



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANAN KESİCİ
TAKIMLARLA AISI 304 ÖSTENİTİK
PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyma YAKUT EKER

**Danışman
Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ**

**Temmuz-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Şeyma YAKUT EKER tarafından hazırlanan “Kriyojenik İşlem Uygulanan Kesici Takımlarla AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tornalanması” adlı tez çalışması 26/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Danışman

Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

Üye

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (BTÜBAP) tarafından BTÜBAP-2020-YL-02 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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 bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Şeyma YAKUT EKER

Tarih: 26.07.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANAN KESİCİ TAKIMLARLA AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASI

Şeyma YAKUT EKER

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

2022, 96 Sayfa

Jüri

Danışman Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Bu çalışmada, farklı kesme parametrelerinde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla kuru ve MQL uygulaması kullanılarak AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalama işlemleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla kesici takımlara -146 °C’de 24 saat derin kriyojenik işlem ile 2 kez temperleme işlemi (200 °C’de 2 saat) uygulanmıştır. Tornalama deneyleri dört farklı kesme hızı (160, 190, 220, 250 m/dak) dört farklı ilerleme (0,1, 0,15, 0,2, 0,25 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (2 mm) parametreleri ile yapılmıştır. Kesici takım aşınma deneyleri, 250 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm sabit kesme derinliği parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemesinin tornalanmasında kriyojenik işlemin, MQL uygulamasının ve kesme parametrelerinin etkilerini tespit edebilmek için kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması, kesici takım titreşimi, talaş morfolojisi ve mikrosertlik incelenmiştir. Kriyojenik işlemin, kesici takımın mikrosertliğini %20 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. MQL koşulları altında kriyojenik işleme tabi tutulmuş takımlarda takım aşınmasının, MQL uygulaması kullanılmamış ve kriyojenik işlem görmemiş takımlara göre daha az olduğu görülmüştür. Tornalama deneylerinde ilerleme arttıkça esas kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin arttığı, kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğün ve titreşimin azaldığı tespit edilmiştir. İşleme deneylerinde oluşan talaşlar incelendiğinde, tüm kesme koşullarının düşük kesme parametrelerinde sürekli talaş elde edilirken yüksek kesme parametrelerinde süreksiz talaş elde edilmiştir. Genel olarak tüm işleme koşullarında MQL uygulamasının ve kriyojenik işlemin birlikte kullanıldığı deneylerde işleme performansları diğer koşullara göre daha iyi olduğu elde edilen verilerle tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 304, Esas Kesme Kuvveti, Kriyojenik İşlem, Minimum Miktarda Yağlama, Takım Aşınması, Titreşim, Tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü

ABSTRACT

MS THESIS

TURNING OF AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL WITH CRYOGENIC TREATMENT APPLIED CUTTING TOOLS

Şeyma YAKUT EKER

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

2022, 96 Pages

Jury

Advisor Assoc. Prof. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

In this study, turning operations of AISI 304 austenitic stainless steel were experimentally investigated using dry and MQL application with cutting tools with and without cryogenic treatment at different cutting parameters. For this purpose, the cutting tools were tempered twice (2 hours at 200 °C) with a deep cryogenic treatment at -146 °C for 24 hours. Turning experiments were conducted with four different cutting speed (160, 190, 220, 250 m/min) four different feed (0.1, 0.15, 0.2, 0.25 mm/rev) and fixed depth of cut (2 mm) parameters. The cutting tool wear tests were carried out with 250 m/min cutting speed, 0.1 mm/rev feed and 2 mm fixed depth of cut parameters. In the experiments, cutting forces, surface roughness, cutting tool wear, cutting tool vibration, chip morphology and microhardness were investigated in order to determine the effects of cryogenic treatment, MQL application and cutting parameters in turning of AISI 304 austenitic stainless steel material. Cryogenic treatment was found to increase the microhardness of the cutting tool by 20%. It was observed that tool wear with cryogenically treated tools under MQL conditions was less than the tool wear of untreated tools and without MQL conditions. In the turning experiments, it was determined that as the feed rate increased, the main cutting force, surface roughness and vibration increased, and with the increase in cutting speed, the main cutting forces, surface roughness and vibration decreased. When the chips formed in the machining experiments were examined, while continuous chip was obtained at low cutting parameters of all cutting conditions, discontinuous chips were obtained at high cutting parameters. In general, in experiments where MQL application and cryogenic process were used together in all machining conditions, the machining performances were better than the other conditions.

Keywords: AISI 304, Main Cutting Force, Minimum Quantity Lubrication (MQL), Tool Wear, Vibration, Turning, Surface Roughness

ÖNSÖZ

“Kriyojenik İşlem Uygulanan AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Tornalanması” başlıklı yüksek lisans tez çalışması Giriş, Literatür Araştırması, Genel Bilgiler, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışma ile Sonuçlar ve Öneriler olmak üzere 6 (altı) bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde; AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklere, kriyojenik işleme, minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemine ve tornalama işlemlerine yer verilmiştir. Literatür Araştırması bölümünde; bu çalışma ile ilgili daha önceden yapılmış bilimsel çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde; çalışmada kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğe, kriyojenik işlemin ve temperleme işleminin uygulanmasına, MQL uygulaması ve debisinin belirlenmesine, kesici takım ve kesme parametrelerine, çalışma için kullanılan tezgâh ve cihazlara yer verilmiştir. Araştırma ve Tartışma bölümünde; kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların mikrosertlikleri, kesici takıma yapışan talaşların ve deneyler sırasında oluşan talaşların SEM ve EDS analizleri ve yapılan deneyler sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, kesici takım aşınmaları, kesici takım titreşimleri ve talaş morfolojisi incelenmiştir. Sonuçlar ve Öneriler bölümünde; yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara ve daha sonra yapılacak çalışmalar için önerilere değinilmiştir.

Yüksek lisans çalışmam boyunca desteğini ve tecrübesini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ’e, çalışmalarım esnasında yardımlarını eksik etmeyen Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY’a, deneylerin yapımında yardımlarından dolayı Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Prof. Dr. İhsan KORKUT’a ve Arş. Gör. Bahattin YILMAZ’a teşekkür ederim.

Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi (BTÜBAP) tarafından BTÜBAP-2020-YL-02 nolu proje kapsamında yaptığım çalışmalara desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, benden maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen annem Ziyaver YAKUT’a, babam Hasan YAKUT’a, kardeşlerim Merve Eda YAKUT, Özgür YAKUT, Ali Nadir YAKUT ve eşim Cemal EKER’e minnet ve sevgilerimi sunarım.

Şeyma YAKUT EKER
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2. Kriyojenik İşlem Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	6
2.3. Minimum Miktarda Yağlama Uygulaması Üzerine Yapılan Çalışmalar	14
3. GENEL BİLGİLER.....	16
3.1. Paslanmaz Çelik.....	16
3.1.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması	17
3.1.2. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik	21
3.2. Talaşlı İmalat ve İşlenebilirlik	21
3.2.1. Tornalama	22
3.2.2. Yüzey pürüzlülüğü.....	29
3.2.3. Aşınma	32
3.2.4. Titreşim	35
3.3. Kriyojenik İşlem	35
3.3.1. Kriyojenik işlem parametreleri	36
3.3.2. Kriyojenik işlemin etkileri	39
3.3.3. Kriyojenik işlemin kullanım alanları	40
3.4. Minimum Miktarda Yağlama	41
3.4.1. Harici MQL (minimum miktarda yağlama) sistemi	42
3.4.2. Dahili MQL (minimum miktarda yağlama) sistemi	42
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	43
4.1. İş Parçası Malzemesi	43
4.2. Takım Tezgâhı	43
4.3. Kesici Takımlar ve Takım Tutucu	45
4.4. Kesme Parametreleri.....	45
4.5. Kriyojenik İşlem Uygulanması	47

4.6. Minimum Miktarda Yağlama	47
4.6.1. MQL sistem uygulanması ve debisinin belirlenmesi.....	49
4.7. Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü	49
4.8. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü.....	50
4.9. Kesici Takımlardaki Aşınma Ölçümü	52
4.10. Titreşim Ölçümü	54
4.11. Mikrosertlik Ölçümü.....	54
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	55
5.1. Esas Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	55
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	58
5.3. Titreşim Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	61
5.4. Kesici Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi.....	63
5.5. Talaş Morfolojisinin Değerlendirilmesi.....	72
5.6. Mikrosertlik Analizi.....	84
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
6.1. Sonuçlar	85
6.2. Öneriler	87
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3. 1. Tornalama işleminin şematik gösterimi	22
Şekil 3. 2. Ortogonal kesmede ısı üretim bölgeleri	24
Şekil 3. 3.Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin diyagramı	31
Şekil 3. 4. Aşınmış kesici takımın ana konumlarını ve meydana gelen aşınma tiplerini gösteren diyagram.....	33
Şekil 3. 5. Bir tornalama işlemindeki kesme kuvvetlerinin gösterimi.....	34
Şekil 3. 6.Kontrollü bir şekilde uygulanan kriyojenik işlemin şematik gösterimi	38
Şekil 3. 7. Talaş kaldırma işlemlerinde kriyojenik uygulamalarının çalışma alanları ve sınıflandırılması	40
Şekil 3. 8. Minimum miktarda yağlamada harici ve dahili püskürtme.....	41
Şekil 4. 1. JohnFord TC35 CNC torna iç ünitesi.....	44
Şekil 4. 2. JohnFord TC35 CNC torna tezgâhı.....	44
Şekil 4. 3. WNMG 080408-OMM kesici uç ve geometrik özellikleri	45
Şekil 4. 4. PWLNR 2525M08 takım tutucu	45
Şekil 4. 5. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme işlemleri	47
Şekil 4. 6. UFB20-Basic MQL sistemi.....	48
Şekil 4. 7. MQL sistemi.....	48
Şekil 4. 8. Kuvvet Ölçüm Ekipmanları.....	50
Şekil 4. 9. Dynoware programı ile kesme kuvvetlerinin ölçüm görüntüsü	50
Şekil 4. 10. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği.....	51
Şekil 4. 11. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ekranı.....	51
Şekil 4. 12. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	52
Şekil 4. 13. Dino-Lite optik mikroskop.....	53
Şekil 4. 14. Jeol JSM-6060LV taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı.....	53
Şekil 4. 15. PCE-VM3D titreşim ölçme cihazı	54
Şekil 4. 16. Sertlik ölçme cihazı	54
Şekil 5. 1. İlerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetleri kuvvetlerindeki değişim a) V=160 m/dak b) V=190 m/dak c) V=220 m/dak d) V=250 m/dak	55

Şekil 5. 2. Kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetlerindeki değişim a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,15$ mm/dev c) $f=0,2$ mm/dev d) $f=0,25$ mm/dev.....	56
Şekil 5. 3. İlerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim a) $V=160$ m/dak b) $V=190$ m/dak c) $V=220$ m/dak d) $V=250$ m/dak	58
Şekil 5. 4. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişim a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,15$ mm/dev c) $f=0,2$ mm/dev d) $f=0,25$ mm/dev.....	59
Şekil 5. 5. İlerlemeye bağlı olarak kesici takım titreşim ivmesindeki değişim a) $V=160$ m/dak b) $V=190$ m/dak c) $V=220$ m/dak d) $V=250$ m/dak	61
Şekil 5. 6. Kesme hızına bağlı olarak kesici takım titreşim ivmesindeki değişim a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,15$ mm/dev c) $f=0,2$ mm/dev d) $f=0,25$ mm/dev	62
Şekil 5. 7. Takım ömrü deneylerinde kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımın (K) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü	64
Şekil 5. 8. Takım ömrü deneylerinde kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın (Kİ) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü	64
Şekil 5. 9. Takım ömrü deneylerinde MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımın (M) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü	64
Şekil 5. 10. Takım ömrü deneylerinde MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın (Mİ) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü	65
Şekil 5. 11. Tüm işleme şartlarında elde edilen kesici takım aşınmalarının SEM görüntüleri.....	67
Şekil 5. 12. İşleme koşulları ve talaş kaldırma hacmine göre aşınma değerlerinin değişimi $V=250$ m/dak, $f=0,25$ mm/dev ve $a=2$ mm.....	68
Şekil 5. 13. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi yeri.....	69
Şekil 5. 14. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmış takımdan alınan EDS analizi yeri.....	70
Şekil 5. 15. Kesici takım aşınma deneylerinde MQL işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi yeri.....	71
Şekil 5. 16. Kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem görmemiş kesici takım ile elde edilen talaşlar a) $V=160$ m/dak $f=0,1$ a=2 mm b) $V=250$ m/dak $f=0,25$ a=2 mm.....	72
Şekil 5. 17. Kuru işleme şartlarda kriyojenik işlem görmüş kesici takım ile elde edilen talaşlar a) $V=160$ m/dak $f=0,1$ a=2 mm b) $V=250$ m/dak $f=0,25$ a=2 mm	72
Şekil 5. 18. MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem görmemiş kesici takım ile elde edilen talaşlar a) $V=160$ m/dak $f=0,1$ a=2 mm b) $V=250$ m/dak $f=0,25$ a=2 mm.....	73

Şekil 5. 19. MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem görmüş kesici takım ile elde edilen talaşlar a) $V=160$ m/dak $f=0,1$ $a=2$ mm b) $V=250$ m/dak $f=0,25$ $a=2$ mm.....	73
Şekil 5. 20. 160 m/dak kesme hızı 0,1 ilerleme ve 2 mm kesme derinliği işleme şartlarında elde edilen talaşların SEM görüntüleri	74
Şekil 5. 21. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme, 2 mm kesme derinliği işleme şartlarında elde edilen talaşların SEM görüntüleri	75
Şekil 5. 22. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri	76
Şekil 5. 23. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri.....	77
Şekil 5. 24. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri.....	78
Şekil 5. 25. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri.....	79
Şekil 5. 26. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri	80
Şekil 5. 27. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri	81
Şekil 5. 28. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri.....	82
Şekil 5. 29. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri.....	83
Şekil 5. 30. Kesici takımlara ait mikrosertlik ölçümü sonuçları	84

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 4. 1. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin % kimyasal bileşimi	43
Tablo 4. 2. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	43
Tablo 4. 3. JohnFord TC35 CNC torna tezgâhının özellikleri	44
Tablo 4. 4. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	46
Tablo 4. 5. Tornalama işlemlerinin deney şeması.....	46
Tablo 4. 6. MQL sistemi için kullanılan yağ özellikleri	48
Tablo 5. 1. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi sonucu.....	69
Tablo 5. 2. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi sonucu.....	70
Tablo 5. 3. Kesici takım aşınma deneylerinde MQL işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi sonucu.....	71
Tablo 5. 4. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri.....	76
Tablo 5. 5. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu	77
Tablo 5. 6. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu	78
Tablo 5. 7. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu	79
Tablo 5. 8. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu	80
Tablo 5. 9. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu.....	81
Tablo 5. 10. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu	82
Tablo 5. 11. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Kesme derinliği (mm)
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cr	: Krom
D	: İş parçası çapı (mm)
f	: İlerleme (mm/dev)
F_c	: Esas kesme kuvveti (N)
F_f	: İlerleme kuvveti (N)
F_r	: Radyal kuvvet
N	: devir sayısı (mm/dev)
N	: Azot
Ni	: Nikel
Nb	: Niyobyum
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
V	: Kesme hızı (m/dak)
V_b	: Kesici takım ortalama serbest (yan) yüzey aşınması

Kısaltmalar

AISI : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institue)

BUE : Yığıntı Talaş (Built-up Edge)

BCC : Hacim merkezli kübik kristal yapı (Body Centered Cubic)

CNC : Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)

FCC : Yüzey merkezli kübik yapı (Face Centered Cubic)

ISO : Uluslararası Standartlar Teşkilatı

MQL : Minimum Miktarla Yağlama (Minimum Quantity Lubrication)

PVD : Fiziksel buhar biriktirme (Physial Vapor Deposition)

SEM : Tarama Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinin elzem malzemesi olan paslanmaz çeliklerin gelişim ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Paslanmaz çelikler, otomotiv, sağlık, inşaat, gıda, ilaç endüstrisi gibi pek çok alanda kullanımı hızla yayılmakta olan bir malzemedir. Yüksek korozyon direnci, düşük ısı iletkenlik ve mekanik özellikleri gibi temel nitelikleri sebebiyle imalat sektöründe geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Östenitik paslanmaz çelik, paslanmaz çelik ailesinin en çok tercih edilen çelik grubudur (Kaladhar ark., 2011). Üretilen toplam paslanmaz çelikler içerisinde östenitik paslanmaz çelikler %70'ten fazla bir paya sahiptir (Pereira ark., 2016). Östenitik paslanmaz çelikler günlük yaşamımızda çeşitli yönleri ve kullanım alanları ile önemli bir yer edinmiştir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında en yaygın kullanılan kalite, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliktir (Kaladhar ark., 2011). Yüksek pekleşme, yüksek süneklik, yüksek sıcaklık dayanımı, zayıf termal iletkenlik, mükemmel korozyon direnci, yüksek mukavemet ve yüksek mekanik özelliklerine sahip olan AISI 304, günümüzde pek çok farklı alanda tercih edilen bir çelik türüdür (Özek ark., 2006; Kaladhar ark., 2013). Bünyesinde barındırdığı özellikler ve bileşimindeki alaşımlar sebebiyle işlenebilirliği güç bir malzeme olarak nitelendirilirler. Kullanım alanı oldukça geniş olan AISI 304 paslanmaz çelikler şaftlar, somun, vida, civata, bağlantı elemanları, gıda ve içecek endüstrisi, tıp, havacılık ve savunma sanayi gibi çoğu endüstriyel uygulamalarında kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan bir malzeme grubudur (Tekaslan ark., 2008; Kaladhar ark., 2011; Kaladhar ark., 2012; Çaydaş ve Ekici, 2012; Balaji ark., 2016).

Kriyojenik işlem, konvansiyonel ısı işleme ek olarak malzemelere uygulanan tümleyici bir işlemdir. Soğuk işlem ve sıfır altı işlem olarak da bilinen kriyojenik işlem malzemelerin çok düşük sıcaklıklara kademeli olarak çoğunlukla sabit bir soğutma hızında düşürüldükten sonra belli bir süre bu sıcaklıklarda bekletilip ardından kademeli olarak tekrar aynı sabit soğutma hızında oda sıcaklığına yükseltilmesi olarak tarif edilebilir (Kıvak ve Şeker, 2015; Özbek ark., 2016). Bu işlem, -80°C ile -196°C arası sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Uygulandığı sıcaklığa göre -80°C ve -140 °C sıcaklıkları arası sığ işlem -140 °C ve -196°C sıcaklıkları arası derin kriyojenik işlem olarak adlandırılır (Akıncıoğlu ve ark., 2015). Kriyojenik işlem, uygulandığı malzemeye sertlik, tokluk, korozyon ve aşınma dayanımı gibi istenilen özellikleri kazandırır (Akıncıoğlu ark., 2015; Akıncıoğlu ark., 2016; Kara ark., 2020).

Tornalama işlemi metal şekillendirme uygulamalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olmakla birlikte endüstrideki üretim süreçlerinin çoğunda birincil işlemdir (Çaydaş ve Ekinci, 2012; Sohrabpoor ark., 2015). Uzun yıllardır imalat sektöründe gerçekleştirilen ve önemini halen devam ettiren bir geleneksel imalat yöntemidir. Geleneksel imalat yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biride kesici takım ömrüdür. Çünkü temel amacı minimum maliyet ile yüksek yüzey kalitesi elde etmek olan imalat işlemlerinde kesici takım önemli bir unsurdur. Kesici takımların geliştirilmesi hem verimliliği hem de hizmet ömrünü arttıran ekonomik bir faktördür (Sert ve Çelik, 2019). Talaşlı imalat işlemlerinde kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıklar kesici takımda aşınmalara ve bu aşınmaların artmasına neden olur. Bu durum ürün kalitesini düşürürken maliyetin de artmasına sebebiyet verir (Vaijinath ve Dilip, 2016; Gönülaçar, 2018). Bu olumsuzluk özellikle kesme sıvısı kullanılmayan ve işlenebilirliği zor olan malzemelerin en büyük problemlerinden biridir. Bu problemin giderilmesi, kesici takımın iyileştirilmesi ve işlem verimliliğinin artırılması adına yıllardır pek çok yöntem kullanılmaktadır. Dolayısıyla kesici takımın hizmet ömrünü uzatmak, işlem gerçekleştirilirken çevreye verilen hasarı hafifletmek ve işlem maliyetini azaltmak kullanılacak yöntemden arzu edilen özelliklerdir (Kurşuncu, 2020). Bu noktada yarı kuru olarak da isimlendirilen çok az miktarda kesme sıvısı kullanılarak yapılan ve geleneksel yağlama/soğutma sisteminin alternatifi olarak düşünülen minimum miktarda yağlama (MQL) yöntemi ön plana çıkmaktadır (Rahim ve Sasahara, 2011). Bu yöntemde kullanılan kesme yağının çoğu buharlaştığı için çevre ve işçi sağlığına geleneksel soğutma tekniklerine göre daha az zarar verir (Yıldırım ark., 2019). Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalara göre minimum miktarda yağlama yöntemi kesme kuvvetleri ve sıcaklığı düşüren kesici takım ömrünü uzatan ve yüzey kalitesini iyileştirme açısından diğer yöntemlere kıyasla daha üstün performans sağlayan bir yöntem olduğu belirtilebilir (Gönülaçar, 2018).

Tornalama işlemlerinde en çok araştırılan ve incelenen deneysel sonuçların arasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve kesici takım aşınması yer almaktadır. Çünkü bu deneysel sonuçlar işleme maliyeti ve yüzey kalitesi üzerinde önemli etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Literatür araştırmaları ışığında kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının tornalama işlemlerinde elde edilen deneysel sonuçlar üzerinde büyük katkıları olduğu anlaşılmaktadır. İşlenebilirliği zor olmanın yanında

oldukça yaygın kullanılan AISI 304 iş parçası malzemesinin işlenmesinde kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının büyük katkıları olacağı düşünülmektedir. Bu yüzden, bu çalışmanın amacı, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme maliyetlerini azaltmak ve işleme performansını yükseltmek için kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin, MQL uygulamasının ve kesme parametrelerinin deneysel sonuçlar üzerindeki etkilerini araştırmak ve en iyi işleme şartlarını elde etmektir. Bu sebeple mevcut çalışmada kriyojenik işlem ve MQL uygulamasının AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanması ile oluşan kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması, kesici takım titreşimi, talaş morfolojisi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Üzerine Yapılan Çalışmalar

Özek ve ark. (2006), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliği hakkında bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada farklı girdi parametreleri kullanarak bu değerlerin AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanması ile yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve takım talaş ara yüz sıcaklıkları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında üç farklı kesme hızı 100 m/dak, 150 m/dak ve 200 m/dak, üç farklı ilerleme 0,1 mm/dev 0,2 mm/dev ve 0,4 mm/dev ve üç farklı kesme derinliği 0,5 mm, 1 mm, 2 mm değerlerini kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri deney sonuçlarına göre kesme hızının artması ile sıcaklığın ve yan yüzey aşınmasının azaldığını tespit etmişlerdir. Takım talaş ara yüz sıcaklığın en fazla olduğu noktanın, 100 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme ve kesme derinliğinin 2 mm şartlarında 365°C olduğunu bulmuşlardır. Kesme derinliğinin sıcaklık değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. İlerleme ve kesme derinliği artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin de arttığını belirtmişlerdir.

Kaladhar ve ark. (2011), PVD kaplamalı sermet kesici uç ile AISI 304 östenitik paslanmaz çelik tornalamasında Taguchi tekniğini kullanarak işleme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisini bulmak ve optimum işleme parametrelerinin tespitini yapmayı amaçlamışlardır. Deneyler için dört farklı kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve iki farklı kesici takım burun yarıçapı kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğün en az olduğu işleme kombinasyonu 150 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme, 2 mm kesme derinliği ve 0,4 mm burun yarıçapı parametrelerini kullanarak elde etmişlerdir. Yaptıkları deney sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü açısından en etkili parametrelerin sırasıyla ilerleme ve kesici takım burun yarıçapı olduğunu belirtmişlerdir.

Selvaraj ve Chandramohan (2010), TiC ve TiCN kaplı tungsten karbür kesici uçlar ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tornalama işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Deneyler için üç farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerleri kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreler sırasıyla ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği olduğunu tespit etmişlerdir.

Kaladhar ve ark. (2013), CVD kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanarak AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği tornalama esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımın serbest yüzey aşınmasına etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada dört farklı kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve iki farklı takım burun yarıçapı değeri kullanmışlardır. Yapılan çalışmaya göre en az yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınmanın en az olduğu işlem parametreleri kombinasyonu kesme hızının 150 m/dak, ilerlemenin 0,15 mm/dev, kesme derinliğinin 0,5 mm ve takım burun yarıçapı 0,8 mm değerleri olan işlemede elde edilmiştir. Sonuçlar ışığında kesme hızının sırasıyla serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre olduğunu tespit etmişlerdir.

Bouزيد ve ark. (2018), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin finiş tornalama işleminde çok katmanlı Ti(C,N)/Al₂O₃/TiN kaplamalı karbür kesici uçlu takım kullanarak kesme hızı, ilerleme ve kesme süresinin yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre kesme süresi artması ile serbest yüzey aşınmasının arttığı görmüşlerdir. Serbest yüzey aşınması sırasıyla en çok kesme süresinden daha sonra kesme hızından etkilendiğini belirtmişlerdir.

Junaidh ve ark. (2017), AISI 304 iş parçasını 50 m/dak, 100 m/dak, 150 m/dak, 200 m/dak dört farklı kesme hızı, 0,05 mm/dev, 0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev, üç farklı ilerleme, 0,5 mm kesme derinliği değerleri kullanarak kaplamasız karbür takım ile tornalamışlardır. Yapılan deneylere göre ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğün düştüğünü gözlemlemişlerdir. Yazarlar bu çalışma ile AISI 304 iş parçasının doğru kesme parametreleri ile işlem performansının iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Mahdavinejad ve Saeedy (2011), AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemesinin kuru ve ıslak işlemeyle dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değerlerinde tornalama işlemini yapılarak kesme parametrelerinin kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, kesme hızının serbest yüzey aşınması üzerinde önemli bir etkisi olduğunu, serbest yüzey aşınmanın AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin düşük ısı iletkenliği özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün ana nedeninin genellikle ilerleme olduğunu tespit eden araştırmacılar yüzey pürüzlülüğünü düşürmenin yolunu ilerleme değerini azaltmak ve aynı zamanda kesme hızını yükseltmekle gerçekleştirebildiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar düşük ilerleme ve

yüksek kesme hızı değerlerinde gerçekleştirilen tornalama işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri ve titreşimlerin azaldığını bulmuşlardır.

Berkani ve ark. (2015), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin Ti (C,N)/Al₂O₃/TiN CVD kaplamalı karbür kesici takımlar ile kuru tornalama şartlarında dört farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerleri kullanılarak deneyler yapmışlardır. Bu çalışmada kesme parametrelerinin AISI 304 malzemesinin işlenebilirliği üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Gerçekleştirilen deneyler ışığında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğunu bunu sırasıyla kesme derinliği ve kesme hızının takip ettiğini belirtmişlerdir. Kesme derinliğinin kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirten yazarlar, kesme hızının yüksek ilerlemenin düşük tutulduğu işlemlerde kesme kuvvetinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

He ve ark. (2017), yaptıkları araştırmada kuru kesme şartlarında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanması sırasında ortaya çıkan kesme sıcaklıklarını incelemişlerdir. TiN kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların kullanıldığı çalışmada üç farklı kesme hızı (75, 170, 265 m/dak), üç farklı ilerleme (0,1 - 0,2 - 0,3 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (0,8 - 1,2 - 1,6 mm) değerleri ile deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre hem kaplamalı hem kaplamasız kesici takımlarda kesme sıcaklıklarının artışı, kesme hızı ve ilerleme değerlerinin artması ile açıklamışlardır. Ancak kaplamasız kesici takımların, TiN kaplamalı kesici takımlara kıyasla meydana gelen kesme sıcaklıklarının daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme derinliği 0,8 - 1,5 mm değerleri aralığında kullanıldığında kesme sıcaklıklarının önce belli bir miktar arttığı ardından azaldığını vurgulamışlardır.

Singh ve ark. (2018), PVD kaplamalı karbür kesici takımlar ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru, ıslak ve nano akışkan MQL ile tornalama deneyleri yaparak işleme performansını incelemişlerdir. Gerçekleştirdikleri deneylerde nano akışkan MQL ile yapılan işlemlerin kuru işleme ve ıslak işlemeye kıyasla daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir.

2.2. Kriyojenik İşlem Üzerine Yapılan Çalışmalar

Gill ve ark. (2011), TiAlN kaplı tungsten karbür uçların kriyojenik işlem sonrası işleme performansını incelemek amacıyla yaptıkları deneyler sonrasında derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış karbür uçların aksine sığ kriyojenik işlenmiş karbür uçların işleme performansları çok daha iyi sonuç verdiğini rapor

etmişlerdir. Yapılan deneylere göre yüksek kesme hızlarında (130, 150 ve 180 m/dak) sığ ve derin kriyojenik işleme tabi tutulan kesici uçlar aşınmaya karşı önemli bir oranda direnç gösterdiğini dolayısıyla kesici takım ömrünün de arttırılabileceğini tespit etmişlerdir. Sığ kriyojenik işlem görmüş kesici takımların takım ömrü açısından işlem görmemiş takımlara kıyasla %25,5 oranında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme hızının azalmasıyla kesici takım ömründe bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. SEM analizleri sonucunda kriyojenik işlemin kesici takım aşınmalarına karşı direnç gösterdiğini dolayısıyla kesici takım ömrünü arttırdığını tespit etmişlerdir. Düşük kesme hızlarında sığ kriyojenik işlem, yüksek kesme hızlarında ise derin kriyojenik işlemin kesici takım ömrünü arttırdığı aynı zamanda sığ kriyojenik işlem görmüş kesici uçların tornalama esnasında daha az titreşim oluştuğunu deneylerle tespit etmişlerdir.

Seah ve ark. (2003), kriyojenik işlemin tungsten karbür kesici uçlara etkisi ile ilgili yaptıkları çalışmalar sonucunda genel olarak kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür takımların kriyojenik işlem uygulanmayan takımlara kıyasla aşınmaya karşı daha iyi bir direnç gösterdiklerini ve yüksek kesme hızları şartlarında daha iyi performans sergilediklerini belirtmişlerdir.

Yong ve ark. (2006), kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür kesici takımlar ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımlar ile orta karbonlu çeliğin ortogonal tornalanması esnasındaki takım performanslarını incelemişlerdir. Kesme derinliği ve ilerleme miktarı sabit tutulup kesme hızını 150 m/dak ile 300 m/dak arasında kullanılan işleme deneylerin sonuçlarına göre kesme hızının 300 m/dak'ya varmadığı süreçte kriyojenik işlem uygulanan kesici takımların, kriyojenik işlem uygulanmayan kesici takımlara kıyasla daha az yan yüzey aşınmasına uğradığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, kriyojenik işlem görmüş kesici takımların uzun süreli kesme işlemleri esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmaları halinde üstün özelliklerini kaybedebileceğini yapılan deneylere dayanarak belirtmişlerdir.

Silva ve ark. (2006), endüstride kriyojenik işlem uygulanan HSS takımlar kullanıldığında takım ömründe %92 den %817'ye kadar bir artışla daha verimli olduğunu belirtmişler ve yaptığı deneyler sonucunda genel olarak kriyojenik işlemin kesici takımlar üzerinde pozitif etkiler sağladığını rapor etmişlerdir.

Koneshlou ve ark. (2011), kriyojenik işlemin AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yazarlar, derin kriyojenik işlemin iş parçası malzemesinin iç yapısında daha düzgün ve çok ince karbür

parçacıklarının çökmesine neden olduğu ve AISI H13 takım çeliğinin mekanik özelliklerinde önemli bir gelişmeye katkı olduğunu bulmuşlardır.

Candane ve ark. (2013), kriyojenik işlemin AISI M35 HSS'nin mikroyapı ve aşınma özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. AISI M53 HSS malzemesine sırasıyla birkaç işlem uygulamışlardır. Önce numuneleri 1200°C sıcaklığında konvansiyonel ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır daha sonra -85°C de 8 saat süren bir sıg kriyojenik işlem uygulamasının ardından numuneler 0,5°C/dak hızla sıcaklığı düşene kadar soğutulup tekrar aynı hızda oda sıcaklığına geri getirmişlerdir. Bu uygulamalardan sonra numunelere 200°C de 90 dakika süren bir temperleme işlemi yapmışlardır. Yapılan deney sonuçlarına göre çelikte bulunan yumuşak östenitik faz oranı, sıg kriyojenik işlemle %4-5, derin kriyojenik işlemle %1'e düşürülmüştür. Ayrıca araştırmacılar malzemedeki tokluk ve sertlik değerlerini de incelemişlerdir. Yapılan kriyojenik işlemle malzemelerin tokluk değerlerinde bir değişiklik olmadığını yapılan fraktografi sonuçları ile desteklemişlerdir. Yaptıkları aşınma testlerine göre aşınma direncinin kriyojenik işlemle arttığını tespit etmişlerdir.

Çiçek ve ark. (2013), kriyojenik işlem uygulanan AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin seramik uçlar ile işlenebilirliği üzerine bir araştırma yapmışlardır. Kullanılacak numuneleri üç kategoriye göre hazırlamışlardır. Bunlar; geleneksel ısıtma işlem, kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem gören ardından temperlenmiş numunelerdir. Tornalama deneylerinde, dört farklı kesme hızı 150, 200, 250 ve 300 m/dak, üç farklı ilerleme miktarı 0,08 – 0,12 – 0,16 mm/dev ve sabit 0,3 kesme derinliği değerlerini seçmişlerdir. Yapılan deneylere göre tüm numunelerde kesme hızının artması ile kesme kuvvetinin azaldığını tespit etmişlerdir. İş takım çeliğinin tornalanması sırasında kesme kuvveti değerleri üzerinde ilerlemenin kesme hızından daha fazla etki ettiğini elde edilen deney verileri yardımı ile belirtmişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları deneylere göre 300 m/dak kesme hızında takımın hızlı aşınması nedeniyle yüzey pürüzlülük ve kesme kuvvetinde belli bir artış olduğunu mevcut çalışmalarında rapor etmişlerdir.

