

**DERİN KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANAN TUNGSTEN KARBÜR
MATKAP KULLANILARAK AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN
FARKLI PARAMETRELER İLE DELİNEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Gülşah AKINCIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2012

ANKARA

Gülşah AKINCIOĞLU tarafından hazırlanan “DERİN KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANAN TUNGSTEN KARBÜR MATKAP KULLANILARAK AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN FARKLI PARAMETRELER İLE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Faruk MENDİ

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği

Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Bedri TUNÇ

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Faruk MENDİ

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği

Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof.Dr.H.Rıza BÖRKLÜ

.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 11/12/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Gülşah AKINCIOĞLU

**DERİN KRIYOJENİK İŞLEM UYGULANAN TUNGSTEN KARBÜR
MATKAP KULLANILARAK AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN
FARKLI PARAMETRELER İLE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Gülşah AKINCIOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2012

ÖZET

Üretim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte kesici takımların performanslarını arttırma çalışmaları da yaygınlaşmaktadır. Kesici takımların ömrünü ve iş parçasının daha hassas işlenmesini sağlamak amacı ile takımlara birçok işlem uygulanmaktadır. Yeni takım malzemesi geliştirme, takımlara kaplama yapma ve ısıtma işlemi ile takım performansını arttırma bunların en yaygın olanlarıdır. Takımlar ve imalatla kullanılan diğer parametrelerin geliştirilmesi ile ilgili yapılan araştırmalar sayesinde üretim maliyetleri ve iş kalitesi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, sıfır altı işlem olarak tanımlanan kriyojenik proses, karbür takımların takım ömrü ile aşınma direnci, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünde iyileştirme sağlanmıştır. Derin (-196 C°) kriyojenik proses uygulanmış kaplamasız karbürle, temperleme uygulanmış kaplamasız karbür takımlarla, kaplamasız karbür takımların delme performansı, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, ovalite ve takım aşınması bakımından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda derin kriyojenik proses ve temperleme uygulamalarının, kesici takımın aşınma direncini, takım ömrünü ve diğer kesme parametrelerini olumlu etkilediği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu	: 708.3.028
Anahtar Kelimeler	: Derin kriyojenik işlem, sıfır altı işlem, AISI D2, Soğuk iş takım çeliği, kalıp çeliği, 1.2379, delinebilirlik
Sayfa Adedi	: 94
Tez Yöneticisi	: Prof. Dr. Faruk MENDİ

**TUNGSTEN CARBIDE DRILL ON DEEP CRYOGENIC TREATMENT
USING COLD WORK TOOL STEEL AISI D2 DIRILIBILITY TO THE
INVESTIGATION OF DIFFERENT PARAMETERS
(M.Sc. Thesis)**

Gülşah AKINCIOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2012**

ABSTRACT

With advances in production technology to increase the performance of cutting tools to work dramatically. Tool life and workpiece in order to provide more accurate processing of transactions implemented in many teams. The new material development team, teams increase team performance with coating and heat treatment to the most common ones. Related to the development and manufacturing teams through surveys of other parameters used in the production costs and quality of work is increasing with each passing day. In this study, the cryogenic process is defined as zero-six procedures, carbide tools and wear resistance, tool life, cutting forces and surface roughness has been improvement. Deep (-196 ° C) applied to the cryogenic process karbürle coated, uncoated carbide applied to the teams, tempering, drilling performance of uncoated carbide tools, cutting forces, surface roughness, ovalite and evaluated in terms of tool wear. As a result of this evaluation process and the deep cryogenic tempering practices, cutting tool wear resistance, tool life and other cutting parameters were positively affected.

Science Code	: 708.3.028
Key Words	:Deep crygenic process, Subzero, AISI D2, Cold Working Steel, Mold Steel, 1.2379, Drilling
Page Number	: 94
Adviser	: Prof. Dr. Faruk MENDİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi destek sağlayan, akademik hayatımda kendime model aldığım danışmanım Sayın Prof. Dr. Faruk MENDİ'ye, tecrübelerinden yararlandığım ve tezimin oluşmasında büyük katkısı olan Sayın Doç. Dr. Adem ÇİÇEK' e teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan anne ve babama ve çalışmalarımda bana destek olan eşim Sıtkı AKINCIOĞLU'na saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TALAŞLI İMALAT.....	3
2.1. Delme İşlemi	4
2.1.1. Delme işleminde kesme kuvvetleri	4
2.1.2. Kesme kuvveti.....	6
2.1.3. İlerleme kuvveti.....	7
2.1.4. Helisel matkap geometrisi	8
2.2. Kesici Takım Malzemeleri	10
2.3. Takım Aşınması	12
2.4. Takım Aşınma Mekanizmaları	14

Sayfa

2.4.1. Abrasyon (abrasion, kazınma) aşınma	14
2.4.2. Adezyon (adhesion, yapışma) aşınma	15
2.4.3. Difüzyon (diffusion, yayınma) aşınma.....	16
2.4.4. Oksidasyon aşınma.....	16
2.4.5. Yorulma aşınma	17
2.4.6. Adeziv aşınma	17
2.5. Takım Ömrü	18
2.6. Delme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü.....	19
2.6.1. Yüzey pürüzlülüğü, Ra (μm).....	19
2.7. Delik Daireselliği ve Dairesellik Hata Oranları	20
2.8. Takım Çelikleri.....	21
2.8.1. AISI D2 soğuk iş takım çeliği	22
2.9. Kriyojenik İşlem.....	22
2.9.1 Kesici takımlarda kriyojenik işlem	26
2.10. Sertlik Ölçümü	27
2.10.1. Mikro sertlik ölçümü	28
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	30
3.1. Literatürün Genel Değerlendirilmesi.....	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38

Sayfa

4.1. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri ve Kesici Takımlar	38
4.2. Kriyojenik İşlem ve Temperleme	39
4.3. Deney Numuneleri	41
4.4. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	41
4.5. Deneyde Kullanılan Takım Tezgâhı.....	44
4.6. Kesme Kuvvetleri Ölçümü	44
4.7. Aşınma Deneyleri.....	47
4.8. Delik Çapı ve Delik Sapma Değeri Ölçümü	48
4.9. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	49
4.10. Miko Sertlik Ölçümleri	50
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	51
5.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	51
5.1.1. Kaplamasız karbür (K) takımında kesme kuvvetlerinin değerlendirmesi.....	52
5.1.2. Kriyojenik (KR) takımında kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	53
5.1.3. Kriyojenik temper (KRT) takımında kesme kuvvetlerinin değerlendirmesi.....	55
5.1.4. K, KR, KRT takımların 0,063 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	57
5.1.5. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	58

Sayfa

5.1.6. Kesme kuvvetlerinin genel değeriendirilmesi	60
5.2. Deliklerin Daireselliğinin Değeriendirilmesi	62
5.2.1. K, KR, KRT takımların 0,063 mm/dev ilerlemede daireselliğinin değeriendirilmesi.....	62
5.2.2. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede daireselliğinin değeriendirilmesi.....	64
5.2.3. Daireselliğin genel değeriendirilmesi	66
5.3. Dairesellik Sapma Değeriendirilmesi	67
5.3.1. K, KR, KRT takımların 0,063 mm/dev ilerlemede sapma değeriendirilmesi	67
5.3.2. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede sapma değeriendirilmesi	68
5.3.3. Dairesellik sapma değeriendirilmesi	70
5.4. Delik Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değeriendirilmesi.....	71
5.4.1. K, KR, KRT takımların 0,63 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değeriendirilmesi	71
5.4.2. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değeriendirilmesi	73
5.4.3. Pürüzlülüğe kesme hızı, ilerleme ve takım türünün etkisi	75
5.4.4. Pürüzlülüğün genel değeriendirilmesi.....	76
5.5. Takım Aşınmasının Değeriendirilmesi	77
5.5.1. K, KR, KRT takımlarda aşınma	77

Sayfa

5.5.2. Takım aşınmasının genel değerlendirilmesi.....	81
5.6. Mikro Sertlik Ölçümleri	82
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
6.1. Sonuçlar.....	84
6.2. Öneriler.....	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	94

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Aşınma faktörü.....	7
Çizelge 2.2. Takım gereç faktörü.....	7
Çizelge 2.3. K değerleri	8
Çizelge 2.4. AISI D2 Soğuk iş takım çeliğinin kompozisyonu	22
Çizelge 4.1. Kaplamasız karbür matkap özellikleri	39
Çizelge 4.2. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi	43
Çizelge 4.3. Johnford Dik İşleme Merkezine ait teknik özellikler	44
Çizelge 4.4. Kistler dinamometrenin teknik özellikleri	45
Çizelge 4.5. Mitutoyo CMM tezgahının teknik özellikleri	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Matkabin ilerleme kuvveti ve tork	5
Şekil 2.2. Matkabin uç açısı ve kesme kenar açısı	6
Şekil 2.3. Matkap takımının geometrisi	9
Şekil 2.4. Abrasyon aşınması mekanizması	15
Şekil 2.5. Yapışma aşınması mekanizması	15
Şekil 2.6. Difüzyon aşınma mekanizması	16
Şekil 2.7. Oksidasyon aşınma mekanizması	17
Şekil 2.8. Yorulma aşınma mekanizması	17
Şekil 2.9. Adeziv aşınma mekanizması	18
Şekil 2.10. Ortalama yüzey pürüzlülüğü	19
Şekil 2.11. Dairesellik sapmanın değerlendirilmesi	20
Şekil 2.12. Kriyojenik işlem uygulanması	23
Şekil 5.1. K matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim	53
Şekil 5.2. KR matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim	55
Şekil 5.3. KRT matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim	56
Şekil 5.4. K, KR, KRT matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim	58
Şekil 5.5. K, KR, KRT matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim	59
Şekil 5.6. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellikteki değişim	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellikteki değişim	65
Şekil 5.8. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellik sapma değerindeki değişim	68
Şekil 5.9. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellik sapma değerindeki değişim	70
Şekil 5.10. K, KR, KRT matkapta ölçülen pürüzlülük değerindeki değişim.....	73
Şekil 5.11. K, KR, KRT matkapta ölçülen pürüzlülük değerindeki değişim.....	75
Şekil 5.12. K, KR, KRT takımlara ait mikro sertlik ölçümleri	83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Kriyojenik işlem sistemi	40
Resim 4.2. Kriyojenik işlem haznesi.....	40
Resim 4.3. AISI D2 deney malzemesinin boyutları.....	41
Resim 4.4. Bulut Makine sertlik ölçüm cihazı	42
Resim 4.5. Spektra analiz cihazı	43
Resim 4.6. Johnford marka dik işleme merkezi	44
Resim 4.7. Kistler dinamometrenin tezgaha bağlantısı.....	45
Resim 4.8. İş parçasının dinamometreye bağlanması	46
Resim 4.9. Aşınma deneylerinde kullanan tezgah	47
Resim 4.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	48
Resim 4.11. CMM cihazı	49
Resim 4.12. Mikro sertlik ölçümü yapılan Leica marka cihaz	50
Resim 5.1. Kesme hızı 65 m/dk ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında 300 delik sonrasına ait SEM görüntüsü a) K matkap, b) KR matkap, c) KRT matkap	78
Resim 5.2. Kesme hızı 65 m/dk ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında 400 delik sonrasına ait SEM görüntüsü a) K matkap, b) KR matkap, c) KRT matkap	79
Resim 5.3. Kesme hızı 65 m/dk ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında 500 delik sonrasına ait SEM görüntüsü a) K matkap, b) KR matkap, c) KRT matkap .	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
Al	Alüminyum
BUE	Talaş sıvanması
C	Sinterlenmiş karbürler
CBN	Kübik bor nitrür
CC	Seramikler
CD	Çok kristalli elmaslar
CMM	Koordinat ölçüm cihazı
CNC	Bilgisayarlı sayısal kontrol
Co	Kobalt
C_s	Basma mukavemeti
CT	Sermetler
D	Matkabın çapı
DLC	Kaplama
EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometresi
EKK	En küçük kareler metodu
F_a	Eksenel kuvvet
F_c	Esas kesme kuvveti (N)
F_t	İlerleme kuvveti
Fire	TiAlN/TiN çoklu kaplama
GC	Kaplamalı sinterlenmiş karbürler
HH	Kızıl sertlik
HMK	Hacim merkezli kübik yapı
HRc	Rockwell sertliği
HSS	Yüksek hız çelikleri

Simgeler	Açıklama
H_v	Sertlik
ISO	Uluslararası standartlar organizasyonu
K	Kaplamasız karbür
KK	En küçük kareler metodu
K⁰	Kelvin
k_u	Aşınma faktörü
k_c	Özgül kesme kuvveti değeri
K_γ	Kesme kenar açısı
k_p	Takım gereç faktörü
ks	Özgül kesme kuvveti (N/mm ²)
KW	Kilowatt
KR	Kriyojenik kaplamasız karbür
KRT	Kriyojenik- temperleme kaplamasız karbür
LN₂	Sıvı nitrojen
M_c	Tork
MDTD	Minimum dış teğet dairesi metodu
MİTD	Maksimum iç teğet dairesi metodu
MRAD	Minimum radyal ayırım dairesi metodu
NbC	Niyobyum karbür
P_c	Güç
PCBN	Polikristalin kübik bor nitrür
PCD	Kırılğan yapılı elmas
PVD	Fiziksel buhar biriktirme yöntemi
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
T	Tokluk
TaC	Tantal karbür
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiC	Titanyum karbür

Simgeler	Açıklama
TiCN	Titanyum karbon nitrür
TiN	Titanyum nitrür
WC	Tungsten karbür
WR	Aşınma direnci
XRD	X-Işınları Kırınımı
YMK	Yüzey merkezli kübik yapı
α	Serbest aç
β	Kama açısı
δ	Demir
μm	Mikron
Ω	Yalıtım direnci
γ	Helis Açısı

1. GİRİŞ

Malzeme ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak geliştirilen yeni takımlar ve CNC (bilgisayar kontrollü tezgahlar) sürekli gelişmektedir. Bunun sonucu olarak daha kaliteli iş, daha kısa sürelerde daha ucuza gerçekleştirilmektedir. İmalat yöntemleri içinde önemli bir yere sahip olan talaşlı üretim yöntemlerinin verimliliğini artırmak; işlenecek parçanın malzemesi ve işleme parametrelerinin optimizasyonun yapılmasıyla mümkündür [3].

Takım çelikleri, kesme uygulamalarında ve sıcak şekillendirmede aşınmaya karşı dirençli olması için geliştirilmiştir. Bunlar genellikle soğuk iş, şok dirençli, sıcak iş, yüksek hız, kalıp ve özel amaçlı takım çelikleri olarak altı gruba ayrılır [2]. AISI D2 (DIN 1.2379) takım çelikleri arasına geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yüksek sertleşebilirlik, düşük biçim değiştirme, soğutmadan sonra yumuşamaya karşı yüksek direnç ve iyi aşınma direnci sağlıyor. Bu malzemenin üzerine uygun kaplama yapılarak aşınma direnci daha da artırılabilir [1]. Yüksek karbon ve krom içeren, mikro yapısında yüksek miktarda karbür içermesi sebebiyle mükemmel aşınma direncine ve tokluğa sahip, basınca dayanıklı, derinlemesine sertleşebilen, yüksek sıcaklarda sertliğini kaybetmeye karşı yüksek bir yapıya sahip soğuk iş takım çeliğidir. Tel erezyon kesimi, paslanmaz sac kesimi, nitrasyon yapılmaya ve darbeli işlerde kullanılmaya uygundur. Kullanım alanlarındaki bu üstün özellikleri nedeni ile AISI D2 soğuk iş takım çeliği imalatı yaygın olarak kullanılmaktadır. Sac kesme kalıpları, delme, zımbalama, kıvrırma, bükme, ezme, şişirme, şekillendirme kalıpları, ağaç işleme takımları, vida, civata, perçin, derin çekme kalıpları, ilaç, seramik sanayinde kullanılan aşındırıcı tozların sıkıştırma kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları, gibi takımların yapımında yoğunlukla kullanılmaktadır.

Kesici takımların dış yüzeyinde daha sert bir tabaka oluşturmak için fiziksel ya da kimyasal yöntemlerle TiC, TiN, TiCN, TiAlN benzeri malzemelerin takım yüzeyine kaplanması yaygındır. Bu kaplamalar sert bir tabaka takımın yüzeyinde sert bir tabaka oluşturarak kesici takımın aşınma direncini artırdığı bilinmektedir. Teknoloji geliştikçe takımları güçlendirip işleme maliyetlerini azaltmak için her geçen gün

daha farklı yöntemler denenmektedir. Son yıllarda takımlara kriyojenik (cryogenic) işlem adı verilen ısıtma işlemi uygulanarak takımların aşınma dirençlerinin artırılarak ömürleri uzatılmaya çalışılmaktadır. Kriyojenik işlem sertlik, çekme dayanımı, aşınma özellikleri ve korozyon direnci gibi özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır [4,5].

2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat; kesici takımın (ya da kısaca takım) iş parçasına göre nispi hareketleri sonucunda, iş parçasının belirli bir bölümünde plastik deformasyon oluşturarak gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan talaş kaldırma mekanizmasının anlaşılabilmesi için üç boyutlu takım geometrisi, iki boyutlu ortogonal kesme geometrisi şeklinde basitleştirilir. Bu geometrinin ve talaş kaldırma mekanizmasının incelenmesi sonucunda; talaş kaldırma sırasında takımın çok yüksek gerilme ve sıcaklıklara maruz kaldığı, bunun sonucunda takımda elastik ve plastik şekil değişimleri ile şiddetli bir aşınmanın meydana geldiği anlaşılmıştır. Talaş kaldırma sırasında takımda meydana gelen bu şekil değişimleri ve aşınma talaş kaldırma işlemini şüphesiz olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü kesici takımda meydana gelen bu deformasyonlar; iş parçasının yüzey kalitesini ve toleranslarını olumsuz yönde etkilemekte, takım tezgahı konstrüksiyonundaki (miller, yataklar vb.) titreşimlerin artmasına neden olmakta, talaş kaldırma için gerekli olan enerji miktarını dolayısıyla enerji sarfıyatını arttırmaktadır. Bununla birlikte takımda meydana gelen deformasyonların oluşturduğu en büyük olumsuzluk takım ömrünün azalmasıdır. Takım ömrünün azalması, takım maliyetini ve sonuç olarak da üretim maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenledir ki; takım ömrünü etkileyen faktörlerin bilinmesi, bu faktörleri kontrol altına alınabilecek tedbirlerin geliştirilmesi, efektif takım ömrünün belirlenebilmesi ve ideal takım değiştirme zamanının belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır [10].

Talaşlı imalat yıllardır önemini korumakta olup, bu alanda yapılan çalışmalar ise imalat firmaları tarafından yakinen takip edilmektedir. Her imalatın bir maliyeti ve bu maliyeti belirleyen faktörler vardır. Kesici takım ve iş parçası maliyetini; talaşlı imalattaki en önemli faktörlerden sayılabilir. Dolayısıyla üretim maliyetini düşürüp, ürünü daha ucuza mal etmek için bu faktörleri dikkate almak gerekmektedir.

Kesici takımın daha uzun ömürlü olabilmesi ve iş parçasının ise istenilen kalitede üretilerek hammadde israfını önlemek için, kesme performansı ve şartlarını optimize etme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için, kesici takımların

ömrüne etki eden etkenler ve iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan etkenler bilim adamları tarafından araştırılmaktadır [6].

2.1. Delme İşlemi

Delik delme, iş parçasından talaş kaldıran bir takımla silindirik delik açma metotlarının tamamına verilen bir addır. Dönen ve eksenel bir hareketle iki ağza sahip bir kesiciye iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde etmek üzere yapılan işleme delme denir [6].

Geleneksel derin delik delme ve kısa delik delme gibi birkaç çeşit delik delme metodu vardır. Bu metotlardan hangisine karar vereceğiniz ise, delik çapı, derinliği, toleransları ve son paso hassas işlemine, üretim ihtiyaçları, delme makinesinin özellikleri ve operatörün performansına bağlıdır [6-9].

2.1.1. Delme işleminde kesme kuvvetleri

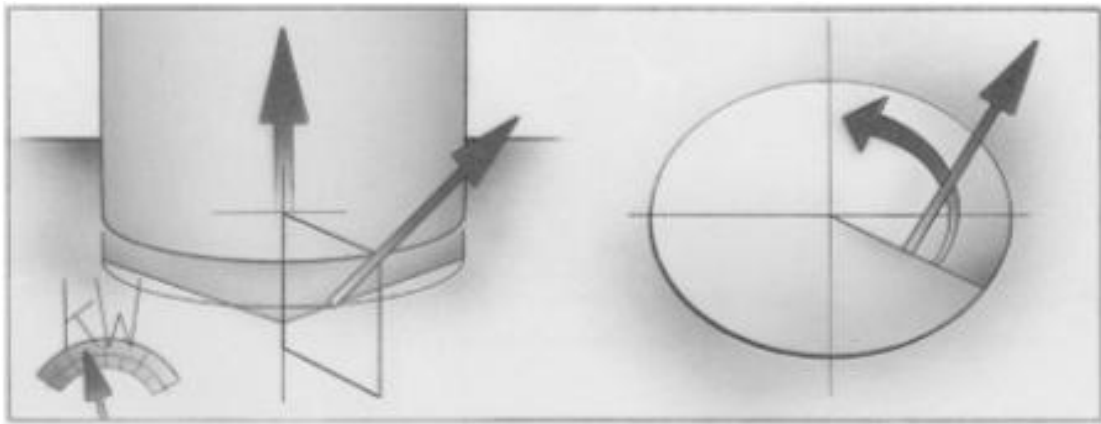
Delik açmak için belli bir miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Matkap, iş parçasının içine girerek talaş kaldırırken kesme kuvvetleri matkaba etki eder ve bu da belli bir miktarda güç gerektirir.

Öncelikle, delik açmak için gerekli olan güç, iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterir ve bu güç hesaplanırken, malzeme için gerekli özgül bir kesme kuvveti göz önüne alınmalıdır.

Özgül kesme kuvveti değeri (k_c), mm^2 başına N cinsinden, birçok malzeme için hesaplanmış ve test edilmiştir. Bu değer, takımın etkin kesme açısı ve ortalama talaş kalınlığıyla ilgili tablolarda yer almaktadır ve belirli bir kesit alanı (1mm^2) olan bir talaş için gerekli olan teğetsel kesme gücü veya etkin kesme gücünün teorik talaş alanına bölümüyle tanımlanır. Değerler, diş başına ilerleme değeri olarak gösterilir. Normalde, çeliğin özgül kesme kuvveti demir esaslı olamayan alaşımların yaklaşık üç katı kadardır. Yüksek dayanımlı süper alaşımların özgül kesme kuvveti ise çeliğin yaklaşık iki katı kadardır.

Malzeme faktörüne ek olarak delik delme işlemi için gerekli olan güç (P_c) KW cinsinden çap ilerleme oranı ve kesme hızına bağlıdır. Belli bir işlemde yaklaşık güç ihtiyacını hesaplamak için bir eşitlik kullanılır ve bu eşitlik söz konusu takım tezgâhının yapılan uygulama için uygun olduğunu doğrulamak için kullanılır. Orta büyüklükteki birçok delik, modern tezgâhlar için problem oluşturmaz, fakat çaptan kat be kat büyük derinliğe sahip olan büyük parçalar için gücün kontrol edilmesinde fayda vardır.

