

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

**DERİN KRİYOJENİK İŞLEMİN AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM
ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ**

MUSTAFA KARABATAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. FUAT KARA**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN KRİYOJENİK İŞLEMİN AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM
ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

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

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 08/08/2017

BEYAN

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

8 Ağustos 2017

Mustafa KARABATAK

TEŞEKKÜR

Öncelikle hazırladığım bu tez çalışmamı belirlemede ve çalışmalarım süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarım esnasında bilgi ve problem çözümünde bana destek olan, çalışmalarımı gerçekleştirmemde maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, görüşü ile bana yol gösteren çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Fuat KARA' ya teşekkür ederim.

Deney numunelerinin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Samsun Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Makine Teknolojileri ve Bilgisayar Destekli Makine Ressamlığı bölümü teknik öğretmenlerine teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve Sayın Osman BOZKURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP **2015.07.04.388** numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

8 Ağustos 2017

Mustafa KARABATAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT	XII
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. İŞLENEBİLİRLİK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.2. KRİYOJENİK İŞLEM İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	10
2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	5
3. KRİYOJENİK İŞLEM.....	18
3.1. KRİYOJENİK İŞLEMİN TARİHÇESİ	18
3.2. KRİYOJENİK İŞLEMİN UYGULANMASI.....	19
3.3. KRİYOJENİK İŞLEMİN ETKİLERİ.....	21
3.4. KRİYOJENİK İŞLEMİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI.....	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
4.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ	23
4.2. TAKIM TEZGAHI.....	24
4.3. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCU	24
4.4. KESME PARAMETRELERİ.....	25
4.5. DERİN KRİYOJENİK İŞLEM	25
4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMLERİ.....	27
4.7. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜMLERİ.....	28
4.8. MAKRO VE MİKROSERTLİK ÖLÇÜMLERİ	29
4.9. SEM ANALİZLERİ.....	30
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32

5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	32
5.1.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi	32
5.1.2. İş Parçasına Uygulanan Isıl İşlemin Değişimi	35
5.1.3. Kesici Takımın Değişimi.....	38
5.2. TAKIM AŞINMASI.....	41
5.2.1. Burun Aşınması.....	42
<i>5.2.1.1. İş Parçasına Uygulanan Isıl İşleme Göre Burun Aşınmasının Değişimi</i>	<i>42</i>
<i>5.2.1.2. Kesici Takıma Göre Burun Aşınmasının Değişimi</i>	<i>43</i>
5.2.2. Krater Aşınması	45
<i>5.2.2.1. İş Parçasına Uygulanan Isıl İşleme Göre Krater Aşınmasının Değişimi</i>	<i>46</i>
<i>5.2.2.2. Kesici Takıma Göre Krater Aşınmasının Değişimi.....</i>	<i>47</i>
5.3. MİKROYAPI VE SERTLİK	48
5.3.1. Mikroyapının Değişimi.....	48
5.3.2. Makrosertliğin Değişimi.....	52
5.3.3. Mikrosertliğin Değişimi.....	53
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
7. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Tipik bir kriyojenik işlem sistemi	20
Şekil 3.2. Kriyojenik işlem çevrimi	20
Şekil 4.1. Tornalama deneylerinde kullanılan iş parçası malzemesi	23
Şekil 4.2. GOODWAY GLS-1500 CNC torna tezgahı	24
Şekil 4.3. Üstten yüklemeli kriyojenik işlem fırını (Kara, 2014)	26
Şekil 4.4. Sert tornalama deneylerindeki yüzey pürüzlülük ölçümleri	27
Şekil 4.5. Aşınma ölçümlerinde kullanılacak Dino-Lite dijital mikroskobu	29
Şekil 4.6. Mikrosertlik ölçme cihazı	30
Şekil 4.7. Makrosertlik ölçme cihazı.....	30
Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu.....	31
Şekil 5.1. Kesici takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	33
Şekil 5.2. Kaplamasız seramik takım için ısıtıl işlem türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	36
Şekil 5.3 Kaplamalı seramik takım için ısıtıl işlem türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	37
Şekil 5.4 CHT numunesi için kesici takım türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	39
Şekil 5.5 DCT-36 numunesi için kesici takım türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	40
Şekil 5.6 DCTT-36 numunesi için kesici takım türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	41
Şekil 5.7. İşleme süresi ve ısıtıl işlem türüne göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi	42
Şekil 5.8. İşleme süresi ve ısıtıl işlem türüne göre burun aşınmasının değişimi.....	43
Şekil 5.9. İşleme süresi ve kesici takım türüne göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi ...	44
Şekil 5.10. İşleme süresi ve kesici takım türüne göre burun aşınmasının değişimi.....	45
Şekil 5.11. İşleme süresi ve ısıtıl işlem türüne göre krater aşınmasının değişimi.....	47
Şekil 5.12. İşleme süresi ve kesici takım türüne göre krater aşınmasının değişimi.....	48
Şekil 5.13. AISI D2 soğuk iş takım çeliği numunelerinin mikroyapı görüntüleri	51
(BBK- Büyük birinci karbürler, BİK- Büyük ikincil karbürler, KİK- Küçük ikincil karbürler).....	51
Şekil 5.14. Isıtıl işlem türüne göre makrosertlik değerlerinin değişimi	53
Şekil 5.15. Isıtıl işlem türüne göre mikrosertlik değerlerinin değişimi	54

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi (%).	23
Çizelge 4.2. Takım tezgahının teknik özellikleri.	24
Çizelge 4.3. Kesme parametreleri.	25
Çizelge 4.4. Isıl işlem ve derin kriyojenik işlem süreci	27
Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazına ait teknik özellikler.	28
Çizelge 4.6. Dino-Lite dijital mikroskobu teknik özellikleri.	29



KISALTMALAR

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
CHT	Conventional Heat Treatment (Geleneksel ısıtım işlemi)
DCT	Deep Cryogenic Treatment (Derin kriyojenik işlem)
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
DKİ	Derin Kriyojenik İşlem
Gİİ	Geleneksel Isıtım İşlemi
SCT	Shallow Cryogenic Treatment (Sığ kriyojenik işlem)
SEI	İkincil elektron görüntülenmesi
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)



SİMGELER

a	Kesme derinliği
Al ₂ O ₃	Aluminum Oxide (Alüminyum oksit)
C	Karbon
Co	Kobalt
Cr	Krom
d	İş parçasının çapı
Fc	Kesme kuvveti
Ff	İlerleme hızı
HRc	Rockwell sertliği
HV	Vickers sertliği
KW	Motor gücü
mm	Milimetre
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Mpa	Megapascal
Ni	Nikel
r	Kesici takım uç açısı
Ra	Ortalama pürüzlülük değeri
Rp	Profil maksimum tepe yüksekliği
Rq	Ortalamaların kareleri toplamının karekökü
Rt	Maksimum tepe-çukur yüksekliği
Rz	On nokta yüksekliği
Si	Silisyum
SiC	Silicon Carbide (Silisyum karbür)
V	Vanadyum
V	Kesme hızı
W	Volfram
µm	Mikrometre

ÖZET

DERİN KRIYOJENİK İŞLEMİN AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

MUSTAFA KARABATAK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği EABD Başkanlığı Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. FUAT KARA

8 Ağustos 2017, 67 sayfa

Bu çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında, soğuk iş takım çeliğine uygulanan derin kriyojenik işlem ve temperleme işleminin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bununla birlikte, derin kriyojenik işlemin mekanik özellikler (makrosertlik ve mikrosertlik) ve mikroyapı üzerine etkileri incelenmiştir. Deney numuneleri CHT, DCT-36 ve DCTT-36 olmak üzere üç gruptan oluşmaktadır. Birinci gruptaki numuneler, sadece geleneksel ısıtma işlemine tabi tutularak 62 HRC sertliğine getirilmiştir. İkinci grup, geleneksel ısıtma işlem sonrasında -145°C'de 36 saat derin kriyojenik işlem gören numunelerden oluşmaktadır. Son grup ise hem geleneksel ısıtma işlem hem de derin kriyojenik işlem görmüş ve sonrasında 200°C'de 2 saat temperleme işlemi uygulanmış numunelerden oluşmaktadır. Deneylerde kesici takım olarak, Al₂O₃ + TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik (AB30) ve Al₂O₃ + TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik (AB2010) kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde, üç farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,08, 0,16, 0,24 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (0,25, 0,50, 0,75 mm) parametreleri seçilmiştir. Takım aşınması deneyleri ise, 150 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; hem yüzey pürüzlülüğü hem de takım aşınması açısından en iyi sonuçlar, DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir. Kesici takımlar karşılaştırıldığında, yine yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması için en iyi sonuçlar kaplamalı seramik takım (AB2010) ile elde edilmiştir. Makrosertlik ve mikrosertlik değerleri DCT-36 numunesinde en yüksek seviyeye çıkmıştır. Mikroyapı açısından, daha homojen ve daha ince ikinci karbür oluşumlarının görüldüğü DCTT-36 numunesinin en iyi sonuçları sergilediği görülmüştür. Sonuç olarak, AISI D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanan derin kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, mekanik özellikler ve mikroyapı bakımından olumlu sonuçlar sergilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: AISI D2, Kriyojenik işlem, Mekanik özellikler, Mikroyapı, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT

EFFECT TO MACHINABILITY OF AISI D2 COLD WORK TOOL STEEL OF DEEP CRYOGENIC TREATMENT

MUSTAFA KARABATAK

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, EABD Department of Manufacturing
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fuat KARA

8 August 2017, 67 pages

In this study, the effects of deep cryogenic treatment and tempering on the surface roughness (Ra) and tool wear in hard turning of the AISI D2 cold work tool steel were investigated. However, it was analyzed that effects on microstructure and mechanical properties (macrohardness and microhardness) of the deep cryogenic processing. Test samples currently consists CHT, DCT-36 and DCTT-36 from the three groups. Samples of the first group has just brought to 62 HRC hardness subjected to conventional heat treatment. The second group consists of the deep cryogenic treatment sample treated for 36 hours at 145°C after conventional heat treatment. The latter group has seen both conventional heat treatment and after the deep cryogenic treatment is composed of 200°C for 2 hours was applied tempered sample. In the experiments as cutting tools, Al₂O₃ + TiC matrix composite alumina ceramic based uncoated (AB30) and Al₂O₃ + TiC and TiN coated ceramic based matrix with PVD (AB2010) cutting tools are used. In the experiments, three different cutting speeds (50, 100, 150 m/min), three different feed rate (0.08, 0.16, 0.24 mm/rev) and three different depth of cuts (0.25, 0.50, 0.75 mm) parameters are selected. The tool wear experiments, cutting speed of 150 m/min, feed rate of 0.08 mm/rev and the cutting depth of 0.6 mm were carried out. The experiments show that; the best results in terms of surface roughness and tool wear were obtained by DCTT-36 sample. When compared to cutting tools, as well as surface roughness and nose wear best results were obtained with coated ceramic cutting tools (AB2010). Microhardness and macrohardness values of samples in the DCT-36 has increased to the highest level. In terms of microstructure, more homogeneous and the second carbide formation of finer seen DCTT-36 samples were found to exhibit the best results. As a result, deep cryogenic process applied to AISI D2 cold work tool steels, it has been observed to exhibit positive results in terms of the surface roughness, tool wear, mechanical properties and microstructure.

Keywords: AISI D2 cold work tool steel, Cryogenic treatment, Mechanical properties, Microstructure, Tool wear, Surface roughness

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojideki gelişmeler hızla devam etmekte, araştırma ve geliştirme çalışmaları ile teknolojik gelişmeler sağlanmaktadır. Gelişmekte olan yeni teknolojilerin yardımıyla insanların ihtiyacı olan mal ve ürünler de değişmekte ve gelişmektedir. Buna bağlı olarak sanayide, mal ve ürünlerin üretildiği ortamlar her geçen gün kendini yenilemekte, modern makine, teçhizat ve üretim yöntemleri ile tanışmaktadır. Böylece, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin üretime aktarılması, sanayide kullanılmasıyla ilgilenen İmalat Mühendisliği, üretim faaliyetlerinde çok önemli bir konuma gelmiştir [1].

Talaşlı imalatta iş parçalarını işlemek için en önemli faktörler kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve uygun kesici takım türünün seçimidir. İş parçaları, düşük kesme hızlarında işlendiğinde işleme süresi artacağından zaman kaybı daha fazla olmaktadır. Yüksek kesme hızlarında işleme gerçekleştirildiğinde ise kesici takım çabuk aşınabilmekte ve takım ömrünü daha çabuk bitirmektedir. Bu nedenle kesici takımın sökülüp yeni kesici ucun takılması, zaman kaybına neden olarak işleme maliyetinin artmasına yol açmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı, kesici takım türü, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği hatta işlenecek malzemeye uygulanan ısıl işlemde olmak üzere bu parametrelerinin tamamının dikkate alınması gerekmektedir. Yüksek aşınma direnci, yüksek tokluğa ve yüksek sertleştirilme kabiliyetine sahip olan AISI D2 soğuk iş takım çeliği imalatta çok kullanılan bir malzemedir. AISI D2 soğuk iş takım çeliği genel olarak kalıplar, zımbalar, makas bıçakları, çapak alma kalıpları gibi kırılmaya maruz kalan elemanların imalatında kullanılan ve ısıl işleme tabii tutulan bir malzemedir. Yapılan ısıl işlemlerden sonra parça geometrisine de bağlı olarak bir miktar çarpılmalara maruz kalmaktadır. İmalatı gerçekleştirilecek parçaların bu durumu da dikkate alınarak ısıl işlemden sonra alınmak üzere az da olsa bir işleme payı bırakılmaktadır. Parça üzerinde bırakılan bu paylar, ısıl işlemden sonra çoğu kez tornalama ve diğer talaşlı imalat işlemlerine tabi tutulurlar.

Talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan tornalama işleminde eskiden malzemeler öncelikle kaba yüzey tornalama işlemine tabi tutulur ve ardından hassas yüzey tornalama işlemi yapılmaktaydı. İstenilen tolerans değerlerine ulaşabilmek için taşlama, parlatma ve hassas yüzey işlemleri yapılmaktadır. Günümüzde yüksek çalışma hızları ve yüksek hassasiyete sahip CNC torna tezgahlarının geliştirilmesi ve buna paralel olarak gelişen kesici takım malzemelerinin kullanılmasıyla iş parçaları ısıtılma işlemi gördükten sonra sadece sert tornalama işlemine tabi tutularak taşlama kalitesindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşabilmektedir. Geliştirilen bu yöntem sayesinde, pahalı bir yöntem olan taşlama işlemine gerek kalmaksızın iş parçaları daha kısa sürede ve daha az maliyetle imal edilebilmektedir.

Son yıllarda, malzemelerin işlenebilirliğinin iyileştirilmesi için iş parçası malzemelerine ısıtılma işlemi tamamlayıcı bir yöntem olan kriyojenik işlem uygulanmaktadır [2]. Kriyojenik işlem, genellikle yüksek aşınmaya maruz kalan malzemelerde aşınma direncini arttırmak amacıyla malzemeye uygulanan tamamlayıcı bir ısıtılma işlemidir. Kaplamaların aksine parçanın tüm bölümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemidir. Kriyojenik işlem, malzeme üzerindeki uygulama sıcaklıklarına bağlı olarak sığ kriyojenik işlem (-50°C ile -80°C arasında) ve derin kriyojenik işlem (-125°C 'den daha düşük sıcaklıklar) olarak sınıflandırılmaktadır. Isıtılma işlem sonrası malzemeler sığ ya da derin kriyojenik işlem sıcaklıklarında belirlenen bir bekletme süresinde tutularak oda sıcaklığına kadar kademeli olarak getirilmektedir. Bu yöntem ile geleneksel ısıtılma işlemi uygulanmış malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martensite dönüşmesi, ince karbür çökeltilerinin oluşumu ve homojen karbür dağılımı sağlanmaktadır. Böylece malzemelerin sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler elde edilmektedir [3]. Kriyojenik işlem bekletme süresi üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda, ideal bekletme süresi 36 saat olarak bulunmuştur [4]-[8].

D. Das ve diğ., AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin aşınma özellikleri, sertlik değerleri, mikroyapı karakteristikleri üzerinde 0–132 saat arasındaki farklı bekletme süreleri için -196°C sıcaklıkta uygulanan derin kriyojenik işlemin etkilerini araştırarak en uygun bekletme süresinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, derin kriyojenik işlemin aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. En yüksek aşınma direnci artışı % 84,88 ile 36 saat kriyojenik işlem uygulanan numunelerde elde edilmiştir. Bu

sonuç; mikroyapı fotoğrafları, sertlik değerleri ve aşınan yüzeylerin topografisi incelenerek doğrulanmıştır [4]. Amini ve diğerleri yaptıkları çalışmada, AISI D3 soğuk iş takım çeliğini derin kriyojenik işlem sıcaklıklarında farklı bekletme sürelerinde (24, 36, 48, 72, 96 ve 120 saat) bekleterek, kriyojenik işlem bekletme süresinin mikroyapı değişimleri, karbür dağılımı, makro ve mikrosertlik değerleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Farklı bekletme saatlerinde derin kriyojenik işlem görmüş AISI D3 takım çeliğinin mikroyapı değişimleri, karbür dağılımı, makro ve mikrosertlik bakımından en iyi sonucu 36 saat derin kriyojenik işlem görmüş numunede elde etmişlerdir [5]. F. Kara yaptığı çalışmada, AISI 52100 rulman çeliğinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde farklı bekletme sürelerinde (12, 24, 36, 48 ve 60 saat) uygulanan derin kriyojenik işlemin (-145°C) etkisini araştırmıştır. Derin kriyojenik işlem görmüş numuneler arasında en iyi mekanik özellikler 36 saat derin kriyojenik işlem gören numunede elde edilmiştir. Bununla birlikte, 36 saat derin kriyojenik işlem gören numunelerin daha homojen mikroyapı ve daha ince karbür çökmesi ile en iyi mikroyapı özellikleri sergilediği görülmüştür [8]. Literatürde yapılan araştırma sonuçları göz önünde bulundurularak bu çalışmada, derin kriyojenik işlem bekletme süresi 36 saat olarak uygulanmıştır.

AISI D2 soğuk iş takım çeliği ile ilgili literatür’de yapılan işlenebilirlik çalışmalarına bakıldığında çok yaygın bir kullanıma alanına sahip olmasına rağmen bu malzeme üzerindeki işlenebilirlik araştırmalarının çok kısıtlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte literatür’de, farklı türdeki malzemeler için kriyojenik işlemin işlenebilirlik üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar bulunmasına rağmen, kriyojenik işlem uygulanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği üzerine yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu durum yapılan çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma ile ısıtma işlemi ilave olarak yapılan derin kriyojenik işlem, derin kriyojenik işlem + temperlemenin etkileri kaplamalı ve kaplamasız seramik takım ile yapılan işleme şartları altında ortaya konularak kesme şartlarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Kesme şartlarının iyileştirilmesi ile yüzey pürüzlülüğünün azalması ve takım ömründe artış kaydedilerek işleme maliyetlerinin azaltılması ve ülke ekonomisine girdilerin sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışma iki bölümü kapsamaktadır. Birinci bölümde üç farklı ısıl işlem (Geleneksel ısıl işlem, Geleneksel ısıl işlem + Derin kriyojenik işlem, Geleneksel ısıl işlem + Derin kriyojenik işlem + Temperleme işlemi) uygulanan AISI D2 soğuk iş takım çeliği, farklı kesici takımlar kullanılarak farklı kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği kombinasyonların'da sert tornalama deneylerine tabi tutulmuştur. Bu sayede, derin kriyojenik işlem görmüş soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri irdelenmiştir. İkinci bölümde ise geleneksel ısıl işlem, geleneksel ısıl işlem + derin kriyojenik işlem ve geleneksel ısıl işlem + derin kriyojenik işlem + temperleme işleminin AISI D2 soğuk iş takım çeliği malzemesinin mikroyapısı, makro ve mikrosertliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. İŞLENEBİLİRLİK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Talaşlı imalat, tüm imalat yöntemleri arasında hemen hemen yüzde yetmişlik bir paya sahip olan metal şekillendirme yöntemidir. Bu büyük oran talaşlı imalat üzerine yapılan çalışmaların neden bu kadar fazla olduğu sorusunun da cevabıdır. Günümüzde birçok fabrika seri üretim süreci ile ürün imalatı gerçekleştirmektedir. Bu açıdan süreçteki çok küçük bir iyileştirme dahi büyük ekonomik kazanç olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bu süreç iyileştirmelerinin başında uygun kesme parametrelerinin seçimi gelmektedir. Bu bağlamda, imal edilen ürünün yüzey kalitesi ve kullanılan kesici takımların daha uzun ömürlü olması oldukça önemlidir. Üretimde kaliteyi düşürmeden maliyeti minimize etmek temel hedeflerden biridir. Bu hedefi gerçekleştirmek için, talaşlı üretimin temel elemanları olan makine, kesici takım ve iş parçası üzerine yıllardır araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılamaya devam etmektedir [1].

J. G. Lima ve diğ., AISI 4340 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliklerini farklı kesme şartları altında işleyerek numunelerin, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım aşınmasına neden olan aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, kesme hızının artışıyla yüzey kalitesinin iyileştiği ilerleme hızının artışıyla ise yüzey kalitesinin kötüleştiği görülmüştür. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. En iyi yüzey kalitesine daha geniş burun yarıçapına sahip PCBN kesici takımlar kullanıldığında ulaşıldığı sonucuna varılmıştır [9].

M. Zeyveli ve diğ., endüstride kalıpcılıkta çok kullanılan ısı kararlılığı ve tokluğu yüksek olan AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Sert tornalama deneyleri, altı farklı kesme hızı (70, 100, 130, 160, 190 ve 220 m/dak) ile üç farklı ilerleme hızı değerinde (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. 0,10 mm/dev ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarlarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden sırasıyla % 34 ve % 68 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [10].