Akıncıoğlu ve ark. (2017), kriyojenik işlem gören karbür matkaplarla AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delme işlemi ile oluşan ilerleme kuvveti (Ff) ve yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etki eden işleme parametrelerini optimize etmek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Kriyojenik işlem gören matkapların artan aşınma dirençleri sayesinde kriyojenik işlem görmemiş matkaplara kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme kuvveti sağladığını belirtmişlerdir.

Akıncıoğlu ve ark. (2013), bu çalışmalarında kriyojenik işlemin kesici takımlar üzerindeki etkilerini ve performans değerlerini araştırmışlardır. Kriyojenik işlemin yaygın olarak kullanılan bir ısıtım işlem yöntemi olduğunu belirten yazarlar, kesici takımın termal iletkenliğini arttırdığı dolayısıyla aşınma direncinin de artmasında yardımcı olduğunu vurgulamışlardır. Aşınma direncindeki gelişimin yanı sıra kriyojenik işlemin, kesme kuvvetlerini de azalttığı ve bunun sonucunda yüzey kalitesinin arttığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, kriyojenik işlemin kesici takımların mekanik özelliklerinin iyileştirerek takım ömrünü arttırdığını yaptıkları araştırma ışığında açıklamışlardır.

Özbek ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, derin kriyojenik işlemin farklı bekletme sürelerinin kesici takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Kuru kesme şartlarında sabit ilerleme (0,3 mm), sabit kesme derinliği (2,4 mm) ve 100, 120, 140, 160 m/dak olmak üzere dört farklı kesme hızı değerleri kullanılarak AISI 316 östenitik paslanmaz çelik malzemesi ile tornalama operasyonları yapmışlardır. Deneyler için -145°C'de 12, 24, 36, 48 ve 60 saat boyunca kriyojenik işleme tabi tutulan kesici takımlar kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre, derin kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlar artan sertlik değerleri, aşınma direnci ve termal iletkenlikleri ile kriyojenik işlem görmemiş kesici takımlara kıyasla daha iyi bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucu 24 saat kriyojenik işlem gören kesici takımın en üstün aşınma direnci performansı sergilediğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar 100 ve 120 m/dak kesme hızlarında yığıntı talaş oluşumu nedeniyle kesici takımda çentik aşınması, diğer tüm işleme parametreleri kombinasyonlarında serbest yüzey aşınması ve krater aşınması oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Akıncıoğlu ve ark. (2016), mevcut çalışmalarında sıg ve derin kriyojenik işleme tabi tutulan kesici takımlar kullanılarak Hastelloy C22 süper alaşım malzemesinin tornalamasında kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin incelenmesi amacıyla Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Üç farklı kesme hızı (30, 60 ve 90 m/dak), üç farklı ilerleme (0,1 - 0,2 - 0,3 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliği parametreleri kullanmışlardır. Deneyler sonucunda kesme hızı değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğünü vurgulayan yazarlar, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en baskın parametre olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar aşınma direncinin hem sıg hem de derin kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarda arttığını ortaya koymuşlardır.

Özbek ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada derin kriyojenik işlem uygulanan kaplamasız tungsten karbür kesici uçlar ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneylere göre derin kriyojenik işlemin kesici takımların mikroyapısındaki karbür miktarının artması ve homojen dağılmasıyla sertlik ve aşınma direncini arttırdığını belirten yazarlar bunu yaptıkları testlerde işlenmiş kesici uçların işlenmemiş uçlara göre sertlik değerlerinin %6 arttığını kanıtlamışlardır. Deneylere göre artan kesme hızı değerleriyle kesici takımında oluşan aşınmanın arttığını belirtmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarda baskın olarak meydana gelen aşınma tipleri serbest yüzey aşınması ve krater aşınması olduğunu bulmuşlardır. Derin kriyojenik işlemin kesici takımların aşınma direncini arttırdığını belirtmişlerdir.

Kıvak ve Şeker (2015), derin kriyojenik işlem uygulanan M42 HSS matkapları ile Ti-6Al-4V alaşım malzemesinin delinmesi esnasında kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini incelemişlerdir. Deneyler, kriyojenik işlem uygulanmış, işlem uygulanmamış ve kriyojenik işlem sonrası temperlenmiş ve TiAlN/TiN kaplı HSS matkapları olmak üzere dört farklı kesici takım kullanarak kuru ve ıslak kesme şartlarında gerçekleştirmişlerdir. İşleme parametreleri olarak 6, 8, 10, 12 m/dak kesme hızı, 0,06 mm/dev ilerleme ve 15 mm kesme derinliği değerlerini kullanmışlardır. Deneylere göre kriyojenik işlem M42 HSS matkaplarının aşınma direncini arttırıp kesici takım ömründe gelişim sağladığını belirtmişlerdir. Takım malzemesinin sertlik ve dolayısıyla aşınma direncindeki artışın, kriyojenik işlem sırasında malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ile açıklamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışma sonucu kriyojenik işlemin kaplama yöntemlerinin yanı sıra faydalı bir seçenek olduğunu vurgulamışlardır.

Çiçek ve ark. (2012), yaptıkları araştırmada, AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin delinmesi işleminde kriyojenik işleme tabi tutulan M35 HSS matkaplarının performanslarını incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre hem AISI 304 hem de AISI 316 östenitik paslanmaz çelik malzemelerinin işlenmesinde kesici takım ömründe iyileşme gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından kriyojenik işlem görmemiş takımlara kıyasla daha üstün bir verim sağlandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, deneyler sonucunda AISI 304 östenitik kalitesinin, AISI 316 kalitesine göre işlenebilirliğinin daha güç olduğunu tespit etmişlerdir.

Mavi ve Korkut (2014), -145 °C de 24 saat kriyojenik işlem uygulanan sementit karbür kesici takımlar ile Ti-6Al-4V alaşım malzemesinin tornalanmasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasını incelemişlerdir. Deneylerde 30, 45, 60, 75 m/dak kesme hızı, 0,20 - 0,25 ve 0,30 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliği parametrelerini kullanmışlardır. Dört farklı kesme hızında, 0,25 mm ilerleme, 1 mm kesme derinliği ve dört farklı talaş hacmi (20, 40, 60, 80 cm³) kesme parametrelerinde aşınma testleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testler sonucunda aşınma direnci, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlar işlem görmemiş takımlar ile karşılaştırıldığında daha üstün bir performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Güneş ve ark. (2014), AISI 52100 rulman çeliğine -145 °C’de 12, 24, 36, 48 ve 60 saat olmak üzere farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem uygulanarak aşınma direnci, sertlik ve mikroyapısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerle elde ettikleri sonuçlara göre bekletme süresinin malzeme yapısında etkili olduğu, sertlik değerlerini yükselterek sürtünme katsayısını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Araştırmacılar, kriyojenik işlemin aşınma direncini arttırarak malzemenin ömrünü uzattığını tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlem sonrası malzeme yapısındaki homojen karbür dağılımı ile en düşük aşınmanın 36 saat bekletme olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Strano ve ark. (2015), bu çalışmalarında, Ti-6Al-4V alaşım malzemesinin PVD kaplamalı ve kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla tornalanması ile aşınma direncini incelemişlerdir. Deneylere göre kriyojenik işlemten dolayı artan sertlikle malzemenin işlenmesinde takım ömrünün arttığını görmüşlerdir. Kriyojenik işlem uygulanan PVD kaplamalı kesici uç ile titanyum malzemesinin tornalanmasındaki işlem performansının artışı orta ve yüksek kesme hızlarında mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Gill ve ark. (2012), AISI M2 yüksek hız çeliğinin derin (-196 °C) ve sığ (-110°C) kriyojenik işleme tabi tutulması sonrası malzemenin mekanik özellikleri ve aşınma davranışını incelemişlerdir. Kriyojenik işlem sonrası AISI M2 HSS’nin sertlik değeri %7,76 oranında bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Derin kriyojenik işlem gören numunelerin aşınma direncindeki iyileşme oranı sığ kriyojenik işlem gören numunelere oranla daha üstün olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışma sonunda kriyojenik işlemin kesici takım kaplama yöntemlerine göre daha yararlı bir seçenek olduğunu vurgulamışlardır.

Park, Yang ve Lee (2015), Inconel 718 malzemesinin frezelenmesi işleminde aşınma direncini incelemişlerdir. Deneyler kaplamalı, kaplamasız ve kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla kuru, ıslak, MQL ve nano-MQL kesme koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre tüm kesme koşullarında kaplanmamış karbür takımlarda krater aşınması oluştuğunu, en az aşınmanın ise kriyojenik işlem uygulanan kesici takımında meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Yazarlar, serbest yüzey aşınması açısından kaplamasız karbür takımın, kaplamalı karbür kesici takımdan daha üstün bir başarı sergilediğini vurgulamışlardır.

Varghese ve ark. (2019), kriyojenik işlem uygulanan sinterlenmiş karbür uçlarla maraning çeliğinin frezelenmesi sırasında işlem performansını incelemişlerdir. Deneylerde -196°C 'de 18, 24 ve 32 saat olmak üzere üç farklı tavlama süresinde derin kriyojenik işlem uygulanmış ve işlem uygulanmamış sementit karbür uçlar karşılaştırılmıştır. Kriyojenik işlemin kesici takım aşınma direncinde iyileşme sağladığını, krater aşınma ve yığıntı talaş oluşumunun azaldığını ortaya çıkarmışlardır. Yapılan deneylere göre yazarlar, kriyojenik işlemin kesici takımın ömrünü arttırdığını, kesme kuvvetlerini düşürdüğünü ve yüzey kalitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Tavlama süresi 24 saat olarak kriyojenik işlem uygulanmış karbür uçların sertlik değerinin %14'e kadar, elektrik iletkenliğin işlenmemiş uçlara göre %16,7 oranında ve kesici takım ömrünün %29 oranında arttığı tespit edilmiştir. Genel olarak kriyojenik işlem tavlama süresinin 24 saat olduğu numunelerin işlenebilirlik açısından daha iyi bir performans sergilediğini rapor etmişlerdir.

Padmakumar ve ark. (2017), yaptığı bu çalışmada, -193°C de kriyojenik işlem uygulanmış sementit karbür kesici takımların işlem uygulanmamış kesici takımlara göre gösterdikleri performansı araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmaya göre kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların serbest yüzey aşınması ve burun aşınması direncinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanan takımların sertlik değerlerinde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir.

Kumar ve ark. (2018), derin kriyojenik işlem uygulanmış AISI M2 takım çeliğinin aşınma davranışı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir araştırma yapmışlardır. Numuneler 12, 24 ve 36 saat olmak üzere üç farklı bekletme süresinde -195°C 'de kriyojenik işleme tabi tutulduktan sonra 150°C de 2 saatlik bir temperleme işlemi uygulamışlardır. Kriyojenik işlemde 24 saat tavlama süresinde bekletilen numunelerin 12 ve 36 saat bekletilen numunelere göre daha üstün bir aşınma davranışı gösterdiğini bulmuşlardır. Deney sonuçlarından elde ettikleri verilere göre derin kriyojenik işlemin

M2 takım çeliğinin aşınma direncinde olumlu etkileri olduğunu ve ideal tavlama süresinin 24 saat olduğunu rapor etmişlerdir.

Kurşuncu (2020) yaptığı çalışmada, yaptığı çalışmada kriyojenik işlem uygulanan sinterlenmiş karbür kesici takımlarla Inconel 718 malzemesinin frezelenmesinde kriyojenik işlem sıcaklığı ve ısılatma süresinin kesici takımın verimliliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kesici takımlar -145°C ve -196°C 'de, 24 ve 36 saat olmak üzere iki farklı sıcaklık ve tavlama süresinde kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Bu çalışmada kriyojenik işlem uygulanmış ve işlem uygulanmamış kesici takımlar ile Inconel malzemesinin frezeleme işlemi kuru kesme şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Kriyojenik işlem sonrasında kesici takımların aşınma direncinde ve yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşme gözlemleyen araştırmacı frezeleme işlemi esnasında kesme kuvvetlerinde azalma olduğunu belirtmiştir. Deney sonuçlarına göre bütün kriyojenik işlem parametrelerinde kesici takımların sertlik değerlerinde belirgin bir oranda artış olduğunu en yüksek sertlik artış değerinin -145°C ve 24 saat kriyojenik işlem parametrelerinde işlem uygulanmış kesici takımlarda meydana geldiğini vurgulamıştır. Yapılan testlere göre tavlama süresi parametresinin işlem sıcaklığına kıyasla kesici takımlar üzerinde daha etkili olduğunu gözlemlemiştir. Kriyojenik işlemin kesici takımlara uygulanmasının işlem performansını oldukça iyileştirdiğini rapor etmiştir.

Patil ve ark. (2020), -196°C 'de 24 saat tavlama süresinde kriyojenik işlem uygulanan karbür kesici takım ile AISI 304 malzemesinin kuru kesme koşullarında işlenmesinde kesici takım performansını incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarda aşınma direncinin ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde daha iyi bir sonuç elde edildiği yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Özbek ve ark. (2016), yaptıkları mevcut çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür kesici takımlar ile AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Tornalama işlemi için -145°C 'de 24 saat tavlama süresince derin kriyojenik işlem uygulanan ve ardından 200°C de 2 saat temperlenen tungsten karbür kesici takımlar kullanmışlardır. Deneylerde kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (100, 120, 140 ve 160 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,15 – 0,3 ve 0.45 mm/dev) değerlerini kullanarak kuru kesme şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar deneylerden elde ettikleri verilere göre derin kriyojenik işlemin, tungsten karbür kesici takımların sertlik değerlerinde ve aşınma dirençlerinde belirgin bir iyileşmeye yol açtığını rapor etmişlerdir.

2.3. Minimum Miktarda Yağlama Uygulaması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Sharma ve ark. (2016), MQL yöntemi ile mineral yağlar, bitkisel yağlar ve nano sıvı bazlı kesme sıvılarının kullanıldığı tornalama, frezeleme ve delme gibi çeşitli işlem süreçlerini barındıran bazı çalışmaları incelemişlerdir. MQL'in yağ buharının kesme bölgesine etkisi nedeniyle sürtünme katsayısını düşürdüğünü, kesme sıcaklığını ve matkap aşınmalarını azalttığını belirtmişlerdir. Yaptıkları araştırmaya göre inceledikleri deneysel çalışmaların pek çoğu MQL tekniğinin çevre dostu ayrıca ıslak işleme yerine daha iyi bir seçenek olduğunu göstermişlerdir.

Yıldırım ve ark. (2019), kimyasal kararlılığı, yüksek erime sıcaklığı ve yağlama özelliklerinden dolayı beyaz grafit olarak da bilinen hBN nanopartiküllerinin ilavesiyle nanofluid-MQL kullanılarak nikel bazlı Inconel 625 malzemesinin tornalanması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülük, kesici takım aşınması ve sıcaklık incelemişlerdir. Kuru, nanoMQL ve hBN nano MQL kesme koşullarında gerçekleştirilip karşılaştırma yapmışlardır. %0,5 hBN içeren nanoMQL'in takım aşınmasını %43 azalttığını görmüşlerdir. Kullanılan MQL yöntemlerinin kuru işlemeye kıyasla kesici takım ömrünü arttırdığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, yaptıkları deneylere göre kesme hızının takım ömrünü, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü ve soğutmanın da en çok sıcaklığı etkileyen parametreler olduğunu tespit etmişlerdir.

Hosokawa ve ark. (2010), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği ve Ni bazlı Inconel 718 malzemelerinin kuru ve MQL kesme koşullarında tornalama işlemini gerçekleştirerek termal açıdan incelemişlerdir. Deneylere göre MQL ile tornalama işleminde uygun devir hızında kesici takım sıcaklığının yaklaşık olarak 45 °C düştüğünü rapor etmişlerdir.

Sivaiah ve Chakradhar'ın (2018), ortak çalışmasında 17-4 çökeltilmiş sertleştirilebilir paslanmaz çelik malzemesinin farklı kesme derinliklerinde tornalama işlemini kriyojenik soğutma yöntemi kullanılarak kuru, ıslak ve MQL yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada kesme sıcaklığı, kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisini incelemişlerdir. Kriyojenik işleminin 17-4 çeliğinin işlenmesinde en iyi seçenek olduğunu belirten yazarlar nedenini tüm kesme derinliği şartlarında ıslak, kuru ve MQL yöntemlerine kıyasla kriyojenik işlemede kesici takım aşınması, yüzey kalitesi ve talaş morfolojisi açısından daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir. Ürün performansını iyileştirdiği anlaşılan kriyojenik işleminin sağlık ve

evre anlamında diğ er işleme koşullarında kıyasla daha yararlı olduğunu rapor etmişlerdir.

Leppert ve Peng (2012), yaptıkları bu çalışmada kuru, ıslak ve MQL kesme koşullarında AISI 316L malzemesinin tornalanmasında oluşan kalıntı gerilmeleri incelemişlerdir. İşleme sırasında kesme bölgesine uygulanma soğutma ve yağlama yüzey gerilmeleri üzerinde etkisinin büyük olduğunu belirten yazarlar, MQL tekniğinin kalıntı gerilmeleri azalttığını belirtmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasına göre kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla MQL ve kuru işleme şartlarında AISI 304  stenitik paslanmaz çeliğin tornalanması ile ilgili yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması, talaş morfolojisi ve takım titreşiminin incelendiği bir bütün çalışma yapılmamıştır. Yapılan bu deneysel çalışmada literatürden farklı yukarıda belirtilen bütün işleme parametreleri kullanarak AISI 304  stenitik paslanmaz çeliklerde yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması ve takım titreşimini azaltmaya yönelik bir çalışma ortaya koyulmuştur. Bu alışma ile AISI 304  stenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük işleme maliyeti açısından nitelikli üretim yapılması hedeflenerek bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çelikler günümüz endüstrisinin elzem malzemelerinden biridir. Bunun ana nedeni içerisindeki demir, krom, nikel ve karbon bileşenlerinden gelen özelliklerdir. Bir demir karbon alaşımı olan bu çelik türü ağırlığının en az %10,5 oranında (Avrupa standardı EN10088'e göre) krom içermektedir (Berkani ark., 2015).

Krom paslanmaz çeliklere korozyon direnci özelliğini sağlayan bir alaşım elementidir. Bu malzemenin tercih edilmesinin başlıca sebebi kromun kazandırdığı mükemmel korozyon dayanımıdır. Paslanmazlığı sağlayan krom, atmosferde bulunan oksijen ile karşılaştığı anda etkileşime girerek çeliğin üzerinde bir kromoksit (Cr_2O_3) tabakası oluşturur (Bock ark., 2015). Bu koruyucu tabaka, çeliğin tüm yüzeyini sararak çeliğe dışarıdan nüfuz edebilecek maddelere karşı muhafız etkisi gösterir. Böylece paslanmaz çeliğin korozyon hızını yavaşlatarak koroziyon ortamlarında sahip olduğu mekanik özelliklerini kaybetmeden uzun ömürlü kullanımına olanak sağlar.

Paslanmaz çeliklerin gelişim ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Otomotiv, sağlık, inşaat, gıda, ilaç endüstrisi gibi pek çok alanda kullanımı hızla yayılmakta olan bir malzemedir. Yüksek korozyon direnci, düşük ısı iletkenlik ve mekanik özellikleri gibi temel nitelikleri sebebiyle imalat sektöründe geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

Paslanmaz çelik, çoğunlukla maliyeti yüksek bir alaşım olarak bilinen bir malzeme olmasının yanında uzun ömürlülük, bakım ve temizlik kolaylığı, rijitlik, estetik çekicilik, dayanıklılık ve sağlıklı olması sebebiyle tercih edilen bir malzeme grubudur (Junaidh ark., 2018).

Malzemenin içyapısını belirleyen mukavemet arttırıcı krom, nikel ve molibden elementleri muhtevası sebebiyle işlenebilirliği zordur. Paslanmaz çeliklerin içerisinde bulunan elementler ve sahip olduğu nitelikler sebebiyle imalat sırasında bazı sıkıntılar yaşanabilmektedir. Yüksek kesme kuvvetleri, kesici takım hızlı aşınması ve buna bağlı olarak oluşan kötü yüzey kalitesi paslanmaz çeliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen olumsuz durumlardır. Dolayısıyla paslanmaz çeliklerin işlenmesinde uygulanacak kesme parametreleri ürünün nihai durumunu etkileyen faktörlerden biridir.

Isıl iletkenlik, yüksek mukavemet özelliği yanında sünek bir malzeme olan paslanmaz çelik işlenmesi sırasında nihai ürünün yüzey kalitesini, kesici takımın ömrünü ve buna bağlı olarak maliyeti etkileyen BUE (yığıntı talaş) oluşumu eğilimine

sahiptir. Sünek malzemelerde sıkça meydana gelen yığıntı talaş oluşumu, operasyon esnasında iş parçasından ayrılan talaşların kesici takıma katmansal şekilde yapışıp ve operasyon devam ettiği sürece talaşların iş parçasından ayrılırken kesici takımdan da parçalar koparması ile kesici takımın hasara uğramasına neden olur. Sonuç olarak bu durum, işlenen yüzeyin kalitesini de düşürmektedir. BUE oluşumu, kesici takımını hızlı aşındırarak takım ömrünü azaltan ve yüzey kalitesini belirleyen bir parametre olan yüzey pürüzlülük değerlerini yükselten paslanmaz çeliklerin sıkça karşılaştığı olumsuz ve istenmeyen bir durumdur.

Bünyesinde bulundurduğu yüksek mekanik özelliklerinin yanında mukavemet, estetik açıdan iyi görünüm, yüksek sıcaklıklarda dayanımını kaybetmemesi paslanmaz çeliklerin son yıllarda pek çok uygulamada hızlı bir artış ile kullanılabilir bir malzeme haline getirmektedir (Dirviyam ve Palanisamy, 2010).

3.1.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması

Çağımız imalat sektöründe kimya, petrokimya, ısı eşanjörleri, nükleer reaktörler, otomobil parçaları, basınçlı kaplar, havacılık ekipmanlarında, mutfak elemanları yağ ve kâğıt endüstrisi enerji santralleri gibi çok çeşitli alanlarda paslanmaz çelikler tercih edilir. Krom oranı yüksek bir tür olan paslanmaz çeliklerin uygulandığı alanın gereksinimine göre değişik türleri bulunmaktadır. Malzeme içerisindeki alaşım elementleri ve gerçekleştirilecek imalat işlemlerine göre çeşitlilik göstermektedir.

Paslanmaz çelikler içyapılarına ve kimyasal bileşenlerine göre başlıca beş ana grupta toplanırlar:

- a) Ferritik paslanmaz çelikler
- b) Martenzitik paslanmaz çelikler
- c) Dupleks (ferritik-östenitik) paslanmaz çelikler (Bock ark., 2015)
- d) Östenitik paslanmaz çelikler
- e) Çökeltme yoluyla sertleştirilebilen paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler karbon oranı düşük demir krom alaşımlarından oluşur ve içerisinde ağırlığınca %12–30 Cr bulundurlar (Ma ark., 2016). Ferritik paslanmaz çelikler, içeriğinde östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha az miktarda nikel bulundurduğundan dolayı östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ucuz bir malzemedir. Isıl işlem ile sertleştirilemeyen ferritik kalite, yüksek korozyon dayanımı, mukavemet, yüksek sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilirlik özelliklerine sahiptir

(Cunat, 2004). Bu çelik türü ev aletleri, otomotiv egzoz sistemleri, gıda endüstrisi, inşaat malzemeleri, petrol arıtma ekipmanları, fırın parçaları, sıcak su tankları gibi pek çok endüstriyel alanda kullanılmaktadır (Korkmaz, 2019; Meral ve Günay, 2019). Hacim merkezli kübik kristal (BCC) yapısı olan ferritik paslanmaz çelikler, düşük ısıl genleşme, yüksek akma dayanımı, oksidasyon dayanımı, mükemmel ısıl iletkenlik, ferritik kalitesini çekici bir malzeme yapan niteliklerdir (Shashanka ve Chaira, 2015). Ferritik paslanmaz çelikler içerisinde bulunan krom miktarına göre üç gruba ayrılabilir. Bunlar; düşük karbon içerikli, orta derece karbon içerikli ve yüksek derece karbon içerikli ferritik paslanmaz çeliktir (Ma ark., 2016). Bu çelik türüne AISI 409, 430 ve 439 kaliteleri örnek verilebilir (Meral ve Günay, 2019).

Martenzitik paslanmaz çelikler %12-17 Cr, %0-4 Ni ve %0.15-1.20 C içeriğine sahip alaşımlardır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin sertliği ve mukavemeti içeriğindeki karbon oranının artmasıyla güçlenir ve bu da hızlı takım aşınmasına neden olmaktadır. Manyetik olan martenzitik paslanmaz çelikler, mukavemet ve sertlik kazanımları amacıyla sertleştirilebilen ve diğer paslanmaz çeliklere oranla karbon içeriği daha fazla olan bir kalitedir. Mekanik performans gerektiren işlemlerde kullanımı tercih edilen bu malzeme bıçaklarda, mil ve pim yapımlarında, pompa çarkları, dişliler burçlar, cerrahi aletler, pervaneler ve havacılık endüstrisi gibi pek çok uygulama alanına sahiptirler. Martenzitik paslanmaz çeliklerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir (Dalmau ark., 2018; Cunat, 2004).

Bir paslanmaz çelik türü olan dubleks paslanmaz çelikler mikroyapısı içerisinde östenitik ve ferritik fazları eşit oranda bir arada bulunduran bir malzemedir. Her iki fazın özelliklerini barındıran duplex paslanmaz çeliklerin yüksek dayanım, korozyon direnci ferritik fazdan gelirken süneklik ve genel korozyon direnci de östenitik fazından gelmektedir. Yüksek mekanik özellikler, manyetiklik, yorulma mukavemeti, yüksek tokluk, kaynaklanabilirlik gibi niteliklerinden dolayı yaygın bir kullanım alanına sahiptirler (Cunat, 2004; Tranchida ark., 2018). Petrokimya endüstrisi, denizcilik uygulamaları, petrokimya tesisi, enerji santrali, petrol boru hattı, gemi yapımı gibi alanlarda tercih edilen bir paslanmaz çelik türüdür (Verma ve Taiwade, 2017; Cunat, 2004). Dubleks paslanmaz çeliklerin imalat alanındaki yükselişi yalın dubleks paslanmaz çelik ve süper dubleks paslanmaz çelik olarak gelişmesini sağlamıştır (Silverstein ve Eliezer, 2015).

Östenitik paslanmaz çelikler mühendislik uygulamalarında paslanmaz çelikler arasında kullanım alanının yaygınlığı ile vazgeçilmez bir malzeme grubudur.

Muhtevasındaki yüksek krom miktarı sayesinde muhteşem bir korozyon direncine sahip olması östenitik paslanmaz çelikleri makine endüstrisi dahil pek çok alanın gözdesi haline getirmiştir.

AISI 300 serisi olarak bilinen bu çelik grubu yalnızca yüksek korozyon direnci değil, yüksek mukavemet, yüksek tokluk, yüksek oksidasyon direnci, düşük termal iletkenlik, yüksek pekleşme, rijitlik ve estetik görünüm özelliklerini de bünyesinde barındırmaktadır. FCC (yüzey merkezli kübik) kristal yapıya sahip, ısı işlem ile sertleştirilemeyen ve ferromanyetik olmayan (anti manyetik) östenitik paslanmaz çelikler, bileşimindeki %18 krom ve %8 nikel oranı işlenebilirliğini diğer paslanmaz çeliklere kıyasla daha güç bir hale getirmektedir. Sahip olduğu nitelikler sebebiyle uçak, havacılık, kimya, otomotiv parçaları, petrokimya, ısı eşanjörleri, uzay sanayi, elektronik endüstrisi, ilaç endüstrisi, mutfak gereçleri, gıda endüstrisi, içecek endüstrisi, sağlık ekipmanları gibi birçok uygulama alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bileşimindeki krom, nikel elementleri mukavemet ve korozyon dayanımı artırırken işlenebilirliğini de bir o kadar zorlaştırmaktadır. Buna bağlı olarak işlenebilirlik maliyeti de aynı derecede artmaktadır. Krom, nikel, demir alaşımı olarak tanınan östenitik paslanmaz çelik malzemelerinin işlenmesindeki en büyük problemlerden biri ise BUE oluşumudur. BUE, sünek malzemelerde meydana gelen bir oluşumdur ve sünek bir yapıya sahip östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde sıklıkla meydana gelen, istenmeyen bir olumsuzluktur. İş parçasının işlenmesi esnasında kesici takım yan yüzeyinde düzensiz aşınmalara, kırılmalara, kesici takım performansında olumsuzluklara ve buna bağlı olarak yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine olanak verir dolayısıyla işleme maliyetinin de yükselmesine neden olur (Abou-El-Hosseini ve Yahya, 2005).

Östenitik paslanmaz çelikler son dönemlerde çeşitli uygulama alanları sayesinde kullanımı ciddi oranlarda artan ve halen artmakta olan paslanmaz çelik ailesinin en çok tercih edilen çelik grubudur. Bu bağlamda östenitik paslanmaz çeliğin geliştirilmesi ve üretim kolaylığının sağlanması adına gerçekleştirilen çalışmalar günümüzde ivedilikle sürmektedir. Üretilen toplam paslanmaz çelikler içerisinde östenitik paslanmaz çelikler %70'ten fazla bir paya sahiptir (Pereira ark., 2016). Geniş uygulama yelpazesi olan östenitik paslanmaz çelikler, endüstrinin dikkat çeken malzemelerinden biridir. Malzemenin içyapısındaki elementler, düşük termal iletkenlik, süneklik özellikleri nedeniyle işlenebilirliğinin zor olması araştırmacıların bu dezavantajları iyileştirebilmek

ve paslanmaz çeliği üretim sektörüne daha fazla adapte etmek çalışmalarının odak noktası olmuştur.

Paslanmaz çeliklerin tümünde bulunan karbon, demir esaslı malzemeler için oldukça mühim bir alaşım elementidir. Kuvvetli bir östenitik yapıcı olan karbon, çeliklere mukavemet ve sertlik kazandırmak amacıyla eklenmektedir. Çeliklere sağladığı mukavemet ve sertlik nitelikleri ile martenzitik paslanmaz çeliklerde, östenitik, ferritik ve dubleks paslanmaz çeliklere kıyasla muhtevasında bir miktar daha fazla bulunmaktadır. Krom, yer kabuğunda en fazla bulunan elementler arasında 13. sıradadır. Erime noktası $1,875\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $7,190\text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahip bu metalin kristal yapısı BCC'dir. Çoğunlukla kaplama uygulamalarında kullanılan krom malzemelere mükemmel mukavemet ve yüksek korozyon ve oksidasyon direnci sağlamaktadır. Çelik muhtevasında krom oranının artması korozyon direncinin de aynı oranda artması demektir. Bu da paslanmaz çeliklerde kromun vazgeçilmez bir alaşım elementi olduğunun bir kanıtı niteliğindedir (Cunat, 2004). Nikel, yer kabuğunda ortalama olarak en çok bulunan 24. elementtir. Erime noktası $1,453\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $8,902\text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahip bu metalin kristal yapısı FCC'tir. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci sağlayan önemli bir alaşım elementidir (Abou-El-Hossein ve Yahya, 2005). Mukavemet artırıcı yapıdadır (Cunat, 2004). Molibden, yer kabuğunda yaklaşık olarak en çok bulunan elementler içerisinde 38. sıradadır. Erime noktası $2,610\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $10,22\text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahip bu metalin kristal yapısı BCC'dir. Erime noktası yüksek olan molibden, çeliklere yüksek sıcaklık derecelerinde ciddi bir mukavemet özelliği ve korozyon direnci kazandırmaktadır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalınabilecek ortamlarda yaygın bir şekilde kullanılan malzemelerin muhtevasında en çok bulunan alaşım elementleri krom ve molibdendir. Dünyadaki bütün elementler içerisinde yaklaşık olarak 33. sırada bulunan Niyobyum, taneler arası korozyona karşı direnç sağladığı nedeniyle paslanmaz çeliklerde bulunmaktadır. Erime noktası $2,468\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $8,57\text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahip bu metalin kristal yapısı BCC (kübik kristal yapısı)'tir (Cunat, 2004). Dünyanın yer kabuğuna bolluk derecesiyle 9. sırada yer alan bu elementin erime noktası $1,668\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $4,54\text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Titanyumun kristal yapısı HCP'dir. Çeliklere yüksek mukavemet ve korozyon dayanımı nitelikleri sağlamaktadır. Titanyum, işlenmesi güç malzemelerden biridir (Pereira ark., 2016; Cunat, 2004). Yer kabukta en çok bulunan elementler içerisinde 12. sıradadır. Erime noktası $1,245\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $7,43\text{ kg/dm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Kuvvetli bir deoksidasyon özelliği olan mangan, östenitik paslanmaz çeliklerde östeniti stabilize edebilme kabiliyeti sebebiyle

bulunmaktadır. Erime noktası 1,414 °C ve 2,33 kg/dm³ yoğunluk miktarına sahip silikon elementi, doğada serbest halde bulunmamaktadır. Dünyada en fazla bulunan ikinci elementtir. Yüksek derece sıcaklıklarda östenitik paslanmaz çeliklerdeki oksidasyon kabiliyetini iyileştirebilmenin yanında karbonlaşmayı da önlemeyi sağlar (Cunat, 2004). Azot, östenitik paslanmaz çelik ve ferritik/östenitik paslanmaz çeliklerin, mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımını iyileştirdiği yaygın olarak bilinmektedir (Feng ark., 2018; Cunat, 2004). Dünyadaki en bol bulunan elementler arasında 30. sırada bulunan kobalt, erime noktası 1,495 °C ve 8,92 gr/cm³ yoğunluğa sahiptir (Cunat, 2004).

3.1.2. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik

Östenitik paslanmaz çelikler günlük yaşamımızda çeşitli yönleri ve kullanım alanları ile önemli bir yer edinmiştir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında en yaygın kullanılan kalite, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliktir (Kaladhar ark., 2011).

