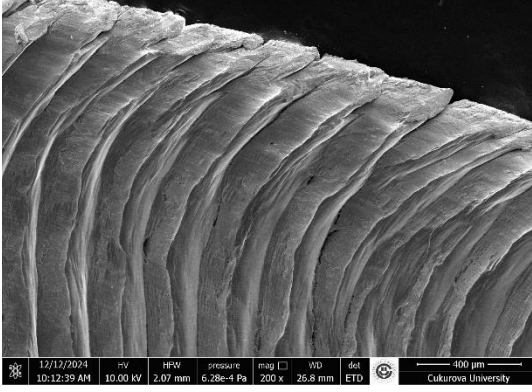


Şekil 4. 7. Kesici takımların yan yüzey aşınmalarına ait SEM görüntüleri

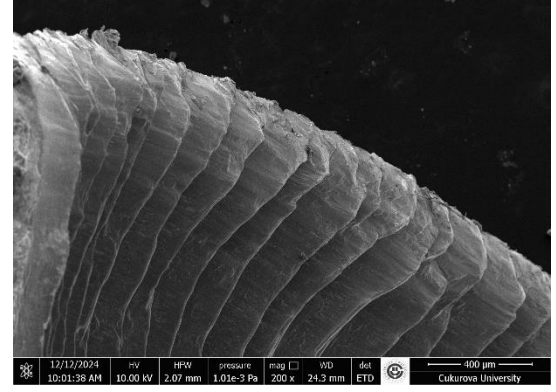
Kriyojenik ısıt işlemsiz kesici takım talaşın kesici takım üzerindeki ısıyı daha iyi iletmediği için BUE ile parça kopmasına sebep olduğu görülmektedir.

4.3. Kriyojenik İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Kesici Takımların Talaş Morfolojileri

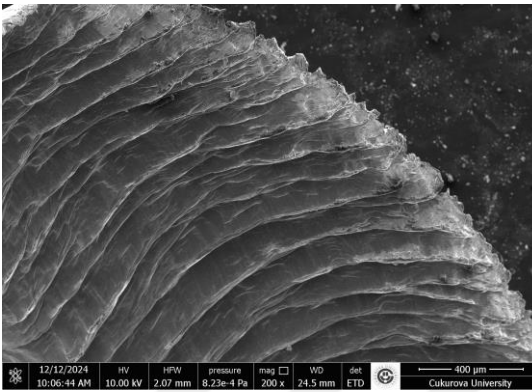
Hem kriyojenik işlem görmüş hem de kriyojenik ısıt işlem görmemiş kesici takımlara ait talaşlar incelenmiş olup SEM görüntüleri ile birbirleriyle karşılaştırılmıştır. En düşük işleme şartı olarak 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliğinde seçilirken en yüksek işleme şartları ise 120 m/dk kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm talaş derinliğinde seçilmiştir. Elde edilen talaşlara ait SEM görüntüleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil a’da kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlar ile en yüksek işleme şartlarında elde edilen talaşlara ait SEM görüntüleri ve ısıt işlem uygulanmamış kesici takımlara ait Şekil 4.8b’deki SEM görüntüleri verilmiştir. Ayrıca bunlara ait en düşük işleme şartlarında elde edilen talaşların SEM görüntüleri de verilmiştir.



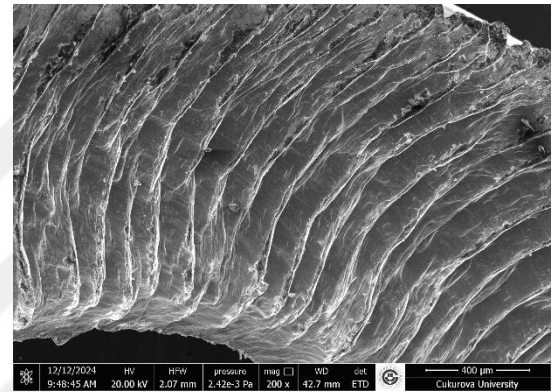
a) Kriyojenik işlemlili en yüksek işleme şartlarında



b) Kriyojenik işlemlili uygulanmamış en yüksek işleme şartlarında



c) Kriyojenik işlemlili en düşük işleme şartlarında



d) Kriyojenik işlemlili uygulanmamış en düşük işleme şartlarında

Şekil 4. 8. Kriyojenik ısı işleme uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile elde edilen talaş morfolojileri

