AISI 316 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIMA UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMİN TAKIM ÖMRÜ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Nursel ALTAN ÖZBEK

DOKTORA TEZİ MAKİNE EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

> EKİM 2013 ANKARA

Nursel ALTAN ÖZBEK tarafından hazırlanan "AISI 316 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIMA UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMİN TAKIM ÖMRÜ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü. Doç. Dr. Adem ÇİÇEK Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Ü. Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. Prof. Dr. Mehmet TÜRKER Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü. Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı G.Ü. Prof. Dr. Ulvi SEKER İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü. Prof. Dr. İhsan KORKUT İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü. Doç. Dr. Hakan ATEŞ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü. Doç. Dr. Adem ÇİÇEK Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Ü. Yrd. Doç. Dr. Yunus KAYIR Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü. Tez Savunma Tarihi: 02/10/2013 Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

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

Nursel ALTAN ÖZBEK

AISI 316 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIMLARA UYGULANAN KRİYOJENİK İŞLEMİN TAKIM ÖMRÜNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI (Doktora Tezi)

Nursel ALTAN ÖZBEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ Ekim 2013

ÖZET

Bu calışmada, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem bekletme sürelerinin takım ömrü üzerine etkileri araştırılmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız, TiCN, TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı tungsten karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlar 12, 24, 36, 48 ve 60 saat olmak üzere beş farklı sürede -145°C sıcaklıkta bekletilerek derin kriyojenik işleme tabi tutulmuşlardır. İşlenebilirlik deneyleri CNC torna tezgâhında kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiş ve işlenebilirlik kıstaslarından takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Kesme derinliği bütün deneylerde sabit tutulmuş (2,4 mm) ve üç farklı ilerleme hızı (0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme hızı olarak, kaplamasız ve TiCN kaplı takım için 100, 120, 140 ve 160 m/dak, TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takım için 120, 160, 200 ve 240 m/dak kesme hızı kullanılmıştır. Tüm işleme deneylerinde yan yüzey aşınması ve krater aşınması gözlenmiştir. Diğer yandan kesici takımların mikroyapı analizi ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri sonucunda en fazla sertlik 24 saat (Kİ24) bekletme süresinde olmakla birlikte kriyojenik işlemin kesici takımın mikrosertliğinde artış sağladığı belirlenmiştir.

Optimum kriyojenik işlem bekletme süresinin belirlenebilmesi için 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında (100, 120, 140 ve 160 m/dak) gerçekleştirilen işleme deneylerinde, beş farklı bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış takımlardan en iyi aşınma direnci ve yüzey pürüzlülüğünü Kİ24 takımın sergilediği görülmüştür. Kesme kuvvetlerinde ise, Kİ24 takımı en yüksek kesme kuvvetleri sergilerken en düşük kesme kuvvetleri işlemsiz (İ) takımla ölçülmüştür. Bu veriler ışığında bu çalışmada kullanılan tungsten karbür kesici takımlar için optimum kriyojenik işlem bekletme süresi 24 saat olarak belirlenmiştir. 0,15 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızı ve dört farklı kesme hızında işleme deneyleri yalnızca 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış ve işlemsiz takımlarla gerçekleştirilmiştir. Bütün deneylerde kriyojenik işlem uygulanmış takım daha düşük aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sergilemiştir. Kesme kuvvetleri, kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takımlarda kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlara göre daha düşük çıkmıştır.

| Bilim Kodu | : 708.3.028 |
|-------------------|---|
| Anahtar Kelimeler | : AISI 316, Östenitik paslanmaz çelikler, kriyojenik işlem, |
| | işlenebilirlik, takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü |
| Sayfa Adedi | : 214 |
| Tez Yöneticileri | : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN |
| | Doç. Dr. Adem ÇİÇEK |

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CRYOGENIC TREATMENT APPLIED TO CUTTING TOOLS ON TOOL LIFE IN MACHINING AISI 316 AUSTENITIC STAINLESS STEEL

(Ph.D.Thesis)

Nursel ALTAN ÖZBEK

GAZİ UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES Oktober 2013

ABSTRACT

In this study, the effects of the duration of cryogenic treatment applied to cutting tools on tool life in machining of AISI 316 austenitic stainless steel have been investigated. The uncoated cutting tool, TiCN, TiAlN and TiCN/Al₂O₃/TiN coated tungsten carbide tools were used. The cutting tools were subjected to deep cryogenic processing for five different durations namely 12, 24, 36, 48, and 60 hours at -145°C. Machinability tests were carried on a CNC lathe with dry machining conditions and tool wear, cutting forces and surface roughness were investigated. The depth of cut was kept constant in all experiments (2.4 mm) and three different feed rates (0.15, 0.3 and 0.45 mm/rev) were used. The cutting speeds, for the uncoated and TiCN coated tools 100, 120, 140 and 160 m/min and for TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN coated tools 120, 160, 200 ve 240 m/min were used. In all machining experiments flank wear and crater wear were observed. The analysis of the microstructure and measurements of the microhardness of cutting tools were also carried out. As a result of the hardness measurements it was determined that the cryogenic process provides an increase in microhardness of the cutting tool and the highest increase was obtained with 24 hours duration of the cryogenic treatment.

The machining experiments were carried out at 0.3 mm/rev feed rate and four different cutting speeds (100, 120, 140 ve 160 m/min) in order to determine the optimum duration of cryogenic treatment and Kİ24 tool exhibited the best wear resistance and surface roughness among the tools that cryogenic treatment was applied at five different durations. In the cutting forces, Kİ24 exhibited the highest cutting forces and the lowest cutting forces were measured with the untreated tool. According to these data, the optimum duration of the cryogenic treatment was determined as 24 hours for tungsten carbide cutting tools used in this the study. The machining experiments were carried out with only the 24 hours cryogenic treated and untreated tools using 0.15 mm/rev and 0.45 mm/rev feed rate and four different cutting speeds. In all experiments, the cryogenic treated tools exhibited lower wear rates and surface roughness. Cutting forces of cryogenic treated tools were slightly lower than the cryogenic treated uncoated tools.

| Science code | : 708.3.028 |
|--------------|---|
| Key words | : AISI 316, austenitic stainless steels, cryogenic |
| - | treatment, machinability, tool wear, cuttting forces, surface roughness |
| Page number | : 214 |
| Supervisors | : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN |
| | Assoc. Prof. Dr. Adem ÇİÇEK |

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli görüşleriyle ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN ve Sayın Doç. Dr. Adem ÇİÇEK'e, yine değerli bilgilerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Sayın Prof. Dr. Mehmet TÜRKER, Sayın Yrd. Doç. Dr. Turgay KIVAK, Sayın Arş. Gör. Gültekin UZUN, Sayın Öğr. Gör. Harun GÜL, Sayın Erdoğan ÇEVİK'e, akademisyen olmam ve doktora yapmama vesile olan çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN ve Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a, tüm çalışma arkadaşlarıma, beni bugünlere getiren aileme, maddi ve manevi destekleriyle ve sabrıyla her zaman yanımda olan eşim Onur ÖZBEK ve biricik oğlum Yağız'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı, 07/2010-23 numaralı proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| ÖZETiv |
|--|
| ABSTRACTvi |
| TEŞEKKÜRviii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİxiii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİxvi |
| RESİMLERİN LİSTESİxxiii |
| SİMGELER VE KISALTMALARxxvi |
| 1. GİRİŞ |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI4 |
| 2.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği ile İlgili Yapılan Çalışmalar4 |
| 2.2. Kesici Takıma Uygulanan Kriyojenik İşlem İle İlgili Yapılan Çalışmalar 14 |
| 2.3. Malzemeye Uygulanan Kriyojenik İşlem İle İlgili Yapılan Çalışmalar 19 |
| 2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirmesi |
| 3. PASLANMAZ ÇELİKLER |
| 3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler |
| 3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler |
| 3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler |
| 3.4. Ferritik - Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler |
| 3.5. Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilen Alaşımlar37 |

| 4. | KRİYOJENİK İŞLEM | 39 |
|----|---|----|
| 5. | TALAŞLI İMALAT ve İŞLENEBİLİRLİK | 42 |
| | 5.1. Talaşlı İmalat Mekaniği | 42 |
| | 5.2. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri | 44 |
| | 5.3. Talaşlı İmalat İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü | 46 |
| | 5.4. Kesici Takım Aşınması ve Takım Ömrü | 48 |
| | 5.4.1. Aşınma mekanizmaları | 49 |
| | 5.4.2. Takım aşınma tipleri | 52 |
| | 5.4.3. Takım ömrü | 57 |
| | 5.5. İşlenebilirlik | 57 |
| 6. | MATERYAL VE METOT | 59 |
| | 6.1. İş Parçası | 59 |
| | 6.2. Kesici Takımlar, Takım Tutucu ve Kesme Parametreleri | 60 |
| | 6.2.1. Kesici takımlar | 60 |
| | 6.2.2. Takım tutucu | 62 |
| | 6.2.3. Kesme parametreleri | 63 |
| | 6.3. Kriyojenik İşlem Uygulanması | 63 |
| | 6.4. Takım Tezgâhı | 65 |
| | 6.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi | 66 |

| 6.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi67 |
|---|
| 6.7. Takım Aşınmasının Ölçülmesi68 |
| 6.8. Sertlik Ölçümü70 |
| 6.9. Metalografik İnceleme71 |
| 7. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA72 |
| 7.1. Metalografik İncelemeler72 |
| 7.1.1. Mikro yapı incelemeleri72 |
| 7.1.2. XRD incelemeleri75 |
| 7.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları78 |
| 7.3. Farklı Bekletme Sürelerinde Uygulanan Derin Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisi |
| 7.3.1. Kesici takım aşınmanın değerlendirilmesi 80 |
| 7.3.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi 107 |
| 7.3.3. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi 113 |
| 7.4. Optimum Bekletme Süresinde Uygulanan Derin Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisi116 |
| 7.4.1 Kesici takım aşınmasının değerlendirilmesi 117 |
| 7.4.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi 150 |
| 7.4.3. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi 156 |
| 7.5. Kaplamalı Takımlara Uygulanan Derin Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisi |

| 7.5.1 Kesici takım aşınmasının değerlendirilmesi16 | 53 |
|--|----------------|
| 7.5.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi16 | 59 |
| 7.5.3. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi | 76 |
| 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 19 |) 2 |
| 8.1. İşlemsiz ve Farklı Bekletme Sürelerinde Kriyojenik İşlem Uygulanmış Takımlardan Elde Edilen Sonuçlar19 | €2 |
| 8.2. Optimum Bekletme Sürelerinde Kriyojenik İşlem Uygulanmış Takımlardan Elde Edilen Sonuçlar |) 4 |
| 8.3. Öneriler | € |
| KAYNAKLAR 19 | €7 |
| ÖZGEÇMİŞ21 | 13 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge Sayfa |
|--|
| Çizelge 2.1. D-3 takım çeliği üzerine uygulanan ısıl işlemler |
| Çizelge 2.2. Vakumlama ocağında kullanılan ısıl işlem ve sıcaklıkları |
| Çizelge 2.3. Sementasyondan sonra kriyojenik işlem ve temperlemenin sıralamaları (CH – Sementasyon, T – Temperleme, DCT – Derin Kriyojenik İşlem) |
| Çizelge 5.1. Aşınma tipleri |
| Çizelge 6.1. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşenleri 59 |
| Çizelge 6.2. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin fiziksel özellikleri 59 |
| Çizelge 6.3. Kesici takımların kodları ve özellikleri |
| Çizelge 6.4. Kesici takımlar için seçilen kesme parametreleri |
| Çizelge 6.5. CNC torna tezgâhı özellikleri 66 |
| Çizelge 6.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri |
| Çizelge 6.7. Conturograph cihazının teknik özellikleri70 |
| Çizelge 7.1. Kriyojenik işlem uygulanmış ve işlemsiz takımların tane boyutu ve dislokasyon yoğunluğu değerleri |
| Çizelge 7.2. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları 85 |
| Çizelge 7.3. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları91 |
| Çizelge 7.4. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.5. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları 101 |

Çizelge

| Çizelge 7.6. Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlemsiz takıma kıyasla yan yüzey aşınması farkları |
|---|
| Çizelge 7.7. Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlemsiz takıma kıyasla çentik aşınması farkları |
| Çizelge 7.8. Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlemsiz takıma kıyasla krater derinliği farkları |
| Çizelge 7.9. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.10. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.11. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.12. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.13. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.14. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.15. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |

Çizelge

| Çizelge 7.16. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
|---------------|--|
| Çizelge 7.17. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.18. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.19. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.20. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.21. | İşlemsiz ve kriyojenik işelm uygulanmış takımların kesme hızına bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.21. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.22. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları |
| Çizelge 7.23. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 160 m/dak kesme ve 0,45 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil Sayfa |
|--|
| Şekil 3.1. Demir içindeki krom elementinin korozyon oranı üzerindeki etkisi 32 |
| Şekil 3.2. Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar) |
| Şekil 3.3. Östenitik ve ferritik paslanmaz çelik türlerinin içyapıları |
| Şekil 5.1. Ortogonal kesme geometrisi (a) Düzlemsel parçalarda ortogonal kesme, (b) Silindirik parçalarda ortogonal kesme |
| Şekil 5.2. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri |
| Şekil 5.3. Ortogonal kesme mekaniği45 |
| Sekil 5.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri |
| Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü48 |
| Şekil 5.6. Aşınma mekanizmalarının takım üzerindeki dağılımı |
| Şekil 5.7. Takım aşınma modeli |
| Şekil 6.1. Deney numunesi 60 |
| Şekil 6.2. SNMG 120412 – TF kesici takım serisinin boyutları 60 |
| Şekil 6.3. TF talaş kırıcı formunun biçimi |
| Şekil 6.4. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları |
| Şekil 6.5. Deneylerde kullanılan kesici takımlara uygulanan ısıl işlem eğrileri 65 |
| Şekil 6.6. Kesme kuvveti bileşenlerinin DynoWare programında ölçülmesi 67 |
| Şekil 7.1. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların XRD analizi |
| Şekil 7.2. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların mikrosertlik değişimleri |

Şekil

xvii

| Şekil 7.3. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi |
|------------|---|
| Şekil 7.4. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında çentik aşınmasının zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.5. | İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri |
| Şekil 7.6. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.7. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında çentik aşınmasının zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.8. | İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri |
| Şekil 7.9. | 0,3 mm/dev ilerleme hızı ve 120 m/dak kesme hızında kesici takımların krater yüzeylerinin EDX analizi |
| Şekil 7.1(|). İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim96 |
| Şekil 7.11 | . İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri97 |
| Şekil 7.12 | 2. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.13 | B. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri |

| Sayfa |
|-------|
|-------|

| Şekil 7.14 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi |
|------------|---|
| Şekil 7.15 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.16 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.17 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi |
| Şekil 7.18 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı değişimi |
| Şekil 7.19 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.20 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.21 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
| Şekil 7.22 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
| Şekil 7.23 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı çentik aşınmasındaki değişim. 122 |
| Şekil 7.24 | . İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki krater derinliği değerleri |

xix

Sayfa

| Şekil 7.25. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
|-------------|--|
| Şekil 7.26. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
| Şekil 7.27. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı çentik aşınmasındaki değişim. 132 |
| Şekil 7.28. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki krater derinliği değerleri 136 |
| Şekil 7.29. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,45 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
| Şekil 7.30 | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,45 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
| Şekil 7.31. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki krater derinliği değerleri 144 |
| Şekil 7.32. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim148 |
| Şekil 7.33. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim |
| Şekil 7.34. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim |
| Şekil 7.35. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim |
| Şekil 7.36. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,45 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim |
| | |

| Şekil 7.37. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim | 5 |
|--|---------|
| Şekil 7.38. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim | ; 6 |
| Şekil 7.39. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim | 8 |
| Şekil 7.40. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim | ; 50 |
| Şekil 7.41. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim | 51 |
| Şekil 7.42. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim | ; 52 |
| Şekil 7.43. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri | 54 |
| Şekil 7.44. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri | 66 |
| Şekil 7.45. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma değişimleri | 57 |
| Şekil 7.46. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri | 59 |
| Şekil 7.47. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri | 0' |
| Şekil 7.48. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri | 0' |
| Şekil 7.49. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim | '1 |

Şekil

xxi

| Şekil 7.50. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim 172 |
|---|
| Şekil 7.51. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim 173 |
| Şekil 7.52. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim 174 |
| Şekil 7.53. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim |
| Şekil 7.54. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim |
| Şekil 7.55. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.57. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.58. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.59. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.60. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim 184 |
| Şekil 7.61. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim 185 |
| Şekil 7.62. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim 186 |
| Şekil 7.63. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.64. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim |
| Şekil 7.65. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim |

xxii

Sayfa

| Şekil 7.66. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda | ilerleme |
|---|----------|
| hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim | 191 |

RESIMLERIN LISTESI

| Resim Sayf | a |
|--|---------|
| Resim 6.1. Kriyojenik işlem uygulanan tank 6 | 4 |
| Resim 6.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü6 | 7 |
| Resim 6.3. Dino-Lite mikroskobunda kesici takımlarda oluşan yan yüzey aşınmasının ölçülmesi6 | 9 |
| Resim 6.4. Kesici takımlarda oluşan krater derinliğinin Conturograph cihazında ölçülmesi | 9 |
| Resim 6.5. Mikrosertlik test cihazı7 | 0 |
| Resim 7.1. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ607 | 4 |
| Resim 7.2. P-30 Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları a) İşlemsiz b) Derin kriyojenik işlem uygulanmış7 | 5 |
| Resim 7.3. Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları a) İşlemsiz b) Derin kriyojenik işlem uygulanmış7 | 5 |
| Resim 7.4. Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları a) İşlemsiz b) Derin kriyojenik işlem uygulanmış7 | 6 |
| Resim 7.5. P-30 Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları a) İşlemsiz b) Derin kriyojenik işlem uygulanmış7 | 6 |
| Resim 7.6. Kİ12 ve Kİ24 takımların 5. dakikadaki aşınma fotoğrafları | 4 |
| Resim 7.7. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60 | ; ;8 |
| Resim 7.8. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ609 | 3 |

Resim

| Resim 7.9. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ6099 |
|---|
| Resim 7.10. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları |
| a)K100 b)K112 c)K124 d)K136 e)K148 f)K160103 |
| Resim 7.11. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.12. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.13. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.14. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.15. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.16. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.17. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.18. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |

Resim

| Resim | Sayfa |
|-------------|---|
| Resim 7.19. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.20. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.21. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.22. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24 |
| Resim 7.23. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00-TiAlN b)Kİ24-TiAlN |
| Resim 7.24. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00-TiN b)Kİ24-TiN |
| Resim 7.25. | İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00-TiCN b)Kİ24-TiCN |

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler | Açıklama |
|----------|--------------------------------|
| | |
| a | Kesme derinliği, mm |
| f | İlerleme miktarı, mm/dev |
| Fc | Esas kesme kuvveti, N |
| Ff | İlerleme kuvveti, N |
| Fr | Radyal kuvvet, N |
| Ra | Ortalama yüzey pürüzlülüğü, µm |
| V | Kesme hızı, m/dak |
| VB | Yan yüzey aşınması, mm |
| VBN | Çentik aşınması, mm |

Kısaltmalar

Açıklama

| CNC | Computer Numerical Control (Bilgisayarlı sayısal denetim) |
|-----|---|
| CVD | Chemical Vapour Deposition (Kimyasal buhar biriktirme) |
| PVD | Physical Vapour Deposition (Fiziksel buhar çökeltme) |
| SEM | Scanning Electron Microscope (Tarama elektron mikroskobu) |
| YT | Yığıntı talaş |

1. GİRİŞ

Cağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasında yer alan paslanmaz çelikler, içerisinde en az %10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) ve en çok %1,2 oranında karbon (C) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Bu çelikler, korozyonlu ortamda çalışacak makine ve yapı elemanlarının en önemli malzemesi olmakla birlikte; mekanik özellikleri sayesinde, uçak, kimya, petro-kimya, gıda, ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde, takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler [1-4]. Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin payı % 70'tir [5]. Bu grup en yaygın kullanılan çelik grubudur. Korozyon direnci açısından östenitik paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklere göre çok büyük üstünlükleri vardır [6]. Östenitik paslanmaz çelikler, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar [5]. Ancak sahip oldukları yüksek mukavemet, yüksek deformasyon sertleşme hızı, düşük ısıl iletkenlik ve sünek yapıları, bu çeliklerin işlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır [3]. Kesici kenara yapışarak sıvanma eğilimi östenitik paslanmaz çelikler kesici takım kırılmasına gösteren neden olabilmektedirler. Bu sebeple, paslanmaz çelikler hala yapısal mühendislik problemlerinin pahalı bir çözümü olarak görülmekte ve bu durum daha fazla kullanımını engellemektedir [6,7].

Üretimde değişik malzemelerin kullanılması ve talaşlı üretim tezgâhlarının gelişimi, kesme ve ilerleme hızlarının gün geçtikçe artması, kesici takımların da gelişimini sağlamıştır. Modern kesici takımların gelişmesinde en önemli teknolojik avantajlardan biri, kesici takımlar üzerine sert kaplamaların uygulanmasıdır. Sert kaplamaların kullanımının, işleme performansı ve takım ömrü açısından faydalı olduğu ispatlanmıştır. Son yıllarda, kesme ve ilerleme hızının artmasıyla kaplama teknolojisine olan eğilim oldukça artmıştır [8,9]. Bugün tornalama işlemlerinin %75'i, frezeleme işlemlerinin ise %40'dan fazlası kaplamalı karbür takımlar ile yapılmaktadır [6]. Kaplama teknolojisindeki önemli gelişmeler ve ekonomik kriterler, çoğu araştırma çalışmasını kuru kesme operasyonlarına yöneltmiştir. Modern talaşlı imalat yöntemlerinin amacı; daha kısa sürede daha fazla talaşın kaldırılması, daha ekonomik işleme maliyeti, yüksek işleme hassasiyeti ve yüzey pürüzlülüğü elde etmektir. İşlenebilirliği zor olan malzemelerin işlenmesinde mevcut geleneksel imalat yöntemlerinin kullanılması, yüksek takım aşınması ve işleme zamanı gibi ekonomik olmayan işleme verileri ile sonuçlanır. Kesici takımlar için takım ömrünün artırılması, verimlilik üzerinde önemli bir ekonomik faktördür. Kesici takımların özelliklerinin iyileştirilmesi ve ömrünün arttırılması için ısıl işlem uygulanması uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [9-12].

Kriyojenik işlem son yıllarda metallerin özelliklerini iyileştirmek için kullanılan, konvensiyonel ısıl işlemi tamamlayıcı bir işlemdir. Kriyojenik kelimesi soğuk anlamında olan yunanca "kryos" 'dan gelmektedir. Soğuk işlemlerin, 1937'ler kadar öncesinde takım performansları üzerinde yararlı etkilere sahip olduğu rapor edilmiştir. Kriyojenik işlemde malzeme, belirlenen bir bekletme süresince belirlenen sıcaklıkta tutulur ve sonra da kademeli olarak oda sıcaklığına kadar ısıtılır [13-17]. Böylece mikro yapıdaki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve çekirdeklenme bölgelerinde çok ince taneli karbür çökeltilerinin oluşumu sağlanarak [18-20] malzemede yüksek aşınma direnci elde edilmektedir. Genellikle -50 °C ve -100 °C aralığında sığ kriyojenik işlem ve -125 °C ve -196 °C aralığında derin kriyojenik işlem olmak üzere iki türü uygulanmaktadır [16, 18, 21]. Literatürde, kriyojenik işlemin birçok kesici takım üzerinde önemli ömür artışları sağladığını bildiren birçok yayın bulunmaktadır [17]. Bu işlemin takım ömrünü %92-817'lere kadar artırdığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, kriyojenik işlem kaplamaların aksine parçanın tüm bölümünü etkileyen ve bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir [8, 22]. Kriyojenik işlemin takım ömrünü arttırması ve gerilim giderme gibi ilave özellikler sunmasından dolayı, son yıllarda farklı malzemelere ve takımlara kriyojenik işlem uygulaması giderek artmıştır [13, 23, 24].

Isil işlem bilimi endüstride iyi bilinmesine ve geniş çaplı uygulanıyor olmasına rağmen, kryojenik işlemin prensipleri henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Bu işlemle ilgili birçok çalışma yapılmasına rağmen, aşınma performansını iyileştirmesinin altında yatan nedenlerle ilgili çok az bilgi mevcuttur. Ayrıca kesici takım üzerine uygulanan kriyojenik işlemin, farklı bekletme sürelerinde uygulandığında, kesici takım üzerinde nasıl bir etki oluşturacağı bilinmemektedir. Bu kapsamda işleme maliyetlerinin azaltılması, kesici takım ömrünün artırılması ve optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili, kesici takım üzerine kriyojenik işlemin etkilerini araştıran işlenebilirlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelikler içerisinde yaygın kullanım alanına sahip olan AISI 316 çeliğinin tornalanmasında, kesici takım üzerine uygulanan kriyojenik işlemde, bekletme sürelerinin kesme kuvvetleri, takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kesici takım olarak, paslanmaz çelikler için önerilen kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlar kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri ile, kriyojenik işlem bekletme sürelerinin takım ömrü ve aşınması üzerine etkilerinin ve en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ve bu sayede endüstride AISI 316 çeliği üzerinde işlenebilirlik çalışmaları yapan kuruluşların kullanabileceği teknolojik verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması, östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ile ilgili yapılan çalışmalar, kesici takım üzerine uygulanan kriyojenik işlemle ilgili yapılan çalışmalar ve malzeme üzerine kriyojenik işlem uygulanarak yapılan çalışmalar olmak üzere üç farklı şekilde aşağıda özetlenmiştir.

2.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Östenitik paslanmaz çelikler krom, nikel ve demir alaşımı olarak bilinirler. 600°C' a kadar sıcaklıklara dayanıklı olan bu çelik yüksek mukavemet ve korozyon direnci sayesinde uçak, kimya, petro-kimya, gıda, ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde kullanılırlar [25]. Ancak işlenebilirliğinin zor olması bu çeliklerin kullanımını pahalı hale getirmektedir [7, 26]. Bu geniş kullanım alanı ve zor işlenebilirliği, östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik özelliklerinin araştırılmasını ve işleme maliyetinin azaltılması için optimum kesici takım malzemesi ve kesme parametrelerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır.

Çiftçi, iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kuru kesme şartları altında tornalama deneyleri yapmıştır. Deneylerde TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ katmanlarıyla cok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler, ilerleme hızı (0,16 mm/dev) ve talaş derinliği (1,6 mm) sabit tutularak dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dak) sonuçları, TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici yapılmıştır. Deney takımın TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sebep olduğunu ortaya koymuştur. Kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı ancak yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar azalmış ancak bu değerden sonra artan kesme hızı ile artış eğilimi göstermiştir [27].

Altınkaya ve Güllü, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin TiN/TiCN/TiN kaplı takma uçlu parmak freze ile işlenirken, kullanılan kesici uç üzerindeki talaş kırıcı formunun kesici kenar üzerindeki aşınmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Bunun için kesme derinliği sabit tutularak, üç değişik talaş kırıcı formlu takım ve üç farklı kesme hızı (180, 225, 270 m/dak) kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, kullanılan kesici takımlardan ERGC kodlu takımın diğer takımlardan daha iyi aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır [28].

Maranhao ve arkadaşları, kesme ve ilerleme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, plastik gerilme, plastik gerilme oranı, maksimum kayma gerilmesi ve kalıntı gerilmeler üzerine takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının etkisini araştırmak için AISI 316 paslanmaz çeliğin işlenmesi esnasında termo mekanik davranışını modellemişlerdir. Sayısal modelden elde edilen sonuçlar takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiş ve bu sonuçlar deneysel olarak doğrulanmıştır [4].

Gennari ve arkadaşları, AISI 316 paslanmaz çeliğin tornalanmasında klasik sıvı uygulaması (yaklaşık 150 lt/hr-saat) ile püskürterek sıvı uygulamasını (yaklaşık 60 ml/hr-saat) karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonuçları, klasik sıvı uygulamanın yalnızca birkaç ağır ısıl şartlarda biraz daha iyi takım ömrü sunduğunu, araştırılan şartların çoğu için ise püskürterek sıvı uygulanmasının takım-iş parçası ara yüzeyinde iyi yağlama ve yeterli soğutma gerçekleştirerek mükemmel bir takım ömrü ve kesici kenar bütünlüğü sağladığını göstermiştir [29].

Ranganathan ve arkadaşları, AISI 316 paslanmaz çeliğinin tungsten karbür uçlarla (WC) sert tornalanmasında kesme parametreleri için yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu amaçla, takım aşınması (VB) ve yüzey pürüzlülüğünü (Ra) tahmin emek için regresyon analizi ve ANOVA teorisi kullanılmıştır. Öncelikle AISI 316 paslanmaz çeliği tungsten karbür takımlarla işlenmiş ve kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) etkileşimleri belirlenmiştir. Ayrıca, korelâsyon katsayısı hesaplanarak geliştirilen modelin yetenekleri doğrulanmıştır. Bu modeller tungsten karbür uçlardaki aşınmayı ve iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için etkin olarak kullanılabilmektedir [30].

Gandaris ve arkadaşları, iki farklı soğutma tekniği (iş mili boyunca yüksek basınçlı ve mikro püskürtme ile yağlı hava uygulanmış ve minimum yağlama) kullanarak 303, 304 ve 316 östenitik paslanmaz çeliklerin delinmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, emulsiyon soğutma ve 60 bar basınç kullanıldığında 1600 delikten daha fazla delinmiştir. Ancak, minimum yağlama ile yapılan deneylerde sonuçlar zayıf görülmüştür [31].

Kılıçkap ve Hüseyinoğlu, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde minimum çapak yüksekliğini belirlemede optimum delme parametrelerini belirlemek için yanıt yüzey metodolojisi ve genetik algoritma kullanarak sistematik bir prosedür ortaya koymuşlardır. Delme işlemleri üç ilerleme hızı (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev), üç kesme hızı (4, 8 ve 12 m/dak) ve farklı uç açısına (90°, 118° ve 135°) sahip HSS matkap takımları kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde Box Behnken tasarımı dikkate alınmıştır. Yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak çapak yüksekliği için bir matematiksel tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu matematiksel tahmin modelinden faydalanılarak minimum çapak yüksekliği için optimum delme parametrelerini belirlemede genetik algoritma kullanılmıştır. Yapılan genetik algoritma optimizasyon sonuçlarında minimum çapak yüksekliğinin 4 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 135° uç açısında oluştuğu görülmüştür [32].

Akasawa ve arkadaşları, AISI 303, AISI 303Cu, AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerinin içerisinde bulunan S, Ca, Cu ve Bi gibi elementlerin katkı miktarlarının işlenebilirliğe etkilerini araştırmışlardır. Paslanmaz çelikler, K10 kalite sementit karbür takımlarla 0,05-0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 12,5-100 m/dak kesme hızlarında kuru ve ıslak şartlarda tornalanmışlardır. Çalışmada, özellikle kuru kesme şartlarında düşük kesme hızlarında, yeniden kükürtlenmenin yüzey dokusunu kötüleştirdiği görülmüştür. Yeniden kükürtlenme ve bakır eklenmesi kesme

kuvvetini azaltmıştır. Bizmut eklenmesi yüzey kalitesini iyileştirmiş ve talaş kalınlığını azaltmıştır. Fakat takım aşınması üzerine bu eklemenin etkisi kısa süreli deneylerde henüz değerlendirilememiştir. Bir anortit bileşenle kalsiyum eklenmiş çelikler daha iyi yüzey kalitesi ve daha düşük kesme kuvveti sergilemiştir [33].

Bonnet, ve arkadaşları, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kuru kesme şartlarında TİN kaplı karbür takımlarla işlenmesinde ara yüzdeki sürtünme katsayısını tanımlayabilmek için bir sürtünme modeli geliştirmişlerdir. Öncelikle, basınç, sıcaklık ve kayma hızlarının uygun değerlerine ulaşabilmek için yeni bir tribometre tasarlanmıştır. Bu deney seti modifiye edilmiş bir pin-on-disk üzerine kurulmuştur. Ek olarak, deneysel sistem tarafından sağlanan standart makroskopik veriden küresel pin çevresindeki yerel olayı tanımlamak için sürtünme deneyini simüle eden bir sayısal model yapılandırılmıştır. Yapılan çalışmada kesme hızları ve kuvvetler araştırılmıştır. Deney sonuçları, sürtünme katsayısının başlıca kayma hızına bağlı olduğunu ve kuvvetin ikincil bir öneminin olduğunu göstermiştir. Temas bölgesinde ortalama kayma hızı olarak adlandırılan yeni bir anahtar parametre açıklanmıştır. Sonra da, bu kayma hızını esas alan yeni bir sürtünme modeli tanımlanmıştır [34].

M'Saoubia ve arkadaşları, kesme hızı, ilerleme, takım geometrisi ve takım kaplaması gibi kesme parametrelerinin standart ve tekrar kükürtlenmiş AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerin ortogonal işlenmesinde oluşan kalıntı gerilmelere etkisini araştırmışlardır. Oluşan kalıntı gerilmelerin derinlik profilleri x-ışın kırınımı tekniği ile belirlenmiştir. Ayrıca kesme parametreleri ve takım geometrisinin kalıntı gerilme üzerindeki etkileri, kesme deneyleri sırasında kaydedilen termal ve mekanik durum ile ilişkilendirilerek analiz edilmiştir [35].

Abdullah ve arkadaşları, tıbbi uygulamada kullanılan paslanmaz çeliğin yüzey kalitesi üzerine takım uç radüsü, kesme hızı ve ilerleme hızlarının etkilerini araştırmışlardır. AISI 316L östenitik paslanmaz çeliği, kesme derinliği sabit tutularak (0,4 mm) üç farklı uç radüsü (0,4, 0,8 ve 1,2 mm), üç farklı kesme hızı (100, 130, 170 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,1, 0,125 ve 0,16 mm/dev) ile işlenmiştir.

Deney sonuçlarında takım uç radüsü, ilerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine farklı etkilere sahip olduğu görülmüştür. En düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (0,225 µm) en düşük ilerleme hızında (0,1 mm/dev) 1,2 mm uç radüslü takımla elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri (1,838 µm) ise en yüksek ilerleme hızında (0,16 mm/dev) 0,4 mm uç radüslü takımla elde edilmiştir. ANOVA analizi, kesme hızının uç radüsü ve ilerleme hızıyla kıyaslandığında, yüzey pürüzlülüğü üzerinde baskın bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. İlerleme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü de azalmıştır. Uç radüsünün artmasıyla maksimum kesilmemiş talaş kalınlığının azalması sayesinde büyük uç radüsü küçük uç radüsünden daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır [36].

Gaitonde ve arkadaşları, AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesi esnasında oluşan çapak boyu ve kalınlığını minimize etmek için optimum kesme parametreleri ve matkap geometrisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Taguchi metodu kullanılan bu çalışmada seçilen matkap çapı için çapak boyu ve kalınlığını minimuma indiren kesme hızı, uç açısı ve kenar boşluk açısı tespit edilmiştir. Buna göre; 4, 10, 28 mm matkap çapı için çapak boyu üzerine uç açısının büyük etkisinin olduğu, kenar boşluk açısının 20 mm matkap çapı için çapak miktarını azaltmada önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Daha büyük matkap çaplarında ise çapak miktarını minimize etmek için daha büyük uç açısının gerekli olduğu tespit edilmiştir [37].

Son yıllarda endüstrideki uygulamalardan dolayı paslanmaz çeliğin kullanımı artmıştır ancak bu malzemelerin özellikle de östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesi oldukça zordur. Talaşın zor oluşması, oluşan talaşın zor uzaklaştırılması, yığıntı talaş oluşumu ve soğuk kaynaklanma eğilimi nedeniyle östenitik paslanmaz çelikler gibi malzemelerde kör delik kılavuz çekme işlemi problemlidir. Bu sebeple, Reiter ve arkadaşları, çeşitli sert kaplamalarla kaplanmış (CrN, CrC, TiN, TiAlN, AlCrN), yağlayıcı kaplamalarla kaplanmış (WC/C and DLC) ve çift katmanlı kaplanmış (TiCN+WC/C) HSS takımlarla AISI 316Ti östenitik paslanmaz çelik üzerine açılan kör deliklere kılavuz çekmişlerdir. Çalışmada; sertlik, sürtünme katsayısı, yüzey pürüzlülüğü ve abrasiv aşınma direnci ölçülmüştür. En iyi performans TiCN ve

AlCrN (70/30) kaplı takımlardan, en kötü performans ise CrC, CrN ve AlCrN (20/80) kaplı takımlardan elde edilmiştir [3].

Özek ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında, kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, takım yan yüzey aşınması ve takım-talaş ara yüzey sıcaklığına olan etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde, üç farklı kesme hızı (100, 150, 200 m/dak), üç farklı ilerleme (0,1, 0,2, 0,4 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (0,5, 1, 2 mm) kullanılmıştır. Deneyler neticesinde, kesme hızının artmasıyla, takım-talaş ara yüzey sıcaklığının ve takım yan yüzey aşınmasının azaldığı; ilerleme hızı ve talaş derinliğinin azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği belirlenmiştir [38].

Selvaraj ve Chandramohan, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiC ve TiCN kaplamalı tungsten karbür takımlar kullanılarak kuru tornalanmasında kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmak için ortogonal bir dizi, gürültü oranı (S/N) ve Varyans analizi kullanmışlardır. Taguchi tekniği kullanılarak deney planı yapılmıştır. Analiz sonuçları, yüzey pürüzlülüğü üzerine ilerleme hızının %51,84, kesme hızının %41,99 ve kesme derinliğinin %1,66 etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü analizindeki deneysel değerlerle tahmini değerleri karşılaştırmak için doğrulama deneyleri yapılmıştır [39].

Tekiner ve Yeşilyurt AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında ortamda oluşan sesi dikkate alarak optimum kesme şartları ve kesme parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Deneyler üç farklı ilerleme hızı (0,2, 0,25, 0,3 mm/dev) ve beş farklı kesme hızında (120, 135, 150, 165, 180 m/dak) yapılmıştır. Deneyler esnasında ortamda oluşan ses, bilgisayara bağlanmış bir mikrofon aracılığıyla kaydedilmiştir. En iyi kesme hızı ve ilerleme değerleri, yan yüzey aşınması, BUE, talaş biçimi, yüzey pürüzlülüğü ve takım tezgâhı güç tüketimine göre belirlenmiştir. İdeal kesme parametreleri ve kesme esnasında oluşan ses karşılaştırılmış, böylece sese bağlı olarak optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Sonuç olarak 165 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme en iyi kesme parametreleri olarak belirlenmiş ve ortam sesinin analizleri bu değerleri doğrulamıştır [40].

Xavior ve Adithan, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin karbür takımlarla tornalanması esnasında kullanılan kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla çözülebilir yağ, saf kesme yağı ve hindistan cevizi yağı olmak üzere üç tip kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneyler, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada ısıl ve oksidatif kararlılığı olan hindistan cevizi yağının diğer kesme sıvılarından daha etkili olduğunu göstermiştir [41].