Nm cinsinden Tork (M_c), bazı büyük çaplı delik işlemlerinde, özellikle delik büyütme işlemlerinde, önemli olan diğer bir değerdir. Bu değer işleme sürecinde matkabın maruz kaldığı toplam delik delme momenti dikkate alınarak belirlenir. Tork değerini etkileyen başlıca faktörler; ilerleme, çap ve işlenen malzemedir. Tork her bir kesme kenarının momentleri toplamı ve teğetsel kuvvetin merkezden yarıçapla çarpımıdır (Şekil 2.1).

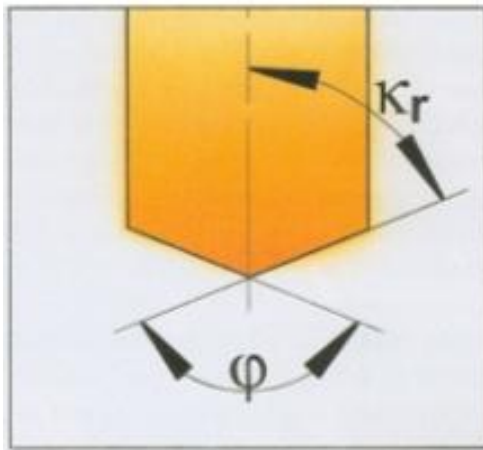


Şekil 2.1. Matkabın ilerleme kuvveti ve tork

N cinsinden ilerleme kuvveti (F_t), delme işleminde performans açısından genellikle en önemli parametredir. Bu, matkap malzemeye girerken matkaba uygulanan aksenal kuvvettir. Bu kuvvet delik işlemi için fener milinin gücü ve dayanıklılığın yeterli olduğunu doğrulamak için değerlendirilmelidir. Aşırı ilerleme kuvveti kullanımı, delik kalitesini ve takımın güvenilirliğini etkileyerek, tezgâhın durmasına yol

açabilir. Diğer taraftan yeterli ilerleme kuvvetinin uygulanması ise kesme hareketi ve verim açısından önemlidir (Şekil 2.2).

İlerleme kuvveti matkap çapı, ilerleme ve delinen malzemeyle ilişkilidir. Matkabin kesme kenar açısı (K_r) da ilerleme kuvvetini etkiler. Matkabin uç açısı (ϕ)'dir [14].



Şekil 2.2. Matkabin uç açısı ve kesme kenar açısı

2.1.2. Kesme kuvveti

Matkabin tek ağzına gelen kesme kuvveti düzeltme faktörleri de göz önüne alınarak;

Kesme kuvveti (F_c)

$$F_{cl} = k_s \cdot A \cdot k_p \cdot k_u = k_s \cdot \left(\frac{f \cdot d}{2 \cdot z} \right) \cdot k_p \cdot k_u \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Kesici ağız sayısı ($z=2$) (2.1) denkleminde yerine yazılırsa;

$$F_{cl} = k_s \cdot \left(\frac{f \cdot d}{4} \right) k_p \cdot k_u \quad (2.2)$$

elde edilir.

Burada;

k_s : Özgül kesme kuvveti (N/mm²)

F_{cl} : Esas kesme kuvveti (N)

k_u : Aşınma faktörü

k_p : Takım gereç faktörü.

Çizelge 2.1. Aşınma faktörü

Aşınma faktörü	k_u
Kılavuz deliksiz işlem için	1~1,05
Kılavuz delikli işlem için	0,95

Çizelge 2.2. Takım gereç faktörü

Takım gereç faktörü	k_p
Yeni bilenmiş matkap uçlarında	1
Aşınmış, yıpranmış takımlarda ve döküm gereçlerde	1,2-1,25
Asınmış, yıpranmış takımlarda ve çelik gereçlerde	1,4

2.1.3. İlerleme kuvveti

Eksenel kuvvet F_a ilerlemeyi sağlayan elemanları ve özellikle yatakları (rulmanları) zorlamaktadır. Tezgâhın konstrüksiyonu sırasında bu elemanlar, belirli bir eksenel kuvvete (F_{a-max}) göre hesaplanır. Çalışma sırasında $F_a > F_{a-max}$ olursa, ilerlemeyi sağlayan elemanlar ve özellikle rulmanlar çabuk bozulur. Ayrıca F_a kuvveti takımı burkulmaya zorlar. F_{a-max} 'ın değeri tezgâh katalogunda verilir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, F_a ilerleme kuvvetinin deneysel yollarla tespit edilebildiğini göstermiştir. F_a 'nın değerinin hesaplanmasında gerçeğe daha yakın değerlere veren (2.3) denkleminin kullanılması tavsiye edilir [13].

$$F_a \approx K.(s.d)^{0.8} \quad (2.3)$$

Formüldeki K değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir;

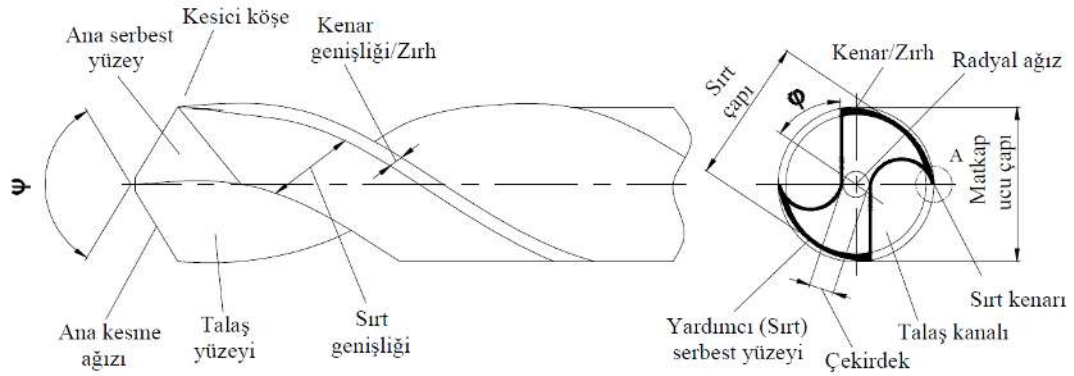
Çizelge 2.3. K değerleri

Delinen gereç cinsi(Genel)	K (N/mm2)
Çelikler	1650
Döküm gereçler	800
Hafif metal alaşımları	900

2.1.4. Helisel matkap geometrisi

Delik delmede veya büyültmede, çevresinde helis kanallar bulunan ve helisel matkap denilen takımlar kullanılır. Bunların çapları genel olarak h6-h8 toleransına göre kalibre edilmiştir. Helisel kanallar, talaşın delikten dışarıya atılmasını sağlarlar. Helisel matkaplar gövde ve sap olmak üzere (Sekil 2.3) iki kısımdan meydana gelmektedirler.

Matkabın çapı (d), kanallı kısmının başlangıçtaki çapıdır. Delme sırasında matkap zırhının delik yüzeylerine sürtünmesini azaltmak için matkap çapı uçtan sapa doğru koniktir. Bu sırt/arka konikliği diye tanımlanır ve genellikle bu koniklik oranı 0.01/100–0.08/100 mm/mm arasında değişir. Takımın kesme kısmı uç kısmıdır. Burada iki ana kesme ağzı (Sekil 2.3), her ağzın birer talaş yüzeyi ve serbest yüzeyi bulunur. Ana ağzıların oluşturduğu koni tam sivri değildir, aralarında çekirdek/öz denilen yassı bir kısım vardır. Çekirdeğin genişliği radyal kesme ağzını/keski kenarını oluşturur. Ana ağzıların birbirine göre açısal konumu uç açısı (ψ), radyal kesme ağzının/keski kenarının konumu radyal kesme açısı (ϕ), kanalların sekli helis açısı (γ) ile ifade edilir [11].



Şekil 2.3. Matkap takımının geometrisi

Talaş yüzeyi esasen uç kısmına isabet eden kanaldır. Bu kısımda iki kanal arasındaki yüzey serbest yüzeyi meydana getirmektedir. Matkabın kanallı kısmında iki kanal arasındaki yüzey, matkabın sırtını oluşturmaktadır. Sırtla kanal arasında bir zırh vardır. Delme işlemi radyal keski kenarının parçaya dalmasıyla baslar ve ana kesme ağzlarının aktif kesme işlemini gerçekleştirmesiyle devam eder. Kesme ağzları tarafından kesilerek parçadan ayrılan talaş helisel kanallar vasıtasıyla tahliye edilir. Delme mekaniği, keski kenarı ve kesme ağzları olarak ayrı ayrı analiz edilmelidir. Keski kenarı kesme yapmaz, sadece dönme ve ilerleme hareketi sayesinde is parçasını ezerek ağzılama yapar ve matkabın kolayca ilerlemesini sağlar [12]. Kesici ağzı ise, dönme ve ilerleme hareketiyle helisel bir yüzey oluşturarak is parçasını keser. Bu helisin adımı, matkabın bir devirde yaptığı ilerleme miktarı olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla helisel yüzey boyunca hareket eden takımda, kesme ağzlarının efektif yönü sürekli değiştiğinden, matkabın efektif kesme açıları da değişir. Matkabın bir ağzı, delik açma torna kalemi ile benzeştirilebilir, iki ağzı ise üst üste yerleştirilmiş iki kalemden meydana geldiği düşünülebilir. Söyle ki; esas matkabın, bu iki kalemin bir çekirdek üzerine helisel bir şekilde sarılması ile oluştuğu varsayılabilir. Dolayısıyla matkabın esas kesme ağzının geometrisi, tek ağzılı takımlarda olduğu gibi tayin edilebilir. Burada da talaş açısı (λ), serbest açısı (α) ve kama açısı (β) gibi kesme açıları vardır. Matkaplarda her ağza karşılık gelen ve helis açısının kesici ağzın talaş açısına eşit olduğu bir kanal vardır. Matkabın açıları arasında; $\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$ bağıntısı vardır [11].

Kesme ağzına bağlı kanalın açılımına dayanarak, matkabın d ve dx çapına karşılık gelen talaş açıları, H kanalın helis adımı olmak üzere,

$$\tan \gamma_x = \tan \theta = \frac{\pi \cdot d}{H} \quad \tan \gamma_{xx} = \tan \theta_x = \frac{\pi \cdot d_x}{H} \quad (2.4)$$

şeklinde yazılır.

2.2. Kesici Takım Malzemeleri

Günümüzde işleme için belirli iş parçası malzemesini belirli koşullar altında en iyi şekilde işleyecek bir takım malzemesi bulunmaktadır. Kesici ucun belirlenmesinde takım malzemesi seçimi önemlidir. Farklı malzemelerin işlenmesinde çok farklı kesi takım malzemeleri kullanılmaktadır. Üretim teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte takım malzemeleri ile ilgili de birçok gelişme sağlanmaktadır. Modern talaşlı imalatta kullanılan takım malzemelerini birkaç ana başlıkta sıralayabiliriz:

Kaplamalı sinterlenmiş karbürler (GC)

Sinterlenmiş karbürler (C)

Sermetler (CT)

Seramikler (CC)

Kübik bor nitrürler (CB)

Çok kristalli elmaslar (CD) [7].

Hız çelikleri sinterlenmiş karbüre göre iki kat, sinterlenmiş karbürler ise seramiklere göre üç kat daha tok malzemelerdir. Çok kristalli elmas çok kırılğan ancak çok sert bir malzemedir. Seramik sinterlenmiş karbüre göre serttir ve daha iyi bir ısı ve kimyasal kararlılığa sahiptir.

Bugün kesici takım malzemelerinin daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında talaş kaldırmaları için önem taşıyan üç ana özellik vardır:

Aşınmaya karşı dayanma kabiliyeti (aşınma direnci)

Kırılmaya karşı mukavemet (tokluk)

Yüksek sıcaklıklarda sertliği ve kimyasal kararlılığı koruma (kızıl sertlik)

Aşınma direnci (WR): serbest yüzey aşınmasının genellikle bir ölçü olarak aldığı aşınma direnci yine de doğrudan kullanılan bir özellik değildir. Bu özellik kesici takımın kesme kabiliyetini planlanan şekilde sürdürebilmesi için çeşitli aşınma tiplerine olan dayanma kabiliyeti olarak tanımlanır.

Tokluk (T): genellikle eğilme direnci, kırılma direnci gibi çeşitli şekillerde ifade edilir. Ölçümlerin oda sıcaklığında yapılması nedeni ile talaş kaldırma işlemi esnasındaki durum ile ilgili tam bir bilgi vermez ve kenar yuvarlamasının etkisini göz önüne almaz. Yüksek hız çelikleri (HSS) kırılğan bir yapıya sahip elmaslara (PCD) göre çok daha toktur.

Kızıl sertlik (HH): yüksek kesme hızlarının bir sonucu olan yüksek sıcaklıklar nedeni ile son derece önemlidir. Farklı kesici takım malzemeleri farklı kızıl sertlik değerlerine sahiptir.

Sinterlenmiş karbür bir bağlayıcı içerisindeki farklı karbürlerden oluşmuş bir toz metalürjisi ürünüdür. Bu karbürden çok sert olan tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantal (TaC), ve niyobyum karbür (NbC)'dür. Bağlayıcı olarak genellikle kobalt (Co) kullanılırlar. Karbürler kendi içerilerinde de çözünerek herhangi bir bağlayıcı olmadan da bir sinterlenmiş karbür yapısı oluşturabilirler. Sinterlenmiş karbürler birbirlerinden farklı özellikler gösterirler, bazıları diğerlerinden daha sert, bazıları ise daha toktur. İdeal bir takım malzemesinin sahip olması gereken özellikler ile sinterlenmiş karbürün özellikleri karşılaştırıldığında sinterlenmiş karbürün vazgeçilmez bir takım malzemesi olmasının nedeni kolaylıkla anlaşılabilir. Sertlik ve basma mukavemeti (H_v , C_s) değerlerinin artan sıcaklıkla düşmesine karşın sinterlenmiş karbür mükemmel aşınma direnci sayesinde yüksek kesme hızlarında kullanılabilir [7]. Tungsten karbür (WC) takımlar yaygın olarak kullanılan takım malzemeleridir. Tungsten karbürler, kobalt gibi yumuşak ve

sünek malzemelerle birlikte semente edilmesi sonucu oluşan sert, aşınma direnci yüksek ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen malzemeler grubundadır [31].

2.3. Takım Aşınması

Takımın orijinal geometrisini kaybetmesi, yani etkili kesme zamanının sona ermesine “Takım Aşınması” denir. Aşınmanın daha iyi anlaşılabilmesi için aşınmaların nasıl meydana geldiğinin ve aşınma tiplerinin bilinmesi gerekmektedir.

Aşınmaya sebep olan birçok faktör vardır. Bu faktörlerin ortaya çıkardığı aşınma mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [7].

Sürtünmeden ötürü oluşan aşınma, tüm endüstri kollarında ‘sinsi’ bir tehlike olarak karşımızda durup zamanında ve sistematik tedbir alınmadığı takdirde çok pahalıya mal olabilecek sonuçlara götürebilir [20]. Talaş kaldırmada iş parçası ile temas halinde bulunan takımın aşınması çok genel olarak kesici takım malzemesinin kaybı şeklinde tarif edilebilir. Bu kayıp çeşitli şekillerde oluşabilir.

- 1.) Mikroskobik büyüklükteki küçük aşınmış partiküller vasıtasıyla takım malzemesinin tedrici olarak kaybı şeklinde,
- 2.) Metal kesmede yüzey üzerine gömülmüş sert partiküllerin takıma sürtünmesi tesiriyle,
- 3.) Takımın mikroskobik parçalar halinde ufalanması şeklinde,
- 4.) Kesme sıvısı içinde fazla aktif ilaveler bulunması nedeniyle takımın korozyonu ile.

Bu durum en çok kobalt bağlayıcı kullanılmış sert metal takımların kükürt içeren yağların kullanılması halinde görülür. İlk iki maddede belirtilmiş hususlar diğerlerine nazaran daha önemlidir. Takımın tedrici aşınması "metal transferi" adı verilen fizyokimyasal bünyeye haiz bir aşınma tipi ile ortaya çıkmaktadır. Metal transferi şu

şekilde izah edilebilir; Şayet iki temiz yüze yaralarında herhangi bir yağ filmi bulunmadığı hallerde birbirlerine şiddetle bastırılırsa, yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktaları çok yüksek basınçlara maruz kalır. Genellikle yüksek basınç altında metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre relatif olarak hareket ederlerse, mikro kaynaklar kırılır ve metaller plastik akışla yer değiştirirler. Plastik deformasyon sırasında metaller şiddetli zorlama sertleşmesine maruz kalırlar ve temas eden bölgedeki malzemelerin sertliği ana malzemenin sertliğinden daha büyük olur. Belirtildiği gibi bir parça malzemenin bir yüzeyden diğer yüzeye nakledilmesi şeklindeki aşınmaya "metal transferi" ismi verilir. Bu tip aşınmaya en fazla etki eden faktörler temas eden yüzeylerin sertliği, yüzey kaliteleri, yüzeyler arasındaki basınçtır. Sıcaklıkta malzemelerin sertliğini etkilediğinden aşınmaya tesir eder. Talaş kaldırmada bu tip aşınma takım iş parçası ile temas ederken çıkan talaşın takım yüzeylerine sürtünmesi halinde gözükmemektedir. İkinci önemli aşınma tipi; birbiri üzerinde kayan yüzeylerden biri üzerine sert parçacıkların gömülmesi halinde görülmektedir. Sert parçacıklar ikinci yüzey üzerinde oyuklar açan minyatür birer takım haline gelmektedirler. Talaş kaldırmada meydana gelen yapışmış talaş parçacıkları, talaşla taşınabilir veya takım ve işlenmiş yüze yarasındaki boşluğa kaçabilirler. Bu parçacıklar olay sırasında şiddetli zorlamalara maruz kaldıkları için serttirler. Bunlar kendilerinden daha yumuşak olan yeni işlenmiş yüzeye ve çıkan talaşa gömülürler. Böylece bu parçacıklar esas takım üzerinde işaretler bırakan minyatür birer kesici takım haline gelirler ve takımı aşındırırlar. Bu iki tip aşınma genellikle beraber görünür ve birbirlerine yardım ederler [6].

Helisel matkap uçlarında aşınma, genellikle kesici kenarların faseta (zırh) ile birleştiği köşelerde başlar. Kesici ağızlarda ve faseta üzerinde gelişir. Köşelerdeki aşınma süresince köşelerin yuvarlanması şekline dönüşür. Aynı anda kesici kenarlarda ve enine kenarında da aşınmalar meydana gelir. Enine kesme kenarı pratik olarak kesme yapmaz, öz çapı matkap ucunun malzemeye nüfuz etmesine direnç gösterir. Merkezden yaklaşık $(1.25 \times \text{öz çapı})$ mesafeye kadar talaş açısı negatif değerini muhafaza etmektedir. Bu bölgede enine kesme kenarın göstermiş olduğu direnci azaltmak için öz inceltmenin yapılışı ilerdeki bölümde açıklanacaktır.

Kesici kenarlar ve enine kesme kenarındaki aşınmanın artması her iki serbest yüzeyde sırt düşürmesi kaybolmuş genişliği dar olan konik yüzey meydana getirir. Konik yüzey serbest yüzeylerdeki aşınma şeritlerini temsil eder. Kesme işlemi yerine sürtme ve zorlamalara terk eder, açığa çıkan ısı artar, körlenme hızlanır. Aşınma diğer taraftan fasetalar üzerinde de gelişir. Bu aşınma yukarıda sözü edilen köşe yuvarlanmalarının devamıdır [6].

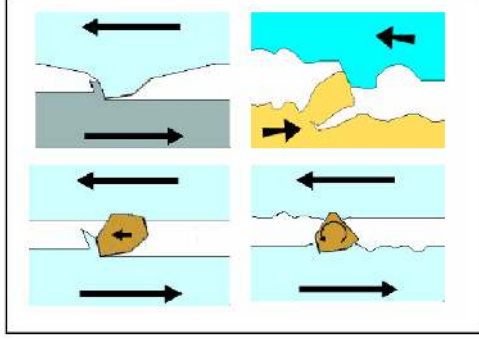
2.4. Takım Aşınma Mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşmesinden kaynaklanan bir olaydır.

Temel aşınma mekanizmaları genellikle iş parçası malzemesi ve kesici kenarın kesmeye katılan kısmı üzerinde etkide bulunurlar. Takım iş parçası malzeme çiftine göre aşınma tipi ve mekanizması değişir [7].

2.4.1. Abrasyon (abrasion, kazınma) aşınma

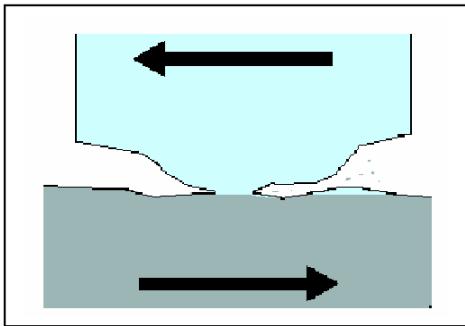
Abrasyon, sert malzeme (takım) iş parçasından talaş kaldırırken, talaş altındaki sert partiküllerin takım yüzeyinden geçerken mekanik hareketiyle oluşur. Bu tip aşınma muhtemelen sert parçacıklar ihtiva eden iş parçalarının işlenmesinde ve talaş kaynamasından oluşan sertleştirilmiş parçalarda ortaya çıkar. Abrasyon aşınmasını iki yumuşak yüzey arasına sert parçaların girmesiyle oluştuğunu ve boşluklu dökme demirlerin kaba işlenmesinde, sert parçacık içeren alaşımların işlenmesinde takım aşınmasının mümkün olduğu görülmüştür. Keza küçük boyutlu sert parçaların aşınma üzerine etkisi az olurken büyük sert parçacıklar abrasyon aşınma miktarını daha fazla artırır. Bu sert parçacıkların zımpara tozu gibi yüzeyler arasın kazıyıcı görevi yaparak taşlama işlemine benzer bir işlem yaparak takımı aşındırırlar. Takım ve iş parçası mikro yapı olarak sert iseler ve karbür, oksit içeriyorlarsa bu talaşlı işleme esnasında abrasyon aşınmasına neden olur [6,17].



Şekil 2.4. Abrasyon aşınması mekanizması [3]

2.4.2. Adezyon (adhesion, yapışma) aşınma

Bilindiği gibi adezyon, birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirlerine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro-kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre relatif olarak hareket ederlerse mikro kaynaklar kırılır. Diğer bir ifadeyle, mekanik gerilmeler sürtünme elemanı olan malzemenin akma sınırını aştığında yüzey plastik deformasyona uğramaktadır. Birbirlerinin yüzeylerinden çok ufak talaş zerrelere özellikle yumuşak malzemeden koparılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adezyon aşınması olarak adlandırılır [6].