Şekil 4.8'deki en yüksek ve en düşük işleme şartlarında elde edilen talaşlar birbirleri ile karşılaştırıldığında, en yüksek işleme şartlarında ilerlemenin artması ile talaş bantlarının arttığı görülmektedir. En yüksek işleme şartlarındaki Şekil a-b'deki talaşlara ait SEM görüntüleri incelendiğinde, kriyojenik ısı işleme uygulanmamış kesici takımların ve ısı işleme uygulanmamış kesici takımlarda elde edilen talaşların testere tipi ve lamelli yapılardan oluştuğu görülmektedir. Meydana gelen bu olay kesici takım ve talaş arasındaki sürtünmeden kaynaklanan deformasyondan dolayı, talaşın morfolojik yapısında testere tipi meydana gelmiştir. Genel olarak testere tipi talaşın ısı iletkenliği düşük iş parçası malzemelerinde görüldüğü bilinmektedir (Oyman, 2012). Hem kriyojenik hem de kriyojenik işleme uygulanmayan kesici takımlarda da bu tip talaş oluşmaktadır. Fakat yüksek hızlarda kriyojenik ısı işleme uygulanmayan kesici takım ile işlenmiş iş parçalarının talaşlarında elde edilen testere kısmında BUE oluşumundan kaynaklı olarak yapışkan talaş miktarı daha fazladır. Düşük kesme hızlarında elde edilen talaşların morfolojik

yapıları karşılaştırıldığında, her iki kesici takımdan elde edilen talaşların testere yapısı daha düşük fakat her iki talaşta da BUE kalıntılarına rastlanmaktadır. Buna rağmen kriyojenik ısıtım işlem uygulanmış kesici takım ile işlenen iş parçasından elde edilen talaşlara daha az yapışkan talaşlar gözlemlenmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Gerçekleştirilen bu deneysel ve tez çalışmada, kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile kuru işleme şartlarında belirlenen kesme şartlarında tormalanan AISI 304 paslanmaz çeliğinin yüzey pürüzlülüğü değerleri araştırılmıştır. Buna ek olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimum yapan kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların aşınmaları ve elde edilen talaşların morfolojileri SEM görüntüleri incelenmiştir. Tormalama deneyleri sonucunda elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır:

- İlerlemenin ve talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü artırdığını, kesme hızının artması ile önce bir düşüş daha sonra bir artış olduğu görülmüştür.
- Kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ısıtma işlemi uygulanmış kesici takımlara göre daha küçük çıktığı belirlenmiştir.
- Taguchi mixed tasarım yöntemine göre; yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etkiye sahip kesme parametresinin “ilerleme” olduğu görülmüştür. Optimum yüzey pürüzlülüğü, ısıtma işlem şartı olarak kriyojenik ısıtma işlem görmüş kesici takım ve kesme parametreleri olarak 100 m/dk. kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme ve 1 mm talaş derinliğinde olduğu tespit edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme şartlarının etki sıralaması; ilerleme bunu sırasıyla talaş derinliği, ısıtma işlem şartı ve kesme hızı şeklinde sıralandığı görülmüştür.
- Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ile ısıtma işlemi uygulanmamış kesici takım karşılaştırıldığında, kriyojenik ısıtma işlem görmüş kesici takımın daha az aşındığı görülmüştür.
- Kriyojenik ısıtma işlemi ile işlenmiş talaşların talaş morfolojileri herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamış olan kesici takım ile işlenen talaş morfolojileri karşılaştırıldığında, kriyojenik ısıtma işlem görmüş talaşlara ait dişlerin daha az olduğu ve BUE yapışkan talaş oluşumunun daha az olduğu gözlemlenmiştir.