Fredj ve arkadaşları, kriyojenik soğutma uygulaması ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzey kalitesini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Değerlendirme kriterleri olarak taşlanabilirlik, yüzey tamlığı ve korozyon direnci karakterizasyonu ele alınmıştır. Sabit talaş miktarındaki taşlama deneyleri kuru, çözülebilir yağ ve kriyojenik soğutma olmak üzere üç farklı ortamda yapılmıştır. Deney sonuçlarında, kriyojenik soğutma en düşük taşlama sıcaklığını üretirken, taşlama kuvveti üzerinde önemli farklar gözlenmemiştir. Bununla birlikte, yüzey tamlığı olarak azımsanmayacak iyileşmeler gerçekleşmiştir. Kriyojenik soğutma kullanarak yüzey pürüzlülüğünde %40'tan daha fazla bir iyileşme gerçekleşmiştir [42].

Kıvak ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin TiAlN ve nano TiAlN kaplı HSS matkaplarla delinmesinde, nano kaplamanın kesme kuvveti, delik çapı ve takım ömrü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kuru kesme şartlarında yapılan delme deneylerinde dört farklı kesme hızı (10, 12, 14 ve 16 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar nano TİAlN kaplı takımın TiAlN kaplı takıma göre daha düşük kesme kuvveti ve nominal çapa daha yakın çap değerleri sağladığını göstermiştir. Bununla birlikte, nano TiAlN kaplama TiAlN kaplamaya göre kesme parametrelerine bağlı olarak %20-40 daha uzun ömür sergilemiştir [43].
Hossein ve Yahya, TiN/TiCN/TiN kaplı karbür takımın AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesindeki davranışlarını incelemişlerdir. Östenitik paslanmaz çeliklerde sık görülen yığıntı talaş bu çalışmada çoğunlukla 190 m/dak kesme hızı ve 0,075 mm/dev ilerleme hızı değerlerinde oluşmuştur. Çalışma sonucunda maksimum takım ömrü için optimum kesme şartları Vc = 150 m/dak ve f = 0,075 mm/dev olarak belirlenmiştir [44].

Korkut ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sementit karbür takımlarla tornalamasında optimum kesme parametrelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Deneylerde 120 m/dak, 150 m/dak ve 180 m/dak olmak üzere üç farklı kesme hızı kullanılarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kesme hızının 180 m/dak'ya kadar artmasıyla takım aşınmasının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmıştır [45].

Balcı, AISI 304 paslanmaz çeliğinin sementit karbür takımlar kullanılarak tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir. Deneyler dört farklı kesici takım uç yarıçapı (0,4N (Nötr), 0,4W(Wiper), 0,8N, 1,2N mm), iki farklı kesme hızı (150, 180 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev) ve üç farklı talaş derinliği (0,5, 1, 1,5 mm) kullanılarak kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Deneysel sonuçlardan kesici takım uç yarıçapının ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir. 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla genellikle en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken 0,4N mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla da en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında kesici takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir [46].

Tekaslan ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin farklı kesme parametrelerinde tornalandıktan sonra, işlemeye bağlı olarak bünyesinde nasıl bir kalıcı gerilme oluştuğunu belirlemeyi hedeflemişlerdir. Deney numuneleri, 61 mm çapında, 250 mm boyunda hazırlanmış ve beş farklı kesme hızı (50, 75, 100, 125, 150 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,15, 0,2, 0,25 mm/dev) ve iki farklı talaş derinliği (1,5 ve 2 mm) kullanılarak CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Numuneler üzerinde oluşan kalıcı gerilmeler, katman kaldırma yöntemi kullanılarak tespit edilmiş ve en uygun işleme parametrelerinin 75 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 1,5 mm talaş derinliği olduğu belirlenmiştir. Tornalama işlemi sonunda deney numunelerinin yüzeylerinde maksimum – 876,69 MPa ile -136,71 MPa'lık basma kalıcı gerilmelerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Yüzeydeki basma kalıcı gerilmelerin, katman kaldırılması ile 0,0465 mm derinlikten sonra çekme kalıcı gerilmelerine yöneldiği tespit edilmiştir [47].

Turgut ve arkadaşları, AISI 304 paslanmaz çeliğinin delinmesinde tek katlı ve çok katlı kaplamaların kesme kuvvetleri ve delik çapları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çok katlı olarak TiAlN/TiN ve tek katlı olarak TiN ve TiAlN kaplı M35 HSS matkaplar kullanılmıştır. Delme deneyleri dört farklı kesme hızı (10, 12, 14 ve 16 mdak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, kesme kuvvetleri ve delik çapları açısından en iyi sonuçlar çok katlı TiAlN/TiN kaplı takımlardan elde edilmiştir. Nominal çapa en yakın çap değerleri, sırasıyla çok katlı TiAlN/TiN, tek katlı TiAlN ve TiN kaplı takımlarla sağlanmıştır. TiAlN/TiN kaplı takımlarda, TiN kaplı takıma göre %17-29 arasında değişen değerlerde daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir [48].

Yeyen ve arkadaşları, AISI 303 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler dört farklı kesme hızı (120, 150, 180 ve 210 m/min) ve üç farklı ilerleme hızında (0,20, 0,24 ve 0,30 mm/dev) yapılmış, kesme derinliği ise 2,5 mm seçilmiştir. Araştırma kapsamında AISI 303 östenitik paslanmaz çelikler ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre AISI 303'ün işlenmesi sırasında AISI 304'e göre %19 daha fazla kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğündeki artış ise %51 olarak ölçülmüştür. Deney sonuçlarının literatür ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir [49].

Paro ve arkadaşları, X5 CrMnN 18 18 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde TiN kaplı sementit karbür takımlarda oluşan aşınma ve bozulma mekanizmalarını araştırmışlardır. Tornalama deneyleri, bir torna tezgâhı ve bir dinamometre kullanılarak, 40-200 m/dak kesme hızları, 0,15-0,25 mm ilerleme hızı ve 1,6 mm kesme derinliğinde yapılmıştır. Takım aşınması VB=0,3 mm'ye, 60, 65 ve 70 m/dak kesme hızları ve 0,24 mm ilerleme hızında 10 dakika tornalandıktan sonra ulaşmıştır [50].

Kumar ve Choudhury, AISI 202 paslanmaz çeliğinin yüksek hızlarda işlenmesi esnasında ortaya çıkan yüksek frekanslı dinamik kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerine kriyojenik soğutmanın etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kriyojenik soğutmanın yan yüzey aşınmasının azaltılmasında ve kesme sıcaklıklarının düşürülmesinde etkin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kriyojenik soğutmanın yüksek hızda muhtemel bir çevre dostu işleme seçeneği olduğu belirtilmiştir [51].

Chandrasekaran ve Johansson, sementit karbür takımlarla dört farklı östenitik paslanmaz çeliğin tornalanması esnasında kesici takımda meydana gelen çentik aşınma mekanizmasını araştırmışlardır. Çalışmada, talaş akış bölgesinde iş parçasının mikrosertlik ölçümü ve SEM analizi yapılmış ve böylece iş parçası sertliği ve talaş akışının aşınma üzerindeki rolü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda talaş akışı ve talaşın çentik bölgesindeki takım malzemesiyle güçlü yapışma etkileşimi açık bir şekilde görülmüştür. Görünen çentiğin başlangıcı, çapraz gerilme, sıcaklık dağılımı ve kimyasal etkileşim gibi faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Çentiğin ilerlemesi ise, talaşın kayma bölgesiyle etkileşimi ve takımın bağlayıcı faza maruz kalmasına bağlanmıştır [52].

Lin, paslanmaz çeliklerin TiN kaplı karbür takımlarla delinmesinde takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çapak oluşumunu araştırmıştır. Çalışma sonucunda minimum yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği için optimum kesme hızı 75 m/dak olarak belirlenmiştir [53].

Janoss, takım ömrü ve performansını artırmak için PVD ve CVD kaplamaların çok sık uygulandığını vurgulayarak paslanmaz çelikler üzerinde kaplama yöntemi ve kaplama malzemesinin, yüzeyin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda en yüksek sertlik değeri ve düşük sürtünme katsayısına sahip kaplama malzemesinin PVD yöntemiyle kaplanmış TiAlN olduğu tespit edilmiştir [54].

2.2. Kesici Takıma Uygulanan Kriyojenik İşlem İle İlgili Yapılan Çalışmalar

İşleme maliyetlerinin azaltılmasında takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri gibi kesme parametrelerinin büyük önemi vardır. Artan takım ömrü ile takım optimum kesme şartlarında daha fazla kullanılacak ve maliyetlerin düşürülmesi sağlanacaktır. Sıfır altı işlem olarak tanımlanabilen kriyojenik işlem ile kesme parametrelerinde önemli derecede iyileşmeler sağlanabilmekte ve kesme şartları daha optimum düzeye getirilebilmektedir. Bu amaçla kesici takıma kriyojenik işlem işlem uygulanması üzerine yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Firouzdor ve arkadaşları, karbonlu çeliklerin yüksek hızlarda ve kuru kesme şartlarında M2 HSS matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlemin aşınma direnci ve takım ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, kriyojenik işlem uygulanmış matkap ömründe % 77 ve kriyojenik işlem ardına temperleme uygulanmış matkap ömründe %126 iyileşme olduğunu göstermiştir. Talaşların kimyasal analizi ve SEM analiz gözlemleri sonucunda, baskın aşınma mekanizması olarak difüzyon aşınması saptanmıştır. Kriyojenik işlem ile aşınma direncinin iyileşmesinde, homojen karbür dağılımının etkili olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak kalıntı östenitin martenzite dönüşmesinin de etkin rol oynadığı belirtilmiştir [19].

Gill ve arkadaşları, kriyojenik işlemin tungsten karbür uçların takım ömrünü uzattığını belirterek, literatürde tornalamada kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür uçların performansı üzerine soğutma sıvısının etkisini içeren bir çalışma olmadığına dikkat çekmişlerdir. Bu amaçla, soğutma sıvısının etkisinin anlaşılabilmesi için kuru ve ıslak ortogonal tornalamada kriyojenik işlem uygulanmış

tungsten karbür uçların aşınma davranışı karşılaştırılmıştır. Talaş kırıcılı kare biçimli tungsten karbür uçlar temin edilmiş ve -196 C°'de soğutulmuştur. Kesme deneyleri sürekli ve kesikli işleme şartlarında yapılmıştır. Takım ömrünü belirlemek için seçilen kriter maksimum yan yüzey aşınması VB = 0,6 mm olarak alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, hem sürekli hem de kesikli işleme şartları altında özellikle yüksek kesme hızlarında kriyojenik işlem uygulanan tungsten karbür uçların ıslak tornalama şartlarında daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. Aynı zamanda, sürekli işleme ile karşılaştırıldığında kesikli işleme şartlarında takım ömründe fark edilir bir artış kaydedilmiştir [12].

Sreerama Reddy ve arkadaşları, C45 çeliğinin TiN/TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı tungsten karbür uçlarla tornalanmasında derin kriyojenik işlemin (-176 °C), kesici takım ucunun yan yüzey aşınması, asıl kesme kuvveti ve işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. C45 çeliğin işlenmesinde derin kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımların yan yüzey aşınması, kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarınkinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. C45 çeliğinin işlenmesi sırasındaki kesme kuvveti değerleri de, derin kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarda kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlara nazaran daha düşük çıkmıştır. Ayrıca, iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri de derin kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımlarda daha iyi olduğu belirlenmiştir [10].

Yong ve arkadaşları, orta karbonlu çeliğin (ASSAB 760) kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür uçlarla ortogonal tornalanmasında kriyojenik işlemin tungsten karbür uçlar üzerine etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonuçları, kesikli kesme operasyonları gerçekleştirilirken kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha iyi performans sergilediğini göstermiştir. Ancak, bazı şartlar altında kriyojenik işlemin takım ömrü ve performansı için olumsuz olabildiği saptanmıştır [23].

Seah ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çeşitli sıfıraltı işlemlerin, kobalt bağlayıcılı tungsten karbür kesici takım uçlarının takım ömürleri ve aşınma davranışları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesici takım uçları altı farklı ısıl işlem şartlarına maruz

bırakılmışlardır; (a) işlemsiz, (b) su verme işlemi, (c) -196 °C'de kriyojenik işlem, (d) kriyojenik işlemden sonra temperleme, (e) –80 °C'de soğuk işlem ve (f) soğuk işlemden sonra temperleme. Elde edilen veriler, son dört ısıl işlem uygulanan uçların çıtlamaya karşı direncinin arttığını, yüksek kesme hızlarında takım ömrü ve aşınma direncinde önemli derecede artış olduğunu göstermiştir [55].

Çiçek ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde, kesme parametreleri ve kesici takıma uygulanan farklı ısıl işlemlerin kesme kuvvetleri ve delik çapları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde, kesici takım olarak kriyojenik işlem uygulanmış (Kİ), kriyojenik işlem ardına temperleme uygulanmış (KİT) ve işlemsiz (KİU) M35 HSS matkaplar kullanılmıştır. Delikler, dört farklı kesme hızı (10, 12, 14 ve 16 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,06 ve 0,08 mm/dev) kullanılarak delinmiştir. Kİ ve KİT matkaplar, KİU matkaplara kıyasla kesme kuvvetlerinde sırasıyla %10-16 ve %13-25 düşüş sağlamıştır. Nominal çapa en yakın çap değerleri de, sırasıyla KİT, Kİ ve KİU matkaplardan elde edilmiştir. Ek olarak, KİT ve KİU matkaplar takım ömrü açısından kıyaslandığında KİT matkaplar KİU matkaplara göre iki farklı kesme hızında %95 ve %48 ömür artışı sağlamıştır [56].

Kriyojenik işlem uygulanmış yüksek hız çeliği üzerinde yapılan çalışmalar, kriyojenik işlemin kesici takım ömrü ve verimliliğini önemli derecede etkileyen mikro yapı değişikliklerini meydana getirdiğini göstermiştir. Literatürdeki sonuçlar, endüstride kriyojenik işlem uygulanmış HSS takımlar kullanıldığında, takım ömründe %91' den %817' ye kadar iyilesme sağlandığını göstermektedir. Da silva ve arkadaşları, otomotiv endüstrisindeki laboratuarlar ya da çalışanların testlerinden geçtikten sonra M2 yüksek hız çeliği takımlar üzerine kriyojenik işlem uygulamasının etkisini doğrulamayı amaçlamışlar kriyojenik ve işlem uygulamışlardır. Bu amaçla, aşınma ve sertlik testleri ile mikro yapı analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kriyojenik işlemin M2 HSS takımların sertliği ve mikrosertliğini önemli derecede etkilemediği gözlenmiştir ancak bu deneylerin bazılarında kriyojenik işlem avantajlı bulunmuştur. Kriyojenik işlem uygulanmamış numunede gözlemlenen kalıntı östenitin %25'i kriyojenik işlem ile martenzite

dönüşmüştür. Kesme şartlarına bağlı olarak takım ömründe %65' den %343' e ulaşan bir performans artışı gözlenmiştir. Bununla birlikte, kriyojenik işlem uygulanmamış takımın 14 delikten sonraki yan yüzey aşınması, kriyojenik işlem uygulanmış takımın 62 delikten sonraki yan yüzey aşınmasından daha büyük olduğu görülmüştür [8].

Wang ve diğerleri, Inconel 718'in işlenmesi için, kriyojenik esaslı ve plazma esaslı işleme ile geleneksel tornalamayı bir araya getiren yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Kriyojenik esaslı işleme, işleme esnasında kesici takımda oluşan sıcaklıkları azaltmak için kullanılmaktadır. Böylece, sıcaklığa bağlı takım aşınması azalarak takım ömrünün artması sağlanacaktır. Oysa plazma esaslı işleme, iş parçasındaki sıcaklıkları artırarak yumuşatmak için kullanılmaktadır. Kesici takım ve iş parçası üzerine zıt etkili olan bu iki teknik birlikte kullanıldığında, klasik işlemeye göre yüzey pürüzlülüğünün %250'ye yakın azaldığı, kesme kuvvetlerinin yaklaşık olarak %30-50 azaldığı ve takım ömrünün ise %170'e kadar arttığı tespit edilmiştir [57].

Çeliklerde klasik ısıl işlemi tamamlayıcı bir işlem olan kriyojenik işlem, kaplamaların aksine parçanın tüm bölümünü etkileyen bir defaya mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Bu sebeple, Mohan Lal ve arkadaşları farklı malzemelerde kriyojenik işlem parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, kriyojenik işlemin takım ömründe yaklaşık %110'luk bir iyileşme sağladığı gözlenmiştir [22].

Kuru ağaç veya ağaç bileşenlerinin işlenmesinde, kesici takımların soğutma sıvıları ve yağlarla soğutulması elverişli değildir. Bu sebeple, Gisip ve arkadaşları takım aşınmasını azaltmak için, kriyojenik işlemin ve takımların soğutulması için soğutulmuş hava kullanılmasının etkilerini karşılaştırmışlardır. Bunun için, MDF (Medium Density Fiberboard) malzemesi çift kanallı, katı, tungsten karbür freze uçları olmak üzere dört farklı uç kullanılarak CNC freze tezgahında işlenmiştir. Dört takımın üçü -149 °C'de kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Kesme esnasında, iki takıma (işlemsiz takım ve kriyojenik işlem uygulanmış bir takım) soğutulmuş hava uygulanırken (4,4 °C ve -6,7 °C) diğer iki takım (kriyojenik işlem uygulanmış) da

ortam sıcaklığında (21 °C) kullanılmıştır. Takım aşınmasını ölçmek için stereo ışık mikroskobunda bütün takımların fotoğrafi çekilmiştir. Kesme işlemi tamamlandıktan sonra takımların serbest yüzeylerinde belirli elementlerin yüzdesinin belirlenmesi için elektron mikroskobu ile taranarak element analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, soğutulmuş hava ve kriyojenik işlem uygulandığında daha az aşınma meydana geldiği görülmüştür. Böylece MDF' nin işlenmesinde takım ömrü artmıştır [58].

Thakur ve arkadaşları, tungsten karbür (WC) kesici takımların bazı mekanik özelliklerini artırmayı amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. WC uçlar için, a) kriyojenik işlem, b) ısıtma ve basınçlı hava ile soğutma ve c) ısıtma ve yağ banyosunda su verme olmak üzere farklı işlemler denenmiştir. Bu işlemlerden sonra WC uçları, mikrosertlikleri, mikro yapı değişiklikleri, SEM analizleri ve Co metal fazı değişimleri açısından değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar bu üç farklı son işlemin tungsten karbür uçların mikrosertliğinde önemli iyileşme sağladığını göstermiştir. En yüksek sertlik ısıtma ve yağ banyosunda su verme işlemiyle elde edilmiştir. Kriyojenik işlem uçların aşınma direncini artırmıştır. Mikro yapı analizlerinde ise, kriyojenik işlem klasik ısıl işlemlere (basınçlı hava ve yağ banyosnda su verme) kıyasla daha az etki göstermiştir [59].

Yong ve arkadaşları, tungsten karbür takımlar üzerine kriyojenik işlemin etkilerini araştırmak için, orta karbonlu çeliği yüksek hızlarda kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış tungsten karbür takımlarla ferezelemişlerdir. Deneyler ıslak ve kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Sonuçlar, kriyojenik işlem uygulanmış takımların kriyojenik işlem uygulanmamış takımlardan daha iyi aşınma direnci sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, işleme esnasında soğutma sıvısının uygulanması da takım aşınmasını azaltmaya yardımcı olmuştur. Bununla birlikte kriyojenik işlem uygulanmış takımlar olmuştur. Bununla birlikte kriyojenik işlem [60].

Sertleştirilmiş toz metalurjusi çeliklerinden yapılan otomotiv parçalarının büyük bir bölümü son montajdan önce ince tornalamaya tabi tutulurlar. Karakteristik olarak düşük işlenebilirlik ve yüksek yüzey pürüzlülüğü gereksinimlerinden dolayı klasik P/M tornalama operasyonları, genellikle sıvı soğutmalı polikristalin CBN kesici takımların kullanımını gerektirmektedir. Bu kesici takımlar yüksek işleme maliyetlerine, çalışma ortamı ve güvenliğine olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bu sebeple, Zurecki ve arkadaşları, kriyojenik soğutmalı seramik takımlar kullanılan ve çevre güvenliğini ortadan kaldıran P/M ince talaş tornalama için maliyet açısından avantajlı yeni bir alternatif sunmuşlardır. Çalışmada, 6,7 ve 7,2 mg/m³ yoğunluğa kadar sinterlenmiş ve tavlanmış yapı çelikleri için; takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey tamlığı açısından karşılaştırma yapılmıştır. Deney sonuçları, kriyojenik soğutulmuş seramik kesici takımların, CBN takımlardan daha uzun ömürlü olduğunu ve daha iyi iş parçası yüzeyi sunduğunu göstermiştir [61].

Dhar ve Kamruzzaman, çeliklerin işlenmesi esnasında takım ömrünün azalmasına, aynı zamanda ürün kalitesinin bozulmasına neden olan yüksek kesme sıcaklıklarının ortaya çıktığını vurgulayarak, TiCN/Al₂O₃ kaplı karbür uçlarla farklı kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında, AISI 4037 çeliğinin tornalanmasında sıvı nitrojen püskürtülerek yapılan kriyojenik soğutmanın kesme sıcaklığı, takım aşınması, bitirme yüzeyi ve çapsal sapma üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonuçları, kriyojenik soğutmanın takım ömrü, bitirme yüzeyi ve çapsal sapma üzerine önemli derecede faydalı olduğunu göstermiştir [62].

2.3. Malzemeye Uygulanan Kriyojenik İşlem İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Akhbarizadeh ve arkadaşları, kriyojenik işlemin D6 takım çeliğinin aşınma davranışı üzerine etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, kriyojenik işlem sıcaklığının (sığ ve derin), kriyojenik işlem zamanının (20 ve 40 saat kriyojenik sıcaklıkta bekletme) ve stabilizasyonun (1 hafta oda sıcaklığında bekletme) etkileri araştırılmıştır. Aşınma deneyleri, iki farklı yük (120 ve 180N) ve üç farklı hız (0,05, 0,1 ve 0,2 m/s) ile pin-on-disk aşınma deney cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, kriyojenik işlemin kalıntı östeniti azalttığını ve böylece aşınma direncini ve sertliği artırdığını göstermiştir. Hem kalıntı östenitin eliminasyonu hem de homojen karbür dağılımından dolayı, derin kriyojenik işlem, sığ kriyojenik işlem

ile karşılaştırıldığında aşınma direnci ve sertlikte daha fazla iyileşme göstermiştir. Kriyojenik sıcaklıklarda bekletme süresi artırıldıkça, daha fazla kalıntı östenitin martenzite dönüştüğü, böylece aşınma direnci ve sertliğin daha fazla arttığı gözlenmiştir. Numuneler, stabilizasyondan sonra oda sıcaklığında 1 haftalık periyot için bekletildiğinde, daha fazla kalıntı östenitin martenzite dönüştüğü, böylece daha yüksek aşınma direnci ve daha yüksek sertlik elde edildiği tespit edilmiştir [18].

Harish ve arkadaşları, sığ ve derin kriyojenik işlemin, En 31 rulman çeliğinin mikro yapısı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, kriyojenik işleme tabi tutulan En 31 rulman çeliği, klasik ısıl işlem uygulanmış çeliklerden daha fazla sertlik göstermiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış çeliğin tarayıcı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilen fraktografi analizi, sığ kriyojenik işlem uygulanmış numunede eş eksenli çukurlar ve düz yüzeyler olduğunu, derin kriyojenik işlem uygulanmış numunede ise geniş alana yayılmış çukur ve mikro çatlaklar olduğunu göstermiştir. Bu etkilere neden olan muhtemel mekanizmaları öğrenmek ve En 31 çeliğine kriyojenik işlem üzerine temperleme uygulanmasının etkilerini araştırmak için optik mikroskop kullanılarak mikro yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, temperlemenin bir sonucu olarak martenzit matrisinde ikincil karbür parçacıklarının oluştuğunu göstermiştir. Bu yüzden, aşınma direnci ve sertliği önemli derecede yükselten ikincil karbür çökelmesini artırmak için kriyojenik işlemden sonra temperleme işlemi uygulanmalıdır [63].

Wang ve arkadaşları, derin kriyojenik işlemin, destabilizasyon işlemine maruz kalan 16Cr1Mo1Cu dökme demirinin mikro yapısı, sertliği ve aşınma direnci üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçları, kriyojenik işlemin, destabilizasyon ısıl işlemden sonraki kalıntı östeniti tamamen olmasa da etkin olarak azaltabileceğini göstermiştir. Ayrıca, kriyojenik işlem, yüksek kromlu dökme demirin sertliğini ve aşınma direncini önemli derecede artırmıştır. Destabilizasyon işlemi ve ardından kriyojenik işlem esnasında çökelen ikincil karbür miktarının ($M_{23}C_6$) hava ile soğutmadakinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sertliğin ve aşınma direncinin artmasının asıl nedeninin destabilizasyon ısıl işleminden sonra kriyojenik işlem uygulanması esnasında oluşan ikincil karbür çökelmesi olduğu belirlenmiştir [64].

Zhirafar ve arkadaşları, AISI 4340 çeliğinin mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerine kriyojenik işlemin etkilerini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çeşitli ısıl işlem şartlarında yorulma, darbe ve sertlik testleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca numunelerin kırılma özellikleri de kıyaslanmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış numuneler geleneksel ısıl işlem uygulanmış numunelerle karşılaştırıldığında, daha düşük tokluğa sahip iken sertlik ve yorulma mukavemetinin biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Nötron kırınımı tekniği, kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin yorulma dayanımı ve sertliğinin artmasında anahtar faktörün kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi olduğunu göstermiştir, bu da temperleme esnasında karbür oluşumuyla mümkündür [13].

Darwin ve arkadaşları, %18 Cr içeren martenzitik paslanmaz çelikten (SR34) yapılmış ticari bir piston segmanının aşınma direncini maksimuma çıkarmak için derin kriyojenik işlemin (DCT-Deep Cryogenic Treatment) uygulama parametrelerini optimize etmek için Taguchi Metodunu kullanmışlardır. Optimizasyon için; soğutma hızı, bekletme sıcaklığı, bekletme zamanı, temperleme sıcaklığı ve temperleme zamanı parametreleri dikkate alınmıştır. Optimum DCT parametrelerini elde etmek için iki iterasyonlu Taguchi tasarımı kullanılmıştır. Aşınma deneyi, G-181 ve G-133 ASTM standartları doğrultusunda ağırlık kaybı metoduyla sürtünme ve aşınma monitörü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma direncini artırmak için, DCT parametreleri ve onların etkileşimleri kontrol edilerek varyans analiziyle (ANOVA) yüzde katkıları açısından değerlendirilmiştir. SR34 celik segmanı için maksimum S/N oranı esas alınarak önemli DCT parametrelerinin optimum düzeyine ulaşılmıştır. Sonradan doğrulama deneyi yapılmış ve sonuçların güvenilir olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın DCT aralıkta sonucunda, parametrelerinin en önemlisinin %72'lik oranla bekletme sıcaklığı olduğu görülmüştür. Muhtemel aralıkta en iyi bekletme sıcaklığı -184 C'dir. İkinci en önemli faktör ise bekletme süresidir ve aşınma direncinin iyileşmesine katkısı % 24'tür. Bu faktör için en iyi seviye 36 saattir. Üçüncü önemli faktör ise soğutma hızıdır. Aşınma direncine katkısı % 10'dur ve en iyi seviye 1 °C/dak olarak belirlenmiştir. Temperleme sıcaklığının küçük bir önemi vardır ve aşınma direnci

üzerine katkısı sadece %2'dir. Temperleme sıcaklığının optimum seviyesi 250 °C olarak bulunmuştur. Temperleme süresi olarak bilinen faktör önemsizdir. Bununla birlikte derin kriyojenik işlemi tamamlamak için temperleme süresi 1 saat olarak alınmıştır [24].

Baron, kriyojenik işlemin, malzemelerin abrasiv aşınma direncini artırmadaki etkisini belirlemek için 12 takım çeliği, 3 paslanmaz çelik ve 4 diğer çelik olmak üzere toplam 19 farklı malzemeyi 189 K ve 77 K olmak üzere iki farklı sıcaklıkta kriyojenik işleme tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda, takım çelikleri, 77 K sıcaklıkta bekletildikten sonra aşınma direncinde önemli bir artış sergilemiştir, 189 K sıcaklığında bekletildikten sonraki artış ise bir önceki sıcaklığa nazaran daha azdır. Paslanmaz çeliklerde, kriyojenik işlemden sonra aşınma direncinde bir miktar artış saptanmış fakat iki işlem arasındaki farklılığın %10'dan daha az olduğu görülmüştür. Sade karbonlu çelik ve dökme demirin ise, kriyojenik işlemden sonra herhangi bir aşınma direnci artışı göstermediği tespit edilmiştir [65].

Huang ve arkadaşları, kriyojenik işlemden sonra M2 takım çeliğinin mikro yapısındaki değişiklikleri araştırmışlardır. Çalışmada, kriyojenik işlemin karbon kümeleşmesini kolaylaştırdığından ve sonraki ısıl işlemde karbür yoğunluğunu artırdığından çeliğin aşınma direncinin iyileştiği gözlenmiştir [66].

Dhokey ve Nirbhavne, D-3 takım çeliği üzerine kriyojenik işlemden sonra çoklu temperleme uygulanmasının aşınma direnci üzerine etkisini araştırmışlardır. Numuneler, çeşitli ısıl işlemler uygulandıktan sonra (Çizelge 2.1) pin-on disk aşınma cihazı kullanılarak aşınma deneyine tabi tutulmuşlardır. Çalışmada, D-3 takım çeliğinin aşınma direnci özelliğini artırmada etken olan metalurjik mekanizmayı anlayabilmek için aşınmış yüzeyin sertliği, mikro yapısı, aşınma kaybı ve SEM analizleri incelenmiştir. Sonuçlar, HT ve HCT uygulanmış malzemenin sertliğinin aynı iken HCTTT uygulanmış malzemenin sertliğinin 4 HRC daha düşük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, HT uygulanmış malzeme en yüksek aşınma sergilerken, en düşük aşınma HCT uygulanmış malzemede gözlenmiştir [67].

| Uygulanan işlem | Gösterilişi |
|---|-------------|
| Su verme (950 °C) ve temperleme (275 °C'de 2 saat) | HT |
| Su verme (950 °C) ve kriyojenik işlem (-185 °C'de 8 saat) | НС |
| Su verme (950 °C) ve kriyojenik işlem (-185 °C'de 8 saat) ve tek temperleme (150 °C'de 2 saat) | НСТ |
| Su verme (950 °C) ve kriyojenik işlem (-185 °C'de 8 saat) ve çift temperleme (150 °C'de 2 saat) | HCTT |
| Su verme (950 °C) ve kriyojenik işlem (-185 °C'de 8 saat) ve üçlü temperleme (150 °C'de 2 saat) | HCTTT |

Çizelge 2.1. D-3 takım çeliği üzerine uygulanan ısıl işlemler [67]

Leskovšek ve arkadaşları, vakum ısıl işlem ile derin kriyojenik işlem (-196 °C) uygulanmış ESR AISI M2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarını karşılaştırmışlardır. Aynı östenitleme sıcaklığında östenitlenmiş numunelerin Rockwell-C sertliği ve kırılma tokluğunun önceden belirlenmiş kombinasyonlarını elde etmek için dört farklı (500, 540, 550, 600) temperleme sıcaklığı seçilmiştir (Çizelge 2.2). Sekiz numunenin her biri bu iki malzeme özelliği kullanılarak tanımlanmıştır. Aşınma davranışları karşılaştırılmış ve bu iki özellik ve mikro yapıları açısından tartışılmıştır [68].

Çizelge 2.2. Vakumlama ocağında kullanılan ısıl işlem ve sıcaklıkları [68]

| | Gaz | Gaz ortamında soğutmadan sonra | Birinci | İkinci |
|--------|-------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|
| Numune | ortamındasoğutmanın | derin kriyojenik işlem sıcaklığı | temperleme | temperleme |
| | sonundaki sıcaklık (°C) | (°C) | sıcaklığı (°C) | sıcaklığı (°C) |
| А | 80 | - | 500 | 500 |
| В | 80 | - | 540 | 540 |
| С | 80 | - | 550 | 550 |
| D | 80 | - | 600 | 600 |
| Е | 25 | - 196 | 500 | - |
| F | 25 | - 196 | 540 | - |
| G | 25 | - 196 | 550 | - |
| Н | 25 | - 196 | 600 | - |

Çalışma sonucunda belirlenen aşınma dirençlerindeki farklılıklar dikkate değer bir yükselişe sahiptir. Ancak bu aşınma direnci artışı işlem tipinin direk bir sonucu değildir, kırılma tokluğu ve sertliklerin doğru kombinasyonuyla ilgilidir. Sertlik ve kırılma tokluğunun herhangi birinin yüksek olması yerine bu iki değerin ortalama değerler olması aşınma davranışı açısından daha iyi sonuç vermiştir. Bununla birlikte derin kriyojenik işlem, seçilen yüksek hız çeliğinin aşınma direncini artırmada faydalı olmuştur [68].

Das ve arkadaşları, kriyojenik işlem uygulanmış AISI D2 çeliğinin maksimum aşınma direnci için optimum bekletme süresini belirlemek amacıyla, 77 K sıcaklıkta 0-132 saat arasında farklı bekletme sürelerinde (1, 12, 36, 60, 84, 132 saat) kriyojenik işlem uygulamışlardır. Farklı sürelerde bekletilen numunelerin yapısal özelliğinin incelemesi sonucunda en iyi aşınma direncinin 36 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, aşınmış yüzeylerin mikro yapı özellikleri, sertlik değerleri ve topografi farklılıklarının varyasyonuyla doğrulanmıştır [69].

Baldissera ve Delprete, malzemeler üzerine derin kriyojenik işlem uygulanmasına dair artan ilgiyi dikkate alarak, derin kriyojenik işlemin, ticari bir sementasyon dişli çeliğinin (18NiCrMo5) mekanik özelliklerine etkisini araştırmak için optik fraktografi gözlemlerinin ardından sertlik ve çekme deneyleri yapmışlardır. Çalışmada, klasik sementasyondan sonra derin kriyojenik işlem ve temperleme farklı sıralamalarda uygulanmış (Çizelge 2.3) ve elde edilen sonuçlar arasında kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca, ön temperleme uygulanmış derin kriyojenik işlem için bekletme zamanı parametresinin etkisi de analiz edilmiştir. Yanlış yorumlamaları önlemek için özel bir dikkatli bir şekilde deneysel verilerin istatistiksel analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, farklı sıralamaların ve derin kriyojenik işlem parametrelerinin uygulama gereksinimlerine bağlı olarak dikkate alınması gerektiğini gösterirken, bütün kriyojenik işlem gruplarında mevcut sertliğin arttığını (0,6 HRC' den 2,4 HRC'ye) ve bir durumda (E=CH+T+DCT) çekme dayanımında önemli bir artışın (%11) meydana geldiğini ortaya koymuştur [16].

Çizelge 2.3. Sementasyondan sonra kriyojenik işlem ve temperlemenin sıralamaları (CH – Sementasyon, T – Temperleme, DCT – Derin Kriyojenik İşlem) [16]

| İşlem | Suralama | Minimum derin kriyojenik | Derin kriyojenik işlem |
|-----------------|--------------|--------------------------|------------------------|
| grubu | Sirarama | işlem sıcaklığı (K) | bekletme süresi (saat) |
| S | CH + T | - | - |
| M ₁ | CH + DCT + T | 88 | 1 |
| M ₂₄ | CH + DCT + T | 88 | 24 |
| Е | CH + T + DCT | 88 | 24 |

AISI D2 takım çeliği, genellikle vakum sertleştirme işleminin ardından çoklu temperlemeye tabi tutulur. Bu sebeple, Surberg ve arkadaşları, sertleştirme ve temperleme süreçleri arasında derin kriyojenik işlemin, işleme zamanını azaltabileceğini, nihai özellikleri ve boyutsal kararlılığı artırabileceğini ileri sürmüşlerdir. Sertleştirilmiş bloklar tek ve çoklu temperleme aşamaları (520 ve 540 °C) ve kriyojenik işlemin (-90, -120 ve -150 °C) çeşitli kombinasyonlarına tabi tutulmuşlardır. En büyük boyutsal kararlılık en düşük sıcaklık kullanılan derin kriyojenik işlemde elde edilmiştir ve boyutsal kararlılığın derin kriyojenik işlem zamanından bağımsız olduğu görülmüştür [70].

Indumathi ve arkadaşları, poliamid (PI), polieterimid (PEI), politetrafloroetilen (PTFE), polikarbonat (PC) ve poliüretan (PU) gibi termoplastik malzemelerin aşınma direnci üzerine krivojenik islemin etkisini arastırmıslardır. Secilen malzemelere 24 saat süre ile -146 °C sıcaklığında kriyojenik işlem uygulanmıştır. Abrasiv aşınma performansı, silisyum karbür (SiC) zımpara kullanılarak pin-on-disk deney cihazında ve oda sıcaklığında tek bir paso için değerlendirilmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin uygulanmamış çeşitli yükler altında aşınma hızları ve karşılaştırıldığında, bu tekniğin bazı polimerler ve kompozitlerin aşınma direncini artırmada etkisinin olduğu gözlenmiştir. Ancak %20'nin üzerinde elyaf yüklemesinde kriyojenik işlemin aşınma direnci üzerinde olumsuz etkileri görülmüştür. Böylece, kriyojenik işlemin aşınma direnci üzerindeki etkisinin, ana matris elemanının tipi, elyaf miktarı veya dolgu özelliğine bağlı olduğu tespit edilmiştir [71].

Bramipour ve arkadaşları, kriyojenik işlemin Flex-R ve Hedstrom eğelerinin aşınma direnci üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu aletler, İnstron deney cihazına bağlanmış ve 1,5 mm kalınlığında dentin plakasına karşı 300 kere ileri geri harekete (6 mm hareket aralığı, 600 mm/dak hız, 1N yük) maruz bırakılmıştır. Dentin işlemeden önce ve sonra 1,5 mm kalınlığındaki akrilik numunelerde bulunan kanalların kesme derinliği (eğenin konumunu değiştirmeksizin) karşılaştırılarak asınmalar saptanmıştır. Eğelerin önceki sonraki verimliliği oranları ve kesme karşılaştırıldığında, kriyojenik işlemin eğelerin aşınma direncini etkilemediği görülmüştür [72].

Liu ve arkadaşları, 14CrZMnZV yüksek kromlu dökme demirin (HCCI) mikro yapısı, sertliği ve aşınma direnci üzerine kriyojenik işlemin etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, alt kritik işlemden sonra uygulanan kriyojenik işlemin HCCI' nın sertliğini ve aşınma direncini artırdığını açıkça ortaya koymuştur. Bunun sebebi de birçok kalıntı östenitin martenzite ve ikincil karbür çökelmesidir. Alt kritik işlemden sonra kriyojenik işlem uygulandığında HCCI' daki martenzit ve çökelmiş ikincil karbür miktarı hava ile soğutmadakinden daha fazladır. HCCI' nın aşınma direnci maksimuma ulaşmakta ve mikro yapısında %15 kalıntı östenit içermektedir. Kriyojenik işlem östenit miktarını önemli derecede azaltsa da, kalıntı östeniti tamamen martenzite dönüştürememektedir [73].