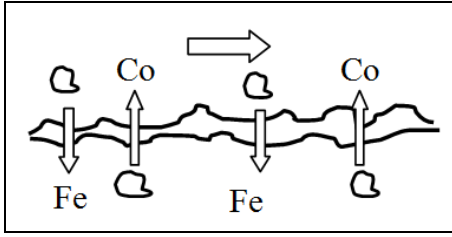


Şekil 2.5. Yapışma aşınması mekanizması [3]

2.4.3. Difüzyon (diffusion, yayınma) aşınma

Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasında afinite difüzyon aşınma mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur. Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişkiler aşınma miktarını belirler. Bazı takım malzemeleri birçok iş parçası ile etkileşime girmez, bazılarının ise bazı iş parçaları afinitesi yüksektir.

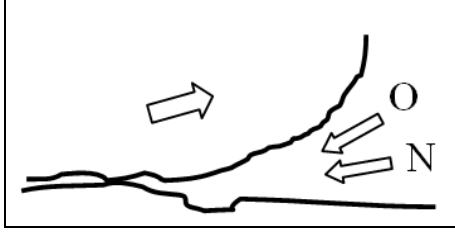
Örneğin tungsten karbür ile çelik arasında bir etkileşim söz konusudur. Bu ise difüzyon aşınma mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma sonucu kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde bir krater oluşur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır [7].



Şekil 2.6. Difüzyon aşınma mekanizması [3]

2.4.4. Oksidasyon aşınma

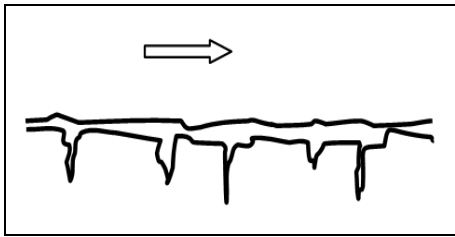
Yüksek sıcaklıkların ve havanın varlığı birçok metal için oksidasyon demektir. Oksitler birbirlerine göre farklılık gösterirler. Tungsten ve kobalt gözenekli oksit film tabakaları oluştururlar, ancak bu tabakalar talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Bu nedenle bazı takım malzemeleri için kesici kenarların aşınması söz konusudur. Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada hava da kesme işlemine etkide bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur [7].



Şekil 2.7. Oksidasyon aşınma mekanizması [7]

2.4.5. Yorulma aşınma

Termo-mekanik bir kompozisyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve taşlaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer malzemelere göre yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur [7].

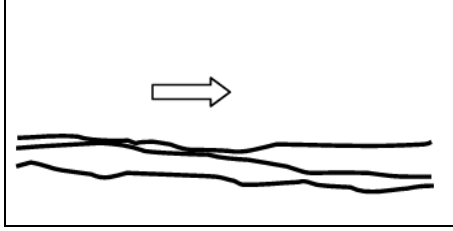


Sekil 2.8. Yorulma aşınma mekanizması [7]

2.4.6. Adeziv aşınma

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşumuna neden olur. Yığma kenar oluşumu talaş

tabakalarının sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir iş parçası haline gelmeleri işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığılma kenar ile uzaklaşmasına neden olur [7].



Sekil 2.9. Adeziv aşınma mekanizması [7]

2.5. Takım Ömrü

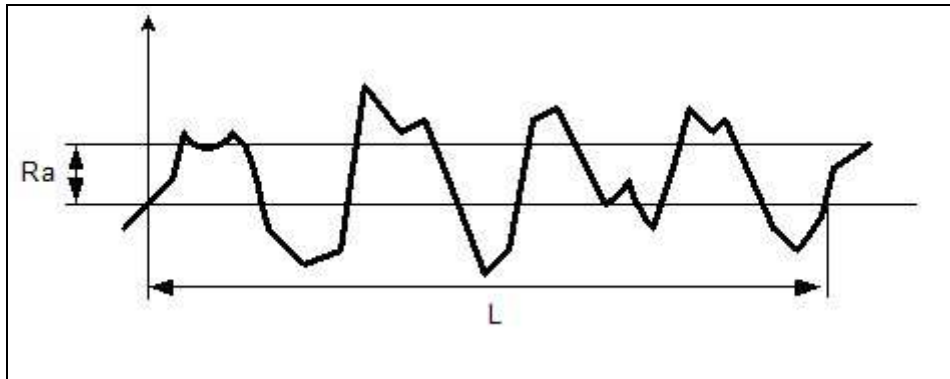
Talashlı imalatatta kesme işlemi gerçekleşirken, iş parçası ile kesici takım yüzeyi arasındaki etkileşimden dolayı takım zamanla aşınır. Takım aşınması belirli değerlere ulaştığında, yapılan işlerde talashlı imalat işleminden beklenen neticelere ulaşmak zorlaşır. İstenilen yüzey pürüzlülüğüne ulaşamaz, ölçüsel doğruluk sağlanamaz, kesme kuvveti ve dolayısıyla enerji sarfiyatı artar ve sistemde istenmeyen ölçülerde titreşim meydana gelir. Aşınma sonucunda istenilen neticelerin elde edilememeye başladığı sınıra kadar geçen işleme zamanına takım ömrü denir. Kısaca tanımlayacak olursak takım ömrü, kesici takım uçta meydana gelen aşınma belirli bir değerin üzerine çıktığı zamana kadar geçen işleme zamanıdır. Takım ömrü genelde T ile gösterilir ve dakika ile ölçülür. Takım ömrü yapılacak işleme göre kabul edilen aşınma kriterine bağlıdır. Aşınma kriteri birçok faktöre bağlı olduğundan belirli bir standardı yoktur. Örneğin etkin faktörü yüzey kalitesi olarak alırsak, çok küçük aşınma değerleri bile istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesine mani olabilir. Yüzey kalitesinin önemli olmadığı kaba talaş veya ön boşaltma işlemlerindeki etkin faktör ise enerji artması, titreşim veya takım kırılması olabilir [3,15].

2.6. Delme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminde, tezgâha girişlerin ve tezgâha dahil diğer önemli çıkışların da dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgahın kinematiği, istikrarlı olması ve ekonomikliği sayılabilir. Bunlara ilaveten, gerekli hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü son amacı belirlediğinden en önemli çıkış parametresidir. Son yüzeylerin çok önemli olduğu yerde özellikle makine imalatında, bitirme işlemi tamlığının her zaman dikkatle tasarlanması gereklidir [18].

2.6.1. Yüzey pürüzlülüğü, R_a (μm)

Belirli bir ölçüm uzunluğundaki (l_n) ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafede ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 2.21). Kalite kontrolünde genelde kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bilgi vermez. R_a yüzey pürüzlülüğünün matematiksel tanımlaması aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmektedir [18].

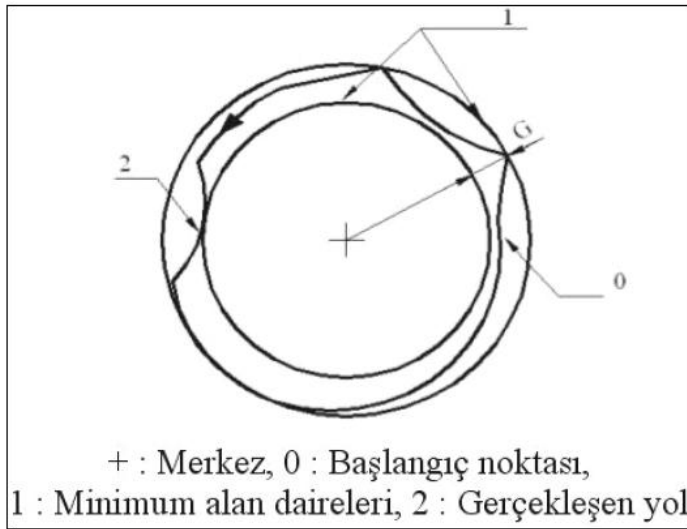


Şekil 2.10. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_a [25]

2.7. Delik Daireselliği ve Dairesellik Hata Oranları

Delme işlemlerinden sonra ölçülen deliklerin dairesellikleri talaş kaldırma işleminde kullanılan tezgahın işleme kalitesine, takımın cinsine, kesme esnasında kullanılan kesme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Daireselliğin bozulması takım aşınması, takımın doğru pozisyonlaşmamasından ya da kesme sırasında uygulanan kuvvetlerin düzensizliğinden kaynaklanmaktadır. Dairesellik aralığı, kesme hızı, ilerleme, paso kalınlığı, paso sayısı vb. birçok parametreden etkilenmektedir. Üretilen her daire dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü gibi bazı hatalar barındırır. Dairesellik değerlerinin ölçülmesi işlenen parçanın tolerans değerlerinin sınır değerleri arasında olup olmadığının belirlenmesidir.

En küçük kareler dairesi, etrafındaki maksimum radyal aralık olarak da değerlendirilebilir. En çok ölçümü yapılan sapma tipidir.



Şekil 2.11. Dairesellik sapmanın değerlendirilmesi [21]

Dairesellik hatası, ölçüm cihazından alınan koordinat verileri aşağıdaki metotlar kullanılarak belirlenmektedir:

En küçük kareler metodu (EKK),

Maksimum iç teğet dairesi metodu (MITD)

Minimum dış teğet dairesi metodu (MDTD)

Minimum radyal ayırım dairesi metodu (MRAD)

EKK metodu, günümüzde özellikle CMM tezgahlarında en sık kullanılan yöntem olup, diğer yaklaşımların karşılaştırılmasında referans alınan bir tekniktir. Bu metotla elde edilen dairenin merkezi, en küçük dış teğet ve en büyük iç teğet dairelerin profile uydurulması için kullanılır. Bu iki daire arasındaki fark dairesellik hatası olarak ifade edilir [18-21].

2.8. Takım Çelikleri

Takım çelikleri metaller, plastikler ve ahşap gibi temel malzemelerin işlenmesinde, şekillendirilmesinde ve istenilen biçimin verilmesinde kullanılır. Takım çelikleri kompozisyon bakımından sertleştirilebilen ve temperlenebilen karbonlu ve alaşımlı çeliklerdir. Takım çeliklerinin arzu edilen özelliklerinden bazıları yüksek aşınma direnci, sertlik, iyi ısı direnci ve malzemelerin işlenmesi için yeterli dirençtir. Bazı durumlarda boyutsal denge çok önemlidir. Takım çelikleri kullanım bakımından ekonomik olmalı ve aynı zamanda iyi işlenebilme veya şekillendirilebilmesi gerekir.

Takım çeliklerinin belirli özelliklere sahip olmaları gerektiğinden bu çelikler genellikle dikkatli metalürjik kalite kontrol yöntemleri ile elektrik fırınlarında eritilir. Gözeneklilik, segregasyon, impuriter ve metal olmayan kalıntıları mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutmak için büyük çaba harcanır.

Takım çelikleri toplam çelik üretiminin çok az bir kısmını oluşturmakla beraber diğer çelik ürünlerin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları için stratejik bir pozisyona sahiptirler. Takım çeliklerinin bazı uygulamaları; delicileri, derin çekme kalıplarını, kesme bıçaklarını zımbaları, ekstrüzyon kalıplarını ve kesme kalıplarını içerirler.

Takım çeliklerinin en yaygın sınıflandırma sistemi Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) tarafından belirlenmiştir. AISI sınıflandırma sistemi, su verme uygulama metodunu, özel karakteristiklerini ve kompozisyonlarını esas almıştır [23].

2.8.1. AISI D2 soğuk iş takım çeliği

Yüksek karbon, yüksek kromlu takım çelikleri, 1915’de ABD’de tanıtılmış ve orijinal olarak muhtemelen yüksek-hız takım çeliklerinin yerini alması için geliştirilmiştir. Bu çelikler, yüksek kesme hızlarında etkili sertliğe olmadıkları ve çok kırılgan olduklarından bu amaç için sınırlı kullanıma sahip olmuştur. Buna karşın bu çeliklerin keşfedilen yüksek aşınma dirençleri ve deforme olmayan müstesna özellikleri kalıp çelikleri için cazip hale getirmiştir.

D tipi soğuk iş takım çeliklerinin mükemmel aşınma dirençleri yüksek krom (%12) ve karbon (% 1,5-2,3) içeriğinden kaynaklanmaktadır [23].

AISI D2 soğuk iş takım çelik cıvata ovalama ve soğuk hadde makaraları, soğuk şekil verme, sac kesme, derin çekme, çapak alma kalıplarında, soğuk zımbalarda, plastik kırma bıçaklarında, ağaç işçiliği takımlarında, makas bıçaklarında kullanılır [3].

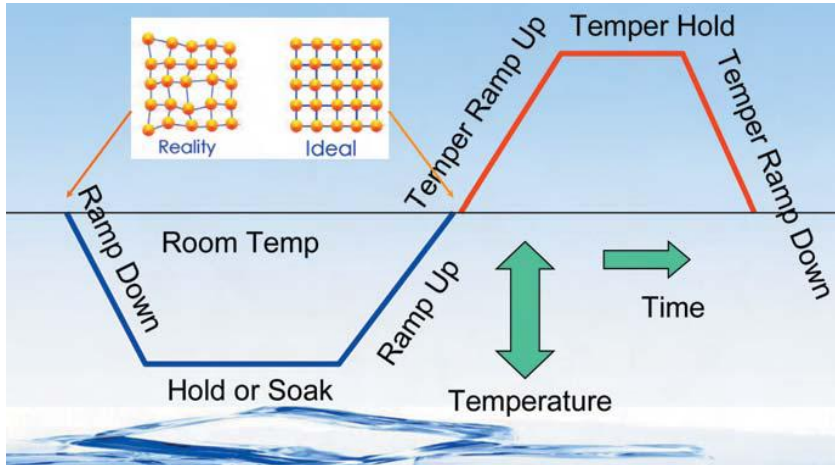
Çizelge 2.4. AISI D2 Soğuk iş takım çeliğinin kompozisyonu

	DIN Normu	AISI Normu	Kompozisyonu (%)						
1.2379	X155CrVMo12-1	D2		C	Cr	Si	Mo	Mn	V
			Min	1,003	11.00	0.10	0.70	0.20	0.70
			Max	1.60	13.00	0.60	1.00	0.60	1.00

2.9. Kriyojenik İşlem

Derin kriyojenik (cryogenic, sıfır altı) işlem, parçalardaki artık gerilimleri gidermek için kullanılan bir yöntemdir. Bu işlem uygulaması bilgisayar yardımı ile kontrol edilerek yapılır. Malzeme -196°C'ye kadar soğutulur. Soğutma işleminden sonra

önce yavaşça oda sıcaklığına getirilir, sonra oda sıcaklığının üzerine kadar ısıtılarak temperleme işlemi uygulanır. Kriyojenik temperlemede parçanın aşınma direnci, dayanıklılığı, çekme mukavemeti ve tokluk değerleri artıyor. Kriyojenik işlemle malzemenin mikro yapısı daha yoğun ve düzenli bir yapıya sahip olur. Bu işlem farklı malzemelere uygulanabilir. Endüstride kesici takımların aşınma dirençlerinin artırılmasında, üretimde kullanılan işlenecek malzemelerin tokluğunu artırma işleminde, akustik gitar tellerine kriyojenik işlem uygulanarak metalin rezonans frekansı artırılarak daha canlı rezonans elde etme işlemleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Normal ısıtıl işlem yapılarak malzemeye tokluk, sertlik, korozyon direnci, süneklik verilir. Çoğu malzeme ısıtıl işleminden sonra östenit yapısını korur. Kriyojenik işlem ile malzemenin mikro yapısı östenitten martenzite geçer ve malzemenin aşınma direnci artar [22].



Şekil 2.12. Kriyojenik işlem uygulanması

Yüksek alaşımlı çelik kesme takımları, bu işleminden sonra, kesme özelliğini uzun süre muhafaza ederler, daha az aşınır ve kırılmaya karşı dayanıklı olurlar. Endüstriyel kesme takımlarının kriyojenik ıslahı ile ilgili yapılan çalışmalarda kriyojenik işlem karbür kesme takımlarının çalışma ömürlerini büyük oranda arttırdığı saptanmıştır. Yapılan işlem yüzeysel değil de malzemeye tamamen nüfus ettiği için kesme takımlarının yeniden işlenip bilinmiş olmasında bile kriyojenik işlem etkisini yitirmiyor. Titanyum ve diğer metal malzemelerde ölçüsel kontrolü geliştiriyor. Kalaylama ve krom kaplama gibi yüzey koruma yöntemleriyle eşdeğer

performans sergiliyor. Yüksek yüzey gerilimine sahip alüminyumun, kriyojenik ıslah işleminden sonra ölçüleri değişmiyor ve yeni talaşlı imalata da hazır oluyor. Kriyojenik işlem naylon, teflon ve plastikler gibi sentetik malzemelerde de iyi sonuçlar veriyor.

Kriyojenik işlem, çeşitli parçaların performansını artırmak için uzay ve imalat sanayi, spor ve müzik aletleri, ateşli silahlar gibi alanlarda halen kullanılmaktadır. Son on yıl içerisinde kriyojenik işlem ile takım/sac kalıpları çeliklerinin tribolojik özelliklerini iyileştirmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Sac kalıpları, zımbalar, matkap uçları, parmak freze çakıları, rulmanlar, kamalr, krank milleri ve pistonlar, vb. için servis ömründe önemli artışlar tespit edilmiştir. Kontrollü kriyojenik işlem genellikle takım/sac metal kalıp çelikleri için konvansiyonel sertleştirme ve temperleme işlemleri arasında yapılmaktadır. Kriyojenik işlem kalıntı östenit miktarındaki belirgin bir düşmeden farklı olarak ikincil karbürlerin çökeltme davranışında önemli modifikasyonlara neden olmaktadır. Bundan dolayı kalıp çeliğinin tribolojik özellikleri iyileşmektedir. Kriyojenik işlemle takım/kalıp çeliklerinin aşınma direncinde iyileşme derecesi aktif aşınma mekanizmalarını ve biçimini kontrol eden aşınma deney şartlarına bağlıdır [35].

Kriyojenik işlem östeniti (demirin yumuşak fazı) martenzite (demirin sert fazı) dönüşümünü sağladığından malzemelerin aşınma direncini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Kriyojenik işlem bir kez uygulanan kalıcı bir işlemdir. Genellikle temperlemeden önce geleneksel ısıl işlemin sonunda yapılan ve malzemenin tüm kesitini etkileyen bir işlemdir. Bu işlem geleneksel ısıl işlemin yerini alacak bir işlem değil onu tamamlayıcı bir işlemdir. Endüstride kriyojenik işlem ile ilgili fazla teknik bilgi bulunmadığı için kullanımı çok yaygın değildir. Fakat birlikte Çin, Amerika ve diğer gelişmiş ülkelerdeki birtakım uzay, otomotiv ve elektronik sanayinde parçaların aşınma direncini ve boyutsal kararlılığını iyileştirmek için üretim hattına bu işlemi entegre etmişlerdir. Kriyojenik işlem malzemenin tabi tutulduğu işlem sıcaklıklarına bağlı olarak sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere sınıflandırılmaktadır [50]. Sığ kriyojenik işlemin yaygın uygulaması 5 saat için 193K sıcaklıkta mekanik bir dondurucuda numuneleri tutmak ve daha sonra oda sıcaklığına

bırakmaktır. Fakat derin kriyojenik işlemde malzemeler 1,26K/dak soğutma hızında oda sıcaklığından 77K'e kontrollü bir şekilde getirilmekte, 24 saat bu sıcaklıkta bekletilmekte ve sonradan 0,63K/dak hız ile tekrar oda sıcaklığına getirilmektedir. Derin soğuk sıcaklıkları elde etmek için ısı farkı çok yüksek olduğundan ve hızlı soğutma çatlaklara neden olacağından dolayı sıg kriyojenik işleme benzer bir şekilde 77 K'deki soğutucuya malzemeler doğrudan bırakılmazlar. Bu yüzden kontrollü süreç, çalışma sıcaklığı olarak sıvı nitrojen (LN₂) içeren iyi izole edilmiş bir işlem tankı içerisinde bilgisayar kontrolü kullanılarak gerçekleştirilmektedir [33].

Temperleme: Çeliğin tokluğunu arttırmak ve sertleştirme sonucunda oluşan iç gerilmeleri gidermektir. Ancak tokluktaki artış sertlikteki azalmaya neden olacağından temperleme işlemi bu iki karakteristiğin optimum kombinasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır. Temperleme aşağıdaki yöntemlerle gerçekleştirilir:

Normal yoldan sertleştirilmiş çelik temperleme için gerekli sıcaklığa yeniden ısıtılır ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir ve daha sonra havada soğutulur. Sıcaklığın sıkı bir kontrolü şarttır, bu amaçla özel temperleme fırınları kullanılır.

Sertleştirme işleminde çeliğin tamamıyla soğumasına izin verilmez ve çelik çekirdek hala kıvırmalı renkte iken su verme tankından alınır. Merkezdeki bu sıcaklık dışı sertleştirilmiş yüzeyin temperlenmesi için yeterlidir. Özellikle bu amaç için temizlenmiş yüzey uygun temper rengine ulaşır ulaşmaz çeliğe suda su verilmesiyle işlem sona erer.

Bu metotlardan ilki hem sertleşmenin, hem de temperlemenin daha iyi kontrolüne olanak sağlaması nedeni ile daha yaygın olarak kullanılır. Temperleme sertleşmenin hemen ardından uygulanmalıdır [7].

Ferrit: Karbonun, δ demir içerisindeki katı eriyiği δ ferrit olarak adlandırılır. Hacim merkezli kübik yapı (HMK) yapıya sahiptir. Karbonun ferrit içerisinde maksimum eriyebilirliği 1495 °C'de %0,09'dur.

Martenzit: Östenitleştirilmiş alaşımsız bir karbon çeliği numunesi su verilerek hızla oda sıcaklığına soğutulduğunda yapısı östenitten martenzite dönüşecektir. Alaşımsız karbon çeliklerindeki martenzit, hacim merkezli kubik veya hacim merkezli tetragonal demir içinde karbonun aşırı doymuş ara yer katı çözültisi oluşturduğu yarı kararlı bir fazdır. Buradaki tetragonallık hacim merkezli kübik birim hücresinin çarpılmasıyla oluşmaktadır [51].

Östenit: Karbonun demir içerisindeki katı eriyik östenit olarak adlandırılır. Östenit yüzey merkezli kübik yapı (YMK) yüzey merkezli kübik yapı kristal yapıya sahiptir ve karbonun östenitte katı eriyebilirliği ferritten çok fazladır. Östenit içerisinde karbon eriyebilirliği 1148 °C’de %0,8’e düşer. Karbon YMK kristal yapı içerisinde ferritte olduğu gibi arayer atomu olarak erir fakat bu yapı içerisinde erime HMK yapıdaki erimeden çok daha fazladır. Karbonun östenit ve ferrit içerisinde eriyebilirlik farkı çoğu çeliklerin sertleşebilirlik esasını oluşturmaktadır [23].

2.9.1 Kesici takımlarda kriyojenik işlem

Takım malzemelerine ısıl işlem uygulamak kesici takımların ömrünü artırmak için geçmişte yaygın olarak kullanılan yaklaşımdır. Geleneksel ısıl işlemi tamamlayıcı bir işlem olan kriyojenik işlem bilinen bir yöntem olmasına rağmen ısıl işlem ile karşılaştırıldığında doğru bir şekilde kullanılması başlangıç aşamasındadır. Kriyojenik işlem sırasında ortaya çıkan değişimler nedeniyle takım ömrünü artırmak için oda sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda (genellikle -196 C°) bir malzemeyi soğutma işlemidir [31].