5.2. Öneriler

Bu tez çalışmasından elde edilen veriler ışığında aşağıda belirtilen çalışma alanları ve endüstriyel uygulamalarda kullanımı faydalı olabileceği düşünülen belli başlı konular önerilmiştir.

- Paslanmaz çeliklere derin kriyojenik ısıtma işlemi uygulanarak işlenebilirliği araştırılabilir.
- Kesici takıma farklı derecelerde kriyojenik ısıtma işlemi uygulanarak kesici takım ömürleri incelenebilir.
- Farklı soğutma yöntemleri ile paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği araştırılabilir.
- Hem kriyojenik işlem hem de minimum miktarda yağlama kullanarak paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdil, K. U. Ş., & Motorcu, A. R. (2017). Nikel esaslı Waspaloy alaşımının tel erozyon yöntemiyle işlenmesinde Taguchi metodu ile yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerinin tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 195-204.
- Abebe, T., Palani, S., & Prakash, J. U. (2022). Kerf width analysis of wire electrical discharge machining of titanium alloy (Ti-6Al-4 V ELI) using response surface method. *Materials Today: Proceedings*, 62, 481-487.
- Abhilash, P. M., & Chakradhar, D. (2020). ANFIS modelling of mean gap voltage variation to predict wire breakages during wire EDM of Inconel 718. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31, 153-164.
- Abhilash, P. M., & Chakradhar, D. (2020). Surface integrity comparison of wire electric discharge machined Inconel 718 surfaces at different machining stabilities. *Procedia CIRP*, 87, 228-233.
- Acayaba, G. M. A., & De Escalona, P. M. (2015). Prediction of surface roughness in low speed turning of AISI316 austenitic stainless steel. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 11, 62-67.
- Akıncıoğlu, G., Mendi, F., Çiçek, A., Akıncıoğlu, S. (2017). Taguchi optimization of machining parameters in drilling of AISI D2 steel using cryo-treated carbide drills, *Sadhana*, 42(2), 213-222.
- Akıncıoğlu, S., Gökkaya, H., Uygur, İ. (2016). The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method, *Int J Adv Manuf Technol*, 82, 303–314.
- Akıncıoğlu, S., Mendi, F., Çiçek, A., Akıncıoğlu, G. (2013). ANN-based prediction of surface and hole quality in drilling of AISI D2 cold work tool steel, *Int J Adv Manuf Technol*, 68, 197-207.
- Akıncıoğlu, S., Gökkaya, H., & Uygur, İ. (2015). A review of cryogenic treatment on cutting tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(9-12):1609-1627.
- Akşit, İ., (2008). Plazma nitrülenmiş inconel 718' in yüksek sıcaklık oksidasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Altın, A., (2004). Nikel esaslı Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Anonim 5, <https://www.muhandisbeyinler.net/taguchi-metodu-nedir/>. [Erişim Tarihi: 6.12.2024].