Yüksek pekleşme, yüksek süneklik, yüksek sıcaklık dayanımı, zayıf termal iletkenlik, mükemmel korozyon direnci, yüksek mukavemet ve yüksek mekanik özelliklerine sahip olan AISI 304 kalite günümüzde pek çok farklı alanda tercih edilen bir çelik türüdür. Bünyesinde barındırdığı özellikler ve bileşimindeki alaşımlar sebebiyle işlenebilirliği güç bir malzeme olarak nitelendirilirler.

AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler, bağlantı parçaları, havacılık, lavabo, somun, tıbbi implant, buharlaştırıcılar, deniz ekipmanları, şaftlar, kimyasal ekipman, cıvata, valfler, nükleer gemiler, hava aracı donanımları gibi çoğu endüstriyel uygulamalarında kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan bir malzeme grubudur (Tekaslan ark., 2008; Kaladhar ark., 2011; Kaladhar ark., 2012; Çaydaş ve Ekici, 2012; Balaji ark., 2016).

3.2. Talaşlı İmalat ve İşlenebilirlik

Talaşlı imalat işlemleri iş parçasının önceden belirlenen şekil, ölçü ve yüzey kalitesinde imal edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilecek işleme elverişli bir kesici takım ve tezgâh yardımıyla iş parçasının yüzeyinden fazlalıkları uzaklaştırma işlemidir. Metal kesme olarak da isimlendirilen bu işlemin gerçekleştirilmesi için kesici takımın iş parçasından daha sert olması gerekmekte ve kesici takımın iş parçasına nüfuz

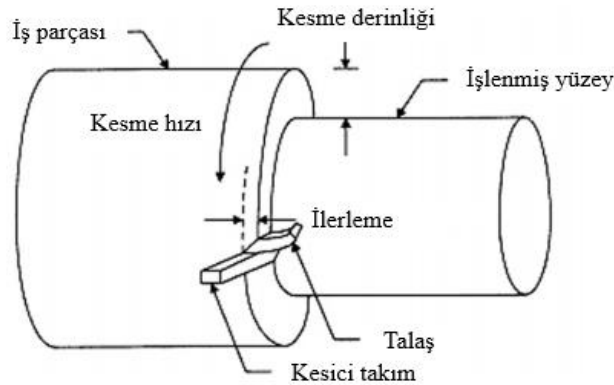
edebilmesi gerekmektedir. Talaşlı imalat uzun yıllardır imalatçıların ilgilendiği bir üretim yöntemi olmakla birlikte endüstrinin de önemli bir parçasıdır.

Talaşlı imalat, endüstride pek çok alanda yaygın olarak kullanılan metal biçimlendirme işlemidir (Vaijinath ve Dilip, 2016). Tornalama, frezeleme, delme en çok kullanılan metal kesme işlemleridir. Metal kesme olarak da isimlendirilen bu işlem, çeşitli ve karmaşık geometriye sahip parça imalatında en fazla kullanılan yöntemlerden biridir (Vaijinath ve Dilip, 2016).

3.2.1. Tornalama

Tornalama metal biçimlendirme uygulamaları arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Talaş kaldırılarak yapılan bu yöntem, uzun yıllardır imalat sektöründe gerçekleştirilen ve önemini halen devam ettiren bir geleneksel imalat yöntemidir.

Tornalama, ayna denilen tezgâh elemanına bağlı dönen dairesel bir iş parçasının sabit konumlandırılmış bir kesici takım yardımıyla parça yüzeyinden talaş kaldırarak şekil verme metodudur. Bu işlem torna tezgâhı adı verilen bir makinede gerçekleştirilir. Genellikle tek uçlu takım kullanılarak gerçekleştirilir. Tornalama esasında dönen bir iş parçasının, ilerleme hareketi yapan bir takım tutucuya rijit halde bağlanmış kesici takımın ortak çalışması ile gerçekleşmektedir. Dairesel, çeşitli ve karmaşık parçaların üretimi sağlanabildiği pek çok açıdan kullanışlı bir metottur. Tornalama işleminin şematik gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



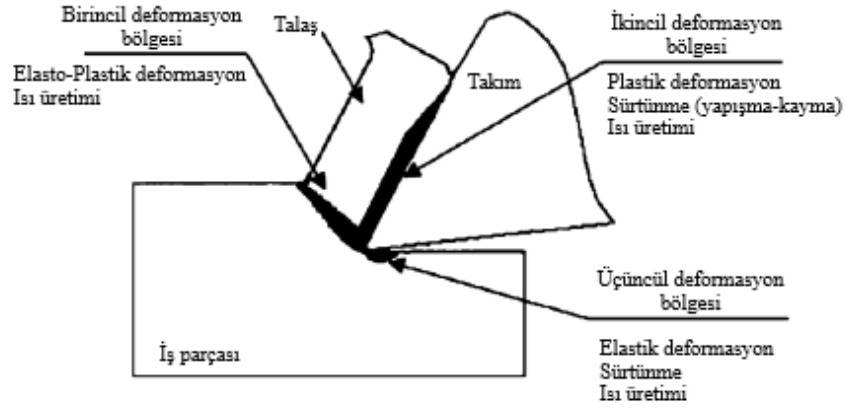
Şekil 3. 1. Tornalama işleminin şematik gösterimi (Kazançoğlu ark., 2011)

Talaş mekaniği ve talaş oluşumu; Talaş kaldırma işlemi, ucu keskin ve işleme yöntemine uygun bir kesici takım ile iş parçası üzerinden yeterli güç ve kuvvet uygulayarak kesici takıma göre daha yumuşak olan iş parçası malzemesinin üzerinden fazlalık sayılan katmanları kesme işlemidir. İş parçasından kaldırılan fazlalıklara talaş denmektedir. Bu işlem takım tezgâhı adı verilen makinelerde uygulanmaktadır. Talaş kaldırma esas olarak iş parçası ve kesici takım arasındaki bağıl hareketlerden oluşmaktadır.

Talaş oluşumu, fiziksel olarak elastik ve plastik deformasyona dayalı olan bir işlem olup parçanın istenen nihai şekline ulaşması amacıyla gerçekleşmektedir. Burada amaç esasında ham malzemeden talaş kaldırarak istenen boyut, ölçü ve şekilde parça elde etmektir. Kesici takımın iş parçası üzerinde iş parçasının boyu ve eni boyunca ilerleme hareketi yapmasıyla oluşur. Kesici takım iş parçasına nüfuz etmesi ile takım ve malzeme arasında yüksek gerilme ve yüksek sıcaklık meydana gelir. Oluşan yüksek gerilmeler sonucu malzemede önce elastik deformasyon ardından da plastik deformasyon oluşur. Temas bölgesinde ortaya çıkan gerilmelerin iş parçası malzemesinin akma sınırını geçtikten sonra talaş olarak isimlendirilen artık yüzey tabakası iş parçasından uzaklaştırılır.

Ortogonal kesmede ısı üretim bölgelerinin gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ortogonal kesme mekaniğinde üç deformasyon bölgesi bulunur. Kesici takımın iş parçasına temas edip talaş oluşumunun başladığı bölge birinci deformasyon bölgesidir. Oluşan talaşın takım kayma düzleminden aktığı bölge ikinci deformasyon bölgesidir. Kesici takımın iş parçasının işlenmiş olan kısmına değdiği bölge ise üçüncü deformasyon bölgesi olarak isimlendirilir.

Talaşlı imalat işlemlerinde bir diğer önemli husus ise ısıdır. İşleme esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı özellikle AISI 304 östenitik paslanmaz çelik gibi kesilmesi zor malzemelerin işlenmesinde kesme bölgesinde ısı oluşur. Isı işlenen parçanın işlem sürecini ve yüzey kalitesini oldukça etkiler. Metal kesme işleminde ısı birinci ve ikinci deformasyon bölgelerinde üretilir (Özçelik ark., 2011). Isının en fazla olduğu bölge takım talaş arayüzündeki bölgedir (Sohrabpoor ve ark., 2015). Üretilen ısının çoğu talaşlarla uzaklaştırılır (Özek ark., 2006).



Şekil 3. 2. Ortogonal kesmede ısı üretim bölgeleri (Yıldız ve Nalbant, 2008)

Talaş kaldırmaı etkileyen faktörler; Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerinde belirli kuvvetle bastırıldığında ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman, takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında önce elastik daha sonra da plastik deformasyon oluşarak malzeme tabakasında akmlar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda talaş olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan ayrılır. Bu tabakanın parçadan ayrılış biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşecek farklı talaş tipleri meydana gelir. Talaş kaldırmaı etki eden faktörler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ✓ Kesici takım ömrü
- ✓ Kesme hızı
- ✓ Talaş derinliği
- ✓ Kesici takım titreşimi
- ✓ Soğutma sıvısı
- ✓ Kesici takım malzemesi
- ✓ İş parçası malzemesi

Talaş tipleri; Talaşlı metal kesme operasyonlarında ortaya çıkan talaş şekilleri, iş parçasının malzemesine, işlem parametrelerine ve işlem biçimine göre farklılık göstermektedir. İşlem sırasında meydana gelen talaş tipi, iş parçasının yüzey kalitesi, kesici takım ömrü ve dolayısıyla işlem maliyet üzerinde önemli bir etkisi vardır (Sivaiah ve Chakradhar, 2018).

Sürekli talaş, yüksek kesme hızı, küçük ilerleme ve düşük kesme pasoların kullanılarak sünek yapıya sahip malzemelerin işlenmesi halinde meydana gelen bir talaş tipidir (Junaidh ark., 2018). Yüzey kalitesi ve kesici takım ömrü açısından bakıldığında ideal bir talaş oluşumudur. Süreksiz talaş, kırılğan malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesinde meydana gelen bir talaş tipidir.

BUE, talaşlı imalat işlemlerinde özellikle sünek olan östenitik paslanmaz çelik malzemelerinin işlenmesinde sık sık ortaya çıkan bir talaş tipidir. Yığıntı talaş olarak da isimlendirilmektedir. Sünek yapıya sahip parçaların düşük veya orta kesme hızlarında işlenmesi esnasında takım-talaş sürtünmesi ile meydana gelen yüksek ısı sayesinde parçadan ayrılan talaş, kesici takıma yapışarak yığma kenar oluşturur. İşlem devam ederken iş parçasından ayrılan talaşların kesici takımdan da parçacıklar koparır. Böylelikle kesici takımın aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur. Yüzey kalitesini kötü etkileyen ve kesici takım aşınmasını hızlandırarak takım ömrünü azaltması nedeniyle yığıntı talaş istenmeyen bir oluşumdur.

Yarı sürekli talaş, metal kesme işlemlerinde zorlanan malzemelerin yüksek kesme hızları kullanılarak oluşan bir talaş şeklidir. Yarı sürekli olan bu tip, görünümü itibari ile testere ağızlı veya tırtıklı talaş olarak da bilinmektedir.

Talaşlı imalatta kullanılan kesme parametreleri; Tornalama işleminin verimli gerçekleştirilebilmesi, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine bağlıdır.

A- Kesme hızı (V)

Talaş kaldırma operasyonlarının bir kesme parametresi olan kesme hızı, sabit bir kesici takıma göre iş parçasının dönme hızı ile ilgili hareketi olup parça üzerindeki bir noktadan takımın dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak tanımlanır. Birimi m/dak olan kesme hızı V ile gösterilir. Talaş kaldırma işleminde verimliliği arttırmak, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve kesici takımın ömrünü arttırmak amacıyla kesme hızı formülü kullanılmaktadır. Kesme hızı formülü;

$$V = (\pi.D. n) / 1000 \quad (3.1)$$

Kesme hızı formülünde V kesme hızını (m/dak), D iş parçasının çapını (mm), n (dev/dak) ise devir sayısını ifade etmektedir (Thijel ve Al-hafidh, 2019).

Kesme hızına etki eden faktörler:

- ✓ İş parçası malzemesinin cinsi
- ✓ Kesici takım malzemesinin cinsi, geometrisi, uygulanan işlem
- ✓ İlerleme
- ✓ Kesme derinliği
- ✓ Uygulanan operasyon türü
- ✓ Tezgâh rijitliği ve tipi
- ✓ İşlem koşulları (soğutma sıvısı, kuru işleme vb.)

Kesme hızının doğru seçilmesi malzemenin yüzey kalitesini, işlem süresini, kesici takım ömrünü ve işlemin toplam maliyetini oldukça etkilemektedir.

Çağımız imalat sektörünün birincil amacı mükemmel ürün kalitesidir (Dhananchezian ark., 2011). Üreticilerin yüksek kalitede ürün oluşturabilme süreçlerinde yaşadıkları en büyük sorunların nedeni kesme işlemi esnasında meydana gelen yüksek sıcaklıklardır. Yüksek sıcaklıklar beraberinde kötü yüzey kalitesi ve kesici takım hasarlarını da getirir (Dhananchezian ark., 2011). Dolayısıyla hem işleme maliyetinin hem de işlem süresinin artmasına neden olur. Yüksek mukavemet ve düşük ısı iletkenlik özelliklerine sahip olan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik gibi kesilmesi zor malzemelerin işlenmesi esnasında yüksek sıcaklıkların oluşması muhtemel problemlerden biridir. Kesme hızının da bu sıcaklıklarda payının olduğu bilinen bir gerçektir (He ark., 2017). Yüksek kesme hızları işlem esnasında kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşturmakla birlikte kesme kuvvetlerini de düşürür. Bu durumda takım-talaş arayüzünde temas sahası azalır ve kesme kenarının sıcaklıkla münasebeti artar sonuç olarak kesici takım malzemesi yumuşar ve kesici takım aşınması hızlanır. Düşük kesme hızlarında kesme işlemi için harcanan zaman artar. Böylelikle üretilen parça sayısı düşer. Genel olarak kesme hızı, tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım ömrünü etkileyen en önemli kesme parametrelerinden biridir (Sivaiah, 2019). Bu nedenle kesme hızı değerlerinin doğru seçimi işlem sürecini ve sonucunu oldukça etkilemektedir.

B- İlerleme hızı (f)

İlerleme, kesici takımın dönen iş parçası malzemesinin üzerinden bir devirde aldığı yoldur. İlerlemenin birimi mm/dev'dir. İş parçası dönme eksenine paralel

ilerleme hareketi yapar. İlerleme hızını da etkileyen birçok etmen vardır (Sohrabpoor ark., 2015). İlerleme hızını etkileyen faktörler:

- ✓ Kesme hızı
- ✓ Kesme derinliği
- ✓ Uygulanan operasyon türü
- ✓ İşlem koşulları (soğutma sıvısı, kuru işleme vb.)

Talaşlı imalatla herhangi bir ürünün hedeflenen kalitede imal edilebilmesi için kesme parametrelerinin en doğru şekilde belirlenmesi gereklidir. Tornalama işleminin önemli bir diğer kesme parametresi de ilerlemedir (Kaladhar ark., 2012). İşlem kalitesinin en büyük göstergesi olan yüzey pürüzlülüğü üreticilerin de iyileştirme adına uğraş verdiği önemli bir konudur. Özellikle kesilmesi güç malzemeler sınıfına giren östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında yüksek yüzey pürüzlülüğü ve yüksek kesici takım aşınmasıyla karşılaşmaktadır (Kaladhar ark., 2010). 304 kalitesinin işlenmesi esnasında malzemenin yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametre ilerlemedir (Mahdavinejad ve Saeedy, 2011; Tougui ark., 2020). İlerleme ve yüzey pürüzlülüğü arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. İlerlemenin artması tornalama işlemindeki kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur ve kesici takım yan yüzeyinde kesme sıcaklıklarının artmasına ve dolayısıyla serbest yüzey aşınmasının da artmasına yol açar (Sohrabpoor ark., 2015). İlerlemenin düşmesi ise yüzey pürüzlülük değerlerini de düşüreceği için daha iyi bir yüzey kalitesi sağlar (Sodavadia ve Makwana, 2014).

C- Kesme derinliği (a)

Tornalama operasyonlarının üç girdi parametrelerinden biri olan kesme derinliği, kesici takımın işlenecek iş parçasının üzerinden koparıp uzaklaştırdığı malzemenin kalınlığıdır. Çoğunlukla ‘a’ ile gösterilen kesme derinliğinin birimi ise ‘mm’dir. Kesme derinliği, ‘paso’ veya ‘talaş derinliği’ olarak da bilinmektedir.

Kesici takım aşınmasında etkisini gösteren kesme derinliği kesme kuvvetlerini de etkiler. Kesme derinliği, kesme kuvvetleri üzerinde etkili bir unsurdur (Berkani ark., 2015). Nitekim kesme derinliğinin artması kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur. Kesici takım ile iş parçası temas alanının ve sürtünmenin artmasıyla serbest yüzey aşınmasının artmasına olanak sağlar. Sonuç itibari kesme derinliğinin artması takım aşınmasını da artırır (Sohrabpoor ark., 2015). Kesme derinliği yüzey pürüzlülüğü ile ters orantılı olduğundan dolayı kesme derinliğinin artması aşınmayı arttırmasının yanı

sıra yüzey pürüzlülüğünün de artmasına neden olur (Thijel ve Al-hafidh, 2019). Günümüze kadar yapılan deneysel çalışmalara göre kesme hızı ve ilerlemeden sonra takım aşınmasını ciddi bir şekilde etkileyen işlem parametresi kesme derinliğidir (Sivaiah ve Chakradhar, 2017).

D- Soğutma sıvısı (kesme sıvısı)

Talaşlı imalat işlemlerinde meydana gelen problemlerin temel nedeni sıcaklıktır. Sıcaklık aynı zamanda işlenebilirliğin de en büyük etmenlerinden biridir. Talaş kaldırma esnasında kesici takım ile iş parçası arasında kuvvet gerilme ve sürtünmeden kaynaklı sıcaklık oluşur. Kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıklar kesici takım deformasyonu, kesici takım aşınması ve hatta kırılmasına yol açar. Dolayısıyla kesici takım ömrünün kısılması kaçınılmaz bir son haline gelir.

Kesme işlemi sırasında uygulanma kesme sıvısı iş parçası ve takım arasında yağlama ve soğutmayı sağlar. Bu sayede takım talaş arasındaki sürtünme ve sıcaklık azalır. Dolayısıyla takım aşınması azalırken daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilir. Bu nedenle kesme işlemi kolaylaştırmak, yüzey bütünlüğünü iyileştirmek, işlem verimliliğini arttırmak, talaşları uzaklaştırmak ve kesici takım ömrünün kısılmasına engel olmak için kesme sıvıları kullanılır. Talaşlı imalat işlemlerinde önemli bir yere sahip olan Kesme sıvısı kullanımı yıllardır metal kesme işlemlerinde var olan bir uygulamadır. Geleneksel ıslak yağlama yöntemlerinde önemli miktarda kesme sıvısı kullanımı işleme maliyetini oldukça etkilemektedir. Bunun yanında çevre kirliliğini arttırdığı, kimyasal bileşen içeren bu sıvıların işçi sağlığını tehdit ettiği cilt ve solunum problemlerine yol açtığı belirtilmektedir. Özellikle işlenebilirliği güç olan malzemelerin işlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılır. Pek çok faydası olduğu kabul edilen soğutma sıvılarının olumsuz etkileri nedeniyle endüstrinin kesme sıvılarını azaltma için gayret etmelerine neden olmuştur. Kesme sıvılarından beklenen özelliklerin bazıları aşağıda belirtilmektedir.

- ✓ Soğutma ve yağlama
- ✓ İnsan sağlığına ve çevreye zararsız olması
- ✓ Özelliğini uzun süre koruyabilme
- ✓ Korozyona neden olma etkisi az
- ✓ Kesme bölgesinden talaş uzaklaştırma
- ✓ Kesici takım ömrünü arttırma
- ✓ İşlem verimliliğini arttırma

Son yıllarda işlem verimliliğini, kesme sıvısı miktarını arttırmadan sağlamak için farklı yöntemlere eğilen endüstri, minimum miktarda yağlama tekniğine yönelmektedirler.

3.2.2. Yüzey pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sürecinde işlem esnasında iş parçası malzemesinin yüzeyinde istenmeyen pürüzler meydana gelir. İşleme yöntemi, kesici takım cinsi, iş parçası malzeme türü, işleme parametreleri, mekanik ve termal etkenlerle malzeme yüzeyinde meydana gelen sapma ve düzensizliklere yüzey pürüzlülüğü denir.

Yüzey pürüzlülüğü imalatın kalitesini simgelemektedir ve üreticiler için temel teknik gerekliliklerden biridir. Ürünlerin yorulma mukavemetini, korozyon dayanımını, yüzey hassasiyetini düzeltebilmek için yüzey kalitesinin iyi olması zorunludur.

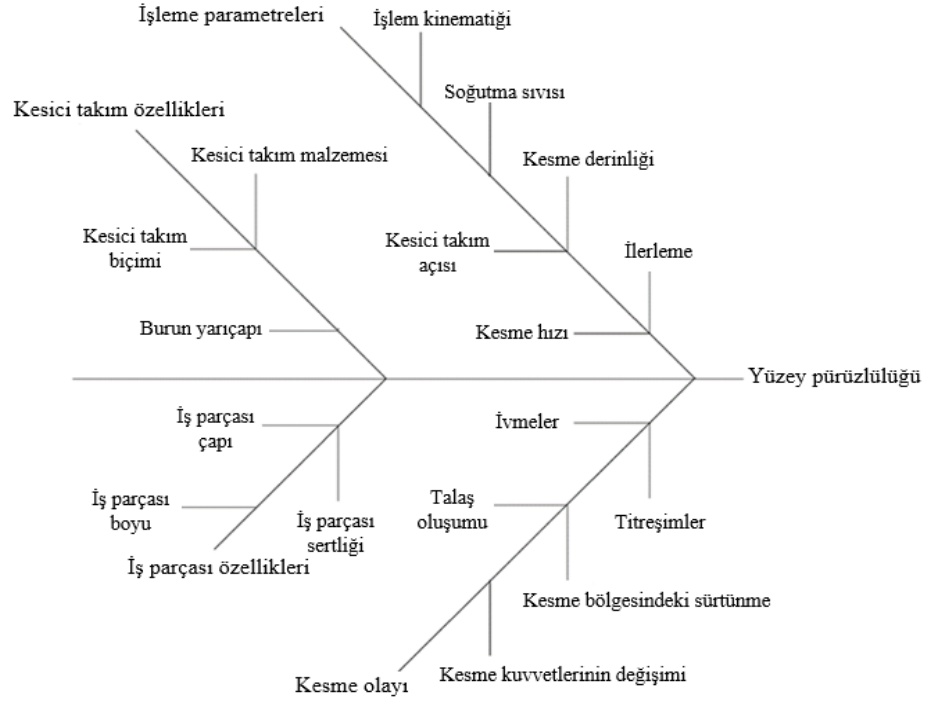
Yüzey pürüzlülüğü, üretilen makine parçasının kullanım ömrü, hizmet performansını önemli derecede etkiler (Sivaiah ve Chakradhar, 2017). Bu sebeple düşük yüzey pürüzlülüğü değeri yüksek yüzey kalitesi sağlar (Touggui ark., 2020). Bir ürünü arzulanan kalitede imal edebilmek için uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi şarttır (Kaladhar ark., 2012). İşlem parametrelerinin doğru seçilmemesi kesici takım hasarlarına, kötü bir yüzey kalitesine, işlem süresinin uzamasına ve işlem maliyetinin artmasına sebebiyet verir (Kaladhar ark., 2012).

Östenitik paslanmaz çelikler gibi zayıf termal iletkenlik özelliğine sahip malzemeler işlenirken kesme bölgesinde yüksek sıcaklıklar meydana gelir ve bu kesici takım ömrünü azaltmakla birlikte yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur (Sivaiah ve Chakradhar, 2018; Dhananchezian ark., 2011). Östenitik paslanmaz çelikler sahip olduğu yüksek deformasyon sertleşmesi, yüksek mukavemet, düşük termal iletkenlik ve yığıntı talaş oluşumu eğilimleri gibi karakteristik özellikleri nedeniyle işlenmesi güç malzemeler sınıfına girdiği bilinmektedir. Yüksek yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde en sık karşılaşılan problemlerdir. Bu tür kesilmesi güç malzemelerin işlenmesinde mükemmel yüzey kalitesine ulaşmak zor bir eylemdir (Kaladhar ark., 2013).

Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalatta işlem sürecini ve kalitesinin en önemli göstergesidir. Pek çok değişkenin birbiriyle etkileşim halinde olan tornalama işleminde bir çıktı olan yüzey pürüzlülüğü de birden çok faktörden etkilenir. Yüzey pürüzlülüğünü

etkileyen faktörler Şekil 3.3'te verilmiştir. Talaşlı imalat sırasında yüzey pürüzlülüğüne etkileyen parametreler şunlardır:

- İşleme parametreleri;
 - İlerleme hızı
 - Kesme hızı
 - Kesme derinliği
 - Kesici takım açısı
 - Soğutma sıvısı
 - İşlem kinematiği
- Kesme işlemi
 - Titreşimler
 - Kesme bölgesinde meydana gelen sürtünme ve ısı
 - Talaş oluşumu
- Kesici takım özellikleri
 - Takım tasarım ve geometrisi
 - Takım malzeme türü
 - Takım burun çapı
 - Takım aşınması
 - Takım kaplama
- İş parçası özellikleri
 - İş parçası sertliği
 - İş parçası çapı
 - İş parçası boyu
- İş parçasında bağlamadan ötürü meydana gelen bozulma
 - Takım tezgâhının rijitliği
 - Kesme hızında oluşan düzensizlikler
 - İlerleme hızındaki düzensizlikler
 - Bağlama elemanları
 - İş parçası malzemesinin mekanik özellikleri



Şekil 3. 3.Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin diyagramı (Benardos ve Vosniakos, 2003)

Tornalama işlemi esnasında kesici takımda oluşabilecek titreşimler, yüksek sıcaklıklar, yığılma kenarlı talaş oluşumu gibi istenmeyen etkileri düşürerek kesici takım cinsi, kesici takım geometrisi, takım tezgâhının rijitliği, iş parçası malzemesi ve kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği gibi) bağlı olarak en iyi yüzey kalitesine ulaşmak hedeflenmektedir (Kaladhar ark., 2012).

Araştırmacılar tarafından farklı iş parçası malzemelerinin işlenmesinde kesici takım geometrilerinin ve işlem parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri üzerine senelerce sayısız deneysel çalışma yapılmıştır.

Tornalama işleminde kesme parametrelerinin etkisi işlem sürecini ve nihai yüzey bütünlüğünü etkilediği yadsınamaz bir gerçek dolayısıyla tornalama işleminde üretimi artırırken maliyeti düşürmek için uygun değerlerde kombinasyon yapmak başarılı bir tercih olacaktır (Lawal ark., 2013).

Gerçekleştirilen pek çok deneysel çalışmaya göre tornalama işleminde yüksek kesme sıcaklıkları ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini etkileyen en önemli parametreler kesme hızı ve ilerlemedir (Aydın ark., 2013). Kesme hızının artması yüzey pürüzlülük değerini düşürmektedir. Bunun nedeni AISI 304 östenitik paslanmaz çelik gibi sünek yapıları malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenirken meydana gelen yığıntı talaş oluşumunu azaltmasıdır (Sohrabpoor ark., 2015). AISI 304 östenitik malzemelerinin

işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü diğer parametrelere kıyasla etkileyen en baskın parametre ise ilerlemedir. İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılıdır. Genel olarak ilerlemenin artması yüzey pürüzlülük değerini arttırarak yüzey kalitesinin düşmesine sebep olur (Mahdavinejad ve Saeedy, 2011).

3.2.3. Aşınma

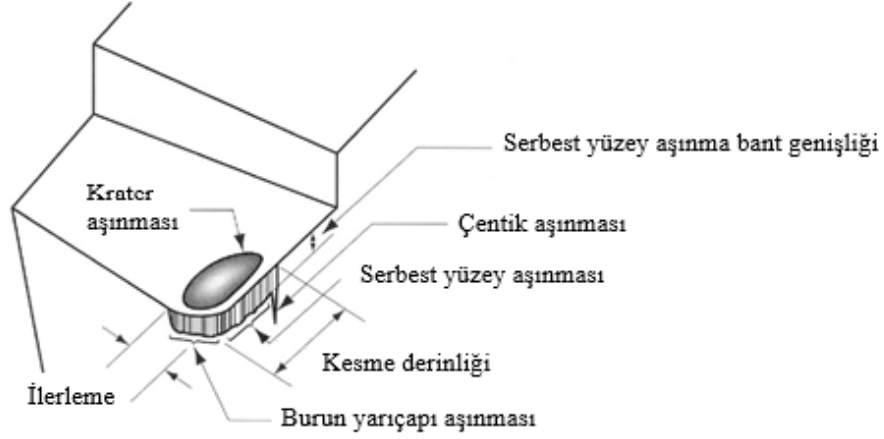
Talaşlı imalat işlemlerinde kesici takım ile iş parçası arasındaki izafi hareketlerden dolayı sürtünme ve kesme bölgesinde yüksek kesme sıcaklıkları oluşur. Yüksek sıcaklıklar, kesici takım yüzeyinde boyutsal sapmalara neden olur (Dhananchezian ark., 2011). Kesici takımda meydana gelen yüzey bozulmaları ve boyutsal değişiklikleri kapsayan tahribatlara aşınma denir. Takım aşınması birinci derecede dikkate alınması gereken bir olgudur. Talaşlı imalat endüstrisinde kesici takım aşınmaları üretimi kötü etkileyen olumsuzluklardan biridir. Kesici takım ömrüne ve yüzey kalitesine zarar veren bu unsur imalat işlemlerinde önemli bir engel olmaya devam etmektedir (Bouzidab ark., 2018).

Yüksek kalitede ürün imalatında karşılaşılan en büyük problemler talaşlı imalat operasyonları esnasında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıklardan kaynaklanmaktadır (Dhananchezian ark., 2011). Kesici takım aşınmaları ve yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine sebep olan olumsuzlukları ortadan kaldırmaya çalışan kesici takım üreticileri güncel teknolojinin faydalarından yararlanarak sürekliliği devam ettirmektedirler. Kesici takım aşınmasını etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar;

- ✓ İş parçası malzeme türü ve kimyasal karakteri
- ✓ Kesici takım malzeme türü ve mikroyapısı (Kumar ark., 2018)
- ✓ Kesici takıma uygulanan işlemler (kaplama, kriyojenik, ısıl işlem vb.)
- ✓ Sertlik
- ✓ Sıcaklık
- ✓ İşlem türü
- ✓ İşlem süresi
- ✓ Çevresel faktörler

Aşınma tipleri; Kesici takım ömrünü kısaltarak işlem kalitesini kötü etkileyen ve maliyetin artmasına neden olan aşınmanın birden fazla tipi vardır. Kesici takımda

meydana gelen aşınma tipleri Şekil 3.4'te verilmiştir. Bunlar; serbest yüzey aşınması, krater aşınması, çentik aşınması, kesici takım burun aşınmasıdır.



Şekil 3. 4. Aşınmış kesici takımın ana konumlarını ve meydana gelen aşınma tiplerini gösteren diyagram (Yıldız ve Nalbant, 2008)

Serbest yüzey aşınması talaşlı imalat işlemlerinde kesici takım ömrünü ve iş parçası yüzey kalitesi üzerinde önemli rol oynamaktadır (Bouزيد ark., 2018). Genellikle sert ve kesilmesi güç malzemelerin işlenmesinde meydana gelmektedir (Junaidh ark., 2018). Kesici takımın iş parçası malzemesi ile temas eden yüzeyinde meydana gelen aşınma tipidir. Bu aşınma tipi kesme kuvvetlerini arttırdığı gibi iş parçası yüzeyinde de hasara yol açar. Bu nedenle serbest yüzey aşınması dikkate alınması gereken bir aşınma tipidir (Sivaiah ve Chakradhar, 2018).

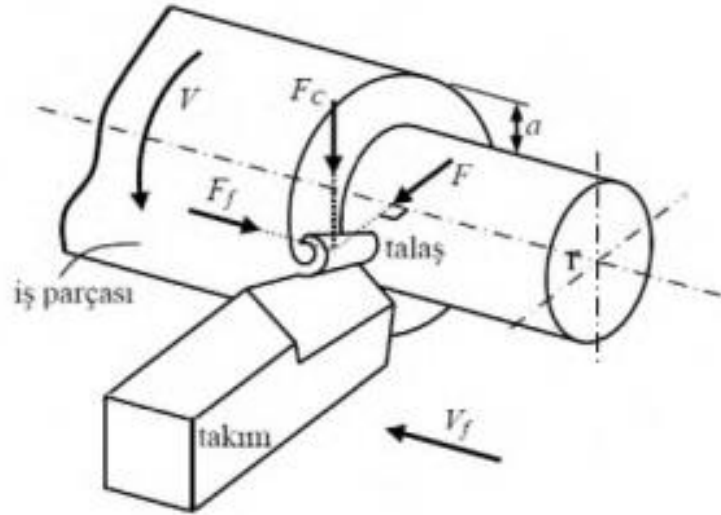
Yapılan literatür taramasına göre, çoğunlukla kesme hızının artması serbest yüzey aşınmasının artmasına neden olur dolayısıyla serbest yüzey aşınması kesme hızı ile doğru orantılıdır (Dhananchezian ark., 2011). Literatür ışığında, genellikle serbest yüzey aşınması üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu söylenebilir (Mahdavinejad ve Saeedy, 2011). Serbest yüzey aşınması talaşlı imalat işlemlerinde karşılaşılan ve kesici takım ömrü tahmini için en önemli kesici takım aşınma tipidir (Bijanazad, 2013).

Kesici takımlarda yaygın bir şekilde meydana gelen bir diğer aşınma ise kenar kırılmalarına ve yüzey kalitesinin düşmesine sebep olan çentik aşınmasıdır (Sivaiah ve 2019). Kesici takım ile iş parçasının işlenmemiş yüzeyine karşılık gelen kesme kenarında çentik aşınma meydana gelir (Özbek ark., 2016). Yüksek kesme hızlarında

ortaya çıkan çentik aşınmanın artması, kesici takım ömrünün sona ermesine yol açar (Park ark., 2015; Sivaiah ve 2019).

Kesici takım ve talaş arayüzünde meydana gelen sıcaklıktan dolayı oluşan bir diğer aşınma tipi krater aşınadır (Özcelik ark., 2011). AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde baskın olan aşınmadır (Sivaiah, 2019). Krater aşınma tipi, iş parçasından kesilen talaşın kesici takım üzerinden aktığı bölgede oluşur. Bu aşınma kesici takımın zayıflayıp zamanla kırılmasına neden olduğu için kaçınılması gereken bir oluşumdur.