M.D. Boy ve diğ., VANADIS 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneyler, sekiz farklı kesme hızı (75, 100, 125, 150, 200, 250, 300 ve 350 m/dak), beş farklı ilerleme hızı (0,04, 0,06, 0,08, 0,10 ve 0,12 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneyleri için CVD kaplı Wiper (silici) uç geometrisine sahip iki tip sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı fakat yüksek kesme hızlarında ise yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bu durum, takım aşınmasına atfedilmiştir. Normal uç ile wiper uç karşılaştırıldığında, wiper uç ile 125 m/dak, 0,06 mm/dev'de % 36, 250 m/dak, 0,08 mm/dev'de % 78 oranında yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalma görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri 125 m/dak kesme hızında 0,10 mm/dev ilerleme miktarında wiper uçla elde edilirken, 250 m/dak ve 0,10 mm/dev ilerleme miktarında normal uç ile elde edilmiştir [11].

İ. Uçun ve diğ., sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin kaplamalı karbür kesici takımla tormalanmasında kesici takım performansını incelemişlerdir. Bu amaçla takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişimleri tespit etmişlerdir. İlerleme hızının artmasıyla birlikte takım aşınmasının arttığı görülmüştür. Kesme derinliğinin artmasının kesici takım ömrünün kılmasına sebep olduğunu ve aynı zamanda işlenen malzemenin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediğini vurgulamışlardır. Mevcut kesme şartları için hem takım ömrü hem de yüzey pürüzlülüğü açısından en uygun kesme derinliği değerinin 0,25 mm'den küçük olması gerektiğini belirtmişlerdir [12].

H. Bouchelaghem ve diğ., 60 HRC sertliğe sahip AISI D3 soğuk iş takım çeliğini torna tezgahında CBN kesici takımla işleyerek kesici takımda oluşan aşınma türlerini incelemişlerdir. Deneylerde farklı kesme parametreleri kullanılmış ve ayrıca kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini inceleyerek yapmış oldukları çalışma sonunda regresyon analiz metodu ile yüzey pürüzlülüğü denklemi oluşturmuşlardır. Yapılan çalışma sonucunda, kesici takımında hem krater aşınması, hem

de serbest yüzey üzerinde abrasif aşınmanın meydana geldiği görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla işlenen malzemenin talaş hacmini azalttığı ve yüzey pürüzlülük değerinin bir miktar azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde ilerlemenin ve kesme derinliğinin artması yüzey pürüzlülük değerini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca CBN ile kesme işleminde serbest yüzey aşınmasının artması kesme kuvvetlerini arttırdığını ifade etmişlerdir [13].

N. Parlak ve diğ., AISI D6 (62 HRC) soğuk iş takım çeliğinin CBN kesicilerle tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünü deneysel olarak incelemiştir. Deneyler, üç farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,1, 0,15, 0,20 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliğinde (0,2, 0,4, 0,6 mm) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla beraber yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının ve talaş derinliğinin ilerlemeye göre daha az oranda etkisinin olduğu tespit edilmiştir [14].

E. Yücel ve Günay, sert tornalama işleminde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri için kesme şartlarını optimize etmişlerdir. Sert tornalama deneyleri Taguchi L_{18} dikey dizilimi ile dizayn edilmiştir. Kesme şartları (kontrol faktörleri), kesici takım malzemesi (CBN, seramik), kesme hızı (50, 100, 150 m/dak), ilerleme hızı (0,05, 0,075, 0,1 mm/dev) ve kesme derinliği (0,25, 0,50, 0,75 mm) olarak seçilmiştir. Kesme şartlarının optimum seviyeleri en küçük en iyi yaklaşımına göre hesaplanan sinyal/gürültü (S/N) oranları kullanılarak belirlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri CBN takım ile elde edilmiştir. Asıl kesme kuvveti için optimum kesme şartları A1 (seramik takım), B1 ($V=50$ m/dak), C1 ($f=0,05$ mm/dev) ve D1 ($a=0,25$ mm) olarak, ortalama yüzey pürüzlülüğü için ise A2 (CBN takım), B1 ($V=50$ m/dak), C3 ($f=0,1$ mm/dev) ve D1 ($a=0,25$ mm) olarak tespit edilmiştir. Kesme kuvveti üzerindeki en etkili parametre % 74,50'lik oran ile kesme derinliği olurken, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre ise % 75,78 ile ilerleme hızı olmuştur [15].

H. Yurtkaran ve diğ., sertleştirilmiş DIN 1.2344 (55 HRC) sıcak iş takım çeliğinin tornalanmasında oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğünün (R_a) matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Taguchi L_{32} deney tasarımına göre CNC torna tezgahında yapılan kesme deneyleri sonucunda, R_a değerlerini belirlemişlerdir. Deneyler, kaplamalı ve

kaplamasız kübik bor nitrür (CBN) kesici takım ile dört farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300 m/dak), ilerleme miktarı (0,05, 0,1, 0,15, 0,2 mm/dev) ve kesme derinliği (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 mm) seviyesi seçilerek gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar kullanılarak yapılan varyans analizi ile değişkenlerin Ra üzerindeki etki seviyeleri belirlenmiştir. Son olarak, çoklu regresyon analizi uygulanarak yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modeli geliştirilmiştir. DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde ölçülen Ra üzerinde kesme hızı ve kesme derinliğinin ilerleme miktarına göre daha az etkili olduğu görülmüş ve en düşük yüzey pürüzlülüğü olan 0,23 µm, kaplamasız kesici takım ile 150 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 0,1 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir [16].

A. K. Sahoo, sertleştirilmiş AISI D2 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü sonuçları üzerine Taguchi ve regresyon analizi uygulamıştır. Yüzey pürüzlülüğünün tahmini için oluşturulan model L_{27} ortogonal dizinine göre tasarlanmıştır. Çalışmada ayrıca, kesme parametrelerinin etki oranlarını belirlemek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür. Regresyon modelinde korelasyon katsayısı (R^2) 0,98 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, D2 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için geliştirilen modelin % 95 güven aralığında olduğunu göstermiştir [17].

P. Sharma, üç farklı kesme hızı (51, 78, 123 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,10, 0,15, 0,20 mm/dev) ve üç farklı hava basıncı (5, 6, 7 bar) parametrelerinde AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin iki farklı minimum miktarda yağlama (MQL) tekniği ile tormalanmasındaki yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Soğutma sıvısı olarak nano sıvılı (nanofluids) MQL ve standart MQL tekniği uygulanmıştır. Deney sayıları Taguchi L_{18} ortogonal dizinine göre 18 deney şeklinde belirlenmiştir. Deneysel optimizasyon sonucunda, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri; nano sıvılı MQL tekniğinde, 78 m/dak kesme hızı, 0,10 mm/dev ilerleme ve 6 bar basınçta yapılan deneyde ortalama 0,86 µm olarak bulunmuştur [18].

T. Kıvak ve diğ., Hadfield çeliğinin tormalanmasında kesici takımlar üzerinde meydana gelen yanak aşınma değerlerini talaş hacmine bağlı olarak değerlendirmişlerdir. Takım aşınması deneyleri, 140 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 0,8 mm kesme

derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Her 50 mm'lik işleme boyunda tezgah durdurularak takım aşınması miktarları ölçülmüştür. PVD yöntemiyle TiAlN ve CVD yöntemiyle TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı kesici takımlar PVD TiAlN/AlCrO kaplı kesici takıma göre yanak aşınması bakımından ciddi bir üstünlük sağlamıştır. Aşınma kriteri olan 0,3 mm değerine; TiAlN/AlCrO kaplı takım ile 15 cm³, TiCN/Al₂O₃/TiN kaplı takım ile 52 cm³ ve TiAlN kaplı takım ile 65 cm³ talaş hacminde ulaşılmıştır. Aynı aşınma değerinde, TiAlN/AlCrO kaplı takıma göre TiCN/Al₂O₃/TiN ve TiAlN kaplı takım ile sırasıyla % 244 ve % 333 daha fazla talaş hacmine ulaşılmıştır. Sonuç olarak, TiAlN kaplı takımın diğerlerine göre daha geç aşındığı görülmüştür ve bu durum TiAlN kaplı takımın yüksek sertlik değerine atfedilmiştir. Bununla birlikte yüksek sertliğin kesici takımın aşınma direncinin artması üzerinde önemli bir role sahip olduğu vurgulanmıştır [19].

H. Yaka ve diğ., 46 HRc sertliğindeki AISI 4140 çeliğini tornalama işlemine tabi tutarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini optimize etmişlerdir. Bu amaçla, deney sonuçlarına Taguchi ve regresyon analizi uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için oluşturulan model Taguchi L₉ ortogonal dizinine göre tasarlanmıştır. Deneyler, TiCN-Al₂O₃-TiN kaplamalı karbür takım ile üç farklı kesme hızı (200, 220 ve 240 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,25, 0,30, 0,35 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (1,5, 2,5, 3,5 mm) parametreleri ile kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Taguchi tasarımında sinyal-gürültü oranı tespit edilmiş ve deneysel sonuçlara göre, üç faktör arasında Ra'ya en önemli etkiyi ilerlemenin yaptığı görülmüştür. Taguchi tahmininde seçilen parametreler için yapılan tekrar deneyinde Taguchi'nin % 89 güvenilirlik ile sonuç verdiği ortaya koyulmuştur [20].

F. Yıldırım ve A. Kaçal, PMD 23 çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Üç farklı kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve iki farklı takım geometrilili karbür uç tipi kesme parametreleri olarak belirlenmiştir. Deney tasarımı için Taguchi L₁₈ ortogonal dizini kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve Ra'nın tahmin modeli üzerindeki etkisini belirlemek için yanıt yüzey metodu (RSM) kullanılmıştır. RSM ile elde edilen sonuçlar, ilerleme oranının Ra'nın değişimi üzerinde etkin bir parametre olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ra için geliştirilen tahmin modelinin, deneysel parametrelere göre PMD 23 çeliği için etkin bir şekilde % 95 güven aralığı içinde

kullanılabileceği görülmüştür. Minimum yüzey pürüzlülüğü için düşük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızı ile düşük kesme derinliği parametrelerinin uygun olduğu anlaşılmıştır [21].

2.2. KRİYOJENİK İŞLEM İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sıfır altı işlem olarak da bilinen kriyojenik işlem, malzemelerin çalışma ömrünü artırmak amacıyla oda sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda (genellikle -196°C) bir soğutma işlemidir. Kriyojenik işlem son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan metallerin özelliklerini iyileştirmek için tamamlayıcı bir süreçtir. Bu işlem, ilk olarak 1920 ve 1930'lu yıllarda yüksek hız çeliklerine uygulanmış ve malzeme içerisinde geleneksel ısıtılardan sonra kalan ve malzeme ömrünü olumsuz etkileyen yumuşak faz olan kalıntı östenitin sert faz olan martenzite dönüşümünden dolayı bu çeliklerin performansının iyileştiği görülmüştür [22], [23]. 1950 ve 1960'lı yıllarda yapılan çalışmalar genellikle farklı türdeki metallerin elektriksel özelliklerinde düşük sıcaklıkların etkisini belirleme üzerine olmuştur [24]-[26]. Genel olarak kriyojenik işlem ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar takım çeliklerinin aşınma ve yorulma performansı, faz dönüşümlerinin tayini, kalıntı gerilmelerin değişimi ve malzemelerin mekanik özelliklerindeki iyileşmeler üzerine olmuştur [8].

D.N. Collins ve Dormer, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin aşınma direnci üzerinde derin kriyojenik işlemin (DCT) etkisini incelemiştir. DCT için takım çeliği -140°C ile -196°C sıcaklıkları arasında sıvı nitrojen içerisinde bekletilmiştir. DCT'den sonra sertlik, tokluk ve aşınma direnci artmıştır. Sertliğin artışı, kriyojenik işlem ile birlikte yumuşak bir faz olan kalıntı östenitin daha sert bir faz olan martenzite dönüşümü ile ilişkilendirilmiştir. Tokluk ve aşınma direncindeki artış ise, temperlenmiş mikroyapı'da karbür tanelerinin daha ince dağılımlı çökmesi ve homojen bir hale dönüşmesine atfedilmiştir [27].

A. Prabhakaran ve diğ., EN 353 çeliğinin darbe dayanımına etkisi bakımından geleneksel ısıtılardan sonra, sıg kriyojenik işlem (-80°C) ve derin kriyojenik işlemi (-196°C) karşılaştırmışlardır. Geleneksel ısıtılardan sonra kriyojenik işlemle karşılaştırıldığında kriyojenik işlemle malzemenin darbe dayanımı artmıştır. Fakat sıg kriyojenik işlemle karşılaştırıldığında derin kriyojenik işlemle malzemenin darbe dayanımında bir değişim

meydana gelmediği tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile kriyojenik işlemin mekanik özellikleri iyileştirdiği bir kez daha doğrulanmıştır [28].

S. Zhirafar ve diğ., AISI 4340 çeliğin mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerine kriyojenik işlemin etkilerini araştırmışlardır. Yorulma, darbe ve sertlik deneylerini içeren mekanik deneyler çeşitli ısı işlem şartlarında yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda, numunelerin kırılma özellikleri mukayese edilmiştir. Genellikle geleneksel ısı işlem uygulanan çeliklerle karşılaştırıldığında kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin tokluğunun daha düşük, sertlik ve yorulma dayanımının ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Nötron kırınımı, kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin temperleme sırasında muhtemel karbür oluşumu ile sertlik ve yorulma direncinin artmasındaki temel faktörün, kalıntı östenitin martenzite dönüşümü olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçları, yorulma yüklerine maruz kalan AISI 4340 çelik parçalarında derin kriyojenik işlemin bazı yararlı etkilerinin olduğunu göstermiştir [29].

C. H. Surberg ve diğ., boyutsal kararlılığın takım çeliklerinin imalatında en önemli faktörlerden biri olduğunu belirterek AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sahip olduğu üstün özellikleri ve düşük maliyeti ile yıllardır saç metal kalıpları için en çok kullanılan çeliklerden biri olduğunu vurgulamışlardır. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin genellikle vakum sertleştirmeyi takip eden çoklu temperleme çevrimleri ile işleme tabi tutulduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca sertleştirme ve temperleme işlemleri arasında derin kriyojenik işlemin, boyutsal kararlılığı ve son işleme özelliklerini iyileştirerek işleme zamanını azaltabileceğini ileri sürmüşlerdir. Yapılan çalışmada, sertleştirilmiş bloklar, tekli ve çoklu temperleme basamakları (520°C ve 540°C) ve derin kriyojenik işlem uygulamalarının (-90°C, -120°C ve -150°C) çeşitli kombinasyonlarına maruz bırakılmıştır. En iyi boyutsal kararlılık, en düşük sıcaklıkta derin kriyojenik işleme (-150°C) elde edilmiştir. Boyutsal kararlılığın derin kriyojenik işlem zamanından bağımsız olduğu ifade edilmiştir [30].

N. B. Dhokey ve diğ., AISI D3 soğuk iş takım çeliğini kriyojenik işleme tabi tuttuktan sonra çoklu temperlemenin etkisini belirlemek için pin-on-disk test cihazı kullanarak aşınma deneyi yapmışlardır. 5,5 kg yükte 6000 m kayma mesafesi için ve 3 m/s kayma hızı için kuru ortamda pin-on-disk cihazında numunelerin aşınma deneyleri yapılmıştır. AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin iyileşen aşınma direncinden sorumlu metalurjik

mekanizmanın altında yatan gerçek, aşınan yüzeyin sertlik verileri mikroyapıları, aşınma hasarı ve SEM analizi ile açıklanmıştır. Aşınma hızının tek temperli AISI D3 soğuk iş takım çeliğinde en düşük olduğu görülmüş ve geleneksel ısıl işlemin aşınma hızından % 93 oranında daha az olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik işlemde sonra iki ve üç kez yapılan temperleme işlemi, AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin aşınma direncini olumsuz şekilde etkilemiştir. Bu durum çift ve üç temperleme şartlarında karbür boyutunun büyümesine atfedilmiştir. Aşınan yüzeylerin analizleri de aşınma direncindeki değişimleri doğrulamıştır [31].

K. Amini ve diğ., 80CrMo12 5 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışı üzerinde sığ ve derin kriyojenik işlemin etkilerini incelemiştir. Derin kriyojenik sıcaklıklardaki bekletme süresini karşılaştırmak için altı farklı bekletme sıcaklığı (0, 6, 24, 48, 72 ve 168 saat) uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; kriyojenik işlem gören numunelerin aşınma direncinde kayda değer iyileşme görülmüştür. Sertlik ve aşınma direncinin maksimum olduğu değerlerde optimum bekletme süresi 48 saat olarak bulunmuştur [5].

M. Koneshlou ve diğ., AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde sıfır altı işlemin etkisini araştırmışlardır. AISI H13 sıcak iş takım çeliği malzemesine sıfır altı işlemler olarak -72°C 'de sığ kriyojenik işlem ve -196°C 'de derin kriyojenik işlem uygulanmış ve bunun sonucunda malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martensite dönüşümü incelenmiştir. Uygulama sıcaklığı azaldıkça daha fazla kalıntı östenitin martensite dönüştüğü ve aynı zamanda mikroyapıda daha küçük ve daha homojen karbür dağılımı sağlandığı tespit edilmiştir. Derin kriyojenik işlem daha homojen ve çok ince karbür parçacıkların çökmesini sağlamıştır. Mikroyapıda meydana gelen bu değişiklikler ile AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin mekanik özellikleri üzerinde önemli iyileşmelerin oluştuğu tespit edilmiştir [32].

M. A. Jaswin ve diğ., kriyojenik işlemin EN 52 ve 21-4N çeliklerinin çekme dayanımı ve kırılan yüzeylere etkisini incelemiştir. Kriyojenik işlem prosesi; 15, 24 ve 36 saat bekletme süresi ve -130°C , -150°C ve -185°C bekletme sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Derin kriyojenik işlem uygulanmış EN 52 ve 21-4N çeliklerinin maksimum çekme dayanımı sırasıyla % 7,84 ve % 11,87 oranında iyileşme göstermiştir. Kırılan yüzey incelemelerine bakıldığında, derin kriyojenik işlem görmüş numuneler taneler arasında derin ikincil çatlaklarla bir bütün taneler arası kırılma göstermiştir. Ayrıca boşlukluk

birleşmeleri tarafından önemli miktarda çukurların oluştuğu görülmüştür. Sonuç olarak, derin kriyojenik işlemin EN 52 ve 21-4N çeliklerinin çekme davranışları üzerinde yararlı etkileri olduğu görülmüştür [33].

S. Siva ve diğ., AISI 52100 rulman çeliğinin aşınma direncini artırma üzerinde derin kriyojenik işlemin etkisi üzerine çalışmışlardır. Derin kriyojenik işlem (DCT) görmüş rulman çeliklerinin aşınma direnci geleneksel ısıtma işlemi (CHT) görmüş numunelere göre % 37 civarında iyileşmiştir. Derin kriyojenik işlemden sonra mikroyapıdaki karbürlerin küçüldüğü ve daha homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Bu iyileşme, kriyojenik işlem ile kalıntı östenitin martenzite dönüşümü, ince karbür çökmesi ve karbürlerin homojen dağılımına atfedilmiştir [34].

A. Akhbarizadeh ve diğ., 24 saat ve 48 saat derin kriyojenik işlem uygulanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin korozyon davranışı ve aşınma dayanımı üzerine bir harici manyetik alan uygulamasının etkisini incelemişlerdir. Derin kriyojenik işlemden sonra aşınma direnci ve korozyon dayanımının arttığı görülmüştür. Manyetize edilmiş ve manyetize edilmeyen numuneler karşılaştırıldığında; manyetize olmuş numunelerde karbür yüzdesi azalmış ve karbür dağılımı seyrelerek akabinde korozyon dayanımı ve aşınma direncinin düşmesine neden olmuştur. Kriyojenik sıcaklıklardaki optimum bekletme süresi daha iyi aşınma ve korozyon direnci elde edildiği için 48 saat olarak belirlenmiştir [35].

Y. Arslan ve A. Özdemir, AISI D3 soğuk iş takım çeliğinden yapılan DIN 9861 standardındaki zımbalara uygulanan kriyojenik işlemin zımbanın aşınma davranışına etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, numunelere farklı bekletme sürelerinde -145°C'de kriyojenik işlem uygulanmıştır. Sertlik değerleri ve boyutları malzemeye kriyojenik işlem uygulanmadan ve uygulandıktan sonra ölçülmüştür. Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış AISI D3 soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş zımbalar ile 1,5 mm (AISI 304) kalınlığındaki paslanmaz çelik levhaları işleyerek delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir zımba ile 6000, 18000, 24000 kez delme işlemi gerçekleştirildikten sonra zımbalarda meydana gelen ağırlık kaybı, delme ucunun alın ve yanak aşınmaları ve mikroyapı görüntüleri SEM analizi ile incelenmiştir. Değerlendirmesonucunda, 24000 kez delme sayıları için kriyojenik işlemin zımbaların aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Ancak kriyojenik işlem bekletme süresinin

zımba ömründe önemli bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir [36].

S. E. Vahdat ve ve diğ., kriyojenik işlemten sonra AISI S1 soğuk iş takım çeliğinin çekme özelliklerini ve mikroyapısını incelemişlerdir. Takım çeliği numuneleri -196°C’de 24, 36 ve 48 saat bekletilerek derin kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Sertlik, tokluk ve çekme dayanımındaki en fazla iyileşme 36 ve 48 saat kriyojenik işlem gören numunelerde elde edilmiş ve bu numunelerin iyileşme oranları yakını çıkmıştır. Mekanik özelliklerdeki bu iyileşmeler, bekletme süresindeki artış ile ikincil karbürlerin hacimsel oranının sabit bir şekilde artması ve böylece daha fazla ikincil karbürlerin oluşumunu kolaylaştıran bölgelerin geliştirilmesi ile ilişkilendirmişlerdir. Ancak ikincil karbürlerin popülasyon yoğunluğunun 36 saat bekletme süresine kadar artarken bu bekletme süresinden sonra azaldığını vurgulamıştır [7].