- Anonim1,[https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_\(Woolf\)/14%3A_Design_of_Experiments/14.01%3A_Design_of_Experiments_via_Taguchi_Methods_-_Orthogonal_Arrays](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf)/14%3A_Design_of_Experiments/14.01%3A_Design_of_Experiments_via_Taguchi_Methods_-_Orthogonal_Arrays). [Erişim Tarihi: 2.04.2024].
- Anonim2,<chromeextension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://web.itu.edu.tr/gulmezt/Metroloji/Metroloji%20Bolum%208.pdf>. [Erişim Tarihi: 1.08.2024].
- Anonim3,<https://yamasa.com.tr/242/1/4/yamasa/yuzeyolcumparametreleri.aspx>. [Erişim Tarihi: 22.3.2024].
- Anonim4,<https://www.makelektronik.com.tr/bbk/6/sERTL%C4%B0K-Olcumned%C4%B0R-.html>. [Erişim Tarihi: 4.12.2024].
- Askeland, D. R., 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt-1, Nobel Akademik Yayıncılık.
- ASM Handbook Vol. 1. (1990). Properties and selection: irons, steels, and highperformance alloys, *ASM International*, Ohio, USA.
- Baday, ř., & Ersöz, O. (2022). Comparative investigations of cryo-treated and untreated inserts on machinability of AISI 1050 by using response surface methodology, ANOVA and Taguchi design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(3), 1751-1765.
- Baday, ř., Bařak, H., & Sönmez, F. (2017). The assessment of cutting force with taguchi design in medium carbon steel–applied spheroidization heat treatment. *Measurement and Control*, 50(4), 89-96.
- Baday, ř., Gürbüz, H., & Ersöz, O. (2023). Prediction of Cutting Forces Obtained through Cryo-Treated and Untreated Cutting Tools Using Optimum ANN Determined by Taguchi Design. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 13(2), 13-27.
- Balaji, M., Murthy, B.S.N., Rao, N.M. (2016). Optimization of Cutting Parameters in Drilling Of AISI 304 Stainless Steel Using Taguchi and ANOVA, *Procedia Technology*, 25, 1106-1113.
- Berkani, S., Athmane Yallese, M., Boulanouar, L., Mabrouki, T. (2015). Statistical analysis of AISI304 austenitic stainless steel machining using Ti(C, N)/Al₂O₃/TiN CVD coated carbide tool, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 6, 539–552.
- Bouزيدab, L., Berkania, S., Athmane Yallesea, M., Girardinc, F., Mabrouki, T. (2018). Estimation and optimization of flank wear and tool lifespan in finish turning of AISI 304 stainless steel using desirability function approach, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9, 349–368.

- Çaydaş, U., Ekici, S. (2012). Support vector machines models for surface roughness prediction in CNC turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *J Intell Manuf*, 23, 639–650.
- Çiçek, A., Kara F, Kıvak T., Ekici E. (2013). 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.
- Çiçek, A., Kıvak, T., Uygur, İ., Ekici, E., Turgut, Y. (2012). Performance of cryogenically treated M35 HSS drills in drilling of austenitic stainless steels, *Int J Adv Manuf Technol*, 60, 65–73.
- Gill, S., Singh, J., Singh, H., Singh, R. (2011). Investigation on wear behaviour of cryogenically treated TiAlN coated tungsten carbide insert in turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51, 25-33.
- Gill, S.S., Singh, J., Singh, R., Singh, H. (2012). Effect of Cryogenic Treatment on AISI M2 High Speed Steel: Metallurgical and Mechanical Characterization, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(7), 1320–1326.
- Gopal, M. (2021). Prediction of surface roughness in turning of duplex stainless steel (DSS) using response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN). *Materials Today: Proceedings*, 47, 6704-6711.
- Gönülaçar, Y.E. (2018). AISI 4140 malzemesinin tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MQL) kullanımının işlenebilirlik üzerine etkisi, *Yüksek Lisans, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman*, 62.
- Güneş, I., Cicek, A., Aslantas, K., Kara, F. (2014). Effect of Deep Cryogenic Treatment on Wear Resistance of AISI 52100 Bearing Steel, *Trans Indian Inst Met*, 67(6), 909–917.
- Gürbüz, H., & Baday, Ş. (2019). CNC torna tezgâhlarında ayna ve punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etkisinin Taguchi metodu ile optimizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 119-134.
- He, H., Li, H., Yang, J., Zhang, X., Yue, Q., Jiang, X., Lyu, S. (2017). A Study on Major Factors Influencing Dry Cutting Temperature of AISI 304 Stainless Steel, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18 (10), 1387-1392.
- Junaidh, A. P., Yuvaraj, G., Peter, J., Bhuvaneshwari, V., Kanagasabapathi, Karthik, K. (2018). Influence of Process Parameters on the Machining Characteristics of Austenite Stainless Steel (AISI 304), *Materials Today: Proceedings*, 5, 13321–13333.
- Kafkas, F., Gürbüz, H., & Şeker, U. (2022). Analysis of The Effect of Tool Geometry and Machining Parameters on Surface Integrity Properties in Turning of AISI 316L Stainless Steel by Taguchi Method. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 10(3), 391-407.