Bensely ve arkadaşları, sementasyon çeliklerinde (En 353) artık gerilmelerin dağılımı üzerine kriyojenik işlemin etkisini X ışın kırınımı tekniğini kullanarak araştırmışlardır. Sığ kriyojenik işlem (193 K) ve derin kriyojenik işlem (77 K) olmak üzere iki kriyojenik işlem tipi benimsenmiştir. Klasik ısıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerdeki kalıntı östenit miktarı sırasıyla %28, %22 ve %14 olarak tespit edilmiştir. Temperleme yapılmamış durumda klasik ısıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem tebi tutulan numuneler sırasıyla -125 MPa, -115 MPa ve -235 MPa yüzey kalıntı gerilmelerine sahiptirler. Temperlemeden sonraki yüzey kalıntı gerilmeleri ise sırasıyla -150 MPa, -80 MPa ve -80 MPa olarak ölçülmüştür. Bu üç işleme bakıldığında temperleme öncesinde

kriyojenik işlem uygulanmış çelikteki kalıntı gerilmeler daha yüksektir. Deneysel çalışma, temperleme yapıldıktan sonra kriyojenik işleme tabi tutulan çelikteki kalıntı gerilmelerin azaldığını göstermiştir. Bu gerilim giderme davranışı, temperleme ile derin kriyojenik işleme tabi tutulan numunelerde ikincil karbür çökelmesi oluşmasına bağlanmıştır [74].

Bensely ve arkadaşları, gerilme veya yorulma yüklerine maruz kalan dişlilerin başarısızlığını önlemek ve 815M17 çeliğinin mukavemeti üzerine temel tasarım bilgisini sağlamak için kriyojenik işlemin dişli çeliklerinin gerilme özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Gerilme deneyi vasıtasıyla derin kriyojenik işlem, sığ kriyojenik işlem ve klasik ısıl işlem'in etkileri karşılaştırılmıştır. Deneyler ASTM standardına göre yapılmıştır. Sonuçlar, 815M17 çeliğinde her iki kriyojenik işlemden (sığ ve derin kriyojenik işlem) sonra klasik işleme nazaran biraz daha az gerilme davranışı olduğunu göstermiştir. Kırık yüzeyin SEM analizleri, çukur ve düz kırık bölgelerin sığ kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde daha yaygın olduğunu göstermiştir [75].

Bensely ve arkadaşları, ayna dişlisi ve pinyon gibi araç transmisyon elemanlarının imalatında kullanılan sementasyon çeliklerinin yorulma ve kırılma davranışlarını daha iyi anlayabilmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. En 353 çeliği üzerine klasik ısıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere üç farklı işlem uygulandıktan sonra 10⁷ çevrimde yorulmaya maruz bırakılmışlardır. Yorulma esnasında ortaya çıkan mekanizmaları tanımlamak için çatlamış numune yüzeyleri tarayıcı elektron mikroskobunda incelenmiştir. Çalışma sonunda, sığ ve derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin, klasik ısıl işlem uygulanmış numunelere göre yorulma ömründe sırasıyla %71 iyileşme ve %26 azalma tespit edilmiştir. Sığ kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde kalıntı östenit ve ince karbürlerin birleşik bulunması sebebiyle, klasik ısıl işlem ve derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelere göre daha iyi bir yorulma dayanımı gözlenmiştir [76].

AISI 304L östenitik paslanmaz çelik kaynaklarındaki yorulma çatlağı başlangıcı olan çentik, numunelere -185°C'de derin kriyojenik işlem uygulanmasıyla iyileştirilmiştir.

İşlem sırasında, mikro yapıda önemli bir değişim sağlanmıştır. Gerilme etkisiyle martenzitik dönüşüm oluşmuştur. Bu dönüşüm kaynak metali genleştirmiştir. Bu genleşme kaynaklanmış parça etrafında sıkıştıran gerilmeleri ve kalıntı gerilmelerin giderilmesi sağlanmıştır. Ancak, yorulma çatlak yayılma özellikleri bu işlem sayesinde değişmemiştir [77].

2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirmesi

Literatürde östenitik paslanmaz çeliklerle ilgili yapılan işlenebilirlik çalışmalarına bakıldığında, genellikle kaplamalı ve kaplamasız takımlarla, farklı ilerleme ve kesme hızlarında, takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi gibi parametrelerin incelendiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar, kaplamalı takımların işlenebilirlik parametreleri üzerinde daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Kaplamalar kesici takıma yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, iyi korozyon ve oksidasyon direnci sağladıklarından, daha iyi takım ömrü ve yüzey kalitesi elde edilmektedir. Literatürde, östenitik paslanmaz çelikler içerisinde yaygın bir şekilde kullanılan AISI 316 çeliği üzerine çok az sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Oysa AISI 316 östenitik paslanmaz çeliği, mekanik özellikleri sayesinde nükleer endüstriden gıda sektörüne kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak, bu malzemenin yüksek mukavemet, yüksek deformasyon sertleşme hızı, düşük ısıl iletkenlik ve sünek yapısı nedeniyle işlenmesi oldukça zordur. Bu özellikler nedeniyle, östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde karşılaşılan başlıca aşınma tipleri krater aşınması, çentik aşınması ve yığıntı talaş (YT) oluşumudur. Takım yüzeyine kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkan ve takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan YT istenmeyen bir durumdur. Düşük işlenebilirliğe ve yaygın kullanım alanına sahip olan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilmesi için, optimum kesme parametrelerinin ve kesme şartlarının tespit edilmesi önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin zor olması kesici takımların aşınma performansının artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Literatürde, kriyojenik işlemin kesici takımın aşınma direnci ve takım ömrünü artırdığını bildiren bir çok çalışma bulunmaktadır. Kriyojenik işlemin takım ömrünü artırması ve gerilim giderme gibi ilave özellikler sunmasından dolayı, son yıllarda farklı malzemelere ve takımlara kriyojenik işlem uygulaması giderek artmıştır. Yapılan çalışmalarda, kriyojenik işlem ile; klasik ısıl işlemden sonra oluşan ve ürünün ömrünü olumsuz etkileyen kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve çekirdeklenme bölgelerinde çok sayıda ince taneli karbür çökeltilerinin oluşumu sağlanarak malzemede yüksek aşınma direnci elde edildiği bildirilmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda, kriyojenik işlemin çelikler, polimerler ve kompozitler gibi birçok malzemede olumlu sonuç verirken dökme demir ve sade karbonlu çelikte herhangi bir aşınma direnci artışı sağlamadığı görülmektedir. Kesici takımlar üzerine kriyojenik işlem uygulanması ile ilgili yapılan çalışma çok kısıtlı olmakla birlikte; bu çalışmalarda, bu işlemin takım ömrünü %92-817'lere kadar artırdığı rapor edilmiştir. Literatürde, genellikle bekletme sıcaklıklarına bağlı olarak sığ ve derin kriyojenik işlem olmak üzere iki türünün uygulandığı görülmektedir. Bu iki türün karşılaştırıldığı çalışmalarda genellikle, derin kriyojenik işlemin daha iyi aşınma direnci ve takım ömrü performansı sağladığı bildirilmektedir. Ayrıca, ikincil karbür çökelmesini artırması ve kalıntı gerilmeleri azaltması sebebiyle kriyojenik işlemden sonra temperleme işleminin uygulanması önerilmektedir. Kesici takımlar (kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür takımlarla HSS matkaplar) üzerine yapılan çalışmalarda, HSS matkaplarda daha fazla aşınma direnci ve takım ömrü artışı gözlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi kriyojenik işlem ile HSS matkapların mikro yapısında bulunan kalıntı östenitin büyük oranda martenzite dönüşmesidir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, kriyojenik işlemin genellikle 24 saat bekletilerek uygulandığı görülmektedir. Bununla birlikte, kriyojenik işlem bekletme sürelerinin (0-132 saat) takım çeliği ve martenzitik paslanmaz çeliğinin aşınma performansı üzerine etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda, en iyi aşınma direncinin 36 saat bekletme süresinde elde edildiği rapor edilmiştir. Literatürde, kriyojenik işlemin daha çok iş parçası malzemesi üzerine etkilerinin araştırıldığı görülmektedir. Bununla birlikte kesici takım üzerine yapılan çalışmalarda da takım ömrü ve aşınma performansı açısından oldukça başarılı olduğu bildirilmektedir. Ancak kriyojenik işlem bekletme sürelerinin kesici takım üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu sebeple tungsten karbür takımlar için en iyi kriyojenik işlem bekletme süresi ve bu takımların AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin işlenebilirliği üzerindeki etkileri henüz bilinmemektedir.

Literatürden farklı olarak bu çalışmada, tungsten karbür kesici takımlar üzerine farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem bekletme sürelerinin takım ömrü ve performansı üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla AISI 316 östenitik paslanmaz çeliği üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından da değerlendirme yapılmıştır. Tungsten karbür kesici takımlara farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanması ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin işlenebilirlik özelliklerinin kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla incelenmesi bu tez çalışmasının literatürdeki diğer çalışmalardan farklılığını ortaya koymaktadır.

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, içerisinde en az %10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) ve en çok %1,2 oranında karbon (C) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Bu çelikler, korozyonlu ortamda çalışacak makine ve yapı elemanlarının en önemli malzemesidir [1, 2, 54].

Paslanmaz çelikler, yüksek korozyon direnci, dayanıklılığı, yüksek sertliği, sünekliği, rijitliği, yapı ve bakım kolaylığı, ateşe dayanıklılığı, estetik görünüşü, hijyenik olması gibi özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler [7, 78-83]. Nükleer reaktör parçaları, ısı eşanjörleri, kimya endüstrisi, petrokimya endüstrisi, yağ endüstrisi, kağıt endüstrisi, denizaltı çevreleri, atık su fabrikaları, fosil yakıtlardan elektrik üreten enerji santralleri, gıda üretimi, mutfak eşyaları, fırın elemanları, otomobil parçaları (egzoz, iç döşeme, vs.), binaların dış kaplamaları, pencere, kapı, merdiven, bina girişleri, çatı kaplamaları vs. bu çeliklerin kullanım alanlarıdır [1, 2, 82]. Ancak paslanmaz çelikler hala yapısal mühendislik problemlerinin pahalı bir çözümü olarak görülmekte ve bu durum daha fazla kullanımını engellemektedir [7].

Çeliklerin paslanmazlığını, yüzeylerinde meydana gelen kromca zengin oksit tabakası oluşturur. Oksit tabakası kaplama etkisi yaparak elektrolit ile anot-katot arasındaki bağlantıyı keser. %10,5 krom içeren paslanmaz çelikte meydana gelen kromoksit tabakası orta seviyedeki korozif etkilere dayanıklıdır. Krom oranının artmasıyla oksit tabakasının korozyona direnci de artar (Şekil 3.1) fakat krom oranı artarken çeliğin üretimi, kaynaklanabilirliği ve mekanik özellikleri kötüleşir. Çeliğin bahsedilen özelliklerini kötüleştirmeden korozyona direncini artırmak için diğer alaşım elementleri ilave edilir [2].



Şekil 3.1. Demir içindeki krom elementinin korozyon oranı üzerindeki etkisi [84]

Paslanmaz çeliklerin en önemli ikinci alaşım elementi nikeldir. Oksijen bulunan ortamlarda oluşan paslanmaz çeliğin yüzeyindeki oksit tabakası, bozulduğunda kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur. Nikel, bilhassa oksit tabakasını bozma etkisi olan ortamlarda, oksit tabakasının tekrar oluşumunu iyileştirir; fakat nikel oranının %8-10 değerini geçmesi durumunda çeliğin gerilmeli korozyon dayanımı kötüleşir. Nikel oranının %30 civarına çıkması ile gerilmeli korozyon dayanımı tekrar iyileşir. Nikel, paslanmaz çeliğin akma sınırını, tokluğunu ve oksit tabakasını bozucu asitlere karşı direncini artırır [2,5].

Paslanmaz çeliklere krom ve nikelden başka, oksit tabakasının pasiflik özelliğini kuvvetlendirmek için molibden, sülfirikasite karşı direnci artırmak için bakır, yüksek sıcaklık oksidasyon direncini artırmak için silisyum ve alüminyum (silisyum aynı zamanda gerilmeli korozyon direncini artırır), kromkarbür oluşumunu engellemek için titanyum ve niyobyum, pullanma korozyon direncini ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için azot elementleri alaşım elementi olarak katılabilir. Paslanmaz çeliklerde karbon, sertleştirme özelliğini sağlamak ve bilhassa yüksek sıcaklıklardaki mekanik özellikleri iyileştirmek için katılır. Paslanmaz çeliklerde karbon oranı % 0,02 - 1 arasında değişebilmektedir [2].

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Böylece makine tasarımcıları ve imalatçıları farklı kullanımlar için en

uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel iç yapının ferritik veya östenitik olmasını belirler (Şekil 3.2). Paslanmaz çelikler beş ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Östenitik
- Ferritik östenitik (Dubleks)
- Çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar



Şekil 3.2. Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar) [2]

Bunlardan ilk dört tanesi kristal yapılarına göre, beşincisi ise ısıl işlem şekline göredir [2]. Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde % 95'e ulaşır [5].

3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

En yaygın kullanılan ferritik çelik, % 0,1'in altında oldukça düşük bir karbon yüzdesine sahip ve % 12-18 krom içeren çeliktir [5]. Kolay işlenebilen ferritik çelikler işlemeyi kolaylaştıran katkı malzemesi olarak kükürdün kullanıldığı düşük krom alaşımlı çeliklerdir. Korozyon direncinin son derece önem taşıdığı ve kükürt ilavesinin korozyon direnci üzerindeki olumsuz etkilerden dolayı söz konusu olmadığı durumlarda yüksek krom alaşımlı tipler kullanılır. Adından da anlaşıldığı gibi bu grubun matris içerisinde az veya çok Cr karbürleri bulunduran ferritik bir yapısı vardır ve bu grup çelikler sertleştirilemezler [6]. Ferritik paslanmaz çelikler; ucuzluğu, korozyon direnci, iyi biçimlendirilebilirliği, daha az doğrusal genleşme katsayısı, iyi ısıl iletkenlik katsayısı gibi seçkin karakteristik özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [85-90]. Otomobil egzoz sistemleri, konteynır, demiryolu aracı, mutfak gereçleri, dekoratif uygulamaları, otomobil şasi parçaları ve sıcak su tankları başlıca kullanım alanına sahıdırı [5, 86, 87].

3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Karbon miktarı % 0,1 den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavlanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavlanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek farklı özellik kombinasyonları elde edilebilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısıl işlem sıcaklıklarına uyulması çok önemlidir. Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür [5]. Yüksek sertleştirilebilirliği, iyi mekanik

özellikleri ve korozyon direnci sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mutfak gereçleri, buhar jeneratörü, basınç kazanları, pompalar, türbinler, kompresör parçaları, mil yatağı, plastik kalıplar ve tıbbi takımlar başlıca kullanım alanlarıdır [91-97].

3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çeliklerin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikeldir. Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin payı % 70'tir. Korozyon direnci açısından östenitik paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklere göre çok büyük üstünlükleri vardır. Östenitik paslanmaz çelikler, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar. Süneklikleri, toklukları ve biçimlendirilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir [5, 6].

Temperlenmiş östenitik çeliklere temperleme işleminden sonra, korozyon direncini ve işleme performansını iyileştirmek amacıyla su verilir. Korozyon hızı çok yavaş ise tane sınırlarında sert ve abrasiv karbürler oluşur. İşlenebilirlik açısından temperlenmiş/soğuk çekilmiş koşullar özellikle yumuşak östenitik ve ferritik çelikler için yararlıdır. Bu koşullarda takım ömrü bir miktar azalmaktadır, ancak çapak oluşumu, kötü yüzey kalitesi, yığma kenar oluşumu ve olumsuz vida çekme koşulları gibi problemlerde de bir azalma görülmaktedir.

Çeliklerin soğuk işlenmesi belirli bir miktar deformasyon sertleşmesine neden olur. Ferritik ve martenzitik çeliklerde bu miktar en fazla alaşımsız çeliklerdeki kadardır, östenitik çeliklerde ise deformasyon sertleşmesi miktarı çok daha fazla olabilir. Normalize edilmiş kalitelerde bile işleme sonucunda ortaya çıkan bir miktar deformasyon sertleşmesi söz konusudur ki bu durumda malzemenin yüzeyi iç kısımdan en az iki kat daha büyük bir sertliğe sahiptir. Bu nedenle kesici kenarın yüzeydeki bu sert tabakaya nüfuz etmesini sağlayacak talaş derinliklerinin ve ilerleme hızlarının seçilmesi her zaman avantajlıdır. Genellikle paslanmaz çelik içersindeki alaşım miktarı arttıkça işlenebilirlik o derece zorlaşmakta ve işlenebilirlik maliyeti de o derece artmaktadır. Kesici kenara yapışarak sıvanma eğilimi gösteren östenitik paslanmaz çelikler kesici takımın kırılmasına neden olabilmektedirler, bu nedenle takımın performansındaki beklenmeyen değişikliklere karşı dikkatli olunmalıdır. Östenit kendi başına yüksek bir deformasyon sertleşmesi hızına sahiptir. Deformasyon sertleşmesi etkisinin çok yüksek olması halinde iş parçasının işlenmiş yüzeylerinde çok yüksek sertliğe sahip bölgeler oluşur [6].

Manyetik olmayan bu çeliklere, östenitik içyapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme veya sertleştirme ısıl işlemleri uygulanmaz, mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir [5]. Östenitik çeliklerin soğuk çekilmiş halde işlenmesi avantajlıdır. Birçok durumda östenitik çeliklerin işlenmesi esnasında yığma kenar oluşumu, kötü yüzey kalitesi, çapak oluşumu problemleri söz konusudur. Soğuk çekme deformasyon sertleşmesi bu problemleri önemli ölçüde azaltır.

Östenitik çeliklerin işlenmesinde alaşımsız çeliklere göre en büyük farklılık östenitik çeliklerin ısıl iletkenliğinin adi karbon çeliklerinden daha düşük olmasıdır. Adi karbon çelikleri işlenirken ısının önemli bir kısmı talaşla ortamdan uzaklaştırılır. Östenitik çeliklerin düşük ısıl iletkenliği ve düşük ısı emme kapasitesi yüksek kesme sıcaklıklarının ortaya çıkmasına neden olur. Bu malzemeler için yeterli soğutmanın sağlanması şarttır [6].

Paslanmaz çeliklerin en yaygın kullanım alanına sahip östenitik paslanmaz çelik grubu, rijitliği, güzel görünümü, orta derecede kaynaklanabilirliği, yüksek mukavemet ve korozyon direnci, oksidasyon direnci, yüksek deformasyon sertleşme hızı ve düşük ısıl iletkenlikleri sayesinde, ilaç, gıda, kimya, petro-kimya ve uçak endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde, takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir [3, 4, 6, 98-106]. Ancak, yüksek mukavemet, yüksek deformasyon sertleşme hızı, düşük ısıl iletkenliği ve sünek bir yapıya sahip olması bu çeliklerin işlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır [3, 107].

3.4. Ferritik - Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Yaklaşık olarak eşit miktarda/hacimde ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapı nedeniyle bu çelikler dubleks olarak adlandırılır (Şekil 3.3) [108, 109]. Bunlar, yüksek oranda krom (%18–28) ve orta miktarda nikel (%4,5–8) içeren çeliklerdir. Nikel miktarı en çok %8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yetersizdir. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5–4 molibden içerir. Bu çelikler hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerini birlikte sağlarlar. Ayrıca korozif ortamlarda dahi çok uygun yorulma dayanımları vardır. Tavsiyelere dikkat ederek uygulanması halinde kaynak yapılması kolaydır [5]. Dubleks paslanmaz çelikler genellikle deniz, yağ, kimya, petrokimya ve nükleer olmak üzere endüstrinin geniş bir alanında yapısal malzemeler olarak kullanılmaktadır ve daha pahalı olan östenitik paslanmaz çeliğin 300 serisinin yerini almaktadır [110-114].



Şekil 3.3. Östenitik ve ferritik paslanmaz çelik türlerinin içyapıları [5]

3.5. Çökelme Sertleşmesi Uygulanabilen Alaşımlar

Bu paslanmaz çeliklerin içyapıları östenitik, yarı-östenitik veya martenzitik olabilir. Çökelme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MPa'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Piyasada çözme tavı görmüş halde satılır; malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilir ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir [5]. İyi korozyon direnci, yüksek sertlik ve tokluk gibi yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Nükleer, kimya, uzay, uçak ve deniz endüstrisi gibi geniş kullanım alanına sahiptir [115-119].

4. KRİYOJENİK İŞLEM

İmalatta etkili maliyet için araştırmalar devam etmektedir ve özellikle işleme operasyonlarının bütçe gereksinimlerini karşılamak için sürekli olarak takım maliyetlerini azaltmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Maliyeti azaltmak için geleneksel yaklaşımlar, takım maliyetlerini azaltmak ve daha dayanıklı takım malzemeleri geliştirerek verimliliği artırmayı kapsar. Kesici takım ömrünü artırma yöntemleri, kesme sıvısı, optimal kesme hızları ve ilerleme hızlarının seçimi ve kesici takım kaplamaları uygulamalarını kapsamaktadır [21]. Son yıllarda kesici takım ömrünü artırmak için kullanılan yöntemlerden bir başkası da soğubilim (cryogenicskriyojeni) teknolojisidir.

Soğubilim, işleme operasyonlarında kullanılan farklı kesici takımların yararlı ömrünü uzatmanın etkin bir metodu olmuştur. Soğu bilim anlamına gelen kriyojeni kelimesi soğuk anlamında olan yunanca "kryos" 'dan gelmektedir. Soğu bilim, düşük sıcaklıklarda malzemelerin özelliklerinde önemli bir değişim yapan basit bir malzeme bilimidir. Soğuk işlemlerin 1937'ler kadar öncesinde takım performansları üzerine yararlı etkilere sahip olduğu rapor edilmiştir [15, 21].

Kriyojenik ve soğutma teknolojisi ortak bir tarihi paylaşır. İkisi arasında aşikar olan farklılık sıcaklık oranıdır. Soğu bilim, 19. yy.'ın ortasında insanların ilk kez yeryüzünde var olan sıcaklıktan daha düşük sıcaklığı öğrenmesiyle başlamıştır. Pratikte ilk olarak James Harrison tarafından 1855 yılında buhar sıkıştırarak soğutucu icat edilmiştir. Ardından İngiliz bilim adamı James Dewar, 1872'de vakum şişesini icat etmiştir. 1883 yılında Olszewski adında Polonyalı bilim adamı tarafından ilk defa hava sıvılaştırılmıştır. On yıl sonra Olszewski ve James Dewar tarafından hidrojen sıvılaştırılmıştır. 1902'de Georges Claude hava sıvılaştırmanın verimliliğini artırmıştır. Son olarak Hollandalı fizikçi Kamerlingh Onnes 1908'de helyumu sıvılaştırmıştır. Böylece, 20. yy da başlayarak deneyciliğin tuhaf yenidünyasına bir kapı açılmıştır [15, 120-124].

Kriyojenik işlem son yıllarda metallerin özelliklerini iyileştirmek için kullanılan konvensiyonel ısıl işlemi tamamlayıcı bir işlemdir. Takım çeliklerinde klasik ısıl işlemden sonra ürünün ömrünü olumsuz etkileyen kalıntı östenit adı verilen yumuşak bir faz oluşur. Kalıntı östenit fazını gidermenin etkili bir yolu kriyojenik işlem uygulanmasıdır. Kriyojenik işlemde malzeme belirlenen bir bekletme süresince belirlenen sıcaklıkta tutulur ve sonra da kademeli olarak oda sıcaklığına kadar ısıtılır. Böylece kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve çekirdeklenme bölgelerinde ikincil karbür çökeltilerinin oluşumu sağlanarak malzemede yüksek aşınma direnci elde edilmektedir [12-14, 16-20]. Bu işlemin takım ömrünü %92-817'lere kadar artırdığı rapor edilmiştir. Kriyojenik işlem kaplamaların aksine parçanın tüm bölümünü etkileyen bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir [8, 22].

Kriyojenik işlemin malzemelerin geniş bir alanında iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Malzeme cinsine bağlı olan bu iyileşmeler aşağıdaki gibidir:

- Daha iyi aşınma direnci
- İyileşmiş yorulma ömrü
- Gerilme azaltması ve ölçüsel kararlılık
- İyileşmiş iletkenlik
- İyileşmiş işlenebilirlik
- Sertlik artışı
- Daha iyi korozyon direnci [125]

Genellikle -50 °C ve -100 °C aralığında sığ kriyojenik işlem ve -125 °C ve -196 °C aralığında derin kriyojenik işlem olmak üzere iki türü kullanılmaktadır [16, 18, 21].

Kriyojenik işlem metaller, alaşımlar, polimerler, karbürler, seramikler ve kompozitler gibi malzemelerin geniş bir çeşitliliğinde yetenekli bir işlemdir [15]. Pratik olarak endüstrinin her sektöründe uygulamalarını görmek mümkündür; işleme, kalıplama, enjeksiyon kalıplama, demircilik, kaynak, otomotiv, uzay, elektronik, çelik, kereste endüstrisi, madencilik, tarım, yarış motorları vb. Bu endüstrilerde

kullanılan, ömür ve performans artışı sağlanan parçalara bıçaklar, kesici takımlar (matkap uçları, karbür uçlar, frezeler, kılavuzlar, matkaplar...), testereler, zımbalar, kalıplar, silindirler (rolls), elektrotlar, dişli çarklar, miller, rulmanlar, yaylar, kablolar örnek olarak verilebilir [125].

5. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

5.1. Talaş Kaldırma Mekaniği

Günlük hayatta kullanılan pek çok parça, farklı imal usullerinden biri kullanılarak imal edilir. Takım tezgâhlarında, talaş kaldırmak suretiyle parçaların şekillendirilmesindeki temel esas; iş parçasının nihai şeklinin ilgili malzemenin işlenmesi ile elde edilir [126].

Talaş kaldırma işlemi onlarca yıldır üzerinde en fazla çalışılan bilimsel araştırma konularından birini teşkil etmektedir. Metalin, yüksek hızın, sıcaklığın ve basıncın bir arada bulunduğu talaş kaldırma işlemleriyle ilgili kesin belirlemelerin yapılması son derece zordur. Bu amaçla işlemler ile ilgili teorik ve ampirik tanımlamalar yapılmış, modeller geliştirilmiştir [6].

Metal kesme işlemi, imalat tekniklerinde en önemli işlemlerden birisidir [127]. Birçok yaygın kesme işlemleri, üç boyutlu ve kompleks geometrilere sahip olmasına rağmen, talaşlı imalatın genel mekaniğini açıklamak için iki boyutlu ortogonal kesme kullanılır. Ortogonal kesmede, iş parçası malzemesi ile takım kesme kenarı arasındaki açı diktir ve bu şekilde talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Daha karmaşık, üç boyutlu eğik kesme işlemlerinin mekaniği, genellikle ortogonal kesme işlemine uygulanmış geometrik ve kinematik dönüşüm modelleriyle değerlendirilir. Şekil 5.1'de şematik olarak ortogonal kesme işlemlerinin temsili gösterimi yapılmıştır. Ortogonal kesme, kesme kenarı, kesme hızına (V) dik olan düz takımla şekillendirme işlemine benzer. Kesme genişliği (b) ve kesme derinliği (a) ile metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin kenarına yayılma olmaksızın iki boyutlu düz birim şekil değiştirme işlemi gerçekleşmiş olur. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti (Fc) ve ilerleme kuvveti (Ff) olarak isimlendirilen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda güç sarf eder [128, 129].



Şekil 5.1. Ortogonal kesme geometrisi [128, 129]
(a) Düzlemsel parçalarda ortogonal kesme,
(b) Silindirik parçalarda ortogonal kesme

Şekil 5.2'deki ortogonal kesmenin kesit görünüşünden de anlaşıldığı gibi kesme işleminde üç deformasyon (şekil değiştirme) bölgesi vardır. Takım kenarı iş parçasına dalarken takımın malzeme içerisinde hareketiyle bir talaş formu oluşmaya başlar ve ilk kayma bölgesi oluşur. Malzemenin kesilmesiyle talaş kısmen şekil değiştirir ve takımın talaş yüzeyi boyunca hareketiyle ikinci deformasyon bölgesi oluşur. Takımın yan yüzeyindeki sürtünme bölgesinde ise üçüncü bölge meydana gelir. Talaş başlangıçta takımın talaş yüzeyine yapışır ve burada yapışma bölgesi oluşur. Kayma alanındaki (talaşın takım talaş yüzeyinde ilerlediği) sürtünme gerilmesi yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine eşittir. Talaşın yapışma olayı biter ve sürekli kayma sürtünmesiyle talaş yüzeyinde talaş akışı başlar. Talaş takımdan ayrılır, takımın talaş yüzeyi ile temas kaybolur. Temas uzunluğu kesme hızı, takım geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır [128, 129].



Şekil 5.2. Ortogonal kesmede oluşan deformasyon bölgeleri [128, 129]

5.2. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri; ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [130]. Ayrıca kesme kuvvetleri aşağıda belirtilen amaçlarda da kullanılmaktadır:

- i. Takım tezgâhının talaş kaldırma sırasında harcadığı enerjinin tespit edilmesinde,
- ii. Takım tezgâhının, takımların ve tutturma tertibatlarının tasarımında ve boyutlandırılmasında,
- iii. Tezgâh rijitliği ve boyutlarının hesaplanmasında,
- iv. Kesme kuvvetlerine veya harcanan enerjiye bağlı olarak, talaş kaldırma sırasında optimizasyona dayalı adaptif bir kontrol sistemi oluşturmakta [131].



Deformasyon geometrisi ve kesme kuvvetleri Şekil 5.3'te ortogonal kesmenin kesitiyle gösterilmektedir.

Şekil 5.3. Ortogonal kesme mekaniği [126, 128, 129]

Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 5.4'de şematik olarak gösterilmiştir.



Sekil 5.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [132]

Burada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

Esas kesme kuvveti (Fc): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99'una karşılık gelir. İlerleme kuvveti (Ff): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Radyal kuvvet (Fr): İşlenen yüzeye dik olarak etkiyen kuvvettir [133].

5.3. Talaşlı İmalat İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeyler genellikle düzensiz ve karmaşık işlemlerle imal edilirler. Çoğu işlemlerde sıradan kontroller ve minimum kalite kontrolü ile genel yüzey doku gereksinimleri tam olarak karşılanamamaktadır. Çalışma şartlarına uygun olarak, bazı özel durumlar için yüksek mukavemet gerektiren, ağır basınçlara dayanabilen parçaların imalatında, genellikle özel ve detaylı yüzey kalitesine ihtiyaç duyulur. Bu yüzden bu parçalar
için, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve kalite kontrolü gerekmektedir. Sürtünmeye karşı kullanılan yağlar ve yağlayıcılar, korozyonlu ortamda çalışan makine elemanları, dönen makaralar, kaplanmış yüzeyler, bujiler vb. gibi parçaların imalatları titizlilik gerektirir [129]. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde, takım geometrisi (kesici uç yarıçapı, kenar geometrisi, talaş açısı vb.) ve kesme parametreleri (ilerleme, kesme hızı, kesme derinliği vb.) etkilidir [134, 135].

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere (Şekil 5.5) iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dâhildir; dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü, maksimum yüzey pürüzlülüğü (Rt), maksimum çıkıntı yüksekliği (Rp), maksimum girinti değeri (Rv), 5 çıkıntı 5 girinti ortalaması (Rz) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (Ra) gibi kriterlere göre değerlendirilir. Ancak yüzey kalitesi genellikle Ra değerleri ile ifade edilir [136].





Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü [137-139]

5.4. Kesici Takım Aşınması ve Takım Ömrü

Takım aşınması son yıllarda bir çok araştırmacı tarafından geniş bir şekilde çalışılmaktadır [140]. Talaş kaldırma işlemi ile ilgili yapılan araştırmaların sonucunda, talaş kaldırma sırasında takımın, takım - talaş ve iş parçası - takım ara yüzeyinde sürtünme, gerilmeler ve yüksek sıcaklıklar oluştuğu, bunun sonucunda da kesici takımda elastik ve plastik deformasyon ile takım aşınmasının oluştuğu tespit

edilmiştir [141]. Bu olayda sürtünme esas nedendir; sıcaklık ise takımın aşınmaya karşı mukavemetini azalttığı için, aşınmayı hızlandıran bir etkendir [136].

Takımda meydana gelen aşınmaların oluşturduğu olumsuzluklar; takım ömrünün azalması ve buna bağlı olarak da üretim maliyetlerinin artması ve işlem kalitesinin düşmesidir. Takım ömrünü doğrulukla belirleyebilmek için takım ömrünü olumsuz yönde etkileyen takım bozukluk mekanizmalarının ve bu mekanizmaların oluşma nedenlerinin bilinmesine gerek vardır. Herhangi bir kesici takım; aşınma, plastik deformasyon veya kırılma yoluyla ömrünü tamamlar [141]. Takım aşınması kaçınılmazdır, ancak aşınmanın ne zaman, ne miktarda olduğunun ve ne tip bir aşınma olduğunun bilinmesi halinde fazla olumsuz etkisi de yoktur [6].

5.4.1. Aşınma mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Bu yük faktörleri mekanik, ısıl, kimyasal ve abrasiv olmak üzere dört çeşittir. İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkiyen bu yük faktörleri nedeniyle bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine etki eder. Bunlar; abrasiv, difüzyon, oksidasyon, yorulma (statik veya dinamik) ve adheziv aşınma mekanizmasıdır (Şekil 5.6) [6].

Abrasiv (aşındırıcı) aşınma mekanizması

Abrasiv aşınma çok yaygındır ve çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan uç üzerindeki mekanik yüklerin bir sonucudur.

Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abrasiv aşınmaya karşı koyabilecektir fakat işleme sırasında oluşan diğer yük faktörleriyle başa çıkacak şekilde donatılmış olmayabilir.

Difüzyon aşınma mekanizması

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri bazı iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı asaldır (birleşme eğilimi yoktur) [126].

Oksidasyon aşınma mekanizması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve kobaltta, talaş tarafından daha kolay kazınıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Bununla beraber alüminyum oksit gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidirler. Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada hava da kesme işlemine etkide bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur [6, 126].



Şekil 5.6. Aşınma mekanizmalarının takım üzerinde gösterimi [142, 143]

Yorulma ile aşınma mekanizması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Kesikli kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer malzemelere göre yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur [6].

Yapışma (adhesiv) aşınma mekanizması

Takım-talaş ara yüzeyinde düşük sıcaklıklarda oluşur. Sünek malzemelerde görülebilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında, kenar üzerinde yığılmış talaş (YT) oluşmasına neden olur. Dinamik bir yapısı vardır. Birbirini takip eden talaş katmanları talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. Oluşan YT tabakası yırtılıp kopar ve yenisi oluşur. Bu kopmalar sırasında kesici kenardan parçalar da kopmaya başlar. Yüksek sıcaklıklarda yapışma olayı önemli ölçüde ortadan kalkar. Yapışan tabaka takım geometrisini değiştirdiğinden kesme kuvvetlerini de değiştirir [6, 143, 144].

Talaş kaldırma işleminde, bu temel aşınma mekanizmaları bir araya gelerek kesici kenarın geometrisini ve yapısını değiştirir. Bu mekanizmalar, çoğunlukla takım malzemesinin özelliklerine bağlı olarak kesici kenarı belli bir aşınma tipinin oluşmasına sebep olacak şekilde etkiler.

5.4.2. Takım aşınma tipleri

Belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşınma tipleri, işleme tipi, malzeme için doğru işleme şartları ile takım sınıfının belirlenmesi ve dolayısıyla kesme işleminin optimizasyonu için önemlidir [6, 143]. Takım aşınma modeli Şekil 5.7.'de ve kesici takımlarda görülebilen aşınma tipleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Yan yüzey (yanak) aşınması

Bu aşınma, kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir ve genellikle abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. Bu tip aşınma genellikle karşılaşılacak en normal aşınma tipidir ve genellikle emniyetli-sürekli artan bir yan yüzey aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir. Yan yüzey aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar [6].



Şekil 5.7. Takım aşınma modeli [145]

Krater aşınması

Krater aşınması, takım ucu talaş yüzeyi ile takım üzerine temas eden talaş arasında kimyasal bir etkileşim sonucu takım malzemesinden parçaların kopmasıyla oluşur [147, 148]. Genellikle ılımlı bir krater aşınması takım ömrünü sınırlamaz. Gerçekten de krater oluşumu takım talaş açısının etkinliğini artırır ve böylece kesme kuvvetleri azalır. Fakat aşırı krater aşınması kesme kenarlarını zayıflatır ve bu durum takımın deformasyonuna veya kırılmasına yol açar. Krater aşınması, takım malzemelerinin kimyasal kararlılığının artırılması veya takımın talaş içinde çözünürlülüğünün azaltılmasıyla minimize edilebilir [141].

Çizelge 5.1. Aşınma tipleri [143, 146]



Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcak ve basınç anlamı taşır. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam edecektir. Kenar yuvarlatmanın boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesinde önemli rol oynar [129].

<u>Çentik aşınması</u>

Adhezyon ve oksidasyon aşınma mekanizmasının bu tip aşınmanın oluşumuna katkısı vardır. Çentik kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur. Aşınma, kesmenin sonunda havanın kesme bölgesiyle temas ettiği bölgede oluşması nedeni ile bölgeseldir. Çentik aşınmasının belirli bir değerin üstüne çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenar zayıflar.

Termal çatlaklar

Bu aşınma tipi genellikle ısı dağılımı nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Bu aşınma sonucunda kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir ve takım malzemesi kenardan dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda takım malzemesinde ani kırılma ve ucun kullanılamaz hale gelmesi söz konusudur. Kesme esnasında değişen talaş kalınlıkları da sıcaklık oluşumuna etkide bulunurlar.

Mekanik yorulma çatlakları

Bu çatlaklar kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlağa neden olur. Bu aşınma tipi kesmenin başlangıcında gözlenir. Bununla birlikte kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda da bu tip bir aşınma oluşur. Çatlaklar kesici kenara paraleldir.

<u>Çıtlama</u>

Bu aşınma tipi kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir. Kenar üzerindeki dikkatli bir inceleme aşınmanın serbest yüzey aşınması mı, yoksa kenardan parçacık kopması aşınması olduğunu belirleyecektir.

<u>Kırılma</u>

Kırılma, kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktarlardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken, en tehlikeli aşınma türüdür. Kenarın kırılması birçok diğer aşınma tipi için de yolun sonu demektir. Geometrinin değişimi, kenarın zayıflaması, sıcaklıktaki ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın bu tip bir aşınmaya maruz kalmasına neden olur. Yüksek kesme hızlarında ve ağır talaş kaldırma koşullarında kesici kenar üzerinde oluşan çeşitli gerilmeler kesici ucun mukavemet sınırını aştığı anda kırılmanın oluşumu kaçınılmazdır [6].