S. Dixit ve diğ., AISI D5 soğuk iş takım çeliğine uygulanan farklı ısı işlem ve kriyojenik işlemin sertlik ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla geleneksel ısı işlem görmüş numuneler, derin kriyojenik işlemten (-185°C’de 36 saat) önce ve sonra bir, iki ve üç defa olmak üzere temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Geleneksel ısı işlem görmüş numuneler ile karşılaştırıldığında, kriyojenik işlem gören tüm numuneler daha iyi mekanik özellik sergilemiştir. Bu durum, kriyojenik işlem ile kalıntı östenit miktarındaki düşüşe ve akabinde sertliğin ve aşınma direncinin artması ile ilişkilendirilmiştir. Hem sertlik hem de aşınma oranı açısından, derin kriyojenik işlemten önce bir defa temperleme işlemi uygulanan numune en ideal sonuçları sağlamıştır [37].

S. N. Chaudhari ve diğ., -185°C’de 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış AISI M2 takım çeliğinin takım ömrü, yanak aşınması, güç tüketimi, yüzey pürüzlülüğü ve mikro yapısındaki değişimleri araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, kriyojenik işlem ile takım ömründe yaklaşık % 25’lik bir artış elde edilirken yanak aşınması, güç tüketimi ve yüzey pürüzlülüğünde sırasıyla yaklaşık % 30, % 12 ve % 35’lik düşüşler tespit edilmiştir [38].

A. Çiçek ve diğ., AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin sert tornalamasında derin kriyojenik işlemin asıl kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney numuneleri; geleneksel ısı işlem görmüş (CHT), derin kriyojenik işlem görmüş (DCT), derin kriyojenik işlem ve temperleme görmüş (DCTT)

olarak üç gruba ayrılmıştır. AISI H13 sıcak iş takım çeliği dört farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300 m/dak), 3 farklı ilerleme hızı (0,08, 0,12, 0,16 mm/dev), 0,3 mm sabit kesme derinliği kullanılarak kuru ve ıslak kesme şartlarında işlenmiştir. Deney sonuçlarına göre en düşük kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerleri DCT numunesinin tornalanmasında elde edilmiştir. Bununla birlikte soğutma sıvısının işlenebilirliği bir miktar iyileştirdiği görülmüştür [39].

K. Amini ve diğ., AZ91 magnezyum alaşımının aşınma davranışları üzerinde derin kriyojenik işlemin etkisini incelemiştirlerdir. Numuneler östenitleme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra yağda, suda ve sıvı nitrojende soğutularak sertleştirilmiştir. Isıl işlemde sonra tüm numuneler -196°C 'de 24 saat bekletilerek derin kriyojenik işleme maruz bırakılmıştır. Sertlik ve aşınma oranları bakımından karşılaştırma yapıldığında, en yüksek sertlik ve en düşük aşınma oranı suda soğutularak sertleştirildikten sonra derin kriyojenik işlem gören numune ile elde edilmiştir. Bu durum derin kriyojenik işlem esnasında gerçekleşen mikroyapısal değişimlere atfedilmiştir [40].

K. Niaki ve S. E. Vahdat, AISI S1 takım çeliğine -196°C 'de farklı bekletme sürelerinde (24, 36 ve 48 saat) derin kriyojenik işlem uygulamışlardır. Derin kriyojenik işlemin ardından 1, 2 ve 3 saat olmak üzere üç farklı temperleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra numunelerin gerilme tokluğu, sertliği ve gerilme direnci değerleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, 36 saat derin kriyojenik işlem +2 saat temperleme işlemi gören numunede gerilme tokluğunda % 12-35, sertlikte % 9-16 ve gerilme direncinde % 28-36 oranlarında artış olduğu görülmüştür [41].

K. Amini ve diğ., AISI H13 sıcak iş takım çeliğine -196°C 'de 24 saat derin kriyojenik işlem ve geleneksel ısıl işlem (suda sertleştirme) uygulayarak malzemenin sertlik ve aşınma direnci üzerindeki değişimleri incelemiştirlerdir. 24 saat derin kriyojenik işlem gören numuneler suda sertleştirme işlemi gören numunelere kıyasla sertlikte % 5,7 ile % 9,6, aşınma direncinde ise % 33 ile % 60 oranları arasında bir artış olduğu ifade edilmiştir [42].

M. Perez ve F. J. Belzunce, AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin mekanik özellikleri üzerinde derin kriyojenik işlemin etkilerini incelemiştirlerdir. Bu amaçla numunelere geleneksel ısıl işlem, derin kriyojenik işlem (-196°C 'de 12 saat) ve temperleme (1, 2 ve 3 defa 590°C 'de 2 saat) olmak üzere farklı işlemler uygulanmıştır. Derin kriyojenik

işlem ve temperlemeden sonra numunelerin kalıntı östenit oranı ve kalıntı gerilme değerleri sırasıyla % 9'dan % 2'lere ve 330 MPa'dan 120 MPa'a düşmüştür. Bununla birlikte geleneksel ısıtma işlemi sonrası % 11,2 olan karbür hacim oranı derin kriyojenik ve akabinde yapılan temperleme işlemi sonrasında % 14,5 oranlarına yükselmiştir. Yapılan çalışmada, derin kriyojenik işlemde sonra 1 kere yapılan temperlemenin mekanik özellikleri iyileştirdiği fakat temperleme sayısının artışı ile bu iyileşmenin değişmediği sonucuna varılmıştır [43].

B. Podgornik ve diğ., üç farklı kimyasal bileşime sahip P/M soğuk iş takım çeliğinin mekanik özellikleri üzerinde derin kriyojenik işlemin etkilerini araştırmışlardır. Derin kriyojenik işlem uygulanan düşük karbon içerikli takım çeliği (A1), yüksek sertlik değerini muhafaza etmesiyle birlikte kırılma tokluğunda da büyük oranda iyileşme göstermiştir. Diğer taraftan, derin kriyojenik işlem yüksek karbon içerikli (A2) numunelerde olumsuz etki gösterirken orta karbon içerikli (B1) numunede ise kayda değer bir etki görülmemiştir. A1 numunesindeki bu iyileşme, ilk martenzit dönüşümündeki plastik deformasyonla birlikte daha ince iğnemsiz martenzitlerin oluşumu ile ilişkilendirilmiştir. Çözülmemiş ötektik karbürlerin tane boyutundaki azalma ve hacim oranı artışı diğer iki numunedeki olumsuz sonuçlara atfedilmiştir [44].

2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında, işlenebilirlik üzerine çok sayıda araştırma yapıldığı görülmektedir. Araştırmalar incelendiğinde endüstride çok fazla kullanım alanına sahip olan AISI D2 soğuk iş takım çeliği üzerine tornalama operasyonlarıyla ilgili yeterli çalışma olmadığı görülmektedir. Kriyojenik işlemle ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, araştırmaların çoğunlukla sertlik, çekme dayanımı, kırılma tokluğu, aşınma dayanımı, yorulma direnci, mikroyapı, kalıntı östenit ve kalıntı gerilme gibi özellikleri iyileştirme amaçlı yapıldığı görülmektedir. Buna karşın geleneksel ısıtma işlemi sonrası uygulanan kriyojenik işlem ve temperlemenin malzemelerin işlenebilirliği üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelik çalışmaların çok az sayıda olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, derin kriyojenik işlem uygulanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliği malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerinde derin kriyojenik işlemin etkileri ortaya konulacak ve bundan sonraki yapılacak çalışmalar için

bir temel teşkil edecektir. Böylece alışlagelmiş çalışmaların dışında yeni bir yaklaşım sunularak literatür'deki eksikliklerin giderilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte, işlenebilirlik parametrelerinde elde edilecek iyileşmeler sayesinde talaşlı imalat sektöründeki kuruluşlara teknolojik veri sağlanması bakımından yapılan çalışmanın önemli bir yer tutacağına inanılmaktadır.



3. KRİYOJENİK İŞLEM

Kriyojenik işlem son yıllarda metallerin özelliklerini iyileştirmek için kullanılan geleneksel ısı işlemi tamamlayıcı bir işlem olarak ortaya çıkmıştır. Kriyojenik işlem; malzemeye uygulanan sıcaklığa göre sığ kriyojenik ve derin kriyojenik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Sığ kriyojenik işlem, su verme işleminden sonra -50°C ile -80°C arasında malzemenin nitrojen gazında bekletilme işlemidir. Derin kriyojenik işlem ise -125°C 'den daha düşük sıcaklıklarda malzemelerin soğutulma işlemi olarak tanımlanmaktadır [2]. Takım çeliklerinde geleneksel ısı işleminden sonra malzemenin ömrünü negatif yönde etkileyen kalıntı östenit adı verilen yumuşak bir faz oluşur. İstenmeyen bir faz olan kalıntı östeniti gidermenin bir yolu kriyojenik işlem uygulamasıdır. Bu işlemde malzeme, belirlenen bir bekletme süresince belirlenen sıcaklıkta bekletilir ve sonra kademeli olarak oda sıcaklığına ısıtılır. Böylece kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ve çekirdeklenme bölgelerinde ikincil karbür çökeltilerinin oluşumu sağlanarak malzemede yüksek aşınma direnci elde edilmektedir. Yapılan bu işlemin mekanik özellikler başta olmak üzere malzemelerin birçok özelliğinde iyileşmeler meydana getirdiği görülmüştür [2], [8], [45]-[48].

3.1. KRİYOJENİK İŞLEMİN TARİHÇESİ

Soğu bilim anlamına gelen kriyojeni kelimesi soğuk anlamında olan yunanca 'kryos' kelimesinden gelmektedir. Soğu bilim, düşük sıcaklıklarda malzemelerin özelliklerinde önemli bir değişim yapan basit bir malzeme bilimidir. Soğuk işlemlerin 1937'lere kadar takım performansları üzerine yararlı etkilere sahip olduğu rapor edilmiştir [49], [50].

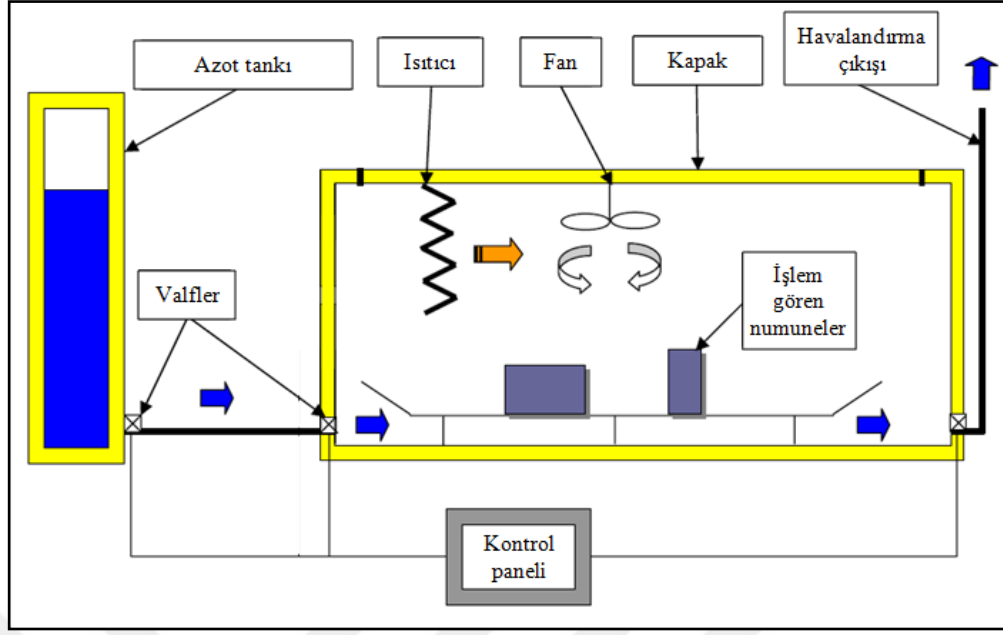
Kriyojenik ve soğutma teknolojisi ortak bir tarihi paylaşır ve aralarındaki belirgin farklılık sıcaklık oranıdır. Soğu bilim, 19. yüzyılın ortasında insanların ilk kez yeryüzünde var olan sıcaklıktan daha düşük sıcaklığı öğrenmesiyle başlamıştır. Pratikte ilk olarak James Harrison tarafından 1855 yılında 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 [50], [51], [52]. Kriyojenik (cryogenics) kelimesi ilk olarak 1894’de Hollanda Leiden Üniversitesinde görev yapan Profesör Kamerlingh Onnes tarafından çok düşük sıcaklıklarda icra edilen bilim ve sanatı tanımlamak için kullanılmıştır. Profesör Kamerlingh Onnes kriyojenik kelimesini sıvılaştırılmayan gazların sıvılaştırılmasında referans kelime olarak kullanmıştır [53].

1960’ların sonlarına kadar kriyojenik işlem uygulaması ile çatlak bileşenlerinin sonuçları üzerine denemeler yapılmıştır. Kriyojenik işlem sistemi 1960’ların sonlarında Ed Busch tarafından geliştirilmiştir ve daha sonra Peter Paulin tarafından ısıtma ve soğutma oranlarının sıcaklık geri besleme kontrolünün geliştirmesi ile iyileştirilmiştir. Çok düşük sıcaklıklar üzerinde yapılan çalışmaların akabinde 1980’lerde, kriyojenik işlemin takım tezgahların’da ilk defa talep edilmesi ile bu işlemin geçerliliği onaylanmıştır [54], [55]. Daha sonraki araştırma ve geliştirmelerle, kriyojenik işlem görmüş elemanlarda çatlak oluşmaması gibi maksimum faydalar elde etmek için bilgisayarlı sıcaklık kontrol sistemleri geliştirilmiştir [8], [56]-[58].

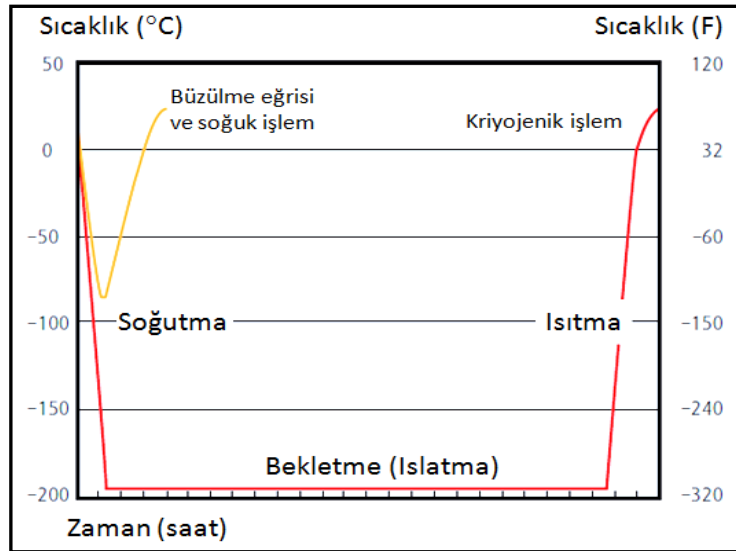
3.2. KRIYOJENİK İŞLEMİN UYGULANMASI

Kriyojenik işlemin ilk uygulanmaya başladığı yıllarda, malzemelerin doğrudan sıvı nitrojen içerisine daldırılması suretiyle yapıldığı ve bu işlem ile meydana gelen ani ısı değişiminden dolayı parçanın termal şoklara maruz kaldığı bildirilmiştir [3], [59]. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte sıcaklığın kademeli olarak düşürülmesine olanak tanıyan bilgisayar kontrollü sistemlerin geliştirilmesiyle birlikte kriyojenik işlem daha sorunsuz hale gelmiştir. Şekil 3.1’de kriyojenik işlemin uygulandığı bilgisayar kontrollü sistemin şeması görülmektedir [60]. Daha öncede belirttiğimiz gibi, kriyojenik işlem genellikle soğutma, bekletme (ıslatma) ve ısıtma-temperleme olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir [59], [61], [62]. Şekil 3.2’de kriyojenik işlem aşamaları verilmiştir [8].



Şekil 3.1. Tipik bir kriyojenik işlem sistemi.

Soğutma aşamasında parçalar ortam sıcaklığından kriyojenik sıcaklıklara belirli bir zaman aralığında (derece/saat veya derece/dakika) soğutulmaktadır. Soğutma aşamasının, işlem gören malzemenin nihai özelliklerine çok az bir etkisinin olduğu belirlenmiştir [63]. Dolayısıyla, malzemelerin işlem sıcaklığına, işlem zamanını azaltmak ve böylece maliyeti de azaltmak için termal şoklara sebep olmadan mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde soğutulması tavsiye edilmektedir [59].



Şekil 3.2. Kriyojenik işlem çevrimi.

Bekletme aşamasında, parçaların kriyojenik sıcaklıklarda belirlenen sürede (saat) bekletilmesi sağlanmaktadır. Bekletme aşamasının, işlem gören malzemenin nihai özellikleri açısından önemli olduğu belirtilmiştir ve bu aşama, malzeme içerisindeki atomların yeni konumlara yayılması için gerekmektedir [63]. Kriyojenik işlemden sonra yapılan temperleme işlemi, genellikle işlem gören malzemelerin darbe dirençlerini geliştirmek için gerçekleştirilmektedir. Temperleme, malzeme karakteristikleri ve istenilen özelliklere bağlı olarak tek, çift veya üçlü döngüler olarak gerçekleştirilebilmektedir [64]. Ancak, nihai etki için herhangi bir temperleme işleminin kriyojenik işlem sürecinden önce gerçekleştirilmesi tavsiye edilmemektedir [59]. Ayrıca, en önemli faydanın, kriyojenik işlemin sertleştirme (su verme) ve temperleme işlemlerinin arasına yerleştirildiğinde türetildiği belirtilmiştir.

3.3. KRIYOJENİK İŞLEMİN ETKİLERİ

Kriyojenik işlem geniş bir malzeme yelpazesinde iyi sonuçlar verebilmektedir. Uygulandığı malzemelerin özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle kriyojenik işlemle aşağıdaki iyileşmeleri elde etmek mümkündür [8], [3], [65].

- Yumuşak bir faz olan kalıntı östenitin sert bir faz olan martenzite dönüşümü,
- Eta karbürlerin çökmesi,
- İnce karbürlerin çökmesi ve homojen mikroyapı oluşumu,
- Daha iyi aşınma direnci,
- Yorulma ömründe artış,
- Kalıntı gerilmelerin giderilmesi ve boyutsal karalılık,
- İşlenebilirlikte iyileşme,
- Makro ve mikro srtlikte bir miktar artış,
- Termal iletkenliğin artması,
- Elektrik iletkenliğinin artması,
- Daha iyi korozyon artışı şeklinde sıralanabilir.

3.4. KRİYOJENİK İŞLEMİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Kriyojenik işlem; talaşlı imalat, döküm, enjeksiyon kalıpları, demir dövme, kaynak, otomotiv, uzay, elektronik, çelik, kereste, madencilik, tarım gibi daha bir çok endüstri sektöründe uygulanmaktadır. Kriyojenik işlem çeşitli parçaların performansını arttırmak için uzay ve imalat sanayi, spor ve müzik aletleri, ateşli silahlar gibi alanlarda halen kullanılmaktadır. Son on yıl içerisinde kriyojenik işlem ile takım çeliklerinin tribolojik özelliklerini iyileştirmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır [39], [66]-[69]. Zımbalar, matkap uçları, parmak freze çakıları, rulmanlar, kamalar, krank milleri, pistonlar vb. parçaların servis ömürlerinde önemli artışlar kaydedilmiştir [70], [48]. Ayrıca son yıllarda kriyojenik işlem metal ve alaşımlarının yanı sıra plastikler ve kompozit malzemelere uygulanarak plastiklerin dayanım direncinde ve kompozitlerin ise sertlik, dayanım ve aşınma direncinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır [49], [71].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

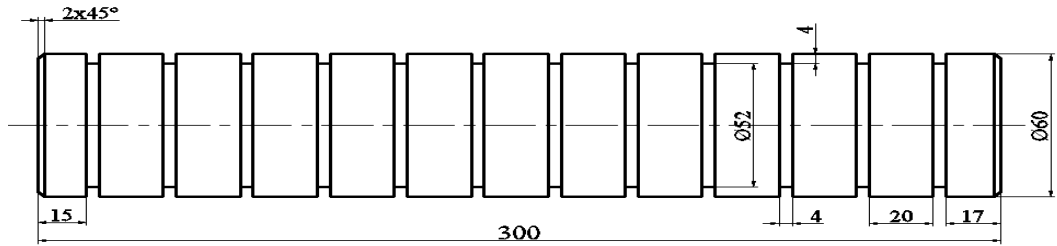
Bu çalışmada, sert tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve derin kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılarak optimum işleme şartları belirlenmiştir. Bu amaçla iş parçası malzemesi olan AISI D2 soğuk iş takım çeliğine geleneksel ısıtma işlemi, 36 saat derin kriyojenik işlem, 36 saat derin kriyojenik işlem + temperleme işlemi olmak üzere üç farklı ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ayrıca aynı malzeme üzerine uygulanan ısıtma işlemlerinin ve derin kriyojenik işlemin malzemenin mikroyapısı ve mekanik davranışları üzerindeki etkileri, mikroyapı analizi ve sertlik ölçüm testleri yapılarak ortaya konmuştur.

4.1. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

Deneylerde, Ø60x300 mm ölçülerinde silindirik AISI D2 soğuk iş takım çeliği malzemesi kullanılmıştır. AISI D2 soğuk iş takım çeliği; genel olarak kalıplar, zımbalar, makas bıçakları, çapak alma kalıpları gibi kırılmaya maruz kalan elemanların imalatında kullanılmaktadır. Deney numunesinin kimyasal bileşimi ve şekli sırasıyla Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi (%).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1,575	0,32	0,30	0,024	0,0020	11,70	0,74	0,960



Şekil 4.1. Tornalama deneylerinde kullanılan iş parçası malzemesi.

4.2. TAKIM TEZGAHI

Sert tornalama deneyleri, Çizelge 4.2’de teknik özellikleri ve Şekil 4.2’de şekli verilen GOODWAY GLS-1500 CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. Takım tezgahının teknik özellikleri.

<i>Maximum tornalama çapı</i>	430 mm
<i>Maximum tornalama boyu</i>	630 mm
<i>Maksimum iş mili devri</i>	6000 dev/dak
<i>İş mili motor gücü</i>	7,5 KW
<i>Ölçü hassasiyeti</i>	0,003 mm
<i>İşletim sistemi</i>	Fanuc



Şekil 4.2. GOODWAY GLS-1500 CNC torna tezgahı.