Kesici takımda meydana gelen aşınmaların artması işlem sırasında kesme sıcaklıklarını, kesme kuvvetlerini ve kesici takımdaki titreşimi artırır (Dhananchezian ark., 2011). Meydana gelen bu olgular işlem kalitesini ve verimliliği düşürür.



Şekil 3. 5. Bir tornalama işlemindeki kesme kuvvetlerinin gösterimi (Ersöz, 2021)

Metal işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması, kesici takım hasarları, kesme sıcaklıkları ve üretilen parçanın yüzey kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Yaldız ve Ünsaçar, 2006). Talaş kaldırma esnasında kesici takımı etkileyen kesme kuvvetleri meydana gelir. Tornalama işleminde kesici takım üzerinde oluşan kuvvetlerin gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi tornalama işlemi esnasında üç ana kuvvet meydana gelir. Bunlar, esas kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvettir.

Esas kesme kuvveti, V yönündeki kuvvetin bileşenidir. Çoğunlukla meydana gelen üç kuvvet bileşenin en büyüğü olan bu kuvvet kesme yönünde etki eder ve işleme sırasında gücün çoğunu oluşturan kuvvettir. İlerleme kuvveti, kesici takımın iş parçası

üzerinde ilerleme istikametine paraleldir. Esas kesme kuvvetinden daha küçüktür. Radyal kuvvet ilerleme kuvvetinden daha küçük olan ve genelde ihmal edilen kuvvettir.

Kesme kuvvetlerine etki eden faktörler; Tornalama işleminde esas kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti işlenebilirlik açısından önemli kuvvetlerdir (Junaidh ark., 2018). Kesme işlemi mekanikinde önemli bir rol oynar (Kamely ve Noording, 2011). Kesme bölgesinde meydana gelen yüksek kesme sıcaklıkları ve ürün yüzey kalitesi açısından metal kesme işlemlerinde kesme kuvvetlerinin etkisi büyüktür (Sivaiah ve Chakradhar, 2017). Kesme kuvvetleri pek çok faktörden etkilenmektedir. Bunlar;

- ✓ İş parçası malzemesi
- ✓ Kesici takım türü (geometrisi, tasarımı vb.)
- ✓ İlerleme
- ✓ Kesme derinliği
- ✓ Tezgâh rijitliği ve gücü

3.2.4. Titreşim

Kesici takımda meydana gelen titreşim, tornalama işlemleri sırasında işleme performansını olumsuz etkileyen bir durumdur. Dolayısıyla talaşlı imalat işlemlerinde üzerinde durulması gereken önemli bir olgudur. Kesici takımda oluşan titreşim, kesici takım geometrisinden ve kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve işlem sırasında kesici uçta meydana gelen BUE'den kaynaklanabilir. Titreşim, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınmasını etkilediği bilinmektedir (Tekaüt, 2008).

3.3. Kriyojenik İşlem

Temel amacı minimum maliyet ile yüksek yüzey kalitesi elde etmek olan imalat işlemlerinde kesici takım önemli bir unsurdur. Bu nedenle kesici takım malzemesinin geliştirilmesi hem üretim verimliliğini hem de hizmet ömrünü arttıran ekonomik bir faktördür (Sert ve Çelik, 2019). İşlem maliyeti ve çevresel etmenler göz önünde bulundurulduğunda, kesici takımlarda karşılaşılan en büyük problem olan aşınmanın giderilmesi oldukça önemlidir. Bu problemin giderilmesi ve kesici takımın iyileştirilmesi adına yıllardır pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Kesici takımların

ömrünü uzatmak, işlem yapılırken çevreye verilen hasarı hafifletmek ve işlem maliyetini azaltmak kullanılacak yöntemden arzu edilen özelliklerdir (Kurşuncu, 2020). MQL, kesici takım kaplamaları ve kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem kullanılan yöntemlerden bazılarıdır (Kurşuncu ark., 2018).

Kriyojenik işlem, malzemelere olağandışı düşük derecelerdeki sıcaklıklarda uygulanan bir ısıtma işlemi yöntemidir. Kelime anlamı Yunanca soğuk denilen "krys" tan gelmektedir. Malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek adına on altıncı yüzyılın bitiminden bu yana kullanılan bu yöntem, 1937 yılında kesici takımlara da uygulanarak takım performansı üzerine faydalı etkilerinin olduğu tespit edilmiştir (Akıncıoğlu ark., 2015). Konvansiyonel ısıtma işlemi ek olarak tümleyici bir işlem olan kriyojenik işlem, çoğunlukla şiddetli aşınmaya uğrayan malzemelerde, aşınma mukavemetini kuvvetlendirmek amacıyla uygulamaktadır (Kara ark., 2020; Özbek ark., 2016). Kriyojenik işlem, soğuk işlem ve sıfırlama işlemi olarak da bilinmektedir (Kıvak ve Şeker, 2015). Kriyojenik işlem, kesici takımların ince film kaplama yöntemleri PVD, CVD gibi diğer kesici takım iyileştirme amacıyla kullanılan alternatif tekniklere kıyasla malzemenin yalnızca yüzeyini değil tamamını etkileyen ve bir kez yapılan kalıcı bir işlemdir (Varghese ark., 2019). Kriyojenik işlem, malzemelerin çok düşük sıcaklıklara kademeli olarak çoğunlukla sabit bir soğutma hızında düşürüldükten sonra belli bir süre bu sıcaklıklarda bekletilip (genellikle 24 saat) ardından kademeli olarak tekrar aynı sabit soğutma hızında oda sıcaklığına yükseltilmesi olarak tarif edilebilir (Özbek ark., 2016). Daha önceki çalışmalar incelendiğinde malzemeler kriyojenik işlem sıcaklıklarına direkt indirildiğinde malzemelerin ani termal şoka uğraması nedeniyle mikro çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir (Akıncıoğlu ark., 2015). Malzemelerin ani termal şoka maruz kalmalarından dolayı kaynaklanan mikro çatlakları önlemek amacıyla kriyojenik işlem kademeli olarak uygulanmaktadır (Akıncıoğlu ark., 2016).

3.3.1. Kriyojenik işlem parametreleri

Kriyojenik ısıtma işlem süresi; Kriyojenik ısıtma işlem süresi, malzemenin önceden planlanan kriyojenik sıcaklık değerinde bekletilme süresine denir. Tavlama süresi olarak da bilinen bu zaman dilimi malzemenin mekanik özellikleri, kriyojenik işlem verimliliği, toplam işlem maliyeti ve özellikle kesici takımların aşınma direncinin iyileştirilmesi üzerinde önemli etkilere sahiptir (Varghese ark., 2019). Kriyojenik ısıtma işlem süresi 1 ila 40 saat aralığında değişmektedir (Akıncıoğlu ark., 2015).

Kriyojenik ısıtma işlem sıcaklık derecesi; Kriyojenik ısıtma işlem sıcaklık, malzeme türüne ve işlem tipine göre seçilen uygun kriyojenik sıcaklık derecesidir. Kriyojenik işlem için önceden belirlenen sıcaklık değeri işlemin uygulandığı malzeme üzerinde oldukça etkili bir parametredir.

Kriyojenik ısıtma işlem soğutma hızı; Soğutma hızı, malzemenin ısıtma şoka uğramaması adına belirlenen hız değeridir (Kurşuncu, 2020). Kriyojenik işlemde önemli bir unsur olan bu parametre işlem uygulanacak malzemenin oda sıcaklığından kriyojenik sıcaklıklara düşürülmesi esnasında önceden belirlenen önemli bir parametredir.

Kriyojenik ısıtma işlem parametreleri, işlemin uygulandığı malzemenin özellikleri üzerinde farklı kombinasyonlarla farklı etkiler yaratır. Bu parametrelerin doğru seçimi uygulanan kriyojenik işlemde üstün verim alabilmek için önemli bir husustur.

Kriyojenik işlem -80°C ve -196°C arası sıcaklıklarda uygulanmaktadır.

Kriyojenik işlem, uygulama sıcaklık derecelerine göre sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

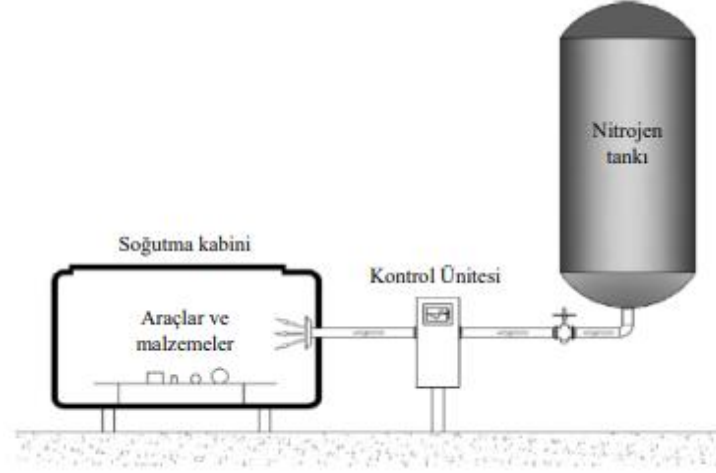
A. Sığ kriyojenik işlem: Malzemelere -80°C ve -140°C sıcaklıkları arasında ısıtma işlem uygulanan işlem tipidir.

B. Derin kriyojenik işlem: Malzemelere -140°C ve -196°C sıcaklıkları arasında uygulanan ısıtma işlem tipidir.

Malzemelerin bu sıcaklıklarda bekletme sürelerine göre işlenebilirlik özellikleri üzerine farklı etkiler göstermektedir (Akıncıoğlu ark., 2015). Kriyojenik işlem malzemelerin konvansiyonel ısıtma işlem sonrası iç yapısında kalan kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü sağlar. Malzeme yapısında ince karbür partiküllerinin meydana gelmesini ve homojen olarak dağılmasını sağlar (Özbek ark., 2014). Böylelikle malzemenin sertlik ve aşınma dayanımını artırır (Kara ark., 2020). Dolayısıyla kriyojenik işlem, malzemelerin kristal iç yapılarını değiştirdiği ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği gözlenen bir işlem türüdür (Varghese ark., 2019).

Kriyojenik işlemin uygulama şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi kriyojenik işlem hem iş parçası malzemelerine hem de kesici takımlara uygulanabilen bir yöntemdir. Kriyojenik işlem oksijen, helyum ve nitrojen gibi gazlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Nitrojen atmosferin yaklaşık %78 'ini oluşturur. Kriyojenik işlem uygulamalarında en çok kullanılan gaz olan sıvı nitrojen, LN2 ile

gösterilir (Akıncıoğlu ark., 2015). Renksiz ve kokusuz olan bu gaz $-210,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ erime ve $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ kaynama noktasına sahiptir (Akıncıoğlu ark., 2015). Kriyojenik işlemde çevreye zararı daha az olan gazlar kullanıldığından dolayı çevre dostu bir işleme yöntemi olduğu belirtilebilir (Varghese ark., 2019).



Şekil 3. 6. Kontrollü bir şekilde uygulanan kriyojenik işlemin şematik gösterimi (Akıncıoğlu ark., 2015)

Tornalama, frezeleme ve delme gibi talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar, sürtünme, yüksek sıcaklıklar, yüksek yükler, mekanik kuvvetler gibi çeşitli faktörlerle karşı karşıya kalır. Bu etkiler sonucunda kesici takımlarda aşınmaların oluşmasına dolayısıyla kesici takım hasarlarına yol açar (Kumar ark., 2018). Bilhassa AISI 304 östenitik paslanmaz çelik gibi işlenebilirliği zor malzemelerin tornalanması esnasında oluşan yüksek kesme sıcaklıkları, yüksek aşınma ve düşük yüzey kalitesi problemleri meydana gelir. Bu nedenle yüksek performanslı, verimli bir işlem gerçekleştirilebilmesi için yüksek aşınma direnci ve yüksek sertliğe sahip kesici takımlar kullanılmalıdır.

Metal işleme operasyonunun başarısı iş parçası malzemesine, malzeme ve geometrik açıdan uygun bir kesici takımın seçimine bağlıdır.

Kesici takım, talaşlı imalat işlemlerinin en önemli parçasıdır. Kesici takım malzemesi, kesme parametreleri ve takım geometrisi seçimi talaşlı işlem operasyonunun verimliliğini doğrudan etkiler. Kesici takım seçimini etkileyen bazı kriterler aşağıda belirtilmiştir;

- ✓ İş parçası malzeme türü
- ✓ Parçanın geometrik ve boyutsal hassasiyet özellikleri
- ✓ Takım tutucu ve takım tezgâh özellikleri

Kesici takımlar son derecede güç koşullarda çalışırlar; yüksek kesme sıcaklıkları, yüksek sürtünme ve yüksek gerilimler kesici takımın aşağıdaki özelliklere sahip olmasını gerektirmektedir.

- ✓ Yüksek sertlik
- ✓ Yüksek aşınma direnci
- ✓ Yüksek tokluk (yüksek kırılma mukavemeti)
- ✓ Yüksek mukavemet
- ✓ Uzun takım ömrü
- ✓ Doğru geometri ve iyi yüzey kalitesi

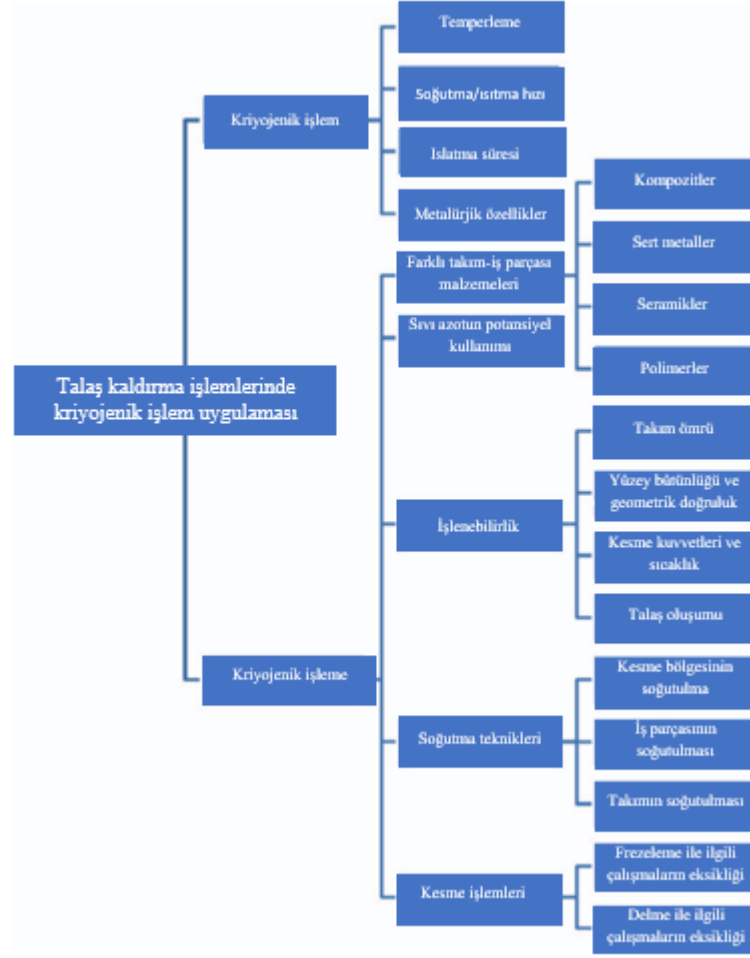
Kesici takımlar belirli periyotlarla değiştirildiği için bu malzemelerin kolay üretilibilmeleri ve pahalı olmamaları gerekir. Yukarıda yazılan özelliklerin tümünün bir arada bulunması oldukça zordur.

Bu nedenle kesici takımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesi imalat sektörü için her daim gündemde olan önemli bir amaçtır. Kesici takım ömrü, yüzey kalitesi ve maliyet açısından önemli bir unsur olan bu işlem elemanın geliştirilmesi, kesici takım endüstrisinde güçlü bir rekabetin yaşanmasının en büyük nedenidir (Gill ark., 2012). Endüstrideki bu kuvvetli rekabet sebebiyle kesici takım üreticileri, kesici takımı tahribata uğratan olguları kavramak ve kesici takımların hizmet ömrünü arttırmanın yöntemlerini bulmak amacıyla konu ile ilgili araştırma ve çalışmaları hayli önemsemektedir (Gill ark., 2012).

3.3.2. Kriyojenik işlemin etkileri

Talaş kaldırma işlemlerinde kriyojenik işlem uygulamalarının çalışma alanları ve sınıflandırılması Şekil 3.7’de verilmiştir. Kriyojenik işlemin uygulandığı malzeme üzerinde olumlu etkileri olduğu yıllardır yapılan araştırmalar ışığında belirtilebilir. Gerçekleştirilen literatür taramasına göre malzemeye kazandırdığı özellikler şunlardır:

- ✓ Daha yüksek aşınma direnci
- ✓ Daha uzun ömür
- ✓ Boyutsal bütünlük
- ✓ Termal iletkenlik
- ✓ Sertlik ve tokluk değerlerini arttırma (Akıncioğlu ark., 2015)
- ✓ Korozyon direncinde artış



Şekil 3. 7. Talaş kaldırma işlemlerinde kriyojenik uygulamalarının çalışma alanları ve sınıflandırılması (Shokrani ark., 2013)

3.3.3. Kriyojenik işlemin kullanım alanları

Kriyojenik işlem ile ilgili araştırmalar ışığında, malzemelerin sertlik, aşınma direnci ve mukavemet değerlerinde olumlu faydaları olduğu vurgulanabilir (Akıncioğlu ark., 2016). Demir, demir dışı metal alaşımları, seramik ve plastiklerin yanı sıra kriyojenik işlem pek çok farklı öğelere uygulanmaktadır (Akıncioğlu ark., 2016). Örneğin; talaşlı imalat, havacılık motor parçaları, elektronik, müzik aletleri, endüstriyel aletler, spor ekipmanları, dişliler ve yataklar, kimi kompozit malzemelerin yanında tıbbi aletlerin, dişçilik ve cerrahi implantların performans ömrünü uzatmak amacıyla kullanılmaktadır (Akıncioğlu ark., 2016; Singla ark., 2018; Varghese ark., 2019).

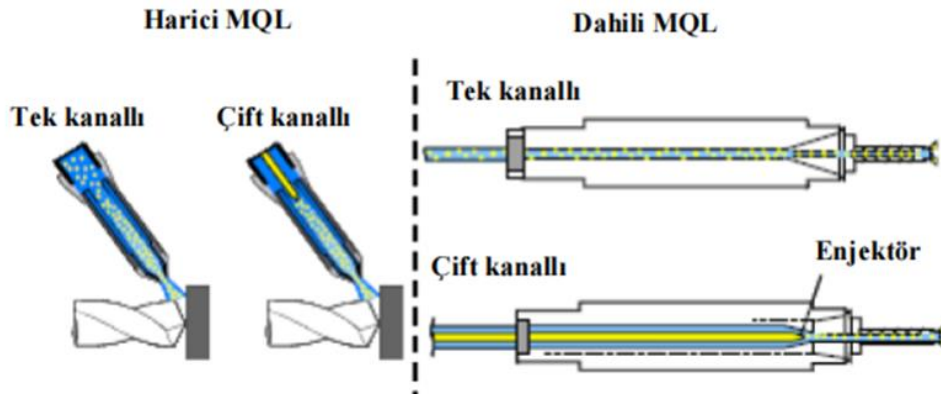
Kriyojenik işlem uygulamaları arasında silah namluları, petrol matkapları, beyzbol sopaları, golf sopaları ve bıçaklar da bulunmaktadır (Baldissera ve Delprete, 2008).

3.4. Minimum Miktarda Yağlama

Talaşlı imalat işlemlerinde talaşları uzaklaştırmak ve kesme bölgesindeki sıcaklığı düşürmek amacıyla sıklıkla başvurulan kesme sıvısı kullanımını azaltmak araştırmacıların üzerinde durduğu bir konudur. Yarı kuru işleme olarak da isimlendirilen minimum miktarda yağlama, geleneksel taşkın yağlama sisteminin bir alternatifi olarak düşünülmektedir (Naveena ark., 2017).

Minimum miktarda yağlama yöntemi, minimum miktarda kesme sıvısının takım-ış parçası arayüzüne basınçlı hava akışı ile püskürtülerek yapılan işlemdir (Rahim ve Sasahara, 2011). Püskürtülen yağ, takım iş parçası arasında talaşların sürtünmesini ve talaşların yapışma ihtimalini azaltarak kesme bölgesindeki ısının düşmesini sağlamaktadır (Rahim ve Sasahara, 2011). Kesme bölgesine püskürtülerek nüfuz eden yağ, daha az kesme sıvısının kullanımı ile işlem verimliliğini artırıp kesici takım ömrünün kısılmasına engel olmaktadır (Yıldırım ark., 2019). MQL çoğunlukla 10-100 ml/sa gibi az miktarda sıvı kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Huang ark., 2018). Neredeyse kuruya yakın olan MQL sisteminde kullanılan kesme yağının çoğu buharlaştığından dolayı çevre ve işçi sağlığına geleneksel soğutma tekniğine kıyasla daha az zarar verir (Yıldırım ark., 2019).

Minimum miktarda yağlama sistemi Şekil 3.8’de verilmiştir. Şekil 3.8’de gösterildiği gibi sıvının aktarılma tipine göre harici ve dahili olmak üzere iki ayrı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu sistemlerin kendi içinde iki farklı yolu bulunmaktadır. Birinci yol, hava ve yağ karışımının tek kanal ve nozul ile püskürtülmesi, diğer yol ise hava ve yağ ayrı gelerek nozul içerisinde karıştırılıp püskürtülmesi şeklinde gerçekleştirilir (Bijanazad, 2013).



Şekil 3. 8. Minimum miktarda yağlamada harici ve dahili püskürtme (Bijanazad, 2013)

MQL tekniğinin bazı avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- ✓ İşlem için kullanılan yağların insan ve çevreye zararının olmaması
- ✓ Yağ kullanımını azalttığından dolayı ekonomik açıdan yararlı olması
- ✓ Kuruya yakın talaş oluşumu nedeniyle talaş geri dönüşümü mümkün olması
- ✓ Güvenli ve kuru bir çalışma sahası sağlaması
- ✓ Kesici takım ömrünü
- ✓ Soğutma sıvısının kontrol ve bakım maliyetinin bertaraf edilmesi (Bijanzad, 2013).

3.4.1. Harici MQL (minimum miktarda yağlama) sistemi

Harici MQL sisteminde aerosol dışarıdan nozulla taşınır. Uzunluk ve çap l/d oranının (l , delik derinliği, d , delik çapı) için altında olması şartlarında kesme bölgesine dışarıdan püskürtme için uygundur. Tornalama ve frezeleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu sistem, nozul, Soğutma suyu deposu, dağıtım sistemi, kompresör ve borulardan oluşmaktadır. Seri parça üretimi için uygun olan bu sistem basit, bakımı kolay ve düşük maliyetlidir (Bijanzad, 2013).

3.4.2. Dahili MQL (minimum miktarda yağlama) sistemi

Dahili MQL sisteminde aerosol kesici takım ve takım boyunca dönen iş mili vasıtasıyla iletilir. L/d oranının için üzerinde olması şartlarında delik delme, raybalama ve diş açma işlemlerinde kullanıma uygundur. Bu sistemde sıvı kesici takım içerisinden aktarıldığı için nozul ile ilgili yapılan ayarlamaların neden olacağı muhtemel sorunların önüne geçebilir olmasıdır (Bijanzad, 2013).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. İş Parçası Malzemesi

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Deney numunesinin çapı 48 mm ve boyu 400 mm olarak belirlenmiştir. Kullanılan iş parçasının kimyasal bileşimi Tablo 4.1’de, mekanik özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 1. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin % 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 4. 2. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 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

4.2. Takım Tezgâhı

Deneylerde kullanılan iş parçası numuneleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan TC35 marka sanayi tipi CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Kullanılan tezgâhın iç ünitesi Şekil 4.1’de, CNC torna tezgâhının görüntüsü Şekil 4.2’de ve tezgâh özellikleri Tablo 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4. 1. JohnFord TC35 CNC torna iç ünitesi



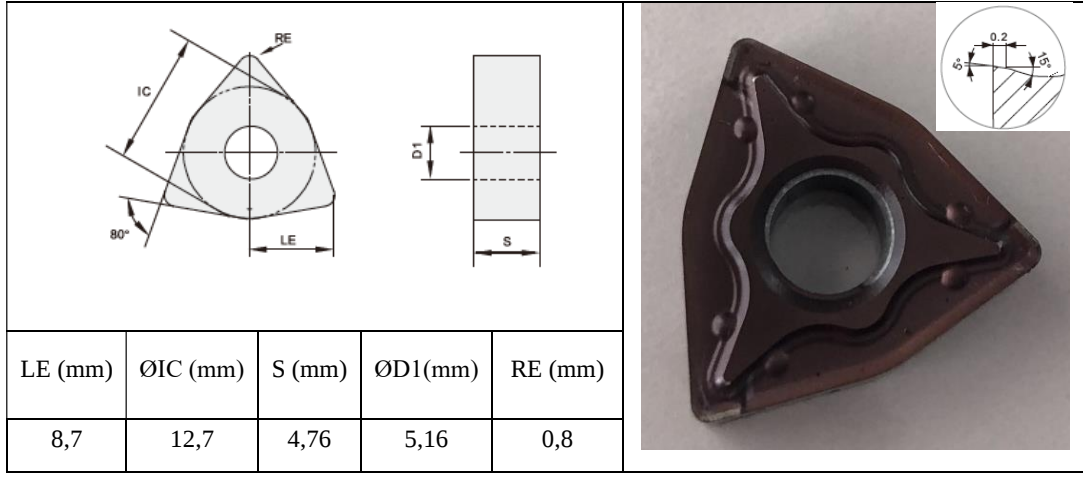
Şekil 4. 2. JohnFord TC35 CNC torna tezgâhı

Tablo 4. 3. JohnFord TC35 CNC torna tezgâhının özellikleri

Tezgâh Özellikleri	Değerler
Tezgâh Gücü	10KW
Maksimum Devir Sayısı	6000 rpm
Z Eksen Mesafesi	810 mm
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm
İşletim Sistemi	Fanuc

4.3. Kesici Takımlar ve Takım Tutucu

İşleme deneyleri için çift taraflı ve negatif talaş açısına sahip WNMG 080408-OMM form yapısında P25/M25 kalitesine sahip PVD (fiziksel buhar biriktirme) kaplamalı karbür kesici uç seçilmiştir (OKE, 2021). Deneylerde kullanılan kesici ucun görüntüsü ve geometrik özellikleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Seçilen kesici uçlara uygun olan PWLNR 2525M08 takım tutucu kullanılmıştır (OKE, 2021). Takım tutucunun görüntüsü Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4. 3. WNMG 080408-OMM kesici uç ve geometrik özellikleri



Şekil 4. 4. PWLNR 2525M08 takım tutucu

4.4. Kesme Parametreleri

İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ISO 3685 şartları ve üretici kesici takım firmasının önerileri dikkate alınarak seçilmiştir (ISO 3685, 1999). Tornalama deneylerinde dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme, sabit kesme derinliği ve sabit MQL debisi kullanılmıştır. İşleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri Tablo 4.4'te ve tornalama işlemlerinin deney şeması Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5'te verilen deney şeması 4 farklı işleme şartları için ayrı ayrı kullanılmıştır. İşleme şartları; kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL uygulama (Mİ), kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL uygulama (M), kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla kuru işleme (Kİ) ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme (K) şeklindedir. Her bir işleme şartı için 16 adet deney yapılarak toplam 64 tornalama işlemi yapılmıştır.

Tablo 4. 4. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesme Hızı, V (m/dak)	160 – 190 – 220 – 250
İlerleme, f (mm/dev)	0,1 – 0,15 – 0,2 – 0,25
Kesme derinliği, a (mm)	2
MQL Debisi, Q (ml/dak)	0,978
Basınç, P (bar)	4
Soğutucu koşulları	MQL- kuru işleme

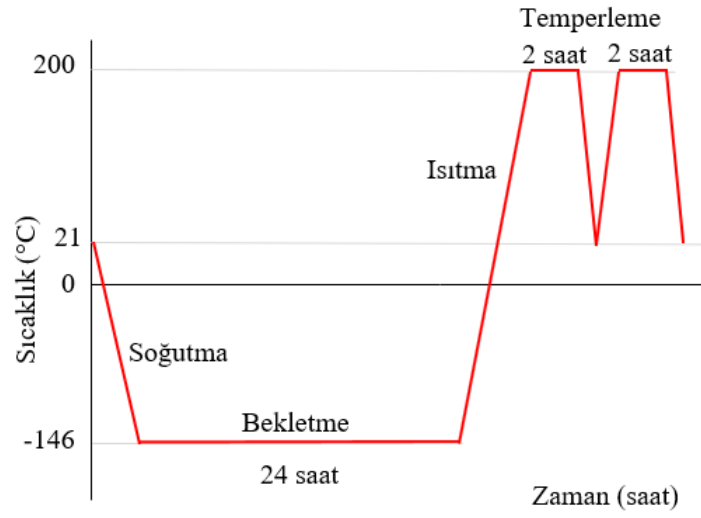
Tablo 4. 5. Tornalama işlemlerinin deney şeması

Deney No	Kesme Hızı (V) m/dak	İlerleme (f) mm/dev	Kesme Derinliği (a) mm
1	160	0,1	2
2	190	0,1	2
3	220	0,1	2
4	250	0,1	2
5	160	0,15	2
6	190	0,15	2
7	220	0,15	2
8	250	0,15	2
9	160	0,2	2
10	190	0,2	2
11	220	0,2	2
12	250	0,2	2
13	160	0,25	2
14	190	0,25	2
15	220	0,25	2
16	250	0,25	2

Kesici takım aşınma deneyleri, sabit talaş kaldırma hacmi dikkate alınarak kuru ve MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımlarla gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde, 250 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme, 2 mm kesme derinliği ve 0,978 ml/dak MQL debisi kullanılmıştır.

4.5. Kriyojenik İşlem Uygulanması

Kesici takımlara uygulana kriyojenik işlem, Alper Isıl İşlem firmasında gerçekleştirilmiştir. Kesici uçlar, bilgisayar kontrollü sistemde fırın içerisine yerleştirilip 2 saat içerisinde oda sıcaklığından -146°C sıcaklığa soğutulmuştur. Kesici uçlar -146°C sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra tekrar oda sıcaklığına getirilmiştir. Ardından 200°C 'de 2 saat süre ile temperleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temperleme işlemi 2 döngü şeklinde yapılmıştır. Kesici uçlara uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme işlemi Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 5. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme işlemleri

4.6. Minimum Miktarda Yağlama

Deneylerde kullanılan MQL sistemi olarak harici MQL sistemine ve birçok tezgâh tipine uygun SKF marka UFB20-Basic cihazı kullanılmıştır. UFB20-Basic cihazının görüntüsü Şekil 4.6.'da ve MQL sisteminin kullanıldığı cihazın görüntüsü Şekil 4.7.'de verilmiştir. MQL uygulaması için çelik malzemelerin işlenmesine uygun Lubrioil türü yağ kullanılmıştır. Kullanılan yağın özellikleri Tablo 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4. 6. UFB20-Basic MQL sistemi



Şekil 4. 7. MQL sistemi

Tablo 4. 6. MQL sistemi için kullanılan yağ özellikleri

MQL Yağı ve Özellikleri		DIN 51757	DIN 51562	DIN ISO 2592
Yağ cinsi	İçerik	Yoğunluk 20 °C	Viskozite 40 °C	Yanma Noktası
Lubrioil	Ester yağ asidi	0,92 g/cm ³	47 mm ² /s	265 °C

4.6.1. MQL sistem uygulanması ve debisinin belirlenmesi

Minimum miktarda yağlama sistemi işleme yapılan tezgâha uygun olarak entegre edildikten sonra kesme sıvısının hangi debilerde uygulanacağını ve ml/dak cinsinden kullanım miktarını tespit edebilmek adına gerekli araştırma ve hesaplamalar yapılmıştır. MQL debi miktarının belirlenmesinde boş bir beher içerisine bir dakikalık süre ile yağ-hava karışımı gönderilmiştir ve ardından hassas terazi yardımıyla ölçülerek gr/dak cinsinden debi miktarı elde edilmiştir (Yıldız, 2019). MQL sistemi debi ölçümleri sonucunda elde edilen veriler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

A- 0 tur (kapalı konum) = 1 dakikada 0,2514 gr $\rightarrow$ 0,25 gr/dak,

B- 3 tur açık olduğunda = 1 dakikada 0,4656 gr $\rightarrow$ 0,45 gr/dak,

C- 6 tur açık olduğunda = 1 dakikada 0,8792 gr $\rightarrow$ 0,90 gr/dak,

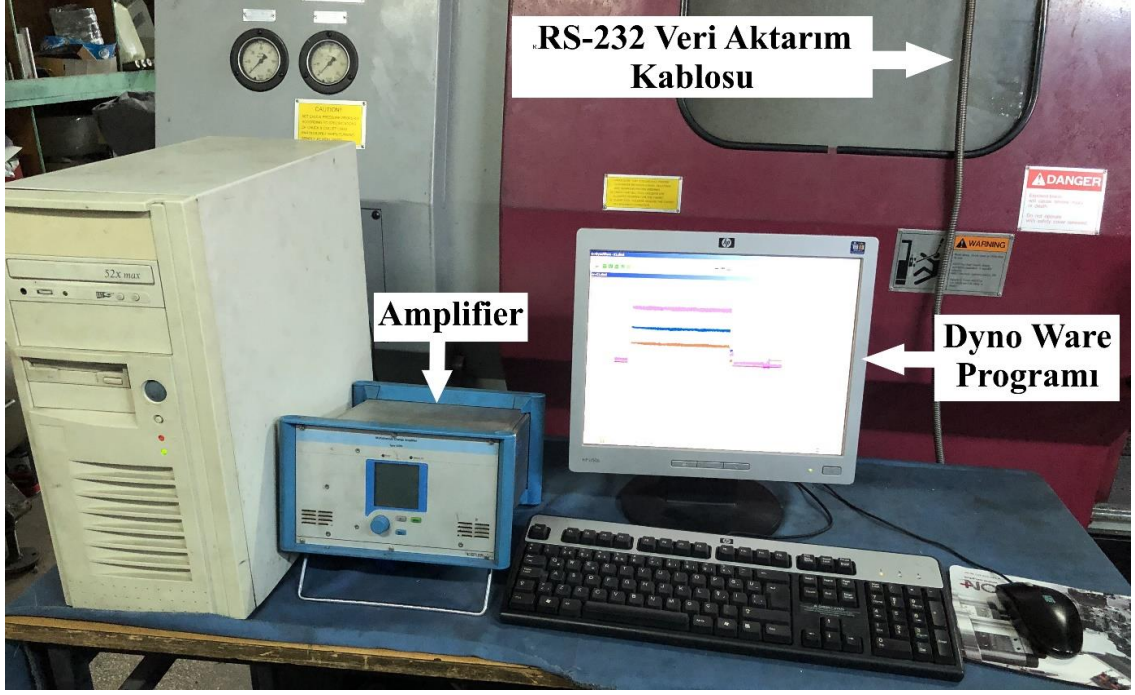
D- 9 tur açık olduğunda = 1 dakikada 3,258 gr $\rightarrow$ 3,25 gr/dak,

E- 12 tur açık olduğunda = 1 dakikada 16,289 gr $\rightarrow$ 16,25 gr/dak.