- Kaladhar, M., Venkata Subbaiah, K., Srinivasa Rao, Ch. (2011). Performance evaluation of coating materials and process parameters optimization for surface quality during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3 (4), 89-102.
- Kaladhar, M., Venkata Subbaiah, K., Srinivasa Rao, Ch. (2013). Optimization of surface roughness and tool flank wear in turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel with CVD coated tool, *Journal of Engineering Science and Technology*, 8 (2), 165-176.
- Kara, F., Karabatak, M., Ayyıldız, M., Nas, E. (2020). Effect of machinability, microstructure and hardness of deep cryogenic treatment in hard turning of AISI D2 steel with ceramic cutting, *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (1), 969-983.
- Kıvak, T., Şeker, U. (2015). Effect of cryogenic treatment applied to M42 HSS drills on the machinability of Ti-6Al-4V alloy, *Materials and technology*, 49 (6), 949-956.
- Koneshlou, M., Meshinchi, K., Khomamizadeh, F. (2011). Effect of cryogenic treatment on microstructure, mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel, *Cryogenics*, 51, 55-61. Seah, K.H.W., Rahman, M., Yong, K.H., 2003, Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts, *Proc IME B J Eng Manufact*, 217, 29-43.
- Kumar, M. V., Kumar, B. K., & Rudresha, N. (2018). Optimization of machining parameters in CNC turning of stainless steel (EN19) by Taguchi's orthogonal array experiments. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 11395-11407.
- Kumar, S., Nagraj, M., Bongale, A., Khedkar, N. (2018) Deep Cryogenic Treatment of AISI M2 Tool Steel and Optimisation of Its Wear Characteristics Using Taguchi's Approach, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 4917-4929.
- Kursuncu, B. (2020). Influence of cryogenic heat-treatment soaking period and temperature on performance of sintered carbide cutting tools in milling of Inconel 718, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 92, 105323.
- Liu, N., Liu, B., Jiang, H., Wu, S., Yang, C., & Chen, Y. (2021). Study on vibration and surface roughness in MQCL turning of stainless steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 65, 343-353.
- Mahdavinejad, R. A., Saeedy, S. (2011). Investigation of the influential parameters of machining of AISI 304 stainless steel, *Sadhana*, 36 (6), 963-970.
- Mavi, A., Korkut, I. (2014). Machinability of a Ti-6Al-4V alloy with cryogenically treated cemented carbide tools, *Materials and technology*, 48 (4), 577-580.
- Munhoz, R. R., Pereira, A. A., Sasse, A. D., Hoff, P. M., Traina, T. A., Hudis, C. A., & Marques, R. J. (2016). Gonadotropin-releasing hormone agonists for ovarian function preservation in premenopausal women undergoing chemotherapy for