4.3. KESİCİ TAKIMLAR VE TAKIM TUTUCU

Bu çalışmada; sert tornalama deneylerinde sanayide çok yaygın bir kullanıma sahip olan TaeguTec kesici takım firması tarafından imal edilmiş olan kaplamasız SNGA 120408 T01020 AB30 kodlu tornalama ucu ve SNGA1204 08 T01020 AB2010 kodlu seramik tornalama uçları kullanılmıştır. Kesici takımları bağlamak için PSBNR 2525 M12 dış çap tornalama kateri kullanılmıştır.

4.4. KESME PARAMETRELERİ

Sert tornalama deneyleri üç farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,08, 0,16, 0,24 mm/dev) ve üç farklı kesme derinliği (0,25, 0,50, 0,75 mm) olmak üzere 27 farklı işleme kombinasyonu ile yapılmıştır. Geleneksel Isıl İşlem, Geleneksel Isıl İşlem + Derin Kriyojenik İşlem, Geleneksel Isıl İşlem + 36 Saat Derin Kriyojenik İşlem + Temperleme İşlemi uygulanmış malzemeler üzerinde kaplamasız ve kaplamalı olmak üzere iki farklı kalitedeki seramik takımlar kuru kesme şartlarında kullanılarak yukarıda bahsi geçen 27 farklı işleme parametresi test edilmiştir. Her bir kombinasyon'da deney yapılarak toplam 162 adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Takım aşınması deneylerinde ise her bir kesici takım için sabit kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinde farklı işleme süreleri dikkate alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3'te yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması deneylerinde kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kesme parametreleri.

Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri					
Kesici takım	AB30		AB2010		
Isıl işlem	CHT	DCT-36	DCTT-36		
Kesme hızı (v, m/dak)	50	100	150		
İlerleme hızı (f, mm/dev)	0,08	0,16	0,24		
Kesme derinliği (a, mm)	0,25	0,50	0,75		
Takım Aşınması Deneyleri					
Kesici takım	AB30		AB2010		
Isıl işlem	CHT	DCT-36	DCTT-36		
Kesme hızı (v, m/dak)		150			
İlerleme hızı (f, mm/dev)		0,08			
Kesme derinliği (a, mm)		0,6			
İşleme süresi (ct, dak)	2	4	6	8	10

4.5. DERİN KRİYOJENİK İŞLEM

Deney numuneleri CHT, DCT-36 ve DCTT-36 olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bu kısaltmalardan CHT; Geleneksel Isıl İşlem, DCT-36; Geleneksel Isıl İşlem + 36 saat Derin Kriyojenik İşlem, DCTT-36; Geleneksel Isıl İşlem + 36 saat Derin Kriyojenik İşlem + Temperleme işlemini temsil etmektedir. AISI D2 soğuk iş takım çeliği,

kriyojenik işlemden önce ön ısıtma, östenitleme ve temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Ön ısıtma işlemi; 450°C'de 30 dak, 650°C'de 60 dak ve 850°C'de 30 dak olmak üzere 3 aşamada yapılmıştır. Ön ısıtma işleminin ardından numuneler, atmosfer kontrollü fırında 1030°C'de 60 dakika ısıtılarak östenitleme işlemine tabi tutulmuştur. Östenitleme işleminden sonra vakumlu fırında 4 Bar basınçta azotta hızlı soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak numuneler, 200°C'de 180 dakika ve 350°C'de 180 dakika temperleme işlemine tabi tutularak 60-62 HRC sertlik değerine getirilmiştir. Daha sonra DCT-36 ve DCTT-36 numunelerine -145°C'de 36 saat olmak suretiyle derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlemin gerçekleştirildiği soğutma fırını Şekil 4.3'de görülmektedir. Şekilde görülen soğutma fırınına kriyojenik işlem süresince sürekli bir şekilde azot gazı verilmiştir. Son olarak DCTT-36 numunesine uygulanan 200°C'de 180 dakika temperleme işlemi ile ısıl işlem ve kriyojenik işlem prosesi tamamlanmıştır.



Şekil 4.3. Üstten yüklemeli kriyojenik işlem fırını (Kara, 2014).

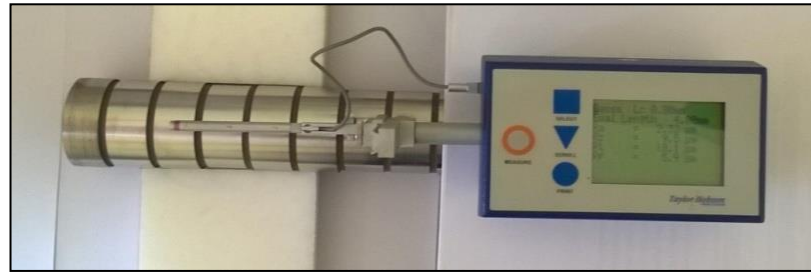
Deney numuneleri geleneksel ısıl işlem, geleneksel ısıl işlem + derin kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem + temperleme işlemi uygulanarak üç farklı kombinasyon elde edilmiştir. Çizelge 4.4'te AISI D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanan geleneksel ısıl işlem ve derin kriyojenik işlem prosesi verilmiştir.

Çizelge 4.4. Isıl işlem ve derin kriyojenik işlem süreci.

AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliği		
Proses	Sıcaklık	Süre
1. Ön ısıtma	450°C	30 dak
2. Ön ısıtma	650°C	60 dak
3. Ön ısıtma	850°C	30 dak
Östenitleme	1030°C	60 dak
Soğutma	4 Bar Basınçta azotta soğutma	-
1. Temperleme	200°C	180 dak
2. Temperleme	350°C	180 dak
Derin kriyojenik işlem	-145°C	36 saat
Temperleme	200°C	180 dak

4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMLERİ

İşlenebilirlik çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. İşlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük ölçümleri için ‘Taylor Hobson Surtronic 25’ marka yüzey pürüzlüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. İşlenen yüzeylerden üç defa yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmış ve bunların ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri belirlenmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan ‘Taylor Hobson Surtronic 25’ marka yüzey pürüzlülük test cihazı Şekil 4.4’te ve bu cihaza ait teknik özellikler ise Çizelge 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.4. Sert tornalama deneylerindeki yüzey pürüzlülük ölçümleri.

Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülük cihazına ait teknik özellikler.

Ölçüm aralığı	300 µm
Çözünürlük	0,01 µm
Ölçme kuvveti	150-300 mg
Örnekleme uzunluğu	0,08 mm, 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm
Tarama uzunluğu	0,25-25 mm
Tarama hızı	1 mm/s
Tarama metodu	Diferansiyel indüksiyon
Parametreler	Ra, Rz, Rt, Rp, Rmr, Rpc, Rsm, Rz1max, Rsk, Rda
Veri çıkışı	RS 232
Genel boyutlar	127x85x60 mm
Ağırlık	0,45 kg

4.7. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜMLERİ

Farklı ısı işlem uygulanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız ve kaplamalı seramik kesici takımlarla sert tornalama şartları altında takımların aşınma performansı üzerindeki etkileri sabit kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğine bağlı olarak incelenmiştir. CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri kaplamasız ve kaplamalı seramik takımlarla 150 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde belirlenen işleme sürelerinde (2, 4, 6, 8, 10 dakika) sert tornalama işlemi yapılarak takım aşınması deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri esnasında belirli aralıklarla kesme işlemi durdurularak, Dino-Lite dijital mikroskobu ile aşınan yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir. Dino Capture 2.0 programında kesici takımın genişliği (4,76 mm) tanıtıldıktan sonra takımlarda oluşan burun ve krater aşınma miktarları ölçülmüştür. Kesici takımlarda oluşan aşınma miktarları ısı işlem ve işleme süresine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Dino-Lite dijital mikroskobunun resmi Şekil 4.5'de teknik özellikleri ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ayrıca aşınan yüzeyler Şekil 4.8'deki SEM cihazıyla fotoğrafları çekilerek oluşan aşınma tipleri incelenmiştir. Krater aşınmalarının belirlenmesi için SEM fotoğrafları 1:1 ölçeğinde CAD ortamına atılarak krater bölgeleri hassas bir şekilde çizilmiş ve alanları hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Aşınma ölçümlerinde kullanılacak Dino-Lite dijital mikroskobu.

Çizelge 4.6. Dino-Lite dijital mikroskobu teknik özellikleri.

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

4.8. MAKRO VE MİKROSERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Deney numunelerinin hem mikro hem de makrosertlik ölçüm cihazında sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her iki sertlik ölçümleri için, 10 mm çapta ve 10 mm yükseklikte 12'şer tane olmak üzere toplamda 36 adet numune hazırlanmıştır. Makro ve mikrosertlik ölçümlerinde, ölçüm sonucu en az 10 sertlik ölçümünün ortalamasını yansıtmaktadır. Mikrosertlik ölçümleri, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Şekil 4.6'da görülen Metkon marka mikrosertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Makrosertlik ölçümleri de yine Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Şekil 4.7'de görülen Bulut Makine marka makrosertlik cihazı ile Rockwell (HRC) sertlik ölçme metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Mikrosertlik ölçme cihazı.



Şekil 4.7. Makrosertlik ölçme cihazı.

4.9. SEM ANALİZLERİ

Mikroyapı incelemelerinde kullanılmak üzere 10 mm çap ve 8 mm yüksekliğe sahip olan her bir ısıl işlem türü için 1 adet numune hazırlanmıştır. Bu numuneler; geleneksel ısıl işlem, 36 saat derin kryojenik işlem ve 36 saat derin kriyojenik işlem + temperleme işlemi sonrasında sırayla 120, 240, 600, 800 ve 1200 gritlik SiC zımparalar ile zımparalama işlemi yapılarak akabinde yaklaşık 5 dakika numune parlatma cihazında parlatılmıştır. Daha sonra % 3 Pikral (97 ml etil alkol, 3 gr pikrik asit) ile dağlanarak optik mikroskopta incelenmiş ve SEM çekimleri için hazırlanmıştır. Ayrım ve çözünürlük gücü açısından taramalı elektron mikroskobu (SEM) 25 Å seviyelerinde iken optik mikroskoplarda 2000 Å düzeyindedir ve diğer bir yandan taramalı elektron mikroskopunda odaklama derinliği optik mikroskoplara göre 300-600, alan derinliği ise 30 kat daha iyidir. Bu nedenle daha ayrıntılı yüksek büyütme için Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan FEI

marka Quanta FEG 250 model taramalı elektron mikroskobunda mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. FEI marka SEM cihazının resmi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

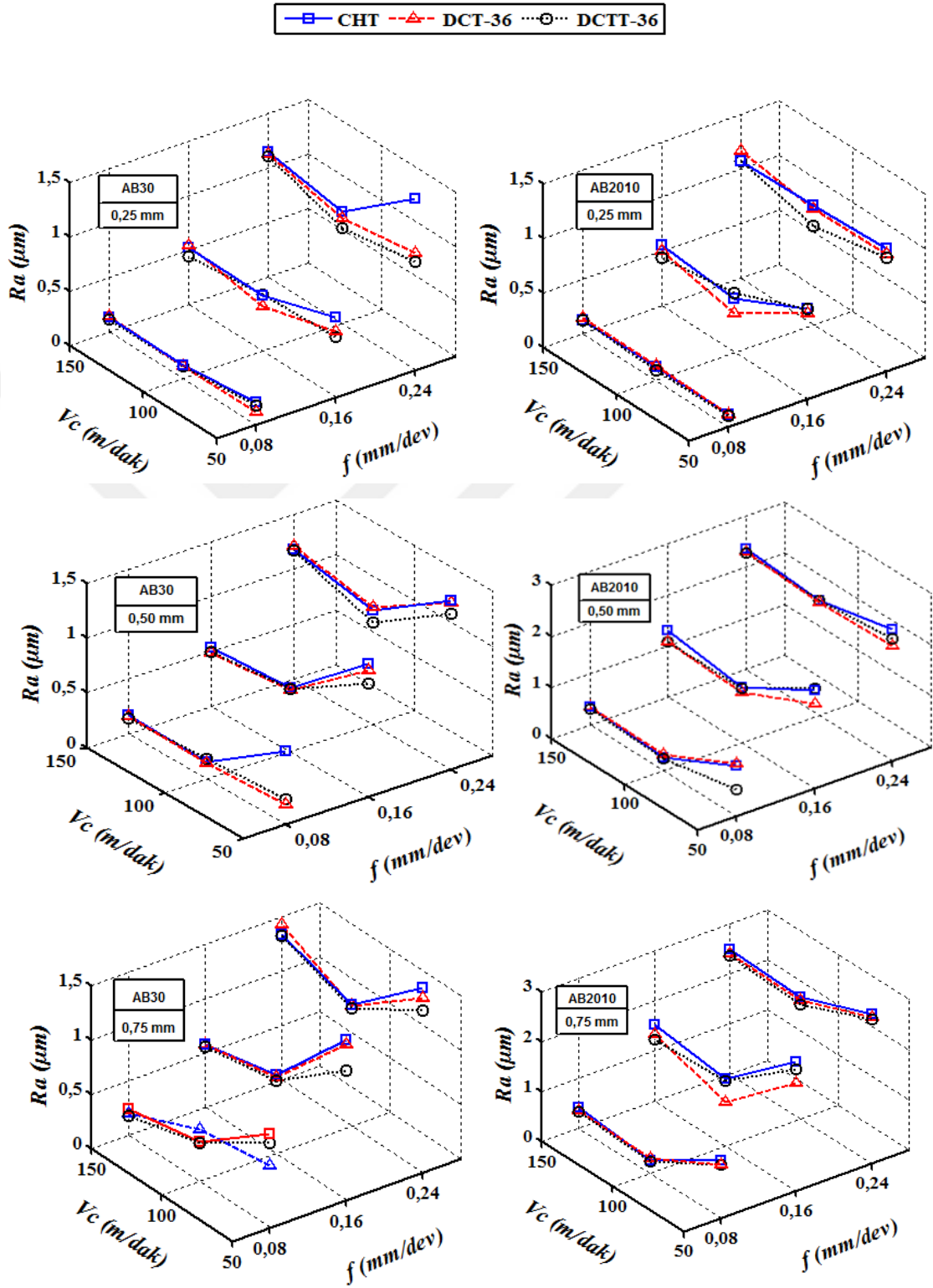
5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

5.1.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi

AISI D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanan geleneksel ısıl işlem (CHT), 36 saat derin kriyojenik işlem (DCT-36) ve 36 saat derin kriyojenik işlem + temperleme işleminin (DCTT-36) kaplamasız ve kaplamalı seramik kesicilerle sert tornalama deneyleri sonrasında, kesme parametreleri ve kesme şartlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişimler Şekil 5.1’de verilmiştir. Genel olarak yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin 0,22 μm ile 3,1467 μm aralığında değiştiği görülmüştür. Kesme parametrelerinin tüm değerleri için artan kesme hızıyla birlikte her iki takım da Ra değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte kesme hızındaki artış takım-talaş temas alanını azaltarak sürtünmeyi azaltmakta bu da daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesine imkân tanımaktadır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar, kesme hızının artmasıyla Ra değerinin düşmesinin kesme hızının artması ile yığıntı talaş oluşum eğiliminin azalmasına bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir [72]-[74]. Ancak yüksek kesme hızlarında (150 m/dak) Ra değerleri bir miktar artış göstermiştir. Bu durum yüksek kesme hızlarında kesme bölgesinde artan sıcaklıklar ve kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına bağlı olarak artan takım aşınması ile izah edilebilir.

Kesme hızındaki % 300’lük artış sonrasında düşük ilerleme (0,08 mm/dev) değerlerinde % 52’lere varan oranlarda yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşmeler görülmüştür. Ancak yüksek ilerleme (0,24 mm/dev) değerlerine ulaşıldığında 100 m/dak kesme hızına kadar Ra değerlerinde % 45’lere varan düşüşler görülürken, kesme hızındaki % 50’lik artış ile birlikte 150 m/dak kesme hızına gelindiğinde, Ra değerlerinde % 25’lere varan artışlar görülmüştür. Bu durum artan kesme hızıyla birlikte takım talaş temas alanının azalması, yüksek kesme parametreleriyle birlikte

takımın aşınmasına ve işlenen yüzeyin aşırı deformasyona uğramasıyla açıklanabilir [75].



Şekil 5.1. Kesici takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

İlerleme hızı kesme işleminin karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden birisidir [76], [77]. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine bakıldığında, kesme parametreleri ve kesici takımlar açısından artan ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasında önemli bir etken olduğu görülmüştür. Kaçal, T/M yöntemi ile üretilmiş ve sertleştirilmiş PMD-23 çeliğini kaplamalı seramik kesici takım ile tornalanmasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada ilerleme değerlerindeki değişimin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ifade etmiştir [78]. İlerleme hızının artmasıyla tüm takımlarda ölçülen Ra değerlerinin de arttığı görülmektedir. İşleme parametrelerinin tamamı için en düşük ilerleme hızında (0,08 mm/dev) Ra değerleri 0,18-1,723 µm aralığında değişirken en yüksek ilerleme değerine (0,24 mm/dev) gelindiğinde ise Ra değerlerinin ciddi bir artış sergileyerek 1,74-3,41 µm aralığına ulaştığı görülmüştür. İlerleme hızının artması, birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasıyla kesme kuvvetlerinin ve titreşimin artmasına sebep olmakta ve bu şekilde yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Ayrıca ilerleme hızının artması kesme hızında olduğu gibi kesici takım-talaş-iş parçası ara yüzündeki sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Ara yüzdeki sıcaklık artışı da takım aşınması ve sonuç olarak yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum, literatür çalışmalarında belirtildiği gibi takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir [79], [80].

Şekil 5.1'e bakıldığında, kesme derinliğinin artışı ile Ra değerlerinin de arttığı görülmektedir. Ra değerleri 0,25 mm kesme derinliğinde 0,18-3,14 µm aralığında, 0,50 mm kesme derinliğinde 0,23-3,08 µm aralığında ve 0,75 mm kesme derinliğinde ise 0,23-3,41 µm aralığında değişmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değeri 0,25 mm kesme derinliğinde 0,18 µm ve en yüksek Ra değeri ise 0,75 mm kesme derinliğinde 3,41 µm olarak elde edilmiştir. Kesme derinliğinin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün de artması yapılan çok sayıda literatür çalışması ile doğrulanmıştır [81]. Kesme derinliği de ilerleme hızı gibi kesme işlemi esnasında kesici takımın birim zamanda kaldırmaya çalıştığı talaşın kesitini doğrudan etkilemektedir. Kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi bakımından birinci önemli faktör talaş kesitidir. Talaş kesiti arttıkça Ra değerinin azaldığı, talaş kesiti azaldıkça Ra değerinin azaldığı bilinmektedir [75]. Artan talaş kesiti ile birlikte, birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı da

büyümekte ve kesme işlemini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla kesme kuvvetleri ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri artmaktadır.

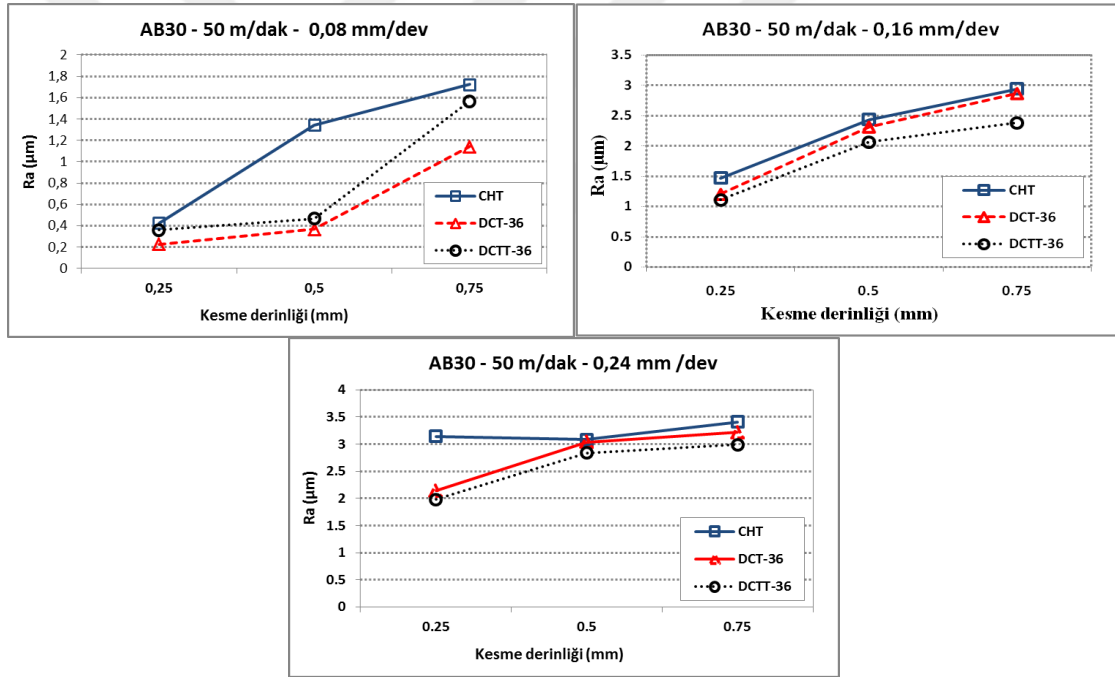
İkinci faktör ise kesme sıcaklığıdır. Kesme işlemi esnasında sıcaklığı etkileyen farklı ısı kaynakları vardır. Bunlar; öncelikli olarak birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen plastik deformasyondur. İkinci olarak, ikinci deformasyon bölgesinde meydana gelen sürtünme ve plastik deformasyonla oluşan ısı enerjisi ve son olarak ise, kesici takımın yan yüzeyinin iş parçasıyla temas ettiği üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılan bölgede oluşan ısı enerjisidir [82], [83]. Özellikle ilerleme hızı kesme derinliğinin artması birinci deformasyon bölgesindeki kayma yüzey alanını artırmaktadır ve dolayısıyla talaşı yüzeyden koparmak için daha fazla bir enerji sarf edilmesi gerekmekte ve harcanan bu enerjinin sonucunda daha fazla ısı açığa çıkmaktadır. Ayrıca talaş kesitindeki artışla birlikte ikinci deformasyon bölgesinde, takım-talaş ara yüzünde sürtünme artmakta dolayısıyla kesme sıcaklığını'da etkilemektedir. Kesme sıcaklığının artışına paralel olarak kesici takımlarda aşınma meydana gelmektedir. Çabuk aşınan kesici takım ucu ise daha kötü yüzey pürüzlülüğüne sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak, kesme derinliğinin artışı yüzey pürüzlülüğünün'de artmasına neden olmaktadır.