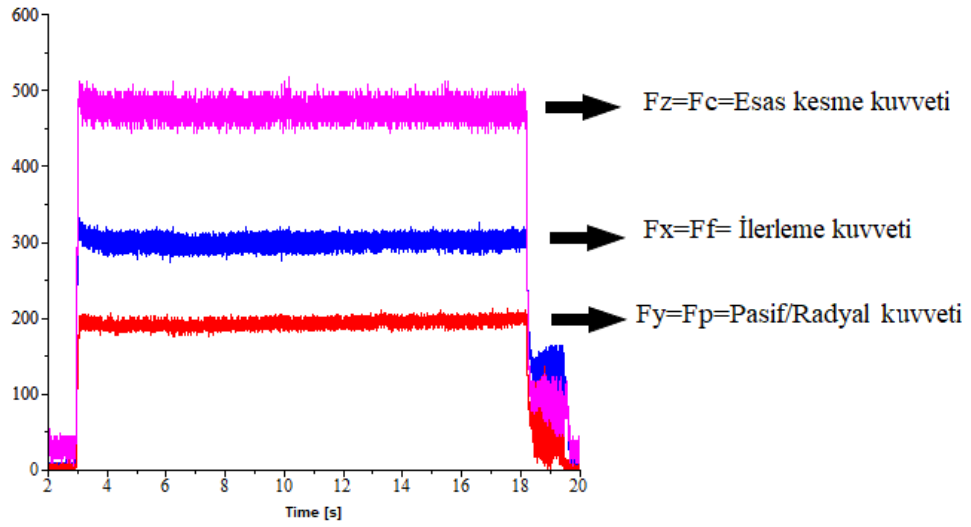
Yapılan literatür araştırmalar ve yukarıdaki değerler dikkate alınarak 1 dakikada 0,90 gr/dak, bu değer ml/dak cinsine çevrildiğinde 0,978 ml/dak debi miktarı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. MQL debisi yapılan deneysel çalışmalar boyunca sabit tutulmuştur. MQL uygulaması çift nozul ile gerçekleştirilmiştir. Nozulların kesici takıma mesafesi 7 mm'dir.

4.7. Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü

Tornalama sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçümü, Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan üç farklı kuvvet bileşeni ölçebilen “KISTLER 9257A” tipi piezoelektrik dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamometre vasıtasıyla ölçülen farklı kuvvet bileşenleri; esas kesme kuvveti F_z (F_c), ilerleme kuvveti F_x (F_f) ve radyal kuvveti F_y (F_r) dir. Bu dinamometre “KISTLER Type 5070” bir sinyal yükselticiye (Multichannel Charge Amplifier) bağlanmış ve kesme kuvvetleri RS-232C ara kablo ile bilgisayara aktarılmıştır. Kuvvet ölçüm ekipmanları Şekil 4.8.’de verilmiştir. Kesme sırasında elde edilen kesme kuvveti değerleri Şekil 4.9.’da gösterildiği gibi “DynoWare Type 2825Ai-2” programı ile ölçülmüştür.



Şekil 4. 8. Kuvvet Ölçüm Ekipmanları

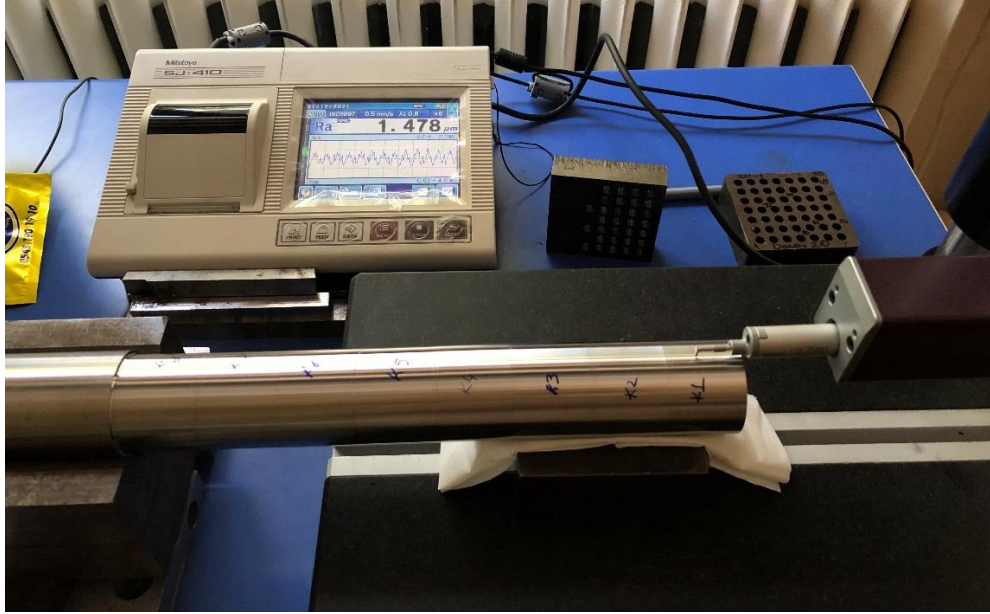


Şekil 4. 9. Dynoware programı ile kesme kuvvetlerinin ölçüm görüntüsü

4.8. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemelerinin tornalanması sonucu oluşan iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Mitutoyo SJ-410 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazına ait görüntüler Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Tornalanmış iş parçalarının işlenmiş yüzeyinden 5.6 mm

ölçme boyunda beş farklı yerden ölçüm alınmış ve bu değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanarak ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4. 10. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği



Şekil 4. 11. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ekranı



Şekil 4. 12. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

4.9. Kesici Takımlardaki Aşınma Ölçümü

Takım aşınması deneyleri, kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla kuru ve MQL uygulama şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde 250 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği olarak sabit kesme parametreleri kullanılarak kesici takımlarda oluşan aşınmalar talaş kaldırma hacmine göre hesaplanmıştır. İşlem bitiminde her kesici uç Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Dino-Lite optik mikroskobuna yerleştirilmiş ve gerekli ölçümler alınmıştır. Aşınma deneylerinde kullanılan mikroskobun görüntüsü Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4. 13. Dino-Lite optik mikroskop

Kesici takım aşınma deneyleri sonrası takımlar mikroskopa ölçüldükten sonra kesici takımlarda meydana gelen aşınma mekanizmalarının belirlenebilmesi için Gazi Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Jeol JSM-6060LV tarama elektron mikroskop (SEM) cihazına yerleştirilerek görüntüler alınmıştır. Şekil 4.14'te tarama elektron mikroskop cihazına ait görüntü verilmiştir.



Şekil 4. 14. Jeol JSM-6060LV taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı

4.10. Titreşim Ölçümü

Tornalama deneyleri esnasında kesici takımda meydana gelen titreşimler, Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan PCE-VM3D titreşim ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kesici takıma bağlanmış halde olan titreşim cihazının her bir deney sırasında verdiği değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak grafikler oluşturulmuştur. Titreşim ölçme cihazının görüntüsü Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4. 15. PCE-VM3D titreşim ölçme cihazı

4.11. Mikrosertlik Ölçümü

Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların mikrosertlik ölçümleri, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan THV-30D Dijital Otomatik Taretli Vickers sertlik test cihazında yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinde yük olarak 10 N ve bekleme süresi olarak da 10 sn seçilmiştir. Mikrosertlik ölçüm cihazına ait görüntü Şekil 4.16'da verilmiştir.



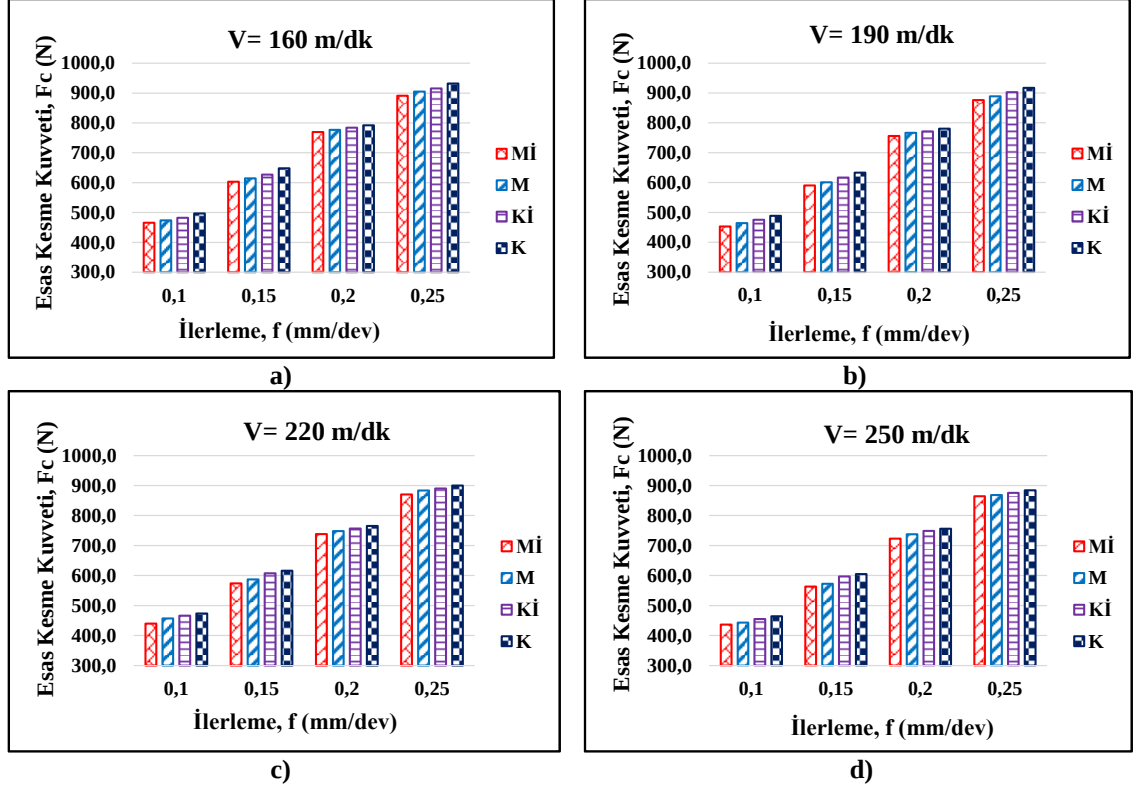
Şekil 4. 16. Sertlik ölçme cihazı

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Esas kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, titreşim, kesici takım aşınması ve talaş morfolojisi sonuçları kesme parametreleri ve 4 farklı işleme şartları altında değerlendirilmiştir. İşleme şartları, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım MQL uygulama (Mİ), kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım MQL uygulama (M), kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım kuru işleme (Kİ) ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım kuru işleme (K) şeklindedir.

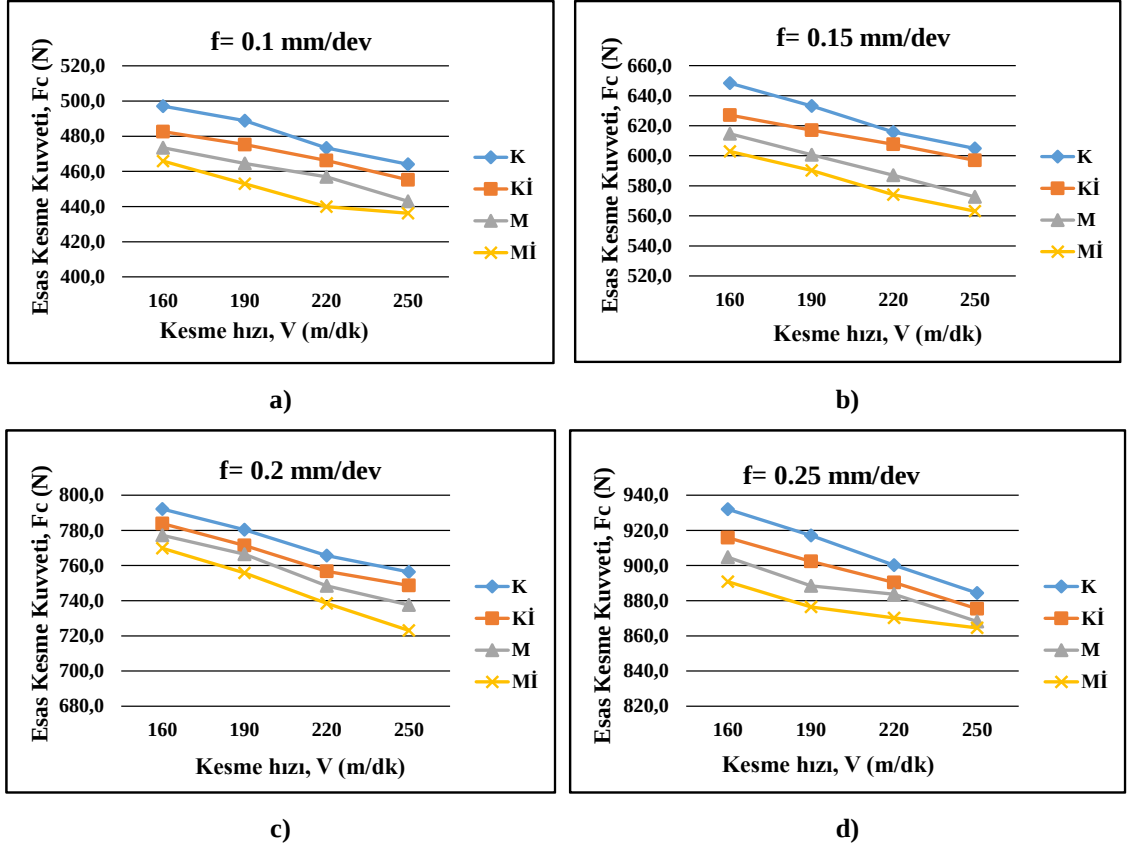
5.1. Esas Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde, kuru ve MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımlarla yapılan tornalama deneylerinde elde edilen esas kesme kuvvetleri sonuçları değerlendirilmiştir. AISI 304 iş parçalarının tornalanmasında kriyojenik işlemin, MQL uygulamasının ve kesme parametrelerinin esas kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini tespit edebilmek için işleme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 5. 1. İlerlemeye bağlı olarak esas kesme kuvvetleri kuvvetlerindeki değişim a) V=160 m/dak b) V=190 m/dak c) V=220 m/dak d) V=250 m/dak

Deneyler dört farklı kesme hızı (160 m/dak, 190 m/dak, 220 m/dak, 250 m/dak) dört farklı ilerleme (0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev, 0,2 mm/dev, 0,25 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (2 mm) ile kuru ve MQL şartlarında tornalama deneylerine ait esas kesme kuvvetleri grafikleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.1’deki grafiğe bakıldığında tüm işleme koşullarında ilerlemenin artması ile esas kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda da paralel sonuçlar çıktığı tespit edilmiştir (Mavi ve Korkut, 2014; Berkani ve ark., 2015; Touggui ve ark., 2021). İlerleme miktarının artmasına bağlı olarak artan talaş kesit alanı ve birim zamanda iş parçasından kaldırılan talaş miktarı kesme kuvvetlerinde artışa sebep olmuştur (Mavi ve Korkut, 2014; Berkani ve ark., 2015; Touggui ve ark., 2021).



Şekil 5. 2. Kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvvetlerindeki değişim a) f=0,1 mm/dev b) f=0,15 mm/dev c) f=0,2 mm/dev d) f=0,25 mm/dev

Kesme hızına bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvetlerindeki değişim grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.2’deki grafiklere bakıldığında tüm işleme koşullarında kesme hızının artması ile esas kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin düşmesi yapılan literatür araştırmasında da görülmüştür (El tamimi ve El-Hossainy, 2008;

Dhananchezian ve ark., 2011; Kulkarni ve Sargade, 2015; Berkani ve ark., 2015; Uysal ve Jawahir, 2021; Tougguı ve ark., 2021). Kesme hızının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin düşmesi, kesme hızının arttıkça kesici takım talaş arayüzündeki temas alanının azalmasıyla açıklanabilir (Uysal ve Jawahir, 2021). Bir diğer neden ise kesme hızının artması ile kesme bölgesinde kesme sıcaklığının yükselmesi ve dolayısıyla iş parçasının yumuşayarak mukavemetinin azalmasına atfedilebilir (Dhananchezian ve ark., 2011; Uysal ve Jawahir, 2021).

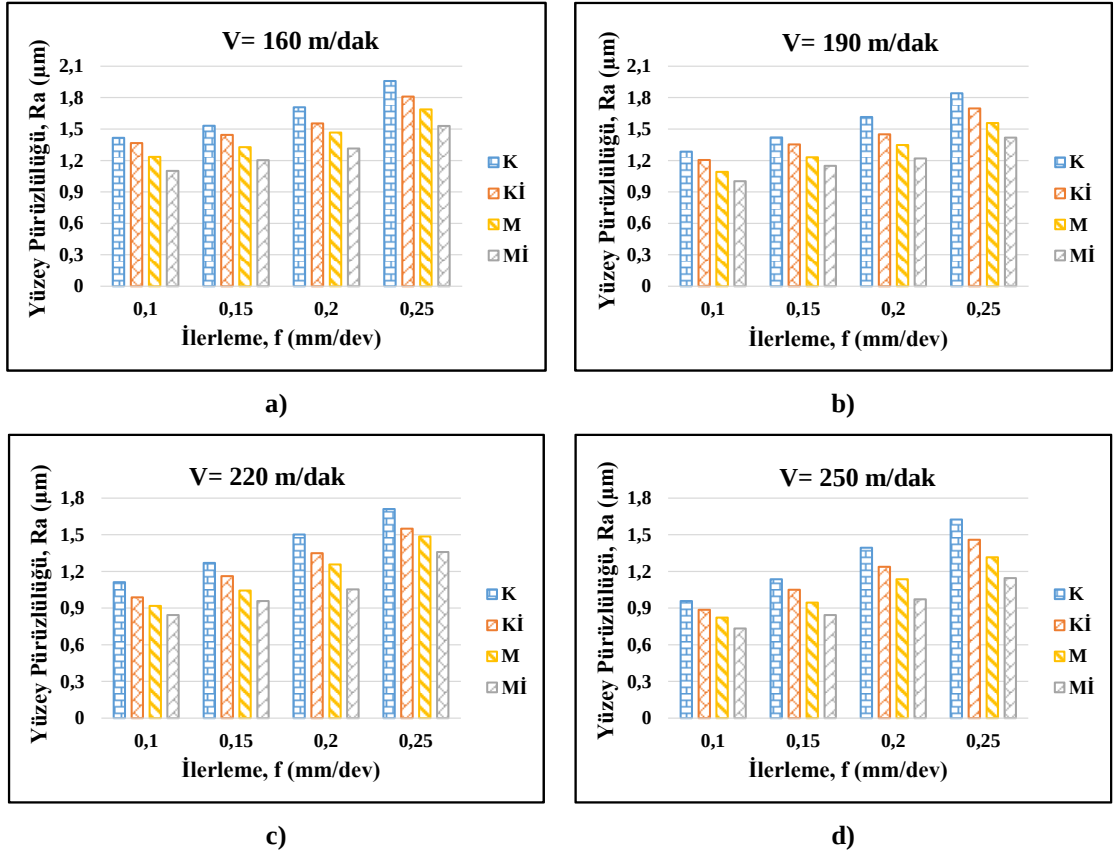
Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafiklere bakıldığında en yüksek esas kesme kuvvetleri kriyojenik işlem uygulanmamış takım ile kuru işleme koşullarında meydana gelirken en düşük esas kesme kuvvetleri ise kriyojenik işlem uygulanmış takım ile MQL işleme koşullarında meydana gelmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla elde edilen esas kesme kuvvetleri kriyojenik işlem uygulanmamış takımlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Literatürde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların kriyojenik işlem uygulanmamış takımlara kıyasla daha düşük kesme kuvvetleri meydana getirdiğı görülmüştür (Reddy ve ark., 2009; Dhananchezian ve ark., 2011; Bal, 2012; Mavi ve Korkut, 2014). Bunun nedeni kriyojenik işlemin kesici takımın mikroyapısını daha kararlı hale getirmesi, kesici takımın daha az aşınması ve işleme yapılırken kesici kenarın daha az bozulmasıyla ile açıklanabilir (Akıncıoğlu ve ark., 2015; Mavi ve Korkut, 2014). Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki kesme kuvvetleri grafikleri incelendiğinde, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ile MQL işleme koşullarında gerçekleştirilen tornalama işlemlerinde kesme kuvvetleri diğer kesme koşullarına göre daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. MQL uygulaması, kuru işleme şartlarında gerçekleştirilen deneylere kıyasla esas kesme kuvvetlerini azalttığı görülmektedir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Literatür çalışmalarına göre MQL uygulamasının kesme kuvvetlerinde iyileştirici etkisi olduğu görülmüştür (Kishawy ve ark., 2005; Li ve Lin, 2012; Rahim ve ark., 2015; Sharma ve ark., 2016). MQL uygulaması, kesici takım ile talaş arasındaki etkileşimi azaltıp, kesici takımın keskinliğini korumasına ve kesme sıcaklığının daha düşük oluşmasına neden olarak kesme kuvvetlerini düşürmüştür (Hadad ve Sadeghi, 2013).

Ayrıca MQL uygulaması kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı düşürerek hem yağlama/soğutma hem de daha iyi bir ısı aktarımı sağlayarak kesme kuvvetlerini azaltmıştır (Vikram ve ark., 2007). MQL uygulaması ve kriyojenik işlemin esas kesme kuvvetlerinde iyileştirici etkisi olduğu grafiklere bakıldığında açıkça anlaşılmaktadır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki grafikler incelendiğinde kesme parametreleri açısından en

yüksek esas kesme kuvveti değeri 160 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım ile kuru işleme şartlarında elde edilmiştir. En düşük esas kesme kuvveti ise 250 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla MQL uygulama şartlarında ulaşılmıştır.

5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Bu bölümde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım, kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım ile kuru ve MQL uygulama şartlarında yapılan tornalama deneyleri ile elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü sonuçları değerlendirilmiştir. Deneyler dört farklı kesme hızı (160 m/dak, 190 m/dak, 220 m/dak, 250 m/dak), dört farklı ilerleme (0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev, 0,2 mm/dev, 0,25 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (2 mm) her deneyde yeni bir kesici takım kullanılarak AISI 304 iş parçaları tornalanmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri, iş parçalarının işlenmiş yüzeyleri üzerinden 5 farklı noktadan ölçülen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

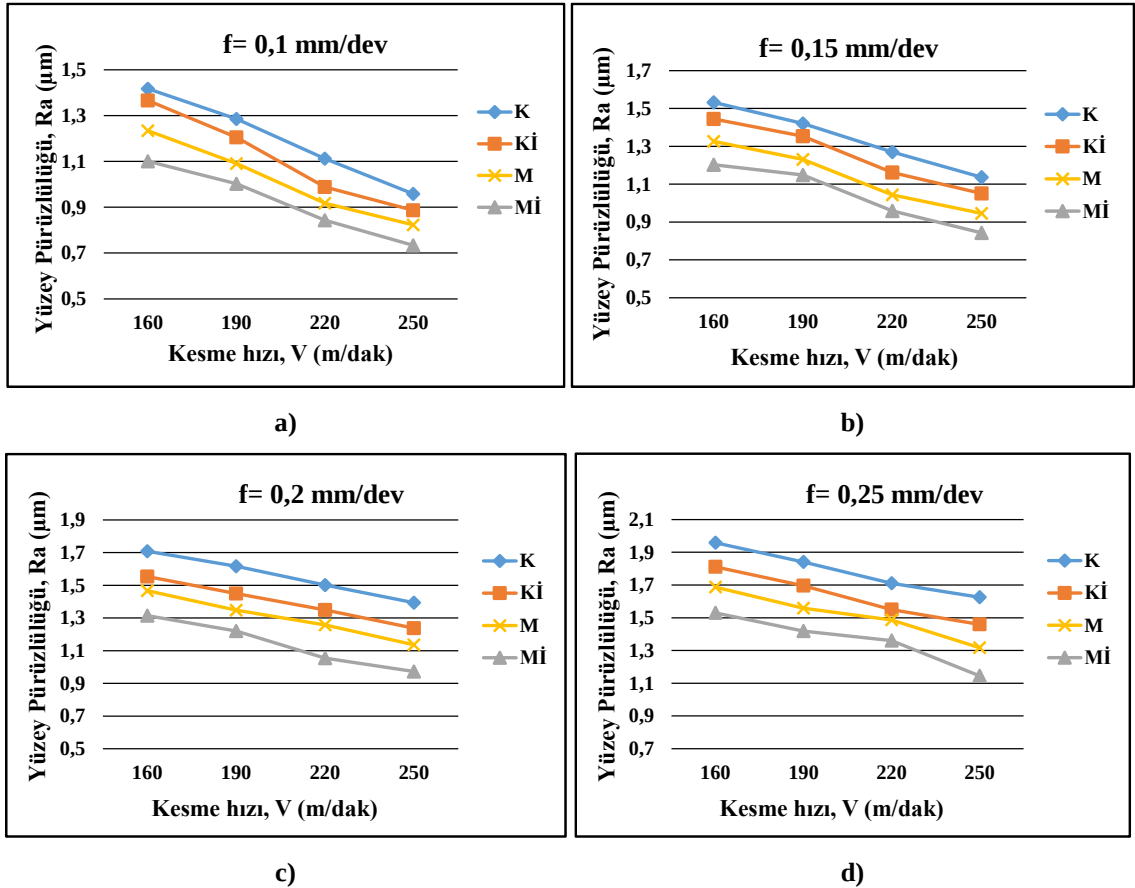


Şekil 5. 3. İlerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim a) V=160 m/dak b) V=190 m/dak c) V=220 m/dak d) V=250 m/dak

İlerlemeye bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim grafikleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekil 5.3'teki grafikler incelendiğinde tüm işleme koşullarında ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğün arttığı görülmektedir. Bu durumu, ideal yüzey pürüzlülüğün tahmini için kullanılan teorik denklemle Eşitlik 5.1'de açıklamak mümkündür (Hagiwara, 2009).

$$R_a = \frac{0.0321 \times f^2}{r_\epsilon} \quad (5.1)$$

Eşitlikte, R_a : yüzey pürüzlülüğü, f : ilerleme (mm/dev), r_ϵ : kesici takım burun yarıçapını ifade etmektedir. Bu denkleme göre ilerleme ve yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olduğu dolayısıyla ilerlemedeki artış ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de artacağı görülmektedir. Ayrıca ilerlemenin artması, birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artmasına ve bu sebeple yüzey pürüzlülüğün de artmasına neden olmaktadır.



Şekil 5. 4. Kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişim a) f=0,1 mm/dev b) f=0,15 mm/dev c) f=0,2 mm/dev d) f=0,25 mm/dev

Kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim grafikleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.4'teki grafikler incelendiğinde, tüm kesme koşullarında kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Kesme hızının artması ile azalan yüzey pürüzlülüğü, yüksek hızlarda meydana gelen sıcaklık artışına bağlı olarak deformasyon işleminin ve talaş akışının kolaylaşması ile belirtilebilir (Gürbüz, 2012; Yıldırım ve ark., 2016; Gönülaçar, 2021). Ayrıca kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşmesi kesme hızının artması sonucu BUE oluşum eğiliminin azalması ile de açıklanabilir (Gürbüz, 2012).

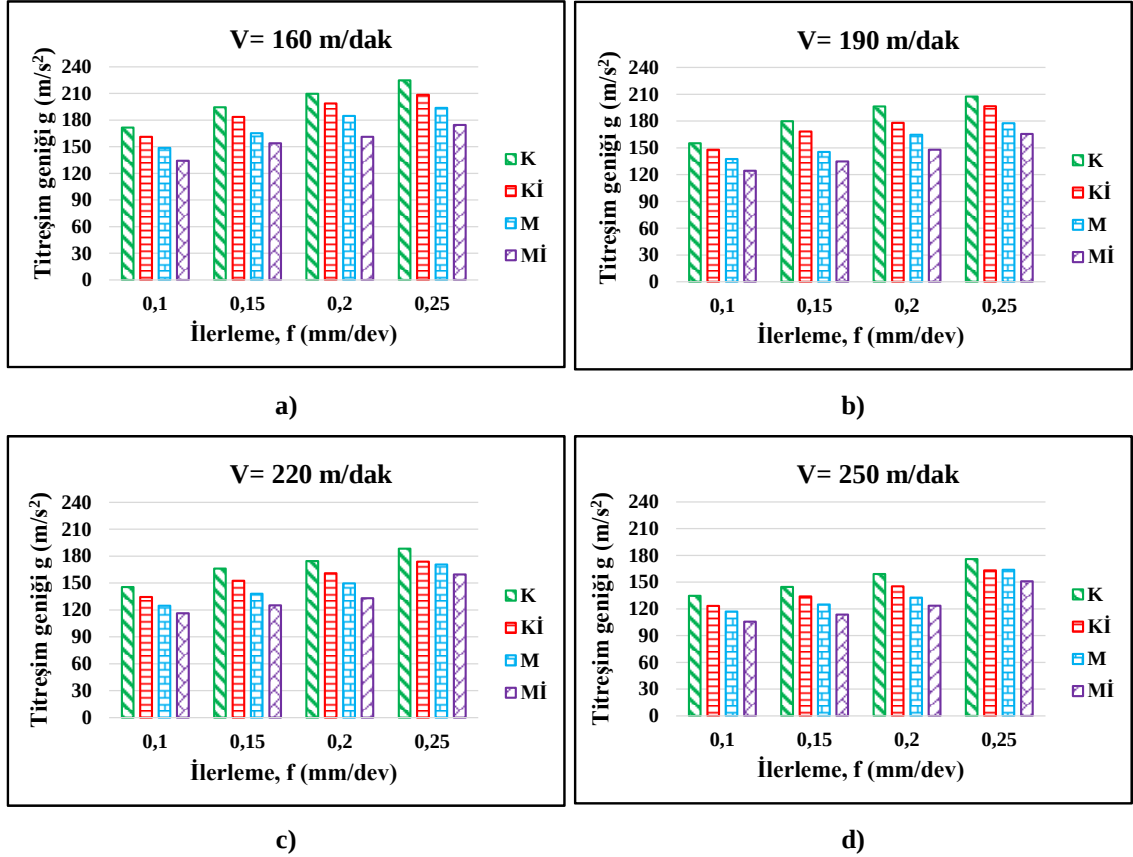
Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki grafikler incelendiğinde en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımlar ile yapılan tornalama işlemlerinde görülürken en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise MQL uygulaması şartlarında kriyojenik işlem uygulanan kesici takımlar ile gerçekleştirilen tornalama işlemler sonucu ortaya çıkmıştır. Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının ayrı ayrı yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerinin olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). Yüzey pürüzlülük grafikleri incelendiğinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ve MQL uygulamasının birlikte kullanıldığı işlemlerde diğer işleme koşullarına göre daha iyi yüzey kalitesi sağladığı açıkça görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki grafiklere bakıldığında kriyojenik işlenmiş kesici takımların kriyojenik işlenmemiş kesici takımlara göre daha iyi yüzey kalitesi sağladığı tespit edilmiştir. Bu durum kriyojenik işlemin kesici takımın aşınma direncini yükseltmesi, ısı iletkenliğini iyileştirmesi ve daha düşük kesme sıcaklığı oluşturması ile açıklanabilir. Kriyojenik işlemin yüzey kalitesini iyileştirdiği literatür çalışmalarında gözlemlenmiştir (Dhananchezian ve ark., 2011; Bal, 2012; Mavi ve Korkut, 2014; Patil ve ark., 2020).