- early-stage breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *JAMA oncology*, 2(1), 65-73.
- Nayak, S. K., Patro, J. K., Dewangan, S., & Gangopadhyay, S. (2014). Multi-objective optimization of machining parameters during dry turning of AISI 304 austenitic stainless steel using grey relational analysis. *Procedia Materials Science*, 6, 701-708.
- Oyman, E. (2012). *Kaplama türünün ve kesme parametrelerinin talaş şekli üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar*, 87.
- Özbek, N, A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, O. (2014). Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 86, 34-43.
- Özbek, N, A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, O. (2016b). Effect of cutting conditions on wear performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts in dry turning of stainless steel, *Tribology International*, 94, 223–233.
- Özbek, N, A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, Ö., (2016a). Application of Deep Cryogenic Treatment to Uncoated Tungsten Carbide Inserts in the Turning of AISI 304 Stainless Steel, *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International*, 47, 6270-6280.
- Padmakumar, M., Dinakaran D., Guruprasath J. (2017). Characterization of cryogenically cryogenically treated cemented carbide, *Integrated Ferroelectrics*, 185 (1), 65-72.
- Park, K., Yang, G., Lee, D.Y. (2015). Tool wear analysis on coated and uncoated carbide tools in Inconel machining, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16 (7), 1639-1645.
- Patil, N., Gopalakrishna, K., Sangmesh, B. (2020) Performance Evaluation of Cryogenic Treated and Untreated Carbide Inserts during Machining of AISI 304 Steel, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 17 (1), 7709 – 7718.
- Ross, C. A., & Ross, J. R. (1905). Late Paleozoic sea levels and depositional sequences.
- Saatçi, E., Yapan, Y. F., Uysal, M. U., & Uysal, A. (2023). Orthogonal turning of AISI 310S austenitic stainless steel under hybrid nanofluid-assisted MQL and a sustainability optimization using NSGA-II and TOPSIS. *Sustainable Materials and Technologies*, 36, e00628.
- Selvaraj, D. P., Chandramohan, P., & Mohanraj, M. (2014). Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method. *Measurement*, 49, 205-215.

- Selvaraj, D.P., Chandramohan, P. (2010). Optimization of surface roughness of AISI 304 Austenitic Stainless Steel in dry turning operation using Taguchi Desing Method, *Journal of Engineering Science and Technology*, 5 (3), 293 - 301.
- Sert, A., Celik, O.N. (2019) Characterization of the mechanism of cryogenic treatment on the microstructural changes in tungsten carbide cutting tools, *Materials Characterization*, 150, 1-7.
- Sharma, G., Dubey, V., Sharma, A. K., & Ramkumar, J. (2023). Study of cutting force in turning of AISI-304 steel using mono and hybrid graphene nanoparticles enriched cutting fluid. *Materials Today: Proceedings*.
- Shukla, A., Dubey, V., & Sharma, A. K. (2023). Comparative study of dry machining with MQL assisted soybean oil in turning operation of AISI 304 steel. *Materials Today: Proceedings*.
- Silva, F.J., Franco, S.D., Machado, A.R., Ezugwu, E.O., Jr, A.M.S. (2006). Performance of cryogenically treated HSS tools, *Wear*, 261, 674–685.
- Singh, T., Dureja, J.S., Dogra, M., Bhatti, M. S. (2018). Machining Performance Investigation of AISI 304 Austenitic Stainless Steel under Different Turning Environments, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15 (4), 5837-5862.
- Sohrabpoor, H., Khanghah, S.P., R, Teimouri. (2015). Investigation of lubricant condition and machining parameters while turning of AISI 4340, *Int J Adv Manuf Technol*, 76, 2099–2116.
- Strano, M., Albertelli, P., Chiappini, E., Tirelli, S. (2015). Wear behaviour of PVD coated and cryogenically treated tools for Ti-6Al-4V turning, *Int J Mater Form*, 8, 601–611.
- Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması, *BAÜ FBE Dergisi*, 10 (2), 3-12.
- Vaijinath, S.A., Dilip, K. (2016). A review study of MQL and dry turning of AISI 304, *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 1 (8), 235-240.
- Varghese, V., Ramesh, M.R., Chakradhar, D. (2019). Influence of deep cryogenic treatment on performance of cemented carbide (WC-Co) inserts during dry end milling of maraging steel, *Journal of Manufacturing Processes*, 37, 242–250.
- Verma, V., Kumar, J., & Singh, A. (2020). Optimization of material removal rate and surface roughness in turning of 316 steel by using full factorial method. *Materials Today: Proceedings*, 25, 793-798.

Xavior, M. A., & Adithan, M. (2009). Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of materials processing technology*, 209(2), 900-909.

Yong, AYL., Seah, K.H.W., Rahman, M. (2006). Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 2051-2056.