Normal ısıl işlemle malzemenin yapısına yüzeysel bir etki edilirken kriyojenik işlemle malzemenin tamamına etki edilir. M2 HSS helisel matkaba derin kriyojenik işlem uygulanarak karbon çeliğinin delinmesinde matkap ömrü %77 ve %126 oranında arttırılmıştır [22].

Kriyojenik işlem, tungsten karbür uçlar ömrünü uzatmanın bir yolu olarak kabul edilmiştir. Kriyojenik işleme tabi tutulan torna ucunun aşınma direncin soğutma

sıvısı kullanarak ve kuru şartlarda etkisini araştırmak için çalışılmıştır. Piyasada bulunan kaplanmamış kare şekilli tungsten karbür uçlar ve -196 °C kriyojenik işlem uygulanmış uçlar sürekli ve kesintiyle işleme modu ile test edilerek ISO 3685-1993 göre uygulanmıştır. Uygun zaman aralığında takım ömrünü belirlemek için seçilen en uygun kriterlerde yanak aşınması (0,6mm) tespit edildi. Sonuçlar özellikle yüksek kesme hızlarında sürekli ve kesintili modların her ikisinde de soğutma sıvısı kullanılarak en iyi sonuçları kriyojenik işlem uygulanmış uçlarda elde edildiğini göstermiştir. Kesintili işleme modundaki takım ömrü sürekli işleme moduna göre daha iyi sonuçlar vermiştir [25].

2.10. Sertlik Ölçümü

Sertlik, malzemenin kendi yüzeyine sert ve batıcı bir uç üzerine kuvvet uygulanarak oluşturulan kalıcı deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Laboratuarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olup çoğunlukla aşağıdaki ifade ile bulunur. $Sertlik = \frac{\text{Uygulanan Kuvvet (yük)}}{\text{Meydana Gelen iz Alanı}}$ Sertliğin tanımına bakılırsa, sertlik ölçümünün iki adımda gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Bunlardan birincisi malzemenin deforme edilmesi, ikincisi ise malzemenin bu deformasyona karşı gösterdiği direncin ölçülmesidir. Bu direnç ise deformasyonun büyüklüğü ile tayin edilir. Deformasyon ya da iz ne kadar büyük ise sertlik o kadar küçük, iz ne kadar küçük ise direnç yani sertlik o kadar büyüktür. Burada sözü edilen izin oluşturulması ve oluşan izin büyüklüğünün ölçümü belirli standardize edilmiş koşullar altında ve standardize edilmiş metotlarla gerçekleştirilir[52].

Sertlik deneylerinde, malzemelerin yüzeyine batırılan bir cisme karşı gösterdiği direnç ölçülür. Bütün yöntemlerde batıcı bir cisim belirli bir kuvvetle (belirli bir yük altında) parça içerisine batırılır. Malzemenin sertliği uygulanan yüke bağlı olarak, ya örnek yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına, ya da batıcı ucun batma derinliğine göre belirlenir. Günümüzde en çok Brinell, Rockwell ve Vickers sertlik ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, bunlardan başka sertlik ölçme yöntemleri de vardır [52].

Brinell sertlik deneyinde sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılan bir bilye belirli bir yük ile malzemenin yüzeyine bastırılır ve malzemenin yüzeyinde meydana gelen izin çapı ölçülür. Uygulanan yük, malzemenin yüzeyinde oluşan izin küresel yüzey alanına bölünerek, Brinell sertlik değeri bulunur. Rockwell sertlik deneyinde ise, standart bir batıcı uç genelde 10 kg gibi küçük bir yük ile malzeme yüzeyine bastırılır ve oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Daha sonra yük yüksek bir değere çıkarılıp, tekrar önceki değerine indirilir. Uzun batma derinliğinde meydana gelen değişime göre Rockwell sertlik değeri belirlenir [52].

Vickers sertlik ölçme yöntemi en duyarlı sertlik ölçme yöntemidir. Daha uzun zaman almasına karşın, özellikle araştırma amacı ile mikro sertlikleri ölçmeye elverişlidir. Bu yöntemde kullanılan batıcı uç, kare tabanlı bir piramit şeklinde olup elmasan yapılmıştır. Piramit ucun tepe açısı 136 derecedir. Belirli bir F yükü ile malzeme yüzeyine bastırılan batıcı uç şekilde de görüldüğü gibi bir eşkenar dörtgen oluşturur [52]. Vickers sertliğinin birimi kgf/mm^2 'dir.

Rockwell Sertliği, Brinell ve Vickers sertlik ölçekleri gibi malzemenin deformasyonu ile gerçekleştirilen, belirli şartlar altında belirli şekillerde uçlar kullanarak izler oluşturup ve bu izlerin büyüklüklerini yine belirli şartlar altında ölçümünü gerçekleştirerek yapılan bir sertlik ölçüm türüdür. Rockwell sertlik ölçümü, Brinell ve Vickers sertlik ölçeklerindeki gibi izin çap ya da köşegen uzunlukları yerine ucun dalma derinliği ölçülerek bulunan bir sertlik değeridir. Malzeme üzerine oluşturulan plastik deformasyon miktarı yani ucun dalma derinliği ne kadar küçükse malzemenin sertliği o kadar büyüktür ve tam tersi de doğrudur. Rockwell Sertliği genellikle daha sert malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde kullanılan bir sertlik ölçeği olup yaygın kullanımı bu ölçeği son derece önemli hale getirmiştir [53].

2.10.1. Mikro sertlik ölçümü

Genelde sert ve kırılgan malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanılır. Vickers sertlik değeri, piramit şeklinde karşılıklı yüzeyleri arasındaki açı α , 136° olan batıcı elmas

ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana gelen izin büyüklüğü ile ifade edilir. Oluşan iz tabanı kare şeklinde tepe açısı da batıcı ucun aynısı (136°) olan piramit şeklindedir. Vickers sertlik değeri de uygulanan yükün oluşan piramit izin toplam yüzey alanına oranıdır [53]. Malzeme üzerine uygulanan üzerine uygulanan yük genellikle 1 kgf'den daha azdır. Yük ortalama 10 saniye uygulanır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Normal ısıtıl işlemle malzemenin yapısına yüzeysel bir etki edilirken kriyojenik işlemle malzemenin tamamına etki edilir. M2 HSS helisel matkaba derin kriyojenik işlem uygulanarak karbon çeliğinin delinmesinde matkap ömrü %77 ve %126 oranında arttırılmıştır. Aşınma oranı test sonuçları matkap ömrü testi ile uyumludur. Talaşların kimyasal analizi ve SEM analizi gözlemleri sonucunda, en fazla difüzyon aşınma etkili olmuştur. Difüzyon aşınma mekanizmasına karşı karbür takımın güçlenmesinde, takıma uygulanan kriyojenik işlemle karbür partiküllerinin yapısında meydana gelen iyileşmenin etkili olduğu tespit edilmiştir. Kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi ise bir diğer etken olarak belirlenmiştir [22].

Takım çeliklerinin aşınma direncinde iyileşme sağlanması için D. Das ve arkadaşları kriyojenik işlemin yararının keşfi için güncel bir araştırma yapmışlardır. Aşınma deney serileri farklı süreler için 77 °K de kriyojenik işleme tabi AISI D2 çelik numuneler üzerinde yapılmıştır. Farklı yük ve kayma hızları, yıpranmış yüzeylerin biçimleri ve aşınma kalıntılarının özelliklerine, sistematik olarak iyi aşınma direnci özelliği elde etmek için kriyojenik işlemin en uygun süresini değerlendirmek amacıyla incelemeler yapılmıştır. Aşınma deneyleri detaylı mikro yapı incelemeleri ile kalıntı östenit miktarını ortaya çıkarmak ve sertlik değerlendirmesi dışındaki ikincil karbür tanecikleri özellikleri ile desteklenmiştir. Sonuçlar açıkça kriyojenik işlem ile AISI D2 çelik için en iyi aşınma direncini elde etmek için var olan kritik bekleme süresini ortaya koymuştur. Bu malzemenin aşınma direncini sağlayan ince karbür parçacıklarının ve bunların olası büyümesinin, çökmesinin doğası tarafından açıklanmıştır. Bu açıklama ikincil karbürlerin sınıflandırılmasını desteklemek için yeni bir yaklaşımdır [18, 26].

Kriyojenik işlem, tungsten karbür uçlar ömrünü uzatmanın bir yolu olarak kabul edilmiştir. Kriyojenik işleme tabi tutulan torna ucunun aşınma direncin soğutma sıvısı kullanarak ve kuru şartlarda etkisini araştırmak için çalışılmıştır. Piyasada bulunan kaplanmamış kare şekilli tungsten karbür uçlar ve -196 °C kriyojenik işlem uygulanmış uçlar sürekli ve kesintiyle işleme modu ile test edilerek ISO 3685-1993

göre uygulanmıştır. Uygun zaman aralığında takım ömrünü belirlemek için seçilen en uygun kriterlerde yanak aşınması (0,6mm) tespit edildi. Sonuçlar özellikle yüksek kesme hızlarında sürekli ve kesintili modların her ikisinde de soğutma sıvısı kullanılarak en iyi sonuçları kriyojenik işlem uygulanmış uçlarda elde edildiğini göstermiştir. Kesintili işleme modundaki takım ömrü sürekli işleme moduna göre daha iyi sonuçlar vermiştir [25].

AISI D2 takım çeliği genellikle birden çok temperleme döngülerini takiben vakum sertleştirme yoluyla Henrik ve arkadaşları işlemine tabi tutmuştur. Sertleştirme ve temperleme işlemleri ile derin bir soğutma işlemi arasında işleme süresinin azaltılabileceğini ve son özellikleri ile boyutsal istikrarının geliştirebileceğini öne sürmüşlerdir. Sertleştirilmiş bloklar tekli ve çoklu tavlama adımlarının çeşitli kombinasyonlarına (520 ve 540 Co) ve derin soğutma işlemlerine (-90 -120 ve -150 Co) tabi tutuldu. En iyi boyutsal stabilite en düşük sıcaklıkta uygulanan derin soğutma işlemleri ile sağlandı [18, 27].

Bu çalışma Ti-6Al-4V alaşımının kuru delinmesinde iş parçasının yüzey doğrusalılığı ve deliklerin kalitesi, takım aşınmasının değişiminin kombine çalışmasına odaklanmıştır. Takım aşınmaları optik mikroskop ve SEM - EDS tekniği ile çalışılmıştır. Delik kalitesi geometrik doğruluk ve çapak oluşumu açısından tahmin edilmiştir. Yüzey düzlemselliği yüzey pürüzlülüğü, metalurjik değişimler ve mikro sertlik testleri çalışmalarını içermektedir. Cantero ve arkadaşları [18, 28], takım ömrünün bitiminde yıkıcı hatlara ulaştı, fakat önemli aşınma değerlerine daha öncesinde ulaşılmıştır.

Akıncioğlu yapmış olduğu çalışmada, kalıp uygulamalarında yaygın olarak kullanılan AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik daireselliği ve takım aşınma değerleri incelemiş ve elde ettiği bulguları değerlendirmiştir. CNC delik işleme merkezinde kuru delme şartlarında yapılan delme işlemlerinde 5 mm çapındaki TiN, TiAlN, ve Fire kaplamalı takımlar kullanmıştır. En iyi performans sırasıyla; en iyi sonuç Fire kaplamalı takım ile elde edilmiş ve bunu ikinci olarak TiN kaplamalı takım, üçüncü

olarak da TiAlN kaplamalı takım takip etmiştir. Ayrıca, kullanılan kesici takım türü, kesme hızı ve ilerlemenin delme performansında etkili olduğunu gözlemlemiştir [18].

Inconel 718'in delinebilirliği için kuru kesme koşulları altında optimum delme şartlarını tespit etmek için Kıvak [29] deneyler yapmıştır. Bu amaçla, süper alaşım Inconel 718'in kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisini analiz ederek, grafik ve resimlerle açıklamıştır. Kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde talaş kaldırmıştır. Kesme parametreleri olarak dört farklı kesme hızı 10, 12,5, 15, 17,5 m/min ve üç farklı ilerleme 0,05, 0,075, 0,1 mm/dev kullanmıştır. Bu kesme parametrelerini kullanarak 5 mm çapında matkaplarla 8 mm derinliğinde kör delikler delmiştir. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik çap ve daireselliklerini ölçmüş ve bu ölçümler ışığında kesici takımlar arasında mukayese yoluyla bir değerlendirme yapmıştır. Inconel 718'in kuru kesme şartlarında delinmesinde en iyi performans kaplamasız takımlardan alınırken en kötü sonuçlar ise TiAlN kaplı takımlardan almıştır. Yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında takım performansı ve delik kalitesinin düştüğünü tespit etmiştir.

Yapılan çalışma ile ER [3] sanayide yaygın olarak kullanılan ve islenilmesinde güçlüklerle karşılaşılan 1.2379 soğuk-ış takım çeliği, 1.2080 soğuk-ış takım çeliği, 1.2344 sıcak iş takım çeliği ve 1.2738 plastik kalıp çeliği gibi haddelenmiş malzemelerden ve islenmesi güç olan bu malzemelerin 55-58 HRC'ye sertleştirilmiş numunelerinden, PVD TiN kaplamalı alüminyum oksit ve titanyum karbo-nitrür tabanlı seramik, PCBN, CVD TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı sert metal, PVD TiAlN kaplamalı sermet, PVD TiN kaplamalı sert metal, kaplamasız sert metal, kaplamasız sermet gibi 7 farklı kesici uç kalitesi ile ve seçilen farklı işleme değişkenleri kullanılarak, ISO 8688-1 standardında belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak talaş kaldırılmıştır. Değişik parametrelerle parça islenirken kesici takımında oluşan aşınma ölçülmüş, aşınma mekanizmaları incelenmiş ve sonuç olarak farklı malzeme

çiftlerine ait takım ömrü grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla deneylerde kullanılan malzeme çiftleri için “n” ve “c” sabitleri belirlenmiştir. Aynı zamanda işlenen malzemeler ve kesiciler için en uygun kesme koşulları tespit edilmiştir. Bu çalışma ile endüstri uygulamalarında kullanılan takım ömrü değerlerinin tespiti için önemli bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Değişik kesme parametreleri, matkap kaplamaları ve matkap uç açılarının, kesme sıcaklıkları ve kesme kuvvetlerine etkisi kaynak [6] tarafından araştırılmıştır. Tezde, deneysel ve nümerik yaklaşımlar kullanılmıştır ve sonuçlar göstermektedir ki; kuru delme şartlarında kesme sıcaklığı ve kesme kuvveti olarak ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında iyi bir uyum vardır. Kuru delme deneyi, 10 mm çapında değişik kaplamalı matkaplarla, birkaç farklı kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde yapılan kuru delme deneyinde iş parçası olarak Al 2024 alaşımı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünde termokupl metodu ve kuvvet ölçümünde ise dinamometre kullanılmıştır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarından yapılan yapısal bileşenler uzay endüstrisi için hayati öneme sahiptir. Ayrıca uzun ömür, sağlamlık ve hafifliğin istendiği diğer taşıma ve inşaat alanlarında da büyük önem taşımaktadır. Delme, havacılık, uzay ve otomotiv endüstrilerinde oldukça yaygın kullanım alanı olan bir imalat işlemidir. Ultrasonik imalat, elektrolitik imalat, aşındırıcı jet ile işleme ve lazer kesme gibi modern imalat yöntemleri üretim endüstrisinde geniş uygulama sahasına sahip olmasına rağmen, matkap ile delik delme ekonomikliği ve basitliğinden dolayı hala en yaygın imalat yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada Kurt ve arkadaşları [30] Al 2024 alaşımının DLC kaplanmış matkaplarla delinmesi esnasında, kesme parametrelerinin ve matkap çapındaki değişimin delme sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Kesme sıcaklığını ölçmek için termokupllar ve kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler dinamometre ve Pürüzlülüğü ölçmek için ise MARH- erthometer kullanılmıştır.

Son birkaç yıldır farklı malzemelere kriyojenik işlem uygulamasında artan bir ilgi vardır. Araştırmalar kriyojenik işlemin ürün ömrünü artırdığı ve çoğu durumlarda

gerilim giderme gibi ilave nitelikler sağladığını göstermiştir. Kesici takımlar alanında yüksek hız çelikleri (HSS) ve orta karbonlu çelikleri içeren takım çelikleri üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Kriyojenik işlemin HSS takımların servis ömrünü ikiye katlayabildiği ve aynı zamanda eş zamanlı olarak sertlik ve tokluğunu artırdığı bildirilmiştir. Tungsten karbür gibi kesici takım malzemelerine kriyojenik işlem uygulaması henüz geniş bir şekilde çalışılmamıştır. Çeliğin kendisi gibi sert malzemeler işlendiğinde tungsten karbürün HSS'den çok daha etkin olduğu kanıtlanmıştır. Kriyojenik işlemler HSS takımların servis ömrünü ikiye katlayabiliyorsa, bu sonuç tungsten karbür takımlar içinde muhtemelen geçerli olabilmektedir.

Kriyojenik işlemin birçok kesici takımın ömrünü uzattığı bilinmektedir. Bu güne kadar sadece takım çelikler için kriyojenik işlem uygulanması ile ilgili detaylı çalışmalar yapılmıştır. Yaygın olarak kullanılan lar ile ilgili bu konu ile ilgili fazla çalışma bulunmamaktadır. Yong ve arkadaşları bu çalışmalarında belli çeliklerin ortogonal tornalanması sırasında kriyojenik proses uygulanmış ve uygulanmamış takım uçları arasındaki takım performanslarını değerlendirmiştir. Böylece çeliğin tungsten karbür kesici takımla tornalanmasında kriyojenik işlemin etkileri belirlenerek en ideal kesme şartları belirlenecektir. Elde edilen verilere göre bazı şartlarda kriyojenik işlemin takım ömrüne olumsuz etki ettiği gözlemlenmiştir. Fakat aralıklı işlemede kriyojenik işlem uygulanmış takımların daha performanslı olduğu tespit edilmiştir.

Kriyojenik işlemin kesici takımların aşınma direnci iyileştirdiğine şüphe yoktur. Fakat uzun süreli sürekli kesme operasyonları esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalan kriyojenik işlem uygulanmış takımlar üstün özelliklerini kaybedebilmektedirler. Kısa periyotlarda sürekli kesme yapıldığında kriyojenik işlem uygulanmış takımlar kriyojenik işlem uygulanmamış takımlardan daha iyi performans göstermiştir [32].

Tungsten karbür-kobalt (WC-Co) alaşımları veya bir kompozit kobalt bazlı katı solüsyon ile kuşatılan tungsten karbür tanelerden oluşmaktadır. Metal bağlayıcı

kobalt malzemeye tokluk verirken karbür taneleri aşınma direnci ve sertlik vermektedir. WC-Co alaşımlarının aşınma direnci ve kırılma tokluğu birbiri ile ters orantılıdır. Karbür taneleri mikrometre boyutundadır. Bu karışım genellikle bir döner çırpıcı veya bilyeli değirmen içerisinde karıştırılmaktadır. Bazen titanyum veya tantalyum oksit, yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı artırmanın yanı sıra mekanik özellikleri iyileştirmek için eklenmektedir.

Thakur ve arkadaşları bu çalışma ile sementit tungsten karbür (WC) kesici takımların bazı mekanik özelliklerini geliştirmeye çalışmaktadır. Bu amaçla tungsten karbür–kobalt (WC–Co) uçlara kontrollü kriyojenik proses, ısıtma ve basınçlı hava ile soğutma, ısıtma ve yağ banyosunda su verme gibi işlemler uygulamışlardır. Bu farklı işlemler sonucunda WC–Co uçların tepkisi, tarayıcı elektron mikroskobu mikro grafiği aracılığıyla mikro sertlik, mikro yapı değişimleri ve X ışınları kırınımı aracılığıyla Co madeni faz değişimleri bakımından değerlendirilmiştir. Kontrollü kriyojenik işlem aşınma direncini iyileştirmiştir. Bu da karbür partiküllerini sıkıca tutan kobalt metal bağlayıcının fiziksel değişimlerinden yani yoğunlaşmasındandır. Sonraki iki işlemde tungsten karbür partiküllerinin aynı dağılımlı olduğu mikro yapıdan gözlenmiştir. XRD sonuçları W_3CO_3C ve W_6CO_6C gibi karmaşık fazların oluştuğunu göstermiştir. Bu karmaşık fazların setliği arttırdığı gözlemlenmiştir [34].

Bu makalede Wang ve arkadaşları kuru kesme ve kriyojenik soğutma şartlarında gelişmiş yapısal seramiklerin (silikon nitrür) tornalanmasında CBN takımların aşınma karakteristiklerini araştırmıştır. Kesici takımın üzerine monte edilen bir düzenek aracılığıyla kriyojenik soğutucunun sistemde sirkülasyonu ile takım üzerinde oluşan kesme sıcaklıklarını kontrol etmek için bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem kesme işleminde takım aşınmasını kabul edilebilir bir aralıkta tutmak için takımın sıcaklık dayanımını koruyacaktır. Deneyler takım aşınmasının kriyojenik soğutma ile önemli derecede azaldığını göstermektedir [36].

Kriyojenik işlem yaklaşık 190 K ve yaklaşık 80 K aralığında tanımlanan sıcaklığa kadar bir parçayı kademeli soğutma işlemidir. Malzeme belirli bir süre bu sıcaklıkta tutulur. Daha sonra oda sıcaklığına kademeli olarak getirilir. Bu işlem mekanik

özelliklerde (genellikle sertlik ve aşınma direnci) iyileşme sağlamak amacıyla yapılır. Kriyojenik işlem 60'lı yılların sonuna kadar numune doğrudan sıvı nitrojen içerisine daldırılarak yapıldı. Bu işlemin sonucunda numunede katastrofik çatlaklar meydana gelmekteydi. 1960'lı yılların sonlarında geliştirilen soğutma ve ısıtma hızları üzerine sıcaklığın etkileri belirlenerek kriyojenik işlem ile çok düşük sıcaklıklara kadar etkin ve çatlaksız kriyojenik işlem gerçekleştirilebilinmiştir. Makine takımlarının sertlik ve mukavemette gözle görülür bir iyileştirme sağlayan kriyojenik işlem hakkında ilk araştırma sonuçları 1980'lerde yapılmıştır. 1990'lardan sonra kriyojenik işlem yarış motor parçaları, özellikle petrol kuyusu açma ekipmanları, rulmanlar, dişliler, cerrahi ve diş ekipmanları gibi birçok farklı ürüne uygulanmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış malzemenin mikro yapında kalıntı östenitin martenzite tamamen dönüşmesi, iyi dağılmış karbür çökeltisi, kalıntı gerilme durumunun değişmesi gibi bazı iyileşmeler sağlanmıştır.

Baldissera ve Delprete bu çalışmasında konvansiyonel sementasyondan sonra gerçekleştirilen derin kriyojenik işlem ve temperlemenin farklı sıralarıyla elde edilen sonuçları arasında karşılaştırma yapmıştı ve bekleme zamanı etkisi, ön temperleme ve derin kriyojenik işlem durumu için analiz edilmiştir. Sonuçlar kriyojenik işlem uygulanmış malzemeler için önemli sertlik artışları (+0.6 HRC'den +2.4 HRC'ye kadar) ve 11% çekme dayanımı artışı sağlanmıştır. Çekme deneyleri esnasında elastikiyet modülünde önemli artışlar ölçülmüştür [37].