MQL uygulamasının kesme bölgesindeki sıcaklığı düşürerek takım talaş arayüzündeki sürtünmeyi azalttığı ve yağlama etkisi ile takım aşınması ve yüzey kalitesi üzerindeki yararları literatür çalışmalarında da açıklanmıştır (Kishawy ve ark., 2005; Li ve Lin, 2012; Sharma ve ark., 2016; Khan ve Dhar, 2016; Bedi ve ark., 2020). Bu çalışmada da kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının kuru ve kriyojenik işlem uygulanmayan kesici takımlarla yapılan deneylere göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. İşleme deneylerinde en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1,958 μm 'dir. Bu değer 160 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme ile kuru kesme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla elde edilmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise 0,733 μm 'dir. Elde edilen bu değer 250 m/dak

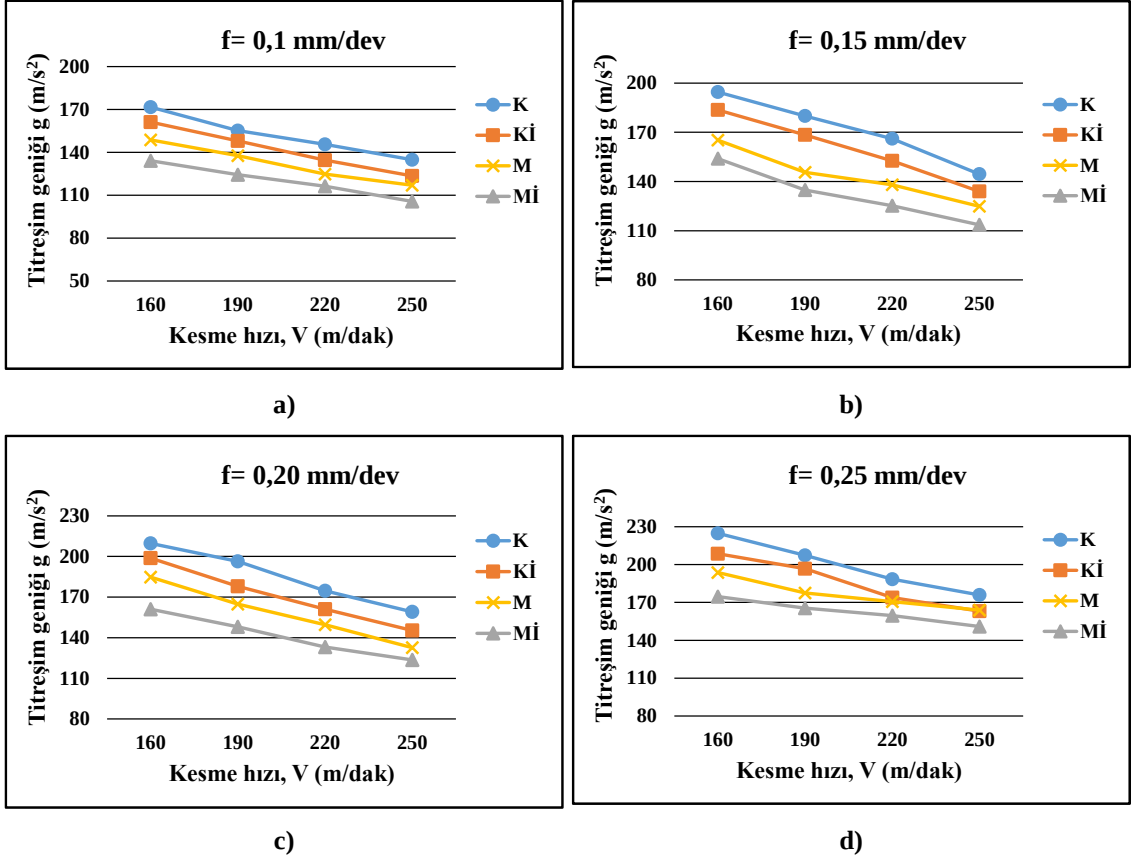
kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme olan kesme parametrelerinde, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlar ile MQL uygulama koşullarında meydana gelmiştir.

5.3. Titreşim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takım ile kuru ve MQL uygulama şartlarında yapılan tornalama deneyleri esnasında kesici takımlarda meydana gelen titreşimler değerlendirilmiştir. Deneyler dört farklı kesme hızı (160 m/dak, 190 m/dak, 220 m/dak, 250 m/dak), dört farklı ilerleme (0,1 mm/dev, 0,15 mm/dev, 0,2 mm/dev, 0,25 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (2 mm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Titreşim değerleri, kesici takıma bağlı olan titreşim ölçme cihazı ile elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. 5. İlerlemeye bağlı olarak kesici takım titreşim ivmesindeki değişim a) V=160 m/dak b) V=190 m/dak c) V=220 m/dak d) V=250 m/dak



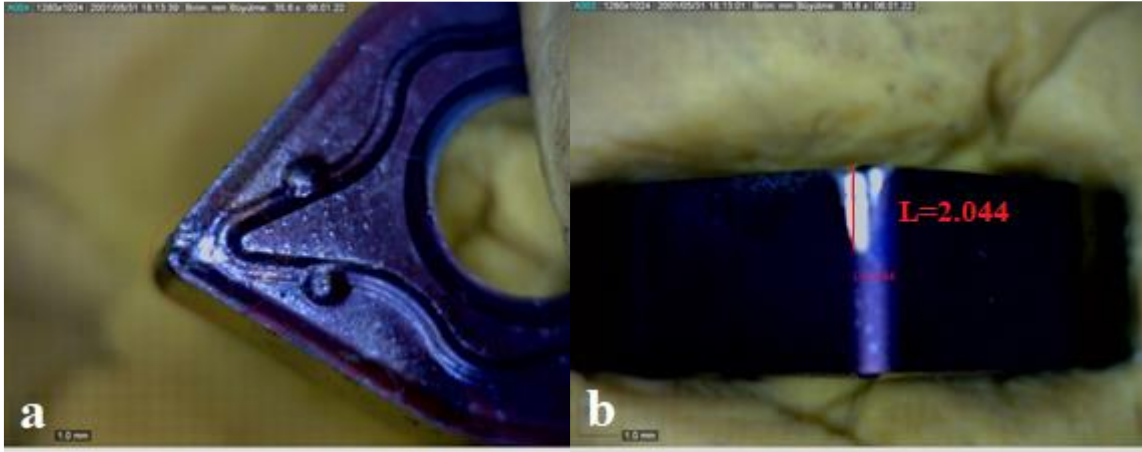
Şekil 5. 6. Kesme hızına bağlı olarak kesici takım titreşim ivmesindeki değişim a) $f=0,1 \text{ mm/dev}$ b) $f=0,15 \text{ mm/dev}$ c) $f=0,2 \text{ mm/dev}$ d) $f=0,25 \text{ mm/dev}$

İlerlemeye bağlı olarak kesici takımda oluşan titreşim değerlerinin değişim grafikleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Şekil 5.5'teki grafikler incelendiğinde, tüm kesme koşullarında titreşim değerlerinin ilerleme ile doğru orantılı olduğu, ilerleme arttıkça kesici takımda oluşan titreşim değerlerinin de arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar literatürle paralellik arz etmektedir (Yardımeden ve Turan, 2018., Chinchankar ve Chaudhury, 2013). İlerlemenin artması ile artan kesme kuvvetleri kesici takımda meydana gelen titreşimin artmasına neden olur. Ayrıca ilerlemenin artması güç tüketimini de beraberinde artırması nedeniyle titreşim değerleri artmıştır (Dimla, 2002; Tekiner ve Yeşilyurt, 2004; Tekait, 2008; Mahdavienejad ve Saeedy, 2011). Kesme hızına bağlı olarak kesici takımda oluşan titreşim değerleri Şekil 5.6'daki grafiklerde sunulmuştur. Bu grafiklerde kesme hızının titreşim değerleri ile ters orantılı olduğu, tüm kesme koşullarında kesme hızının artmasıyla titreşimin azaldığı görülmektedir. Literatürde de benzer sonuçlar elde eden çalışmalar bulunmaktadır (Dimla, 2002; Mahdavienejad ve Saeedy, 2011). Kesme hızının artması kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasına bu nedenle iş parçası malzemesinin yumuşayarak kesme kuvvetinin düşmesine neden olur (Yardımeden ve Turan, 2018). Kesme

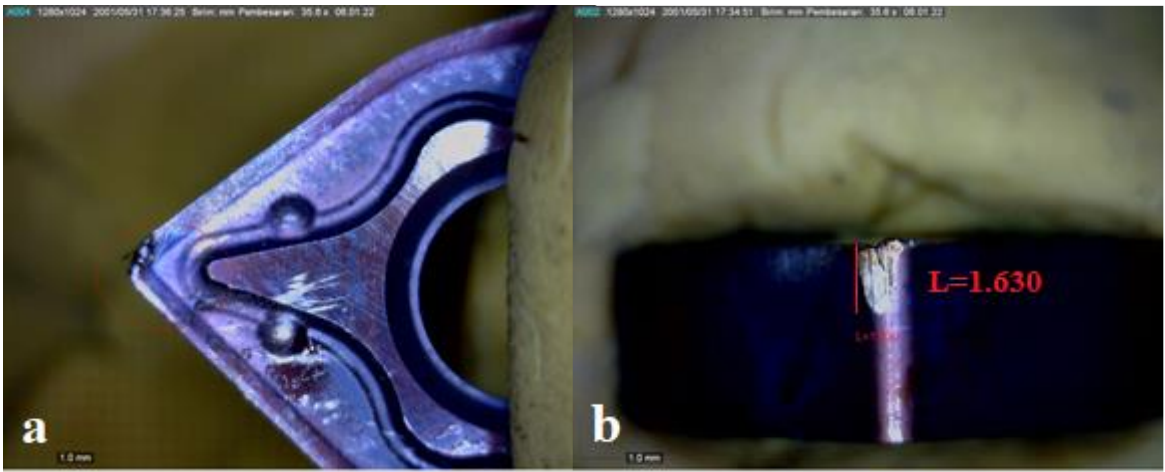
kuvvetlerindeki düşüş sonucu kesici takımında daha az titreşim oluşur. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6.'daki grafiklere bakıldığında genel olarak en yüksek titreşim değerleri kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım ile kuru kesme şartlarında elde edilmiştir. En düşük titreşim değerlerinin ise kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ile MQL kesme şartlarında meydana geldiği görülmektedir. Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının titreşim değerleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

5.4. Kesici Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

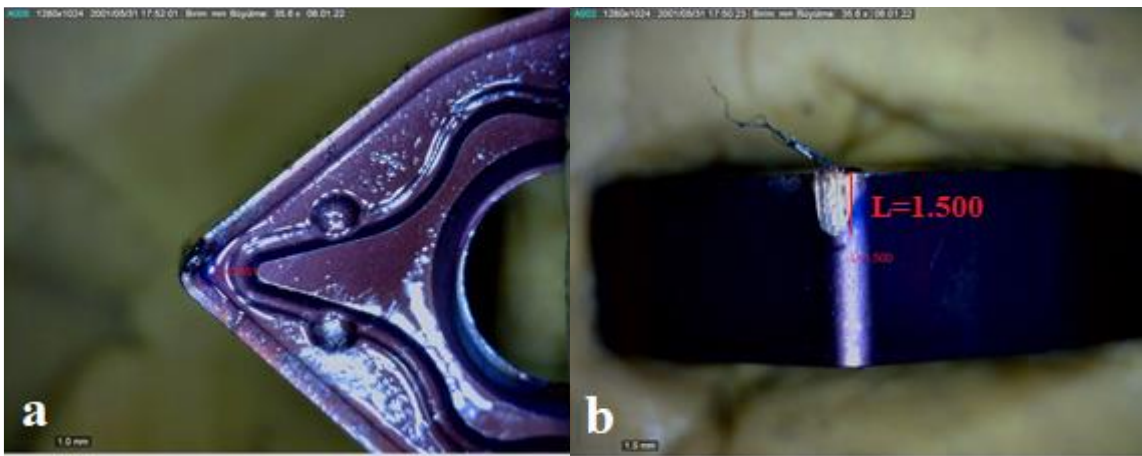
Takım aşınması, işleme parametreleri, malzeme türü, sertlik, malzemeye uygulanan ısıl işlem, kesici takımın kaplama türü ve bunun yanında iş parçası işlenmesi esnasında kullanılan soğutma türü gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Kesici takım aşınma deneyleri kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile kuru ve MQL kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Literatürde, ISO 3685 standardına bağlı olarak efektif kesici takım ömrü, kesici takım yan yüzey ya da burun aşınma değeri 0,3 mm olarak tespit edilmektedir (ISO 3685, 1999). Kesici takımında meydana gelen aşınmalar talaş kaldırma hacmine bağlı olarak incelenmiştir. Kesici takım aşınmalarını aynı şartlarda değerlendirmek için ilk olarak hangi kesici takımında 0,3 mm aşınma değeri gözlenmiş ise tüm şartlar için aynı talaş kaldırma hacmi belirlenerek işleme deneyleri yapılmıştır. Kesici takım aşınmaları sabit kesme hızı (250 m/dak), ilerleme (0,1 mm/dev) ve kesme derinliği (2 mm) parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlarda oluşan aşınmalarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.7- Şekil 5.10'da verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde genel olarak kesici takımlarda burun aşınması gözlemlenmiştir. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sahip olduğu düşük ısıl iletkenlik özelliği nedeniyle tornalama esnasında talaş ile atılması gereken ısı atılamadığından ısının büyük çoğunluğu kesici takım üzerinde birirmektedir. Dolayısıyla takım burun yarıçapında ısı oluşumu ve BUE den kaynaklı takımın burun kısmında sıcaklık artmaya devam ederek kesici takımın mukavemetinin azalmasına neden olmuştur (Mahdavinejad ve Saeedy, 2011; Aydın ve ark., 2013; Özbek ve ark., 2016). Bu oluşumlar nedeniyle mevcut çalışmada burun aşınması ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda SEM görüntüleri de bunu desteklemektedir.



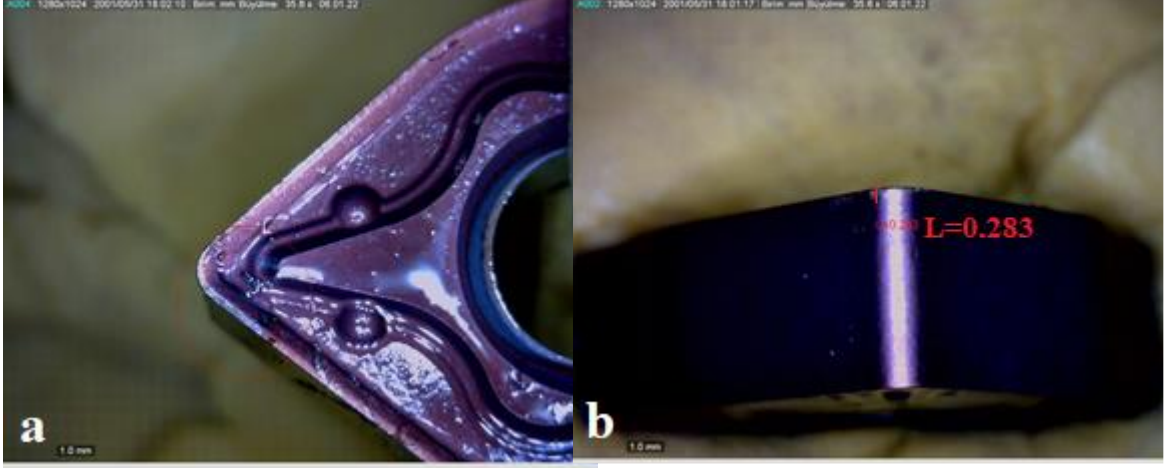
Şekil 5. 7. Takım ömrü deneylerinde kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımın (K) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü



Şekil 5. 8. Takım ömrü deneylerinde kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın (Kİ) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü



Şekil 5. 9. Takım ömrü deneylerinde MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımın (M) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü

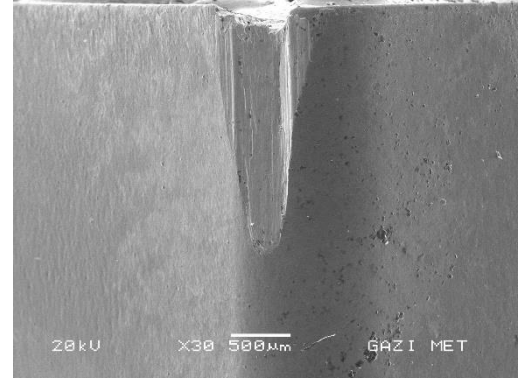


Şekil 5. 10. Takım ömrü deneylerinde MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın ($M\dot{I}$) mikroskop görüntüleri a) Kesici takımın üstten görüntüsü b) Kesici takımın önden görüntüsü

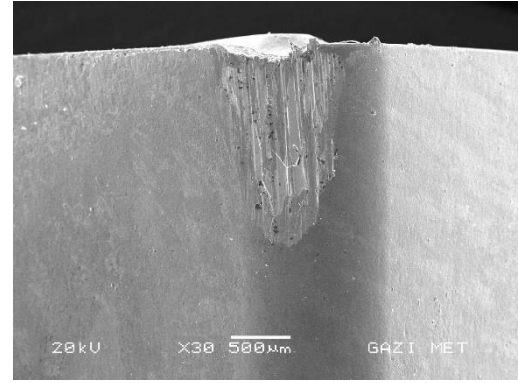
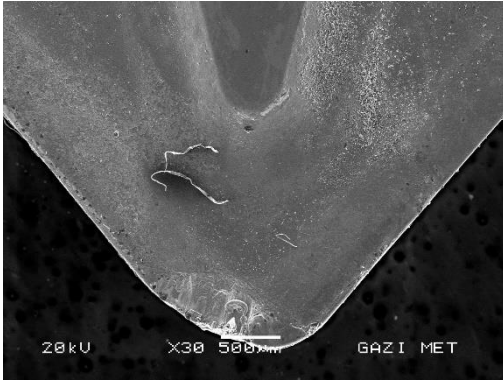
Kesici takımlara ait SEM görüntüleri Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekil 5.11’de verilen SEM görüntülerine bakıldığında kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış takım ile yapılan işlem sonucunda kesici takımda oluşan burun aşınma oranının ($K=2,044$ mm) olduğu görülmektedir. Bu değer diğer koşul ve takımlara kıyasla en yüksek aşınma değeridir. Yapılan aşınma deneyleri sonuçlarına göre ($M\dot{I}=0,283$ mm) ile en düşük aşınma değerinin kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ile MQL şartlarında yapılan işlemde görülmüştür. Kesici takımın aşınma değerleri açısından değerlendirildiğinde, en çok aşınandan en az aşına doğru kesici takım değerleri sırasıyla kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım ($K=2,044$ mm), kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış takım ($K\dot{I}=1,630$ mm), MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış takım ($M=1,500$ mm) ve MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış takımda ($M\dot{I}=0,283$ mm) görüldüğü Şekil 5.11’deki SEM görüntülerinde anlaşılmaktadır. SEM görüntüleri incelendiğinde, burun aşınması MQL uygulama şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım dışında diğer kesici takımlarda meydana geldiği görülmüştür. Bu durum AISI 304 paslanmaz çeliğin sünek yapısı nedeniyle kesici takımın burun yarıçapı ve talaş arasında yığıntı talaş oluşmasına neden olmuştur. Şekil 5.11’e bakıldığında meydana gelen yığıntı talaş her üç kesici takımda görülmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletkenliği nedeniyle kesici takım ve talaş arasında yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır (Özbek ve ark., 2017). Bununla birlikte östenitik paslanmaz çeliklerin oksidasyon ve adhezyon eğilimlerinden dolayı kesici takımın yüzeyinde ciddi bozulmalara neden olmaktadır (Chen ve ark., 2020). Kesici takım ve talaş arasında kalan yapışkan talaşın kesici takımın burun yarı

apında ayrılırken parça kopardığı görülmüştür. (ekil 5.11 a) ve b)). Kuru kesme şartlarındaki kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımın aşınması ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın aşınma değerleri incelendiğinde, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın daha az aşındığı görülmektedir. Bu durum kriyojenik işlemin kesici takımın sertliğinin ve ısıl iletkenliğinin arttırmasının bir sonucu olarak açıklanabilir (Gürbüz ve Baday, 2021). MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlar ile diğer işleme şartlarındaki kesici takımlar karşılaştırıldığında, kriyojenik işlemin hem kesici takımın sertliğinin artması hem de ısıl iletkenliğinin artmasının yanında MQL işlemin hem soğutma hem de yağlama özelliği ile yığıntı talaş (BUE) oluşumunu geciktirdiği ve yapışmaların neredeyse oluşmadığı SEM görüntülerinden de anlaşılmaktadır. Sonuç olarak en iyi takım ömrü ve en düşük kesici takım aşınması MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarda elde edilmiştir.

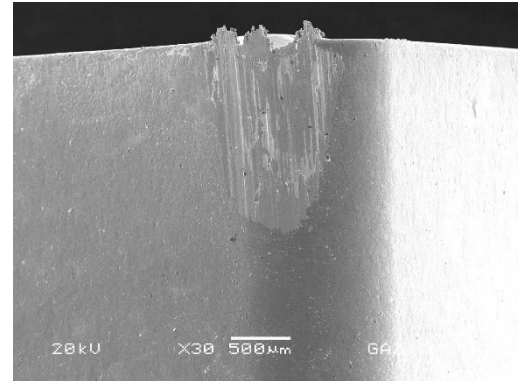
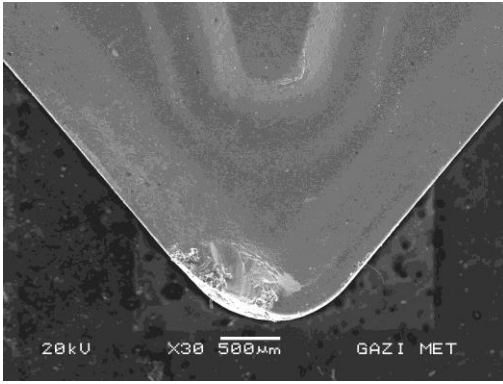
Şekil 5.11 incelendiğinde kesici takımların talaş yüzeyinde kuru şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ve MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmamış takım ile yapılan aşınma deneylerinde kesici takımların talaş yüzeyinde krater aşınma gözlemlenmiştir. Krater aşınması, tornalama işlemi esnasında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıkların takım ve i parçası arasındaki difüzyon oluşumu kaynaklı meydana gelmiştir (zbek ark., 2014; zbek ark., 2016; zcelik ark., 2011). Krater aşınmasının en çok görüldüğü deney kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru şartlarda meydana gelmiştir. MQL uygulaması ve kriyojenik işlem görmüş takımlara göre soğutma ve yağlama etkisinin olmamasının bir sonucu olarak daha yüksek krater aşınması oluşmuştur. MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımda daha az krater aşınması gözlemlenmiştir. MQL uygulaması ve kriyojenik işlem, kesme bölgesinde oluşan sıcaklığı düşürmesi nedeniyle takım talaş yüzeyinde krater aşınması diğer takımlara göre daha az oluştuğu tespit edilmiştir.



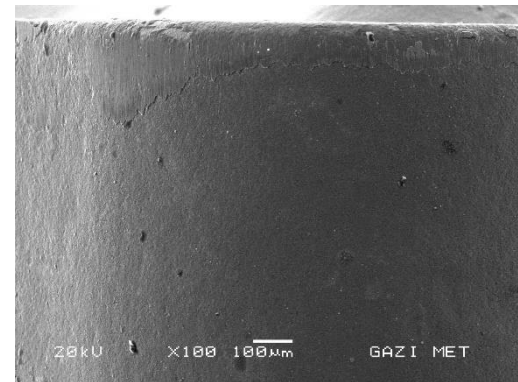
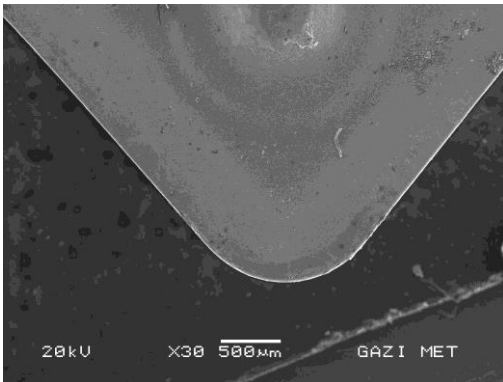
a)K (2,044)



b)Kİ (1,630)

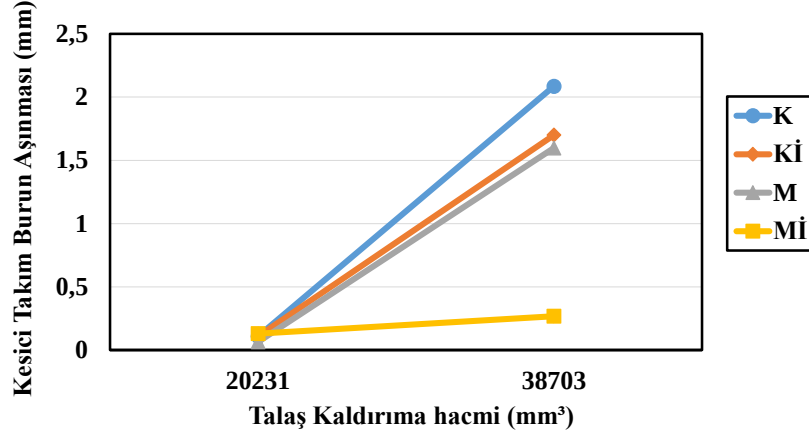


c)M (1,500)



d)Mİ (0,283)

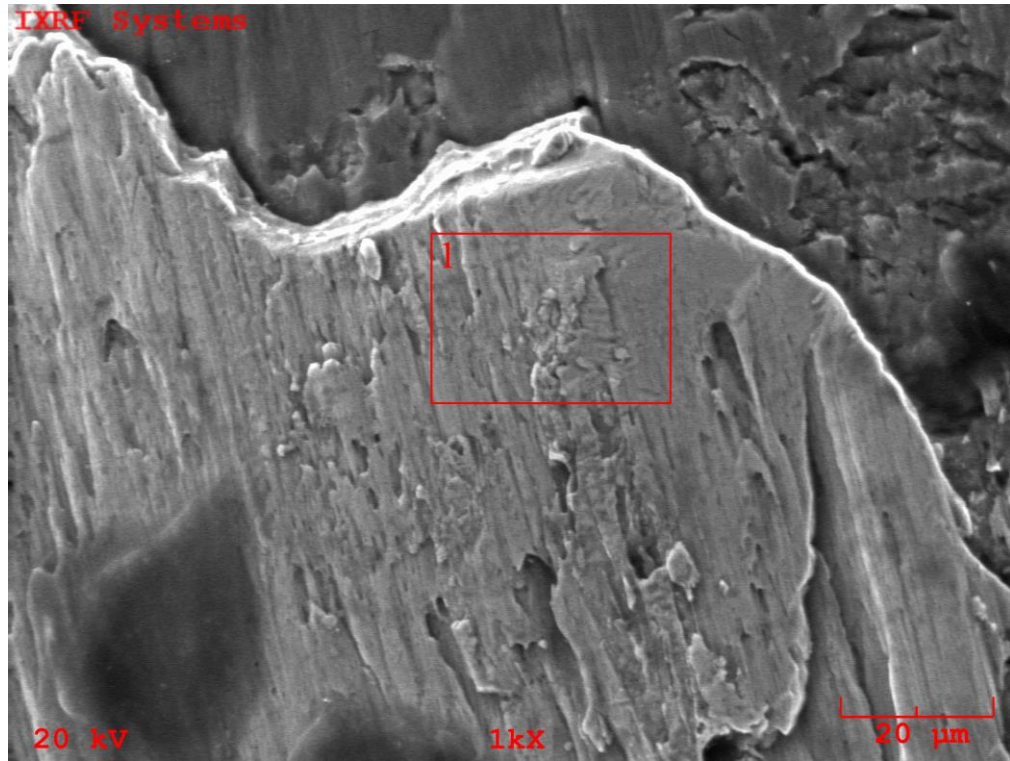
Şekil 5. 11. Tüm işleme şartlarında elde edilen kesici takım aşınmalarının SEM görüntüleri



Şekil 5. 12. İşleme koşulları ve talaş kaldırma hacmine göre aşınma değerlerinin değişimi $V=250$ m/dak, $f=0,25$ mm/dev ve $a=2$ mm

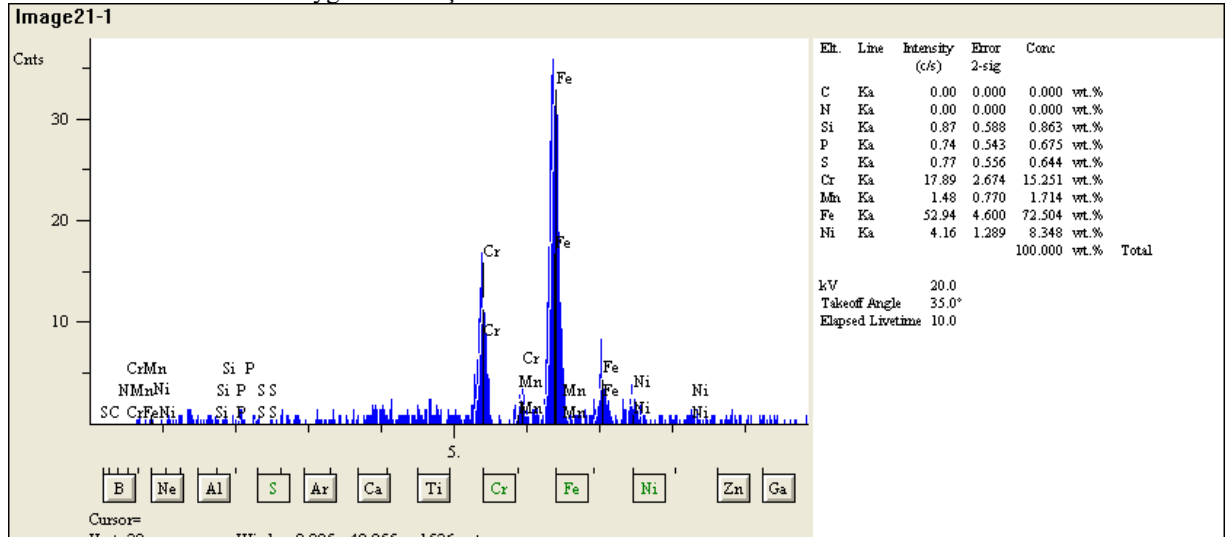
Talaş kaldırma hacmine göre kesici takım aşınma değerlerini gösteren grafik Şekil 5.12’de verilmiştir. Şekil 5.12’deki grafiğe bakıldığında tüm işleme koşulları için talaş kaldırma hacminin artması ile kesici takım aşınmasının arttığı görülmektedir. Şekil 5.12’deki grafik incelendiğinde 38703 mm^3 talaş kaldırma hacmi sonunda en yüksek aşınma değeri kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım ve en düşük takım aşınma değeri MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımda görülmüştür.