Yapışma (Yığıntı talaş (YT))

Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür [6]. YT sünek malzemelerde düşük kesme hızlarında ve sürekli talaş oluşumunda oluşabilir [149]. YT; işlenen malzemenin kesici kenarlara çok güçlü yapışması, bunların birikmesi ve çıkıntı oluşturmasıyla meydana gelir. Özellikle delmede önemli bir problemdir. YT oluşumu, etkili kesme derinliğini değiştirdiği, böylelikle kesme derinliğinin kararsız olmasına ve dolayısıyla kalitesiz bir işlenmiş yüzeyin meydana gelmesine neden olduğu için istenilmez. YT, pozitif talaş açılı takımlar kullanılarak, yağlayıcılık özelliği arttırılmış soğutucular kullanılarak ve yüksek kesme hızları kullanılarak minimize edilebilir [141].

5.4.3. Takım ömrü

Kesici bir kenar için takım ömrü kenarın, yapılması gereken bir işlemde belirlenen bir koşulu yerine getiremeyecek derecede aşınması ile sınırlıdır. Takımın yerine getirmesi gereken koşullar istenilen yüzey kalitesinin ve boyut hassasiyetinin sağlanması ve talaş kontrolüdür.

Genellikle takım ömrü ucun veya kenarın kırılması ile sona erer. Ancak talaşlı imalatta modern takımların doğru uygulamalarda kullanılmaları sayesinde bu tip aşınmaya hiçbir zaman izin verilmez. Takım ömrü kriteri genellikle yapılan işlemin ince veya kaba işlem olmasıyla değişir. Takım ömrünün sonunda, herhangi hatalı bir parça üretiminden veya takımın kırılma noktasından hemen önce kesici kenar değiştirilir. Bu açıdan ucun kırılması değil aşınması daha büyük önem taşır [6].

5.5. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış, standart bir özellik değildir. Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, başka bir deyişle iş parçasının kesici bir takımla şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. [6]. İşlenebilirlik sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve kesme hızı gibi işleme parametrelerine de bağlıdır [132]. İş parçası malzemelerinin metalurjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkiler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım tutucunun, takım tezgâhının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür [6].

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır. Malzemelerin işlenebilirliği etkileyen temel özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- Sertlik ve dayanım,
- Süneklik,
- Isıl iletkenlik,
- Deformasyon sertleşmesi (pekleşme),
- Kalıntılar (inklüzyonlar),
- İşlemeyi kolaylaştıran katkı malzemeleri [6, 144].

Malzemenin sertliği arttıkça kesici takımda abrasiv aşınma da artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım, genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmektedir ancak sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (YT) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını olumsuz olarak etkileyebilir [150]. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracağı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme esnasında oluşan ısının kesme bölgesinden hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasını sağladığından işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [130, 133, 151].

6. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlem bekletme sürelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlar üzerine farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış ve kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

6.1. İş Parçası

Deneylerde kullanılan AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1'de ve mekanik özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşenleri

| Kalite | %C | %Mn | %Si | %P | %S | %Cr | %Ni | %Mo | %Cu |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
| 316 | 0,04 | 1,18 | 0,41 | 0,038 | 0,012 | 16,3 | 10,09 | 2,02 | 0,49 |

Çizelge 6.2. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin fiziksel özellikleri

| Akma Dayanımı | Çekme Dayanımı | Sertliği (BHN) | Elastisite Modülü | |
|---------------|----------------|----------------|-------------------|--|
| 298 MPa | 298 MPa | 175 | 193 GPa | |

AISI 316 çeliği, 100 mm çapında ve 250 mm uzunluğunda çubuk şeklinde kestirilmiştir. Deney numuneleri ISO 3685 standardı göz önünde bulundurularak boy/çap oranı 10/1'den küçük olacak şekilde hazırlanmıştır. Numuneler üzerine, ayna-punta arasında işlemeye uygun olacak biçimde alın tornalama yapıldıktan sonra tek tarafına punta deliği açılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Tornalama deney numunesi

6.2. Kesici Takımlar, Takım Tutucu ve Kesme Parametreleri

6.2.1. Kesici takımlar

Deneylerde, östenitik paslanmaz çelikler için ISCAR Kesici Takım Tic. Ve İml. Ltd. Şti'nin SNMG 120412 – TF serisine ait kaplamalı ve kaplamasız takımları kullanılmıştır. Kaplamalı takım olarak; TiCN, TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı olmak üzere üç farklı kaplamalı takım kullanılmıştır. Bu takımlar aynı iç yapıya sahip olmalarına karşın yalnızca en üstteki kaplama tabakaları farklıdır. Takımların ana malzemesi karbürdür. SNMG 120412 – TF kesici takım serisinin boyutları Şekil 6.2'de, TF talaş kırıcı formunun biçimi Şekil 6.3'de, kesici takımların ISO kodları ve özellikleri Çizelge 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.2. SNMG 120412 – TF kesici takım serisinin boyutları [152]



Şekil 6.3. TF talaş kırıcı formunun biçimi [152]

| Kesici Takım Ana Malzemesi | ISO Kodu (Üretici Kodu) | Kaplama Yöntemi (Kaplama Malzemesi) | Kesici Uç Fotoğrafi |
|-------------------------------|----------------------------|---|--|
| Tungsten karbür | SNMG120412-TF (IC 20) | Kaplamasız | and the second s |
| Tungsten karbür | SNMG120412-TF (IC 3028) | PVD (TiCN) | |
| Tungsten karbür | SNMG120412-TF (IC 907) | PVD (TiAlN) | 50? |
| Tungsten karbür | SNMG120412-TF (IC 9250) | CVD (TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN) | |

Çizelge 6.3. Kesici takımların kodları ve özellikleri [152]

IC 20 (M10-M25), kaplamasız karbür takım olup çelik, dökme demir ve demir olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

IC 3028 (M15-M35) PVD kaplama olup TiCN kaplama tabakasına sahiptir. Serbest yüzey aşınmaya karşı direnç ile krater ve oksidasyona karşı direnç özelliklerini taşır [6].

IC 907 (M05-M20) PVD kaplama olup TiAlN kaplama tabakasına sahiptir. TiAlN kaplama performansı yüksek bir kaplamadır. Yüksek aşınma direnci, ısıl direnç ve kimyasal kararlılık gibi birçok özelliği tek başına içerisinde bulundurur. Oksidasyon dayanımı yüksektir. Krater aşınmasına daha dayanıklıdır. Son teknoloji tezgâhlarda performansını maksimum seviyede elde etmek mümkündür. Tek olumsuz özelliği ise renginin siyaha yakın olmasından dolayı üzerinde meydana gelen aşınma net olarak görülememektedir [155].

IC 9250 (M05-M20) CVD kaplama olup sırasıyla TiCN, Al₂O₃ ve TiN kaplama tabakalarına sahiptir. TiCN çok iyi bir yapışma özelliğine sahip bir kaplama tabakası olmasına karşın içerisinde karbon içerir ve iyi bir ısı kalkanına gereksinim gösterir. Bu nedenle bu tabakanın üzerine Al₂O₃ kaplanır [6]. Al₂O₃, ısıl iletkenliğinin düşük olması ve yüksek aşınma direnci sebebiyle uygulanır. Şeffaf renge sahip olması sebebiyle üzerinde meydana gelen aşınma miktarını çıplak gözle görmek zordur [155]. TiN, Al₂O₃ kadar sert olmamasına karşın kesici ucun yüzeylerinde daha düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi krater aşınma direnci sağlar [6].

6.2.2. Takım tutucu

Tornalama deneylerinde kullanılan kesici takımlar için ISCAR firmasından temin edilmiş DSBNR/L 2525 M12 serisi takım tutucu kullanılmıştır. Kullanılan takım tutucunun ölçüleri ve şekli, Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları [152]

6.2.3. Kesme parametreleri

Kesme parametreleri ISO 3685 standardına, seçilen kesici takımların üretici firma tavsiyesine ve literatüre bağlı olarak belirlenmiş olup, deneyler; sabit kesme derinliğinde (2,4 mm) dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan kesici takımlardan kaplamasız ve TiCN kaplı takımın tavsiye edilen kesme hızı aralığı birbirine yakın olduğundan bu iki takım için ortak kesme hızları belirlenmiştir. TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlar kesme performansı açısından diğer takımlardan daha üstün olduğu için [153] kaplamasız ve TiCN kaplı takımlardan ayrı değerlendirilerek daha yüksek kesme hızları seçilmiştir (Çizelge 6.4).

| Kesici Takım | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Hızı (mm/dev) |
|--|--------------------|------------------------|
| Kaplamasız takım | 100 120 | |
| TiCN kaplı takım | 140 160 | 0,15 |
| TiAlN kaplı takım | 120 160 | 0,45 |
| TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN kaplı takım | 200 240 | |

Çizelge 6.4. Kesici takımlar için seçilen kesme parametreleri

6.3. Kriyojenik İşlem Uygulanması

Kesici takımlar altı guruba ayrılarak beş grup izolasyonlu bir tank içerisine yerleştirilmiştir (Resim 6.1). Tankın içinde sıcaklığı kontrol etmek ve sıvı nitrojen akışını düzenlemek için termokupl bulunmaktadır. PLC kontrollü bir üniteye sahip olan tankın sıcaklığı -145 °C sıcaklığa ulaştıktan sonra 12 saat beklenmiş ve kesici takımların bir gurubu tanktan çıkarılmış ve bu işlem her 12 saatte tekrarlanmıştır. Çıkarılan takımlar, kademeli olarak oda sıcaklığına ısıtılmıştır. Böylece kesici takımlara sırasıyla 12, 24, 36, 48 ve 60 saat süreyle derin kriyojenik işlem (-145 °C)

uygulanmıştır. Derin kriyojenik işlemden sonra temperleme işlemi uygulanması ikincil karbür çökelmesini artırma ve kalıntı gerilmeleri azaltma etkisi yaptığından [13, 63, 67] kriyojenik işlem tamamlandıktan ve numuneler oda sıcaklığına getirildikten sonra bütün takımlar 200 °C'de 2 saat süreyle temperlenmiştir (Şekil 6.5).



Resim 6.1. Kriyojenik işlem uygulanan tank



Şekil 6.5. Deneylerde kullanılan kesici takımlara uygulanan ısıl işlem eğrileri

A: Herhangi bir işlem uygulanmamış

B: -145 °C'de 12 saat süreyle kriyojenik işleme tabi tutulduktan sonra 200 °C'de 2 saat temperleme uygulanmış

C: -145 °C'de 24 saat süreyle kriyojenik işleme tabi tutulduktan sonra 200 °C'de 2 saat temperleme uygulanmış

D: -145 °C'de 36 saat süreyle kriyojenik işleme tabi tutulduktan sonra 200 °C'de 2 saat temperleme uygulanmış

E: -145 °C'de 48 saat süreyle kriyojenik işleme tabi tutulduktan sonra 200 °C'de 2 saat temperleme uygulanmış

F: -145 °C'de 60 saat süreyle kriyojenik işleme tabi tutulduktan sonra 200 °C'de 2 saat temperleme uygulanmış

6.4. Takım Tezgâhı

Kesme deneyleri Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Johnford TC35 marka Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (CNC-Computer Numerical Control) torna tezgâhında yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 6.5'de verilmiştir.

| Cizelge 6.5. | CNC to | orna te | ezgâhı | özellikleri |
|--------------|--------|---------|--------|-------------|
| 5 - 0 | | | 0 | |

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

6.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ölçümünde, üç kesme kuvveti bileşenini (Fc, Ff, Fr) ölçme kapasitesine sahip, Johnford TC35 tipi CNC torna tezgâhına adaptörle bağlanmış Kistler 9257 B model dinamometre kullanılmıştır. Aynı anda üç kesme kuvveti bileşenini ölçebilen dinamometre yardımıyla, AISI 316 östenitik paslanmaz çelik çubuk tezgâh aynası ile punta arasına bağlanarak CNC torna tezgâhında kesme kuvvetlerinin ölçümü yapılmıştır. Deneyler, beş farklı kriyojenik işlem bekletme süresi için sabit kesme derinliği (2,4 mm) ve ilerleme hızı (0,3 mm/dev) kullanılarak dört farklı kesme hızında (100, 120, 140 ve 160 m/dak) 10 mm uzunluğunda silindirik tornalama yapılarak gerçekleştirilmiştir. AISI 316 çeliğinin, ayna ile punta arasında tezgâha bağlandıktan sonra, deneylerde kullanılmayan tungsten karbür kesici uç ile 0,25 mm kesme derinliğinde yüzeyinden talaş kaldırılarak numunenin salgılı dönmesi engellenmiştir. Her ölçüm için yeni kesici takım kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri, her bir deneyde talaş kaldırma süresince ölçülmüştür. "DynoWare" programı kullanılarak, kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamaları alınmış ve grafikler oluşturulmuştur (Şekil 6.6). Deneyler sonucunda, ölçülen kuvvet bileşenleri Ff, Fr ve Fc sırasıyla ilerleme kuvveti, radyal (pasif) kuvvet ve esas kesme kuvveti olarak değerlendirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin kesme parametreleri ile olan ilişkilerinin tespiti için kesme sırasında ölçülen kuvvetlerin ortalaması kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Kesme kuvveti bileşenlerinin DynoWare programında ölçülmesi

6.6. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri *Mahr M1* marka profilometre cihazı kullanılarak yapılmıştır (Resim 6.2). Kesici uçla işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü, kesici uç ilerleme yönünde ölçülmüştür. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.



Resim 6.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

| Tarama hızı | 0,5 m/sn |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Tarama kuvveti | 0,75 mN |
| İğne uç yarıçapı | 2 μm |
| Ölçüm aralıkları | 100-150 μm |
| Profil çözünürlüğü | 12 mm |
| Filtre | Gaussian |
| Örnekleme uzunluğu (λ) | 0,25 - 0,8 - 2,5 (mm) |
| Ölçme uzunluğu (L) | 1,75 – 5,6 – 17,5 (mm) |
| Ölçülebilen parametreler | Ra, Rz, Rmax |
| Güç kaynağı | Entegre, NiCd şarj edilebilir pil |
| Boyutlar | 190 x 170 x 75 mm |
| Yaklaşık ağırlık | 90 gr |

Çizelge 6.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri

Pürüzlülük ölçümünde örnekleme uzunluğu 0,8 mm ve ölçüm uzunluğu 5,6 mm seçilmiştir. İşlenen her bir yüzeyden 3'er yüzey pürüzlülüğü ölçümü alınmış ve bunların aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri belirlenmiştir.

6.7. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Kriyojenik işlem bekletme sürelerinin kesici takımın aşınma performansı üzerindeki etkileri kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak araştırılmıştır. Her bir ilerleme ve kesme hızı değeri için farklı işleme zamanı belirlenerek, işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla belirlenen bu sürelerde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu süre takım aşınma hızına göre 8 saniye ile 32 dakika arasında değişmektedir. Belirlenen süre tamamlana kadar belirli aralıklarla kesme işlemi durdurulmuş ve Dino-Lite dijital mikroskobu kullanılarak aşınan yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir. DinoCapture 2.0 programında kesici takımın genişliği (4,76 mm) tanıtıldıktan sonra takımlarda oluşan çentik ve yan yüzey aşınma miktarları ölçülmüştür (Resim 6.3). Kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları zamana, kesme hızına ve ilerleme hızına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca aşınan yüzeylerin SEM fotoğrafları çekilerek oluşan aşınma tipleri incelenmiştir.



Resim 6.3. Dino-Lite mikroskobunda kesici takımlarda oluşan yan yüzey aşınmasının ölçülmesi

Ayrıca kesici takımlarda oluşan krater aşınmalarının da krater derinliği Düzce Teknorot Otomotiv Ürünleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nde Mahr marka Conturograph cihazında ölçülmüştür (Resim 6.4). Cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.



Resim 6.4. Kesici takımlarda oluşan krater derinliğinin Conturograph cihazında ölçülmesi

| Markası | MAHR |
|-------------|------------|
| Modeli | XC 2 |
| Ölçme hızı | 0,2-4 mm/s |
| Uç tipi | Sert metal |
| Uç radüsü | 25µm |
| Hassasiyeti | 1 μm |

Çizelge 6.7. Conturograph cihazının teknik özellikleri [155]

6.8. Sertlik Ölçümü

İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların mikrosertlik ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde HMV SHIMADZU mikrosertlik test cihazında 15 saniye süre ile 200 gram yük altında gerçekleştirilmiştir (Resim 6.5). Mikrosertlik değerlerinin tespiti için, her numuneden en az 5 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Resim 6.5. Mikrosertlik test cihazı

6.9. Metalografik İnceleme

Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kaplamasız kesici takımlar sıcak presleme metoduyla bakalit içerisine gömülmüştür. Bu sayede metalografik incelemeler için gerekli ön hazırlık işlemlerinin rahatlıkla yapılabileceği elle tutulabilir numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 800 ve 1200 elek numaralı SiC zımparalar ile zımparalanıp daha sonra yüzey çizikleri yeterli seviyede yok edilinceye kadar 1 µm'lik elmas pasta içeren keçede, düşük hızda parlatılmıştır. Mikro yapı incelemelerinin daha iyi anlaşılması amacıyla Murakami çözeltisi ile numune yüzeyleri dağlanmıştır. İşlemlerin bitiminden sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde LEO 1430VP model optik metal mikroskobunda çeşitli büyütmelerde mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir.

7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında, kesici takımlara farklı bekletme sürelerinde uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, tungsten karbür kesici takımlar üzerine 12 saat (Kİ12), 24 saat (Kİ24), 36 saat (Kİ36), 48 saat (Kİ48) ve 60 saat (Kİ60) olmak üzere beş farklı bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış ve elde edilen veriler işlemsiz (Kİ00) takımlarla kıyaslanmıştır.

7.1. Metalografik İncelemeler

7.1.1. Mikro yapı incelemeleri

Tungsten karbür takımların mikro yapısında aşağıdaki farklı fazlar bulunur [10]:

- (a) α fazı: tungsten karbür (WC);
- (b) β fazı: kobalt bağlayıcı;
- (c) γ fazı: kübik kafes karbür; (TiC, TaC ve NbC vb.);
- (d) η fazı: en az bir metal bağlayıcı ve tungsten karbür içeren çoklu karbürler.

Resim 7.1'de işlemsiz ve beş farklı bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür kesici takımların α , β ve η fazlarını gösteren mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Fotoğraflarda; taneciklerinin tungsten karbür çoğunluğunu içeren gri açısal şekilli taneler α fazıdır. Kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür takımlarda α fazı numunenin her yerinde sürekli bir yapı oluşturur. Malzemenin bütününde parçacık kümeleri şeklinde yayılan a fazı parçacıkları daha büyük hacimli olduğu için kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür takımlarda bu fazın hakim olduğu mekanik özelliklere sebep olur. β fazı, daha küçük miktarda olan beyaz damar gibi bölgelerdir. Farklı bölgelerin sıcaklık değişimi β fazı içeriğine bağlıdır. β fazı içeriğinin azalmasıyla farklı bölgeler arasındaki geçiş yüksek sıcaklıklara doğru değişir ve o sebeple tungsten karbür nispeten daha yüksek sıcaklıklarda bile plastik deformasyona direnir. y fazı ise kobalt tarafından kaplanmış ve koyu gri benekler olarak ortaya çıkan karbür tipidir. Kobalt bağlayıcılı karbürlerde (Co_3W_3)C ve (Co_6W_6)C olmak üzere iki eta fazı vardır. (Co_3W_3)C fazı sinterleme işlemi süresince sıvı kobalttaki tungsten karbürün devamlı çözünmesi yüzünden büyür ve çekirdeklenir. Kriyojenik işlem boyunca daha kaba ve rasgele dağıtımlı η fazı partikülleri en kararlı biçime incelir. Daha büyük tungsten karbür parçacıkları ile birlikte bu daha ince partiküller daha yoğun, daha uyumlu ve çok daha dayanıklı matris biçimini alır. η fazı karbürleri kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda tokluk üzerine etki etmeksizin sertlik ve aşınma direncinde artış sağlar.

Kriyojenik işlem ayrıca yüksek sıcaklıklarda β fazının kimyasal kararlılığını artırır. Tungsten karbür malzemesindeki daha düşük β fazı içeriği ısıl iletkenliği artırır. Kriyojenik işlemden sonra α fazı partiküllerinin boyutundaki artışla tungsten karbür malzemesinin ısıl iletkenliği artar. Bu etki WC-Co malzemedeki sert α fazı partikül yakınlığında artışa ve ısıl iletkenlikte α fazının baskın rolünün artmasına atfedilmiştir. Kriyojenik işlem sayesinde ısıl iletkenlikteki artış ile malzemenin ısı dağıtım kapasitesi artar. Böylece, kriyojenik işlem WC-Co malzemesinin ısıl iletkenliğinde artışla sonuçlanır [10, 17, 156].

Resim 7.1'deki mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda WC fazlarının işlemsiz takımdan bir miktar daha büyük olduğu görülmektedir. XRD analizinde tane boyutu ölçümü de yaptırılmış ve tane boyutunun kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda işlemsiz takımdan daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 7.1).



Resim 7.1. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60

Sreerama Reddy ve arkadaşları, P-30 tungsten karbür takımlarda derin kriyojenik işlem uygulandıktan sonra kritik sıcaklık boyunca η fazı karbürlerinin biçimlendiğini bildirmişlerdir (Resim 7.2) [10]. Gill ve arkadaşları ise, derin kriyojenik işlem uygulanmış takımda α fazının numunenin her yerinde sürekli bir yapı oluşturduğunu

tespit etmişlerdir. Ayrıca α fazı karbürlerinin kristalografik olarak dayanıklı ve gerilimsiz bir düzene hizalandığını bildirmişlerdir (Resim 7.3b). Bu durum kırılmalara sebep olan gerilim riskini azaltarak WC-Co malzemesinin aşınma direncini artırmaktadır. Ayrıca tungsten karbür takımda derin kriyojenik işlemden sonra daha yüksek sıcaklıklara karşı koymaya imkân sağlayan β fazı içeriğinin önemli oranda azaldığını rapor etmişlerdir (Resim 7.3b). Diğer yandan işlemsiz WC-Co malzemede η fazının az miktarda olduğunu, kriyojenik işlemden sonra Co₆W₆C η fazı karbürünün çökeldiğini bildirmişlerdir (Resim 7.3a) [156]. Benzer şekilde; Vadivel ve Rudramoorthy de, η fazı karbürlerinin kriyojenik işlem uygulanmış takımda daha fazla, işlemsiz takımda ise daha az ve daha kaba olduğunu rapor etmişlerdir (Resim 7.4) [17]. Seah ve arkadaşları da, kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda işlemsiz takıma kıyasla η fazı miktarı ve dağılımının daha fazla ve daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir (Resim 7.5b) [55].



Resim 7.2. P-30 Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları [10] a) İşlemsiz b) Derin kriyojenik işlem uygulanmış



Resim 7.3. Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları [156] a) İşlemsizb) Derin kriyojenik işlem uygulanmış



Resim 7.4. Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları [17] a) İşlemsizb) Derin kriyojenik işlem uygulanmış



Resim 7.5. P-30 Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları [55] a) İşlemsiz b) Derin kriyojenik işlem uygulanmış

7.1.2. XRD incelemeleri

İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış takımların XRD analizleri Şekil 7.1'de verilmiştir. Grafiklere bakıldığında, Kİ12 ve Kİ24 takımlarında 28 derece civarında (Co_6W_6)C η fazının biçimlendiği görülmektedir. Thakur ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tungsten karbür takımlarda yağ ile soğutmada bu η fazının oluştuğnu tespit etmişlerdir [59].

η fazı piki Kİ12 takımda belirmeye başlamış ve Kİ24 takımda şiddetinde artış olmuştur. 36 saat ve daha üstü bekletme süresinde ise bu pik görülmemektedir. Diğer yandan işlemsiz takımdaki tercihli büyüme 100 düzlemi iken kriyojenik işlem görmüş tüm takımlarda tercihli büyümenin yerini 101 düzlemine bıraktığı görülmektedir. Aynı zamanda bu ve diğer düzlemlerdeki WC piklerinin şiddetlerinde işlemsiz takıma kıyasla tüm kriyojenik işlem görmüş takımlarda artış görülmüştür.

WC pik şiddetlerindeki artış malzemenin yapısında bazı değişiklikler olduğunu gösterir. Bunlar tane boyutunun küçülmesi, kristalitedeki artış ve ya o fazın (WC fazının) miktarındaki artıştır. Bununla birlikte yapılan bu çalışmada kriyojenik işlemin kesici takımların tane boyutunda bir miktar artış sağladığı belirlenmiştir (Çizelge 7.1).

Diğer yandan kesici takımların yapısal özellikleri hakkında daha detaylı bilgiye ulaşmak için Eş. 7.1 formülüyle dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplanmıştır. Burada D tane boyutunu göstermektedir.

$$\delta = \frac{1}{D^2} \tag{7.1}$$

Dislokasyon yoğunluğu, kristalin birim hacmi başına dislokasyon çizgilerinin uzunluğu olarak tanımlanır ve yüksek dislokasyon yoğunluğu değerleri malzemenin daha düşük kristalleşme seviyelerine sahip olduğunu gösterir. Yani dislokasyon yoğunluğu değerleri yapıdaki çizgisel kusurların miktarını gösterir [157].

| Çizelge | 7.1. | Kriyojenik | işlem | uygulanmış | ve | işlemsiz | takımların | tane | boyutu | ve |
|---------|------|------------|--------|---------------|-----|----------|------------|------|--------|----|
| | | dislokasyo | n yoğu | nluğu değerle | eri | | | | | |

| Kesici takım | D(Å) | $\delta x 10^{-5} (\text{\AA})^{-2}$ |
|--------------|--------|--------------------------------------|
| Kİ00 | 197,15 | 2,572 |
| Kİ12 | 225,75 | 1,962 |
| Kİ24 | 214,4 | 2,175 |
| Kİ36 | 226,8 | 1,944 |
| Kİ48 | 216,7 | 2,129 |
| Kİ60 | 234,25 | 1,822 |

Çizelge 7.1'e bakıldığında kriyojenik işlem ile kesici takımların tane boyutunda artış sağlandığı görülmektedir. Bu artış Kİ00 takıma kıyasla Kİ12, Kİ24, Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 takımlarında sırasıyla %14, %9, %15, %10 ve %19'dur. Diğer yandan dislokasyon yoğunluğu değerlerine bakıldığında kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda işlemsiz takımdan daha düşük dislokasyon yoğunluğu hesaplandığı

görülmektedir. Düşük dislokasyon yoğunluğu değerleri takımların daha yüksek kristalleşme seviyelerine sahip olduklarını gösterir. Bu durum kriyojenik işlem ile kristalleşme seviyelerinin iyileştiğinin bir göstergesidir.



Şekil 7.1. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların XRD analizi

7.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Kamody, bekletme süresinin kriyojenik işlem uygulanmış takım çeliklerinin sertliğini etkilemediğini savunmuştur [158]. Oysa Moore ve Collins, bekletme süresinin sertlik üzerine etkisinin seçilen çeliklerin kimyasal bileşimine bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir [159]. Collins'e göre, kriyojenik işlem döngüsü boyunca ince karbürlerin çökelmesi aşınma direnci ve takım tokluğunda bir artışa sebep olmakla beraber takım sertliğinde de küçük bir miktar artış sağlamaktadır [160]. Seah ve diğerleri yaptığı çalışmalarda karbür uçlarda kriyojenik işlemin herhangi bir

sertlik artışı sağlamadığını rapor etmişlerdir [55]. Thakur ve arkadaşları da, az da olsa kriyojenik işlemin karbür uçların mikrosertliğinde artış sağladığını bildirmişlerdir [59]. Gill ve arkadaşları ise karbür uçlarda %5 oranda sertlik artışı gözlemlemişlerdir [156]. Benzer şekilde yapılan bu çalışmada da uygulanan kriyojenik işlem sonucu tungsten karbür kesici takımlarda bir miktar sertlik artışı sağlandığı gözlenmiştir. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür kesici takımların mikrosertlik ölçüm sonuçlarını gösteren grafik Şekil 7.2'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek Kİ24 takımda olmakla birlikte kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımların mikrosertliğinin Kİ00 takıma kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma kriyojenik işlemin kesici takım mikro yapısında ikincil karbür çökelmesi sağlamasının sebep olduğu düşünülmektedir [10, 17, 55, 156].



Şekil 7.2. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımların mikrosertlik değişimleri

24 saate kadar bekletme süresindeki artışla birlikte kesici takımın sertliği artmış ve 24 saat bekletme süresinde maksimuma ulaşmıştır. Kİ24 takımın mikrosertliği Kİ00 takıma kıyasla %6 oranında daha yüksek ölçülmüştür. Mikrosertlik artışını en fazladan en aza doğru sıralamak gerekirse bu sıra Kİ24, Kİ12, Kİ48, Kİ36 ve Kİ60'dır. Buradan, bu çalışmada kullanılan tungsten karbür kesici takımlar için, kriyojenik işlem bekletme süresinin 24 saate kadar kesici takımların mikrosertliğini artırdığını ancak daha fazla bekletme süresinin daha düşük mikrosertlik artışı sağladığını söylemek mümkündür. Bu durumun Kİ12 ve Kİ24 takımlarında $(Co_6W_6)C \eta$ fazı oluşması ve karbürlerin homojen dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kesici takımlarda oluşan bu faz 28 derece civarında XRD analizinde tespit edilmiştir (Şekil 7.1).

Literatürde kriyojenik işlem bekletme süresinin tungsten karbür kesici takımlar üzerine etkisini araştıran bir çalışma henüz yapılmamıştır. Diğer malzemeler üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında; Das ve arkadaşları AISI D2 takım çeliği üzerine 0-132 saat arasında [69] ve Amini ve arkadaşları [161] 1.2080 takım çeliği üzerine 24-120 saat arasında farklı sürelerde derin kriyojenik işlem uygulayarak yaptıkları çalışmalarda; 36 saate kadar kriyojenik işlem bekletme süresinin malzemenin sertliğini artırdığını ancak daha fazla bekletildiğinde malzeme üzerindeki olumlu etkisinin azaldığını rapor ettikleri görülmektedir. Bu duruma kriyojenik işlem esnasında çökelen ikincil karbür miktarı ve homojen karbür dağılımının 36 saat bekletme süresinde optimale ulaşmasının sebep olduğu bildirilmiştir. Amini, 36 saaten sonra karbür oranının düştüğünü ve daha fazla bekletme süresinde karbür oranında bir değişiklik olmadığını tespit ederken; Das, 36 saatten sonra daha fazla bekletme süresinde ikincil karbür miktarında azalma tespit etmiştir. 36 saat bekletme süresinde ikincil karbür miktarında azalma tespit etmiştir. 36 saat bekletme süresinde ikincil karbür miktarında azalma tespit etmiştir. 36 saat bekletme süresinde ikincil karbür miktarında azalma tespit etmiştir. 36 saat bekletme süresinde ikincil karbür miktarında azalma tespit etmiştir.

7.3. Farklı Sürelerde Uygulanan Derin Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisi

7.3.1. Kesici takım aşınmanın değerlendirilmesi

AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde, 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında (100, 120, 140, 160 m/dak), Kİ00, Kİ12, Kİ24, Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 olmak üzere beş farklı bekletme süresinde kriyojenik işleme tabi tutulmuş tungsten karbür kaplamasız takımların aşınma grafikleri Şekil 7.3-7.13'de sırasıyla verilmiştir.

Sekil 7.3'te verilen 0,3 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızında islemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların zamana bağlı yan yüzey aşınması grafiği incelendiğinde, kriyojenik işlem uygulanmış takımların hepsinin işlemsiz takımdan daha iyi aşınma performansı sergilediği görülmektedir. Bununla birlikte en iyi aşınma performansını Kİ24 takımı sergilemiştir. Bu takımı sırasıyla Kİ12, Kİ36, Kİ60 ve Kİ48 takımları takip etmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha az aşınması, kriyojenik işlemin homojen karbür dağılımı ve ikincil karbür çökelmesi sağlayarak kesici takımlara kazandırmış olduğu yüksek sertlik ve aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir [14, 17-19, 55, 59]. Grafikte, Kİ00 takımın başlangıçta diğer takımlara yaklaşık değerlerde aşındığı, ancak 4. dakikadan sonra aşınma miktarının hızla artarak tüm takımlar arasında en yüksek aşınma hızına ulaştığı görülmektedir. Bu durum, Kİ00 takımın kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlara kıyasla daha düşük sertlik ve aşınma direncine sahip olması sebebiyle daha hızlı aşınması ile açıklanabilir. Yan yüzey aşınması; abrasiv aşınma mekanizması sonucu oluşan bir aşınma tipidir. Çoğunlukla iş parçası malzemesinden gelen sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın abrasiv aşınma mekanizmasına karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır [126]. Diğer yandan Kao, yaptığı çalışmada kriyojenik işlemden sonra tungsten karbür kesici takımlarda abrasiv aşınma direncinde artış olduğunu rapor etmiştir [162]

10 dakika kesme işleminin sonunda en yüksek yan yüzey aşınması miktarı 0,165 mm olarak Kİ00 takımda ölçülmüştür. En iyi aşınma performansı sergileyen Kİ24 takımının Kİ00 takıma kıyasla %29 daha az aşındığı tespit edilmiştir. Kİ12 takımı ise Kİ00 takıma göre %24, Kİ36 takımı %21, Kİ60 takımı %18 ve son olarak Kİ48 takımı %11 daha az aşınmıştır. Burada, 24 saate kadar uygulanan kriyojenik işlemin kesici takımın aşınma performansını artırdığı ve daha fazla bekletme süresinde bu etkinin azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde Das ve arkadaşları, AISI D2 takım çeliği üzerinde belirli bir bekletme süresine kadar kriyojenik işlemin aşınma performansını olumlu etkilediği ancak kriyojenik işlem bekletme süresinin artmasıyla bu etkinin azaldığını rapor etmişlerdir [69]. Sekil 7.4'te 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında işlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların zamana bağlı çentik aşınmasındaki değişim grafiği verilmiştir. Çentik aşınması, adhezyon ve oksidasyon aşınma mekanizmasının bir kombinasyonu sonucunda oluşur [6]. Kesme şartlarının düşük olması nedeniyle oluşan ısı da düşük olacağından kesici kenara sıvanma kaçınılmazdır. Grafik incelendiğinde Şekil 7.3'teki gibi kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımların işlemsiz takımdan daha iyi performans sergildiği görülmektedir. Genel itibariyle Kİ48 takımı en düşük değerde aşınırken, Kİ12, Kİ24 ve Kİ60 takımları da bu takıma yakın değerlerde aşınmıştır. Ancak Kİ36 takımı 7. dakikaya kadar kriyojenik işlem uygulanmış diğer takımlara yakın değerlerde aşınırken bu süreden sonra aşınma miktarı artmıştır. Kİ00 takımı ise, henüz 4. dakikadan sonra hızlı bir şekilde aşınarak tüm takımlar arasında en fazla aşınan takım olmuştur. 10 dakika sonunda Kİ00 takım neredeyse ömrünü tamamlarken Kİ36 hariç kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlar düzenli bir şekilde aşınma eğilimi göstermişlerdir. Kİ00 ve Kİ36 takımların esas kesme kenarındaki bu centik aşınması artışının, takımların kesme kenarında sıvanma nedeniyle oluşan yığıntı talaştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çizelge 7.2'de bu durum açıkça görülmektedir. Kesme işleminde iş parçası malzemesinin, takımın talaş yüzeyine yapışması yığıntı talaş (YT) olarak bilinmektedir [163]. Bu olay çoğunlukla sünek malzemelerin işlenmesinde sıkça görülmektedir. Sünek yapısı nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklerin de işlenmeleri esnasında, iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında temas bölgelerinde çok güçlü bir yapışma eğilimlerinin olduğu bilinmektedir [6]. Yapılan bu çalışmada da ısıl işlem farkı olmaksızın tüm kesici takımlarda YT oluşumları gözlenmiştir.


Şekil 7.3. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi



Şekil 7.4. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında çentik aşınmasının zamana bağlı değişimi

Kİ00, Kİ36 ve Kİ60 takımlarında esas kesme kenarında daha 2. dakikada çentik aşınması başlarken Kİ48 takımda 4. dakikada, Kİ12 ve Kİ24 takımlarda ise 5. dakikada başlamıştır (Resim 7.6). 10 dakika kesme işleminin sonunda en yüksek çentik aşınması miktarı 1,027 mm ile Kİ00 takımda ölçülmüştür. Kİ36, Kİ60, Kİ24,

Kİ12 ve Kİ48 takımlarında ise Kİ00 takıma göre sırasıyla %26, %58, %69, %74 ve %80 daha küçük çentik aşınması oluştuğu tespit edilmiştir.



Resim 7.6. Kİ12 ve Kİ24 takımların 5. dakikadaki aşınma fotoğrafları

Çizelge 7.2'de tüm kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında zamana bağlı olarak aşınma fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflara bakıldığında, öncelikle tüm kesici takımlarda yan yüzey aşınmasının oluştuğu görülmektedir. Ayrıca, paslanmaz çeliklerin işlenmesinde başlıca karşılaşılan aşınma tiplerinden olan YT ve çentik aşınmasının oluştuğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kesici takımlarda oluşan bu aşınma tiplerinin kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda işlemsiz takımdan daha az oluştuğu belirlenmiştir.

Çizelge 7.2'deki fotoğraflar incelendiğinde Kİ00 takımda daha 2. dakikada çentik aşınmasının başladığı, 6. dakikada ise kesici takımın yan yüzeyine yapışan talaşın koparken beraberinde takımdan da bir parça kopardığı ve böylece oluşan çentiğin genişliğini ve boyunu artırdığı görülmektedir. Bu durum kesici kenarın dayanımını azaltarak takımın ani kırılmasına sebep olmaktadır [6]. Fotoğraflarda Kİ00 takımdaki YT oluşumunun diğer tüm takımlardakinden daha büyük olduğu açıkça görülmektedir. Kİ00 takımdan sonra büyük çentik Kİ36 takımda en oluşmuştur.

| | 2 dak | 4 dak | 6 dak | 8 dak | 10 dak |
|------|--------------------|---------|-------|-------|-------------|
| Kİ00 | | | | | I.o.2 mm |
| Kİ12 | | | | | H 0,2 mm |
| Kİ24 | | | | | H 0,2 mm |
| Kİ36 | | A Start | Ę | | T |
| Kİ48 | | | | | Ц 0,2 mm |
| Kİ60 | Contraction of the | | | | Ц 0,2 mm |

Çizelge 7.2. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları

Literatürde, takım ucu talaş yüzeyi ile takım üzerine temas eden talaş arasında yüksek sıcaklıkların etkisi ile difüzyon yani atomların çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçmesi krater aşınmasına neden olmaktadır. Difüzyonun gerçekleşmesindeki en önemli faktör ise takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki kimyasal benzerliktir. D'Ericco ve Calzavarini kesici takım ve iş parçası arasındaki kimyasal benzerliğin bu aşınmada etkili olduğunu ve bu tip aşınmaların sertlik ve toklukla bağlantılı olarak değerlendirilmemesini rapor etmiştir [164]. 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında tüm takımlarda krater aşınmasının oluştuğu tespit edilmiştir. 10 dakika kesme işleminin sonunda kesici takımlarda oluşan krater derinliğinin ölçüm sonuçları Şekil 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.5 incelendiğinde, yan yüzey aşınması ve çentik aşınması grafiklerinde olduğu gibi kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda ölçülen krater derinliğinin işlemsiz takımdan daha düşük olduğu görülmektedir. Kİ00 takıma kıyasla %68 oranla en düşük krater derinliği Kİ60 takımda ölçülmüştür. Bu takımı sırasıyla Kİ48, Kİ12, Kİ36 ve Kİ24 takımları takip etmiştir. Benzer şekilde Vadivel ve Rudramoorthy de, işlemsiz ve derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı tungsten karbür kesici takımlarla AISI/SAE 80-55-06 SG iş parçası malzemesini farklı kesme parametrelerinde tornalamışlar ve kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda daha az krater aşınması oluştuğunu gözlemlemişlerdir [17]. Bir başka çalışmada Ramji ve arkadaşları işlemsiz ve derin kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür takımlarla beyaz dökme demiri tornalamışlar ve krater aşınmasının işlemsiz takımlarda kriyojenik işlem uygulanmış takımlardan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir [165]. Yazarlar, bu duruma kriyojenik işlemin kesici takımı kimyasal olarak inert yapması ve kesme sıcaklığını azaltmasının sebep olduğunu iddia etmişlerdir [17, 165].