5.1.2. İş Parçasına Uygulanan Isıl İşlemin Değişimi

Isıl işlem türüne bağlı olarak iki farklı kesici takım ile sert tornalama şartları altında ölçülen Ra değerlerinin ilerleme miktarına ve kesme derinliğine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.2 ve 5.3'te verilmiştir. Grafıklere bakıldığında, Ra değerleri üzerinde iş parçası malzemesine uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme işleminin olumlu etkilerini görmek mümkündür. AISI D2 malzemesine uygulanan ısıl işlemler dikkate alındığında en düşük Ra değerleri DCTT-36 numunesinin tornalanmasından elde edilmiş olup, bu malzemeyi DCT-36 ve CHT numunesi takip etmiştir. Malzemeye uygulanan kriyojenik işlemin malzemenin sertlik ve mikroyapısında meydana getirdiği değişimlerin Ra değerlerinin düşmesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde kriyojenik işlemin sertlikle birlikte tokluk artışı'da meydana getirdiği ifade edilmektedir [6], [7]. Bu değişimlerin malzemenin işlenebilirliğini iyileştirdiğini sonuç olarak daha düşük Ra değerlerinin elde edildiği söylenebilir. Temperleme işlemi ise malzemenin sertliğinde

meydana getirdiği bir miktar düşüşle daha iyi yüzey kalitesinin elde edilmesine olanak sağlamıştır.

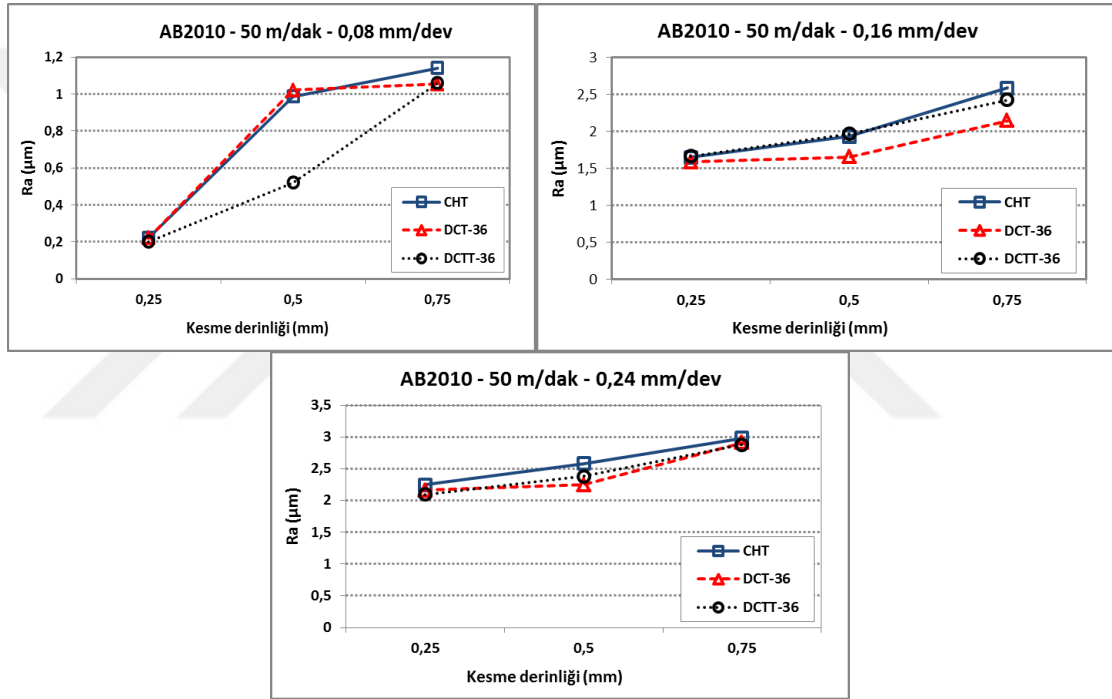
Derin kriyojenik işlem sonrası uygulanan temperleme işlemi malzemede geleneksel ısıtım işlem sonrası bulunan kalıntı östeniti martensite dönüştürmekle kalmayıp ince karbür çökeltilerinin oluşumunu da sağlamaktadır [34], [66]. Bu değişimin ise daha kaliteli bir yüzey formu oluşmasında etkili olduğu düşünölmektedir. Çiçek ve diğ., derin kriyojenik işlemden sonra AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenebilirliğindeki değişimleri incelemişlerdir. Kriyojenik işlem ve temperleme işlemi gören numunelerin Ra değerleri daha düşük elde edilmiştir. Bununla birlikte, hem burun aşınması hem de krater aşınması bakımından yine en iyi performansı derin kriyojenik işlem ve sonrasında temperleme işlemi uygulanan numune sergilemiştir [48].



Şekil 5.2. Kaplamasız seramik takım için ısıtım işlem türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlölüğünün değişimi.

Şekil 5.2’de tüm ilerleme hızları ve CHT numunesi için kesme derinliğinin 0,25 mm’den 0,50 mm’ye % 100’lük artışı ile Ra değerlerinde ortalama % 36’lık bir artış olmuştur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin 0,25 mm’den 0,75 mm’ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200’lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 60’lık artış olduğu gözlemlenmiştir. DCT-36 numunesinde, kesme derinliğinin 0,25 mm’den 0,50 mm’ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100’lük bir artışa karşılık elde edilen Ra

değerlerinde % 60'lık bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 102'lik artış olduğu görülmüştür. DCTT-36 numunesinde, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100'lük bir artışa karşılık elde edilen Ra değerlerinde % 56'lık bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 101'lik artış olduğu görülmüştür. Üç numune kendi arasında kıyaslandığında, en iyi Ra değerine 0,25 mm kesme derinliği ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 0,2267 μm olarak DCT-36 numunesi ile ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 5.3. Kaplamalı seramik takım için ısıl işlem türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

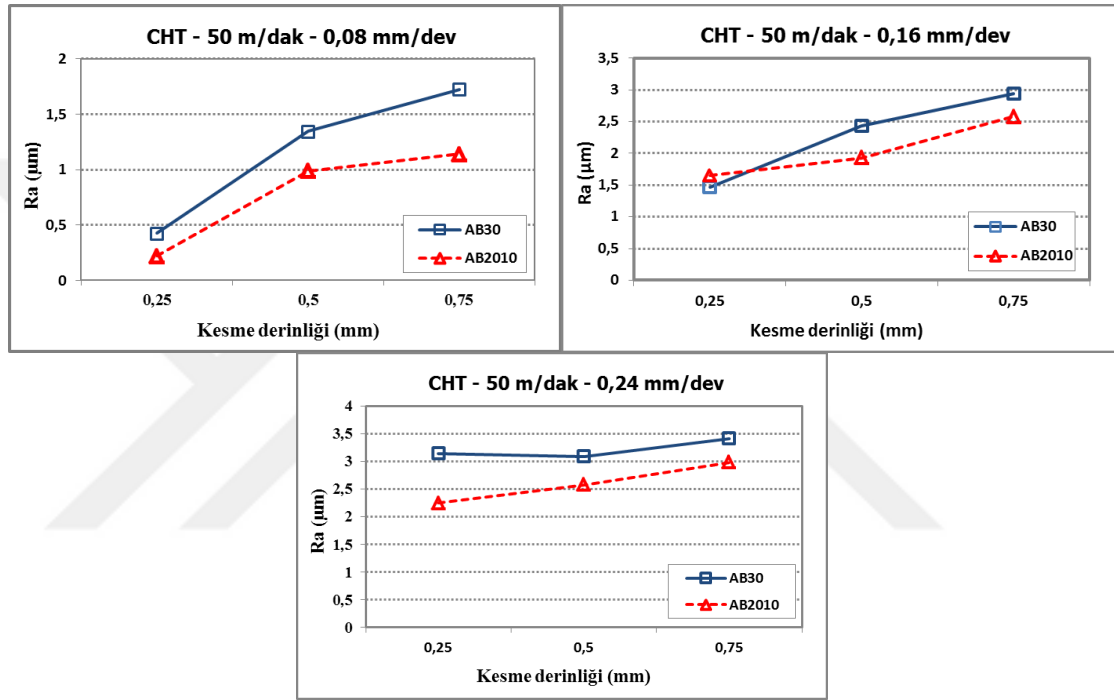
Şekil 5.3' te 50 m/dak kesme hızı ve AB2010 kaplamalı seramik takım için üç farklı ilerleme hızı, üç farklı kesme derinliği ve üç farklı ısıl işlemdeki Ra değerlerinin değişimi verilmiştir. Tüm ilerleme hızları ve CHT numunesi için kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm'ye % 100'lük artışı ile Ra değerlerinde ortalama % 34'lük bir artış olmuştur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 63'lük artış olduğu gözlemlenmiştir. DCT-36 numunesinde, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50

mm' ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100'lük bir artışa karşılık elde edilen Ra değerlerinde % 24'lük bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 54'lük artış olduğu görülmüştür. DCTT-36 numunesinde, kesme derinliğinin 0,25 mm' den 0,50 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100'lük bir artışa karşılık elde edilen Ra değerlerinde % 23'lük bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm' den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 61'lik artış olduğu görülmüştür Üç numune kendi arasında kıyaslandığında, en iyi Ra değerini 0,25 mm kesme derinliği ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında 0,20 µm olarak DCTT-36 numunesi sağlamıştır.

5.1.3. Kesici Takımın Değişimi

Kaplamalı ve kaplamasız seramik kesici takımlarla sert tornalama şartları altında ölçülen Ra değerlerinin kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimleri Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.4'te geleneksel ısı görmüş malzemenin (CHT) $Al_2O_3 + TiC$ matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik (AB30) ve $Al_2O_3 + TiC$ matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik (AB2010) olmak üzere iki farklı kesici takımla işlenmesi sonucunda ölçülen ortalama Ra değerleri kıyaslanmıştır. Grafikleri genel olarak incelediğimizde, hem kaplamasız hem de kaplamalı takımlarla işlenen malzemede artan kesme derinliğine bağlı olarak Ra değerlerinde artış görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla kesici takımın birim zamanda kaldırmaya çalıştığı talaşın kesiti ve kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık artmaktadır. Talaş kesitinin artması kesme işlemini zorlaştırmakta, kesme sıcaklığının artması da kesici takımın plastik deformasyona maruz kalmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu durum yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kaçal ve diğ., Tarafından işlenebilirlik üzerine yapılan çalışmada, kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak Ra değerlerinin arttığı belirtilmiş ve bu durum talaş kesitindeki belirgin artış ile ilişkilendirilmiştir [84]. Şekil 5.4'te tüm ilerleme hızları ve AB30 kodlu kaplamasız seramik takım için kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm' ye % 100'lük artışı ile Ra değerlerinde ortalama % 36'lık bir artış olmuştur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm' ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 60'lık artış olduğu gözlemlenmiştir. AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takımda,

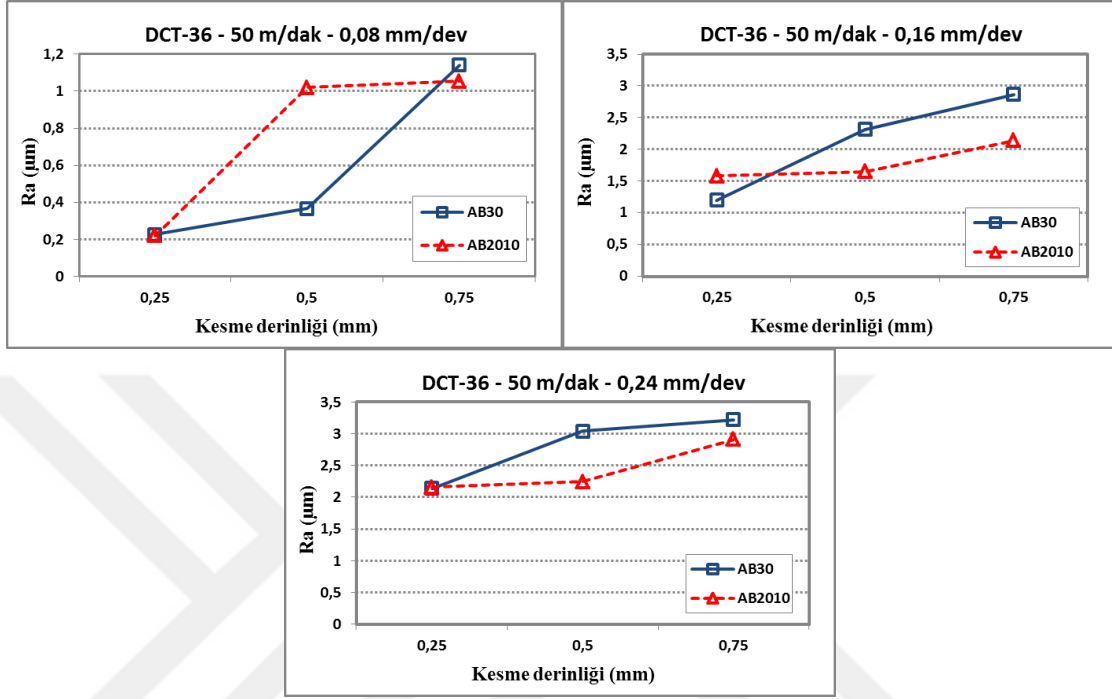
kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm' ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100' lük bir artışa karşılık elde edilen Ra değerlerinde % 34'lük bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200' lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 64'lük artış olduğu görülmüştür. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım kıyaslandığında, en iyi Ra değerini CHT numunesinde 0,25 mm kesme derinliği ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında AB2010 kodlu kaplamalı kesici takımın verdiği görülmektedir.



Şekil 5.4. CHT numunesi için kesici takım türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

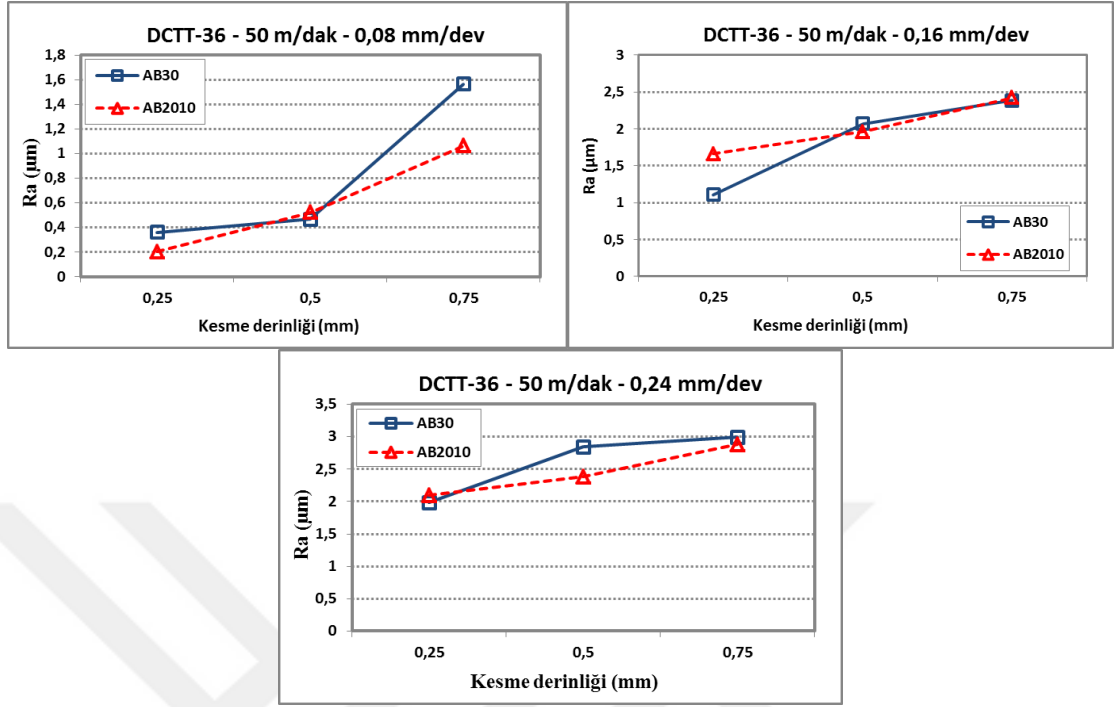
Şekil 5.5'te tüm ilerleme hızları ve AB30 kodlu kaplamasız seramik takım için kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm'ye % 100'lük artışı ile Ra değerlerinde ortalama % 60'luk bir artış olmuştur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 102' lik artış olduğu gözlemlenmiştir. AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takımında, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100'lük bir artışa karşılık elde edilen Ra değerlerinde % 24'lük bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 54'lük artış olduğu görülmüştür.

Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım kıyaslandığında, en iyi Ra değeri 0,22 μm olarak DCT-36 numunesi için 0,25 mm kesme derinliği ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında AB2010 kodlu kaplamalı kesici takım ile elde edilmiştir.



Şekil 5.5. DCT-36 numunesi için kesici takım türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Şekil 5.6'da tüm ilerleme hızları ve AB30 kodlu kaplamasız seramik takım için kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm'ye % 100'lük artışı ile Ra değerlerinde ortalama % 56'lık bir artış olmuştur. Bununla birlikte, kesme derinliğinin 0,25 mm' den 0,75 mm' ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 101'lik artış olduğu gözlemlenmiştir. AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takımında, kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,50 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 100'lük bir artışa karşılık elde edilen Ra değerlerinde % 37'lik bir artış olmuştur, yine kesme derinliğinin 0,25 mm'den 0,75 mm'ye çıkması ile kesme derinliğindeki % 200'lük artışa karşılık gelen Ra değerlerinde % 155'lik artış olduğu görülmüştür. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım kıyaslandığında, en iyi Ra değeri 0,20 μm olarak DCTT-36 numunesi için 0,25 mm kesme derinliği ve 0,08 mm/dev ilerleme hızında AB2010 kodlu kaplamalı kesici takım ile elde edilmiştir.



Şekil 5.6. DCTT-36 numunesi için kesici takım türüne bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

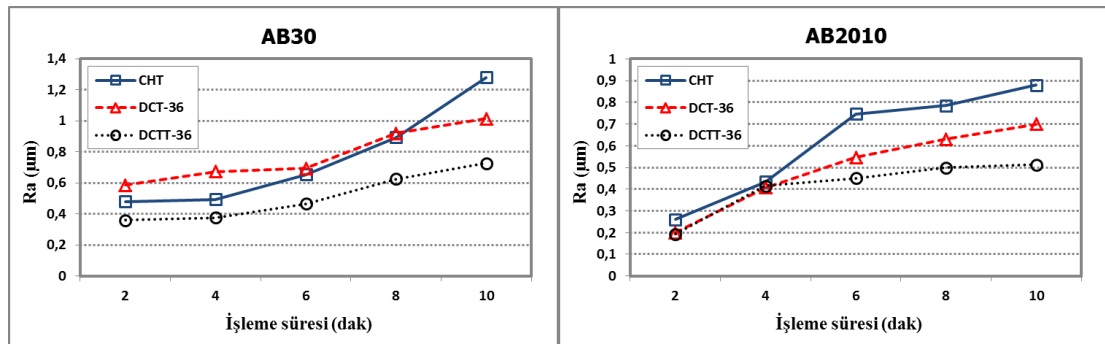
Yüzey pürüzlülüğü açısından AB30 ve AB2010 kodlu kesici takımlar kendi aralarında değerlendirildiğinde, Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'daki grafiklerden genel itibariyle en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin AB2010 kodlu TiN kaplı seramik takımlardan elde edildiği görülmektedir. Kesme şartlarına göre değişmekle ve çok büyük farklılıklar söz konusu olmamakla birlikte AB2010 kodlu takım AB30 kodlu takıma göre yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık % 73'ü bulan düşüşler sağlamıştır. AB2010 kodlu takımda dış katmana yapılan ilave TiN kaplaması sayesinde kesici takımın ısıya karşı direnci artırılmıştır. Bu kaplama malzemesi kesme esnasında kesici takım ile iş parçası arasında bariyer etkisi oluşturarak birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen ısının takıma geçişini geciktirmektedir [85], [86]. Daha az ısı oluşumu nedeniyle AB2010 kodlu takım daha geç aşınmaya maruz kalacaktır. Bu sayede kesme yüzeyi formunu daha uzun süre muhafaza eden AB2010 kodlu takım AB30 kodlu takıma göre daha iyi yüzey kalitesi sergilemiş bulunmaktadır.

5.2. TAKIM AŞINMASI

5.2.1. Burun Aşınması

5.2.1.1. İş Parçasına Uygulanan Isıl İşleme Göre Burun Aşınmasının Değişimi

AISI D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanan geleneksel ısıtma işlemi, derin kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem ardına temperlemenin takım ömrüne etkisini araştırmak için kuru kesme şartlarında bir dizi aşınma deneyleri yapılmıştır. Takım aşınması deneyleri, 150 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde Al_2O_3 + TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik (AB30) ve Al_2O_3 + TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik (AB2010) takımlarla beş farklı işleme süresi (2, 4, 6, 8, 10 dakika) için gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda her iki takım üzerinde genellikle burun aşınması ve krater aşınması oluşmuştur. İşleme süreleri sonunda oluşan burun aşınması değerleri doğrusal olarak kameralı ölçüm cihazında hassas bir şekilde ölçülmüştür. Aşınma deneyleri esnasında her bir işleme süresi sonunda işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü ölçülmüştür. İşleme süresi, kesici takım türü ve ısıtma işlem türüne bağlı Ra değişimleri Şekil 5.7’de verilmiştir.