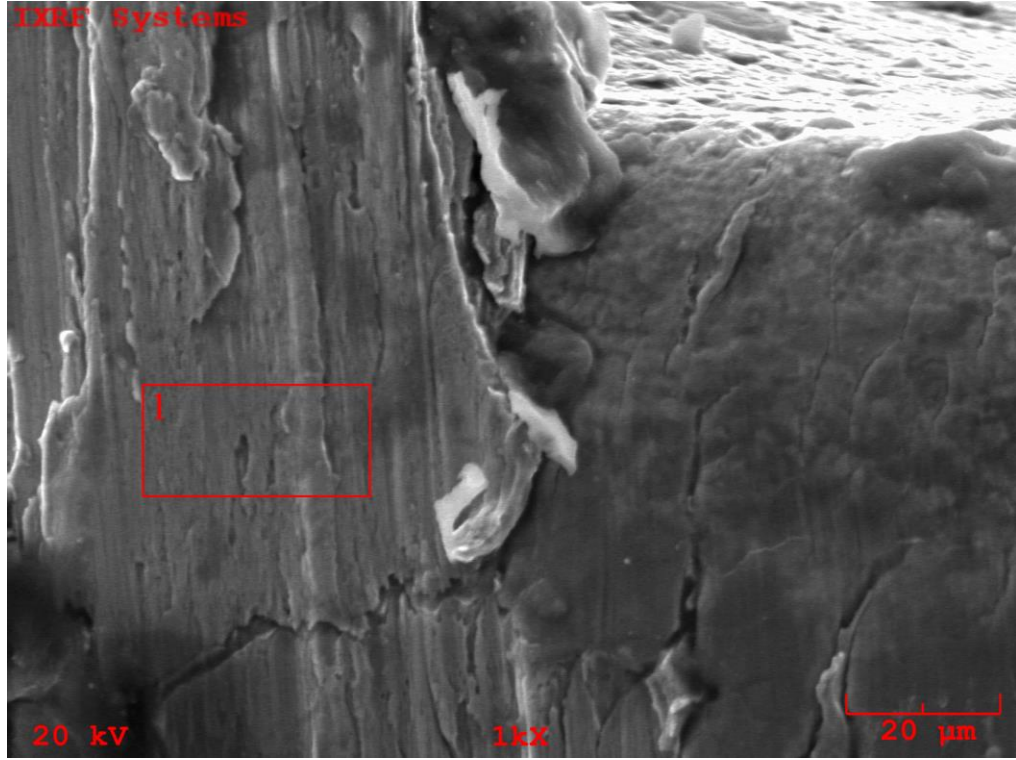
250 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği parametreleriyle farklı işleme şartlarında yapılan kesici takım aşınma deneylerinde kesici takımlara yapışan talaşların EDS analiz sonuçları aşağıda Şekil 5.13-5.15’te verilmiştir. EDS analizine göre elde edilen elementlerin değerleri ile Tablo 4.1’de verilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimindeki değerler birbirleriyle benzer çıktığı tespit edilmiştir. Bu durum kesici takıma yapışan talaşın AISI 304 iş parçasına ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 13. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi yeri

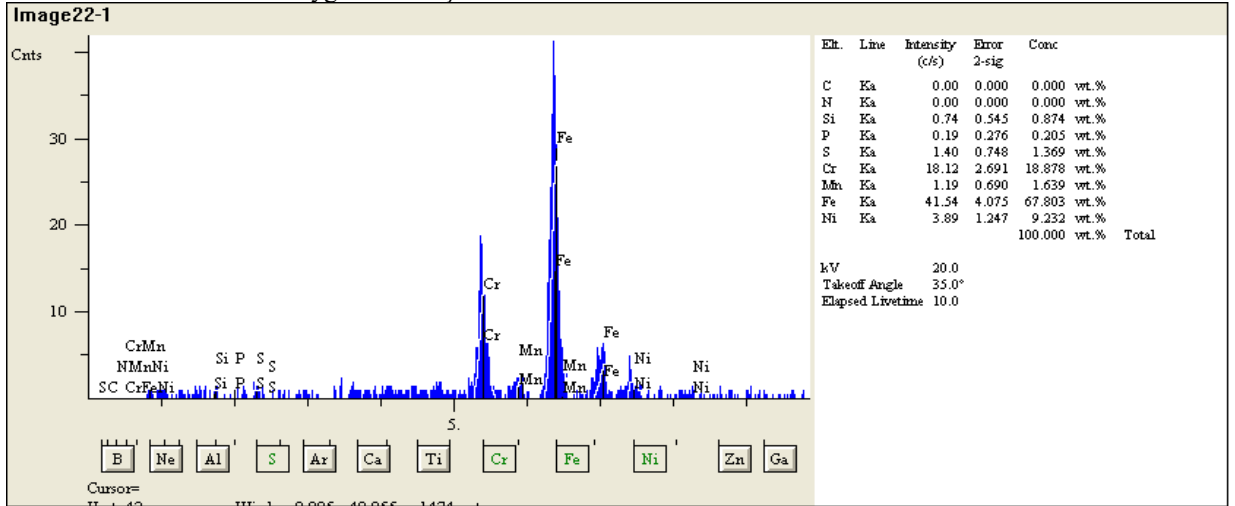
Tablo 5. 1. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi sonucu

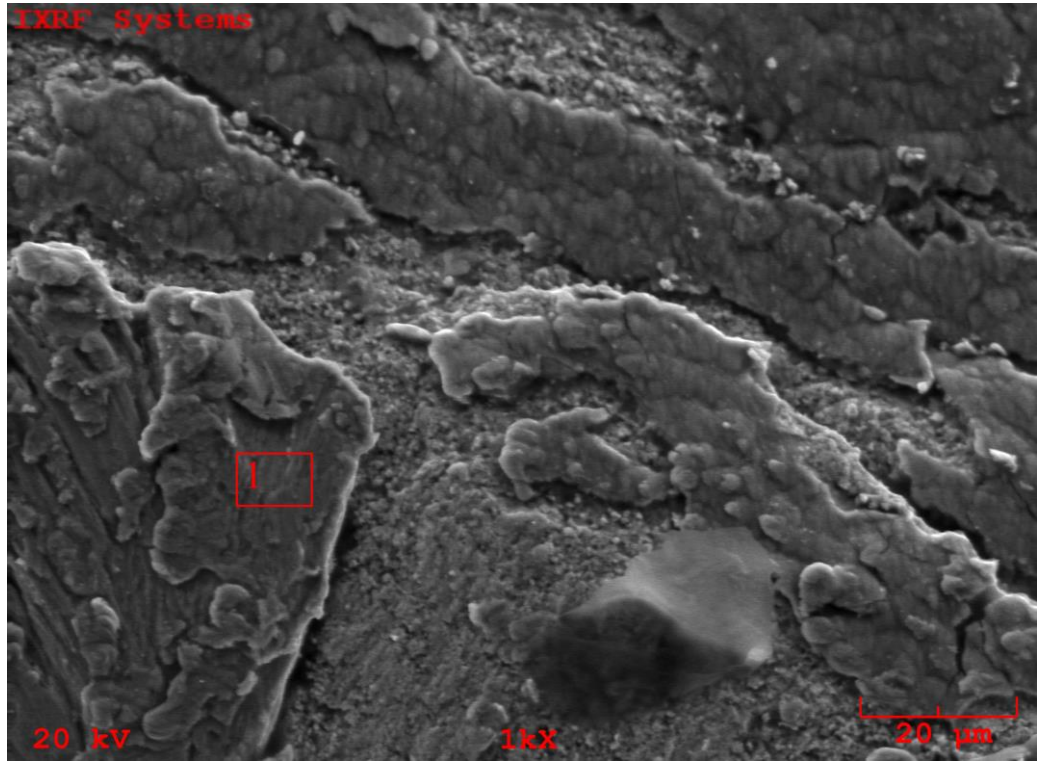




Şekil 5. 14. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmış takımdan alınan EDS analizi yeri

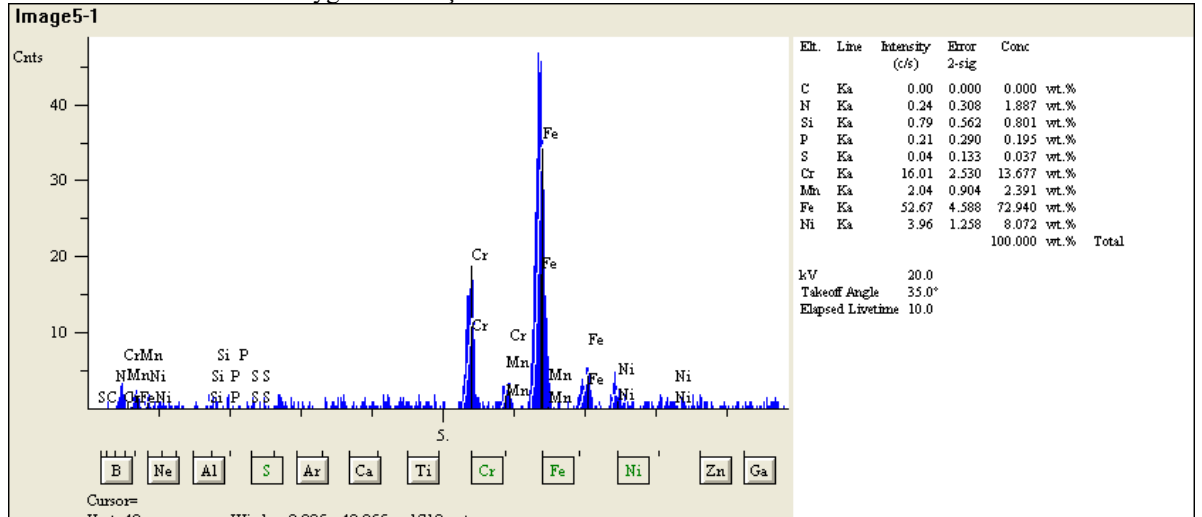
Tablo 5. 2. Kesici takım aşınma deneylerinde kuru işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi sonucu





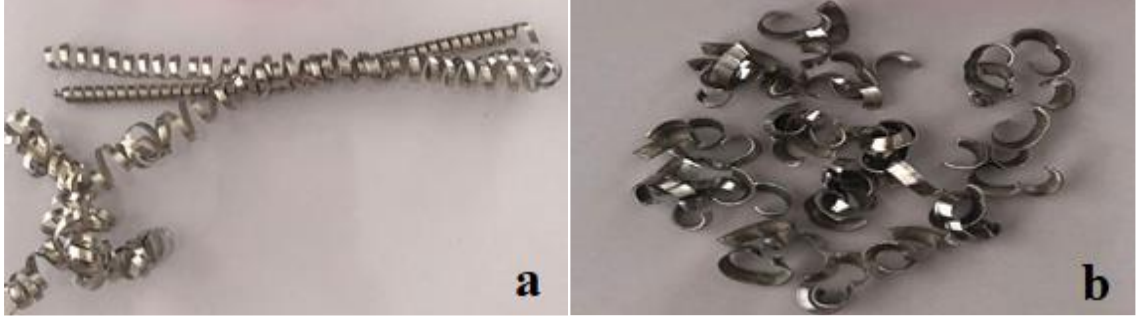
Şekil 5. 15. Kesici takım aşınma deneylerinde MQL işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi yeri

Tablo 5. 3. Kesici takım aşınma deneylerinde MQL işleme şartlarında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmamış takımdan alınan EDS analizi sonucu

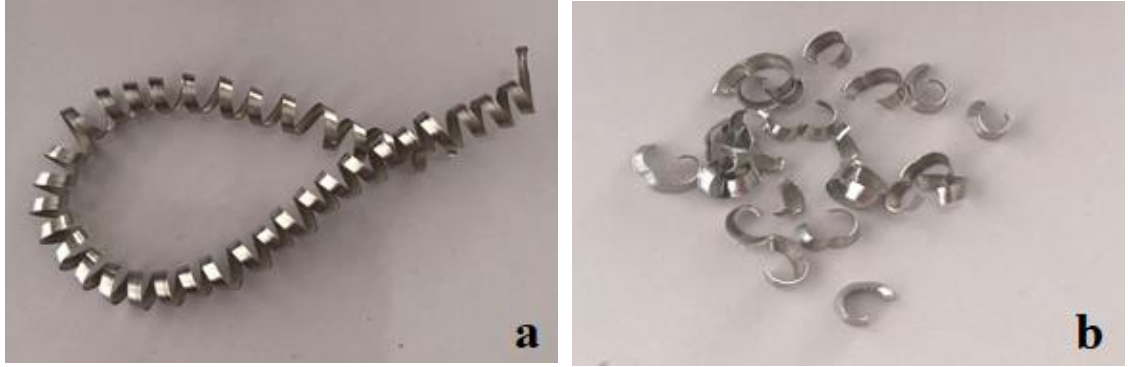


5.5. Talaş Morfolojisinin Değerlendirilmesi

Talaş morfolojisinin değerlendirilmesinde, en düşük ve en yüksek kesme parametrelerinin yapıldığı deneyler esnasında çıkan talaşlar incelenmiştir. Talaş morfolojisi deneyleri, kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlar ile kuru ve MQL işleme şartlarında 2 mm sabit kesme derinliğinde en düşük kesme parametrelerine (160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme) ve en yüksek kesme parametrelerine (250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme) bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. İşlenen iş parçalarından çıkan talaşları analiz etmek için alınan talaş örneklerinin fotoğrafları Şekil 5.16 - 5.19'da SEM görüntüleri ise Şekil 5.20'de verilmiştir.



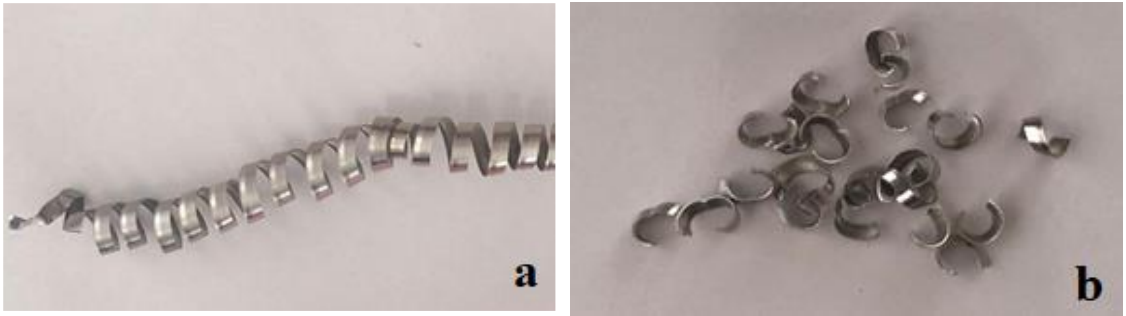
Şekil 5. 16. Kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem görmemiş kesici takım ile elde edilen talaşlar
a) V=160 m/dak f=0,1 a=2 mm b) V=250 m/dak f=0,25 a=2 mm



Şekil 5. 17. Kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem görmüş kesici takım ile elde edilen talaşlar
a) V=160 m/dak f=0,1 a=2 mm b) V=250 m/dak f=0,25 a=2 mm

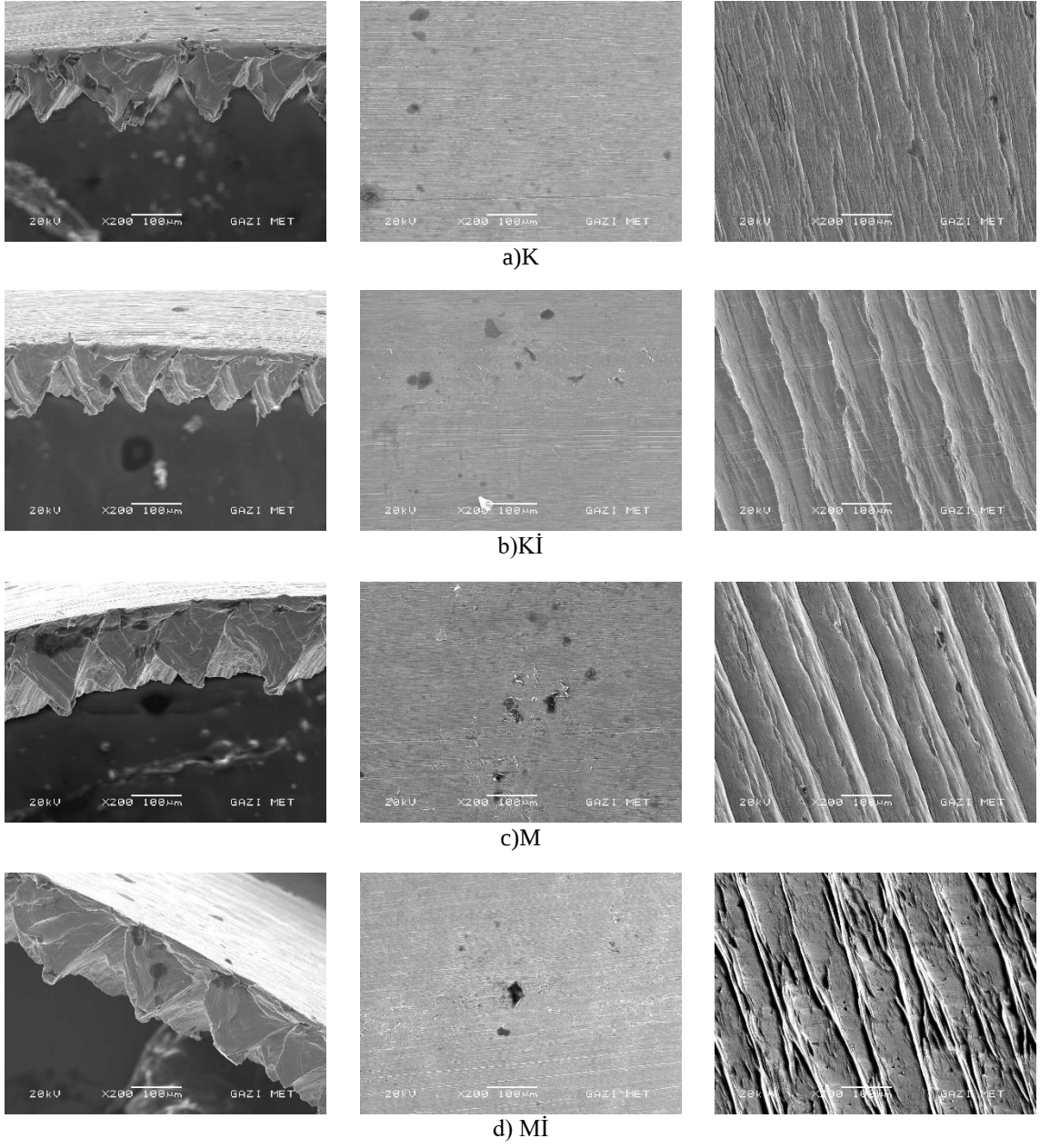


Şekil 5. 18. MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem görmemiş kesici takım ile elde edilen talaşlar
a) $V=160$ m/dak $f=0,1$ a=2 mm b) $V=250$ m/dak $f=0,25$ a=2 mm

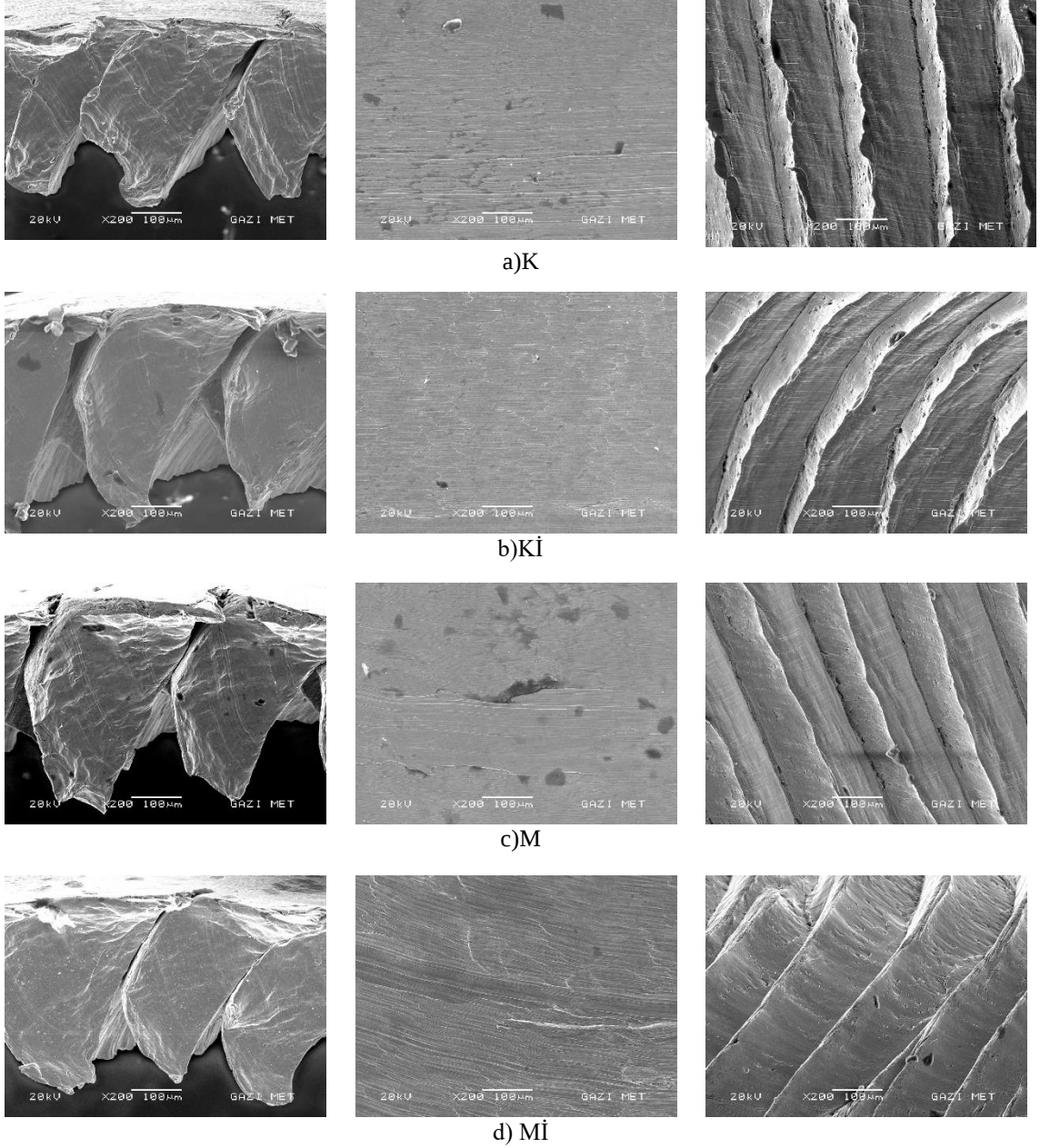


Şekil 5. 19. MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem görmüş kesici takım ile elde edilen talaşlar
a) $V=160$ m/dak $f=0,1$ a=2 mm b) $V=250$ m/dak $f=0,25$ a=2 mm

Şekil 5.16 - 5.19'daki talaş örnekleri incelendiğinde kesme hızı ve ilerlemenin talaşlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Tüm işleme şartlarında 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği işleme parametreleriyle yapılan deneyler sonucu oluşan talaş tipi sürekli talaştır. Sürekli talaşlar sünek malzemelerin işlenmesinde oluşan bir talaş tipidir (Balcı, 2008). Meydana gelen bu talaş tipi, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sünek yapısıyla açıklanabilir. Kesme hızı ($V=160$ m/dak'dan 250 m/dak'ya) ve ilerlemenin ($f=0,1$ mm/dev'den 0,25 mm/dev'e) artmasına bağlı olarak elde edilen talaşlar sürekli talaş tipinden süreksiz talaş tipine dönüştüğü tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek işleme parametrelerine bağlı olarak kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla kuru ve MQL işleme koşullarında yapılan tornalama deneylerinde elde edilen talaşlara ait SEM görüntüleri Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de verilmiştir.



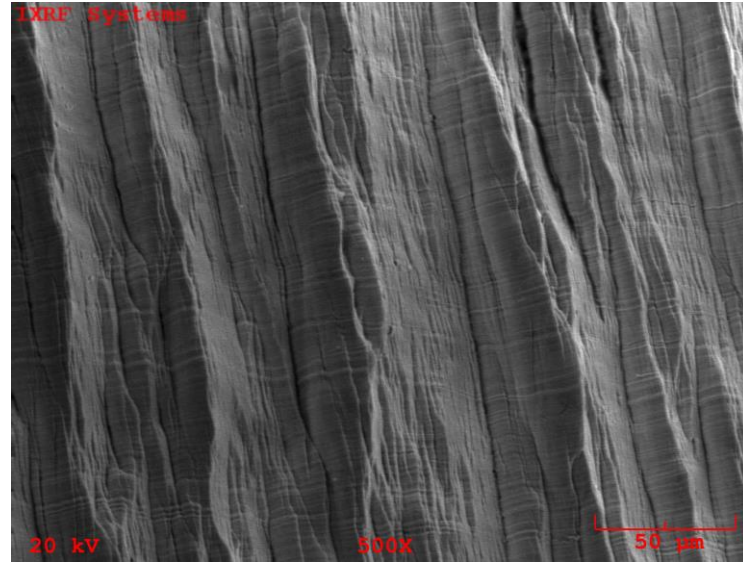
Şekil 5. 20. 160 m/dak kesme hızı 0,1 ilerleme ve 2 mm kesme derinliği işleme şartlarında elde edilen talaşların SEM görüntüleri



Şekil 5. 21. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme, 2 mm kesme derinliği işleme şartlarında elde edilen talaşların SEM görüntüleri

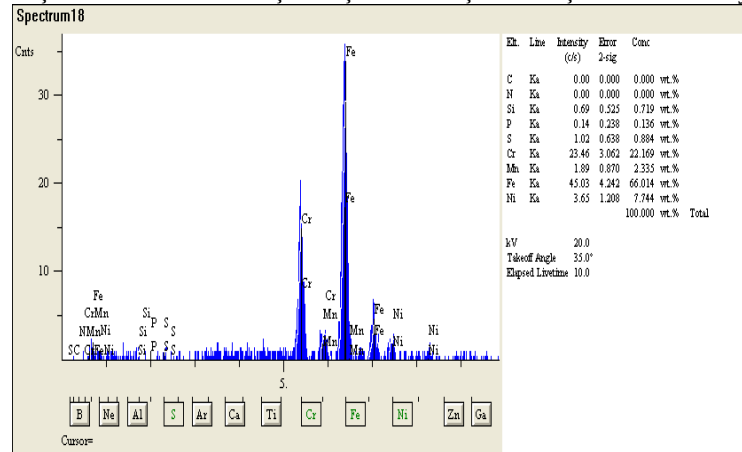
Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'deki talaşlara ait SEM görüntüleri incelendiğinde tüm işleme koşullarında testere tip talaş ve lamelli yapılar meydana geldiği görülmektedir. Oluşan lamelli yapı talaşta tırtıklı yapılar olduğunu göstermektedir. Bu olay kesici takım ve talaş arasında meydana gelen sürtünmeden kaynaklanan deformasyondan dolayı, talaşın morfolojik yapısında testere tipi meydana gelmiştir. Bu durum ısı iletkenliği düşük malzemelerde görülen bir davranıştır (Oyman, 2012). MQL şartlarda kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla yapılan işlemlerde diğer şartlara göre daha az sürtünme ve daha az sıcaklık oluştuğundan dolayı talaş yapıları diğer şartlara göre daha düzgündür (Şekil 5.20 ve Şekil 5.21).

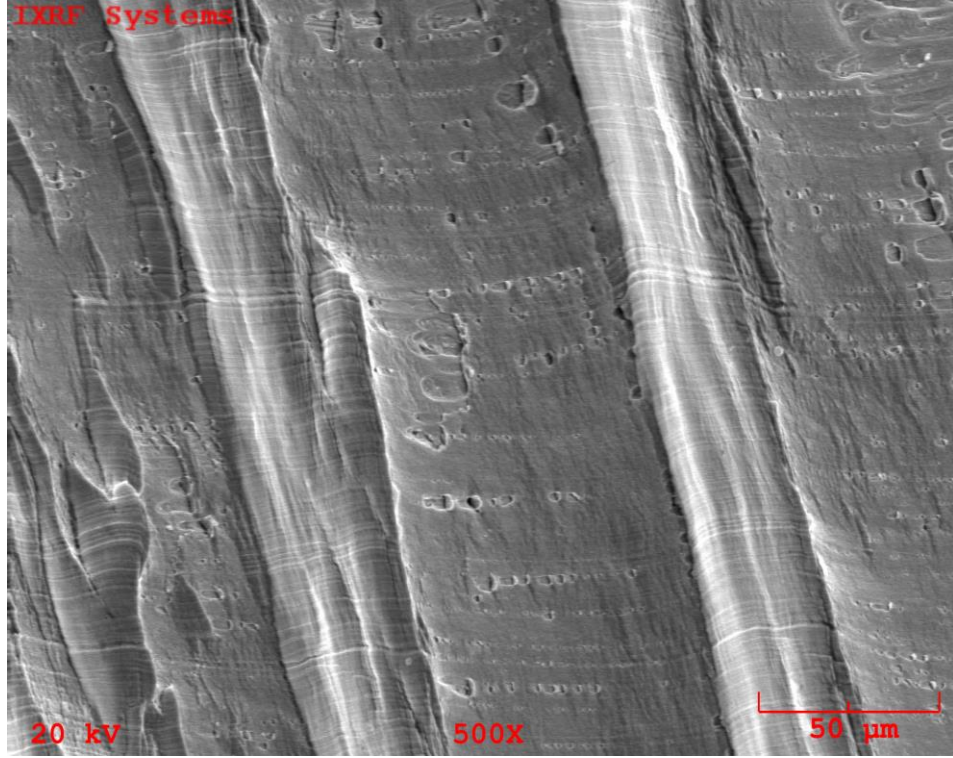
Dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme ve sabit kesme derinliği parametreleri ile farklı işleme şartlarında yapılan tornalama deneylerinde, en yüksek (250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme) ve en düşük (160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme) kesme parametreleri ile yapılan deneyler esnasında çıkan talaşların EDS analizleri yapılmıştır. Talaşların EDS analizleri Şekil 5.22-5.29’da ve EDS analizi sonuçları Tablo 5.4-5.11’de verilmiştir. EDS analizine göre elde edilen elementlerin değerleri ile Tablo 4.1’de verilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimindeki değerler birbirleriyle benzer çıktığı tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu durum, yapılan deneysel çalışmada kullanılan en düşük ve en yüksek kesme parametreleri ile elde edilen talaşların AISI 304 iş parçasına ait olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 22. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

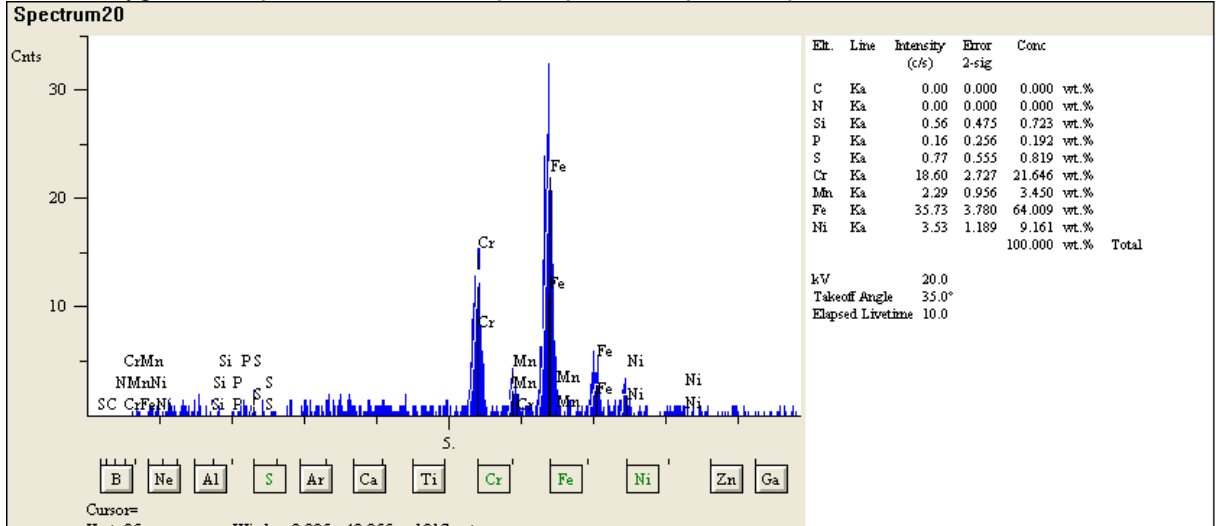
Tablo 5. 4. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

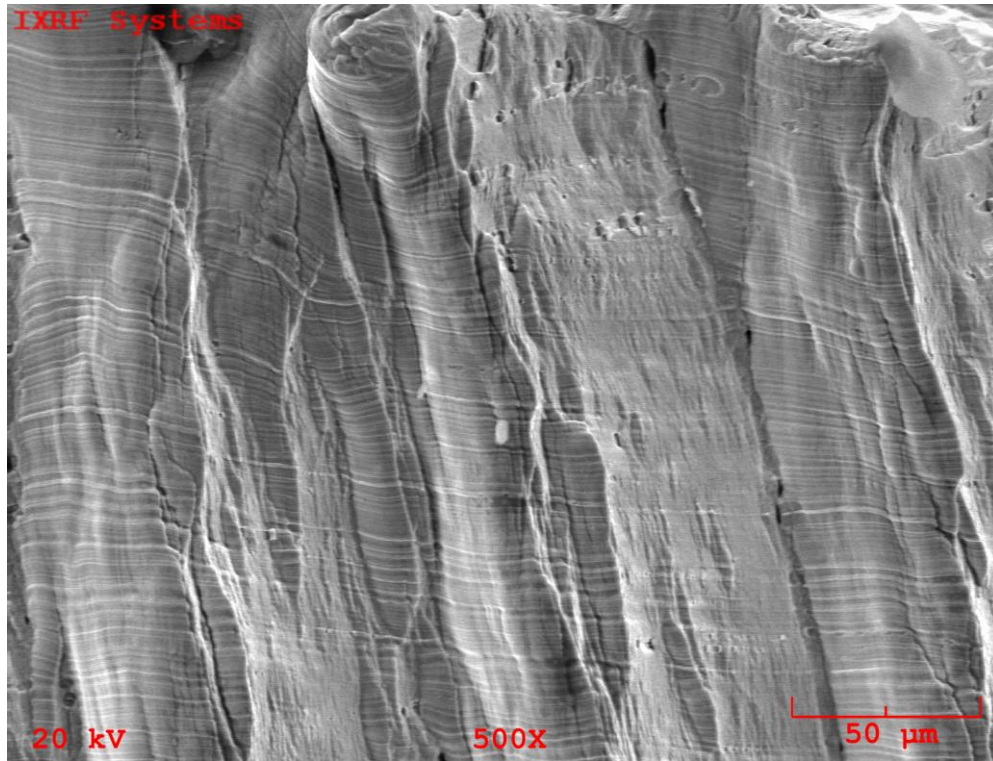




Şekil 5. 23. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

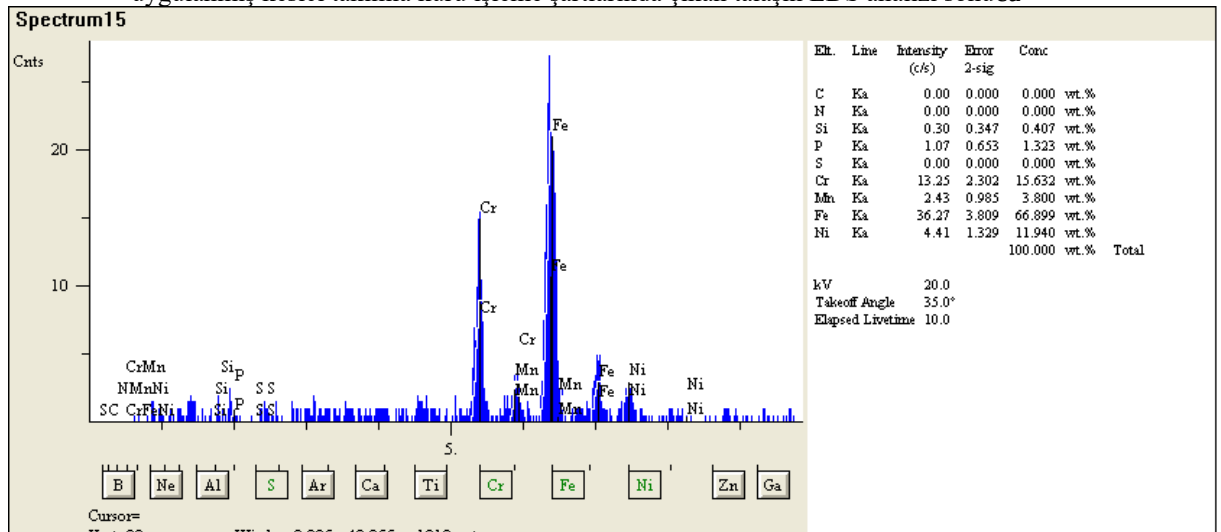
Tablo 5. 5. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu

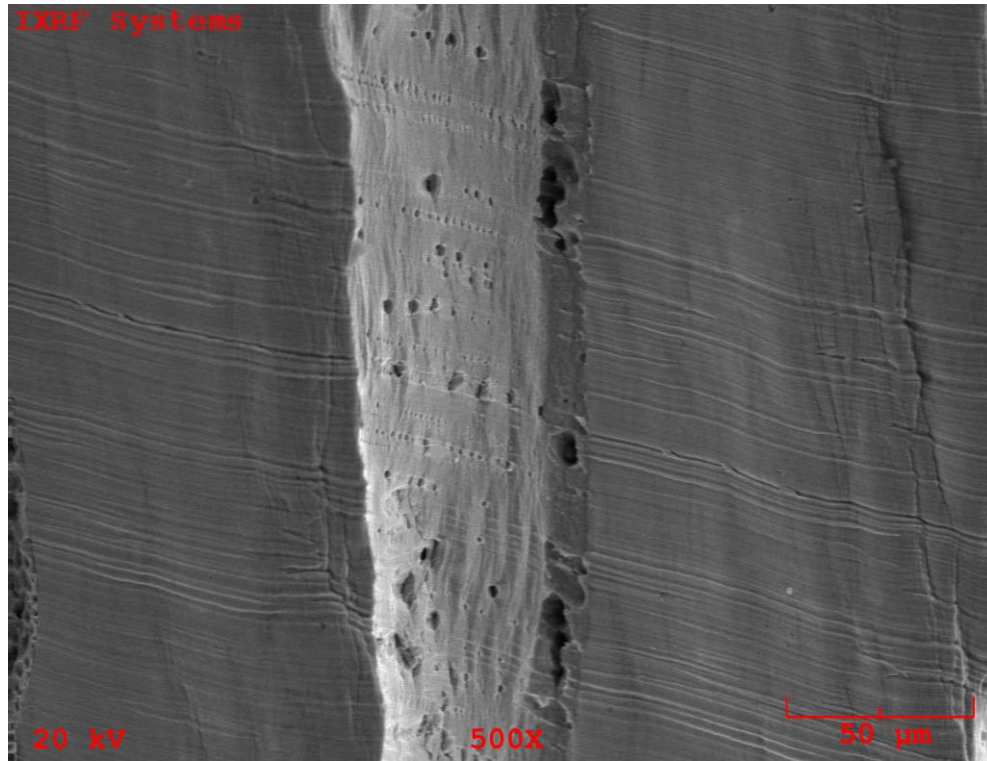




Şekil 5. 24. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ile kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