Bramipour, bu çalışmasında Flex-R ve Hedstrom eğelerinin aşınma direnci üzerine kriyojenik işlemin etkisini araştırmıştır. Eğeler Instron test cihazına bağlanarak 1,5 mm kalınlığında dentin plakasına karşı 300 defa ileri geri harekete (6 mm hareket aralığı, 600 mm/dk hız, 1N yük) maruz bırakılmıştır. Aşınmaları, dentin işlemeden önce ve sonra (1,5 mm kalın) akrilik numunelerdeki kanalların kesme derinliği (eğenin konumunu değiştirmeksizin) karşılaştırılarak saptanmıştır. Bütün eğelerin verimli kesmesi dentin üzerindeki aşınmadan ($p < 0.0001$) sonra önemli derecede azaldığını varyans analizi göstermiştir [38].

3.1. Literatürün Genel Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmalar incelendiğinde kriyojenik işlemin bazı alanlarda geleneksel ısıtma işlemine alternatif bir işlem olduğu anlaşılmaktadır. Geleneksel ısıtma işlemde parçaya süneklik, tokluk, korozyon direnci, sertlik, verilmesine rağmen birçok çelik malzeme ısıtma işleminden sonra östenit mikro yapısını korur. Kriyojenik işlem ile malzeme mikro yapısı östenitten martenzite geçtiği sonucuna varılmıştır. Martenzit yapısındaki malzemenin aşınma direncinin artmasından dolayı kesici takım ve aşınmaya maruz kalan araçların kullanımında istenen bir özelliktir.

Endüstriyel kesme takımlarının kriyojenik ısıtma konusunda yapılan birçok çalışmada kesme takımlarının ömürlerinde önemli bir artış sağlandığı gözlemlenmiştir. Titanyum ve bazı metal malzemelerde ölçüsel kontrolü geliştiriyor ve krom kaplama kalaylama gibi yüzey koruma yöntemleriyle aynı görevi yapabildiği ispatlanmıştır.

Geleneksel ısıtma işlemine göre bazı üstünlüklerinin bulunmasına rağmen özellikle de ülkemizde fazla bilinmeyen ve kullanılmayan bir işlemdir. Bu konuda yapılan akademik çalışmalar ve bilimsel araştırmalar ile kriyojenik işlem yakın gelecekte endüstriyel uygulamalarda daha yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada kriyojenik işlemin takımın performansını arttırdığı sonucuna varılarak Akıncioğlu'nun [18] TiN, TiAlN ve Fire'kaplamalı takımlarla AISI D2 malzeme üzerine yapmış olduğu çalışmadan farklı olarak derin (-196 C°) kriyojenik proses uygulanmış kaplamasız karbürle, temperleme uygulanmış kaplamasız karbür takımlarla, kaplamasız karbür takımların delme performansı, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik, dairesellik hata oranları ve takım aşınması bakımından değerlendirilerek takımda iyileştirmeler sağlamak amaçlanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde kaplamasız tungsten karbür (K), kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız tungsten karbür (KR) ve kriyojenik işlemden sonra temperleme uygulanmış kaplamasız tungsten karbür (KRT) ile delinmesinde farklı kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve talaş oluşumu üzerindeki etkisi incelenerek en uygun kesme parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

4.1. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri ve Kesici Takımlar

Deneylerde Guhring firmasına ait üç farklı grup (K, KR, KRT) takım kullanılmıştır. Birinci grup 5 mm çapında kaplamasız (K) Tungsten Karbür matkaplardır. İkinci grup kaplamasız karbür (KR) takıma kriyojenik işlem uygulanmıştır. Üçüncü grup takımlar ise kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız karbürlere ek olarak temperleme (KRT) uygulanmıştır. Günümüzde takım teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte takımlara kaplama, ısıt işlem gibi farklı işlemler uygulanarak takımların kesme performansları arttırılmaktadır. Takım üreticilerinin ürettiği farklı takım türleri (TiN, TiAlN vb.) ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [18]. Son yıllarda yaygınlaşan bir ısıt işlem türü olan kriyojenik işlemin kesici takımların aşınma dirençlerini ve kesme performanslarını arttırdığı bilinmektedir. Bu çalışmada kaplamasız karbür (K) takımlara geleneksel olmayan bir ısıt işlem (kriyojenik işlem) uygulanarak takımların kesme performansları incelenerek takımların performansları değerlendirilmiştir.

Delik çapı 5 mm olarak belirlenmiştir. Yapılan ön deneylerde delik derinliği sırasıyla 10, 9, 8 mm denenmiştir. Bu değerler talaşın dışarı atılmasının zorlanması nedeniyle takımların kırılmasına sebep olmuştur. Karbür takımlarda kesme hızının yüksek olmasından dolayı kaldırılan talaşlar dışarı hızlı atılamayarak talaşın sıkışarak kırılmasına yok açmıştır. Delik derinliği 7 mm olarak seçilmiştir [18,29]. Deneylerde kullanılan Guhring firmasının DIN 6539 standard numaralı kaplamasız karbür (WC) matkabına ait değişkenler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

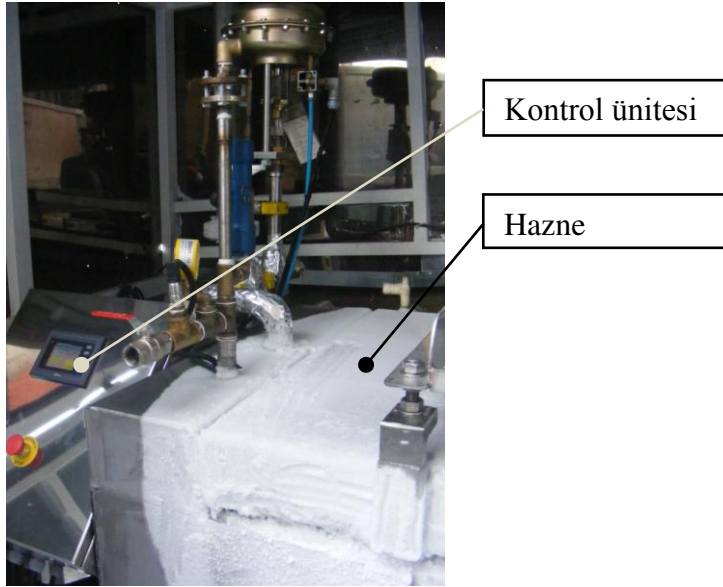
Çizelge 4.1. Kaplamasız karbür matkap özellikleri

Takım Türü	Helisel Matkap
Çap	5 mm
Standard	DIN 6539
Takım Malzemesi	Kaplamasız Karbür (K) Kriyojenik (KR) Kriyojenik + Temper (KRT)
Tüm boy	62 mm
Helis Boyu	26 mm
Helis Açısı	35°
Uç Açısı	135°

Delme deneylerinde kullanılacak kesme hızı, ilerleme hızı, delik derinliği, devir sayısı yapılan ön çalışmalar ve guhring firmasına ait katalog incelenerek belirlenmiştir. Literatür araştırmalarında delme ile ilgili benzer çalışmalar incelenerek (Akıncıoğlu) [18] elde edilen deneysel sonuçların ileride yapılacak diğer çalışmalarda karşılaştırma yapmak amacıyla ve incelemiş olduğumuz takım katalogu ışığında deneylerde 4 farklı kesme hızı (50, 55, 60, 65 m/dk), ile 2 farklı ilerleme hızı (0,063 ise 0,08 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme hızı ve ilerleme hızları katalog değerlerinin altında ve üstünde bir değer alınarak düşük ve yüksek değerlerin içinden en uygun hızlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde 8 adet kaplamasız karbür matkap (K), 8 adet kriyojenik uygulanmış kaplamasız karbür (KR), 8 adet kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız karbür matkap (KRT) üzerine temperleme uygulanmış takım olmak üzere toplam 24 matkap kullanılmıştır.

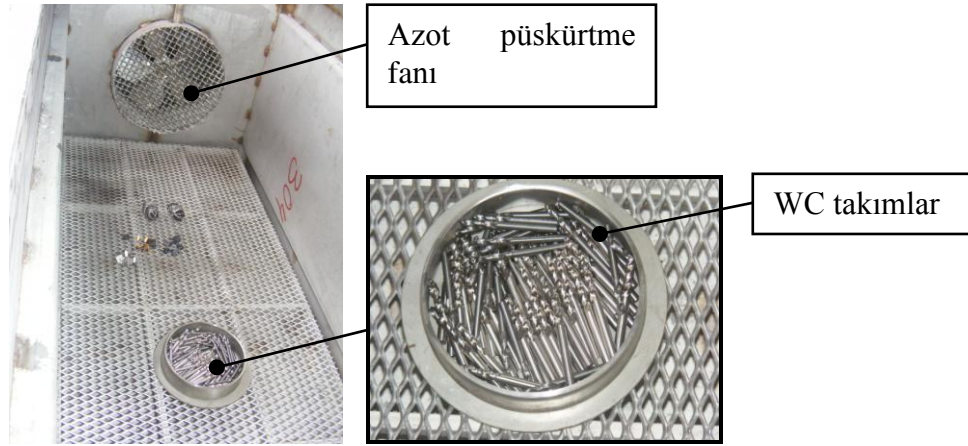
4.2. Kriyojenik İşlem ve Temperleme

Takımların ve malzemelerin aşınma direncini artırma amaçlı uygulanan kriyojenik işlem soğutularak yapılan bir ısıtma işlemidir. Bu işlem sıvı azot buharlaştırılarak -196 C° ısıyla fanlardan hazneye buhar halinde püskürtülmesi ile yapılmaktadır.



Resim 4.1. Kriyojenik işlem sistemi

Kriyojenik işlem uygulanacak takımlar hazneye uygun şekilde yerleştirilmiştir.



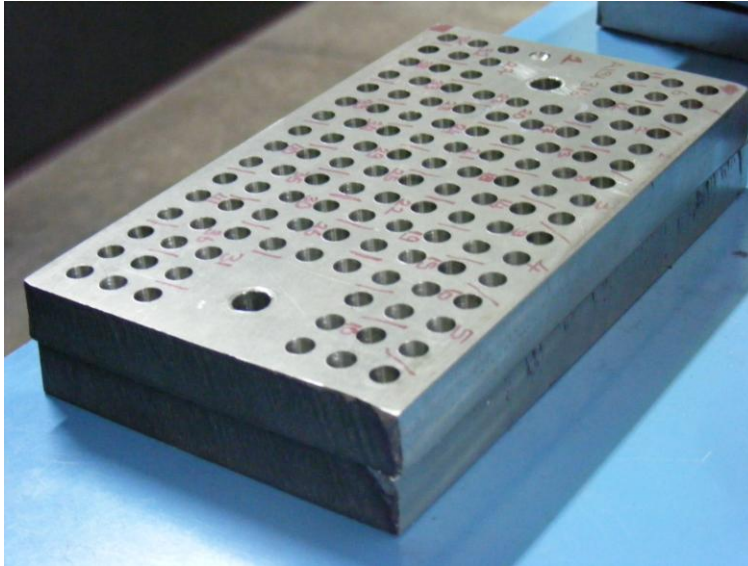
Resim 4.2. Kriyojenik işlem haznesi

Takımlar uygun bir şekilde hazneye yerleştirildikten sonra kapak sıkıca kapatılmış ve ani soğumadan takımın mikro yapısında meydana gelecek mikro çatlakların oluşmasını engellemek amacıyla, cihazın kontrol ünitesinden hazırlanan soğuma programı ile takımlar kademeli olarak soğutulmuştur. Yapılan soğutma işleminin sonunda takımlar kademeli olarak oda sıcaklığına getirilmiştir.

Kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperleme işlemi ile geleneksel sertleştirme işleminde gözlenmeyen eta karbürler çelik matrisinde çökelir, östenitin giderilmesi ve eta karbür çökmesine bağlı olarak malzemenin maksimum aşınma direnci kazanımı sağlanır. Bu amaçla kriyojenik işlem uygulanmış takımların bir kısmına ek olarak temperleme yapılmıştır. Oda sıcaklığındaki kriyojenik işlem uygulanmış takımlara +200 C°'de temperleme yapılarak farklı bir takım türü (KRT) elde edilmiştir.

4.3. Deney Numuneleri

Delme deneyleri yapılırken oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için numunenin dinamometre üzerine uygun şekilde monte edilmesi gerekmektedir. Delme esnasında numunenin titreşerek yanlış bir ölçüme sebebiyet vermemesi için 170x100x12mm ölçülerde hazırlanan AISI D2 numune dinamometre üzerine sağlam bir şekilde bağlanmıştır.



Resim 4.3. AISI D2 deney malzemesinin boyutları

4.4. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde yüksek aşınma direnci ve tokluğu nedeniyle şişirme takımlarında, ekstrüzyon, zımbalarda, madeni eşya imalatında, baskı plakalarında, baskı

plakalarında, birçok kalıbın yapımında yaygın olarak kullanılan AISI D2 (DIN 1.2379) soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çeliğin kimyasal bileşimlerinin analizi için spektra ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Bulut Makine HB-3000B marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik değeri 21 HRc olarak ölçülmüştür.



Resim 4.4. Bulut Makine sertlik ölçüm cihazı

Malzemenin yapısının homojen dağılmadığı ve ölçüm cihazından kaynaklanabilecek hatalar göz önüne alınarak sertlik ölçümü malzeme üzerinden 5 farklı alandan yapılan ölçümlerin ortalama değeri alınarak yapılmıştır. Numuneye ait ortalama sertlik değeri 21 HRc olarak ölçülmüştür.



Resim 4.5. Spektra analiz cihazı

Deneylerde kullanılacak olan AISI D2 malzemenin kimyasal bileşenlerinin standartlarda belirtilen aralıklarda olup olmadığını kontrol edebilmek ve her firmanın ürettiği aynı cins malzemenin kimyasal bileşimlerinin oranındaki küçük farkların bulunabileceği göz önüne alınarak kimyasal bileşen ölçümleri yapılmıştır. Numuneye ait kimyasal içerik ölçümleri OBLF marka spektra ölçüm cihazında yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen malzemeye ait kimyasal bileşimler Çizelge 4.2’ te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

%Cr	%C	%V	%Mo	%Mn	%Si
11,88	1,003	0,713	0,693	0,271	0,134

Ölçümler sonucunda elde edilen kimyasal bileşimlerin AISI D2 malzemenin standartlarında belirtilen aralıklarda olduğu tespit edilmiştir.

4.5. Deneyde Kullanılan Takım Tezgâhı

Delme deneylerini yapmak için Johnford marka CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dik işleme merkezine ait özellikler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Johnford Dik İşleme Merkezine ait teknik özellikler

Maksimum devir sayısı	8000 dev/dk
Tezgah gücü	10 KW
Ölçü hassasiyeti	0,001 mm
İşletim sistemi	Fanuc
x, y, z eksen	600x500x600 mm

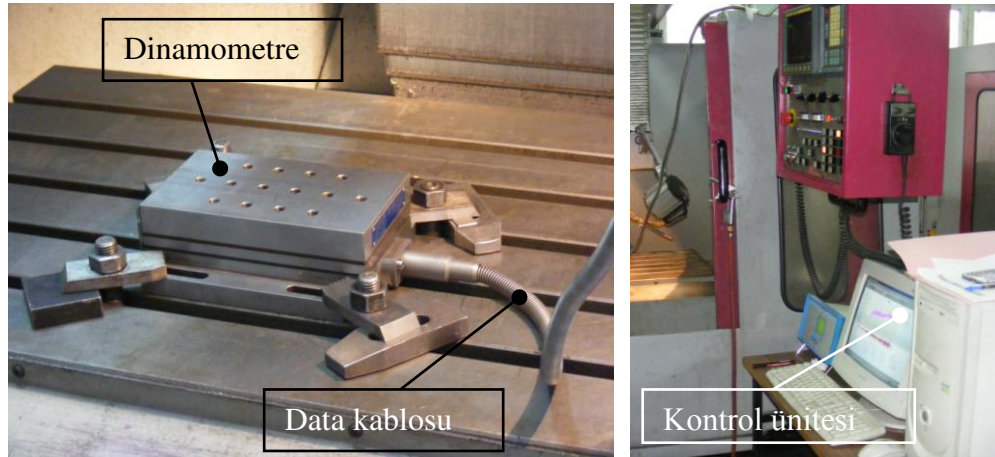


Resim 4.6. Johnford marka dik işleme merkezi

4.6. Kesme Kuvvetleri Ölçümü

Kesme kuvvetlerini ölçmek için dinamometre dik işleme merkezinin tablası üzerine bağlama pabuçları yardımı ile sabit bir şekilde bağlanmıştır. Yapılacak deneylerde sapmaları en aza indirebilmek amacıyla dinamometre tezgahın tablasına titreşim yapmayacak şekilde bağlanmıştır. Deney numunesi dinamometre üzerindeki bağlama

delikleri aracılığıyla dinamometre üzerine cıvatalar yardımıyla bağlanmıştır. Kesme kuvvetleri ölçümleri Kistler 9257B dinamometre ile yapılmıştır.



Resim 4.7. Kistler dinamometrenin tezgaha bağlantısı

Kesme kuvvetini ölçmek için kullanılan Kistler (Çizelge 4.4) marka dinamometre Resim 4.7’teki gibi bağlama pabuçları yardımı ile bağlanmıştır.

Kesme kuvvetlerini ölçebilmek için her bir parametre için takımlarla üç delik delinmiştir. Delinen delikler esnasında ölçülen üç kesme kuvvetinin ortalama değeri alınmıştır. Böylece kesme kuvvetini etkileyecek titreşim, malzemenin homojen olmaması ve takımdaki ani aşınmalardan kaynaklanacak yanlış ölçümlerin önüne geçilmek istenmiştir. Delme esnasında ölçülen her bir ölçüm deney numarasına göre kaydedilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar grafiklere dökülerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

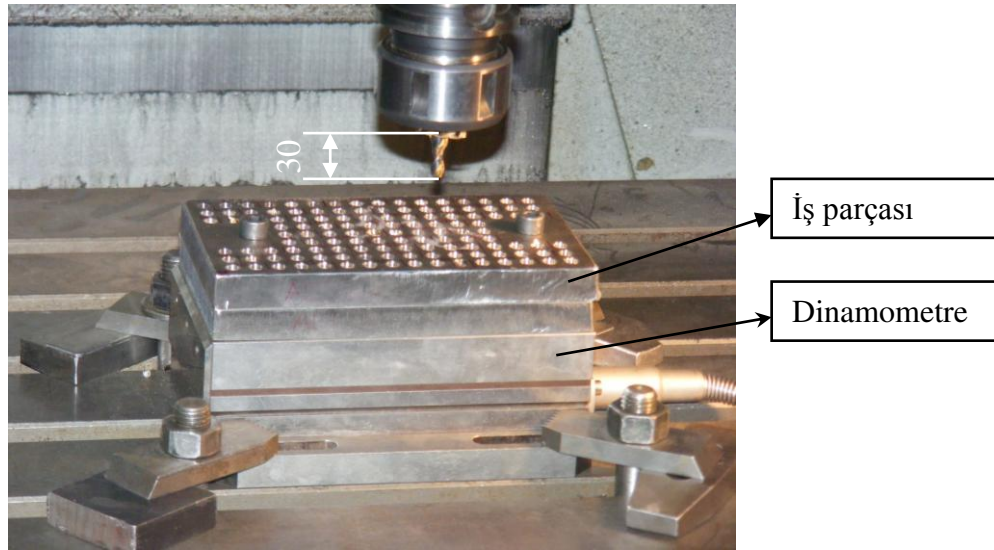
Çizelge 4.4. Kistler dinamometrenin teknik özellikleri

Tepki verme (N)	<0,01
Kuvvet aralığı (kN) (Fx, Fy,Fz)	-5...10
Çalışma sıcaklığı (C°)	0...70
Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy	-7.5
Hassasiyet (pC/N) Fz	-3,5

Çizelge 4.4. (Devamı) Kistler dinamometrenin teknik özellikleri

Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0,5 FSO
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
20 °C'daki yalıtım direnci (Ω)	> 10 ¹³
Kapasitans (pF)	220
Doğal frekans $f_0(x,y,z)$ (kHz)	3,5
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7,3

Deney numunesinin boyutları tespit edilirken dinamometrenin bağlama ölçüleri esas alınmıştır. Kesme kuvvetlerini etkileyecek tüm ayrıntılar minimize edilmeye çalışılmıştır. Takım bağlama boyunun farklı bağlanmasından oluşabilecek farklı titreşimin kesme kuvvetleri ölçümünü etkileyebileceği düşünülerek matkap ucu ile takım tutucu arasındaki mesafe tüm matkaplarda 30 mm alınmıştır.



Resim 4.8. İş parçasının dinamometreye bağlanması

Deney numunesinin dinamometreye bağlanış şekli Resim 4.8'da ifade edilmiştir.

4.7. Aşınma Deneyleri

Farklı takımlarda meydana gelen aşınmaların tespit edilmesi için aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde FIRST marka CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır.



Resim 4.9. Aşınma deneylerinde kullanan tezgah

Üç farklı takım türüyle K, KR, KRT (kaplamasız karbür, kaplamasız karbüre kriyojenik işlem uygulanmış ve kriyojenik işlem sonrasında temperleme uygulanmış takım) 65 m/dak kesme hızı ve 0,08mm/dev ilerleme hızında sırasıyla 300, 400 ve 500'er delik delinmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan malzeme sarfiyatı düşünülerek yüksek kesme hızı (65 m/dak) ve ilerleme hızında (0,08mm/dev) kullanılmıştır. Farklı sayılarda delinen delikler sonucunda takımda meydana gelen takım aşınma tiplerini ve miktarlarını tespit edebilmek için matkapların kesici ağzından sem görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüleri elde etmek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ölçümler takımların aşınma miktarlarını iyi görebilmek amacıyla uygun görünüş olan alından yapılmıştır.



Resim 4.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Aşınma deneyleri sonucunda takımlardaki aşınma değerlerini görüntülemek için kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobuna (SEM) ait görüntü Resim 4.10'da verilmiştir. Takımlardaki aşınma türleri, miktarı ve takımdaki konumunun net anlaşılabilmesi amacıyla takımlar ortalama 20x ölçeğinde yaklaştırılmıştır.