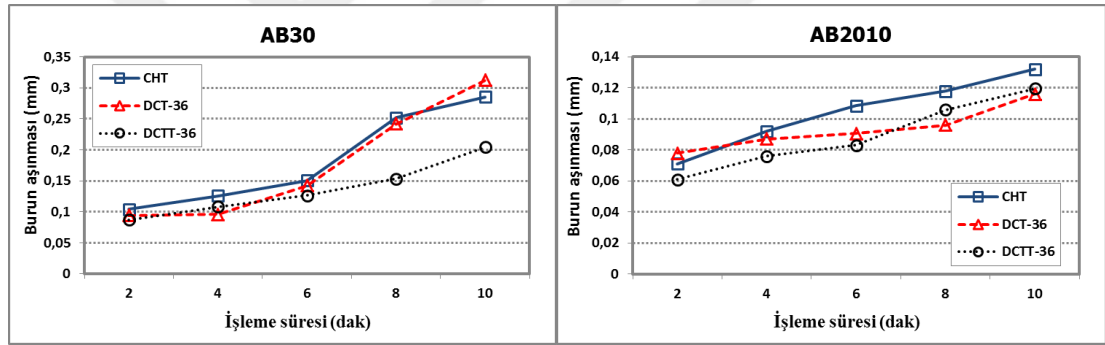


Şekil 5.7. İşleme süresi ve ısıtma işlem türüne göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

150 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilen takım aşınması deneyleri sonucunda ölçülen Ra değerlerinin 0,2 µm ile 1,28 µm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 5.7’de her iki kesici takım ile elde edilen Ra değerlerinin ortalaması alındığında, CHT numunesi için işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile Ra değerlerinde ortalama % 192’lik bir artış olmuştur. DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için bu oran sırasıyla % 122 ve % 117

olarak bulunmuştur. Tüm işleme süreleri dikkate alındığında, yüzey pürüzlülüğü bakımından ısıl işlem türüne göre en düşük Ra değerleri DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir.

Burun aşınması değişimlerinin verildiği Şekil 5.8’de her iki kesici takım ile elde edilen aşınma değerlerinin ortalaması alındığında, CHT numunesi için işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile burun aşınması değerlerinde ortalama % 138’ lik bir artış olmuştur. DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için bu oran sırasıyla % 149 ve % 119 olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü bakımından ısıl işlem türüne göre en düşük burun aşınması değerleri yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi yine DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir. Tüm işleme süreleri dikkate alındığında, burun aşınması bakımından ısıl işlem türüne göre en düşük aşınma değerleri DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir.



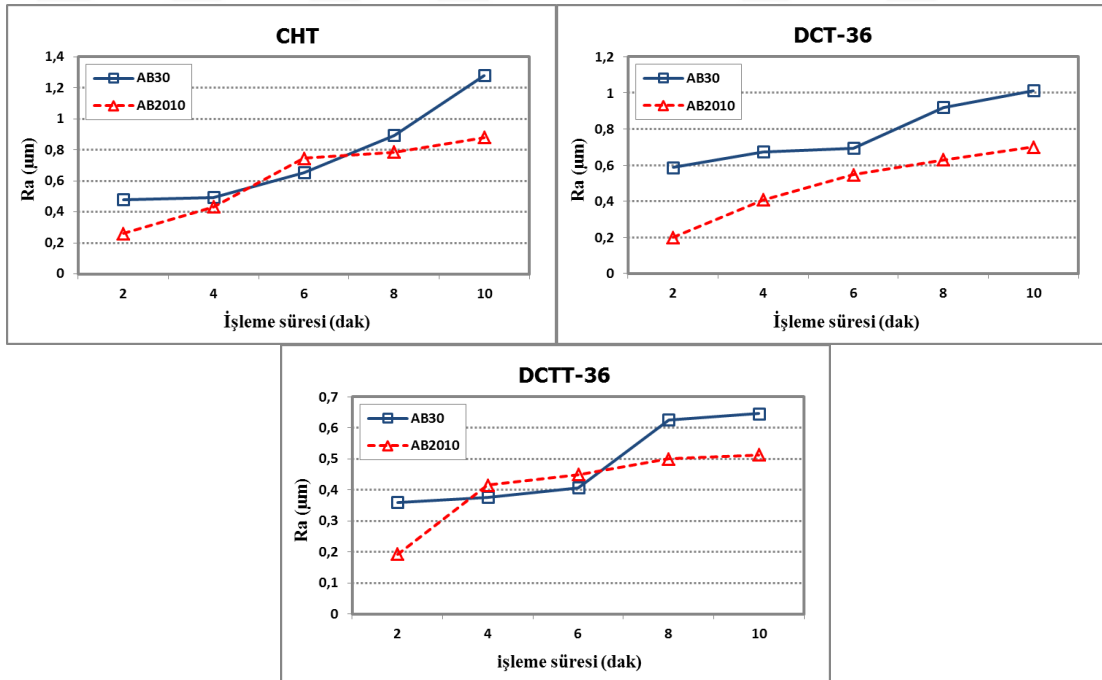
Şekil 5.8. İşleme süresi ve ısıl işlem türüne göre burun aşınmasının değişimi.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 için genel bir değerlendirme yapılacak olursa, işleme süresinin artması ile hem yüzey pürüzlülüğü hem de burun aşınması değerlerinin arttığını söylemek mümkündür. İşleme süresinin artması ile kesici takımların aşınma süreleri kısaltmakta ve işlenen yüzeylerin kalitesi de kötüleşmektedir [87]. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Aynı şekilde işleme süresinin artması ile kesme bölgesinde oluşan ısı da paralel olarak yükselmektedir. Bu ısı miktarının artışı, kesici takım-talaş-iş parçası ara yüzündeki sıcaklığında yükselmesine neden olmaktadır. Belirli bir sıcaklık değerine kadar özelliğini koruyan kesici takım sınır değerlerine ulaşıldığında plastik deformasyona maruz kalacaktır. Kalıcı şekil değişiminden sonra takımında çeşitli aşınma türleri meydana gelir ve kesici takım işlevini yitirir. Bu nedenle, işleme süresinin artması ile paralel olarak hem yüzey pürüzlülüğü hem de aşınma miktarı artmaktadır. Literatürde’de artan işleme süresine bağlı olarak kesici takımın aşındığını ve buna bağlı

olarak da yüzey kalitesinin kötüleştiğini ifade edilmektedir [70]. Lima ve diğ., üç farklı kesici takım kullanarak AISI 4340 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliğine sert tornalama işlemi uygulayarak işleme zamanına bağlı olarak kesici takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Yapılan çalışmada 0-20 dakika zaman aralığında işleme süresi arttıkça kesici takımlarda aşınma meydana gelmiş ve buna paralel olarak da Ra değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir [88].

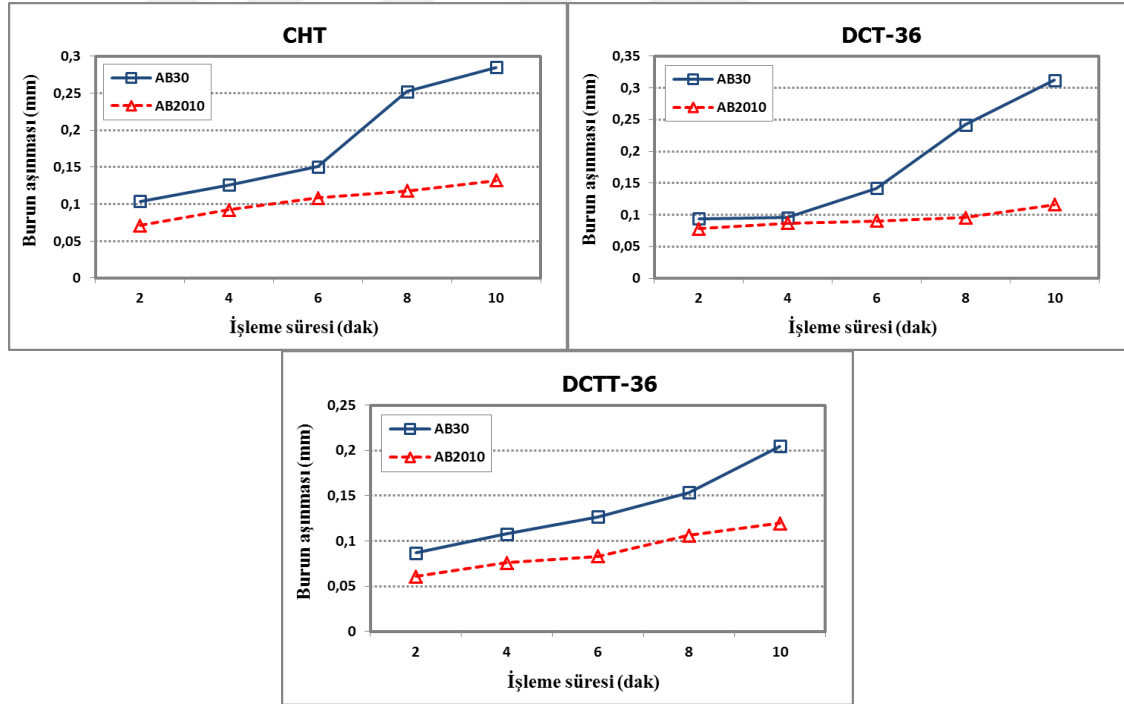
5.2.1.2. Kesici Takıma Göre Burun Aşınmasının Değişimi

150 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilen takım aşınması deneyleri sonucunda ölçülen Ra değerleri Şekil 5.9'da verilmiştir. Üç numune için elde edilen pürüzlülük değerlerinin ortalaması alındığında, AB30 kodlu kaplamasız seramik takım için işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile Ra değerlerinde % 106'lık artış olduğu görülmüştür. AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takımında, işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile yüzey pürüzlülüğünde % 220'lik artış olduğu görülmüştür. Tüm işleme süreleri dikkate alındığında, yüzey pürüzlülüğü bakımından kesici takım türüne göre en düşük Ra değerleri AB2010 kodlu kaplamalı seramik takım ile elde edilmiştir.



Şekil 5.9. İşleme süresi ve kesici takım türüne göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

İşleme süresi, kesici takım türü ve ısıl işlem türüne bağlı burun aşınması değişimleri Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekilde verilen burun aşınması değerlerinin 0,061 mm ile 0,312 mm arasında değiştiği görülmektedir. CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için elde edilen burun aşınması değerlerinin ortalaması alındığında, AB30 kodlu kaplamasız seramik takım için işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile aşınma değerlerinde % 181'lik artış olduğu görülmüştür. AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takımında, işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile burun aşınmasında % 75'lik artış olduğu görülmüştür. 10 dakikalık işleme süresi sonucunda, en düşük burun aşınması değeri 0,061 mm olarak DCTT-36 numunesinde AB2010 kodlu kaplamalı kesici takım ile elde edilmiştir. Tüm işleme süreleri dikkate alınarak kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kıyaslandığında, burun aşınması bakımından en düşük aşınma değerleri AB2010 kodlu kaplamalı seramik takım ile elde edilmiştir.



Şekil 5.10. İşleme süresi ve kesici takım türüne göre burun aşınmasının değişimi.

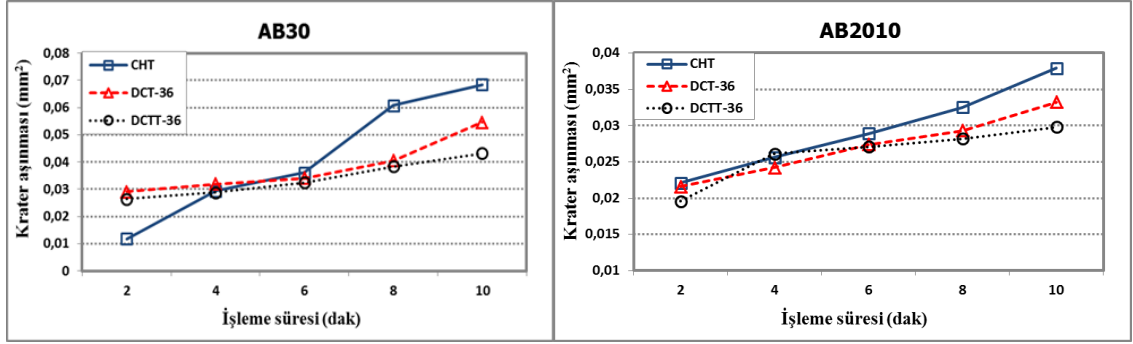
İşleme süresine bağlı olarak takımında meydana gelen burun aşınması değerleri literatürdeki çalışmalar ile paralellik göstermiştir [79], [80], [89]-[92]. Dosbeva ve diğ., CVD kaplı tungsten karbür ve PCBN kesici takımları aşınma durumuna göre karşılaştırmak için AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanması üzerine bir

çalışma gerçekleştirmişlerdir. İşleme süresi arttıkça her iki takımında da burun aşınması meydana gelmiştir. Tüm işleme süreleri dikkate alındığında en düşük burun aşınması değerinin PCBN takım ile elde edildiği görülmüştür [93].

5.2.2. Krater Aşınması

5.2.2.1. İş Parçasına Uygulanan Isıl İşleme Göre Krater Aşınmasının Değişimi

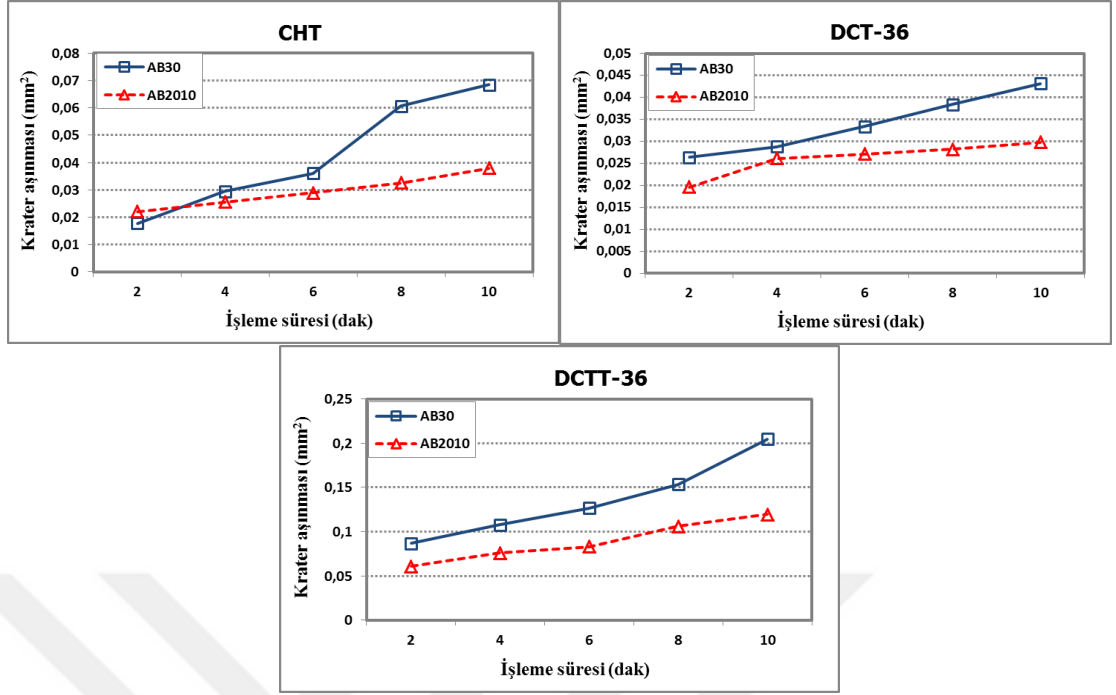
150 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde farklı işleme sürelerinde gerçekleştirilen tornalama işlemi sonucunda oluşan krater aşınması değerleri BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) ortamında kraterlerin yüzey alanı hesaplanarak belirlenmiştir. Krater aşınması değişimlerinin verildiği Şekil 5.11’de her iki kesici takım ile elde edilen aşınma değerlerinin ortalaması alındığında, CHT numunesi için işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile burun aşınması değerlerinde ortalama % 267’lik bir artış olmuştur. DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için bu oran sırasıyla % 173 ve % 158 olarak bulunmuştur. Tüm işleme süreleri dikkate alındığında, krater aşınması bakımından ısıl işlem türüne göre en düşük krater aşınması değerleri DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir. Daha sonra DCT-36 numunesi en düşük krater aşınmasını sağlarken en yüksek aşınma değerleri geleneksel ısıl işlem uygulanan CHT numunesi ile elde edilmiştir. Bu durum, kriyojenik işlemin ve sonrasında yapılan temperleme işleminin kesici takım malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmesi ve mikroyapının daha homojen hale gelmesi ile ilişkilendirilmiştir [48], [39]. Kriyojenik işlem sayesinde kesici takım malzemesinin aşınma direncinde olumlu artışlar meydana gelmektedir ve aynı şekilde mikroyapıda belirgin bir şekilde daha homojen bir yapıya dönüşmektedir. Bu iki olumlu durum sonrasında, kesme esnasında kesici takımın sürtünmeye maruz kalan yüzeylerinde oluşabilecek krater aşınmalarının daha az oranlarda gerçekleşeceği düşünülmektedir.



Şekil 5.11. İşleme süresi ve ısı işlem türüne göre krater aşınmasının değişimi.

5.2.2.2. Kesici Takıma Göre Krater Aşınmasının Değişimi

İşleme süresi, kesici takım türü ve ısı işlem türüne bağlı krater aşınması değişimleri Şekil 5.12’de verilmiştir. Şekilde verilen krater aşınması değerlerinin 0,0177 mm² ile 0,0684 mm² arasında değiştiği görülmektedir. CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için elde edilen krater aşınması değerlerinin ortalaması alındığında, AB30 kodlu kaplamasız seramik takım için işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile krater aşınması değerlerinde % 227’lik artış olduğu görülmüştür. AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takımında, işleme süresinin 2 dakikadan 10 dakikaya 5 kat artması ile burun aşınmasında % 159’luk artış olduğu görülmüştür. 10 dakikalık işleme süresi sonucunda, en düşük krater aşınması değeri 0,0298 mm² olarak DCTT-36 numunesinde AB2010 kodlu kaplamalı kesici takım ile elde edilmiştir. CHT ve DCT-36 numuneleri için en düşük aşınma değerleri sırasıyla 0,0379 mm² ve 0,0332 mm² olarak hesaplanmıştır. Tüm işleme süreleri dikkate alınarak kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kıyaslandığında, krater aşınması bakımından en düşük aşınma değerleri AB2010 kodlu kaplamalı seramik takım ile elde edilmiştir. Kesici takımlar kendi aralarında karşılaştırıldığında, 10 dakikalık işleme süresi sonunda Al₂O₃ + TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik takım (AB2010) Al₂O₃ + TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik (AB30) takıma göre % 164 oranında daha düşük krater aşınması sağlamıştır. Bu sonuç, bu 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 [70].



Şekil 5.12. İşleme süresi ve kesici takım türüne göre krater aşınmasının değişimi.

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 için genel bir değerlendirme yapılacak olursa, işleme süresinin artması ile krater aşınması değerlerinin arttığını söylemek mümkündür. Krater aşınmasının zamana göre değişimi burun aşınmasının zamana göre değişimi gibidir. 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 kenarını zayıflatır ve bu durum takımın deformasyonuna veya kırılmasına neden olur [70], [94]. Buna bağlı olarak işlenen yüzeyin kalitesinin kötüleşmesine, dolayısıyla kesici takımın yüzeyinde ve kenar bölgelerinde yanak aşınması ve krater aşınması gibi aşınma türlerinin oluşmasına neden olur.

5.3. MİKROYAPI VE SERTLİK

5.3.1. Mikroyapının Değişimi

Geleneksel ısı işlem (CHT), 36 saat derin kriyojenik işlem (DCT-36) ve 36 saat derin kriyojenik işlem + temperleme işlemi (DCTT-36) görmüş AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısında meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla SEM cihazında mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 5.13). Bir yüksek karbonlu çelik olan AISI D2 soğuk iş takım çeliği ısıtıldığında enerjideki artış, demir atomları arasındaki

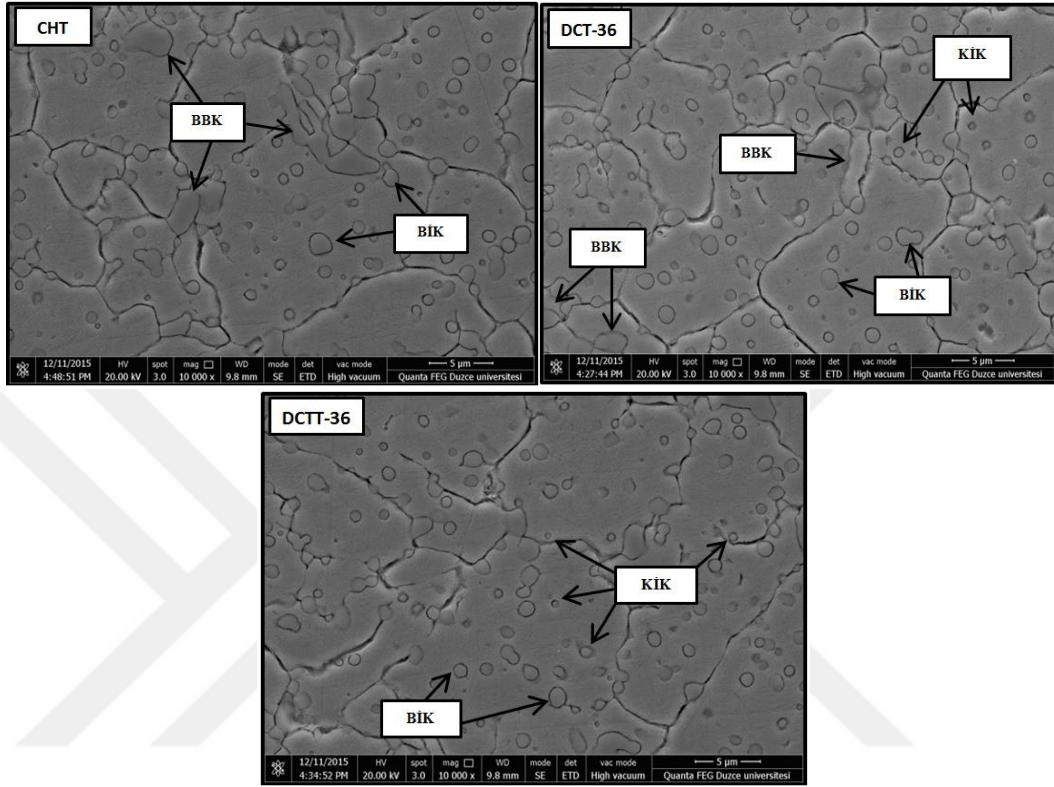
mesafenin artmasına ve bunun sonucunda çelik içinde bulunan karbon atomları arasındaki mesafenin artmasına ve bunun sonucunda karbon atomlarının daha geniş boşlukları dolduracak şekilde bir katı eriyik oluşturabilmesini sağlar [8]. Karbonca zenginleşmiş bu demir katı eriyiğine östenit adı verilir. Östenit yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapıya sahiptir ve bu faz, 1447°C sıcaklıktaki % 2,0 oranında karbon çözüdürür [95]. Tavlama işleminden sonra çelikler yavaş ya da orta seviyedeki bir hızla soğutulduklarında östenit içerisinde çözülmüş durumda bulunan karbon atomları difüzyon mekanizması ile östenit yapıdan ayrılırlar. Bundan hemen sonra, demir atomları konumlarını biraz değiştirerek hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahip α fazını oluştururlar. Burada söz konusu olan östenit (γ) – ferrit (α) dönüşümü, zamana bağlı olan çekirdeklenme ve büyüme mekanizmalarıyla gerçekleşir. Soğuma hızı artırılıp, belirli bir değerin üzerine çıkarıldığında karbon atomları difüzyon ile katı çözülden ayrılmak için yeterli zaman bulamazlar. Demir atomları bir miktar hareket etseler bile, karbon atomları çözülti içerisine hapsedildiklerinden kafes yapısı HMK yapıya dönüşemez ve farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya ‘martenzit’ adı verilir. Martenzit, karbon ile aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya sahip bir katı çözüldür [96]. Çeliğin sertleştirilmesi esas olarak östenitin hızlı soğutulmasıyla karbon atomlarının katı eriyik içerisinde hapsedilmesine dayanır. Bu sertleştirme prosesi (Su verme) çeliğin sertleştirme ısıl işleminin ilk adımıdır. Östenitin YMK kristal yapısı, oda sıcaklığında kararlı olmadığından soğutma işlemi sonunda, östenit, sert ve gevrek martenzit fazını oluşturur. Martenzitin en önemli özelliği çok sert bir faz olmasıdır. Nitekim çeliklerde sementitten sonra gelen en sert faz martenzittir. Martenzitin sertliğinin yüksek olması, martenzitik dönüşüm sırasında malzemenin kafes yapısında meydana gelen aşırı çarpılmadan kaynaklanmaktadır. Çünkü martenzit katı çözültisi çözebileceği orandan çok daha yüksek oranda karbon içermektedir. Bu aşırı doymuşluk durumu da kafes yapısının aşırı ölçüde çarpılmasına neden olmaktadır [97].