Şekil 7.5. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri

Kesici takımların aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılması amacıyla Resim 7.7'de SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde, AISI 316 çeliğinin 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında işlenmesi sonrasında tüm takımlarda aynı olmakla birlikte birçok aşınma tipinin oluştuğu görülmektedir. Tüm takımlarda, abrasiv aşınma mekanizmasının sebep olduğu yan yüzey aşınmasının oluştuğu tespit edilmiştir.

Kİ00 takımda bu aşınma tipinin miktarının diğer takımlara kıyasla daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca oksidasyon ve adhesiv aşınma mekanizmasıyla oluşan çentik aşınması da tüm takımlarda görülmekle beraber Kİ00 takımda oluşan çentik oldukça büyüktür. Bununla birlikte Kİ00 takımın kesme kenarında çıtlamaların oluştuğu görülmektedir. Diğer yandan tüm takımlarda abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmasıyla oluşan krater aşınması ve adhesiv aşınma mekanizmasının sebep olduğu YT oluşumuna rastlanmaktadır. Kesme kenarında oluşan YT'nin Kİ00 takımda daha büyük hacimde oluştuğu görülmektedir. Yine tüm takımların krater yüzeylerinde yığıntı katmanı şeklinde yapışmaların meydana geldiği ve kesici takımların yardımcı kesici kenar yüzeyinde de çentik oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca Kİ24 takımı hariç tüm kesici takımlarda, kesme kenarı boyunca oluşan YT ve çentik aşınmalarının kesici kenar formunu değiştirdiği görülmektedir.



Resim 7.7. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60

0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında işlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların zamana bağlı yan yüzey aşınması grafiği Şekil 7.6'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, genel olarak tüm takımların aşınma eğilimlerinin benzer olduğunu söylemek mümkündür.

Bununla birlikte 100 m/dak kesme hızında olduğu gibi en iyi aşınma performansını Kİ24 takımının sergilediği görülmüştür. Bu takıma en yakın performans ise Kİ12 ve Kİ36 takımları tarafından sergilenmiştir. Kİ60 takımı 2. dakikaya kadar en fazla aşınan takım iken bu dakikadan sonra aşınma hızı yavaşlamış ve 3 dakika kesme işleminin sonunda Kİ00 takımı 0,213 mm ile tüm takımlar içinde en fazla aşınan takım olmuştur. Kesici takımlar arasındaki aşınma farkları değerlendirildiğinde, Kİ00 takıma kıyasla Kİ60 takımında %4, Kİ48 takımında %10, Kİ36 takımında %20, Kİ12 takımında %26 ve son olarak Kİ24 takımında %27 daha az aşınma oluştuğu tespit edilmiştir. Bu duruma kriyojenik işlemin kesici takımın sertliği ve aşınma direncinde artış sağlamasının sebep olduğu düşünülmektedir [10, 17, 55, 156, 166].



Şekil 7.6. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi

Çentik aşınması açısından değerlendirilecek olursa, tüm takımlar arasında yine en fazla aşınan takımın Kİ00 takımı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.7). En düşük çentik aşınması ise Kİ12 takımı tarafından sergilenmiştir. Grafik incelendiğinde, genel olarak Kİ48 ve Kİ60 takımlarının aşınma eğilimlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Kİ24 ile Kİ36 takımlarında ise 1,25. dakikaya kadar çentik aşınması oluşmamıştır. En düşük aşınma sergileyen Kİ12 takımda ise daha 0,5. dakikada

çentik oluşmasına rağmen çentiğin ilerleyişi oldukça yavaş olmuştur. Bu durum, belirli aralıklarla çekilmiş aşınma fotoğraflarının olduğu Çizelge 7.3'te açıkça görülmektedir. 3 dakika kesme işleminin sonunda kesici takımlar arasındaki aşınma farkları dikkate alındığında, Kİ00 takıma kıyasla Kİ48, Kİ60, Kİ36, Kİ24 ve son olarak Kİ12 takımında sırasıyla %14, %18, %34, %48 ve %65 daha düşük aşınma oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.7. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında çentik aşınmasının zamana bağlı değişimi

Çizelge 7.3'teki fotoğraflar incelendiğinde tüm takımlarda ilk göze çarpan aşınma tipi yan yüzey aşınmasıdır. Fotoğraflarda, henüz ilk kesme işlemi (0,5 dak) gerçekleştiğinde Kİ00 takımdaki yan yüzey aşınmasının diğer takımlara kıyasla daha büyük olduğu ve ilerleyen kesme zamanı ile birlikte aşınma miktarının hızla arttığı görülmektedir. Öyle ki Kİ24 takımda 3 dakikada oluşan yan yüzey aşınması miktarına Kİ00 takımda neredeyse 1 dakikada ulaşılmıştır. Yine Kİ00 takımda daha fazla olmakla birlikte tüm takımlarda YT oluşumu gözlenmiştir. Diğer yandan Kİ12 ve Kİ24 takımlarda YT oluşumu ve çentik aşınması kriyojenik işlem uygulanmış diğer takımlara nazaran daha az miktarda olmuştur.



Çizelge 7.3. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları

Kesici takımlarda oluşan krater derinlikleri değerlendirildiğinde, kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda ölçülen krater derinliğinin işlemsiz takımdan daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 7.8). En düşük krater derinliği Kİ24 takımla ölçülmüştür. Bu takıma en yakın performansı Kİ48 takımı sergilemiştir. 3 dakikalık kesme işleminin sonunda Kİ12, Kİ24, Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 takımlarında krater derinliğinin Kİ00 takıma kıyasla sırasıyla %10, %38, %15, %34 ve %19 oranda daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.8. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri

Resim 7.8'deki SEM fotoğraflarına bakıldığında, Resim 7.7'deki gibi aşınma izlerinin tüm takımlarda kesici takımın kesme kenarı boyunca düzenli bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte tüm takımların talaş yüzeyinde krater aşınması ve yapışmalar meydana gelmiştir. İş parçasından ayrılarak kesici takıma yapışan parçacıklar Şekil 7.9'da verilen SEM fotoğraflarında çizgi boyunca yapılan EDX analizinde açıkça görülmektedir. Grafiklerde, krater alanında baskın element W iken girinti ve çıkıntılarda bu element yerini işparçası malzemesinden gelen Fe elementine bırakmıştır. Burada, adhezyon aşınma mekanizması etkisi ile yapışmaların meydana geldiği söylenebilir.



Resim 7.8. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60



Şekil 7.9. 0,3 mm/dev ilerleme hızı ve 120 m/dak kesme hızında kesici takımların krater yüzeylerinin EDX analizi a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60

SEM fotoğrafları incelendiğinde, Kİ12 ve Kİ48 takımların burun yüzeylerinde çıtlamaların oluştuğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, Resim 7.7'den farklı olarak, tüm takımların yardımcı kesme kenarında oluşan çentiğin Kİ24 takımda oluşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kesici takımların kesme kenarlarında oluşan çentik aşınmasının Resim 7.7'deki kesici takımlara kıyasla daha küçük olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan YT oluşumunun da 100 m/dak kesme hızına göre daha küçük ebatlarda oluştuğu göze çarpmaktadır. Bu duruma, artan kesme hızıyla sıcaklığın artmasının ve böylece kesici takımda oluşan YT'nin sertliğini ve dayanımını kaybederek kesici uçtan uzaklaştırılmasının sebep olduğu düşünülmektedir [27].

Resim 7.8'de Kİ00 takımın burun kısmında plastik deformasyon olustuğu görülmektedir. Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Kesici kenarın bu şekilde deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır. Östenitik paslanmaz çeliklerin bu kesme şartlarında işlenmesinde kesici takımda bu aşınma tipinin oluşması beklenen bir durumdur. Takım malzemesinin yüksek ısı ve basınca dayanabilmesi ve plastik deformasyona uğramaması için yüksek kızıl sertliğe sahip olması gerekir. Kızıl sertlik, malzemenin yüksek sıcaklıklarda sertliğini kaybetmemesi anlamına gelir [6, 126]. Sreerama Reddy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, derin kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür kesici takımların işlemsiz takıma kıyasla daha yüksek kızıl sertlik sergilediğini rapor etmişlerdir [10].

0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında kesici takımlarda oluşan yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi Şekil 7.10'da verilmiştir. Grafiğe bakıldığında, tüm takımların aşınma eğilimlerinin benzer olmakla beraber diğer kesme hızlarında olduğu gibi Kİ24 takımın en düşük aşınan takım olduğu görülmektedir. 45 saniye kesme işleminin sonunda Kİ00 takımı 0,262 mm aşınmıştır. Kİ00 takıma kıyasla Kİ36 takımın %2, Kİ48 takımın %3, Kİ12 takımın %10 ve Kİ24 takımın %15 daha az aşındığı tespit edilmiştir. Kİ60 takımı ise Kİ00 takıma göre %3 daha fazla aşınarak en kötü aşınma performansını sergileyen takım olmuştur.



Şekil 7.10. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

100 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarındakinin aksine, bu kesme hızında tüm kesici takımlarda YT oluşumunun yok denecek kadar az olduğu ve kesici takımların hiç birinde çentik aşınmasının oluşmadığı gözlenmiştir (Çizelge 7.4). Bu durum, kesme hızındaki artışla birlikte takım-iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklık artışının YT oluşumunu azaltmasıyla ilişkilendirilmiştir [6, 22]. Aşınma fotoğrafları incelendiğinde kesici takımların hepsinde yan yüzey aşınmasının oluştuğu açık bir şekilde görülmektedir. Aşınma miktarları birbirine yakın görünmekle beraber en düşük yan yüzey aşınması Kİ24 takımda oluşmuştur.

140 m/dak kesme hızında, kesici takımların krater derinlikleri arasında dikkat çeken bir fark olmamakla beraber en düşük krater derinliği Kİ12 takımda ölçülmüştür (Şekil 7.11). Bu takıma en yakın performansı Kİ24 takımı sergilemiştir. En yüksek krater derinliği ise Kİ36 takımda ölçülmüştür.



Şekil 7.11. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri

0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında, yine tüm takımlarda kesme kenarı yüzeylerinde aşınma meydana gelmiş ve talaş yüzeylerinde krater aşınması oluşmuştur (Resim 7.9). Diğer kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme hızında da krater yüzeyinde yapışmalar meydana gelmiştir. Resim 7.7 ve Resim 7.8'ten farklı olarak bu kesme hızında kesici takımların hiç birinde kesici kenarda çentik aşınmasına rastlanmamaktadır. Ancak 100 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında olduğu gibi Kİ00 takımın yardımcı kesici kenar yüzeyinde yine çentik aşınmasının oluştuğu tespit edilmiştir. Diğer yandan tüm takımlarda YT oluşumunun önüne geçilemediği ancak boyutunun daha da küçüldüğü görülmektedir.



Çizelge 7.4. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Resim 7.9. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60

Şekil 7.12, 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda oluşan yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 7.12. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında yan yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi

Diğer kesme hızlarındaki gibi bu kesme hızında da yan yüzey aşınması açısından Kİ24 takımı en az aşınan takım olmuştur. Şekil 7.10'daki gibi bu grafikte de en kötü performansı sergileyen takımın Kİ60 takımı olduğu görülmektedir. 15 saniye kesme işleminin sonunda Kİ00 takımda 0,242 mm aşınma ölçülmüştür. Kİ00 takıma kıyasla Kİ48 takımının %1, Kİ36 takımının %3, Kİ12 takımının %8 ve Kİ24 takımının %17 daha az aşındığı belirlenmiştir. Kİ60 takımı ise Kİ00 takıma göre %1 daha fazla aşınmıştır.

140 m/dak kesme hızında olduğu gibi bu kesme hızında da hiçbir takımda çentik aşınmasına rastlanmamıştır (Çizelge 7.5). Fotoğraflara bakıldığında tüm kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme hızında da tüm kesici takımlarda yan yüzey aşınmasının oluştuğu açık bir şekilde görülmektedir. Kesme zamanıyla birlikte tüm takımlardaki aşınmanın ilerleyişi birbirine yakın olmuştur. Diğer yandan Kİ60 takımda ilk kesme işleminden itibaren ve Kİ12 takımda 9. saniyede burun kısmında çıtlama oluşmuş ve ilerleyen kesme zamanıyla birlikte çıtlamanın büyüklüğü de artmıştır.



Çizelge 7.5. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları

Şekil 7.13'e bakıldığında en düşük krater derinliğinin Kİ24 takımda ölçüldüğü görülmektedir. Kİ00 takıma kıyasla %47 oranda daha az aşınmıştır. En yüksek krater derinliği ise Kİ60 takımda ölçülmüştür. Kesici takımlardaki krater derinliği ölçümlerini en düşükten en yükseğe sıralamak gerekirse bu sıra Kİ24, Kİ12, İ, Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 şeklindedir.



Şekil 7.13. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki krater derinliği değerleri

Kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılması ile birlikte kesici takımlarda YT oluşumu iyice azalmıştır (Resim 7.10). Ancak Kİ00 takımda oluşan YT'nin oldukça büyük olduğu göze çarpmaktadır. Diğer kesme hızlarında olduğu gibi 160 m/dak kesme hızında da tüm takımlarda yan yüzey aşınması ile talaş yüzeyinde krater aşınmasının oluştuğu görülmüştür. Resim 7.9'daki gibi kesici takımların hiçbirinin kesme kenarında yüksek kesme hızlarında yığıntı talaş oluşumu azalmasından dolayı çentik aşınmasına rastlanmamıştır. Fakat Kİ12, Kİ48 ve Kİ60 takımlarının burun kısmında çıtlamaların oluştuğu tespit edilmiştir.



Resim 7.10. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ12 c)Kİ24 d)Kİ36 e)Kİ48 f)Kİ60

Genel Değerlendirme

0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında (100, 120, 140 ve 160 m/dak) farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların işlemsiz takıma kıyasla aşınma farkları Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.6'daki kesici takımlar arasındaki yan yüzey aşınması farkları incelendiğinde, genel bir değerlendirme yapılacak olursa, düşük kesme hızlarında (100 m/dak ve 120 m/dak) kriyojenik işlem uygulanmış bütün takımların, işlemsiz takımdan daha iyi aşınma performansı sergilediği görülmektedir. Ancak kesme hızının arttırılmasıyla kesici takımlar arasındaki aşınma farkı azalmış, bununla birlikte Kİ36 ve Kİ48 takımı Kİ00 takıma çok yakın değerlerde aşınmış, hatta Kİ60 takımı Kİ00 takımdan daha kötü performans sergilemiştir.

Deneylerde, bütün kesme hızlarında yan yüzey aşınması açısından en iyi aşınma performansının Kİ24 takımı tarafından sergilendiği söylenebilir. Genel olarak, bu takımı sırasıyla Kİ12, Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 takımı takip etmiştir. Yüksek kesme hızlarında kesici takımlar arasında az olan ömür farkı ideal kesme parametrelerinde belirgin bir farka ulaşmıştır. Yüksek kesme hızları kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına, kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına ve kesici takımın hızla aşınarak bozulmasına sebep olmaktadır [6].

Çizelge 7.6. Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlemsiz takıma kıyasla yan yüzey aşınması farkları

| Kesme Süresi (dakika) | Kesici takım Kesme hızı (m/dak) | Kİ12 | Kİ24 | Kİ36 | Kİ48 | Kİ60 |
|-----------------------------|--|------|------|------|------|-------|
| 10 | 100 | %24 | %29 | %21 | %11 | %18 |
| 3 | 120 | %26 | %27 | %20 | %10 | %4 |
| 0,75 | 140 | %10 | %15 | %2 | %3 | %3(-) |
| 0,25 | 160 | %8 | %17 | %3 | %1 | %1(-) |

Çentik aşınması açısından değerlendirmek gerekirse, yüksek kesme hızlarında tüm kesici takımlarda herhangi bir çentik aşınması görülmemiştir (Çizelge 7.7). Düşük kesme hızlarında ise tüm kesici takımlarda çentik aşınması oluşmakla beraber kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda ölçülen çentik aşınması miktarı işlemsiz takımdan daha düşüktür. Genel itibariyle en iyi aşınma performansını Kİ12 ve Kİ24 takımları sergilemiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlar arasında Kİ48 takımı 100 m/dak kesme hızında en düşük aşınan takım iken 120 m/dak kesme hızında en fazla aşınan takım olmuştur. Kİ36 ve Kİ60 takımları ise diğer bekletme sürelerine kıyasla daha düşük performans sergilemişlerdir. Çizelge 7.8'e bakıldığında, düşük kesme hızlarında kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda Kİ00 takımdan daha düşük krater derinliği ölçüldüğü görülmektedir. Ancak yüksek kesme hızlarında aynı şeyi söylemek mümkün değildir. 36 saat ve daha üstünde bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha üstünde bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha üstünde bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış takımlar bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda daha yüksek krater derinliği ölçülmüştür.

Literatürde, Darwin ve arkadaşları, optimum derin kriyojenik işlem parametrelerini belirlemek için iki iterasyonlu Taguchi tasarımı kullanarak (6-36 saat aralığında) yaptıkları çalışmada; SR34 çeliği için kriyojenik işlem bekletme süresinin aşınma direncinin iyileşmesine katkısının % 24 olduğunu ve en iyi bekletme süresinin 36 saat olduğunu belirlemişlerdir [24]. Diğer yandan, Das ve arkadaşları AISI D2 takım çeliği üzerine 0-132 saat aralığında farklı sürelerde uygulanan kriyojenik işlemde, maksimum aşınma direncinin 36 saat kriyojenik işlem görmüş malzemede görüldüğünü, artan bekletme süresinde ise aşınma direncinde bir miktar düşüş olduğunu bildirmişlerdir. Ancak kriyojenik işlem uygulanmış hiçbir numune işlemsiz numuneden daha kötü asınma performansı sergilememiştir [69]. Yapılan bu çalışmada ise benzer şekilde 24 saate kadar artan kriyojenik işlem bekletme süresi ile aşınma direncinde artış sağlanmış ve 24 saatte maksimuma ulaşmıştır. 24 saatten sonra artan kriyojenik işlem bekletme süresinde kesici takımların aşınma performansında bir miktar düşüş olmakla birlikte; düşük kesme hızlarında kriyojenik işlem uygulanmış hiçbir takım işlemsiz takımdan daha kötü aşınma performansı sergilememiştir. Bu açıdan bu çalışmada düşük kesme hızlarında elde edilen veriler Das ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile paralellik arz etmektedir. Ancak yüksek kesme hızlarında yapılan aşınma deneylerinde yan yüzey aşınması açısından Kİ60

takımı, karater aşınması açısından ise Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 takımları Kİ00 takımdan daha kötü performans sergilemiştir.

Diğer yandan, Gogte ve arkadaşları AISI T42 takım çeliği üzerine 8, 16 ve 24 saat süreyle derin kriyojenik işlem uygulayarak yaptıkları çalışmada, kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve ikincil karbür çökelmesinin ilk 8 saat içerisinde oluşmaya başladığını tespit etmişlerdir. AISI T42 çeliği için 24 saat kriyojenik işlem uygulandığında aşınma direncinin arttığını ancak 8 saat bekletme süresinin de yeterli olacağını bildirmişlerdir [167]. Bununla birlikte bir çok araştırmacı tarafından AISI M2 çeliği üzerine farklı sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış ve araştırmacıların hepsi kriyojenik işlemin aşınma direncinde artış sağladığını rapor etmişlerdir. Bu araştırmacılar ve bekletme süreleri; Leskovsek ve arkadaşları [68] 1 saat, Da Silva ve arkadaşları [8] 20 saat, Firouzdor ve arkadaşları [19] 24 saat, Molinari ve arkadaşları [168] 35 saat ve Huang ve arkadaşları [66] 168 saattir.

Çizelge 7.7. Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlemsiz takıma kıyasla çentik aşınması farkları

| Kesme Süresi (dakika) | Kesici takım Kesme hızı (m/dak) | Kİ12 | Kİ24 | Kİ36 | Kİ48 | Kİ60 |
|-----------------------------|--|------|------|------|------|------|
| 10 | 100 | %74 | %69 | %26 | %81 | %58 |
| 3 | 120 | %65 | %48 | %34 | %14 | %18 |
| 0,75 | 140 | - | _ | _ | _ | - |
| 0,25 | 160 | - | - | - | - | - |

Çizelge 7.8. Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlemsiz takıma kıyasla krater derinliği farkları

| Kesme Süresi (dakika) | Kesici takım Kesme hızı (m/dak) | Kİ12 | Kİ24 | Kİ36 | Kİ48 | Kİ60 |
|-----------------------------|--|------|------|-------|-------|--------|
| 10 | 100 | %26 | %13 | %17 | %28 | %68 |
| 3 | 120 | %10 | %38 | %15 | %34 | %19 |
| 0,75 | 140 | %11 | %1 | %9(-) | %3(-) | %2(-) |
| 0,25 | 160 | %33 | %47 | %2(-) | %3(-) | %14(-) |

Elde edilen bu sonuçlardan yola çıkarak, bu çalışmada kullanılan tungsten karbür takımlar üzerine 24 saate kadar uygulanan kriyojenik işlemin, kesici takımın aşınma performansını optimum düzeyde iyileştirdiği ancak bekletme süresinin artmasıyla bu etkinin azaldığı ve en uzun bekletme süresi olan 60 saat bekletme süresinde uygulanan kriyojenik işlemin yüksek kesme hızlarında kesici takımın aşınma performansı üzerinde olumsuz etki yaptığı söylenebilir. Genel olarak Kİ12 ve Ki24 takımlarda daha iyi aşınma performansı görülmesinin η karbür çökelmesine atfedilmiştir (Şekil 7.1).

7.3.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri Sekil 7.14'te verilmiştir. Tüm takımlar için ortalama yüzey pürüzlülük değeri 2,284 – 4,729 µm aralığında ölçülmüştür. Şekil 7.14'teki grafik incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin Kİ24 takımla elde edildiği görülmektedir. Bu takımı sırasıyla Kİ12, Kİ36, Kİ60, Kİ48 ve Kİ00 takımı takip etmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçülmesi, kriyojenik işlemin kesici takım sertliği ve aşınma direncinde sağlamış olduğu artış sayesinde takımların kesici kenarlarının keskinliğini sürdürmesi ile ilişkilendirilmiştir [17]. Takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü arasında belirgin bir ilişki vardır [169]. Diğer yandan Kİ12, Kİ24 ve Kİ36 takımlarda ilerleyen kesme zamanı ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde çok fazla değişim görülmezken, İ, Kİ48 ve Kİ60 takımlarda yüzey pürüzlülük değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu durum, ilerleyen kesme zamanıyla birlikte artan kesici takım aşınmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kesici takım aşınmasının kesme kenarının bozulmasına sebep olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerini arttırdığı bilinmektedir [56, 169]. Yüzey kalitesi büyük oranda torna kesici takımlarının yan yüzey aşınmasıyla kontrol edilen takım ucu tutarlılığı ve ölçüsel doğruluğuna bağlıdır [10, 170]. Çizelge 7.2'de Kİ00 takım başta olmakla beraber bu üç takımda oluşan aşınma sebebiyle kesici kenar formlarının oldukça bozulduğunu görmek mümkündür.



Şekil 7.14. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi

0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği Şekil 7.15'te verilmiştir. 3 dakika kesme işlemi süresince ölçülen Ra değerleri 2,365 – 4,357 μm aralığındadır. Grafiğe bakıldığında, yine en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en düşük aşınma hızına sahip olan Kİ24 takımıyla elde edildiği açık bir şekilde görülmektedir. Bu takımdan sonra en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri genel itibariyle sırasıyla Kİ60, Kİ12, Kİ36, Kİ48 ve Kİ00 takımlarından elde edilmiştir. Diğer yüzey pürüzlülüğü grafiklerinin aksine bu grafikte tüm kesici takımlarla elde edilen Ra değerlerinin Kİ24 takıma oldukça uzak olduğu görülmektedir. Bu duruma Kİ24 takımı hariç tüm takımların yardımcı kesici kenar yüzeylerinde oluşan çentik aşınması ve Kİ00 takımda da plastik deformasyon oluşması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemiştir (Bkz. Resim 7.8).



Şekil 7.15. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi

140 m/dak kesme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi incelendiğinde ise Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'teki grafiklerin aksine, ilerleyen kesme zamanıyla birlikte tüm takımlar için yüzey pürüzlülüğünde artış eğilimi görülmektedir (Şekil 7.16). Ramji yaptığı çalışmada, dökme demirin kriyojenik işlem uygulanmış ve işlemsiz takımlarla tornalanmasında kesme süresindeki artışla yüzey pürüzlülüğünün de arttığını rapor etmiştir. Bu durumu kesme süresindeki artışla kesici takımın aşınmasına atfetmiştir [171]. Benzer gözlemler Aslantaş ve arkadaşları tarafından da rapor edilmiştir [172]. Bilindiği gibi kesici takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü kötüleşmektedir. Dhar ve arkadaşları da takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü arasında belirgin bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir [169].

Tüm takımlar için ölçülen Ra değerleri 2,205–4,552 µm aralığındadır. Genel itibariyle en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla Kİ24, Kİ60, Kİ36, Kİ12 ve Kİ48 takımlarından elde edilmiştir. Kİ00 takımı ise tüm takımlar arasında en yüksek Ra değerleri ile en kötü performansı sergileyen takım olmuştur. Kesici takımlar arasında Kİ00 takımın bu denli kötü yüzey pürüzlülüğü değerleri sergilemesine, hem

kesici kenarın aşırı aşınması hem de yardımcı kesici kenarında oluşan çentik aşınmasının sebep olduğu düşünülmektedir (Bkz. Resim 7.9).



Şekil 7.16. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi

Son olarak 160 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğü değişimini değerlendirmek gerekirse; tüm takımlar için 9. saniyeye kadar düşüş eğiliminde olan yüzey pürüzlülüğü değerleri bu süre sonrasında artış eğilimi göstermiştir (Şekil 7.17). Kesme işlemi süresince, tüm takımlar için 2,494 – 4,445 µm aralığında yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri diğer kesme hızlarında olduğu gibi Kİ24 takımı ile ölçülürken Kİ12 takımın bu takıma yakın bir performans sergilediği görülmektedir. Bu takımları sırasıyla Kİ48, Kİ36 ve Kİ60 takımları takip etmiştir. Bu duruma kesici takımların (Kİ48 ve Kİ60) burun bölgelerinde meydana gelen çıtlama ve (Kİ36) YT oluşumlarının sebep olduğu düşünülmektedir (Bkz. Resim 7.10). Kİ00 takım ise 9. saniyeye kadar Kİ12 takıma yakın performans sergilerken, bu süreden sonra yüzey pürüzlülüğü değerleri hızlı bir şekilde artmıştır. Bu durumun ilerleyen kesme zamanıyla Kİ00 takımda yüksek kesme hızında oluşan yüksek sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen hızlı takım aşınması ve YT oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Bkz. Çizelge 7.5).

Kesici takımlarda oluşan aşınma ve YT'nin kesici kenar formunu değiştirerek yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir [10, 56, 169, 170].



Şekil 7.17. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün zamana bağlı değişimi

Şekil 7.18'de tüm takımların kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimlerini gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde, kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda 140 m/dak kesme hızına kadar kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ancak kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla arttığı görülmektedir. Artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalması, yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalmasıyla açıklanabilir. Yığıntı talaş kesici kenarın yerini almak suretiyle kesici kenar formunu değiştirmekte ve bu durumda yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Artan kesme hızıyla sıcaklık artar ve sıcaklığın artması ile de kesici uçtaki yığıntı talaş sertliğini ve dayanımını kaybederek devam eden kesme sürecinde üzerine gelen gerilmelere dayanamayarak kesici uçtan uzaklaşıtırılır ve dolayısıyla yüksek kesme hızlarında oluşma eğilimi azalır [27]. Ancak kesme hızı daha da artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün artması, yüksek kesme hızlarında kesici takımdaki hızlı aşınmaya atfedilebilir [56, 169]. Elde edilen bu veriler Çiftçi tarafından da desteklenmiştir. Çiftçi, östenitik paslanmaz çeliklerin tungsten karbür takımlarla tornalanmasında, artan kesme hızı ile yüzey

pürüzlülük değerlerinin belirli bir kesme hızı değerine kadar azaldığını ancak bu değerden sonra artan kesme hızı ile artış eğilimi gösterdiğini gözlemlemiştir. Yazar, belirli bir değere kadar artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalmasını yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalmasına atfetmiştir. Ancak, kesme hızının daha da artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün artmasını, yüksek kesme hızlarında hızlı kesici takım aşınması ile açıklamıştır [27]. Diğer bir çalışmada ise, Korkut ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sementit karbür takımlarla tornalamasında kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığını rapor etmişlerdir [45]. Aynı bulgular Sreerama Reddy ve arkadaşları tarafından C45 çeliğin tungsten karbür kesici takımlarla tornalanmasında da gözlenmiştir. Aynı çalışmada yazarlar, derin kriyojenik işlem uygulanmış ve işlemsiz takımlar arasında işlemsiz takımların daha yüksek yüzey pürüzlülüğü sergilediğini bildirmişlerdir. Bu durumu işlemsiz takımın daha fazla aşınmasıyla açıklamışlardır [10].



Şekil 7.18. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına bağlı değişimi

Kesici takımlar arasında en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 140 m/dak kesme hızında 2,257 µm olarak Kİ24 takımla ölçülmüştür. İşlemsiz takımda ise, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri de artış eğilimi göstermiştir. Bu durum, sahip olduğu düşük aşınma direnci sebebiyle Kİ00 takımın artan kesme hızıyla büyük miktarlarda aşınması ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 7.18'de görüldüğü gibi tüm takımlarda yüzey pürüzlülüğü 140 m/dak'a kadar düşmekte ve bu kesme hızı değerinden sonra önemli artışlar meydana gelmektedir. Dolayısı ile 0,3 mm/dev ilerlemede ideal kesme hızı 140 m/dak ideal bekletme süresi ise 24 saat olarak belirlenmiştir. 140 m/dak'dan sonra takım hızlı bir şekilde aşındığından bu değerden sonra yüzey pürüzlülüğünde önemli artışlar meydana gelmiştir.

7.3.3. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür kesici takımların kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına bağlı değişimi Şekil 7.19'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, Ff ile Fr'nin birbirine yakın ve Fc'ye göre daha düşük değerlerde oluştukları görülmektedir. Kesme işleminin gerçekleştirilmesinde en etkili kuvvet Fc kuvvetidir. Ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinden en düşük değerler Fr'de ölçülmüştür. Bu durum paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği ile ilgilidir. Paslanmaz çelikler sünek bir yapıya sahip olduklarından [6] kesici takımın malzemeye batması kolay olmaktadır. Diğer yandan, kuvvet bileşenleri değerlerinin genel eğiliminin literatürle uyuşması da deneylerin sağlıklı bir şekilde yapıldığını göstermektedir. İşlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımlar ile yapılan kesme deneylerinde, Ff kuvveti Fr kuvvetinden tüm kesme hızlarında 95,86 – 171,05 N daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.

Şekil 7.19'daki grafiklerdeki kuvvetlerin kesme hızına bağlı olarak değişimi değerlendirildiğinde, genel olarak tüm kesici takımlar için artan kesme hızıyla birlikte kesme kuvveti bileşenlerinin düştüğü görülmektedir. Ancak bazı kesici takımlarda 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızıyla düşüş eğiliminde olan kuvvet bileşenleri, kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla bir miktar artmıştır. Kesme kuvvetlerinin kesme hızına bağlı olarak düşmesi, artan kesme hızıyla birlikte yükselen kesme bölgesi sıcaklıklarına ve artan sıcaklığın talaş kıvrılma çapının küçülmesine neden olması sonucu kesici takım talaş yüzeyinde takım-talaş temas

mesafesinin azalmasına bağlanabilir. Birincil ve ikincil deformasyon bölgelerinde kesme hızıyla birlikte artan sıcaklık, işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürerek kesme kuvvetlerinde azalmaya sebep olur. Bunun sonucunda talaş oluşumu kolaylaşacağından kesme kuvvetlerinde düşüş beklenilen bir durumdur [6, 10, 27, 174]. Kesme hızının daha fazla artırılmasıyla kesme kuvvetlerindeki artış ise yüksek kesme hızlarında takım üzerindeki aşınmaların meydana gelmesi ve buna bağlı olarak da kesme işleminin zorlaşmasına atfedilmiştir [27].



Şekil 7.19. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim

Literatürde, kesme kuvvetinin farklı bilesenlerinin farklı talaslı imalat işlemlerinde önem kazandığı bilinmektedir. Tornalama işleminde de esas kesme kuvveti bileşeni diğer bileşenlerden daha önemlidir [6]. Bu sebeple, tüm kesici takımlar için ölçülen kuvveti bilesenlerinden kesme esas kesme kuvveti değişimleri ayrı değerlendirilmiştir. Şekil 7.20'de işlemsiz ve farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme hızında kesme hızına bağlı Fc kuvvetlerindeki değişim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, genel olarak tüm takımlarda Fc değerlerinin 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızıyla düşüş eğilimi gösterdiği ancak kesme hızının daha da artırılmasıyla Fc değerlerinin de bir miktar arttığı görülmektedir. Bu durum, belirli bir değere kadar artan kesme hızıyla birlikte akış bölgesindeki yüksek sıcaklıklar ve temas yüzey alanının azalması sonucu sürtünmenin azalması ile ilişkilendirilmiştir [6, 10, 27, 51, 151, 174]. Kesme hızının daha fazla artırılmasıyla kesme kuvvetlerindeki artış ise yüksek kesme hızlarında takım asınmasının muhtemel artışı ile açıklanabilir [27]. Yüksek kesme hızları, kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına, kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına ve kesici takımın hızla aşınarak bozulmasına neden olmaktadır [6].



Şekil 7.20. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 7.20'de tüm kesme hızlarında en düşük Fc değerlerinin Kİ00 takımla ölçüldüğü görülmektedir. Kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda ölçülen Fc değerleri Kİ00 takıma kıyasla daha yüksektir. Bu durum, kriyojenik işlemin tungsten karbürlerin tane boyutunu artırması ve böylece kesici takımın ısıl iletkenliğini artırması ile ilişkilendirilmiştir. Isıl iletkenlikteki artış, kesici takımın ısı dağıtım kapasitesini artırır ve takım uç sıcaklığını azaltmaya yardım eder [10]. Kesme esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürerek plastik deformasyonu kolaylaştırmaktadır [174, 175]. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlardaki yüksek ısıl iletkenlik ile kesme esnasında oluşan ısı hızla kesme bölgesinden uzaklaştırılır ve kesme işlemi bir miktar zorlaşır. Bu nedenle kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla ölçülen kesme kuvvetlerinin Kİ00 takıma kıyasla bir miktar daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Bununla birlikte, literatürde Sreerama Reddy ve arkadaşları [10] ile Çiçek ve arkadaşları [176], daha az aşınma ve daha düşük takım uç sıcaklığı sayesinde kriyojenik işlem uygulanmış takımların işlemsiz takıma kıyasla daha düşük kesme kuvveti sergilediğini bildirmişlerdir. Bu yazarlardan farklı olarak Da silva ve arkadaşları, delme işleminde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış takımlar arasındaki güç tüketiminin genellikle benzer olduğunu, nadiren kriyojenik işlem uygulanmamış takımın uygulanmış takımdan daha düşük güç tüketiminde bulunduğunu tespit etmişlerdir. Kriyojenik işlemin kesici takımdaki kalıntı östeniti martenzite dönüştürmesi ve ikincil karbür çökelmesinin aşınma direncini artırdığını ancak kesme kuvvetlerinde bir değişiklik oluşturmadığını savunmuşlardır [8]. Literatürden farklı olarak bu çalışmada AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha yüksek esas kesme kuvveti değerleri sergilemiştir.

7.4. Optimum Bekletme Süresinde Uygulanan Derin Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisi

Optimum bekletme süresinin belirlenmesinin ardından bundan sonraki aşınma deneyleri, kaplamasız takımlar için 0,15 ve 0,45 mm/dev ilerleme ve dört farklı

kesme hızında (100, 120, 140, 160 m/dak) sadece 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış ve işlemsiz takımlarla yapılmış ve elde edilen veriler çerçevesinde işlemsiz ve optimum bekletme süresinde kriyojenik işlem uygulanmış takımların işlenebilirliği 0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında değerlendirilmiştir.

7.4.1. Kesici takım aşınmasının değerlendirilmesi

0,15 mm/dev ilerleme hızındaki takım aşınmasının değerlendirilmesi

AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin Kİ00 ve Kİ24 takımlarla, 0,15 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlenmesinde zamana bağlı olarak yan yüzey aşınmasındaki değişim Şekil 7.21'deki grafiklerde verilmiştir. Deneylerde, 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 32, 20, 6 ve 1 dakika kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Grafiklere bakıldığında, bütün kesme hızlarında Kİ24 takımınKİ00 takıma göre daha iyi aşınma performansı sergilediği açık bir şekilde görülmektedir. Özellikle en düşük kesme hızı olan 100 m/dak'da, Kİ24 takımda Kİ00 takıma göre %34 daha düşük yan yüzey aşınması ölçülmüştür. 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında ise Kİ24 takımın Kİ00 takıma göre sırasıyla %16, %17 ve %17 daha az aşındığı tespit edilmiştir. Bu aşınma farkları, kriyojenik işlemin takımın sertliğini artırması ve mikro yapıyı değiştirmesinin (ikincil karbür çökelmesi ve homojen karbür dağılımı) bir sonucu olarak kesici takımların aşınma direncini arttırdığının da bir göstergesidir [17, 59].

İki takım arasında bu denli aşınma farkının olması, takım ömründe de belirgin bir artışın olduğunun göstergesidir. En yüksek aşınma farkının oluştuğu 100 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 32 dakikada oluşan aşınma miktarına (0,061 mm) Kİ00 takımda 10 dakikada ulaşılmıştır. Böylece, 100 m/dak kesme hızında kriyojenik işlemin kesici takıma %220'lik bir ömür artışı sağladığını söylemek mümkündür. 120 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 20 dakikada oluşan aşınma miktarına (0,08 mm) Kİ00 takımda 10,4 dakikada, 140 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 6 dakikada oluşan aşınma miktarına (0,091 mm) Kİ00 takımda 4 dakikada ve son olarak 160 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 1 dakikada oluşan aşınma miktarına (0,095 mm) Kİ00 takımda 0,72 dakikada ulaşılmıştır. Dolayısıyla, kriyojenik işlem 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %92, %50 ve %39'luk bir takım ömrü artışı sağlamıştır.