4.8. Delik Çapı ve Delik Sapma Değeri Ölçümü

Takımların delme performansına ve seçilen parametrelerin uygunluğuna göre deliklerin daireselliklerinin değişeceği göz önüne alınarak deliklerin dairesellik ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen deliklerin dairesellik oranını tespit etmek için delik çap ve dairesellik ölçümleri Mitutoyo marka üç boyutlu CMM (Coordinat Measuring Machine) tezgahında yapılmıştır. Tek noktadan alınacak ölçümlerin sonuçları olumsuz etkileyeceği düşünülerek her bir deliğin farklı 10 noktasından ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Resim 4.11. CMM cihazı

CMM tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Mitutoyo CMM tezgahının teknik özellikleri

Ölçme hassasiyeti	0,0001 mm
Ölçüm alanı x, y, z	505, 405, 405 mm
Maksimum ölçüm hızı	8 mm/s
İş mak. yükseklik	545 mm
Parçası mak. ağırlık	180 kg

4.9. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Takımın performansı ve kesme parametrelerinin seçimi yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen doğru takımı ve en uygun parametreyi belirlemek için yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ölçümün yapılabilmesi için 5 mm çapındaki delikler merkezinden aksenal olarak tel erozyon tezgahı yardımı ile kesilmiştir. Pürüzlülük ölçümü Mitutoyo Surftest SJ-301 marka taşınabilir pürüzlülük ölçüm cihazında yapılmıştır. Doğru veri elde edebilmek için her delik için üç farklı yüzeyden pürüzlülük ölçümü yapılarak ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

4.10. Miko Sertlik Ölçümleri

Takım türlerindeki plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu direnci tespit etmek için mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. WC takımlara uygulanan kriyojenik işlem, ve temperleme işlemi ile elde edilen üç farklı takım türündeki (K, KR, KRT) sertlik değeri ölçülmüştür. Bu ölçümler Leica VMHT marka mikro sertlik cihazında yapılmıştır. Takımların yüzeyinde bulunan 4 farklı noktadan mikro sertlik değeri ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Ölçümler esnasında 0,2 kgf yük, 10 saniye uygulanarak sonuçlar alınmıştır. Mikro sertlik ölçümleri Vickers (HV) ölçeğinde yapılmıştır.



Resim 4.12. Mikro sertlik ölçümü yapılan Leica marka cihaz

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı takım türü (K, KR, KRT) ve parametreler ile delik kalitesini belirleyen kesme kuvvetleri, delik dairesellikleri, delik sapma değerleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması sonuçları değerlendirilerek en uygun kesme şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

Delik kalitesine etki eden üç farklı değişken kullanılmıştır. Bunlar üç farklı takım türü (K, KR, KRT), iki ilerleme (0,063-0,08 mm/dev) ve dört kesme hızı (50, 55, 60, 65 m/dk) olarak belirlenmiştir. Kullanılan farklı parametrelerine göre en uygun delme performansı gösteren kesme hızı, ilerleme, takım bileşenini belirlemek amaçlanmıştır.

5.1. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Talaş kaldırma işleminde talaşı iş parçasından ayırmak için büyük bir güce gereksinim vardır. Günümüzde kesici takımlar tezgah gücünü çok daha etkili kullanmalarının yanında yüksek işleme hızlarında çalışırlar. Talaş kaldırmak için gerekli olan güç ile kesme kuvvetleri arasında bir ilişki vardır. Talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan çok büyük basınç ve sürtünme çeşitli yönlerden kesici uç üzerine etkiyen kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olur [7].

Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü delme parametreleri, efektif takım açılarını doğrudan etkilemektedir. İlerlemenin artması, helis açısını artıracak ve boşluk açısını azaltacaktır. Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeye sürtünmesini artırarak sürtünme kuvvetlerini dolayısıyla moment değerini artıracaktır [18].

Radyal kesme kuvveti bileşeni F_c delme işlemlerinde son derece önemlidir. Matkapın kesme kabiliyeti talaş kaldırmak için gerekli kuvvetin büyüklüğüne etkide bulunur ve eksenel kuvvet gereksinimi matkap çapı arttıkça artar [7]. AISI D2 soğuk iş takım

çeliği delinirken dört farklı kesme hızı ile iki farklı ilerleme miktarı kombinasyonu ile üçer delik delinmiştir. Delinen her delik için ölçülen kesme kuvvetlerinin ortalaması alınmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçümü dinamometre yardımı ile yapılmıştır. Delme esnasında ölçülen kesme kuvveti değerleri grafikler haline getirilmiştir. Kesme kuvveti değerleri farklı iki ilerleme hızında (0,063 – 0,08 mm/dev) ve üç farklı takım türünde (K, KR, KRT) ölçülen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırarak yapılmıştır.

5.1.1. Kaplamasız karbür (K) takımında kesme kuvvetlerinin değerlendirmesi

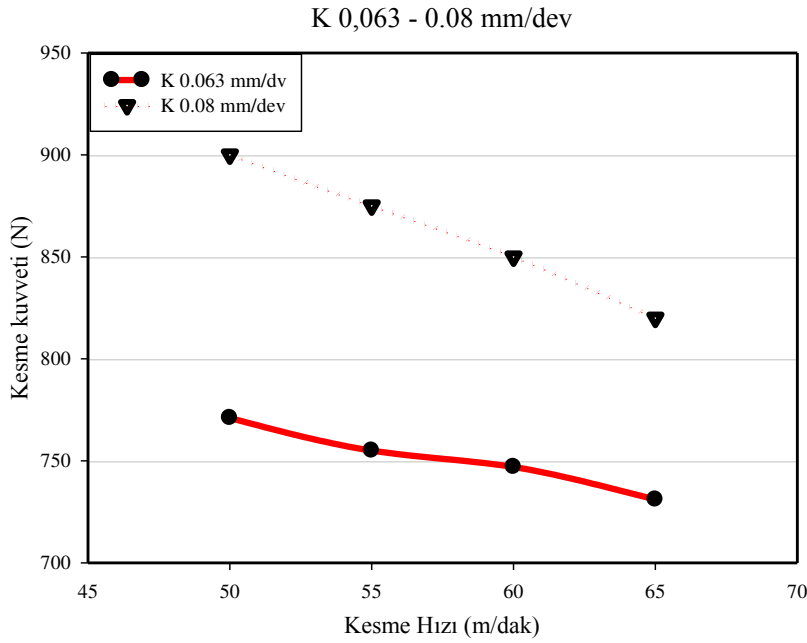
Kaplamasız karbür (K) takımların iki ilerleme hızında (0,063-0,08 mm/dev) kesme hızına göre kesme kuvvetlerinin değişimini yorumlamak amacıyla Şekil 5.1.'deki grafikler oluşturulmuştur. Grafikler incelenerek kesme hızlarında (50, 55, 60, 65 m/dk) her iki ilerleme hızına göre değişiklikler tespit edilmiştir. Genel anlamda grafik incelendiğinde yüksek ilerleme hızında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kesme kuvvetleri arttıkça da kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir.

K takım ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetleri incelendiğinde; kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetin 50 m/dk kesme hızında ölçüldüğü görülmektedir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri 50 m/dk kesme hızında 771 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. 55 m/dk kesme hızında 755 N, 60 m/dk kesme hızında 747 N, 65 m/dk kesme hızında ise 747 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değerine en yüksek kesme hızında ulaşılmıştır.

K takım ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetleri incelendiğinde; 0,063 ilerleme hızında olduğu gibi kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetin 50 m/dk kesme hızında ölçüldüğü görülmektedir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri 50 m/dk kesme hızında 900 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. 55 m/dk kesme hızında 875

N, 60 m/dk kesme hızında 850 N, 65 m/dk kesme hızında ise 820 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değerine en yüksek kesme hızında ulaşılmıştır.

K takım ile delinen deliklerde ölçülen kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetlerinin 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetlerinden daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. En düşük kesme kuvveti, 0,063 ilerleme hızı ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen 731 N değeridir. Bu grafikten K takımla delinen deliklerde kesme kuvvetini belirleyen ana etken ilerleme hızıdır. İlerleme hızı düştükçe kesme kuvveti azalmaktadır. Kesme hızı arttıkça da kesme kuvveti düşmektedir.



Şekil 5.1. K matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim

5.1.2. Kriyojenik (KR) takımında kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

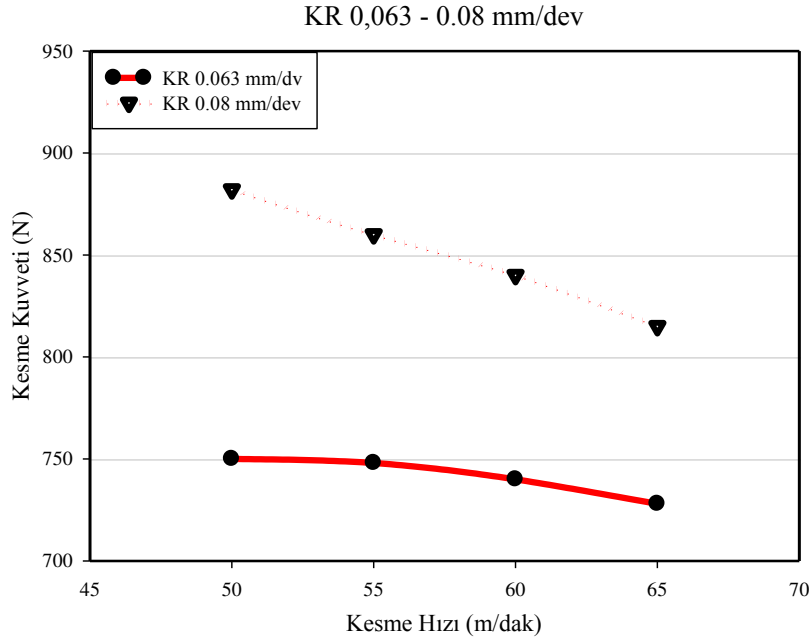
Kriyojenik (KR) takımların iki ilerleme hızında (0,063-0,08 mm/dev) kesme hızına göre kesme kuvvetlerinin değişimini yorumlamak amacıyla Şekil 5.2.'deki grafikler oluşturulmuştur. Grafikler incelenerek kesme hızlarında (50, 55, 60, 65 m/dk) her iki ilerleme hızına göre değişiklikler tespit edilmiştir. Genel anlamda grafik

incelendiğinde yüksek ilerleme hızında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

KR takım ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetleri incelendiğinde; kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetin 50 m/dk kesme hızında ölçüldüğü görülmektedir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri 50 m/dk kesme hızında 750 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. 55 m/dk kesme hızında 748 N, 60 m/dk kesme hızında 740 N, 65 m/dk kesme hızında ise 728 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değerine en yüksek kesme hızında ulaşılmıştır.

KR takım ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetleri incelendiğinde; 0,063 ilerleme hızında olduğu gibi kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetin 50 m/dk kesme hızında ölçüldüğü görülmektedir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri 50 m/dk kesme hızında 882 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. 55 m/dk kesme hızında 860 N, 60 m/dk kesme hızında 840 N, 65 m/dk kesme hızında ise 815 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değerine en yüksek kesme hızında ulaşılmıştır.

KR takım ile delinen deliklerde ölçülen kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetlerinin 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetlerinden daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. En düşük kesme kuvveti 0,063 ilerleme hızı ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen 728 N değeridir. Bu grafikten K takımla delinen deliklerde kesme kuvvetini belirleyen ana etken ilerleme hızıdır. İlerleme hızı düştükçe kesme kuvveti azalmaktadır. Kesme hızı arttıkça da kesme kuvveti düşmektedir.



Şekil 5.2. KR matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim

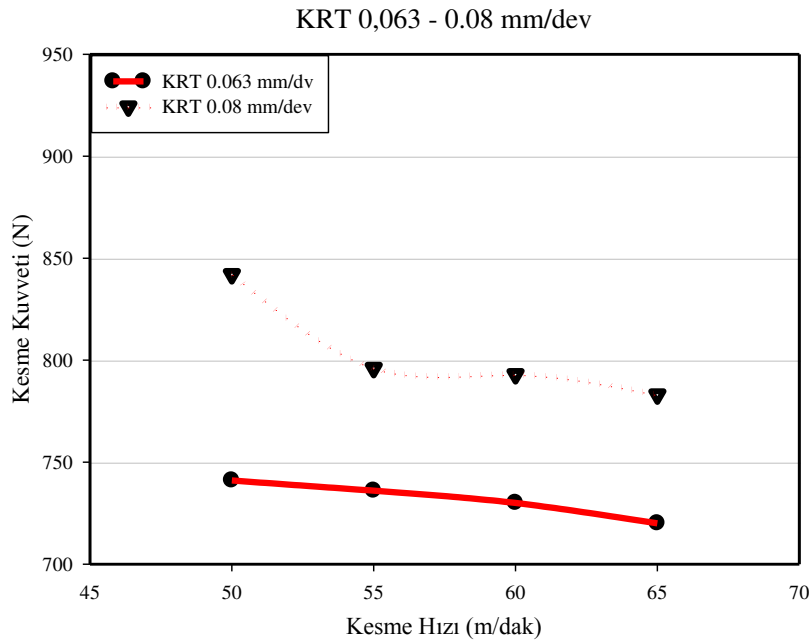
5.1.3. Kriyojenik temper (KRT) takımında kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Kriyojenik işlem ardından temper uygulanmış (KRT) takımların iki ilerleme hızında (0,063-0,08 mm/dev) kesme hızına göre kesme kuvvetlerinin değişimini yorumlamak amacıyla Şekil 5.2.'deki grafikler oluşturulmuştur. Grafikler incelenerek kesme hızlarında (50, 55, 60, 65 m/dk) her iki ilerleme hızına göre değişiklikler tespit edilmiştir. Genel anlamda grafik incelendiğinde yüksek ilerleme hızında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

KRT takım ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetleri incelendiğinde; kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetin 50 m/dk kesme hızında ölçüldüğü görülmektedir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri 50 m/dk kesme hızında 750 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. 55 m/dk kesme hızında 748 N, 60 m/dk kesme hızında 740 N, 65 m/dk kesme hızında ise 728 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değerine en yüksek kesme hızında ulaşılmıştır.

KRT takım ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetleri incelendiğinde; 0,063 ilerleme hızında olduğu gibi kesme hızları arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetin 50 m/dk kesme hızında ölçüldüğü görülmektedir. Ölçülen kesme kuvveti değerleri 50 m/dk kesme hızında 882 N kesme kuvveti değeri ölçülmüştür. 55 m/dk kesme hızında 860 N, 60 m/dk kesme hızında 840 N, 65 m/dk kesme hızında ise 815 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değerine en yüksek kesme hızında ulaşılmıştır.

KRT takım ile delinen deliklerde ölçülen kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında 0,063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetlerinin 0,08 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvvetlerinden daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. En düşük kesme kuvveti 0,063 ilerleme hızı ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen 728 N değeridir. Bu grafikten K takım ile delinen deliklerde kesme kuvvetini belirleyen ana etken ilerleme hızıdır. İlerleme hızı düştükçe kesme kuvveti azalmaktadır. Kesme hızı arttıkça da kesme kuvveti düşmektedir.



Şekil 5.3. KRT matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim

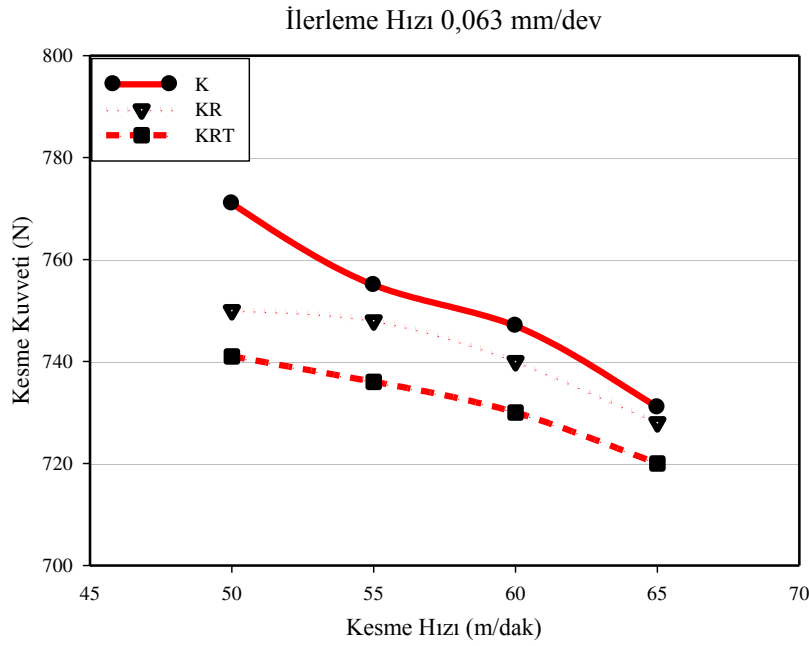
5.1.4. K, KR, KRT takımların 0,063 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

K, KR, KRT takımlar ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim Şekil 5.4.' te incelenmiştir. Farklı takım türleri aynı grafikte gösterilerek kesme kuvvetlerinin değişimi karşılaştırılmıştır.

Grafikte (Şekil 5.4) Farklı takım türlerinde 0.063 mm/dev ilerleme hızında meydana gelen kesme kuvvetleri gözlemlenmiştir. K takımında meydana gelen kesme kuvvetlerine baktığımızda kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığı görülmektedir. 50 m/dk kesme hızında 771 N ölçülen değer 55 m/dk kesme hızında 755 N'a, 60 mm/dk kesme hızında 747 N'a 65 m/dk kesme hızında ise 731 N'a kadar gerilemiştir. KR takım için kesme kuvvetleri 50 m/dk kesme hızında 750 N ölçülen değer 55 m/dk kesme hızında 748 N'a, 60 mm/dk kesme hızında 740 N'a 65 m/dk kesme hızında ise 728 N'a kadar gerilemiştir. KRT takımlar içinse kesme kuvvetleri 50 m/dk kesme hızında 741 N ölçülen değer 55 m/dk kesme hızında 736 N'a, 60 mm/dk kesme hızında 730 N'a 65 m/dk kesme hızında ise 720 N'a kadar gerilemiştir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri de düşmüştür. Kesme esnasında talaşların dışarı atılma hızı kesme kuvvetlerini etkilemede önemli bir faktördür. Kesme hız arttıkça talaş delikten daha hızlı atılmaktadır. Düşük kesme hızında talaşın dışarı atılma hızı da düştüğünden delik içinde talaşın sıkışmasından dolayı kesme kuvvetleri artmaktadır. Fakat kesme hızının çok fazla olması durumunda da talaşın dışarı atılamama durumunda talaşın delikte sıkışmasından dolayı takımda kırılmalar olabilir ve kesme kuvvetlerinde artış gözlemlenebilir. Bu durumu da göz önünde bulundurmak gereklidir.

K, KR, KRT takım türleri 0.063 mm/dev ilerleme hızında kendi aralarında kesme kuvvetleri yönünden kıyaslandığında kesme kuvvetlerinin takım türlerine göre farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm takım türlerinde kesme kuvvetleri kesme hızının artmasıyla düşüş göstermiştir. Tüm kesme hızlarında en düşük kesme kuvveti değerlerine KRT takımlarla ulaşılmıştır. KRT takılardan sonra KR takımlarda kesme kuvveti değerleri düşük çıkmıştır. En yüksek değerler K takımlarda ölçülmüştür.

Takım türlerine göre kesme kuvvetlerinin değiştiği tespit edilmiştir. K takımlar üzerine yapılmış olan ısıt işlemlerin kesme kuvvetlerinin düşürülmesine katkı sağladığını söyleyebiliriz.



Şekil 5.4. K, KR, KRT matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim

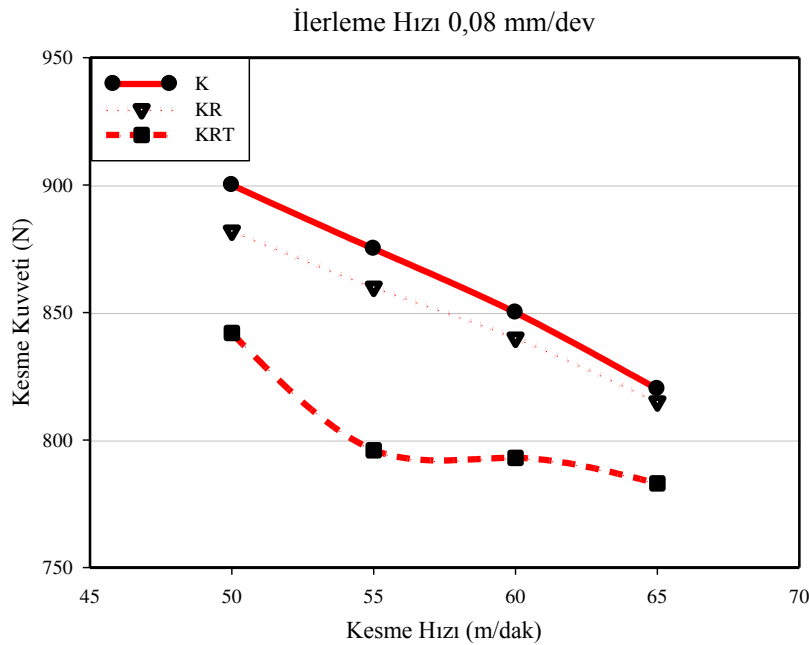
5.1.5. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

K, KR, KRT takımlar ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişim Şekil 5.5.' te incelenmiştir. Farklı takım türleri aynı grafikte gösterilerek kesme kuvvetlerinin değişimi karşılaştırılmıştır.

Grafikte (Şekil 5.5) Farklı takım türlerinde 0.063 mm/dev ilerleme hızında meydana gelen kesme kuvvetleri gözlemlenmiştir. K takımında meydana gelen kesme kuvvetlerine baktığımızda kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığı görülmektedir. 50 m/dk kesme hızında 900 N ölçülen değer 55 m/dk kesme hızında 875 N'a, 60 mm/dk kesme hızında 850 N'a 65 m/dk kesme hızında ise 820 N'a kadar gerilemiştir. KR takım için kesme kuvvetleri 50 m/dk kesme hızında 882 N ölçülen

değer 55 m/dk kesme hızında 860 N'a, 60 mm/dk kesme hızında 840 N'a 65 m/dk kesme hızında ise 815 N'a kadar gerilemiştir. KRT takımlar içinse kesme kuvvetleri 50 m/dk kesme hızında 842 N ölçülen değer 55 m/dk kesme hızında 796 N'a, 60 mm/dk kesme hızında 793 N'a 65 m/dk kesme hızında ise 783 N'a kadar gerilemiştir. 0.063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri de düşmüştür. Kesme esnasında talaşların dışarı atılma hızı kesme kuvvetlerini etkilemede önemli bir faktör olduğu bilgisi doğrulanmıştır.

K, KR, KRT takım türleri 0.08 mm/dev ilerleme hızında kendi aralarında kesme kuvvetleri yönünden kıyaslandığında kesme kuvvetlerinin takım türlerine göre farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm takım türlerinde kesme kuvvetleri kesme hızının artmasıyla düşüş göstermiştir. Tüm kesme hızlarında en düşük kesme kuvveti değerlerine KRT takımlarla ulaşılmıştır. KRT takılardan sonra KR takımlarda kesme kuvveti değerleri düşük çıkmıştır. En yüksek değerler K takımlarda ölçülmüştür. Takım türlerine göre kesme kuvvetlerinin değiştiği tespit edilmiştir. K takımlar üzerine yapılmış olan ısıt işlemlerin kesme kuvvetlerinin düşürülmesine katkı sağladığını söyleyebiliriz.