Sertleştirilmiş çelik kriyojenik işlem gördüğünde, geleneksel ısıl işlem sonrasında mikroyapıda kalan östenit martenzite dönüşmektedir. Daha sonra bileşenin boyutu küçük bir genişleme kazanacak ve bileşenin stabilitesi artacaktır. Ayrıca kriyojenik işlem gören malzemelerin yapısının daha düzenli ve yoğun olduğu gözlenmiştir. Kriyojenik işlem esnasında çeliklerin yapısında meydana gelen bir başka değişiklik ise martenzitin

ayrışması ve ultra ince karbürlerin çökmesidir [98]. Bu sayede kriyojenik işlem sonrasında mikroyapıda 1 μm 'dan daha küçük ölçülerde çok ince karbürler oluşmaktadır. Bu ince karbürler, mikro boşlukları doldurmakla birlikte malzemenin yoğunluğunun artmasına katkı sağlar [45]. Martenzit dönüşümü esnasında, bir miktar serbest karbon atomu arayer katı eriyiğinin dışarısında çökmekte ve martenzit kristal büyümesi esnasında oluşan basınçla bir araya gelmektedir. Bu ince karbon oluşumları, karbür olarak bilinmekte ve mikroskop altında martenzit tane sınırlarında sıkışmış ince kömür parçaları gibi görünmektedirler. Bu karbürler martenzit kristallerinin homojen yapılarını bozarak, sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliklerde kırılma dayanımını arttırmaktadır. Kriyojenik işlem ile bu karbürlerin boyutlarının belirgin olarak küçültülmesi, oluşumlarının yavaşlatılması, karbon atomlarının mikroyapı içerisinde daha fazla dağıtılması ve bunun sonucunda daha az boşluk içeren daha sıkı bir tane yapısının oluşması sağlanabilmektedir. Bu konuda ortaya atılan bir görüş, kriyojenik işlemin bu olumlu etkisini, çok düşük sıcaklıkların serbest karbondaki kovalent bağların oluşumunu ve daha büyük karbür yapılarının oluşumunu engellemesi mekanizmasına dayandırmaktadır [8], [99], [100]. Literatürde, kriyojenik işlemde sonra çeliklerin mikroyapısındaki karbür yüzdelere arttığı ve daha homojen bir karbür dağılımının gerçekleştiği belirtilmektedir [32], [53], [101], [102]. Collins ve Dormer, geleneksel ısıtma işlemde sonra yapılan derin kriyojenik işlem ile mikroyapıdaki karbür sayılarının arttığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada, daha düşük östenitleme sıcaklığının daha fazla karbür çökmesine yol açtığı vurgulanmıştır [27].

Yine yapılan çalışmalarda kriyojenik işlem ardına uygulanan temperleme işleminin daha ince ikinci karbürlerin çökmesini sağlayarak iç gerilmeleri gidermede etkin rol oynadığı vurgulanmaktadır [6], [103], [104]. Kriyojenik işlem ile neredeyse yapının tamamının martenzite dönüştürülmesi sağlanırken, özellikle kriyojenik işlem uygulamalarında, buna ilaveten kalıntı östenitin martenzite dönüşümü esnasındaki hacim artışı nedeniyle martenzit kafesinin deformasyonu da gerçekleşmektedir. Bu deformasyonla ilişkili olarak yapıda oluşan dislokasyonlar, kriyojenik işlem sonrası uygulanan temperleme ile çökecek nano boyuttaki ince karbürler için çekirdeklenme sahaları oluşturur. Aynı zamanda kriyojenik işlemin yapıda oluşturduğu bu hacimsel genişleme, karbür-matris arayüzeyinde basma kuvveti oluşturmaktadır. Kriyojenik işlem sonrası uygulanacak temperleme ile de oluşan bu arayüzeydeki basma kuvveti matris-

karbür arasındaki delaminasyonu (tabakalanmayı) engellemekte buda sertlikten feragat etmeden tokluğu artırmakta ve karbürün aşınma esnasındaki matrise tutunmasını kolaylaştırmaktadır [105].



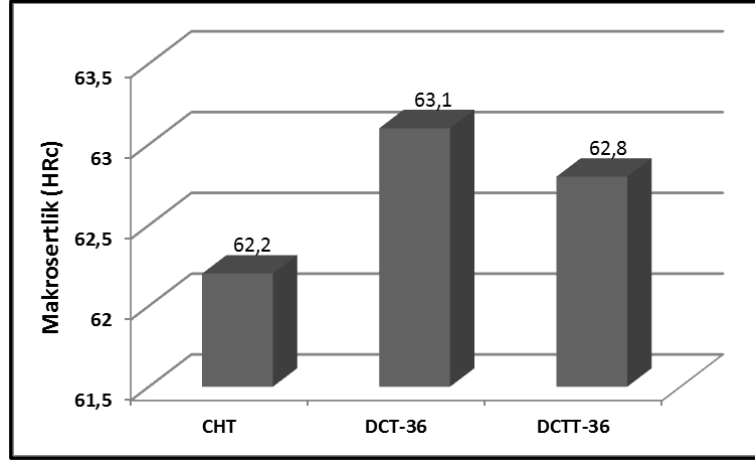
Şekil 5.13. AISI D2 soğuk iş takım çeliği numunelerinin mikroyapı görüntüleri (BBK- Büyük birinci karbürler, BİK- Büyük ikincil karbürler, KİK- Küçük ikincil karbürler).

Deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.13’de verilmiştir. Şekil 5.13’deki CHT numunesi uniform olmayan karbür dağılımı sergilerken, DCT-36 numunesi uniform birinci karbür ve neredeyse tamamen küresel halde ikincil karbür dağılımı sergilemiştir. Bununla birlikte 36 saat derin kriyojenik işlem + temperleme (DCTT-36) işleminden sonra karbür boyutlarının küçüldüğünü ve daha homejen bir karbür dağılımı gerçekleştiği görülmektedir. Isıl işlem gören numuneleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda, DCTT-36 numunesinin mikroyapısındaki karbürlerin daha ince çökeldiği ve daha homojen bir yapı sergilediği görülmektedir. Das ve diğ., yaptıkları çalışmalarda, AISI D2 soğuk iş takım çeliğine farklı bekletme sürelerinde (0, 12, 36, 60 ve 84 saat) derin kriyojenik işlem ve sonrasında temperleme işlemi uygulayarak mikroyapıdaki değişimleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, en yüksek karbür

yüzdesinin 36 saat derin kriyojenik işlem gören numunede olduğunu belirtmişlerdir [103], [106]. Yapılan mikroyapı incelemeleri için genel bir değerlendirme yapılacak olursa, derin kriyojenik işlem + temperleme işleminin daha homojen ve daha yoğun karbür dağılımı sağladığı görülmektedir. Ayrıca, mikroyapı incelemelerinden elde edilen sonuçların literatür’ de yapılan çalışmalar ile paralellik gösterdiği saptanmıştır.

5.3.2. Makrosertliğin Değişimi

Şekil 5.14’de farklı ısıl işlem ve derin kriyojenik işlem uygulanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin makrosertlik değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekil 5.14’ den görüldüğü üzere, sırasıyla en yüksek sertlik değerlerinin DCT-36, DCTT-36 ve CHT numunelerinde olduğu görülmektedir. CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numunelerinin sertlikleri sırasıyla 62,2, 63,1 ve 62,8 HRc olarak ölçülmüştür. Geleneksel ısıl işlem uygulanmış numuneye göre derin kriyojenik işlem görmüş numunelerin makrosertliğindeki iyileşmeler sırasıyla DCT-36 ve DCTT-36 için % 1,44 ve % 0,96 olarak bulunmuştur. Isıl işlem görmüş numuneler arasında en yüksek makrosertlik değeri DCT-36 numunesinde elde edilmiştir. Bu durum, kriyojenik işlemle birlikte malzemenin mikroyapısında gerçekleşen östenit martenzit dönüşümünün DCT-36 numunesinde CHT ve DCTT-36 numunelerine göre daha yüksek oranda gerçekleşmesi ile ilişkilendirilmiştir [8], [54], [107]-[109]. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin iç yapısında bulunan yumuşak bir yapıya sahip olan östenit fazının sert bir yapıya sahip olan martenzit fazına dönüşmesi sonucu daha gevrek bir yapı oluşmuştur. Derin kriyojenik işlemden sonra yapılan temperleme işlemi, sertliğin bir miktar düşmesine neden olmuştur. Bu nedenle DCTT-36 numunesinin sertliği DCT-36 numunesinden daha düşük CHT numunesinden de daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.

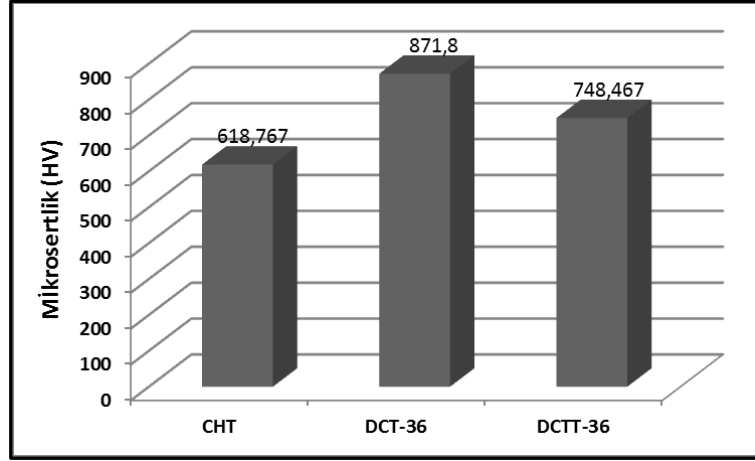


Şekil 5.14. Isıl işlem türüne göre makrosertlik değerlerinin değişimi.

Benzer sonuçlar literatür’de yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Yi ve diğ., yaptıkları çalışmada, derin kriyojenik işlemle birlikte karbür malzemesinin makrosertliğinde % 22’ lik bir artış olduğunu tespit etmişlerdir [109]. Başka bir çalışmada Rhyim ve diğ., derin kriyojenik işlemin sertliği iyileştirdiğini savunmuşlardır [110]. Sonawane ve diğ., M2 takım çeliğine geleneksel ısıl işlem, derin kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem üzerine temperleme işlemi uygulamışlardır. En yüksek makrosertlik değerinin derin kriyojenik işlem gören numuneden elde edildiğini belirtmişlerdir [69].

5.3.3. Mikrosertliğin Değişimi

Şekil 5.15’de AISI D2 soğuk iş takım çeliği numunelerinin mikrosertlik değişimleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında, en yüksek mikrosertlik değerleri sırasıyla DCT-36, DCTT-36 ve CHT numunelerinden 871,8 HV, 748,46 HV ve 618,46 HV olarak elde edilmiştir. Mikrosertlik değerlerindeki değişim makrosertlik sonuçları ile paralellik göstermiştir. Mikrosertlik değerlerindeki iyileşmeler sırasıyla DCT-36 ve DCTT-36 için % 41 ve % 21 olarak bulunmuştur. Malzemeye uygulanan ısıl işlemleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda, en yüksek mikrosertlik değeri DCT-36 numunesi ile elde edilmiştir. Bu durum, derin kriyojenik işlemle birlikte bu numunenin mikroyapısında gerçekleşen östenit martenzit dönüşümünün diğer numunelere göre daha yüksek oranda gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak daha gevrek bir yapının oluşmasına atfedilmiştir.



Şekil 5.15. Isıl işlem türüne göre mikrosertlik değerlerinin değişimi.

Elde edilen mikrosertlik sonuçları literatür'deki çalışmalar ile paralellik göstermiştir [68], [111]-[113]. Das ve diğ., yaptıkları çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğine geleneksel ısıl işlem, sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem uygulamış, en yüksek mikrosertlik değerlerine derin kriyojenik işlem gören numunede ulaşıldığını belirtmişlerdir [68]. Oppenkowski ve diğ., AISI D2 soğuk iş takım çeliğine 24 ile 36 saat kriyojenik işlem uyguladıktan sonra mikrosertliğin 36 saat kriyojenik işlem uygulanan numunelerde daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir [114]. Amini ve diğ., farklı bekletme sürelerinde yapılan derin kriyojenik işlemin sertliği arttırdığını savunmuşlar ve hem makro hem de mikrosertlik açısından en yüksek sertlik değerlerini 36 saat bekletilen takım çeliğinde elde etmişlerdir [6]. Nanesa ve diğ., yaptıkları çalışmada, AISI D2 takım çeliğine farklı ısıl işlemler uygulamışlardır. Mikrosertlik değerlerindeki iyileşmeler geleneksel ısıl işlem gören numunelere oranla, derin kriyojenik işlem görmüş numunede % 7,7 ve derin kriyojenik işlem üzerine temperleme işlemi yapılan numunelerde % 3,75 olarak elde edilmiştir [68]. Amini ve diğ., yaptıkları çalışmada, AISI H13 çeliğine kriyojenik işlem uyguladıktan sonra, malzemenin sertliğinde % 5,7 ile % 9,6 oranları arasında artış olduğunu gözlemlemişlerdir [42]. EN 31 çeliğine geleneksel ısıl işlem ve kriyojenik işlem uygulanan başka bir çalışmada, kriyojenik işlem uygulanan malzemenin sertliğinde % 14 artış olduğu görülmüştür [115]. Das ve diğ., yaptıkları çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğine geleneksel ısıl işlem, sığ ve derin kriyojenik işlem uygulamışlardır. Derin kriyojenik işlem uygulanan numunede mikrosertliğin geleneksel ısıl işleme kıyasla % 11,4 oranlarında yüksek olduğu ifade edilmiştir [116]. Literatürde yapılan bu

çalışmalarda da, kriyojenik işlemden sonra sertlikteki artış, malzemenin yapısındaki yumuşak faz olan 6stenitin sert bir faz olan martenzite d6n6ř6m6 ile ilişkilendirilmiştir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; farklı ısıl işlem uygulanan AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız (AB30) ve kaplamalı (AB2010) seramik kesici takımlarla kuru kesme şartları altında sert tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca soğuk iş takım çeliğine uygulanan geleneksel ısıl işlem (CHT), geleneksel ısıl işlem + derin kriyojenik işlem (DCT-36) ve geleneksel ısıl işlem + derin kriyojenik işlem + temperleme (DCTT-36) işleminin mikroyapı ve sertlik özelliklerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sert tornalama deneylerinde, AB2010 kodlu kaplamalı seramik kesici takım, AB30 kodlu kaplamasız seramik kesici takımdan yüzey pürüzlülüğü bakımından daha iyi performans sergilemiştir.
- Kaplamasız seramik takım için en düşük Ra değeri; DCTT-36 numunesinde 100 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,25 mm kesme derinliğinde 0,2267 μm olarak bulunmuştur.
- Kaplamalı seramik takım için en düşük Ra değeri; DCTT-36 numunesinde 100 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 0,25 mm kesme derinliğinde 0,18 μm olarak bulunmuştur.
- Tornalama deneylerinde farklı ısıl işlem uygulanan iş parçaları değerlendirildiğinde ise genel olarak DCTT-36 numunesi ile daha iyi Ra değerleri elde edilmiştir. Tüm kesme parametreleri ve kesici takımlar dikkate alındığında, sırasıyla DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri geleneksel ısıl işlem uygulanmış CHT numunesine göre ortalama % 7,56 ve % 10 oranlarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır.
- Takım aşınması deneylerinin tamamında AB2010 kodlu kaplamalı seramik takımının performansı daha iyi çıkmıştır.

- Toplam işleme süresi (10 dak.) sonunda, AB30 kodlu kaplamasız seramik takımında oluşan burun aşınması değerleri CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için sırasıyla 0,285 mm, 0,312 mm ve 0,2045 mm olarak ölçülmüştür.
- Aynı şekilde 10 dakikalık işleme süresi sonunda AB2010 kodlu kaplamalı seramik takımında oluşan burun aşınması değerleri sırasıyla CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için 0,132 mm, 0,116 mm ve 0,1195 mm olarak bulunmuştur. Burun aşınması sonuçlarından görüldüğü üzere, tüm kesme şartları için en düşük aşınma değerleri DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir.
- Tüm numunelerin toplam işleme süresi sonundaki aşınma değerlerinin ortalaması alındığında, AB2010 kodlu takım AB30 kodlu takıma göre % 54 oranında daha az miktarda aşınarak, daha iyi aşınma performansı sergilemiştir.
- Tüm kesme parametreleri ve kesici takımlar dikkate alındığında, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri geleneksel ısıtılmış CHT numunesine göre ortalama % 5,90 ve % 21,79 oranlarında daha iyi burun aşınması sağlamıştır.
- Toplam işleme süresi (10 dak.) sonunda, AB30 kodlu kaplamasız seramik takımında oluşan krater aşınması değerleri CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için sırasıyla 0,0684 mm², 0,0546 mm² ve 0,0432 mm² olarak ölçülmüştür.
- Aynı şekilde 10 dakikalık işleme süresi sonunda AB2010 kodlu kaplamalı seramik takımında oluşan krater aşınması değerleri sırasıyla CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri için 0,0379 mm², 0,0332 mm² ve 0,0298 mm² olarak bulunmuştur. Krater aşınması sonuçlarından görüldüğü üzere, tüm kesme şartları için en düşük aşınma değerleri DCTT-36 numunesi ile elde edilmiştir.
- Tüm numunelerin toplam işleme süresi sonundaki krater aşınma değerlerinin ortalaması alındığında, AB2010 kodlu takım AB30 kodlu takıma göre % 164 oranında daha az miktarda aşınarak, daha iyi aşınma performansı sergilemiştir.
- Tüm kesme parametreleri ve kesici takımlar dikkate alındığında, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri geleneksel ısıtılmış CHT numunesine göre ortalama % 121 ve % 145 oranlarında daha iyi krater aşınması sağlamıştır.
- CHT, DCT-36 ve DCTT-36 numuneleri arasında en iyi mekanik özellikleri DCT-36 numunesi sağlamıştır. Mikrosertlik ve makrosertlik ölçümlerinde,

DCT-36 numunelerinin sertlik değerleri diğer ısıl işlem gören numunelere göre daha büyük ölçülmüştür.

- Üç farklı ısıl işlem görmüş numuneler arasında en yüksek sertlik değeri DCT-36 numunesi ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar, derin kriyojenik işlemle birlikte malzemenin mikroyapısında bulunan yumuşak bir yapıya sahip olan östenit fazının sert bir yapıya sahip olan martenzit fazına dönüşümü ile ilişkilendirilebilir.
- Sonuç olarak derin kriyojenik işlem ve sonrasında yapılan temperleme işlemi ile yüzey pürüzlülüğünde % 32,97, takım aşınmasında % 21,79, makrosertlikte % 0,96 ve mikrosertlikte % 21 oranlarında iyileşmeler sağlanmıştır. Genelde kaplamasız seramik takıma göre daha iyi sonuçlar veren AB2010 kodlu kaplamalı seramik takım ile yüzey pürüzlülüğü ve burun aşınmasında sırasıyla % 25,20 ve % 42,21 oranlarında iyileşmeler sağlanmıştır.