Literatüre bakıldığında, kriyojenik işlemin kesici takımların takım ömründe artış sağladığını bildiren çalışmalar oldukça fazladır. Firouzdor ve arkadaşları, derin kriyojenik işlemin HSS matkapların aşınma direnci ve takım ömründe %77, kriyojenik işlemden sonra temperleme uygulanmasının ise %126 iyileşme sağladığını rapor etmislerdir [19]. Da silva ve arkadasları, kriyojenik islemin M2 HSS takımların sertliği ve mikrosertliğini önemli derecede etkilemediğini ancak takım ömrü deneylerinde kriyojenik işlemin avantajlı bulunduğunu bildirmişlerdir. İşlemsiz numunede gözlemlenen kalıntı östenitin %25'i kriyojenik işlem ile martenzite dönüşmüştür. Kesme şartlarına bağlı olarak takım ömründe %65' den %343' e ulaşan bir performans artışı gözlenmiştir [8]. Çiçek ve arkadaşları, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin delinmesinde, kriyojenik işlem üzerine temperleme uygulanmış (KİT) ve işlemsiz (KİU) M35 HSS matkapların, takım ömrü açısından kıyaslandığında KİT matkaplar KİU matkaplara göre iki farklı kesme hızında %95 ve %48 ömür artışı sağladığını rapor etmişlerdir [56]. Ayrıca Çiçek ve arkadaşları, yaptıkları bir diğer çalışmada AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin M35 matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlem uygulanmış matkaplarla %218 daha uzun takım ömrü elde edildiğini bildirmişlerdir. Takım ömründeki bu artışı, kriyojenik işlemin HSS takımların sertlik ve aşınma direncini artırmasına atfetmişlerdir. Bu duruma, kriyojenik işlem ile kalıntı östenitin büyük oranda martenzite dönüşmesi ve ikincil karbür çökelmesi ile daha homojen karbür dağılımının sağlanmasının sebep olduğu bildirilmiştir [176]. Tungsten karbür takımlarda östenit fazı bulunmamaktadır. Bununla birlikte literatürde kriyojenik işlemin tungsten karbür takımların aşınma direncinde artış sağladığını bildiren bir çok çalışma mevcuttur. Gill ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 38 saat süreyle derin kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür uçlarda işlemsiz takıma kıyasla %19-42 oranda daha düşük aşınma oluştuğunu bildirmişlerdir. Aşınma performansındaki bu artışın kriyojenik işlemin kesici takımın mikroyapısında değişim sağlayarak bazı fiziksel özelliklerini değiştirmesinden kaynaklandığı rapor edilmiştir [156]. Bölüm 7.1.1'de bu
değisimlerden ayrıntılı olarak bahsedilmistir. Sreerama Reddy ve arkadasları, kriyojenik işlem uygulanmış P-30 tungsten karbür takımlarda takım ömrünün %21,8 arttığını rapor etmişlerdir [166]. Bir diğer çalışmada, Sreerama Reddy ve arkadaşları, C45 çeliğinin tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı P-30 tungsten karbür takımların işlemsiz takıma kıyasla daha az aşındığını tespit etmişledir. Ayrıca P-30 tungsten karbür takımlarda derin kriyojenik işlem ile kritik sıcaklık boyunca n fazı karbürlerinin biçimlendiğini ve böylece kesici takımların aşınma direncinin arttığını bildirmişlerdir [10]. Benzer şekilde; Vadivel ve Rudramoorthy de, AISI/SAE 80-55-06 SG is parcası malzemesini kaplamalı tungsten karbür takımlarla tornalamışlar ve kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda %6,9-55,88 oranda daha düşük aşınma miktarı gözlemlemişlerdir. Aşınma direncindeki bu artışı; η fazı karbürlerinin kriyojenik işlem uygulanmış takımda daha fazla, işlemsiz takımda ise daha az ve daha kaba olmasına atfetmişlerdir [17]. Seah ve arkadaşları da ASSAB 760 karbon çeliğinin kaplamasız tungsten karbür kesici takımlarla tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha iyi aşınma performansı sergilediğini rapor etmişlerdir. Bu durumun kriyojenik işlem uygulanmış takımda işlemsiz takıma kıyasla y fazı miktarı ve dağılımının daha fazla ve daha iyi oluşundan kaynaklandığını savunmuşlardır [55]. Yong ve arkadaşları da, kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür freze uçlarında %5-28,9 oranında takım ömrü artışı gözlemlemişlerdir [60].

Şekil 7.22'ye bakıldığında Kİ00 ve Kİ24 takımların farklı kesme hızlarındaki aşınma performansları daha net görülmektedir. Şekil incelendiğinde, her iki takım için artan kesme hızıyla takım aşınmasının da arttığı göze çarpmaktadır [10, 51, 177]. İş parçası malzemesi üzerinden Kİ00 takımla en düşük kesme hızında (100 m/dak) 32 dakika boyunca talaş kaldırıldığında ölçülen yan yüzey aşınması değeri (0,092 mm), en yüksek kesme hızında (160 m/dak) 1 dakikada oluşan yan yüzey aşınması (0,116 mm) değerinden %20 daha düşük olmuştur. Aynı şartlarda, Kİ24 takımla talaş kaldırma işlemi yapıldığında ise % 36 daha düşük aşınma oluştuğu görülmüştür. Her iki takımda da artan kesme hızıyla aşınma farkının bu denli fazla oluşu, kesme hızının takım ömrü üzerindeki olumsuz etkisini ispatlamaktadır [8, 56, 177]. Yüksek kesme hızları, kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına, kesme bölgesinde



yüksek sıcaklıkların oluşmasına ve kesici takımın hızla aşınarak bozulmasına neden olmaktadır [6].

Şekil 7.21. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

Şekil 7.22'de, kesme hızının artmasıyla her iki takım ömründe de belirgin bir azalmanın olduğu açık bir şekilde görülmektedir. İş parçası malzemesinin Kİ00 takım ile en düşük kesme hızında işlenmesinde 32 dakikada ulaşılan yan yüzey aşınması değerine, 120 m/dak kesme hızında 16 dakikada, 140 m/dak kesme hızında 4,5 dakikada ve son olarak en yüksek kesme hızı olan 160 m/dak kesme hızında 0,65 dakikada ulaşıldığı görülmüştür. Dolayısıyla kesme hızı %20, %40 ve %60 artırıldığında takım ömrünün de sırasıyla %50, %86 ve %98 azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, iş parçası malzemesi Kİ24 takımla işlendiğinde; en düşük kesme hızında 32 dakikada ulaşılan takım yan yüzey aşınmasına 120 m/dak kesme hızında 5 dakikada, 140 m/dak kesme hızında 2 dakikada ve 160 m/dak kesme hızında 0,25

dakikadan daha kısa sürede ulaşmıştır. Özetle, kesme hızı %20, %40 ve %60 artırıldığında Kİ24 kesicilerde takım ömrü de sırasıyla %84, %94 ve %100 azalmıştır. Buradan, artan kesme hızıyla takım ömründeki azalmanın da artmakta olduğu sonucuna varılabilir. Bu sonuç, kesme hızının takım ömrünü azaltması üzerindeki bilinen etkisini doğrulamaktadır. AISI 316 çeliğinin işlenmesinde her iki takım için en yüksek takım ömrü en düşük kesme hızında elde edilmiştir [139].



Şekil 7.22. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin Kİ00 ve Kİ24 takımlarla 0,15 mm/dev ilerleme ve farklı kesme hızlarında işlenmesinde zamana bağlı çentik aşınmasındaki değişim Şekil 7.23'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde 100 ve 140 m/dak kesme hızlarında Kİ24 takımda Kİ00 takımdan daha düşük çentik aşınmasının oluştuğu görülmektedir. Ancak 120 m/dak kesme hızında 16. dakikaya kadar Kİ24 takım Kİ00 takıma nazaran oldukça düşük aşınma sergilerken, 18. dakikadan itibaren aşınma miktarının hızla artarak 20 dakika sonunda Kİ24 takımın Kİ00 takımdan %9 daha fazla aşındığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.23. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı çentik aşınmasındaki değişim

100 m/dak kesme hızında Kİ00 takımda henüz 4. dakikada çentik aşınması oluşurken Kİ24 takımda 16. dakikaya kadar çentik aşınmasına rastlanmamaktadır. 32 dakikalık kesme işleminin sonucunda Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda %31 daha daha düşük çentik aşınması oluştuğu tespit edilmiştir. 140 m/dak kesme hızında ise her iki takımın aşınma eğilimleri benzer şekilde olmakla beraber aralarındaki aşınma farkı oldukça belirgindir. 6 dakika kesme işleminin sonunda Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda %34 daha düşük çentik aşınması oluştuğu tespit edilmiştir. 160 m/dak kesme hızında ise her iki takımda da yalnızca kesme işleminin son aşamasında çentik aşınması oluştuğundan grafiği çıkarılmamıştır. 1 dakika kesme işleminin sonunda Kİ00 takımda 0,183 mm ve Kİ24 takımda 0,195 mm çentik aşınması ölçülerek, Kİ00 takımı Kİ24 takıma göre %6 daha düşük aşındığı belirlenmiştir.

Kľ00 ve Kľ24 takımların 0,15 mm/dev ilerleme hızı ve dört farklı kesme hızında zamana bağlı aşınma fotoğrafları Çizelge 7.9 - 7.12'de verilmiştir. Çizelge 7.9'daki fotoğraflar incelendiğinde, öncelikle her iki kesici takımda da yan yüzey ve centik aşınmasının oluştuğu göze çarpmaktadır. Ancak Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda bu aşınma miktarlarının daha küçük olduğu görülmektedir. Diğer yandan kesme kenarında oluşan çentik aşınması, her iki takımda da 16. dakikada hemen hemen aynı boyutta iken ilerleyen kesme zamanı ile Kİ00 takımda daha hızlı ilerlemiştir. Ayrıca takımların kesici kenarlarında YT oluşumlarına rastlanmıştır. Kesme hızının 120 m/dak'ya cıkarılmasıyla kesici takımlarda olusan yan yüzey asınmasının gelisimi de hızlanmıştır (Çizelge 7.10). Fotoğraflar incelendiğinde, Kİ00 takımda 120 m/dak kesme hızında 12 dakikada oluşan yan yüzey aşınması miktarı neredeyse 100 m/dak kesme hızında 32 dakikada oluşan aşınma miktarından fazla olduğu görülmektedir. Yine her iki takımda da kesme kenarında YT oluşmuş ve ilerleyen kesme zamanı ile birlikte YT koparken kesici takımda da parça koparmıştır. Bu durum Kİ24 takıma kıyasla Kİ00 takımda daha fazla oluşmuştur. 16. dakikaya kadar Kİ24 takımdaki çentik aşınması Kİ00 takıma kıyasla daha küçük iken 20 dakika kesme işleminin sonunda her iki takımdaki çentik birbirine çok yakın değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 7.11'deki fotoğraflarda, Çizelge 7.9 ve Çizelge 7.10'da olduğu gibi Kİ24 takımda daha küçük boyutlarda olmakla birlikte her iki kesici takımda da ilk kesme zamanından itibaren yan yüzey aşınması ve YT oluştuğu görülmektedir Çentik aşınması ise Kİ00 takımda henüz 2. dakikada oluşmaya başlarken Kİ24 takımda 4. dakikada başlamıştır. Fotoğraflara bakıldığında Kİ24 takımın 6 dakikadaki yan yüzey ve çentik aşınması boyutuna Kİ00 takımın yaklaşık 3 ve 4. dakikalarda ulaştığı görülmektedir. 160 m/dak kesme hızında ise, her iki takımda da yan yüzey aşınmasının diğer kesme hızlarına kıyasla daha hızlı ilerlediği görülmektedir (Çizelge 7.12). Yine ilk kesme işleminden itibaren iki kesici takımda da YT oluştuğu görülmüştür. Diğer kesme hızlarında kesici takımlarda oluşan çentik aşınması, bu kesme hızında oluşmamıştır.

Çizelge 7.9. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.10. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.11. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.12. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Kesici takımların krater derinliği ölçüm sonuçlarını gösteren grafik Şekil 7.24'te verilmiştir. Grafiğe bakıldığında, dört kesme hızında da Kİ24 takımlarda daha düşük derinlik ölçüldüğü görülmektedir. Bu farklar 100, 120, 140 ve son olarak 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %20, %55, %52 ve %7 oran olarak hesaplanmıştır. Literatürde, kriyojenik işlemin kesici takımı kimyasal olarak inert yapması ve kesme sıcaklığını azaltması sayesinde, takımlarda daha az krater aşınması oluştuğu bildirilmiştir [17, 171].



Şekil 7.24. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki krater derinliği değerleri

Kesici takımların aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Resim 7.11 ile Resim 7.14 arasında SEM fotoğrafları verilmiştir. Kİ00ve Kİ24 takımların 0,15 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları incelendiğinde, her iki takımda da abrasiv aşınma mekanizmasının sebep olduğu yan yüzey aşınmasının oluştuğu tespit edilmiştir (Resim 7.11). Ayrıca oksidasyon ve adhesiv aşınma mekanizmasıyla oluşan çentik aşınması da gözlenmiştir. Yine her iki takımda da kesme kenarında YT oluşumlarına rastlanmıştır. Sünek yapısı nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklerin de işlenmeleri esnasında, iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında temas bölgelerinde çok güçlü bir yapışma eğilimlerinin olduğu bilinmektedir [6]. Diğer yandan kesme kenarında oluşan YT'nin koparken kesici takımdan parça kopardığı görülmüştür. Kesici takımların talaş yüzeylerinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının sebep olduğu krater aşınması oluşmuş ve krater yüzeyinde yığıntı katmanı şeklinde yapışmalar meydana gelmiştir. Tungsten karbür ile çelik arasında bir difüzyon söz konusudur. Bu ise difüzyon aşınma mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma sonucu kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde krater oluşur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır [6]. Resim 7.12'de, her iki kesici takımda da aşınmanın kesme kenarı boyunca düzenli bir şekilde oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca takımların talaş yüzeylerinde oluşan krater aşınmasının kesme performansını olumsuz yönde etkileyecek derecede büyük olmadığı görülmektedir.



Resim 7.11. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24

140 m/dak kesme hızında da yine 100 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında oluşan aşınma tiplerinin oluştuğu görülmektedir (Resim 7.13). Ancak yan yüzey aşınması ve krater aşınması genişliğinin diğer kesme hızlarına kıyasla daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla diğer kesme hızlarına kıyasla kesici takımlarda oluşan çentik aşınmasının boyutu oldukça küçülmüştür (Resim 7.14).



Resim 7.12. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24



Resim 7.13. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24



Resim 7.14. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24

0,3 mm/dev ilerleme hızındaki takım aşınmasının değerlendirilmesi

0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında Kİ00 ve Kİ24 takımların zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişimi Şekil 7.25'te verilmiştir. 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 10 dakika, 3 dakika, 45 saniye ve 15 saniye gerçekleştirilen kesme işlemi sonunda elde edilen veriler tüm kesme hızlarında Kİ24 takımın Kİ00 takıma göre daha iyi aşınma performansı sergilediğini göstermiştir. Aşınma farklarına bakıldığında 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda sırasıyla %29, %27, %15 ve %17 daha düşük yan yüzey aşınması ölçülmüştür. Buradan düşük kesme hızlarında iki takım arasındaki aşınma farkının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Takım ömrü açısından değerlendirildiğinde, 100 m/dak kesme hızında Kİ24 takımın 10 dakikada ulaştığı aşınma değerine, Kİ00 takım henüz 5. dakikada iken ulaşmıştır. Buradan yola çıkarak kriyojenik işlemin kesici takım ömründe %100'lük bir artış sağladığını söylemek mümkündür. Aynı değerlendirme diğer kesme hızlarında yapıldığında 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında bu artışın sırasıyla %71, %36 ve %25 olduğu tespit edilmiştir. Çiçek ve arkadaşları, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin M35 matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlem uygulanmış takımların özellikle daha yüksek kesme hızlarında daha iyi takım ömrü sergilediğini bildirmişlerdir [176]. Benzer şekilde Seah ve arkadaşları da, ASSAB 760 karbon çeliğinin işlenmesinde, kobalt bağlayıcılı tungsten karbür kesici takımların yüksek kesme hızlarında takım ömrü ve aşınma direncinde önemli derecede artış olduğunu rapor etmişlerdir [55]. Ancak yapılan bu çalışmada, yüksek kesme hızları için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. AISI 316 östenitik paslamaz çeliğin kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür kesici takımlarla tornalanmasında kriyojenik işlem yüksek kesme hızlarında daha düşük takım ömrü artışı sergilemiştir.



Şekil 7.25. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

Şekil 7.26'ya bakıldığında 0,3 mm/dev ilerleme hızında Kİ00 ve Kİ24 takımların aşınma performanslarının kesme hızına göre değişimi daha net görülmektedir. Grafik incelendiğinde, ilk göze çarpan kesme hızının artmasıyla takım ömrünün belirgin bir şekilde azalmasıdır. En düşük kesme hızında (100 m/dak) Kİ00 takımın 10 dakikada ulaştığı aşınma değerine (0,165 mm) 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında

sırasıyla 1,85. dakikada, 20. saniyede ve 9. saniyede ulaştığı tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak, kesme hızının %20, %40 ve %60 oranında arttırılmasıyla Kİ00 takımın takım ömründe sırasıyla yaklaşık olarak %82, %97 ve %98'lik bir azalma meydana geldiğini söylemek mümkündür. Aynı değerlendirme Kİ24 takım için yapıldığında ise kesme hızının %20, %40 ve %60 arttırılmasıyla takım ömründe sırasıyla yaklaşık %77, %97 ve %99'luk bir azalma hesaplanmıştır. Burada kesme hızının takım ömrü üzerindeki olumsuz etkisi bir kez daha ispatlanmıştır [6, 10, 51, 56].



Şekil 7.26. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

Kİ00ve Kİ24 takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve farklı kesme hızlarında zamana bağlı çentik aşınması değişimleri incelendiğinde; her iki kesme hızında da Kİ24 takımın daha iyi aşınma performansı sergilediği görülmektedir (Şekil 7.27). Diğer yandan, her iki kesme hızında da çentik aşınması Kİ00 takımda daha erken başlamıştır. 100 m/dak kesme hızında, 10 dakika kesme işleminin sonunda Kİ00 takıma göre Kİ24 takımda yaklaşık %70 daha düşük çentik aşınması oluştuğu tespit

edilmiştir. 120 m/dak kesme hızında ise; her iki takımda da benzer aşınma eğilimi oluşmuş ve 3 dakikanın sonunda Kİ24 takımda Kİ00 takımdan %48 daha düşük aşınma ölçülmüştür. Bu bulgular bize kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha iyi aşınma performansı sergilediğini göstermektedir.

140 ve 160 m/dak kesme hızlarında ise; her iki takımda da çentik aşınmasına rastlanmamıştır. Bu durum, 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında Kİ00 ve Kİ24 takımların belirli aralıklardaki aşınma fotoğraflarının verildiği Çizelge 7.13 – 7.16'da daha net görülmektedir.



Şekil 7.27. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı çentik aşınmasındaki değişim

Çizelge 7.13'te 0,3 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak kesme hızında aşınma fotoğraflarında ilk göze çarpan; her iki takımda da kesici kenarda yan yüzey aşınması ve çentik aşınmasının oluştuğudur. Ancak bu aşınma tipleri Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda çok daha küçüktür. Özellikle Kİ00 takımdaki çentik aşınmasının büyüklüğü dikkat çekmektedir. Kİ00 takımda henüz 2. dakikada çentik başlangıcı görülürken, Kİ24 takımda 6. dakikaya kadar çentik aşınmasına rastlanmamıştır.

Yan yüzey aşınması açısından değerlendirildiğinde Kİ24 takımda 10 dakikada oluşan yan yüzey aşınması miktarının Kİ00 takımda neredeyse 4 dakikada oluştuğu görülmektedir. Ayrıca Kİ24 takımda daha küçük boyutlarda olmakla birlikte her iki takımda da YT oluşmuştur. Literatürde, kesici takımlarda oluşan YT'nin zamanla

koparken genellikle kesici takımdan da bir parça kopardığı bilinmektedir [6]. Bahsedilen bu durumun, Kİ00 takımda 6 dakika kesme işleminin sonunda çok net bir biçimde meydana geldiği ve böylece kesici kenar formunun bozulduğu görülmektedir.

120 m/dak kesme hızında ise yine her iki takımda yan yüzey ve çentik aşınmalarının oluştuğu Çizelge 7.14'te görülmektedir. Bununla birlikte kesici kenarlarda YT oluşumunun önüne geçilemediği de göze çarpmaktadır. İki takım arasındaki yan yüzey ve çentik aşınması büyüklüğü açısından değerlendirme yapıldığında; Kİ24 takımın 3 dakikadaki aşınma resmi Kİ00 takımın 1 dakikadaki aşınma resmi ile benzerlik göstermektedir. Diğer yandan Kİ24 takımdaki aşınma gelişimi Kİ00 takıma kıyasla daha düzgün ilerlemiştir.

Çizelge 7.13. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Kesme hızının 140 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesici takımlardaki yan yüzey aşınması ilerleyişi daha da hızlanmıştır (Çizelge 7.15). Kesme hızındaki artışla birlikte kesici takım aşınması arasında direk bir ilişki bulunmaktadır [6, 51]. Diğer yandan, 100

m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında oluşan çentik aşınmasının bu kesme hızında her iki takımda da oluşmadığı göze çarpmaktadır. Bu durum, kesme hızındaki artışla birlikte takım-iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklık artışının YT oluşumunu azaltmasıyla ilişkilendirilmiştir [6, 22]. Kesici kenarlarda oluşan YT'nin de oldukça azaldığı görülmektedir. Çizelge 7.16'da yine YT oluşumunun Çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15'e kıyasla oldukça küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. 140 m/dak kesme hızında olduğu gibi bu kesme hızında da her iki kesici takımda da çentik aşınmasına rastlanmamıştır.

Çizelge 7.14. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.15. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.16. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Şekil 7.28 incelendiğinde, yan yüzey aşınması grafiklerinde olduğu gibi tüm kesme hızlarında Kİ24 takımlarda daha düşük krater derinliği ölçüldüğü görülmektedir. En yüksek fark %46'lık oranla 160 m/dak kesme hızında oluşmuştur. En düşük fark ise %1'lik oranla 140 m/dak kesme hızında ölçülmüştür. AISI 316 çeliğinin Kİ00 ve Kİ24 takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında işlenmesi sonrasındaki SEM fotoğrafları Resim 7.15 ile Resim 7.18 arasında verilmiştir. Resim 7.15'te 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında kesici takımlarda oluşan aşınma tiplerinin Resim 7.11'e kıyasla daha büyük ebatlarda olduğu görülmektedir. Özellikle kesici takımlardaki krater ve çentik aşınmasının büyüklüğü göze çarpmaktadır. Ayrıca ilerleme hızının 0,3 mm/dev'e çıkarılmasıyla birlikte kesici takımların yardımcı kesici kenar yüzeylerinde çentik aşınması oluştuğu görülmüştür. Her iki takımda da YT oluşmakla beraber Kİ00 takımdaki YT'nin Kİ24 takıma kıyasla oldukça büyük olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan Kİ00 takımdaki çentik aşınması Kİ24 takıma kıyasla yaklaşık üç misli büyüklüktedir. Bununla birlikte Kİ00 takımda oluşan YT ve çıtlamalar kesici kenar formunu bozmuştur.



Şekil 7.28. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki krater derinliği değerleri



Resim 7.15. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24



Resim 7.16. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24

Resim 7.16'da her iki takımda da oluşan YT boyutlarının Resim 7.15'e kıyasla daha küçük ebatlarda olduğu görülmektedir. Kİ00 takımda yardımcı kesici kenar yüzeyinde oluşan çentik aşınması ve burun kısmında plastik deformasyon ve kırılmanın Kİ24 takımda oluşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca Kİ00 takımdaki yan yüzey aşınması miktarı Kİ24 takıma kıyasla hayli büyüktür. Diğer yandan Resim 7.15'e kıyasla daha küçük boyutlarda olmakla birlikte her iki takımda da kesme kenarında çentik aşınması oluştuğu görülmüştür. Kesme hızının 140 m/dak'ya çıkarılmasıyla her iki takımda da yan yüzey aşınması miktarlarının oldukça arttığı

görülmektedir (Resim 7.17). 100 m/dak ve 120 m/dak kesme hızlarında kesici takımlarda kesme kenarında oluşan çentik aşınması bu kesme hızında her iki takımda da oluşmamıştır. Ayrıca Kİ00 takımda yardımcı kesici kenar yüzeyinde oluşan çentiğin Resim 7.15 ve Resim 7.16'ya kıyasla daha küçük boyutta oluştuğu tespit edilmiştir. Kİ24 takımda ise bu aşınma tipine rastlanmamıştır. Bununla birlikte her iki takımda daha küçük boyutta YT oluştuğu görülmüş ancak Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda oluşan YT'nin daha büyük olduğu tespit edilmiştir.



Resim 7.17. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24



Resim 7.18. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,3 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24

Resim 7.18'de diğer kesme hızlarının aksine bu kesme hızında her iki takımda da yardımcı kesici kenar yüzeylerinde çentik aşınması oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca 140 m/dak kesme hızındaki gibi bu kesme hızında da kesici kenarda çentik aşınmasına rastlanmamıştır. Diğer yandan kesici kenarlarda oluşan YT'nin boyutunun Kİ24 takımda iyice küçüldüğü görülmüştür.

0,45 mm/dev ilerleme hızındaki takım aşınmasının değerlendirilmesi

0,45 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında Kİ00 ve Kİ24 takımların zamana bağlı yan yüzey aşınması performanslarını gösteren grafikler Şekil 7.29'da verilmiştir. 0,15 ve 0,3 mm/dev ilerleme hızlarında olduğu gibi bütün kesme hızlarında en iyi aşınma performansını Kİ24 takım sergilemiştir. Deneylerde, 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla 60, 25, 10 ve 8 saniye kesme işlemi gerçekleştirilmiş ve bu sürelerin sonunda Kİ00 takıma kıyasla Kİ24 takımda sırasıyla %23, %15, %9 ve %17 daha az yan yüzey aşınması ölçülmüştür. 160 m/dak kesme hızında 8 saniye sonunda Kİ24 takımda yan yüzey aşınması oluşumunun devam ettiği görülürken Kİ00 takımın kesici kenarının kesme işlemi yapamayacak derecede bozulduğu görülmüştür. Diğer ilerleme hızlarında olduğu gibi en yüksek aşınma farkı en düşük kesme hızı olan 100 m/dak kesme hızında oluşmuştur.

100 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 60 saniyede oluşan aşınma miktarına (0,132 mm) Kİ00 takımda 34 saniyede, 120 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 25 saniyede oluşan aşınma miktarına (0,159 mm) Kİ00 takımda 20 saniyede, 140 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 10 saniyede oluşan aşınma miktarına (0,164) Kİ00 takımda 8,4 saniyede ve son olarak 160 m/dak kesme hızında Kİ24 takımda 8 saniyede oluşan aşınma miktarına (0,211 mm) Kİ00 takımda 8,3 saniyede ulaşılmıştır. Buradan yola çıkarak, kriyojenik işlemin kesici takım ömründe 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızında sırasıyla %76, %25, %19 ve %21 artış sağladığını söylemek mümkündür.

Şekil 7.30'daki grafikte 0,45 mm/dev ilerleme hızında Kİ00 ve Kİ24 takımların tüm kesme hızlarındaki yan yüzey aşınma performansları sunulmuştur. Kesme hızına göre takım ömrünü değerlendirmek gerekirse 100 m/dak kesme hızında 60 saniye

sonunda Kİ00 takımda oluşan aşınma miktarına (0,171 mm) 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla yaklaşık 23, 9 ve 5 saniyede ulaşıldığı tespit edilmiştir. Böylece kesme hızının %20, %40 ve son olarak %60 artırılmasıyla Kİ00 takımın takım ömründe sırasıyla %62, %85 ve %92'lik bir azalma meydana geldiği söylenebilir. Aynı değerlendirme Kİ24 takım için yapıldığında da kesme hızının %20, %40 ve %60 artırılmasıyla Kİ24 takımın takım ömründe %72, %88 ve %93'lük bir azalma hesaplanmıştır.



Şekil 7.29. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,45 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim



Şekil 7.30 İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,45 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

0,45 mm/dev ilerleme hızında tüm kesme hızlarında her iki takımda da çentik aşınmasına rastlanmamıştır. Bu durum aşınma fotoğraflarının verildiği Çizelge 7.17-7.20'de açıkça görülmektedir. Çizelge 7.17'de 0,45 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızında öncelikle her iki takımda da yan yüzey aşınması oluştuğu göze çarpmaktadır. Bununla birlikte diğer ilerleme ve kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme şartlarında da Kİ24 takım daha iyi aşınma performansı sergilemiştir. Şöyle ki Kİ24 takımın 60 saniyedeki aşınma resmi Kİ00 takımın 20 saniyedeki aşınma resmi ile benzerlik göstermektedir. Diğer yandan 0,15 mm/dev ve 0,3 mm/dev ilerleme hızlarında görülenin aksine bu ilerleme hızında hiçbir kesme hızında kesici takımlarda çentik aşınması oluşmamıştır. Kesme işleminin başlarında kesici takımlarda daha belirgin şekilde YT oluşurken ilerleyen kesme zamanı ile birlikte azalmıştır.

Kesme hızının 120 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesici takımlardaki yan yüzey aşınmasının henüz ilk 5 saniyede iken bile bir hayli büyük oluştuğu görülmektedir

(Çizelge 7.18). Bununla birlikte Kİ24 takımda daha düşük yan yüzey aşınması oluştuğu tespit edilmiştir. Diğer yandan her iki takımda da kesici kenarda YT oluştuğu gözlenmiştir.

Çizelge 7.17. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.19'da yine her iki takımda da yan yüzey aşınması ve YT oluştuğu görülmektedir. Kaplamasız kesici takımlar için en yüksek kesme parametreleri olan 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında ise, 8 saniye kesme işleminin sonunda Kİ24 takımda yan yüzey aşınması düzgün bir şekilde büyümeye devam ederken Kİ00 takımın ömrünü tamamladığı görülmektedir (Çizelge 7.20). Diğer yandan kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesici takımlardaki YT oluşumu oldukça azalmıştır. Genel olarak, ilerleme hızı ve kesme hızı arttıkça Kİ00 ve Kİ24 takım arasındaki aşınma farkının azaldığı söylenebilir. Bu durumu krater aşınmasında da görmek mümkündür. 0,45 mm/dev ilerleme hızında 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %9, %16, %1 ve %3 oranda Kİ24 takımlarda daha düşük krater derinliği ölçülmüştür (Şekil 7.31).

Çizelge 7.18. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.19. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Çizelge 7.20. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Şekil 7.31. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki krater derinliği değerleri

Kİ00ve Kİ24 takımların 0,45 mm/dev ilerleme hızı ve dört farklı kesme hızındaki SEM fotoğrafları Resim 7.19 ile Resim 7.22 arasında verilmiştir. Kİ00 ve Kİ24 takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğraflarında, kesici takımların talaş yüzeylerindeki krater bölgelerinde oluşan

yapışmaların 0,15 mm/dev ve 0,3 mm/dev ilerleme hızlarına kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir (Resim 7.19). Ayrıca diğer ilerleme hızlarında kesici kenarda oluşan çentik aşınmalarının 0,45 mm/dev ilerleme hızında hiçbir takımda oluşmadığı tespit edilmiştir. Ancak her iki takımda da yardımcı kesme kenarlarında çentik aşınması oluşmuştur. Bununla birlikte her iki takımda da kesme kenarında yan yüzey aşınması ve YT oluştuğu görülmüştür. 120 m/dak kesme hızında YT oluşumunun önüne geçilemediği ancak Resim 7.19'da yer alan takımlara kıyasla daha küçük ebatlarda oluştuğu görülmektedir (Resim 7.20). Kesme hızının 140 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesici takımlarda oluşan YT'nin miktarı iyice azalmıştır (Resim 7.21).



Resim 7.19. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 100 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24



Resim 7.20. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24



Resim 7.21. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 140 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24

Son olarak 160 m/dak kesme hızındaki aşınma fotoğraflarının verildiği Resim 7.22'de, aynı şartlarda kesme işlemi yapılmasına rağmen Kİ24 takımda burun ve yan yüzey aşınması oluşumu düzgün bir şekilde seyrederken Kİ00 takımın kesme işlemi yapamayacak şekilde kesici takımın burun kısmının kırıldığı görülmektedir.



Resim 7.22. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00 b)Kİ24

Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı takım aşınmasının değerlendirilmesi

Kİ00 ve Kİ24 takımların farklı ilerleme hızlarında kesme hızına bağlı yan yüzey aşınması performansları Şekil 7.32'deki grafiklerde verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, tüm kesme şartlarında Kİ24 takımda daha düşük yan yüzey aşınması ölçüldüğü görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; artan kesme hızıyla kesici takım aşınmasında da artış olduğu söylenebilir. Yüksek kesme hızları birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına, kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına, kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına ve kesici takımın hızla aşınarak bozulmasına sebep olmaktadır [6, 10, 51, 56].

Her iki takım için en düşük aşınma miktarları 0,15 mm/dev ilerleme ve 120 m/dak kesme hızında ölçülmüş ve artan kesme hızıyla kesici takım aşınmalarının da bir miktar arttığı görülmüştür. 100 m/dak kesme hızında ise 120 m/dak kesme hızındaki aşınma miktarlarından bir miktar daha fazla aşınma oluştuğu kaydedilmiştir. Bu durum düşük kesme hızlarında kesici takımla iş parçası arasındaki sıcaklığın düşük olması sebebiyle kesme işleminin zorlaşması ile açıklanabilir. Artan kesme hızıyla birlikte kesme bölgesinde oluşan sıcaklık artmakta ve iş parçası malzemesinin akma dayanımı düşerek kesme işlemi kolaylaşmaktadır. Ancak kesme hızının daha fazla artması ile kesici takıma gelen yükün artması ve ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar

kesici takımın hızlı aşınmasına sebep olmaktadır. 0,3 mm/dev ilerleme hızında ise her iki takım için en düşük aşınma miktarları 100 m/dak kesme hızında ölçülmüş ve kesme hızının %60 artırılarak 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla Kİ00 ve Kİ24 takımda yaklaşık %385 ve %412'lik bir yan yüzey aşınması artışı görülmüştür.



Şekil 7.32. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

Son olarak 0,45 mm/dev ilerleme hızında ise 0,3 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi en düşük yan yüzey aşınması 100 m/dak kesme hızında ölçülürken kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla Kİ00 takımın burun yüzeyi kesme işlemi yapamayacak derecede bozulmuştur (Çizelge 7.21). Çizelge 7.21'deki fotoğraflar incelendiğinde kesme hızının kesici takım aşınması üzerindeki olumsuz etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Yüksek ilerleme hızlarında kesme hızının etkisi daha da belirginleşmiştir.

İlerleme hızının artmasıyla kesici takım aşınmasının da arttığı literatürde bilinen bir gerçektir [6, 51, 177]. İlerleme hızının artması deforme olmamış talaş kalınlığını artırarak takım-talaş temas boyunun artmasına neden olmaktadır [178]. Kİ00 ve Kİ24 takımların farklı kesme hızlarında ilerleme hızına bağlı aşınma performanslarının verildiği Şekil 7.33'teki grafikler de bu durumu doğrular niteliktedir. Grafikler incelendiğinde, Şekil 7.32'deki gibi tüm ilerleme hızlarında Kİ24 takımın daha iyi aşınma performansı sergilediği görülmektedir. Genel olarak her iki takım için en düşük aşınma miktarı en düşük ilerleme hızı olan 0,15 mm/dev'de oluşmuştur. İlerleme hızının %200 artırılarak 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla 100, 120, 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında Kİ00 takımda sırasıyla yaklaşık %207, %335, %285 ve %224'lük, Kİ24 takımda ise sırasıyla yaklaşık %151, %308, %260 ve %243'lük oranda yan yüzey aşınması artışı meydana gelmiştir.

| | | Kesme hızı (m/dak) | | | | | Kesme hızı (m/dak) | | | |
|------|---------------------|--------------------|-----|---------|-------------|---------------------|--------------------|-----|-----|-------------|
| f | | 100 | 120 | 140 | 160 | | 100 | 120 | 140 | 160 |
| 0,15 | n | | | | H 0,2 mm | m | | | | H 0,2 mm |
| 0,3 | 00 – Kaplamasız Tak | | | Nava al | H 0,2 mm | 24 – Kaplamasız Tak | | | | H 0,2 mm |
| 0,45 | Kİ | | | | H 0,2 mm | Kİ | | | | H 0,2 mm |

Çizelge 7.21. İşlemsiz ve kriyojenik işelm uygulanmış takımların kesme hızına bağlı aşınma fotoğrafları



Şekil 7.33. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı yan yüzey aşınmasındaki değişim

7.4.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

0,15 mm/dev ilerleme hızındaki yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Kİ00 ve Kİ24 kaplamasız tungsten karbür takımların 0,15 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenecek olursa; tüm kesme hızlarında her iki takımın birbirine yakın değerler sergilediği görülmektedir (Şekil 7.34). Bununla birlikte özellikle yüksek kesme hızlarında Kİ24 takımda Kİ00 takıma kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Bu durum, kriyojenik işlem sonrasında ikincil karbür oluşumu ve karbürlerin homojen dağılımı ile bu işlemin kesici takıma kazandırdığı yüksek aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 140 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Genel olarak, ilerleyen kesme zamanı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı görülmüştür. İlerleyen kesme zamanıyla birlikte kesici takım

aşınmasının artması kesici kenarın bozulmasına sebep olur. Bozulan kesme kenarı yüzey pürüzlülüğü değerlerini arttırmaktadır [56, 169]. Tüm kesme hızlarında Kİ00 takımla yüzey pürüzlülüğü değerleri 1,018 – 1,895 µm aralığında ölçülürken Kİ24 takımla 0,849 – 1,740 µm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.34. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,15 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

0,3 mm/dev ilerleme hızındaki yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

0,3 mm/dev ilerleme ve dört farklı kesme hızında Kİ00 ve Kİ24 takımların zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimlerini gösteren grafikler Şekil 7.35'te verilmiştir. Şekil 7.34'teki gibi tüm kesme hızlarında en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri Kİ24 takımla yapılan kesme işleminden elde edilmiştir. Bu fark 100, 120 ve 140 m/dak kesme hızlarında oldukça belirgindir. Bununla birlikte genel itibariyle artan kesme zamanı ile birlikte her iki takım için ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır.

Benzer gözlemler Ramji ve arkadaşları [171] ile Aslantaş ve arkadaşları [172] tarafından da rapor edilmiştir. Bilindiği gibi kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir ilişki vardır [169]. Tüm kesme hızlarında Kİ00 takımla elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri 2,494 – 4,552 µm aralığında iken Kİ24 takımla elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri 2,205 – 3,129 µm aralığındadır.