Şekil 5.5. K, KR, KRT matkapta ölçülen kesme kuvvetlerindeki değişim

5.1.6. Kesme kuvvetlerinin genel değerlendirmesi

Metal işleme endüstrisinde frezeleme yaygındır. Bu yüzden kesme kuvvetlerinin optimizasyonu frezede yapılan ilerde önemlidir [39, 40, 41, 42]. 50 m/dk kesme hızı ve 0,063-0,08 mm/dev ilerleme hızına bağlı olarak K, KR, KRT takımlarla delme esnasında elde edilen kesme kuvvetleri genel olarak 0.063 mm/dev ilerleme hızındaki tüm değerler 0.08 mm/dev ilerleme hızına göre daha düşük çıkmıştır. İlerleme hızının da kesme kuvvetlerinin büyüklüğünde pay sahibi olduğunu görmekteyiz. KRT takım ile ölçülen kesme kuvveti değerleri iki ilerleme hızında da en düşük değerdir. KRT takım ile 50 m/dk kesme hızı 0.063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvveti değeri 741N iken bu değer 0.08 mm/dev ilerleme hızında 842 N olarak ölçülmüştür. İki ilerleme hızında ölçülen kesme hızı arasında yaklaşık olarak % 12 fark vardır.

55 m/dk kesme hızı ve 0,063-0,08 mm/dev ilerleme hızına bağlı olarak K, KR, KRT takımlarla delme esnasında elde edilen kesme kuvvetleri genel olarak 0.063 mm/dev ilerleme hızındaki tüm değerler 0.08 mm/dev ilerleme hızına göre daha düşük çıkmıştır. İlerleme hızının da kesme kuvvetlerinin büyüklüğünde pay sahibi olduğunu görmekteyiz. KRT takım ile ölçülen kesme kuvveti değerleri iki ilerleme hızında da en düşük değerdir. KRT takım ile 55 m/dk kesme hızı 0.063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvveti değeri 736 N iken bu değer 0.08 mm/dev ilerleme hızında 796 N olarak ölçülmüştür. İki ilerleme hızında ölçülen kesme hızı arasında yaklaşık olarak % 8 fark vardır.

60 m/dk kesme hızı ve 0,063-0,08 mm/dev ilerleme hızına bağlı olarak K, KR, KRT takımlarla delme esnasında elde edilen kesme kuvvetleri genel olarak 0.063 mm/dev ilerleme hızındaki tüm değerler 0.08 mm/dev ilerleme hızına göre daha düşük çıkmıştır. Kesme hızları 50 ve 55 m/dk kesme hızında ölçülen değerlerden daha düşük çıkmıştır. İlerleme hızının da kesme kuvvetlerinin büyüklüğünde pay sahibi olduğunu görmekteyiz. KRT takım ile ölçülen kesme kuvveti değerleri iki ilerleme hızında da en düşük değerdir. KRT takım ile 60 m/dk kesme hızı 0.063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvveti değeri 730 N iken bu değer 0.08 mm/dev

ilerleme hızında 793 N olarak ölçülmüştür. İki ilerleme hızında ölçülen kesme hızı arasında yaklaşık olarak % 8 fark vardır.

65 m/dk kesme hızı ve 0,063-0,08 mm/dev ilerleme hızına bağlı olarak K, KR, KRT takımlarla delme esnasında elde edilen kesme kuvvetleri genel olarak 0.063 mm/dev ilerleme hızındaki tüm değerler 0.08 mm/dev ilerleme hızına göre daha düşük çıkmıştır. İlerleme hızının da kesme kuvvetlerinin büyüklüğünde pay sahibi olduğunu görmekteyiz. KRT takım ile ölçülen kesme kuvveti değerleri iki ilerleme hızında da en düşük değerdir. KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı 0.063 mm/dev ilerleme hızında ölçülen kesme kuvveti değeri 720 N iken bu değer 0.08 mm/dev ilerleme hızında 783 N olarak ölçülmüştür. İki ilerleme hızında ölçülen kesme hızı arasında yaklaşık olarak % 8 fark vardır.

Tüm grafikler incelendiğinde en düşük kesme kuvveti değerine KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı ve 0.063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. Bu değer 720 N'dur. En yüksek kesme hızı değerine ise K takım ile 50 m/dk kesme hızı ve 0.063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. Bu grafiklerdeki en yüksek kesme kuvveti değeri ise 900 N'dur. En düşük ile en yüksek kesme kuvveti arasında %20 fark bulunmaktadır.

Farklı takım türleri karşılaştırıldığında en düşük kesme kuvveti değerlerine KRT takımlarla ulaşılmıştır. İkinci en iyi değere KR en yüksek kesme kuvveti sonuçlarına ise K takımlarla elde edilmiştir. Kesme kuvvetinin büyüklüğü takım ömrünü olumsuz yönde etkilediğinden dolayı bu değerlerin düşük olması istenmektedir.

Yüksek kesme hızında akış bölgesi bir yağlayıcı görevi görürse de bu hızlarda gerçekleştirilen işlem malzeme difüzyonuna ve deformasyona açık bir işlemdir. Kesme hızının azaltılması bir anlamda iş parçasına akan ısı miktarını artıracak, dolayısı ile sıcaklık artışına neden olacaktır. Yüksek kesme hızları oluşan ısının büyük bir kısmının talaş ile uzaklaştırılmasını sağlar ve takıma ve iş parçasına geçen ısı azalır [18].

5.2. Deliklerin Daireselliğinin Değerlendirilmesi

Delik daireliliği işleme kalitesi açısından önemlidir. Delik daireliliğini etki eden faktörleri kontrol altına alarak daireliliğın iyileştirilmesi mümkündür. Bu bölümde delik daireliliğine etki eden parametreler değerlendirilmiştir. Delik daireliliğine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Etki eden farklı takım türü (K, KR, KRT) kesme hızı (50, 55, 60, 65 m/dk) ve ilerleme hızı (0.063, 0.08 mm/dev) yapılan grafiklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek en etkili parametreler tespit edilmiştir.

5.2.1. K, KR, KRT takımların 0,063 mm/dev ilerlemede daireliliğının değerlendirilmesi

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairelilikteki değişim şekil 5.7' de incelenmiştir. K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairelilik değerleri gösterilmiştir. İlerleme hızında (0,063 mm/dev) kesme hızları arttırılarak kesme hızının K, KR, KRT matkap ile delinen deliklerde elde edilen dairelilik değerlerine etkisine bakılmıştır.

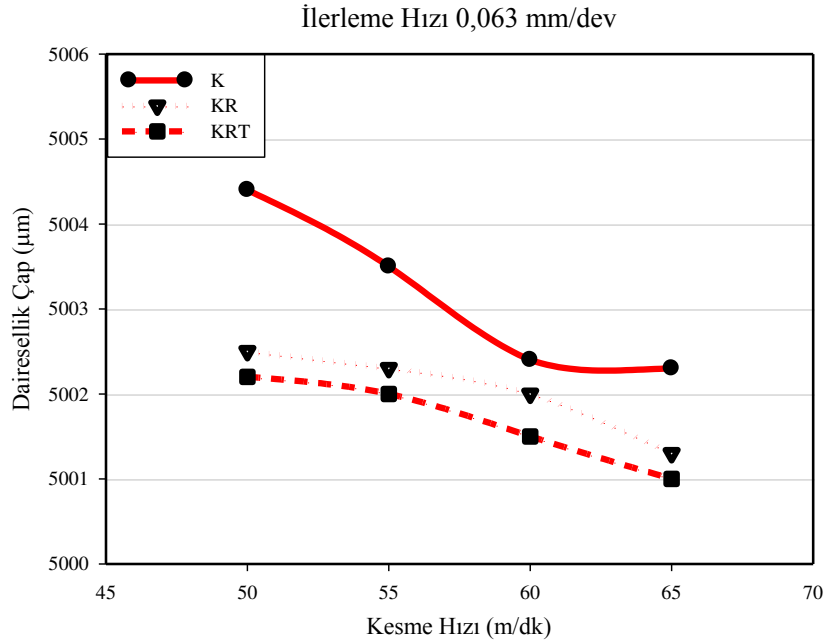
K matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairelilik değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0044 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0035 mm 60 m/dk kesme Ø5,0024 mm, 65 m/dk kesme Ø5,0023 mm ölçülmüştür. K takım ile ölçülen dairelilik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır. Kesme hızı artıkça dairelilik kalitesi de artmıştır. Sonuçlar kesme hızı ile kesme kuvvetlerinde de paralel seyretmektedir. Kesme kuvveti de kesme hızı arttıkça azalmıştır. Kesme kuvvetlerinin azalması ile titreşimlerde oluşan azalmalar dairelilik kalitesini arttırmıştır.

KR matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairelilik değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0025 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0023 mm 60 m/dk kesme hızında Ø5,0020 mm, 65 m/dk kesme hızında

Ø5,0013 mm ölçülmüştür. KR takım ile ölçülen dairesellik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0022 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0020 mm 60 m/dk kesme hızında Ø5,0015 mm, 65 m/dk kesme hızında Ø5,0010 mm ölçülmüştür. KRT takım ile ölçülen dairesellik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde kesme hızı ile ters orantılı olarak delik dairesellik değerleri azalmıştır. Yani delik kalitesi artmıştır. Kesme hızının artması ile kesme esnasında oluşan talaşın dışarı atılma hızı da artmaktadır. Bu durumda iyi bir talaş akışının oluşturulması ile kesme kuvvetlerinde düşüşler sağlanmıştır. Kesme kuvvetinin azalması ile kesme anında oluşan titreşim de azalmıştır. Bilindiği gibi kesme esnasında oluşan titreşimler işleme kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kesme hızı düştükçe oluşan talaşların dışarı atılma hızı da azalmaktadır. Hızlı bir şekilde dışarı atılamayan talaş delik içinde sıkışarak takımın kesme performansını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 5.6. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellikteki değişim

5.2.2. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede daireselliğinin değerlendirilmesi

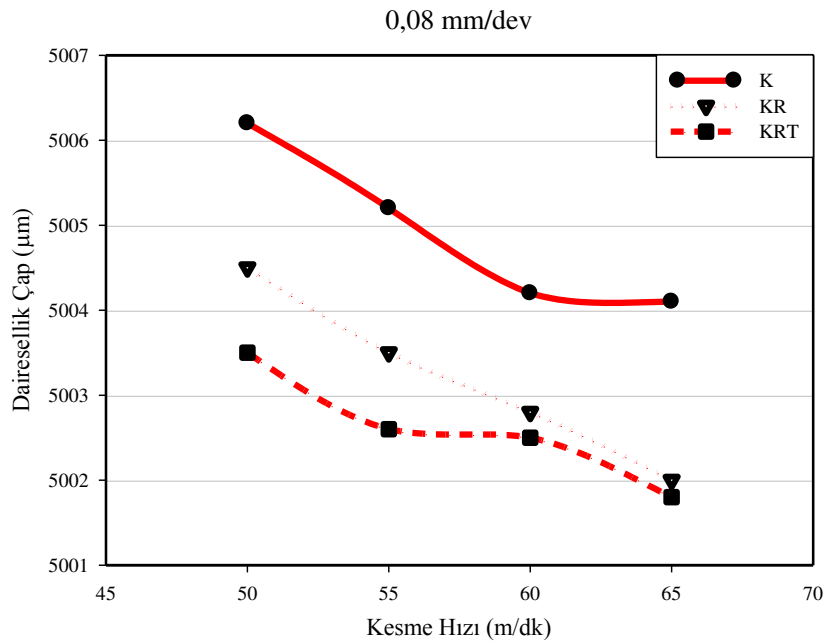
K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellikteki değişim Şekil 5.7' de incelenmiştir. K, KR, KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik değerleri gösterilmiştir. İlerleme hızında (0,08 mm/dev) kesme hızları artırılarak kesme hızının K, KR, KRT matkap ile delinen deliklerde elde edilen dairesellik değerlerine etkisine bakılmıştır.

K matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0062 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0052 mm 60 m/dk kesme hızında Ø5,0042 mm, 65 m/dk kesme hızında Ø5,0041 mm ölçülmüştür. K takım ile ölçülen dairesellik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

KR matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0045 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0035 mm 60 m/dk kesme hızında Ø5,0028 mm, 65 m/dk kesme hızında Ø5,0020 mm ölçülmüştür. KR takım ile ölçülen dairesellik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında Ø5,0035 mm, 55 m/dk kesme hızında Ø5,0026 mm 60 m/dk kesme Ø5,0025 mm, 65 m/dk kesme Ø5,0018 mm ölçülmüştür. KRT takım ile ölçülen dairesellik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

K, KR, KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde kesme hızı ile ters orantılı olarak delik dairesellik değerleri azalmıştır. Dairesellik değerleri 0.063 mm/dev ilerleme hızı ile paralel olarak kesme hızının artması ile azalmıştır. Kesme hızının etkisi iki ilerleme hızında da aynı etkiyi göstermiştir.



Şekil 5.7. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellikteki değişim

5.2.3. Daireselliğin genel değerlendirmesi

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik değerlerindeki değişim değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda parametrelerin dairesellik üzerine etkisini tüm veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Tüm deneyler sonucunda en iyi dairesellik değerlerini tespit etmek ve bu iyi değerlere en çok etki eden faktörler tespit edilmiştir.

Deneylerde kullanılan iki ilerleme hızı (0,063, 0,08 mm/dev) kendi aralarında kıyaslandığında tüm takım türlerinde en iyi sonuçlara 0.063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla meydana gelen titreşimler dairesellik değerlerini olumsuz etkilemiştir. Oluşan titreşimler sonucunda takımların kesme kenarlarında meydana gelen deformasyonların da delik kalitesine olumsuz etki yaptığı söylenebilir. Oluşan deformasyonların uzun süreçte takımın ömrüne de etki ettiği deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır.

Kesme hızlarına (50, 55, 60 ve 65 m/dk) genel olarak bakıldığında ise kesme kuvveti arttıkça elde edilen dairesellik kalitesi artmaktadır. Kesme hızı düştükçe talaşın delikten dışarı atılması zorlanmaktadır. Dışarı atılması zorlanan talaş takımının kesici kenarına yapışarak yığıntı talaş (BUE) oluşumuna neden olur. Düşük kesme hızlarında oluşan talaş sıvanması (BUE) daireliliği bozmaktadır. En iyi dairesellik değerlerine 65 mm/dev kesme hızında ulaşılmıştır.

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik değerleri karşılaştırıldığında en iyi dairesellik değerlerine KRT matkaplarla ulaşılmıştır. K takımları KR takımında elde edilen sonuçlar takip etmiştir. En kötü delik kalitesi ise K matkaplarla elde edilmiştir.

5.3. Dairesellik Sapma Değerlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde delik dairesellik sapma değerlerine etki eden parametreler değerlendirilmiştir. Delik dairesellik sapma değerlerine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Etki eden farklı takım türü (K, KR, KRT) kesme hızı (50, 55, 60, 65 m/dk) ve ilerleme hızı (0.063, 0.08 mm/dev) yapılan grafiklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek en etkili parametreler tespit edilmiştir.

5.3.1. K, KR, KRT takımların 0,063 mm/dev ilerlemede sapma değerlerinin değerlendirilmesi

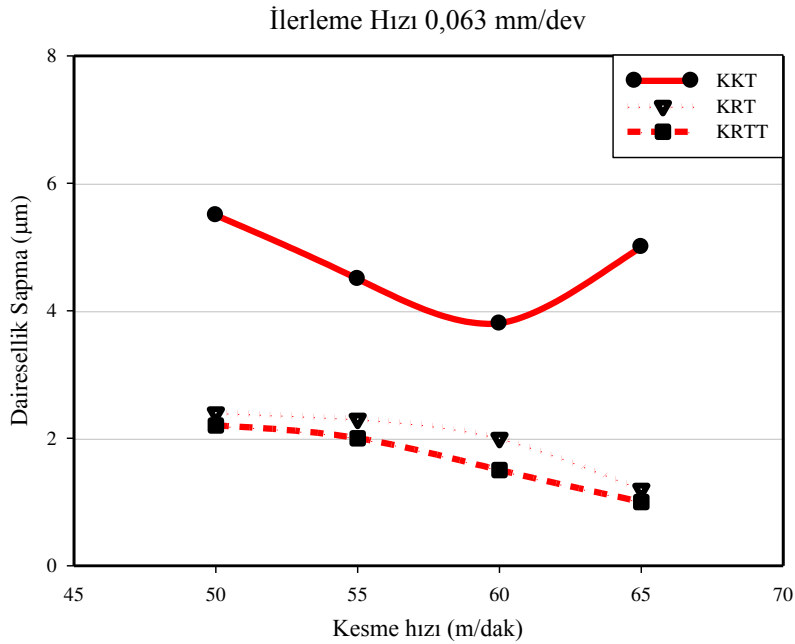
K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik sapma değerindeki değişim Şekil 5.8' de incelenmiştir. K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değerleri gösterilmiştir. İlerleme hızında (0,063 mm/dev) kesme hızları arttırılarak kesme hızının K, KR, KRT matkap ile delinen deliklerde elde edilen dairesellik sapma değerlerine etkisine bakılmıştır.

K matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik sapma değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında 55 μm , 55 m/dk kesme hızında 45 μm , 60 m/dk kesme hızında 38 μm , 65 m/dk kesme hızında 50 μm , ölçülmüştür. K takım ile ölçülen dairesellik sapma değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır. 65 m/dk kesme hızında dairesellik sapma değerleri artış göstermeye başlamıştır.

KR matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik sapma değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında 24 μm , 55 m/dk kesme hızında 23 μm , 60 m/dk kesme hızında 20 μm , 65 m/dk kesme hızında 12 μm , ölçülmüştür. KR takım ile ölçülen dairesellik değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik sapma değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında 22 μm , 55 m/dk kesme hızında 20 μm , 60 m/dk kesme hızında 15 μm , 65 m/dk kesme hızında 10 μm , ölçülmüştür. KRT takım ile ölçülen dairesellik sapma değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değerleri genel olarak değerlendirildiğinde kesme hızı ile ters orantılı olarak delik dairesellik değerleri azalmıştır.



Şekil 5.8. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellik sapma değerindeki değişim

5.3.2. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede sapma değerlerinin değerlendirilmesi

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik sapma değerindeki değişim Şekil 5.9' de incelenmiştir. K, KR, KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değerleri gösterilmiştir. İlerleme hızında (0,08 mm/dev) kesme hızları

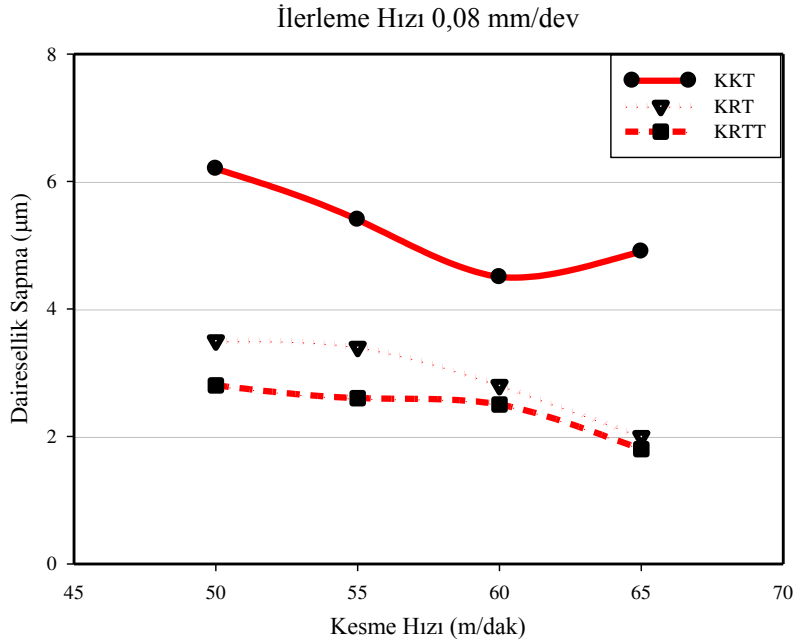
arttırılarak kesme hızının K, KR, KRT matkap ile delinen deliklerde elde edilen dairesellik sapma değerlerine etkisine bakılmıştır.

K matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik sapma değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında 62 μm , 55 m/dk kesme hızında 54 μm , 60 m/dk kesme hızında 45 μm , 65 m/dk kesme hızında 49 μm , ölçülmüştür. K takım ile ölçülen dairesellik sapma değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır. 65 m/dk kesme hızında dairesellik sapma değerleri artış göstermeye başlamıştır.

KR matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik sapma değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında 35 μm , 55 m/dk kesme hızında 34 μm , 60 m/dk kesme hızında 28 μm , 65 m/dk kesme hızında 20 μm , ölçülmüştür. KR takım ile ölçülen dairesellik sapma değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen dairesellik sapma değerleri incelendiğinde ve 50 m/dk kesme hızında 28 μm , 55 m/dk kesme hızında 26 μm , 60 m/dk kesme hızında 25 μm , 65 m/dk kesme hızında 18 μm , ölçülmüştür. KRT takım ile ölçülen dairesellik sapma değerleri kesme hızının artmasıyla azalmıştır.

K, KR, KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen dairesellik sapma değerleri genel olarak değerlendirildiğinde 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi kesme hızı ile ters orantılı olarak delik dairesellik sapma değerleri azalmıştır. Dairesellik sapma değerleri 0.063 mm/dev ilerleme hızı ile paralel olarak kesme hızının artması ile azalmıştır. Kesme hızının etkisi iki ilerleme hızında da aynı etkiyi göstermiştir.



Şekil 5.9. K, KR, KRT matkapta ölçülen dairesellik sapma değerindeki değişim

5.3.3. Dairesellik sapma değerlerinin genel değerlendirmesi

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik sapma değerlerindeki değişim değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda parametrelerin dairesellik sapma üzerine etkisini tüm veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Tüm deneyler sonucunda en iyi dairesellik sapma değerleri ve sapma değerlerine en çok etki eden faktörler tespit edilmiştir.

Kesme hızlarına (50, 55, 60 ve 65 m/dk) genel olarak bakıldığında kesme kuvveti arttıkça ölçülen dairesellik sapma değerleri azalmaktadır. Sapma değerlerinin düşmesi ile daha kaliteli delikler elde edilmektedir.. Düşük kesme hızlarında oluşan talaş sıvanması (BUE) daireselliği bozmaktadır. En iyi dairesellik sapma değerlerine genel olarak 65 mm/dev kesme hızında ulaşılmıştır.

Deneylerde kullanılan iki ilerleme hızı (0,063, 0,08 mm/dev) kendi aralarında kıyaslandığında tüm takım türlerinde en iyi sonuçlara 0.063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin de arttığını gözlemledik.

Kesme kuvvetlerinin artmasıyla meydana gelen titreşimler dairesellik sapma değerlerini olumsuz yönde etkilediği gibi dairesellik sapma değerlerini de olumsuz etkilemiştir. Oluşan titreşimler sonucunda takımların kesme kenarlarında meydana gelen deformasyonların da delik kalitesine olumsuz etki yaptığı söylenebilir.