Sonuç olarak bu proje çalışmasında kriyojenik işlem ve sonrasında yapılan temperleme işlemi, AISI D2 soğuk iş takım çeliği üzerinde işlenebilirlik ve mekanik özellikler bakımından pozitif etkiler bırakmıştır. Bu alanda çalışmayacak araştırmacılara; AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısı, kalıntı östenit hacim oranı, kalıntı gerilme değerleri ve mekanik özellikleri üzerinde farklı bekletme süreleri ve farklı soğutma sıcaklıklarında yapılan kriyojenik işlemin etkilerinin araştırılması önerilebilir. Bununla birlikte farklı takım çeliklerine uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirliğe etkisi incelenebilir. Bununla birlikte, farklı takım çeliklerine uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirlik üzerindeki etkileri farklı çalışmalar için araştırma konusu olabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] A. Mavi ve İ. Korkut, “Kriyojenik işlem uygulanmış tungsten karbür takımların kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 10, s. 3, ss. 1-6, 2013.
- [2] A. Çiçek, E. Ekici, İ. Uygur, S. Akincioğlu, ve T. Kıvak, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması,” *International Journal of Technologic Sciences*, c. 4, s. 1, ss. 1-9, 2012.
- [3] T. Kıvak, “Kesici Takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6Al-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerin araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [4] D. Das, A. K. Dutta, and K. K. Ray, “Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel,” *Cryogenics*, vol. 49, pp. 176-184, 2009.
- [5] K. Amini, S. Nategh, and A. Shafyei, “Influence of different cryotreatments on tribological behavior of 80CrMo12 5 cold work tool steel,” *Materials Desing*, vol. 31, pp. 4666-4675, 2010.
- [6] K. Amini, A. Akhbarizadeh, and S. Javadpour, “Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment,” *Materials Desing*, vol. 86, pp. 1534-1540, 2012.
- [7] S. E. Vahdat, S. Nategh, and S. Mırdamadı, “Microstructure and tensile properties of 45WCrV7 tool steel after deep cryogenic treatment,” *Materials Science & Engineering A*, vol. 585, pp. 444-454, 2013.
- [8] F. Kara, “AISI 52100 çeliğinin yorulma ömrü ve taşlanabilirliğine kriyojenik işlem parametrelerinin etkilerinin araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2014.
- [9] J. G. Lima, R. F. Avila, A. M. Abrao, M. Faustino, and J. P. Davim, “Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work tool steel,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 169, pp. 388-395, 2005.
- [10] M. Zeyveli, ve H. Demir, AISI H13, “Sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi,” *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 25, ss. 251-261, 2009.
- [11] M. D. Boy, ve H. Korkut. “Vanadis 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2009.

- [12] İ. Uçun, ve İ. Aslantaş, “52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması,” *5. Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, Türkiye, 2009.
- [13] H. Bouchelaghem, M. A.Yallese, T. Mabrouki, A. Amirat, and J. F. Rigal, “Experimental investigation and performance analyses of CBN insert in hard turning of cold work tool steel (D3).” *Machining Science and Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 471-501, 2010.
- [14] N. Parlak, L. Özler ve M. E. Özcan, “AISI D6 iş parçasının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” *3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*. Balıkesir, Türkiye, 2012, pp. 128-137.
- [15] E. Yücel, and M. Günay, “Modelling and optimization of the cutting conditions in hard turning of high-alloy white cast iron (Ni-Hard), proceedings of the institution of mechanical engineers,” *Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 227, no. 10, pp. 2280-2290, 2013.
- [16] H. Yurtkuran, E. Korkmaz, R. Çakiroğlu, ve M. Günay, “DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi,” *4.Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2013)*, Ankara, Türkiye, 2013.
- [17] A. K. Sahoo, “Application of Taguchi and regression analysis on surface roughness in machining hardened AISI D2 steel,” *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 5, pp. 295-304, 2014.
- [18] P. Sharma, S. B. Singh and J. Sharma, “Investigation of effects of nanofluids on turning of AISI D2 steel using minimum quantity lubrication,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 72-79, 2015.
- [19] T. Kıvak, G. Uzun, and E. Ekici, “An experimental and statistical evaluation of the cutting parameters on the machinability of hadfield steel,” *Gazi University Journal of Science*, vol. 29, no. 1, pp. 9-17, 2016.
- [20] H. Yaka, H. Akkuş ve L. Uğur, “AISI 1040 çeliğinin tornalamasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin taguchi metodu ile optimizasyon,” *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 283-288, 2016.
- [21] F. Yildirim and A. Kaçal, “Determining of the optimal turning parameters using the response surface methodology in powder metallurgical tool steel,” *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 272-280, 2016.
- [22] R. L. Dowdell, and O. E. Harder, “The decomposition of the austenitic structure in steel. Part II, The decomposition of austenite in liquid oxygen,” *Transmation Society Steel Treat*, vol. 11, ss. 391-392, 1927.
- [23] A. Gulyaev, “Transformation of retained austenite at subzero temperatures with highspeed steel,” *Metaterial*, vol. 14, pp. 64-77, 1939.
- [24] H. M. Rosenberg, “The properties of metals at low temperatures,” *Progres Metarial Physion*, vol. 7, pp. 339-354, 1958.
- [25] A. B. Miller, “An austenitic cast steel for low temperature applications,” *Cryogenics*, vol. 5, no. 6, pp. 320-324, 1965.

- [26] A. F. Clark, G. E. Childs, and G. H. Wallace, "Electrical resistivity of some engineering alloys at low temperatures," *Cryogenic*, vol. 10, no. 4, ss. 295-305, 1970.
- [27] D. N. Collins, And J.Dormer, "Deep cryogenic treatment of a D2 cold-work tool steel," *Heat Treat Metals*, vol. 7, ss. 1-74, 1997.
- [28] A. Prabhakaran, A. Bensely, G. Nagarajan, and D. Mohan Lal, "Effect of cryogenic treatment on impact strength of case carburized steel-EN 353," *Proceedings of IMEC2004 International Mechanical Engineering Conference*, Abraq khaitan, Kuwait, 2004.
- [29] S. Zhirafar, And A. Rezaeian,Pugh, "Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 186, pp. 298-303, 2007.
- [30] C. H. Surberg, P.Stratton, and K. Lingenhole, "The effect of some heat treatment parameters on the dimensional stability of AISI D2," *Cryogenics*, vol. 48, pp. 42-47, 2008.
- [31] N. B. Dhokey, and S. Nirbhavne, "Dry sliding wear of cryotreated multiple tempered D-3 tool steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 1484-1490, 2009.
- [32] M. Koneshlou, K. M. Asl, and F. Khomamizadeh, "Effect of cryogenic treatment on microstructure, mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel," *Cryogenics*, vol. 51, pp. 55-61, 2011.
- [33] M. A. Jaswin And D. M. Lal, "Effect of cryogenic treatment on the tensile behaviour of En 52 and 21-4N valve steels at room and elevated temperatures," *Materials & Design*, vol. 32, no. 4, pp. 2429-2437, 2011.
- [34] S. Siva, R. A. Jaswin, and D. Lal, "Enhancing the wear resistance of 100Cr6 bearing steel using cryogenic treatment," *Tribol Transmation*, vol. 55, pp. 387-393, 2012.
- [35] A. Akhbarizadeh, K. Amini, and S. Javadpour, "Effects of applying an external magnetic field during the deep cryogenic heat treatment on the corrosion resistance and wear behavior of 1.2080 tool steel," *Metaterial Desinger*, vol. 41, pp. 114-123, 2012.
- [36] Y. Arslan ve A. Özdemir, "Farklı sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış AISI D3 soğuk iş takım çeliği zımbalarda aşınma davranışları ve takım ömrü," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 3, ss. 87-99, 2013.
- [37] S. Dixit, S. S. R. Nimbalkar, and R. R. Kharde, "Dry sliding wear analysis of D5 tool steel at different heat treatments," *International Journal Engineering Science*, vol. 2, no. 5, 16-26, 2013.
- [38] S. N. Chaudhari, and G. J. V. Patil, "Deep cryogenic processing after heat treatment: A new approach" *International Engineering Science*, vol. 2, no. 1, 246-249, 2013.
- [39] A. Çiçek, F. Kara, T. Kıvak and E. Ekici, "Evaluation of machinability of hardened and cryo-treated AISI H13 hot work tool steel with ceramic inserts," *Journal International Refract Metal Hard Material*, vol. 41, pp. 461-469, 2013.

- [40] K. Amini, A. Akhbarizadeh, and S. Javadpour, "Investigating the effect of quench environment and deep cryogenic treatment on the wear behavior of AZ91," *Metaterial Desinger*, vol. 54, pp. 154-160, 2014.
- [41] K. Niaki and S. E. Vahdat, "Optimization of tensile properties of AISI S1 tool steel," *Transmation Indian Inst Metsrisl*, vol. 68, no. 5, 777-781, 2015.
- [42] K. Amini, M. Negahbani, and H. Ghayour, "The effect of deep cryogenic treatment on hardness and wear behavior of the H13 tool steel," *La Metallurgia Italiana*, vol. 3, pp. 53-58, 2015.
- [43] M. Perez, and F. J. Belzunce, "The effect of deep cryogenic treatments on the mechanical properties of an AISI H13 steel," *Materials Science & Engineering*, vol. 624, pp. 32-20, 2015.
- [44] B. Podgornik, I. Paulin, B. Zajec, S. Jacobson, and V. Leskovsek, "Deep cryogenics treatment of tool steels," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 229, pp. 389-406, 2016.
- [45] A. Bensely, S. Venkatesh, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, A. Rajadurai, and K. Junik, "Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized EN 353 steel," *Material Science Engineer*, vol. 479, pp. 229-235, 2008.
- [46] F. J. Da Silva, D. S. Franco, A. R. Machado, E.O. Ezugwu and J.R. Souza "Performance of cryogenically treated HSS tools," *Wear*, vol. 261, pp. 674-685, 2006.
- [47] S. S. Gill, R. R. Singh, H. Singh, and J. Singh, "Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 49, 256-260, 2009.
- [48] A. Mavi, "Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi," Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [49] S. Kalia, "Cryogenic processing: a study of materials at low temperatures," *Journal Low Tempering Physion*, vol. 158, pp. 934-945, 2010.
- [50] P. Paulin, "Frozen gears," *Gear Technology*, pp. 26-29, 1993.
- [51] W. Foerg, "History of cryogenics: The epoch of the pioneers from the beginning to the year 1911," *Internatiol Journal Refrig*, vol. 25, no. 3, pp. 283-292, 2002.
- [52] R. N. Richardson and H. Stone, "The cooling potential of cryogens. Part 1: The early development of refrigeration and cryogenic cooling technology," *Ecol*, vol. 2, pp. 10-14, 2003.
- [53] P. I. Patil, and R. G. Tated, "Comparison of effects of cryogenic treatment on different types of steels: A review," *Internatiol Journal Compu. Apply*, vol. 9, pp. 23-34, 2012.
- [54] P. Baldissera, and C. Delprete, "Deep cryogenic treatment: A bibliographic review," *The Open Mechanical Engineering Journal*, vol. 2, pp. 1-11, 2008.
- [55] R. F. Barron, "Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance," *Cryogenics*, vol. 22, pp. 409-413, 1982.

- [56] P. Gordon, and M. Cohen “The transformation of retained austenite in high speed steel at subatmospheric temperatures,” *Transmation ASM*, vol. 30, pp. 569-588, 1942.
- [57] J. Mazur, “Investigation of austenite and martensite subjected to very low temperatures,” *Cryogenics*, vol. 4, no. 1, pp. 36-38, 1964.
- [58] W. N. Nordquist, “Low temperature treatment of metals,” *Tool Product Magazin*, vol. 7, pp. 72-100, 1953.
- [59] Y. Yıldız, “Soğuk ve kriyojenik işlemlerle bakır elektrot ve berilyum-bakır alaşımı iş parçalarının elektro erozyon işleme performansına etkileri,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [60] M. Rubat Du Merac, “The effect of cryogenic treatment on the microstructure and mechanical properties of AISI D2 tool steel,” Master’s Thesis, University of Calgary, Alberta, Canada, 2005.
- [61] R. Chillar, and S. C. Agrawal “Cryogenic treatment of metal parts,” *Transactions of the International Cryogenic Materials Conference (ICMC)*, Colorado, U.S.A., 2005.
- [62] C. M. Boyles, “Bee cool,” *Cutting Tool Engineer*, vol. 54 no.4, pp. 50-54, 2002.
- [63] W. Reitz, and J. Pendray, “Cryoprocessing of materials: A review of current status,” *Metaterial Manufacture Process*, 2001, pp. 829-840.
- [64] E. A. Carlson, “Cold treating and cryogenic treatment of steel,” *ASM Handbook*, ASM International, Pennsylvania, U.S.A, 1991, pp. 203–206.
- [65] L. A. Alava, “Multistage cryogenic treatment of materials: Process fundamentals and examples of application,” Cryogenics Conference, Prague, Czech Republic, 2008, pp. 306-318.
- [66] K. Amini, A. Akhbarizadeh, and S. Javadpour “Investigating the effect of the quench environment on the final microstructure and wear behavior of 1.2080 tool steel after deep cryogenic heat treatment,” *Material Desinger*, vol. 45, pp. 316-322, 2013.
- [67] D. Das and K. K. Ray, “Structure–property correlation of sub-zero treated AISI D2 steel,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 541, 45-60, 2012.
- [68] H. G. Nanasa, “Influence of cryogenic treatment on microstructure and mechanical properties of high strength AISI D2 tool steel,” Ph.D. Thesis, Université Du Québec, Canada, 2016.
- [69] S. A. Sonawane, V. K. Tripathi, and S. D. Ambekar, “Wear behavior of cryogenic treated M2 tool steel under dry sliding condition,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 798, pp. 395-401, 2015.
- [70] N. A. Özbek, “AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkilerinin araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [71] E. Şirin, Y. Turgut, ve İ. Korkut, “Farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve

- takım aşınmasına etkisi.” *Politeknik Dergisi*, c. 15, s. 1, ss. 9-14, 2012.
- [72] İ. Çiftci, “Machining of austenitic stainless steels using CVD multilayer coated cemented carbide tools,” *Tribology International*, vol. 39, pp. 565–569, 2006.
- [73] P. M. Escalona and Z. Cassier, “Influence of the critical cutting speed on the surface finish of turned steel,” *Wear*, vol. 218, pp. 103-109, 1998.
- [74] S. Thamizhmanii, K. Kamarudin, E. A. Rahim, A. Saporudin and S. Hassan, “Tool wear and surface roughness in turning AISI 8620 using coated ceramic tool,” *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, U.K., 2007.
- [75] H. Gürbüz, “AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kaplama tiplerinin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [76] I. Asilturk ve H. Akkuş, “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method,” *Measurement*, vol. 9, pp. 1697-1704, 2011.
- [77] U. Çaydaş ve M. Çelik, “AISI 1050 çeliğinin çoklu takımlarla eş zamanlı tornalanması,” *International Science Symposium*, DE-Quebec, Canada, 2016.
- [78] A. Kaçal, “Investigation of cutting performance of the ceramic inserts in terms of the surface roughness and tool wear at turning of PMD 23 steel,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 686, pp. 10-16, 2014.
- [79] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin ve O. Özbek, “AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi,” *Politeknik Dergisi*, c.1, s. 20, ss. 43-49, 2017
- [80] U. Çaydaş, O. Kuncan ve M. Çelik, “AISI 52100 rulman çeliğinin işlenebilirliğinin yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve sıcaklık kriterlerine göre araştırılması,” *Politeknik Dergisi*, c. 2, no. 20, ss. 409-417, 2017.
- [81] L. Tang , C. Gao, J. Huang, H. Shen ve X. Lin, “Experimental investigation of surface integrity in finish dry hard turning of hardened tool steel at different hardness levels,” *Internstionsl Journal Advance Manufacture Technol*, vol. 77, pp. 1655–1669, 2015.
- [82] M. Karabatak ve F. Kara, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu,” *Politeknik Dergisi*, c.3, s. 19, pp. 349-355, 2016.
- [83] J. Rech, A. J. Kusiak, and L. Battaglia, “Tribological and thermal functions of cutting tool coatings,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 186, no. 3, pp. 364-371, 2004.
- [84] A. Kaçal ve F. Yıldırım, “PMD23 çeliğinin tornalanmasında cbn kesici uçların kesme performansının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi,” *Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, s. 1, pp. 181-189, 2016.
- [85] A. Jawaid, “Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling inconel 718 aerospace alloy.” *Journal of Processing Technology*, vol. 116, pp. 2-9, 2001.

- [86] E. O. Ezugwu, "An overview of the machinability of aero-engine alloys," *Journal of Materials, Processing Technology*, vol. 134, pp. 233-253, 2003.
- [87] A. Salımlı ve M. Rafiglı, "Titreşim ve kesme kuvveti esaslı takım aşınmasının bulanık mantıkla izlenmesi ve tahmini," *Politeknik Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 111-120, 2017.
- [88] J. G. Lima, R. F. Avilla, A. M. Abroa, M. Faustino and J. P. Dawim, "Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work tool steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 169, pp. 388–395, 2005.
- [89] Y. K. Jeong, M. C. Kang, S. H. Kwon, K. H. Kim, H. G. Kim ve J. S. Kim, "Tool life of nanocomposite Ti–Al–Si–N coated end-mill by hybrid coating system in high speed machining of hardened AISI D2 steel," *Current Applied Physics*, vol. 9, pp. 141–144, 2009.
- [90] T. Özel, Y. Karpat, L. Figueri ve J. P. Dawim, "Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 189, pp. 192–198, 2007.
- [91] J. A. Arsecularatne, L. G. Zhang, C. Montross ve P. Mathew, "On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 171, pp. 244–252, 2006.
- [92] G. Poulachona, B.P. Bandyopadhyay, I.S. Jawahir, S. Pheulpina and E. Seguína, "Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels," *ELSEVIER*, vol. 256, pp. 302–310, 2004.
- [93] G. K. Dosbaeva, M. A. El Hakimb, M. A. Shalaby, J.E. Krzanowski and S. C. Veldhuis, "Cutting temperature effect on PCBN and CVD coated carbide tools in hard turning of D2 tool steel," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 50, pp. 1-8, 2015.
- [94] U. Özdemir ve M. Erten, "Talaslı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri," *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, no. 1, ss. 37-50, 2003.
- [95] W. F. Smith, "Structure and properties of engineering alloys mcgraw hill," New York. U.S.A., 1993.
- [96] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 3. Baskı, Trabzon, Türkiye: Akademi Yayınları, 2004.
- [97] W. D. Callister, and D. G. Rethwisch, *Material Science and Engineering*, 4.rd., John Wiley High Education, U.K., 2010.
- [98] D. Yun, L. Xiaoping, and X. Hongshen, "Deep cryogenic treatment of high-speed steel and its mechanism," *Heat Treat Materials*, vol. 3, pp. 55-59, 1998.
- [99] L. GAS., *Sub-zero Treatment of Steels*, 1. rd., Special Edition, 2010
- [100] B. Uluğ, "Sıfırlı/kreojenik ısıtma işleminin 100Cr6 ve 8620 kalite çeliklerin özellikleri üzerine etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [101] D. Das, and K. K. Ray, "On the mechanism of wear resistance enhancement of tool steels by deep cryogenic treatment," *Philosophical Magazine Letters*, vol.92,

no. 6, pp. 295-303, 2012.

- [102] J. Y. Huang, Y. T. Zhu, X. Z. Liao, I. J. Beyerlein, M. A. Bourke, and T. E. Mitchel, "Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel," *Materials Science Engineering*, vol. 339, pp. 241-244, 2003.
- [103] D. DAS, A. K. DUTTA, and K. K. RAY, "Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel," *Wear*, vol. 266, pp. 297-309, 2009.
- [104] V. Firouzdor, E. Nejati, and F. Khomamizadeh, "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 206, pp. 467-472, 2008.
- [105] A. R. Gerson, G. P. Cavallaro, and N. Xu, "Microstructure of cryogenically treated high performance tool steels," *Materials*, vol. 40, pp. 48-49, 2007.
- [106] D. Das, A. K. Dutta, V. Toppo, and K. K. Ray, "The Effect of cryogenic treatment on the carbide precipitation and tribological behavior of D2 steel," *Materials, Manufacture Process*, vol. 22, pp. 474-480, 2007.
- [107] A. Akhbarizadeh, S. Javadpour, and K. Amini, "Investigating the effect of electric current flow on the wear behavior of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment," *Materials Desinger*, vol. 45, pp. 103-109, 2013.
- [108] M. Preciado, P. M. Bravo, and J. M. Alegre, "Effect of low temperature tempering prior cryogenic treatment on carburized steels," *Journal Materials Process Technology*, vol. 176, pp. 41-44, 2006.
- [109] J. Yi, W. Xue, J. Xie, Z. P. Liu, W. Cheng, L. X. Chen, J. Cheng, and Y. X. Gao, "Enhanced toughness and hardness at cryogenic temperatures of silicon carbide sintered by SPS," *Materials Science Engineering*, vol. 569, ss. 13-17, 2013.
- [110] Y. M. Rhyim, Han, S. H. Na, and J. H. LEE "Effect of deep cryogenic treatment on carbide precipitation and mechanical properties of tool steel," *Solid State Phenomea*, vol. 118, pp. 9-14, 2006.
- [111] D. Das, A. K. Dutta, and K. K. Ray, "Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part I. Microstructure and hardness," *Materials Science Engineering*, vol. 527, pp. 2182-2193, 2010.
- [112] D. Das, and K. K. Ray, "Structure–property correlation of sub-zero treated AISI D2 steel," *Materials Science and Engineering A*, vol. 541, pp. 45-60, 2012.
- [113] A. Çiçek, F. Kara, T. Kivak, E. Ekici, and I. Uygur, "Effects of deep cryogenic treatment on the wear resistance and mechanical properties of AISI H13 hot-work tool steel," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 24, no. 11, pp. 4431-4439, 2015.
- [114] A. Oppenkowski, S. Weber and W. Theisen, "Evaluation of factors influencing deep cryogenic treatment that affect the properties of tool steels," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210, pp. 1949-1955, 2010.
- [115] S. Harish, A. Bensely, M. Lal, D. A. Rajadurai, and G. B. Lenkey, "Microstructural study of cryogenically treated En 31 bearing steel," *Journal Materiel Process Technology*, vol. 209, pp. 3351-3357, 2009.

- [116] D. Das, Dutta A. K. and Ray K. K. "Sub-zero treatments of AISI D2 steel: part II. wear behavior," *Materials Science Engineering A*, vol. 527, pp. 2194-2206, 2010.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa KARABATAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 1988/ SAMSUN
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mmustafakarabatak@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	Tasarım ve Konstrüksiyon Öğr.	Düzce Üniversitesi	2013
Lise	Makine Ressamlığı Bölümü	Samsun endüstri meslek lisesi	2007