Şekil 7.35. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,3 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

0,45 mm/dev ilerleme hızındaki yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

0,45 mm/dev ilerleme hızındaki yüzey pürüzlülüğü değişimlerine bakıldığında ise; diğer ilerleme ve kesme hızlarında olduğu gibi bu kesme şartlarında da Kİ24 takımın Kİ00 takımdan daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri sergilediği görülmektedir (Şekil 7.36). Grafiklerde, her iki takım için tüm kesme hızlarında artan kesme zamanı ile birlikte ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı göze çarpmaktadır. 100, 120 ve 140 m/dak kesme hızlarında iki takımın yüzey pürüzlülüğü eğrileri birbirine paralel iken 160 m/dak kesme hızında Kİ00 takımla elde edilen yüzey pürüzlülüğü 4. saniyeden sonra hızla kötüleşmiştir. Bu durum düşük aşınma direnci sebebiyle Kİ00 takımda oluşan yüksek aşınma miktarına bağlanmıştır. Tüm kesme hızlarında Kİ00 takımla yapılan kesme işleminden 5,777 – 11,560 μm aralığında yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülürken Kİ24 takımla 4,947 – 11,34 μm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.36. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda 0,45 mm/dev ilerleme hızında zamana bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimlerinin değerlendirilmesi

Şekil 7.37'de Kİ00 ve Kİ24 takımların üç farklı ilerleme hızında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimlerini gösteren grafikler verilmiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; tüm kesme şartlarında Kİ24 takım Kİ00 takımdan daha düşük yüzey pürüzlülüğü sergilemiştir. Bu durum, kriyojenik işlem sonrasında ikincil karbür oluşumu ve karbürlerin homojen dağılımı ile bu işlemin keşici takıma kazandırdığı yüksek aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir. İkincil karbürler küçük yüzey hasarlarına sebep olmaktadır. Grafiklere bakıldığında yüzey pürüzlülüğündeki değişimin Şekil 7.32'deki aşınma grafikleri ile benzer eğilimde oldukları görülmektedir. Kesici takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir ilişki vardır [169]. Sreerama Reddy ve arkadaşları, C45 çeliğinin tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanmış P-30 tungsten karbür takımların işlemsiz takımdan daha düşük yüzey pürüzlülüğü sergilediğini rapor etmişlerdir [10]. Şekil 7.37'deki grafikler incelendiğinde, 0,3 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında Kİ00 takımı hariç, belirli bir değere kadar artan kesme hızıyla ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı (%4-18 oranda) ancak kesme hızının daha da arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin bir miktar arttığı (%5-39 oranda) tespit edilmiştir. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki azalma yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalması ile açıklanabilir. Kesme hızındaki artışla birlikte takım-iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklık artışı, yığıntı talaşın boyutunu küçültmektedir. Özellikle sünek malzemelerin işlenmesinde yüksek kesme hızları yığıntı talaş oluşumunu azaltarak yüzey kalitesini azaltmaktadır [6, 45]. Yığıntı talaş kesme esnasında kesici kenarın yerini almak suretiyle yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Ancak kesme hızı daha da artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün artması, yüksek kesme hızlarında kesici takımdaki hızlı aşınmaya atfedilebilir [56, 169]. Literatürde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığını bildiren çalışmalar [10, 45] olmakla beraber; bu çalışmada elde edilen veriler Çiftçi [27] tarafından yapılan çalışma ile paralellik arz etmektedir. 0,3 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında ise artan kesme hızıyla Kİ00 takımla ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de artması kesici takımın aşınması ile ilişkilendirilmiştir.


Şekil 7.37. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 7.38'deki grafikler incelendiğinde, tüm kesme hızları için her iki takımda da en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 0,15 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde görülmüş ve artan ilerleme hızıyla büyük oranda arttığı belirlenmiştir. Kİ00 takımda en düşük ilerleme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme hızının %200 artırılarak 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla yaklaşık %461 artmıştır. Kİ24 takımda ise bu artış %458 olarak hesaplanmıştır. İlerleme hızının artması ile, talaş kesitinin artması ve bunun sonucunda kesme bölgesindeki takıma etkiyen yük artmış ve aynı zamanda daha fazla ısı artışına ve takımın daha kolay deforme olmasına yol açmıştır [49]. Kesme hızı ile kıyaslandığında ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha baskın bir etkisi vardır [36, 39, 173]. Abdullah ve arkadaşları, AISI 316L çeliğin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızının kesme hızından daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. İlerleme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü de azalmıştır [36]. Benzer gözlemler Özek ve arkadaşları [38] ve Tekiner ve arkadaşları [40] tarafından da rapor edilmiştir ve ilerleme hızındaki azalma ile titreşim ve güç tüketiminin azalması sayesinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü gözlemlemişlerdir. Diğer yandan, Selvaraj ve Chandramohan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tungsten karbür takımlar kullanılarak kuru tornalanmasında, Taguchi tekniği ile yapılan analiz sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerine ilerleme hızının %51,84, kesme hızının %41,99 etkili olduğunu belirlemişlerdir [39]. Yapılan bu çalışmada da elde edilen sonuçların literatürle paralellik arz ettiği görülmektedir.



Şekil 7.38. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

7.4.3. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Optimum bekletme süresinde, üç farklı ilerleme hızı (0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev) ve dört farklı kesme hızı (100, 120, 140 ve 160 m/dak) kullanılarak sabit kesme derinliğinde (2,4 mm) yapılan silindirik tornalama deneylerinde kesme kuvveti bileşenleri ölçülmüştür. AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür takımlarla işlenmesi esnasında kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına bağlı değişimi Şekil 7.39'da ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 7.40'ta verilmiştir. Şekil 7.39'daki grafikler incelendiğinde; AISI 316 çeliğinin işlenmesinde Kİ00 ve Kİ24 takımlar için tüm kesme şartlarında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu, bununla birlikte 0,3 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında Kİ24 takımda bir miktar yüksek çıktığı görülmektedir. Ancak bu durum 0,3 mm/dev ilerleme hızında %3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızında %13'ü geçmemektedir. Bu durum, daha önce de bahsedildiği gibi kriyojenik işlemin tungsten karbür keşici takımların ısıl iletkenliğini artırması ile ilişkilendirilmiştir. Isıl iletkenlikteki artış, kesici takımın ısı dağıtım kapasitesini artırır ve takım uç sıcaklığını azaltmaya yardım eder [10]. Kesme esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklıklar işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürerek plastik deformasyonu kolaylaştırmaktadır [174, 175]. Kriyojenik islem uygulanmış takımlardaki yüksek ısıl iletkenlik ile kesme esnasında oluşan ısı hızla kesme bölgesinden uzaklaştırılır ve kesme işlemi bir miktar zorlaşır. Bu nedenle kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla ölçülen kesme kuvvetlerinin Kİ00 takıma kıyasla bir miktar daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Literatürde, kriyojenik işlem uygulanmış takımların işlemsiz takıma kıyasla daha düşük kesme kuvveti sergilediği bildirilmiştir [10, 176]. Bununla birlikte bazı araştırmacılar, kriyojenik işlemin kesme kuvvetlerinde bir değişiklik oluşturmadığını tespit etmişlerdir [8]. Literatürden farklı olarak bu çalışmada AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha yüksek esas kesme kuvveti değerleri sergilemiştir.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızının değişmesinden çok fazla etkilenmediği görülmektedir. Tüm bileşenler için en yüksek değerlerin, kesme hızının 100 m/dak ve ilerlemenin 0,45 mm/dev olduğu kesme şartlarında oluştuğu görülmüştür. Burada; Kİ00 takım için Fr=540,18 N, Ff=711,21 N, Fc=2060,21 N, Kİ24 takım için ise Fr=616,76 N, Ff=814,93 N ve Fc=2265,42 N olarak ölçülmüştür.

Şekil 7.39'daki grafiklerde, genel olarak her iki takımda da kesme hızının 140 m/dak'ya kadar arttırılmasıyla kesme kuvveti bileşenlerinin azaldığı, ancak kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarıldığında bir miktar artış olduğu görülmektedir.



Şekil 7.39. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 7.40'taki grafiklere bakıldığında, tüm kesme hızlarında her iki takımda da ilerleme hızındaki artışa paralel olarak kesme kuvveti bileşenlerinin arttığı görülmektedir. İlerleme hızının artması, kesme bölgesindeki yükü arttırdığı gibi, aynı zamanda daha fazla ısı artışına ve takımın daha kolay deforme olmasına yol açacaktır

[49]. Fc kuvvetinin gerek değeri gerekse artma eğilimi diğer bileşenlere göre çok daha fazla olmuştur.

Şekil 7.40'taki grafiklerde ilerleme hızının etkisine bakıldığında, Kİ00 takımda 0,15 mm/dev ilerleme hızının 2 kat artırılarak 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla Fr kuvveti ortalama 299,33 N'dan 533,25 N'a çıkarak %78 (232,44 N) oranda arttığı görülmektedir. Ff kuvvetinde görülen artış ortalama %55 (243,84 N) olarak Fr'ye göre biraz daha az olmakla beraber bu iki kuvvetin artış eğilimi çok benzerdir. Kİ24 takımda ise ilerlemenin 2 kat arttırılmasıyla Fr kuvvetinde ortalama %96 (291,93 N) artış görülmüştür. Kİ00 takımdaki gibi Kİ24 takımda da Ff kuvvetindeki artışın Fr kuvvetinden biraz daha az olarak ortalama %75 (338,70 N) olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte iki kuvvet bileşeninin artış eğilimi birbirine çok yakındır. Literatürde de belirtildiği gibi ilerleme hızındaki artışla kesme kuvveti bileşenlerindeki artış beklenen bir durumdur [6, 51].

Şekil 7.39 ve Şekil 7.40'taki grafikler incelendiğinde, kesme kuvvetlerinin artmasında ilerleme hızının kesme hızından daha etkili olduğu söylenebilir [56, 131]. Kesme kuvveti bileşenlerinin en büyüğü olan ve kesme parametrelerinden daha fazla etkilenen Fc kuvveti değişimi Kİ00 ve Kİ24 takımlar arasında karşılaştırmalı olarak Şekil 7.41 ve Şekil 7.42'de verilmiştir. Şekil 7.41'deki grafikler incelendiğinde, 0,15 mm/dev ilerleme hızında iki takımın Fc değerleri arasında kayda değer bir fark görülmemektedir. Kesici takımlar arasındaki 0,15 mm/dev ilerleme hızında görünmeyen Fc farkları 0,3 mm/dev ilerleme hızında açığa çıkmaya başlamış ve 0,45 mm/dev ilerleme hızında iyice belirginleşmiştir. Bu iki ilerleme hızında da Kİ00 takımda Kİ24 takımdan daha düşük Fc kuvveti ölçülmüştür. 0,15 mm/dev ilerleme hızında kİ24 takım ile Kİ00 takım arasındaki Fc farkı %1'den (ortalama 5,94 N) daha düşüktür. 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızında ise bu fark ortalama %5 (74,4 N) ve ortalama %9 (192,54 N) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.40. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim

Genel olarak, tüm grafiklerde 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızıyla her iki takımda da Fc değerleri düşmüş ancak kesme hızının daha da artırılarak 160

m/dak'ya çıkarılmasıyla Fc değerleri bir miktar artmıştır. Daha önce de açıklandığı gibi belli bir değere kadar artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerindeki bu düşüş, kısmen kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması sonucu sürtünmenin azalması ve kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklara bağlı olarak malzemenin akma dayanımının azalmasıyla açıklanabilir [10, 27, 51, 151, 174]. Kesme hızının daha da artırılmasıyla artan kesme kuvveti ise kesici takım aşınmasının artması ve dolayısıyla aşınmış bir kesici takımın kesme kuvvetlerinde artışa neden olması ile açıklanabilir [27]. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki bu değişim Çiftçi [27] ile Çiçek ve arkadaşlarının [56] yaptıkları çalışmalarla paralellik arz etmektedir. Benzer şekilde Işık, yaptığı çalışmada kesme hızındaki artışın kesici takım aşınmasını artırması sebebiyle kesme kuvvetlerinde artış olduğunu rapor etmiştir [177]. 100 m/dak kesme hızının %60 artırılarak 160 m/dak'ya çıkarıldığında her iki takım için tüm ilerleme hızlarında Fc değerlerinde kayda değer bir fark görülmemiştir.



Şekil 7.41. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

İlerleme hızına bağlı Fc kuvvetlerindeki değişime bakıldığında, ilk göze çarpan her iki takımda da tüm kesme hızlarında ilerleme hızının artmasıyla Fc değerlerinde belirgin bir artışın olmasıdır (Şekil 7.42). Bu durumun ilerleme hızındaki artışla birlikte talaş kesitinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Talaş kesitinin artması takım-talaş temas boyunu artırmaktadır. Böylece kesici takım yüzeyinde oluşan gerilmeler daha geniş bir alanda etkili olmaktadır [178]. Literatürde ilerleme hızındaki artış ile kesme kuvvetlerinin de arttığını bildiren birçok çalışma bulunmaktadır [49, 51, 56, 131]. 0,15 mm/dev ilerleme hızında Fc değeri Kİ00 takımda ortalama 875,21 N iken, ilerleme hızı %200 artışla 0,45 mm/dev olduğunda Fc kuvvetlerinde %135'lik bir artış meydana gelerek ortalama 2055,13 N olmuştur. Kİ24 takımda ise ortalama 881,15 N olan Fc değeri, ilerleme hızındaki %200'lük artışla ortalama %155 oranında artarak 2247,67 N'a ulaşmıştır.



Şekil 7.42. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

7.5. Kaplamalı Takımlara Uygulanan Derin Kriyojenik İşlemin İşlenebilirliğe Etkisi

Yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda optimum kriyojenik işlem bekletme süresinin belirlenmesi ile kaplamalı takımlar için işlenebilirlik deneyleri; sadece işlemsiz ve 24 saat bekletme süresinde derin kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla yapılmıştır.

Kesici takım aşınma deneyleri; TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlar için yalnızca 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızında, TiCN kaplı takımlar için ise 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızında gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri ise Bölüm 6.2.3'te verilen kesme parametrelerinde değerlendirilmiştir (Çizelge 6.4). Bu çalışmadaki TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlar grafiklerde TiN ile ifade edilmiştir.

7.5.1. Kesici takım aşınmasının değerlendirilmesi

İşlemsiz (Kİ00-TiAlN) ve kriyojenik işlem uygulanmış (Kİ24-TiAlN) TiAlN kaplı takımların zamana bağlı yan yüzey aşınması değişimlerini gösteren grafik Şekil 7.43'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, kaplamasız takımlarda olduğu gibi bu kesici takımda da kriyojenik işlem uygulanmış takımın daha iyi aşınma performansı sergilediği görülmektedir. 35 saniye kesme işleminin sonunda Kİ24-TiAlN takım Kİ00-TiAlN takımdan %13 daha az aşınmıştır. Literatürde kriyojenik işlem uygulanmış farklı kaplama malzemesine sahip (TiN/TiCN/Al₂O₃/TiN, TiCN/Al₂O₃, TiAlN) tungsten karbür takımların daha iyi aşınma performansı sergilediği bildirilmiştir. Yazarlar bu durumu kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takımlarda daha fazla η fazı karbürlerinin çökelmesi meydana gelmesi ve böylece daha yüksek aşınma direnci elde edilmesine atfetmişlerdir [10, 17, 179].

TiAlN kaplı kesici takımların zamana bağlı aşınma fotoğrafları Çizelge 7.21'de verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde, her iki takımda da yan yüzey aşınmasının oluştuğu görülürken çentik aşınmasına rastlanmamıştır.



- Şekil 7.43. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri
- Çizelge 7.21. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



Aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için Kİ00-TiAlN ve Kİ24-TiAlN takımların çekilen SEM fotoğrafları Resim 7.23'te verilmiştir. Her iki takımda da yan yüzey aşınmasının yanı sıra krater aşınmasının da oluştuğu görülmektedir. Ayrıca krater yüzeyinde yapışmalar da meydana gelmiştir. Her iki takımda da çentik aşınması görülmemekle birlikte çok küçük ebatlarda YT oluşmuştur.



Resim 7.23. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00-TiAlN b)Kİ24-TiAlN

TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takım üzerine uygulanan kriyojenik işlemin aşınma performansı üzerine etkisi incelendiğinde; TiAlN kaplı takımda olduğu gibi kriyojenik işlem uygulanmış takımın daha iyi aşınma performansı sergilediği görülmektedir (Şekil 7.44). İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların her ikisinin de aşınma eğrisi birbirine paralel seyretmiş ve 35 saniyenin sonunda kriyojenik işlem uygulanmış takım işlemsiz takımdan %26 daha az aşınmıştır. Bu durum kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takımların daha yüksek aşınma direnci sergilemesine atfedilmiştir [10, 17, 171, 179].

TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların belirli zaman aralıklarında çekilen aşınma fotoğraflarına bakıldığında Şekil 7.44'teki aşınma farkı daha net görülmektedir (Çizelge 7.22). Kİ24-TiN takımda 35. saniyeye kadar yan yüzey aşınması düzgün bir şekilde seyrederken, Kİ00-TiN takımda 15. saniyeden itibaren aşırı aşınmadan ötürü kesici takımın kaplama malzemesi kalkmaya başlamıştır. Diğer yandan her iki takımda da çentik aşınmasına rastlanmamıştır.



- Şekil 7.44. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızında zamana bağlı aşınma değişimleri
- Çizelge 7.22. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma fotoğrafları



TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların SEM fotoğrafları incelendiğinde, Kİ00-TiN takımda oluşan aşınma miktarının Kİ24-TiN takımdaki aşınma miktarından oldukça fazla olduğu görülmektedir (Resim 7.24). Ayrıca Kİ00-TiN takımın kaplama malzemesinin abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle neredeyse kesme kenarı boyunca kalktığı görülmektedir. Diğer yandan ısıl işlem farkı olmaksızın her iki

takımın da talaş yüzeyinde krater aşınması oluşmamıştır. Bu durum, kesici takımın en üst katmanında bulunan TiN kaplamasının çok sert bir malzeme olmamasına karşın düşük sürtünme katsayısı ve iyi krater aşınması direnci sağlaması ile ilişkilendirilmiştir [6].



Resim 7.24. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00-TiN b)Kİ24-TiN

TiCN kaplı takımlarda ise, her iki takımın aşınma eğrileri paralel seyretmekle birlikte, 8 saniyenin sonunda kriyojenik işlem uygulanmış takım işlemsiz takıma kıyasla %8 daha düşük aşınma göstermiştir (Şekil 7.45).



Şekil 7.45. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı aşınma değişimleri

TiCN kaplı takımların zamana bağlı aşınma fotoğraflarına bakıldığında Kİ00-TiCN takımın Kİ24-TiCN takıma kıyasla daha ilk kesme işlemiyle büyük oranda aşındığı görülmektedir (Çizelge 7.23). Bununla birlikte Kİ00-TiCN takımın kesici kenar formunu bozacak şekilde oluşan YT oluşumlarına rastlanmıştır. Resim 7.25'te Kİ00-TiCN takımda kesme kenarı boyunca YT oluştuğu görülmektedir. Kİ24-TiCN takımda ise oluşan YT daha küçük ebattadır. Ayrıca her iki takımda da yığıntı katmanı oluşmuştur. Diğer yandan her iki takımda da krater aşınmasına rastlanmamıştır.

Çizelge 7.23. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 160 m/dak kesme ve 0,45 mm/dev ilerleme hızındaki aşınma fotoğrafları





Resim 7.25. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki SEM fotoğrafları a)Kİ00-TiCN b)Kİ24-TiCN

7.5.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Kriyojenik işlemin TiAlN kaplı takımın yüzey pürüzlülüğündeki değişimi üzerine etkisi incelendiğinde; aşınma performansında olduğu gibi yüzey pürüzlülüğünde de olumlu etki yaptığı görülmektedir (Şekil 7.46). Yüzey pürüzlülüğü değerleri Kİ00-TiAlN takımla 5,288 – 6,12 μm aralığında ölçülürken Kİ24-TiAlN takımla 4,652 – 5,536 μm aralığında ölçülmüştür. Kriyojenik işlem uygulanmış kaplamalı takımlar daha yüksek aşınma direnci sayesinde daha az aşınmış ve böylece daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri sergilemiştir [10, 17, 171].



Şekil 7.46. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri

TiAlN kaplı takımda olduğu gibi, TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda da kriyojenik işlem uygulanmış takım işlemsiz takımdan daha düşük yüzey pürüzlülüğü sergilemiştir (Şekil 7.47). İşlemsiz takımla 5,322 – 6,659 μ m aralığında, kriyojenik işlem uygulanmış takımla ise 5,231 – 5,778 μ m aralığında yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür [10, 17, 171].



Şekil 7.47. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 240 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri

Diğer kaplamalı takımlarda olduğu gibi TiCN kaplı takımla yapılan kesme işleminde de kriyojenik işlem uygulanmış takımda daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür (Şekil 7.48).



Şekil 7.48. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların 0,45 mm/dev ilerleme ve 160 m/dak kesme hızındaki zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri

Kaplamalı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenecek olursa; TiAlN kaplı takımların genel itibariyle 0,15 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında kriyojenik işlem uygulanmış takımın daha düşük yüzey pürüzlülüğü sergilediği görülmektedir (Şekil 7.49). 0,3 mm/dev ilerleme hızında ise 200 m/dak kesme hızı hariç işlemsiz takım daha düşük yüzey pürüzlülüğü sergilemiştir. Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri değerlendirildiğinde ise; genel olarak kesme hızındaki artışla yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 7.49. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 7.50'de tüm kesme hızlarında en düşük Ra değerleri en düşük ilerleme hızında (0,15 mm/dev) elde edilmiştir. İlerleme hızındaki artışla her iki takımın da yüzey pürüzlülüğü değerlerinde büyük oranda artış gözlenmiştir. 0,15 mm/dev ilerleme hızının %200 artırılmasıyla Kİ00-TiAlN takımla ölçülen Ra değerlerinin ortalama %385, Kİ24-TiAlN takımla ölçülen Ra değerlerinin ise ortalama %506 arttığı





Şekil 7.50. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 7.51'de TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri verilmiştir. Grafiklerde, TiAlN kaplı takımda olduğu gibi 0,15 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızında kriyojenik işlem uygulanmış takımlarda daha düşük Ra değerleri ölçüldüğü görülmektedir. 0,3 mm/dev ilerleme hızında ise her iki takımın Ra değerleri birbirine yakın olmakla birlikte Kİ00-TiN takımla ölçülen Ra değerleri bir miktar daha düşüktür. Genel olarak belli bir değere kadar kesme hızındaki artışla malzemenin akma mukavemetindeki düşüş sebebiyle kesme işleminin kolaylaşmasından dolayı kesici takımların Ra değerlerinde düşüş gözlenmiştir [27].



Şekil 7.51. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimlerine bakıldığında ilerleme hızındaki artışla her iki takımla ölçülen Ra değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 7.52). İlerleme hızının %200 artırılmasıyla Kİ00-TiN takımla ölçülen Ra değerlerinde ortalama %353, Kİ24-TiN takımla ölçülen Ra değerlerinde ise ortalama %440 oranda artış gözlenmiştir.



Şekil 7.52. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

TiCN kaplı takımın kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimi incelendiğinde, 0,3 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında Kİ24-TiCN takımla daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 7.53). 0,15 mm/dev ilerleme hızında ise iki takımın Ra değerleri birbirine çok yakın değerlerde ölçülmüştür.



Şekil 7.53. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

Şekil 7.54'e bakıldığında, diğer kesici takımlarda olduğu gibi bu kesici takımlarda da ilerleme hızındaki artışla Ra değerlerinin arttığı görülmektedir. İlerleme hızının %200 artırılmasıyla Kİ00-TiCN takımla ölçülen Ra değerlerinde ortalama %478 oranda artış tespit edilmiştir. Kİ24-TiCN takımla ise bu artışın ortalama %401 oranda gerçekleştiği görülmüştür.



Şekil 7.54. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımların ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim

7.5.3. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğinin işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAIN kaplı kesici takımlarla işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızına bağlı değişimi Şekil 7.55 ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 7.56'da verilmiştir. Şekil 7.55'teki grafiklere bakıldığında, kaplamasız takımlarda olduğu gibi TiAIN kaplı takımlarda da tüm deneylerde Fc kuvvetinin diğer kuvvet bileşenlerine göre daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir. Ff ile Fr kuvveti ise Fc'ye göre daha düşük ve birbirine yakın değerlerdedir. Genel olarak, kesme hızındaki artışla kesme kuvveti bileşenlerinde azalma meydana gelmiştir. Özellikle 0,45 mm/dev ilerleme hızında 120 m/dak kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla her iki takımda da tüm kesme kuvveti bileşenlerinde meydana gelen düşüş eğilimi diğer ilerleme hızlarına kıyasla oldukça fazladır. Kesme hızının daha da artırılmasıyla Kİ24-TiAIN takımda kesme kuvveti bileşenlerinde düşüş eğilimi devam ederken, Kİ00-TiAlN takımda kesme hızının 200 m/dak'dan 240 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesme kuvveti bileşenlerinde artış meydana gelmiştir. Bu da kriyojenik işlemin TiAlN takıma kazandırmış olduğu aşınma direnci ile açıklanabilir. Her iki takımda da en yüksek kuvvet bileşenleri, kesme hızının 120 m/dak ve ilerleme hızının 0,45 mm/dev olduğu kesme şartlarında elde edilmiştir. Burada Kİ00-TiAlN takım için Fr=694,77 N, Ff=939,81 N, Fc=2413,93 N, Kİ24-TiAlN takım için ise Fr=689,46 N, Ff=932,69 N ve Fc=2360,74 N olarak ölçülmüştür.

Şekil 7.56'ya bakıldığında TiAlN kaplı her iki takım ile yapılan kesme işleminde, kaplamasız takımlarda olduğu gibi, ilerleme hızındaki artışa paralel olarak kesme kuvveti bileşenlerinin arttığı görülmektedir [49, 51, 56, 131]. Tüm deneylerde Kİ24-TiAlN ve Kİ00-TiAlN takımlardaki kesme kuvveti bileşenlerindeki artış eğilimi birbirine yakın değerlerdedir. Bu durumu tüm grafiklerde görmek mümkündür. Diğer yandan Fc'deki artışın diğer kuvvet bileşenlerine göre çok daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm kesme hızlarında 0,15 mm/dev ilerleme hızının %200 artırılarak 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla Fr kuvveti ortalama %104 (308,27 N) oranında artmıştır. Ff kuvvetinde görülen artış Fr'ye göre biraz daha azdır. Bu da ortalama %89 (381,23 N) olarak hesaplanmıştır. İlerleme hızının %200 artırılmasıyla ortalama %159 (1380,71 N) ile en yüksek artış ise Fc kuvvetinde olmuştur.

TiAlN kaplı takımlarla yapılan tüm deneylerde Fc kuvveti Ff kuvvetinden 427 – 1474 N ve Ff kuvveti Fr kuvvetinden 86 – 245 N aralığında daha yüksek değerlerde ölçülmüştür. Şekil 7.55 ile Şekil 7.56'daki grafiklerden kesme hızındaki artışın kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkisinin ilerleme hızına göre daha az olduğu ortaya çıkmaktadır [36, 38-40].



Şekil 7.55. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 7.56. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim

İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımların kesme hızına bağlı Fc kuvvetlerindeki değişim Şekil 7.57'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, genel olarak Kİ24-TiAlN takımlarla Kİ00-TiAlN takımlar arasında Fc değerlerinde kayda değer bir değişiklik görülmemektedir. Elde edilen bu veriler Da silva ve arkadaşları tarafından da desteklenmiştir. Yazarlar, kriyojenik işlemin kesici takımdaki kalıntı östeniti martenzite dönüştürmesi ve ikincil karbür çökelmesinin aşınma direncini artırdığını ancak kesme kuvvetlerinde bir değişiklik oluşturmadığını savunmuşlardır [8]. Kesme hızının Fc kuvveti üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, genel olarak kesme hızının artması ile Fc değerlerinde düşüş eğilimi gözlenmiştir. Özellikle 0,3 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında düşüş eğilimi daha nettir. 120 m/dak kesme hızının %100 artırılmasıyla Kİ00-TiAlN takımla ölçülen Fc kuvvetlerinde 0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla %1, %4 ve %7 oranında düşüş görülmüştür. Kİ24-TiAlN takımda ise Fc kuvveti 0,15 mm/dev ilerleme hızında %0,4 oranında artmış, 0,3 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında ve %0,45 mm/dev ilerleme hızının keşitür.



Şekil 7.57. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 7.58'deki grafiklerde, tüm kesme hızlarında ilerlemenin artması her iki takım için de Fc değerlerini artırmıştır [49, 51, 56, 131]. Artış eğiliminin düzenli bir seyir sergilediği görülmektedir. 0,15 mm/dev ilerleme hızında Kİ00-TiAlN takımda ortalama 871,19 N olan Fc kuvveti, ilerleme hızının %200 artırılması ile %161'lik artış ile ortalama 2272,75 N'a ulaşmıştır. Kİ24-TiAlN takımda ise ortalama 862,08 N olan Fc kuvveti ilerleme hızındaki %200'lük artışla ortalama 2222,34 N olmuştur.



Şekil 7.58. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiAlN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

Şekil 7.59'daki grafiklere bakıldığında, TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarla yapılan kesme işleminde TiAlN kaplı takımlarda olduğu gibi, genel olarak kesme hızındaki artışla kesme kuvveti bileşenlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Yalnızca 0,15 mm/dev ilerleme hızında yapılan deneylerde, her iki takımda da kesme hızının artmasıyla 160 m/dak kesme hızına kadar kesme kuvveti bileşenlerinin bir miktar arttığı ancak 160 m/dak kesme hızından sonra azaldığı tespit edilmiştir.

Kesme kuvveti bileşenlerindeki azalma eğilimi 0,45 mm/dev ilerleme hızında diğer ilerleme hızlarına kıyasla nispeten daha fazladır. Bununla birlikte bu ilerleme hızında Kİ24-TiN takımda 200 m/dak'ya kadar kesme hızının artırılmasıyla azalan kesme kuvveti bileşenleri kesme hızının daha da artırılmasıyla artış eğilimi göstermiştir. Her iki takımda da tüm kesme kuvveti bileşenleri için en yüksek değerler; Kİ00-TiN takım için Fr=638,42 N, Ff=839,76 N, Fc=2259,62 N, Kİ24-TiN takım için ise Fr=671,41 N, Ff=879,75 N ve Fc=2311,7 N olarak 0,45 mm/dev ilerleme hızı ve 120 m/dak kesme hızında ölçülmüştür.

TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim incelendiğinde, kaplamasız ve TiAlN kaplı takımlarda olduğu gibi ilerleme hızındaki artışla paralel olarak kesme kuvveti bileşenlerinin de arttığı görülmektedir (Şekil 7.60) [49, 51, 56, 131]. Grafiklerde, ilerleme hızındaki artışla Ff ve Fr kuvvetlerindeki artış eğilimi tüm kesme hızlarında birbirine paralel seyrederken Fc kuvvetindeki artış eğiliminin diğer bileşenlere göre çok daha fazla olduğu göze çarpmaktadır.

0,15 mm/dev ilerleme hızının %200 artırılmasıyla Fc, Ff ve Fr kuvvetlerinde sırasıyla ortalama %150, %69 ve %88 oranda bir artış meydana gelmiştir. TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarla yapılan tüm deneylerde Fc kuvveti Ff kuvvetinden 400 – 923 N aralığında, Ff kuvveti de Fr kuvvetinden 88 – 208 N aralığında daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.



Şekil 7.59. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 7.60. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim

İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımların Fc kuvvetlerindeki değişime bakıldığında; yine genel olarak kesme hızındaki artışla her iki takımın Fc değerlerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 7.61). Kesme hızının 120 m/dak'dan %100'lük artışla 240 m/dak'ya çıkarılmasıyla, Kİ00-TiN takımın Fc kuvvetlerinde 0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla %4, %6 ve %7'lik oranda düşüş gerçekleşmiştir. Kİ24-TiN takımda ise bu oran sırasıyla %3, %5 ve %5 olarak hesaplanmıştır.

Fc kuvvetleri kesici takım açısından değerlendirilecek olursa, 0,15 mm/dev ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında Fc kuvvetleri Kİ00-TiN takımda Kİ24-TiN takımdan ortalama %1 (11,03 N) ve %2 (54,21 N) oranda daha düşük oluşmuştur. 0,3 mm/dev ilerleme hızında ise Kİ24-TiN takım Kİ00-TiN takıma kıyasla ortalama %1 (10,47 N) oranında daha düşük Fc değerleri sergilemiştir. Buradan iki takım arasında Fc değerlerinde gözle görülür bir fark olmadığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 7.61. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

İlerleme hızındaki artışa paralel olarak her iki takımın Fc değerlerinde de artış meydana gelmiştir (Şekil 7.62). İlerleme hızının 0,15 mm/dev'den %200 oranında artırılarak 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla, Kİ00-TiN takımda ölçülen Fc kuvveti ortalama 875,62 N'dan %149 oranında artarak ortalama 2178,50 N'a çıkmıştır. Kİ24-TiN takımda ise ortalama 886,65 N olan Fc kuvveti, %152 oranında artışla ortalama 2232,71 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.62. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

TiCN kaplı takımların kesme hızına bağlı kesme kuvveti bileşenlerindeki değişim incelendiğinde diğer tüm takımlarda olduğu gibi, genel olarak kesme hızındaki artışla kesme kuvveti bileşenlerinde düşüş eğilimi gözlenmiştir (Şekil 7.63). 0,45 mm/dev ilerleme hızında Kİ24-TiCN takımda artan kesme hızıyla üç kuvvet bileşeni de düşüş eğilimi gösterirken, Kİ00-TiCN takımda kesme kuvveti bileşenleri 140 m/dak kesme hızına kadar düşüş eğilimi göstermiş ve kesme hızının daha da artırılmasıyla kuvvet bileşenleri de artmıştır. Tüm bileşenler için en yüksek değerler en düşük kesme hızı

(100 m/dak) ve en yüksek ilerleme hızında (0,45 mm/dev) kaydedilmiştir. Burada Kİ00-TiCN takım için Fr=686,74 N, Ff=947,63 N, Fc=2332,72 N, Kİ24-TiCN takım için ise Fr=745,97 N, Ff=1017,39 N ve Fc=2455,56 N olarak ölçülmüştür.

Bütün takımlarda olduğu gibi TiCN kaplı takımlarda da ilerleme hızındaki artışla kesme kuvveti bileşenleri de artmıştır (Şekil 7.64) [49, 51, 56, 131]. Ff ve Fr kuvvetlerindeki artış eğilimi birbirine paralel iken Fc kuvvetindeki artış eğilimi bu kuvvet bileşenlerine kıyasla çok daha fazladır. İlerleme hızının 0,15 mm/dev'den 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla Fc kuvvetinde ortalama %162 (1421 N) oranında artış görülmüştür. Ff kuvvetinde bu oran ortalama %98 (446 N) olarak hesaplanmıştır. Son olarak Fr kuvvetinde ise ortalama %116'lık (355 N) bir artış gözlenmiştir. TiCN kaplı takımlarla yapılan deneylerde Fc kuvveti Ff kuvvetinden 416–1438 N aralığında ve Ff kuvveti Fr kuvvetinden 93–271 N aralığında daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.

TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarda olduğu gibi TiCN kaplı takımda da 0,15 mm/dev ve 0,3 mm/dev ilerleme hızlarında Kİ00-TiCN ve Kİ24-TiCN takımlar arasında Fc değerleri açısından kayda değer bir fark görülmemektedir (Şekil 7.65). 100 m/dak kesme hızında Kİ00-TiCN takımda Kİ24-TiCN takıma kıyasla %5 oranında daha düşük Fc kuvveti ölçülürken kesme hızının %60 artırılmasıyla Kİ24-TiCN takımda Kİ00-TiCN takıma kıyasla %4 oranında daha düşük Fc kuvveti ölçülürken kesme hızının gelmiştir. Genel olarak kesme hızının artması ile Fc kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir. Kesme hızının 100 m/dak'dan 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla Kİ00-TiCN takımla ölçülen Fc kuvvetlerinde 0,15, 0,3 ve 0,45 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla %0,5, %5 ve %2 oranında düşüş görülmüştür. Kİ24-TiCN takımda ise bu oranlar sırasıyla %1, %3 ve %11 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.63. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 7.64. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 7.65. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

Grafikler incelendiğinde, genel olarak kesici takım farkı olmaksızın artan kesme hızıyla Fc değerlerinin azaldığı söylenebilir. Yine diğer takımlarda olduğu gibi TiCN kaplı takımda da ilerleme hızındaki artışla paralel olarak Fc kuvvetlerinde de artış meydana gelmiştir (Şekil 7.66) [49, 51, 56, 131]. İlerleme hızının 0,15 mm/dev'den %200 artırılarak 0,45 mm/dev'e çıkarılmasıyla, Kİ00-TiCN takımla ölçülen Fc kuvveti ortalama 881,18 N'dan %159 oranında artarak ortalama 2285,60 N'a ulaşmıştır. Benzer şekilde Kİ24-TiCN takımda 0,15 mm/dev ilerleme hızında ortalama 869,51 N olan Fc kuvveti, ilerleme hızındaki %200'lük artışla %165 oranında artarak ortalama 2308,20 N olarak ölçülmüştür.


Şekil 7.66. İşlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN kaplı takımlarda ilerleme hızına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki değişim

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin bekletme sürelerinin takım ömrü üzerine etkileri araştırılmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız ve üç farklı kaplama malzemesiyle kaplı tungsten karbür takımlar kullanılmış ve bu takımlar beş farklı sürede derin kriyojenik işleme tabi tutulmuşlardır. İşlenebilirlik deneyleri CNC torna tezgâhında kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiş ve işlenebilirlik kıstaslarından takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmış ve bazı öneriler sunulmuştur:

8.1. İşlemsiz ve Farklı Bekletme Sürelerinde Kriyojenik İşlem Uygulanmış Takımlardan Elde Edilen Sonuçlar

- Kriyojenik işlemin kaplamasız tungsten karbür kesici takımın mikrosertliğini artırmada önemli bir rol oynadığı görülmüştür. 24 saate kadar bekletme süresindeki artışla birlikte kesici takımın sertliği artmış ve 24 saat bekletme süresinde maksimuma ulaşmıştır. Kİ24 takımın mikrosertliği Kİ00 takıma kıyasla %6 oranında daha yüksek ölçülmüştür.
- 2. Yapılan işlenebilirlik deneylerinde, tüm kesme şartlarında ısıl işlem farkı olmaksızın tüm kaplamasız takımlarda yan yüzey aşınması ve krater aşınmasının oluştuğu görülmüştür. Genel olarak kriyojenik işlem uygulanmış takımlar daha iyi aşınma performansı sergilemiştir. Tüm kesme hızlarında en düşük yan yüzey aşınması miktarı Kİ24 takımda ölçülmüştür. 100 ve 120 m/dak kesme hızlarında en fazla aşınan takım Kİ00 takım iken 140 ve 160 m/dak kesme hızlarında Kİ60 takım en fazla aşınan takım olmuştur.
- 3. Düşük kesme hızlarında (100 ve 120 m/dak) işlem görmemiş takıma kıyasla kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda daha düşük krater derinliği

ölçülmüştür. Yüksek kesme hızlarında ise (140 ve 160 m/dak) Kİ36, Kİ48 ve Kİ60 takımlarında Kİ00 takımdan daha yüksek krater derinliği oluşmuştur.