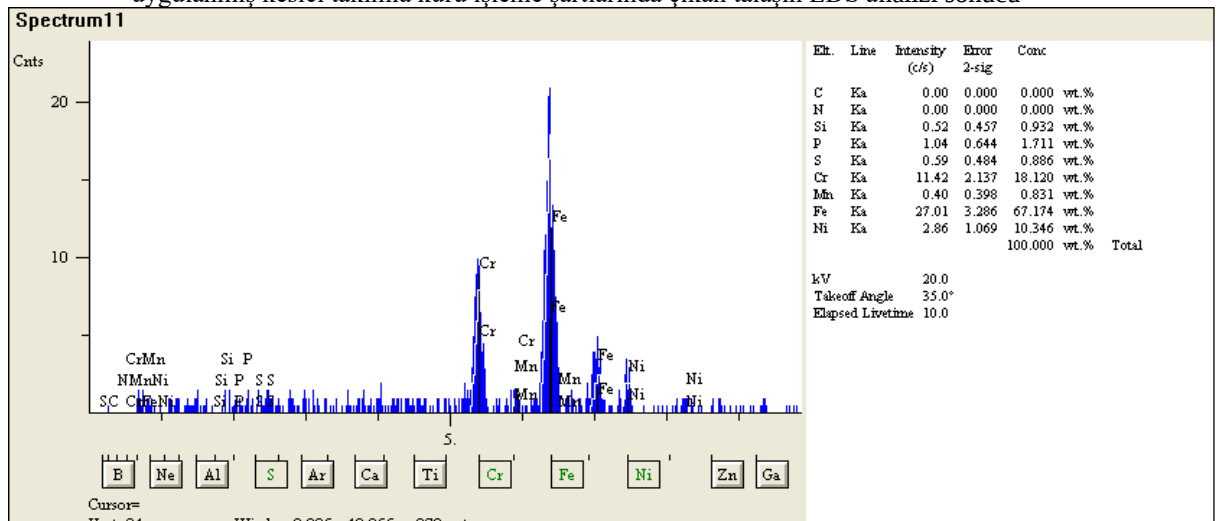
Tablo 5. 6. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takım ile kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu

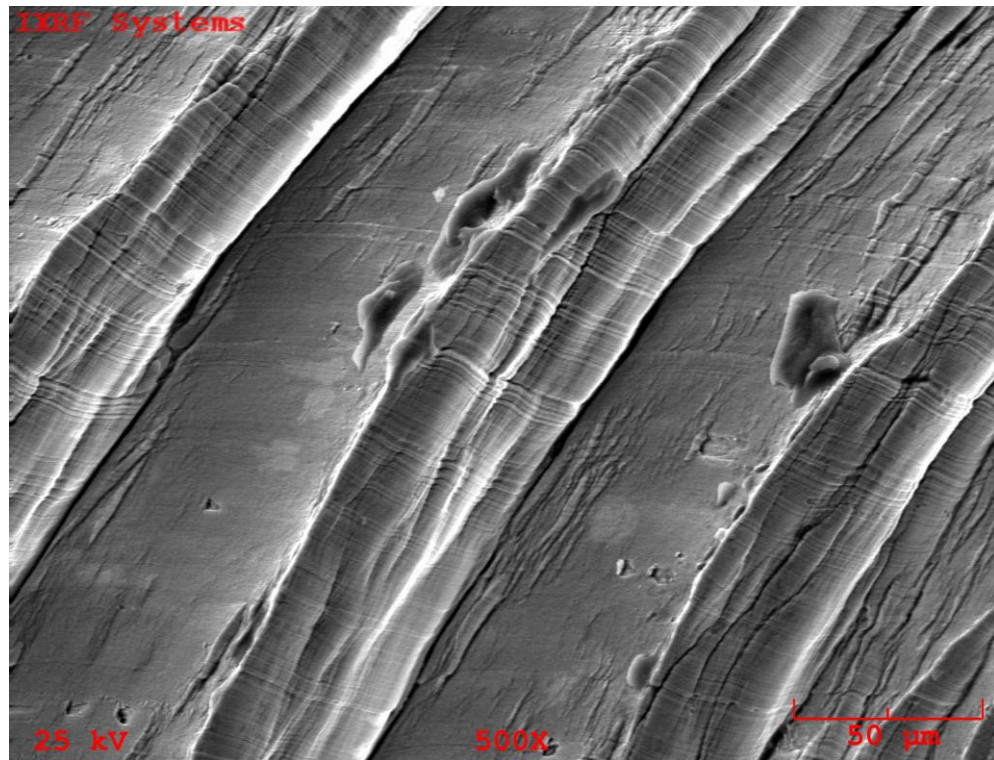




Şekil 5. 25. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

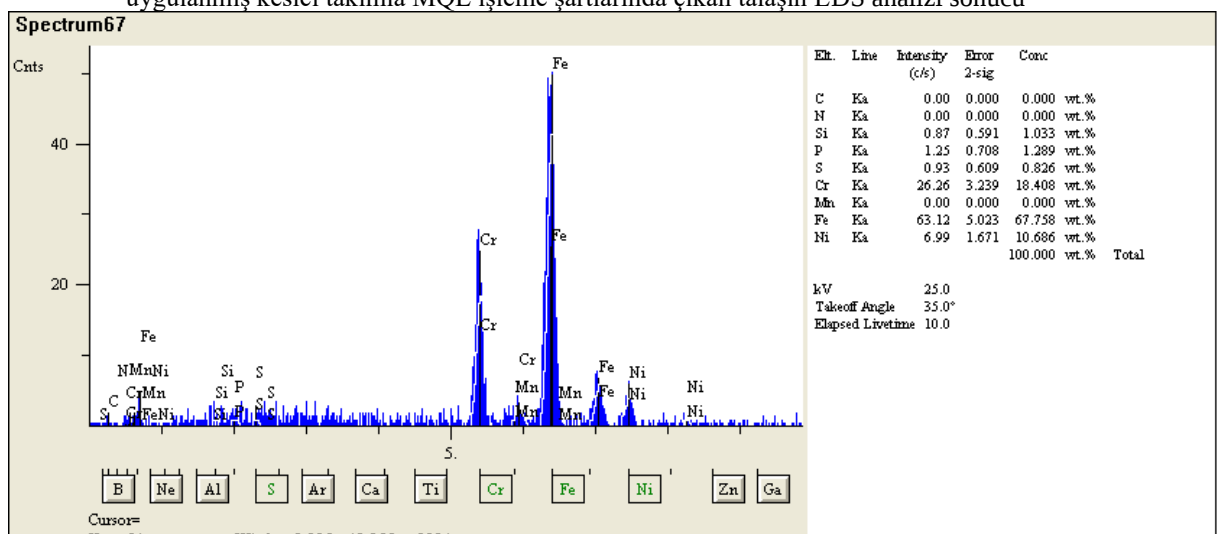
Tablo 5. 7. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla kuru işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu

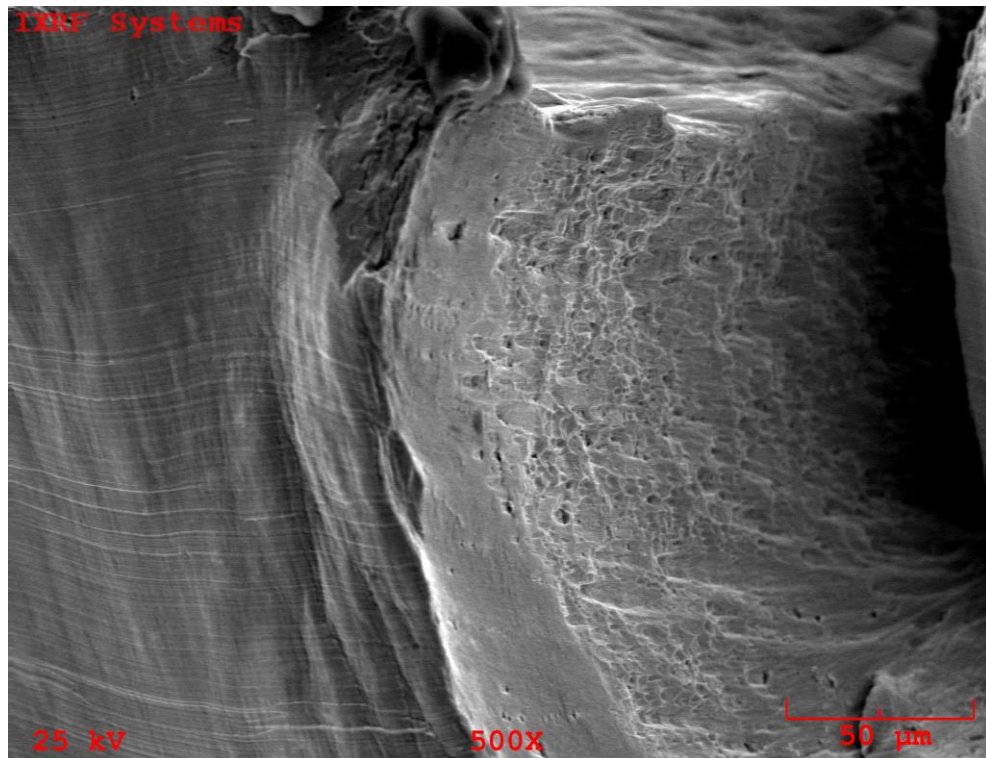




Şekil 5. 28. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

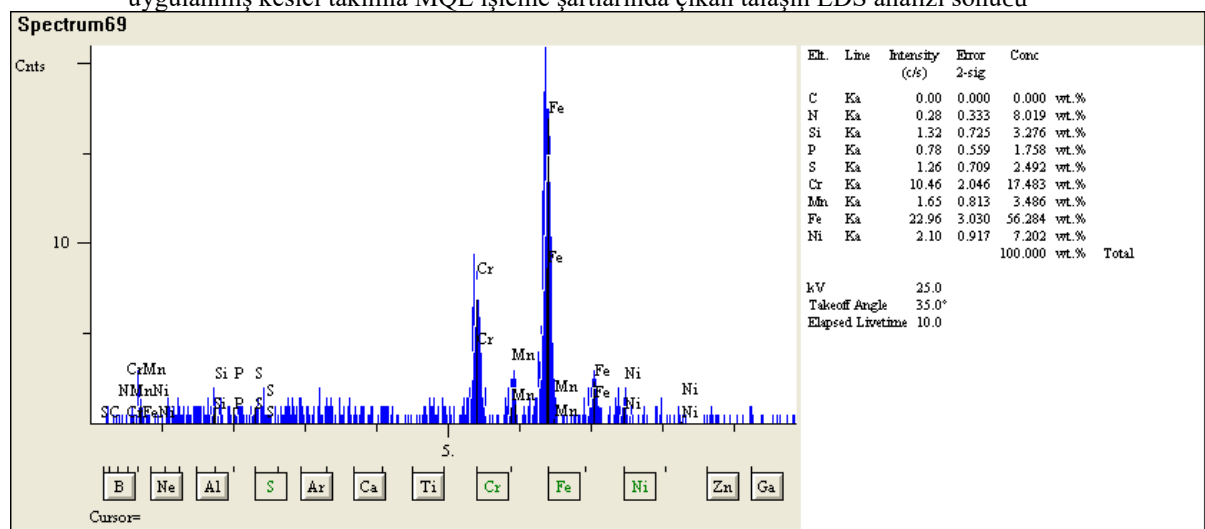
Tablo 5. 10. 160 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu





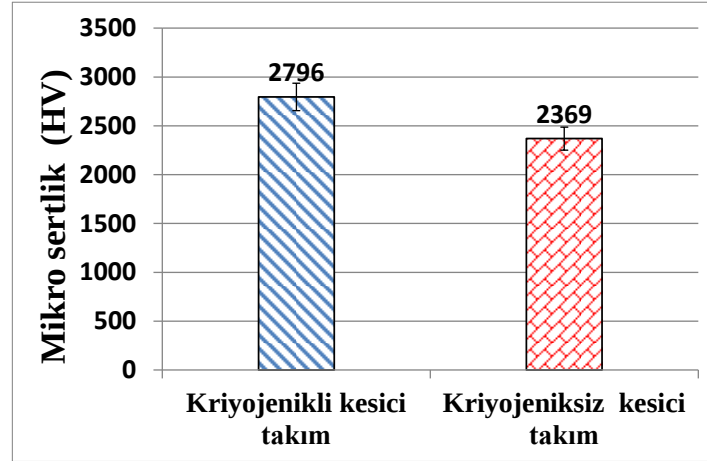
Şekil 5. 29. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi yeri

Tablo 5. 11. 250 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliği ile kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL işleme şartlarında çıkan talaşın EDS analizi sonucu



5.6. Mikrosertlik Analizi

AISI 304 iş parçalarının tornalanmasında kullanılan kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarına ait mikrosertlik sonuçları Şekil 5.30’da verilmiştir. Şekil 5.30’da verilen bu değerler, her iki kesici takım üzerinden 5 farklı noktadan alınan mikrosertlik değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Şekil 5.30’daki kesici takımlara ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımdan ölçülen mikrosertlik değeri (2796 HV), kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takıma (2369 HV) göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Kesici takıma uygulanan kriyojenik işlem sonucunda, kesici takımın mikrosertlik değerinde %20 oranında bir artış meydana gelmiştir. Literatürde kriyojenik işlemle ilgili benzer çalışmalarda da kriyojenik işlemin mikrosertliği artırdığı görülmüştür. Kriyojenik işlem, kesici takımların mikroyapısındaki karbür miktarının artması ve homojen olarak dağılmasını sağlar. Malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesiyle kesici takımların sertlik değerlerinin artması bununla açıklanabilir (Özbek vd., 2016; Kıvak ve Şeker, 2015; Strano ark., 2015; Gill ark., 2011; Varghese ark., 2019; Padmakumar ark., 2017; Kurşuncu, 2020).



Şekil 5. 30. Kesici takımlara ait mikrosertlik ölçümü sonuçları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla kuru ve MQL şartlarda farklı kesme parametreler kullanılarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik iş parçalarının tornalama işlemi yapılmıştır. Gerçekleştirilen işleme deneylerinde elde edilen kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, takım titreşimi, talaş morfolojisi ve mikrosertlik analizi sonuçları incelenip değerlendirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Tüm işleme koşullarında ilerlemenin artmasıyla esas kesme kuvvetinin de arttığı ve kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının esas kesme kuvvetlerini genel olarak azalttığı tespit edilmiştir.
- En yüksek esas kesme kuvveti değeri 160 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında (K) elde edilirken, en düşük esas kesme kuvveti ise 250 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla MQL uygulama şartlarında (Mİ) elde edilmiştir.
- Tüm işleme koşullarında ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı ve kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğün azaldığı görülmüştür. Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamanın yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
- En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri 160 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında elde edilirken (K), en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 250 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla MQL uygulama şartlarında (Mİ) elde edilmiştir.
- En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri sırasıyla kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla MQL uygulama şartlarında (Mİ), kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla MQL uygulama şartlarında (M), kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımla kuru işleme şartlarında (Kİ) ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımla kuru işleme şartlarında (K) elde edilmiştir.

- Tüm işleme koşullarında ilerlemenin artmasıyla kesici takımında oluşan titreşim değerlerinin arttığı ve kesme hızının artmasıyla kesici takımında meydana gelen titreşim değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- En yüksek titreşim değerleri sırasıyla kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımında (K), kuru işleme şartlarında kriyojenik işlenmiş uygulanmış takımında (Kİ), MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış takımında (M) ve MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış takımında (Mİ) görülmüştür.
- Kesici takımında meydana gelen en yüksek titreşim değeri 160 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takım ile kuru işleme şartlarında (K) elde edilirken kesici takımında meydana gelen en düşük titreşim değeri ise 250 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemede kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla MQL uygulama şartlarında (Mİ) elde edilmiştir.
- Kriyojenik işlem ve MQL uygulamasının kesici takım aşınma değerlerinde etkili olduğu gerçekleştirilen aşınma deneyleri sayesinde tespit edilmiştir. Sabit kesme parametreleri ile yapılan takım aşınması deneyleri sonucunda kesici takımlarda genel olarak burun aşınması, krater aşınması ve BUE meydana gelmiştir.
- En düşük kesici takım aşınma değeri MQL uygulama şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımında (Mİ) meydana gelirken, en yüksek kesici takım aşınma değeri kuru işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımında (K) meydana gelmiştir.
- Tornalama deneyleri sonucunda oluşan talaşlar incelendiğinde tüm kesme koşullarının en düşük kesme parametrelerinde sürekli talaşların meydana geldiği gözlemlenirken en yüksek kesme parametrelerinde süreksiz kopuk talaşların meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın mikrosertliği 2796 HV ve kriyojenik işlem uygulanmamış kesici takımın mikrosertliği 2369 HV çıkmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımın mikrosertliğinde %20 oranında bir artış meydana gelmiştir.
- Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve takım aşınması üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik işlem ve MQL uygulamasının birlikte kullanımı

kriyojenik işlemsiz ve kuru işleme şartlarında meydana gelen deneysel sonuçlar arasında gözle görülür bir fark olduğu görülmüştür.

- Tüm işleme şartlarına göre en iyi deneysel sonuçların MQL işleme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla yapılan deneylerde elde edildiği anlaşılmıştır.

6.2. Öneriler

Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasının AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalama işlemlerinde deneysel sonuçlara etkisini görmek için gerçekleştirilen bu deneysel çalışma sonuçlarının bundan sonraki yapılacak çalışmalara kaynak olması için aşağıdaki öneriler getirilebilir.

- Farklı sürelerde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin AISI 304 iş parçasının işlenebilirliği üzerinde etkisi araştırılabilir.
- Kriyojenik işlemin hem iş parçasına hem de kesici takım üzerine uygulanarak kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- Kriyojenik işlemin ve MQL uygulamasını talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklık üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Farklı kesici takımlara kriyojenik işlem uygulanarak işlenebilirlik üzerinde kesici takım performansları araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abou-El-Hossein, K.A., Yahya, Z., 2005, High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, 596–602.
- Abiodun, M. O., Olutosin, O., Adeleke, K. M., 2018, Effect of Maize-Starch Based Cutting Fluids and Machining Parameters on Temperature Generated in Turning of AISI 304 Stainless Steel, *International journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 9(6)
- Akdemir, B., Güneş, S. and Genç, A., 2009, Artificial neural network training models in prediction of concrete compressive strength using euclidean normalization method, *3rd Int. Conf. On Complex Systems and Applications-ICCSA 2009*, Le Havre-France, 160-165.
- Akıncıoğlu, S., Gökkaya, H., Uygur, İ., 2015, A review of cryogenic treatment on cutting tools, *Int J Adv Manuf Technol*, 78, 1609–1627.
- 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, 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.
- Aydın, M., Karakuzu, C., Uçar, M., Cengiz, A., Çavuşlu, M.A., 2013, Prediction of surface roughness and cutting zone temperature in dry turning processes of AISI304 stainless steel using ANFIS with PSO learning, *Int J Adv Manuf Technol*, 67, 957-967.
- 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.
- Balcı, B., 2008, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 67.
- Bal K.S., 2012, Performance appraisal of cryo-treated tool by turning operation, *Rourkela*, 25–45.
- Baldissera, P., Delprete, C., 2008, Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review, *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2, 1-11.
- Bedi S.S., Behera G.C., Datta S., 2020, Effects of Cutting Speed on MQL Machining Performance of AISI 304 Stainless Steel Using Uncoated Carbide Insert, *Application Potential of Coconut Oil and Rice Bran Oil as Cutting Fluids*, 45, 8877–8893.
- Benardos, P.G., Vosniakos, G.-C., 2003, Predicting surface roughness in machining: a review, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 833–844.
- 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.
- Bijanzad, A., 2013, Experimental study of minimum quantity lubrication effect on compacted graphite iron machining, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-97.

- Bock, M., Arrayago, I., Real, E., 2015, Experiments on cold-formed ferritic stainless steel slender sections, *Journal of Constructional Steel Research*, 109, 13-23.
- Bouzdab, 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.
- Candane, D., Alagumurthi, D., Palaniradja K., 2013, Effect of Cryogenic Treatment on Microstructure and Wear Characteristics of AISI M35 HSS, *International Journal of Materials Science and Applications*, 2(2), 56-65.
- Chen, j., Wang, Y., Zhang, Y., Yang, S., Zhang, X., 2020, Investigation on Tool Wear Mechanism during Dry Cutting 304 Stainless Steel, *Manufacturing Technology*, 20,1.
- Cunat, P.J., 2004, Alloying elements in stainless steel and other chromium-containing alloys, *EURO INOX*, 1-24.
- 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.
- Chinchankar, S., Choudhury, S. K., 2013, Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach, *Measurement*, 46(4), 1572-1584.
- 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.
- 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.
- Dalmau, A., Richard, C., Igual – Munoz, A., 2018, Degradation mechanisms in martensitic stainless steels: Wear, corrosion and tribocorrosion appraisal, *Tribology International*, 121, 167-179.
- Dhananchezian, M., Pradeep Kumar, M., Sornakumar, T., 2011, Cryogenic Turning of AISI 304 Stainless Steel with Modified Tungsten Carbide Tool Insert, *Materials and Manufacturing Processes*, 26(5), 781-785.
- Dimla, D.E., 2002, The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19, 705–713.
- Dirviyam, P.S., Palanisamy, C., 2010, Optimization of surface roughness of AISI 304 Austenitic Stainless Steel in dry turning operation using Taguchi design method, *Journal of Engineering Science and Technology*, 5 (3), 293- 301.
- Ersöz, O., 2021, Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımlarla tormalanan AISI 1050 çeliğinin işlenebilirliği ve talaş morfolojisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, 84.
- El-Tamimi, A. M., & El-Hossainy, T. M., 2008, Investigating the tool life, cutting force components, and surface roughness of AISI 302 stainless steel material under oblique machining, *Materials and Manufacturing Processes*, 23(4), 427-438.
- Feng, H., Jiang, Z., Li, H., Lu, P., Zhang, S., Zhu, H., Zhang, B., Zhang, T., Xu, Z., Chen, Z., 2018, Influence of nitrogen on corrosion behaviour of high nitrogen martensitic stainless steels manufactured by pressurized metallurgy, *Corrosion Science*, 144, 288-300.

- 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.
- Gill, S.S., Singh, J., Singh, H., Singh, R., 2012, Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co), *Int J Adv Manuf Technol*, 58, 119–131.
- 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.
- Gisip, J., Gazo, R., Stewart, H.A., 2009, Effects of cryogenic treatment and refrigerated air on tool wear when machining medium density fiberboard, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5117–5122.
- 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.
- Gürbüz, H., & Baday, Ş. 2021, Milling Inconel 718 workpiece with cryogenically treated and untreated cutting tools, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(9), 3135-3148.
- Gürbüz, H., 2012, AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kaplama tiplerinin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 157.
- 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.
- Hadad, M., Sadeghi, B., 2013, Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy, *Journal of Cleaner Production*, 54, 332-343.
- 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.
- Hosokawa, A., Ueda, T., Onishi, R., Tanaka, R., Furumoto, T., 2010, Turning of difficult-to-machine materials with actively driven rotary tool, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59, 89-92.
- Hagiwara, M., Chen, S., Jawahir, I.S., 2009, Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of Machining Performance, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 332-342.
- Huang, S., Lv, T., Xu, X., Ma, Y., Wang, M., 2018, Experimental evaluation on the effect of electrostatic minimum quantity lubrication (EMQL) in end milling of stainless steels, *Machining Science and Technology*, 22(2), 271-286.
- Junaidh, A. P., Yuvaraj, G., Peter, J., Bhuvaneshwari, V., Kanagasabapathi, Karthik, K., 2018, Influence of Process Parameters on the Machining Characteristics of Austenitic Stainless Steel (AISI 304), *Materials Today: Proceedings*, 5, 13321–13333.
- Kaladhar, M., Venkata Subbaiah, K., Srinivasa Rao, Ch., 2012, Determination of Optimum Process Parameters during turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steels using Taguchi method and ANOVA, *International Journal of Lean Thinking*, 3 (1).
- 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.

- Kaladhar, M., Venkata Subbaiah, K., Srinivasa Rao, Ch., 2012, Parametric optimization during machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel using CVD coated DURATOMICTM cutting insert, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3, 577-586.
- 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., Narayana Rao, K., 2010, Optimization of process parameters in turning of AISI202 Austenitic Stainless Steel, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(9), 79-87.
- Kamely, M.A., Noording, M. Y., 2011, The Impact of Cutting Tool Materials on Cutting Force, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 51, 903-906.
- 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.
- Kazancoglu, Y., Esme, U., Bayramoğlu, M., Guven, O., Özgün, S., 2011, Multi-Objective optimization of the cutting forces in turning operations using the grey-based Taguchi method, *Materials and technology*, 45 (2), 105-110.
- Khan, MMA, Dhar NR., 2016, Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel, *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, 7, 1790-9.
- 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.
- Kishawy, H.A., Dumitrescu, M., Ng, E.G., Elbestawi, M.A., 2005, Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminum alloy, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 45, 219-227.
- Korkmaz, M. E., 2019, Ferritik Paslanmaz Çeliğin Malzeme Yapısal Denklem Parametrelerinin Belirlenmesi ve Doğrulanması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 628-639.
- 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.
- Kulkarni, A.P., Sargade, V.G., 2015, Characterization and Performance of AlTiN, AlTiCrN, TiN/TiAlN PVD Coated Carbide Tools While Turning SS 304, *Materials and Manufacturing Processes*, 30(6), 748-755.
- 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.
- Kursuncu, B., Caliskan, H., Guven, S.Y., Panjan, P., 2018, Improvement of cutting performance of carbide cutting tools in milling of the Inconel 718 superalloy using multilayer nanocomposite hard coating and cryogenic heat treatment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97, 467-479.

- Lawal, S. A., Choudhury, I. A., Nukman, Y., 2013, Developments in the formulation and application of vegetable oil-based metalworking fluids in turning process, *Int J Adv Manuf Technol*, 67, 1765–1776.
- Leppert, T., Peng, R. L., 2012, Residual stresses in surface layer after dry and MQL turning of AISI 316L steel, *Prod. Eng. Res. Devel.*, 6, 367-374.
- Li, K.M., Lin, C.P., 2012, Study on minimum quantity lubrication in micro-grinding, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 62, 99–105.
- Ma, L., Hu, S., Shen, J., Han, J., Zhu, Z., 2016, Effects of Cr Content on the Microstructure and Properties of 26Cr– 3.5Mo–2Ni and 29Cr–3.5Mo–2Ni Super Ferritic Stainless Steels, *Journal of Materials Science & Technology*, 32, 552-560.
- Mahdavinnejad, 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.
- Meral, T., Günay, M., 2019, Kaplamalı ve Kaplamasız Karbür Matkap ile Ferritik Paslanmaz Çeliğin Delinebilirlik Analizi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 159-166.
- Naveena, B., Thaslima, S. S. M., Savitha, V., Krishna, B. N., Raj, D. S., Karunamoorthy, L., 2017, Simplified MQL system for drilling AISI 304 SS using cryogenically treated drills, *Materials and Manufacturing Processes*, 32(15), 1679-1684.
- ISO 3685., 1999, Tool-life testing with single-point turning tools, 1-12.
- Oyman, E., 2012, Kaplama türünün ve kesme parametrelerinin talaş şekli üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar, 87.
- OKE, 2021., Cutting Tools Catalog.
- 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., 2016, 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., 2016, 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.
- Özbek, N.A., Çiçek, A., Gülesin, M., & Özbek, O., 2017, AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 20(1), 43-49.
- Özcelik, B., Kuram, E., Çetin, M.H., Demirbaş, E., 2011, Experimental investigations of vegetable based cutting flfluids with extreme pressure during turning of AISI 304L, *Tribology International*, 44, 1864–1871.
- Özek, C., Haşçalık, A., Çaydaş, U., Karaca, F., Ünal, E., 2006, Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2, 117-121.
- 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.
- Pereira, O., Rodríguez, A., Fernandez-Abia, A.I., Barreiro, J., Lopez de Lacalle, L.N., 2016, Cryogenic and minimum quantity lubrication for an eco-efficiency turning of AISI 304, *Journal of Cleaner Production*, 139, 440-449.
- Rahim, E.A., Sasahara, H., 2011, A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys, *Tribology International*, 44, 309-317.
- Rahim, E.A., Ibrahim, M.R., Rahim, A.A., Aziz, S., Mohid, Z., 2015, Experimental Investigation of Minimum Quantity Lubrication (MQL) as a Sustainable Cooling Technique, *Procedia CIRP*, 26, 351-354.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sharma, A, K., Tiwari, A, K., Dixit, A, R., 2016, Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review, *Journal of Cleaner Production*, 127, 1-18.
- Shashanka, R., Chaira, D., 2015, Development of nano-structured duplex and ferritic stainless steels by pulverisette planetary milling followed by pressureless sintering, *Materials Characterization*, 99, 220-229.
- Shokrani, A., Dhokia, V., Muñoz-Escalona, P., Newman, S.T., 2013, State of the art cryogenic machining and processing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26 (7), 616-648.
- Sreerama Reddy, T. V., Sornakumar, T., Venkatarama Reddy, M., Venkatram R., Senthilkumar, A., 2009, Turning Studies of deep cryogenic treated P-40 tungsten carbide cutting tool inserts, Technical Communication, *Machining Science and Technology*, 13(2), 269-281.
- 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.
- Silverstein, R., Eliezer, D., 2015, Hydrogen trapping mechanism of different duplex stainless steels alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 644, 280-286.
- 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.
- Singl, A.N., Singh, J., Sharma, V.S., 2018, Processing of materials at cryogenic temperature and its implications in manufacturing: A review, *Materials and Manufacturing Processes*, 33 (15), 1603-1640.

- Sivaiah, P., Chakradhar, D., 2018, Comparative evaluations of machining performance during turning of 17-4 PH stainless steel under cryogenic and wet machining conditions, *Machining Science and Technology*, 22(1), 147-162.
- Sivaiah, P., 2019, Evaluation of hybrid textured tool performance under minimum quantity lubrication while turning of AISI 304 steel, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41, 571.
- Sivaiah, P., Chakradhar, D., 2017, Influence of cryogenic coolant on turning performance characteristics: A comparison with wet machining, *Materials and Manufacturing Processes*, 32(13), 1475-1485.
- Sivaiaha, P., Chakradhar, D., 2018, Effect of cryogenic coolant on turning performance characteristics during machining of 17-4 PH stainless steel: A comparison with MQL, wet, dry machining, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 21, 86-96.
- Sivaiah, P., Venkata Ajay Kumar G, K., Narasimhamu L., Siva Balaji, N., 2022, Performance improvement of turning operation during processing of AISI 304 with novel textured tools under minimum quantity lubrication using hybrid optimization technique, *Materials and Manufacturing Processes*, 37(6), 693-700.
- Sodavadia, K.P., Makwana, A.H., 2014, Experimental Investigation on the Performance of Coconut oil Based Nano Fluid as Lubricants during Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 4 (1), 55-60.
- 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.
- STN ISO 3685., 1999, Tool-Life Testing with Single-Point Turning Tools, Turkey, 1–53.
- Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., 2008, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması, *BAU FBE Dergisi*, 10 (2), 3-12.
- Tekaslan, Ö., 2007, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğe bağlı olarak kalıcı gerilme problemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 232.
- Tekaüt, İ., 2008, Takım tezgâhlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Yüksek Lisans, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 84.
- Tekiner, Z., Yeşilyurt, S., 2004, Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Materials and Design*, 25, 507-513.
- Thijel, J. F., Al-hafidh, M., 2019, The influence of cutting parameters on temperature and hardness for turning AISI 304 stainless steel, *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*, 8 (2), 101-116.
- Tranchida, G., Clesi, M., Di Franco, F., Di Quarto, F., Santamaria, M., 2018, Electronic properties and corrosion resistance of passive films on austenitic and duplex stainless steels, *Electrochimica Acta*, 273, 412-423.
- Touggui, Y., Belhadi, S., Mechraoui, S., Uysal, A., Athmane Yallese, M., Temmar, M., 2020, Multi-objective optimization of turning parameters for targeting surface roughness and maximizing material removal rate in dry turning of AISI 316L with PVD-coated cermet insert, *SN Applied Sciences*, 2, 1360.

- Uysal, A., Jawahir, I.S., 2021, Analysis of slip-line model for serrated chip formation in orthogonal machining of AISI 304 stainless steel under various cooling/lubricating conditions, *Journal of Manufacturing Processes*, 67, 447–460.
- 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, J., Taiwade, R. V., 2017, Effect of welding processes and conditions on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments, *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 134-152.
- Vikram, C.H., Kumar, R. ve Ramamoorthy, B., 2007, Performance of coated tools during hard turning under minimum fluid application, *Journal of Materials Processing Technology*, 185, 210–216.
- Yardımeden, A., Turan, A., 2018, Farklı kesme parametreleriyle AISI 1040 çeliğin tornalanmasında oluşan titreşimlerin ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1), 269-278.
- Yaldız, S., Ünsaçar, F., 2006, A dynamometer design for measurement the cutting forces on turning, *Measurement*, 39, 80-89.
- Yıldız, Y., Nalbant, M., 2008, A review of cryogenic cooling in machining processes *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, 947-964.
- Yıldız, T., 2019, Paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama etkisinin istatistiksel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 123.
- Yıldırım, Ç. V., Sarıkaya, M., Kıvak, T., Şirin, Ş., 2016, AISI 4340'ın tornalanmasında minimum miktarda yağlama (MMY) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması, 7. *Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu*, İstanbul.
- Yıldırım, Ç. V., Sarıkaya, M., Kıvak, T., Şirin, Ş., 2019, The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625, *Tribology International*, 134, 443-456.
- 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.
- Zeqiri, F., 2018, Inconel 625 tornalama işleminde kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkileyen parametrelerin deneysel araştırılması ve matematiksel modellenmesi, Doktora Tezi, *Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 147.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Şeyma YAKUT EKER
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği, Merkez, Batman	2017
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	-

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalat

YABANCI DİLLER

İngilizce