- 0,3 mm/dev ilerleme hızında, 100 m/dak kesme hızında tüm takımların yardımcı kesici kenar yüzeylerinde çentik aşınmasının oluştuğu görülmüştür. 120 m/dak kesme hızında ise yalnızca Kİ24 takımda oluşmamıştır.
- 5. Kriyojenik işlem uygulanan takımlarda plastik deformasyon aşınması meydana gelmemiştir.
- 6. 0,3 mm/dev ilerleme hızında işleme süresine bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimlerinde tüm kesme hızlarında en düşük Ra değerleri Kİ24 takımla ölçülmüştür. En yüksek Ra değerleri ise 100, 120 ve 140 m/dak kesme hızlarında Kİ00 takım ile, 160 m/dak kesme hızında Kİ60 takımla ölçülmüştür. Genel olarak kriyojenik işlem uygulanmış takımlar işlemsiz takıma kıyasla daha iyi yüzey pürüzlülüğü sergilemiştir.
- 7. Kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı ancak kesme hızının 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla arttığı görülmüştür. İşlemsiz takımda ise artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır.
- 8. Isıl işlem farkı olmaksızın, genel olarak tüm takımlarda Fc değerlerinin 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızıyla düşüş eğilimi gösterdiği ancak kesme hızının daha da artırılmasıyla Fc değerlerinin de bir miktar arttığı görülmüştür. Tüm kesme hızlarında kriyojenik işlem uygulanmış tüm takımlarda ölçülen Fc değerleri Kİ00 takıma kıyasla daha yüksektir.
- 9. Yapılan işlenebilirlik deneylerinden elde edilen veriler sonucunda AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin kaplamasız tungsten karbür kesici takımlarla 0,3 mm/dev ilerleme hızında işlenmesinde optimum kesme hızı 140 m/dak ve optimum kriyojenik işlem bekletme süresi 24 saat olarak belirlenmiştir.

- Deneylerde genel olarak Kİ12 takımı Kİ24 takımına yakın bir performans sergilemiştir. Zamanın daha kısıtlı olduğu durumlarda, kesici takım üzerine kriyojenik işlem 12 saat süreyle uygulanarak da deneyler yapılabilir.
- 11. Düşük kesme hızında (100 m/dak) kesici takımların krater aşınması açısından daha iyi olması istendiği durumlarda kesici takım üzerine 60 saat süreyle kriyojenik işlem uygulanmış takımlar kullanılabilir.

8.2. Optimum Bekletme Sürelerinde Kriyojenik İşlem Uygulanmış Takımlardan Elde Edilen Sonuçlar

- 1. Kİ00 ve Kİ24 tungsten karbür kesici takımlarla yapılan işlenebilirlik deneylerinde tüm kesme şartlarında Kİ24 takımlar daha iyi aşınma performansı sergilemiştir. Kriyojenik işlem ile kesme şartlarına bağlı olarak %19 ile %220 oranda takım ömrü artışı sağlanmıştır. Her iki takımda da tüm kesme şartlarında yan yüzey aşınması ve krater aşınması oluşmuş, yine tüm takımların krater yüzeylerinde yapışmalar meydana gelmiştir. Düşük ilerleme ve kesme hızlarında her iki takımda da çentik aşınması oluşmuştur.
- Genel olarak artan kesme hızı ve ilerleme hızı ile kesici takım aşınmasında da artış meydana gelmiştir.
- İşleme süresine bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelendiğinde tüm kesme şaetlarında Kİ24 takımın daha düşük yüzey pürüzlülüğü sergilediği görülmüştür. Genel olarak artan işleme süresi ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır.
- İlerleme ve kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelendiğinde, artan ilerleme hızı ile her iki takımın da yüzey pürüzlülüğü değerlerinde belirgin bir artış görülmüştür.

- 5. Kİ00 ve Kİ24 takımlar için 140 m/dak'ya kadar artan kesme hızıyla her iki takımda da Fc değerleri düşmüş ancak kesme hızının daha da artırılarak 160 m/dak'ya çıkarılmasıyla Fc değerleri bir miktar artmıştır.
- 6. Sabit ilerleme ve sabit kesme hızında işlemsiz ve kriyojenik işlem uygulanmış TiCN, TiAlN ve TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımlarla yapılan aşınma deneylerinde Kİ24 takımlarda daha düşük yan yüzey aşınması oluşmuştur. Isıl işlem farkı olmaksızın TiAlN kaplı takımlarda krater aşınması görülürken TiCN/Al₂O₃/TiN ve TiCN kaplı takımlarda krater aşınmasının oluşmadığı görülmüştür. Ancak TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takımın kaplama malzemesinin kalktığı görülmüştür.
- Yapılan işlenebilirlik deneylerinden elde edilen veriler sonucunda, tungsten karbür kesici takımlar üzerine kriyojenik işlem uygulamasının kaplamaya alternatif olamayacağı görülmüştür.
- 8. Kesme hızı ve ilerleme hızının artması ile takım ömrü kısalmıştır.
- Yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanması için kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımların kullanılabileceği görülmüştür.
- AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi için düşük ilerleme hızlarının kullanılması gerekliliği yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır.

8.3. Öneriler

 Bu çalışmada kesici takımlar üzerine yalnızca derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kesici takımlara sığ kriyojenik işlem uygulanarak iki ısıl işlemin kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkileri karşılaştırılabilir.

- Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla farklı özelliklere sahip malzemeler işlenerek takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri değişimleri incelenebilir.
- 3. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde farklı kimyasal yapılara sahip olan paslanmaz çelikler işlenerek işlenebilirlik davranışları karşılaştırılabilir.
- Uç yarıçapının kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerini incelemek için farklı uç yarıçapına sahip kesici takımlar kullanılarak işlenebilirlik deneyleri yapılabilir.
- Deneylerde farklı kesme derinliği de kullanılarak, kesme derinliğinin kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenebilir.
- 6. Farklı talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar kullanılarak talaş kırıcı formunun işlenebilirlik kıstasları üzerine etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- 1. Odabaş, C., "Paslanmaz çelikler", Eczacıbaşı, *Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, 3-14 (2004).
- 2. Can, A.Ç., "Malzeme bilgisi", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 318s (2006).
- 3. Reiter, A.E., Brunner, B., Ante, M., Rechberger, J., "Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel", *Surface & Coatings Technology*, 200:5532–5541 (2006).
- 4. Maranhão, C., Paulo Davim, J., "Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: numerical simulation and experimental validation", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18:139–156 (2010).
- 5. Aran, A., Temel, M.A., "Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanimi, Standartları", *Sarıtaş Teknik Yayın*, İstanbul, 113s (2004).
- 6. Çakır, M.C., "Modern talaşlı imalatın esasları", *Vipaş A.Ş*, Bursa, 267s (1999).
- Ashraf, M., Gardner, L., Nethercot, D.A., "Compression strength of stainless steel cross-sections", *Journal of Constructional Steel Research*, 62:105–115 (2006).
- 8. Da silva, F.J., Franco, D.S., Machado, A.R., Ezugwu, E.O., Souza Jr, A.M., "Performance of cryogenically treated HSS tools", *Wear*, 261:674-685 (2006).
- Braic, V., Zotia, C.N., Balaceanu, M., Kiss, A., Vladescu, A., Popescu, A. Braic, M., "TiAlN/TiAlZrN Multilayered hard coatings for enhanced performance of HSS drilling tools", *Surface & Coatings Technology*, 204:1925–1928 (2010).
- Sreerama Reddy, T.V., Sornakumar, T., Venkatarama Reddy, M., Venkatram, R., "Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 27:181-185 (2009).
- 11. Khan, A.A., Ahmed, M.I., "Improving tool life using cryogenic cooling" *Journal of Materials Processing Technology*, 196:149–154 (2008).
- Gill, S.S., Rupinder Singh, R., Singh, H., Singh, J., "Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49:256–260 (2009).

- 13. Zhirafar, S., Rezaeian, A., Pugha, M., "Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 186:298–303 (2007).
- 14. Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., "Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment", *Cryogenics*, 45:747–754 (2006).
- 15. Kalia, S., "Cryogenic processing: a study of materials at low temperatures", *Journal of Low Temperature Physics*, 158: 934–945 (2010).
- Baldissera, P., Delprete, C., "Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel", *Materials and Design*, 30:1435–1440 (2009).
- 17. Vadivel, K., Rudramoorthy, R., "Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42:222–232 (2009).
- 18. Akhbarizadeh, A., Shafyei, Golozar, M.A., "Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel", *Materials and Design*, 30:3259–3264 (2009).
- Firouzdor, V., Nejati, E., Khomamizadeh, F., "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill", *Journal of Materials Processing Technology*, 206:467-472 (2008).
- 20. Bonilla, C., O'Meara, R., Perry, L., "Evaluation of the Comparative Performance of Cryogenically Treated Cutting Inserts as a Capstone Design Project", *ASEE Annual Conference and Exposition Conference Proceedings*, 9s (2007).
- 21. Paulin, P., "Frozen gears", Gear Technology, 26-29 (1993).
- 22. Mohan Lal, D., Renganarayanan, S., Kalanidhi, A., "Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels", *Cryogenics*, 41:149-155 (2001).
- Yong, A.Y.L., Seah, K.H.W., Rahman, M., "Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning", *International Journal* of Machine Tools & Manufacture, 46:2051–2056 (2006).
- 24. Darwin, J.D., Lal, D.M., Nagarajan, D., "optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 195:241–247 (2008).

- 25. Subramaniam, K., Cook, N.H., "Sensing of drill wear and prediction of drill life", *ASME, Journal of Engineering for Industry*, 99:295-301 (1997).
- 26. Endrino, J.L., Fox-Rabinovich, G.S., Gey, C., "Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel",*Surface and Coatings Technology*", 200(24):6840-6845 (2006).
- 27. Çiftçi, İ., "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2):205-209 (2005).
- Altınkaya, E., Güllü, A., "AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde talaş kırıcı formunun takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Politeknik Dergisi*, 11(1):13-17 (2008).
- Gennari, W., Pereira, A.A., Santos, H.L.A., "Application of minimum amount of fluid by spray in turning of AISI 316 stainless steels", ASME 2005 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2005), Orlando, 69-74 (2001).
- 30. Ranganathan, S., Senthilvelan, T., Sriram, G., "Mathematical modeling of process parameters on hard turning of AISI 316 SS by WC insert", *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, 68:592-596 (2009).
- Gandarias, A., López de Lacalle, L.N., Aizpitarte, X., Lamikiz, A., "Study of the performance of the turning and drilling of austenitic stainless steels using two coolant techniques", *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 3(1/2):1–17 (2008).
- 32. Kılıçkap, E., Hüseyinoğlu, M., "Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316'nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(1):71-80 (2010).
- Akasawa, T., Sakurai, H., Nakamura, M., Tanaka, T., Takano, K., "Effects of free-cutting additives on the machinability of austenitic stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144:66–71 (2003).
- Bonnet, C., Valiorge, F., Rech, J., Claudin, C., Hamdi, H., Berghau, J.M., Gilles, P., "Identification of a friction model-application to the context of dry cutting of an AISI 316L stainless steel with a TIN coated carbide tool", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48:1211-1223 (2008).
- 35. M'Saoubia, R., Outeirob, J.C., Changeuxa, B., Lebruna, J.L., Diasb, A.M., "Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized

AISI 316L steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 96:225-233 (1999).

- Abdullah, M.F., Sulong, A.B., Chua, I.H., Che Haron, C.H., Ghani, J.A., "Effect of insert nose radius and machining parameters on the surface roughness of stainless steel 316L", *Key Engineering Materials*, 447-448:51-54 (2010).
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., Siddeswarappa, B., "Taguchi optimization in drilling of AISI 316L stainless steel to minimize burr size using multi-performance objective based on membership function", *Journal of Materials Processing Technology*, 202:374-379 (2008).
- Özek, C., Hasçalık, A., Çaydaş, U., Karaca, F., Ünal, E., "Turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 2:117-121 (2006).
- Selvaraj, D. P., Chandramohan, P., "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 (2010).
- 40. Tekiner, Z., Yeşilyurt, S., "Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials & Design*, 25:507-513 (2004).
- 41. Xavior, M.A., Adithan, M., "Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:900-909 (2009).
- 42. Fredj, N.B., Sidhom, H., Braham, C., "Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI 304 using cryogenic cooling", *Surface & Coatings Technology*, 200:4846-4860 (2006).
- Kıvak, T., Çiçek, A., Turgut, Y., Uygur, İ., Ekici, E., "Paslanmaz çeliğin delinmesinde kesme kuvveti, delik çapı ve takım ömrü üzerindeki etkisi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 16-18 (2011).
- Hossein-El-Abou, K.A., Yahya, Z., "High-speed end-milling of AISI 304 stainless steels using new geometrically developed carbide inserts", *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163:596-602 (2005).
- 45. Korkut, İ, Kasap, M., Çiftçi, İ., Şeker, İ., "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials and Design*, 25(4):303–305 (2004).

- 46. Balcı, B., "AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2008).
- 47. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., "AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin farklı kesme parametreleri ile tornalama işleminden sonra oluşan kalıcı gerilmelerin araştırılması", *Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(3):443-452 (2009).
- Turgut, Y., Çiçek, A., Kıvak, T., Uygur, İ., Ekici, E., "Çok katlı kaplamaların AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenebilirliği üzerindeki etkileri", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 79-82 (2011).
- Yeyen, H. E., Korkut, İ., Turgut, Y., Çiftçi, İ., "AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, (2009)
- 50. Paro, J., Hänninen, H., Kauppinen, V., "Tool wear and machinability of X5CrMnN 1818 stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 119(1-3):14-20 (2001).
- 51. Kumar, K.V., Choudhury, S.K., "Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments", *Journal of Materials Processing Technology*, 203:95-101 (2008).
- 52. Chandrasekaran, H., Johansson, J., "Chip flow and notch wear mechanisms during the machining of high austenitic stainless steels", *Annals of the CIRP*, 43(1):101-105 (1994).
- 53. Lin, T.R., "Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 127:8-16 (2002).
- 54. Janoss, B., "PVD/CVD coatings enhange stamping and forming of stainless steels", *Metal Forming (USA)*, 33(3):110-116 (1999).
- 55. Seah, K.H.W., Rahman, M., Yong, K.H., "Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 217:29–43 (2003).
- Çiçek, A., Kıvak, T., Turgut, Y., Uygur, İ., Ekici, E., "Derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 33-36 (2011).

- 57. Wang, Z.Y., Rajurkar, K.P., Fan, J., Lei, S., Shin, Y.C., Petrescu, G., "Hybrid machining of Inconel 718", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43:1391-1396 (2003).
- 58. Gisip, J., Gazo, R., Stewart, H.A., "Effects of cryogenic treatment and refrigerated air on tool wear when machining medium density fiberboard", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:5117–5122 (2009).
- Thakur, D., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L., "Influence of different post treatments on tungsten carbide–cobalt inserts", *Materials Letters*, 62:4403– 4406 (2008).
- 60. Yong, A. Y. L., Seah, K. H. W., Rahman, M., "Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32:638–643 (2007).
- 61. Zurecki, Z., Ghosh, R., Frey, J.H., "Finish-turning hardened powdermetallurgy steel using cryogenic cool", *International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials*, *Las Vegas*, (2003).
- 62. Dhar, N.R., Kamruzzaman, M., "Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47:754-759 (2007).
- 63. Harish, S., Bensely, A., Mohan Lal, D., Rajadurai, A., Lenkey, G.B., "Microstructural study of cryogenically treated En 31 bearing steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:3351–3357 (2009).
- 64. Wang, J., Xiong, J., Fan, H., Yang, H.S., Liu, H.H., Shen, S.L., "Effects of high temperature and cryogenic treatment on the microstructure and abrasion resistance of a high chromium cast iron", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:3236–3240 (2009).
- 65. Barron, R.F., "Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance", *Cryogenics*, 22(5):409-414 (1982).
- 66. Huang, J.Y., Zhu, Y.T., Liao, X.Z., Beyerlein, I.J., Bourke, M.A., Mitchell, T.E., "Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel", *Materials Science and Engineering A*, 339:241-244 (2003).
- 67. Dhokey, N.B., Nirbhavne, S., "Dry sliding wear of cryotreated multiple tempered D-3 tool steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:1484–1490 (2009).
- 68. Leskovšek, V., Kalin, M., Vižintin, J., "Influence of deep-cryogenic treatment on wear resistance of vacuum heat-treated HSS", *Vacuum*, 80:507–518 (2006).

- 69. Das, D., Dutta, A.K., Ray, K.K., "Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel", *Cryogenics*, 49:176–184 (2009).
- 70. Surberg, C.H., Stratton, P., Lingenhöle, K., "The Effect of some heat treatment parameters on the dimensional stability of AISI D2", *Cryogenics*, 48:42–47 (2008).
- Indumathi, J., Bijwe, J., Ghosh, A.K., Fahim, M., Krishnara, N., "Wear of cryo-treated engineering polymers and composites", *Wear*, 225–229:343–353 (1999).
- 72. Bramipour, D., Svec, T.A., White, K.W., Powers, J.M., "Wear resistance of cryogenically treated stainless steel files",*Journal of Endodontics*, 27(3):212-213 (2001).
- Liu, H., Wang, J., Yang, H., Shen, B., Gao, S., Huang, S., "Effect of cryogenic treatment on property of 14Cr2Mn2V high chromium cast iron subjected to subcritical treatment", *Journal of Iron and Steel Research*, 13(6):43–48 (2006).
- Bensely, A., Venkatesh, S., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., Rajadurai, A., Junik, K., "Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stres in case carburized En 353 steel", *Materials Science and Engineering A*, 479:229–235 (2008).
- Bensely, A., Senthilkumar, D., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., Rajadurai, A., "Effect of cryogenic treatment on tensile behavior of case carburized steel-815M17", *Materials Characterization*, 58:485–491 (2007).
- Bensely, A., Shyamala, L., Harish, S., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., Junik, K., Rajadurai, A., "Fatigue behaviour and fracture mechanism of cryogenically treated En 353 steel", *Materials and Design*, 30:2955–2962 (2009).
- 77. Johan Singh, P., Manan, S.L., Jayakumar, T., Ahcar, D.R.G., "Fatigue life extension of notches in AISI 304L weldments using deep cryogenic treatment", *Engineering Failure Analysis*, 12:263–271 (2005).
- Ellobody, E., Young, B., "Structural performance of cold-formed high strength stainless steel columns", *Journal of Constructional Steel Research*, 61:1631– 1649 (2005).
- 79. Ellobody, E., "Buckling analysis of high strength stainless steel stiffened and unstiffened slender hollow section columns", *Journal of Constructional Steel Research*, 63:145–155 (2007).

- Estrada, I., Real, E., Mirambell, E., "General behaviour and effect of rigid and non-rigid end post in stainless steel plate girders loaded in shear part I: experimental study", *Journal of Constructional Steel Research*, 63:970–984 (2007).
- 81. Baddoo, N.R., "Stainless steel in construction: a review of research, applications, challenges and opportunities", *Journal of Constructional Steel Research*, 64:1199-1206 (2008).
- 82. Becque, J., Rasmussen, K.J.R., "Experimental investigation of local-overall interaction buckling of stainless steel lipped channel columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 65:1677-1684 (2009).
- 83. Young, B., "Experimental and numerical investigation of high strength stainless steel structures", *Journal of Constructional Steel Research*, 64:1225–1230 (2008).
- Internet: Gözdem Paslanmaz "Demir içindeki krom elementinin korozyon oranı üzerindeki etkisi" http://www.gozdempaslanmaz.com.
- 85. Cooper, L., Benhaddad, S., Wood, A., Ivey, D.G., "The effect of surface treatment on the oxidation of ferritic stainless steels used for solid oxide fuel cell interconnects", *Journal of Power Sources*, 184:220–228 (2008).
- 86. Wang, L., Song, C., Sun, F., Li, L., Zhai, Q., "Microstructure and mechanical properties of 12 wt.% Cr ferritic stainless steel with Ti and Nb dual stabilization", *Materials and Design*, 30:49–56 (2009).
- 87. *Yan*, H., *Bi*, *H.*, *Li*, *X.*, *Xu*, *Z.*, "Microstructure, texture and grain boundaries character distribution evolution of ferritic stainless steel during rolling process", *Journal of Materials Processing Technology*, 209:2627–2631 (2009).
- 88. Shi, C., Cheng, G., Li, Z., Zhao, P., "Solidification structure refining of 430 ferrite stainless steel with TiN nucleation", *Journal of Iron and Steel Research International*, 15(3):57-60 (2008).
- Yamagishi, T., Akita, M., Nakajima, M., Uematsu, Y., Tokaji, K., "Effect of σphase embrittlement on fatigue behaviour in high-chromium ferritic stainless steel, *Procedia Engineering*, 2:275–281 (2010).
- Watanabe, T., Shiroki, M., Yanagisawa, A., Sasaki, T., "Improvement of mechanical properties of ferritic stainless steel weld metal by ultrasonic vibration", *Journal of Materials Processing Technology*, 210:1646–1651 (2010).

- 91. Huang, C.A., Hsu, F.Y., Yao, S.J., "Microstructure analysis of the martensitic stainless steel surface fine-cut by the wire electrode discharge machining (WEDM)", *Materials Science and Engineering A*, 371:119–126 (2004).
- Kwok, C.T., Lo, K.H., Cheng, F.T., Man, H.C., "Effect of processing conditions on the corrosion performance of laser surface-melted AISI 440C martensitic stainless steel", *Surface and Coatings Technology*, 166:221–230 (2003).
- Li, C.X., Bell, T., "Corrosion properties of plasma nitrided AISI 410 martensitic stainless steel in 3.5% NaCl and 1% HCl aqueous solutions", *Corrosion Science*, 48:2036–2049 (2006).
- Mesa, D.H., Toro, A. Sinatora, A., Tschiptschin, A.P., "The effect of testing temperature on corrosion-erosion resistance of martensitic stainless steels", *Wear*, 255:139–145 (2003).
- Kim, S.K., Yoo, J.S., Priest, J.M., Fewell, M.P., "Characteristics of martensitic stainless steel nitrided in a low-pressure RF plasma", *Surface and Coatings Technology*, 163–164:380–385 (2003).
- Frandsen, R.B., Christiansen, T., Somers, M.A.J., "Simultaneous surface engineering and bulk hardening of precipitation hardening stainless steel", *Surface & Coatings Technology*, 200:5160–5169 (2006).
- 97. Wu, K., Liu, G.Q., Wang, L., Xu, B.F., "Research on new rapid and deep plasma nitriding techniques of AISI 420 martensitic stainless steel", *Vacuum*, 84:870–875 (2010).
- Cui, Y., Lundin, C.D., Hariharan, V., "Mechanical behavior of austenitic stainless steel weld metals with microfissures", *Journal of Materials Processing Technology*, 171:150–155 (2006).
- 99. Drake, S.R., Wayne, D.M., Powers, J.M., Asgar, K., American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 206 (1998).
- 100. Kaçar, R., Baylan, O., "An Investigation of microstructure/property relationships in dissimilar welds between martensitic and austenitic stainless steels", *Materials and Design*, 25:317-329 (2004).
- 101. Cheng, F.T., Lo, K.H., Man, H.C., "A preliminary study of laser cladding of AISI 316 Stainless steel using preplaced NiTi wire", *Materials Science and Engineering A*, 380:20–29 (2004).
- 102. Fossati, A., Borgioli, F., Galvanetto, E., Bacci, T., "Corrosion resistance properties of glow-discharge nitrided AISI 316L austenitic stainless steel in NaCl solutions", *Corrosion Science*, 48:1513–1527 (2006).

- 103. Park, W.S., Yoo, S.W., Kim, M.H., Lee, J.M., "Strain-rate effects on the mechanical behavior of the AISI 300 series of austenitic stainless steel under cryogenic environments", *Materials and Design*, 31:3630–3640 (2010).
- 104. Coromant, S., "Modern metal cutting a practical handbook", *Sandvik-Coromant*, İsveç (1997).
- 105. Kwok, C.T., Fong, S.L., Cheng, F.T., Man, H.C., "Pitting and galvanic corrosion behavior of laser-welded stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 176(1–3):168–78 (2006).
- 106. Saucedo-Muñoz, M.L., Lopez-Hirata, V.M., Avila-Davila, E.O., Melo-Maximo, D.V., "Precipitation during aging in N-containing austenitic stainless steels", *Material Scharacterization*, 60:829–833 (2009).
- 107. Ueda, N., Matsuo, T., "An analysis of saw-toothed chip formation", *Annals CIRP*, 31:478 (1982).
- Dakhlaoui, R., Baczman'ski, A., Braham, C., Wron'ski, S., Wierzbanowski, K., Oliver, E.C., "Effect of residual stresses on individual phase mechanical properties of austeno-ferritic duplex stainless steel", *Acta Materialia*, 54:5027– 5039 (2006).
- 109. Fargas, G., Anglada, M., Mateo, A., "Effect of the annealing temperature on the mechanical properties, formability and corrosion resistance of hot-rolled duplex stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209:1770–1782 (2009).
- 110. El Bartali, A., Evrard, P., Aubin, V., Herenú, S., Alvarez-Armas, I., Armas, A.F., Degallaix-Moreuil, S., "Strain heterogeneities between phases in a duplex stainless steel. Comparison between measures and simulation", *Procedia Engineering*, 2:2229–2237 (2010).
- 111. Neessen, F., Bandsma, P., Smitweld, L., "Tankers a composition in duplex stainless steels", *Welding Innovation*, 18:3–8 (2001).
- 112. Horvarth, W., Prantl, W., Stuwe, H.P., Werner, E., "Influence of thermal cycling on the microstructure of a ferritic–austenitic duplex stainless steel", *Materials Characterization*, 34:277–85 (1995).
- 113. Solomon, H.D., Devine, T.M., "Stainless steels-a tale of two phases", *Duplex Stainless Steels, St. Louis, Mo*, USA, 693–756 (1982).
- 114. Clayton, C.R., Martin, K.G., Conf. Proceedings High Nitrogen Steels, *The Institute of Metals*, Lille, 256-260 (1989).

- 115. Kundu, S., Ghosh, M., Chatterjee, S., "Diffusion bonding of commercially pure titanium and 17-4 precipitation hardening stainless steel", *Materials Science* and Engineering A, 428:18–23 (2006).
- 116. Pantazopoulos, G., Papazoglou, T., Psyllaki, P., Sfantos, G., Antoniou, S., Papadimitriou, K., Sideris, J., "Sliding wear behaviour of a liquid nitrocarburised precipitation-hardening (PH) stainless steel", *Surface & Coatings Technology*, 187:77–85 (2004).
- Esfandiari, M., Dong, H., "The corrosion and corrosion-wear behaviour of plasma nitrided 17-4 PH precipitation hardening stainless steel", *Surface & Coatings Technology*, 202:466–478 (2007).
- 118. Dong, H., Esfandiari, M., Li, X.Y., "On the microstructure and phase identification of plasma nitrided 17-4PH precipitation hardening stainless steel", *Surface & Coatings Technology*, 202:2969–2975 (2008).
- 119. Hsu, K.C., Lin, C.K., "Effects of R-ratio on high-temperature fatigue crack growth behavior of a precipitation-hardening stainless steel", *International Journal of Fatigue*, 30:2147–2155 (2008).
- 120. Foerg, W., "History of cryogenics: the epoch of the pioneers from the beginning to the year 1911", *International Journal of Refrigeration*, 25(3):283-292 (2002).
- 121. Scurlock, R.G., "A matter of degrees: A brief history of cryogenics", *Cryogenics*, 30(6):483–500 (1990).
- 122. Steckelmacher, W. "History and Origins of Cryogenics", Oxford University Press, Oxford, 8:653s (1992).
- 123. Richardson, R.N., Stone, H., "The cooling potential of cryogens. Part 1: The early development of refrigeration and cryogenic cooling technology", *Ecolibrium*, 2:10–14 (2003).
- 124. Timmerhaus, K.D., "The cryogenic engineering conference—a record of twenty five years of low temperature progress", *Advances in Cryogenic Engineering*, New York, 27:1 (1982).
- 125. Alava, L.A., "Improving HSS tools performance by deep cryogenic treatment", *Cryobest International*, S.L. Vitoria, Spain 9s (2009).
- 126. Şeker, U., "Takım tasarımı ders notları", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, *Ankara*, 5–72 (1997).
- 127. Murthy, K.S., Rajendran, I., "A study on optimisation of cutting parameters and prediction of surface roughness in end milling of aluminium under MQL

machining", International of Journal Machining and Machinability of Materials, 7(1/2) (2010).

- 128. Altıntaş, Y., "Manufacturing automation". *Cambridge University Pres*, 275 (2000).
- 129. Taylan, F., "Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi", Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (2009).
- 130. Zhang, J.H., "Theory and technique of precision cutting", *Pergamon Press*, Oxford, 1-50 (1991).
- Işık, Y., Çakır, M.C., "Takım çeliklerinin talaşlı imalatında kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasındaki ilişkinin deneysel olarak incelenmesi", 9. Uluslararası Makine Tasarımı ve Üretimi Kongresi, Ankara, 10s (2000).
- 132. DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., "Materials and processes in manufacturing", *Prentice-Hall*, New Jersey, 214-652 (1997).
- 133. Günay, M., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiC_p kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2009).
- 134. Özel, T., Karpat, Y., "Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45:467-479 (2005).
- 135. Gökkaya, H., Nalbant, M., "The effects of cutting tool coating on the surface roughness of AISI 1015 steel depending on cutting parameters, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 30:307–316 (2006).
- 136. Akkurt, M., "Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları", *Birsen Yayınevi Ltd.Şti.*, İstanbul, 348 (2000).
- 137. Field, M., Kahles, J.F., Koster, W.P., "Surface finish and surface integrity", *Metals Handbook-Machining-16. Ninth Edition, ASM International, Materials Park*, Ohio, 19-36 (1989).
- 138. Shaw. M.C., "Metal cutting principles", *Oxford-Clarendon Press*, Oxford, 7-97 (1984).
- 139. Motorcu, A.R., "Ç1050, Ç4140 VE Ç52100 Çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).

- 140. Zaghbani, I., Songmene, V., Kientzy, G., Lehuy, H., "Evaluation of sustainability of mould steels based on machinability data", *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 7(1/2) (2010).
- 141. Özdemir, U., Erten, M., "Talaslı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(1):37-50 (2003).
- 142. FETTE, "Gear cutting tools, hobbing gear milling", (2005)
- 143. Kaçal, A., "Azdırma freze çakılarında kesme kuvvetlerinin ve takım aşınmasının incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2008).
- 144. Özçatalbaş, Y., Ercan, F., "The Effects of heat treatment on the machinability of mild steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 136:227-238 (2003).
- 145. Dobrzański, L.A., Żukowska, L.W., Mikuła, J., Gołombek, K., Podstawski, P., "Functional properties of the sintered tool materials with (Ti,Al)N coating", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36(2):134-141 (2009).
- 146. Coromant, S., "Turning Catalog", Sandvik Coromant, Sweden, 8-300 (2008).
- 147. Kayacan, M.C., Çelik, Ş.A., Salman, Ö., "Tornalama işlemlerinde kesici takım aşınmasının bulanık mantık ile modellenmesi", *II. Makina Tasarımı ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 44(526) (2003).
- 148. Nouari, M., Molinari, A. "Experimental verification of a diffusion tool wear model using a 42CrMo4 steel with an uncoated cemented tungsten carbide at various cutting speeds", *Wear*, 259:1151–1159 (2005).
- 149. Grote, K.H., Antonsson, E.K., "Springer handbook of mechanical engineering", *Springer Publishing*, New York, 523-768 (2009).
- 150. Griffin, R.D., Li, H.J., Eleftheriou, E., Bates, C.E., "Machinability of gray cast iron, *American Foundry Society Report*, Alabama, 133:1-20 (2008).
- 151. Trent, E.M., "Metal cutting", Butterworths Press, London, 1-171 (1989).
- 152. ISCAR Elektronik Katalog.
- 153. Yen, Y.C., Jain, A., Chigurupati, P., Wu, W.T., Altan, T., "Computer Simulation of Orthogonal Cutting using a Tool with ultiple Coatings", *Machining Science and Technology*, 8(2):305-326, (2004).

- 154. Demirayak, İ., "Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri", *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2006).
- 155. MAHR GmbH.
- 156. Gill, S.S., Singh, J., Singh, H., Singh, R., "Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co)", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58:119–131 (2012).
- 157. Köse, S., Atay, F., Bilgin, V., Akyüz, İ., Ketenci, E., "Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile üretilen SnO₂:Li filmlerinin yapısal ve yüzeysel özelliklerinin incelenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,12(2):85-90 (2008).
- 158. Kamody, D.J., "Process for the cryogenic treatment of metal containing materials", *US Patent*, 5 259 200, (1993).
- 159. Moore, K.E., Collins, D.N., "Cryogenic treatment of three heat-treated tool steels" *Key Engineering Materials*, 86–87:47–54 (1993).
- 160. Collins, D.N., "Deep cryogenic treatment of tool steels: a review", *Heat Treatment of Metals*, 2:40–42 (1996).
- 161. Amini, K., Akhbarizadeh, A., Javadpour, S., "Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment", *Vacuum*, 86:1534-1540 (2012).
- 162. Kao, M., "The effect of cryogenic treatment on sintered tungsten carbide" Master thesis, *Arizona State University*, USA, (1984).
- 163. Özçatalbaş, Y., "Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al4C3-Al composites", *Materials and Design*, 24: 215–221 (2003).
- 164. D'Errico, G.E., Calzavarini, R., "Advanced ceramic tools: An experimental assessment in turning tests", *Journal of Materials Processing Technology*, 54:34-39 (1995).
- 165. Ramji, B.R., Narasimha Murthy, H. N.,Krishna, M., "Performance evaluation of cryo treated and tempered carbide inserts in turning white cast iron", *British Journal of Engineering and Technology*, 1(1):97-117 (2012).
- 166. Sreerama Reddy, T.V., Ajaykumar, B.S., Reddy, M.V., Venkatraman, R., 2007, "Improvement of tool life of cryogenically treated P-30 tools", *Proceedings of International Conference of Advanced Materials and Composites (ICAMC-2007)*, Trivandrum India, 457-460 (2007).

- 167. Gogte, C.L., Iyer, K.M., Paretka, R.K., Peshwe, D.R., "Deep subzero processing of metals and alloys: Evolution of microstructure of AISI T42 tool steel", *Materials and Manufacturing Processes*, 24:718–722 (2009).
- 168. Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G., Stiasny, K.H., "Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 118:350–355 (2001).
- Dhar N.R., Paul S., Chattopadhyay A.B., "Machining of AISI 4140 steel under cryogenic cooling-tool wear, surface roughness and dimensional deviation", *Journal of Materials Processing Technology*, 123:483–489 (2002).
- 170. Sornakumar, T., Senthilkumar, A., "Machinability of bronze-alumina composite with tungsten carbide cutting tool insert", *Journal of Materials Processing Technology*, 202:402–405 (2008).
- 171. Ramji, B.R., Narasimha Murthy, H. N.,Krishna, M., "Analysis of forces, roughness, wear and temperature in turning cast iron using cryotreated carbide inserts", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(7):2521-2529 (2010).
- 172. Aslantaş, K., Ucun, İ., Çiçek, A., "Tool life and wear mechanism of coated and uncoated Al2O3/TiCN mixed ceramic tools in turning hardened alloy steel", *Wear*, 274–275:442–451 (2012).
- 173. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., "Kaplamasız sementit karbür kesici takım ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülügüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi", *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1):59-64 (2006).
- 174. Özçatalbaş, Y., Baş, A., "Tornalamada hava püskürtme ile sogutmanın kesme kuvvetleri ve takım ömrüne etkilerinin arastırılması", *Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (3): 451-455 (2006).
- 175. Sur, G., "Karma takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2008).
- 176. Çiçek, A., Uygur, İ., Kıvak, T., Altan Özbek, N., "Machinability of AISI 316 austenitic stainless steel with cryogenically treated M35 high-speed steel twist drills", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 134:1-6 (2012).
- 177. Işık, Y., "Investigating the machinability of tool steels in turning operations", *Materials and Design*, 28:1417–1424 (2007).
- 178. Ucun, İ., Aslantaş, K., Apaydın, D., "Çok Kaplamalı Kesici takımla tornalama işleminin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi", *Electronic Journal of Machine Technologies*, 7(1):69-82 (2010).

179. Gill, S.S., Singh, J., Singh, H., Singh, R., "Investigation on Wear Behaviour of Cryogenically Treated TiAlN Coated Tungsten Carbide Inserts in Turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51:25–33 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

| Soyadı, adı | : ALTAN ÖZBEK, Nursel |
|----------------------|----------------------------------|
| Uyruğu | : T.C. |
| Doğum tarihi ve yeri | : 15.12.1982 Bilecik |
| Medeni hali | : Evli |
| Telefon | : 0 (380) 735 51 99 |
| Faks | : 0 (380) 735 36 15 |
| e-mail | : <u>nurselaltan@mynet.com</u> . |

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuni | yet tarihi |
|---------------|-------------------------------------|-----------|------------|
| Yüksek lisans | Afyon Kocatepe Üniv. / FBE Mak. | Eğ. | 2008 |
| Lisans | Afyon Kocatepe Üniv. / TEF Mak. | Eğ. B. | 2006 |
| Ön Lisans | BAÜ Edremit MYO / Makine Tek. | Böl. | 2002 |
| Lise | Bilecik Merk. Mesl. Lisesi / Mak. H | Res. Böl. | 1999 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-----------|-----------------------------|-------------------|
| 2009-2013 | Düzce Üniversitesi | Öğretim Görevlisi |
| 2008-2009 | Bilecik Üniversitesi | Öğretim Elemanı |
| 2006-2008 | Afyon Kocatepe Üniversitesi | Proje Asistanı |

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

<u>Projeleri</u>

 Gülesin, M., Altan, N., "AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Aşınma Direncine Etkilerinin Araştırılması", *Gazi Üniversitesi Bilimsel araştırma Projesi*, 07/2010-23, (2009) Ankara. Uygur, İ., Çiçek, A., Kıvak, T., Altan, N., "AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kriyojenik Proses Uygulanmış Kesici Takımlar ile Delinebilirliğinin Araştırılması", *Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi*, 2009.03.02.030, (2010) Düzce.

<u>Konferans</u>

 Kıvak, T., Çiçek, A., Uygur, İ., Altan Özbek, N., "AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Delinmesinde Tek Katlı ve Çok Katlı Kaplamaların Delik Kalitesi Üzerindeki Etkileri", *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 04-05 Ekim 2012.

<u>Ulusal Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler</u>

- Altan, N., Gayretli, A., "Elektromekanik Ürünler İçin Nesne Tabanlı Bir Tasarım Sistemi Geliştirilmesi", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (1):33-39, 2008.
- Altan, N., Gayretli, A., "Elektromekanik Ürün Tasarımında Anlaşmazlık Tespit ve Çözümü İçin Bir Karar Destek Sistemi", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3 (4):9-16, 2008.

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler:

 Çiçek, A., Uygur, İ., Kıvak, T., Altan Özbek, N., "Machinability of AISI 316 Austenitic Stainless Steel With Cryogenically Treated M35 High-Speed Steel Twist Drills", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 134 (6), 2012.

Hobiler

Tenis oynamak, Yürüyüş yapmak.