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik sapma değerleri karşılaştırıldığında en düşük sapma değerlerine KRT matkaplarla ulaşılmıştır. Elde edilen dairesellik sapma değerleri sonuçları dairesellik değerleri ile paralellik göstermektedir. K takımları KR takımında elde edilen sonuçlar takip etmiştir. En kötü delik kalitesi ise K matkaplarla elde edilmiştir. K takımlar üzerine yapmış olduğumuz kriyojenik işlemin sapma değerleri üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik işleminden sonra temperleme uygulanan takımlarda (KRT) temperlemenin olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm parametreler incelendiğinde en düşük sapma değerlerine KRT takım ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 65 m/dk kesme hızında ulaşılmıştır. Bu parametreler ile ölçülen sapma değeri 10 µm değeridir. Bu değer tüm parametrelerde ölçülen en iyi sapma değeridir.

5.4. Delik Yüzeylerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Yapılan delme deneyleri sonucunda deliklerden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelenerek en iyi yüzeyi elde etmek için en uygun kesici takım kesme hızı ve ilerleme hızı belirlenmiştir. Değerlendirmelerde ortalama Ra pürüzlülük değerleri kullanılmıştır.

5.4.1. K, KR, KRT takımların 0,63 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 5.10' de incelenmiştir. K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen

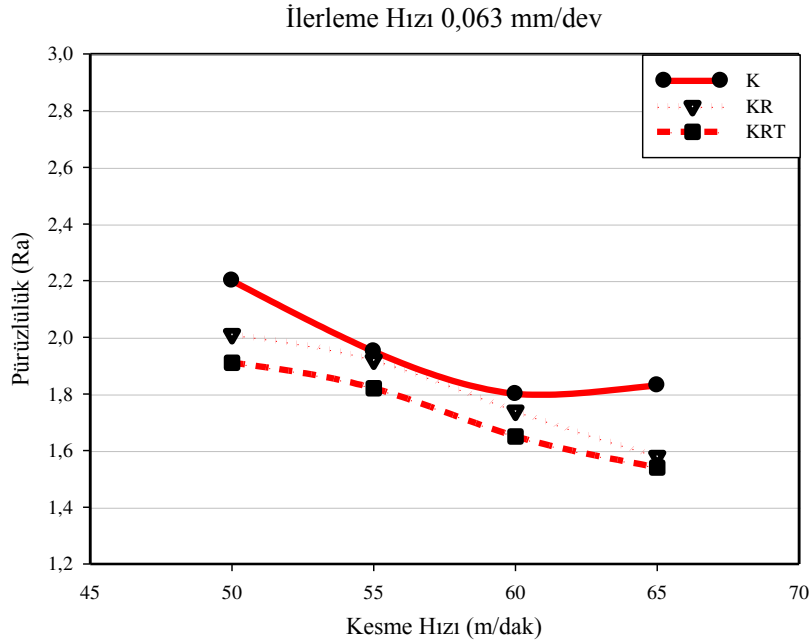
ortalama yüzey pürüzlülüğü gösterilmiştir. İlerleme hızında (0,063 mm/dev) kesme hızları artırılarak kesme hızının K, KR, KRT matkap ile delinen deliklerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisine bakılmıştır.

K matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde ve Ra değerleri 50 m/dk kesme hızında 2,20, 55 m/dk kesme hızında 1,95, 60 m/dk kesme hızında 1,80, 65 m/dk kesme hızında 1,83, ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri Ra genelde kesme hızının artması ile düşmüştür. 65 m/dk kesme hızında bir miktar artış göstermiştir. En düşük Ra değeri 60 m/dk kesme hızında ölçülen 1,80 değeridir.

KR matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Ölçülen Ra değerleri 50 m/dk kesme hızında 2,01 olarak, 55 m/dk kesme hızında 1,92 olarak, 60 m/dk kesme hızında 1,74 olarak, 65 m/dk kesme hızında ise 1,58 olarak ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri Ra genelde kesme hızının artması ile düşmüştür.

KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Ölçülen Ra değerleri 50 m/dk kesme hızında 1,91 olarak, 55 m/dk kesme hızında 1,82 olarak, 60 m/dk kesme hızında 1,65 olarak, 65 m/dk kesme hızında ise 1,54 olarak ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri Ra genelde kesme hızının artması ile düşmüştür. En düşük Ra değeri 65 m/dk kesme hızında ölçülen 1,54'dür.

K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen Ra ölçümleri genel olarak değerlendirildiğinde kesme hızı arttıkça Ra değerleri düşmüştür. En yüksek Ra değerleri K takım ile ölçülen değerlerdir. En düşük Ra değerleri ise KRT takım ile ölçülen değerlerdir. Takım türlerinin de Ra değerleri üzerine etkisi bulunmaktadır. Tungsten karbür takıma uygulanan kriyojenik işlemin delik pürüzlülüğüne olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Kriyojenik işlem ve temperleme işleminin kesme şartlarını iyileştirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. K, KR, KRT matkapta ölçülen pürüzlülük değerindeki değişim

5.4.2. K, KR, KRT takımların 0,08 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

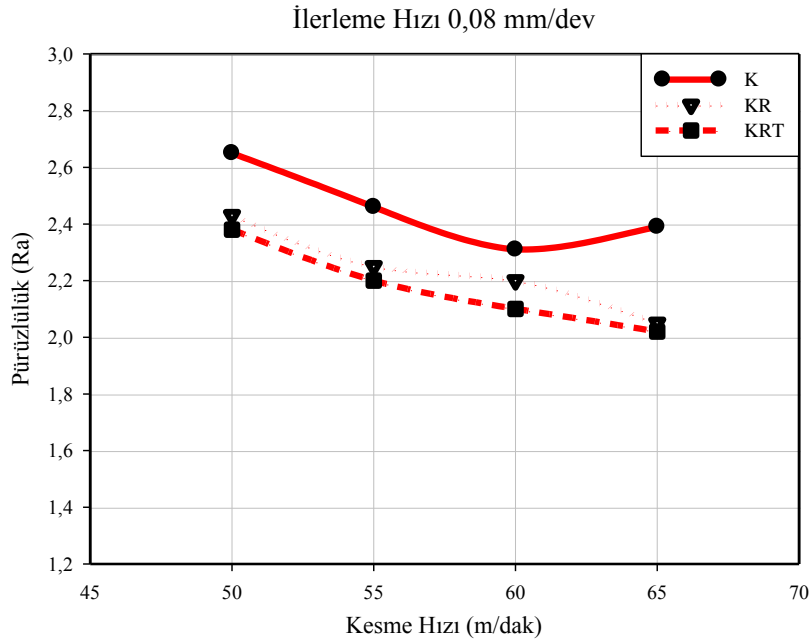
K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 5.11’ de incelenmiştir. K, KR, KRT matkap ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü gösterilmiştir. İlerleme hızında (0,08 mm/dev) kesme hızları arttırılarak kesme hızının K, KR, KRT matkap ile delinen deliklerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisine bakılmıştır.

K matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde ve Ra değerleri 50 m/dk kesme hızında 2,65, 55 m/dk kesme hızında 2,46, 60 m/dk kesme hızında 2,31, 65 m/dk kesme hızında 2,39, ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri Ra genelde kesme hızının artması ile düşmüştür. 65 m/dk kesme hızında bir miktar artış göstermiştir. En düşük Ra değeri 60 m/dk kesme hızında ölçülen 2,31 değeridir.

KR matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Ölçülen Ra değerleri 50 m/dk kesme hızında 2,43 olarak, 55 m/dk kesme hızında 2,25 olarak, 60 m/dk kesme hızında 2,20 olarak, 65 m/dk kesme hızında ise 2,05 olarak ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri Ra 0,063 mm/dev ilerleme hızında olduğu gibi genelde kesme hızının artması ile düşmüştür.

KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında delinen deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Ölçülen Ra değerleri 50 m/dk kesme hızında 2,38 olarak, 55 m/dk kesme hızında 2,20 olarak, 60 m/dk kesme hızında 2,10 olarak, 65 m/dk kesme hızında ise 2,02 olarak ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değeri Ra genelde kesme hızının artması ile düşmüştür. En düşük Ra değeri 65 m/dk kesme hızında ölçülen 2,02'dür.

K, KR, KRT matkap ile 0,08 mm/dev ilerleme hızı ve 50, 55, 60 ve 65 m/dk kesme hızında ölçülen Ra ölçümleri 0,63 mm/dev ilerleme hızında ölçüldüğü gibi genel olarak değerlendirildiğinde kesme hız arttıkça Ra değerleri düşmüştür. 0,08 mm/dev ilerleme hızında en yüksek Ra değerleri K takım ile ölçülen değerlerdir. Aynı ilerleme hızında en düşük Ra değerlerine ise KRT takım ve 65 m/dk kesme hızında ulaşılmıştır. Bu değer Ra 2,02'dir.



Şekil 5.11. K, KR, KRT matkapta ölçülen pürüzlülük değerindeki değişim

5.4.3. Pürüzlülüğe kesme hızı, ilerleme ve takım türünün etkisi

İlerleme hızları (0,063, 0,08 mm/dev) kendi aralarında değerlendirildiğinde aynı takım ve aynı kesme hızlarında 0,063 mm/dev ilerleme hızındaki Ra değerleri daha düşük çıkmıştır. İlerleme hızlarının pürüzlülük değerleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerinin arttığını kesme kuvvetleri bölümünde tespit etmiştik. Kesme kuvvetlerinin artması pürüzlülük değerlerini olumsuz etkilediği sonucuna varabiliriz.

Kesme hızları (50, 55, 60 ve 65 m/dk) kendi aralarında değerlendirildiğinde aynı ilerleme hızı ve takım türünde elde edilen sonuçlar tüm kesme hızlarında farklı çıkmıştır. Genel olarak kesme hızları arttıkça ortalama Ra değerleri düşmüştür. Yüksek kesme hızlarında Ra değerlerinin iyi çıktığını söyleyebiliriz. En iyi Ra değerlerine 65m/dk kesme hızında ulaşılmıştır.

Pürüzlülük değerlerine etki eden birçok faktörün olduğu bilinmekle birlikte bazı parametreler daha fazla etkilidir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme miktarının etkisinin

kesme hızı ve talaş derinliğinin etkisinden daha belirgin olduğu bilinmektedir. Yaptığımız deneyler sonucunda ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığını tespit edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin artması ile ortaya çıkan titreşimin delik yüzeyinin pürüzlülüğünde olumsuz etki meydana getirdiğini söyleyebiliriz [18].

Farklı kesme hızları kullanarak yapılan çalışmalarda, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Düşük kesme hızlarında talaş yığılma-sıvanma (BUE) olduğu ve yüzey kalitesinin kötüleştiği rapor edilmiştir. Bu durumda kesme hızı ilerleme hızı kadar etkili olmamakla birlikte pürüzlülüğe etkisi bulunmaktadır. Düşük kesme hızlarında oluşan (BUE) yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Yüksek kesme hızlarında pürüzlülük değerleri azalmaktadır. Bu durumu ise artan kesme hızıyla birlikte, takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına, bu yüzden de deformasyonların küçülmesine bağlamışlardır [18].

5.4.4. Pürüzlülüğün genel değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda deliklerde ölçülen Ra değerlerinin birçok faktöre bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat etki eden her bir parametrenin Ra değerleri üzerinde farklı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme hızlarının artması Ra değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir ve diğer parametrelere göre Ra değerleri üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. En iyi Ra değerlerine 0,063 mm/dev ilerleme hızlarında ulaşılmıştır. Kesme hızlarına baktığımızda kesme hızları da Ra pürüzlülük değerleri üzerinde etkiye sahiptir. Kesme hızları arttıkça Ra pürüzlülük değerlerinde iyileşmeler tespit edilmiştir. Kesme hızlarında en iyi sonuçlara 65 m/dk hızında ulaşılmıştır. Takımlar karşılaştırıldığında her takımda farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Takım türleri de Ra değerlerinde etkili bir parametredir. En iyi Ra değerlerine KRT takım türüyle ulaşılmıştır. En düşük Ra değerleri ise K takımlarla elde edilmiştir. Tüm parametreler incelendiğinde en iyi Ra değeri olan 1,54'e KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı ve 0,063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır.

5.5. Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi

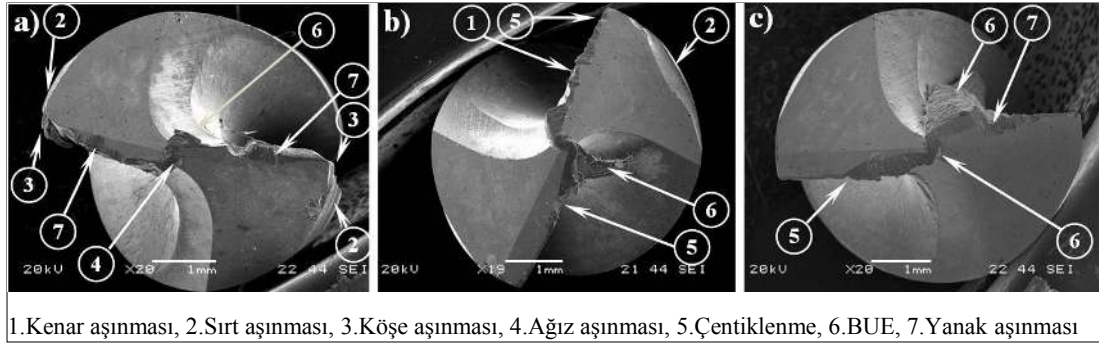
Bu bölümde K, KR, KRT takımla 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 300 delik (Resim 5.1) sonrasında, 400 delik (Resim 5.2) sonrasında, 500 delik (Resim 5.3) sonrasında takımlarda meydana gelen aşınmalar değerlendirilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda en iyi aşınma direncine sahip takım türü belirlenmeye çalışılmıştır. Takım türlerinin aşınma değerlerini tespit etmek için kesme hızı ve ilerleme hızları sabit tutulmuştur.

Takımla işleme etkin bir sürtünme ve aşınma işlemidir. Kesme boyunca takım aşınması hem kesici takımın ömrünü azaltır hem de iş parçasının yüzey pürüzlülük değerini artırır. Optimum işleme süreci maksimum talaş kaldırma miktarı ile minimum takım aşınma oranının elde edilmesidir. Bu uygun kesme parametrelerinin seçimi ile olur [18].

5.5.1. K, KR, KRT takımlarda aşınma

Bu bölümde AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında K, KR, KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 300, 400 ve 500 delik sonrasına ait SEM görüntüleri değerlendirilerek en az takım aşınması tespit edilerek aşınmaya karşı en iyi takım türü belirlenmeye çalışılmıştır.

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında K, KR, KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 300 delik sonrasına ait SEM görüntüsü Resim 5.1’de verilmiştir.



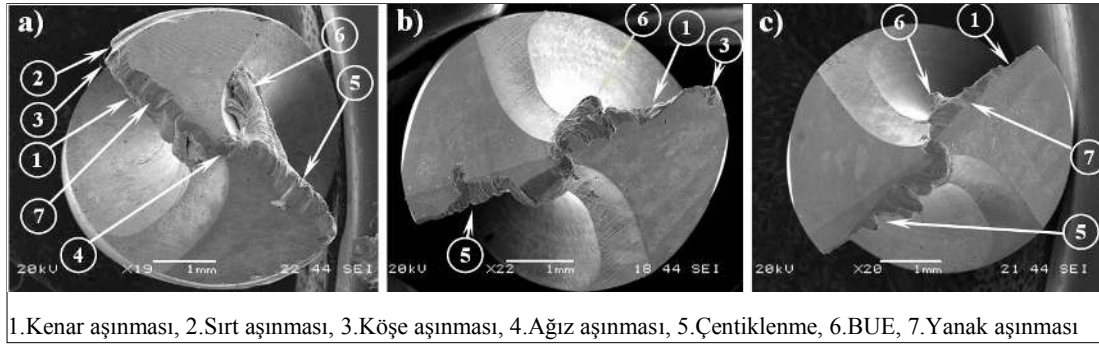
Resim 5.1. Kesme hızı 65 m/dk ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında 300 delik sonrasında ait SEM görüntüsü a) K matkap, b) KR matkap, c) KRT matkap

K matkapta 300 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.1.a gösterilmiştir. Resim incelendiğinde kesici kenarlarda büyük oranlarda aşınmalar tespit edilmiştir. Kesici kenarların hemen yanında yanaklarda da aşınmalar mevcuttur. Kesme işleminin başlangıcı olan ağız kısmında yığıntı talaş (BUE) oluşmuştur. Kesici köşeler tamamen aşınarak düzgün kesme yapamayacak duruma gelmiştir. Takımın sırt bölgesinde de büyük kopmalar olduğu görülmektedir. Kesme kenarlarında yer yer çentiklenmeler oluşmuştur.

KR matkapta 300 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.1.b'de gösterilmiştir. Kesme ağzında BUE meydana gelmiştir. Fakat fazla aşınma yoktur kesme ağzında. Kesme kenarlarında çentiklenmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Kesme kenarlarında az miktarda aşınmalarda bulunmaktadır. Kesici köşelerde az miktarda aşınmalar oluşmaya başlamıştır fakat kesme işlemine devam edebilecek konumdadır. Sırt bölgesinde de aşınmalar yeni oluşmaya başlamıştır. Yanak bölgesinde fazla aşınma bulunmamaktadır. KR takım K takıma göre 300 delik sonrasında daha az aşındığı tespit edilmiştir.

KRT matkapta 300 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.1.c'de gösterilmiştir. Kesici kenarlarda BUE oluştuğu gözlemlenmiştir. Kesici kenara yapışan talaşlar kopma esnasında çentiklere ve kenarda aşınmalara yol açmıştır. Kesici köşelerde fazla aşınma oluşmamıştır. Kesme ağzında az miktarda BUE oluştuğu görülmüştür. Takım genel olarak K ve KR takıma göre 300 delik sonrasında daha iyi durumdadır. Aşınma değerleri iki takıma göre daha azdır.

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında K, KR, KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 400 delik sonrasına ait SEM görüntüsü Resim 5.2’de verilmiştir.



Resim 5.2. Kesme hızı 65 m/dk ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında 400 delikte SEM görüntüsü a) K matkap, b) KR matkap, c) KRT matkap

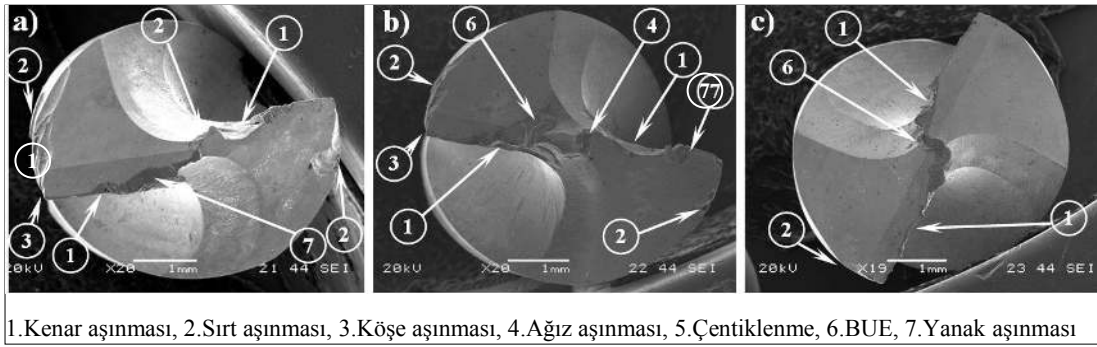
K matkapta 400 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.2.a gösterilmiştir. Takımın kesici kenarlarında yoğun bir şekilde BUE oluştuğu görülmüştür. Oluşan BUE takımdan koparken kesici kenarlarda ve yanaklarda kopmalarla birlikte deformasyona neden olmuştur. Kesici köşelerde ve sırtlarda büyük miktarda aşınmaların olduğu görülmektedir. Takım verimli kesme yapacak durumda değildir. Tüm kesici kenar ve köşelerde büyük deformasyonların oluştuğu tespit edilmiştir.

KR matkapta 400 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.2.b’de gösterilmiştir. Takımın ağız kısmında BUE oluşumu dikkat çekmektedir. Bu talaş yapışmaları takımın ağız çevresinde kopmalara sebep olmuştur. Talaşla birlikte takımın ağız kısmında aşınmalar meydana gelmiştir. Takımın köşelerinde de aşınmalar başlamıştır. Kesici kenarlarda kesmeyi olumsuz etkileyecek ölçüde aşınmalar oluşmuştur. Kesici kenarların hemen arkasında yan, yanak kısımlarında da aşınmalar meydana gelmiştir. Kr takımlar 400 delikten sonra K takıma göre daha iyi durumdadır.

KRT matkapta 400 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.2.c’de gösterilmiştir. Takımın ağız kısmında BUE oluşmaya başlamıştır. ağız kısmına yakın yerlerdeki kenarlarda talaş yapışmalarından dolayı kopmalar meydana gelmiştir. Kenarlardaki

aşınmalar büyüyerek yanaklara kadar ilerlemiştir. Kesici köşelerde fazla aşınma olmadığı görülmektedir. Sırt kısmında da aşınma oluşmamıştır. KRT takım K ve KR takımdan deformasyon yönünden daha iyi konumdadır.

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında K, KR, KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı 0,08 mm/dev ilerleme hızında 500 delik sonrasına ait SEM görüntüsü Resim 5.3’de verilmiştir.



Resim 5.3. Kesme hızı 65 m/dk ile 0,08 mm/dev ilerleme hızında 500 delik sonrasına ait SEM görüntüsü a) K matkap, b) KR matkap, c) KRT matkap

K matkapta 500 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.3.a gösterilmiştir. Takımın kesici köşelerinde büyük miktarda aşınmalar olduğu görülmektedir. Köşelerin hemen arkasında takımın sırt kısmında da dikkat çekici oranda aşınmalar meydana gelmiştir. Kesici kenarlarda da büyük oranda aşınmalar meydana gelmiştir. Kesici kenarlardaki deformasyonlar kesme işlemini sürdürebilecek durumda değildir. Matkabın ağız kısmında da kopmalar ve aşınmalar meydana gelmiştir. Takımın kesme ömrünün bittiği tespit edilmiştir.

KR matkapta 500 delikten sonra oluşan aşınmalar Resim 5.3.b’de gösterilmiştir. Takımın ağız kısmında aşınmalar dikkat çekicidir. Ağız kısmına yakın yerlerdeki kenarlarda da aşınmalar yoğunlaşmıştır. Kesici köşelerde aşınmalar oluşmuştur. Takımın sırt kısmında da aşınmalar oluşmuştur. Takımın kesme verimliliği büyük oranda düşmüştür. Kaliteli bir kesme işlemi yapacak durumda değildir. Kesici

köşelerde ve sırt bölgelerinde gözle görülür bir aşınma oluşmamıştır. Kesme işleminin başlangıç yeri olan ağız kısmında az miktarda BUE oluşmuştur. Kaplamasız tungsten karbür takıma uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme işlemi takım aşınmasına olumlu bir katkı sağladığı tespit edilmiştir.

5.5.2. Takım aşınmasının genel değerlendirilmesi

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesi esnasında K, KR ve KRT takımlarda meydana gelen aşınma değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak aşınma direnci en iyi takım tespit edilmeye çalışılmıştır.

BUE oluşması, genellikle sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisindedir. BUE kesici kenar geometrisinde olumsuz değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçiminde kaynaklanmış malzemeye birlikte koparak uzaklaşabilir (Resim 5.1). Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE oluşumunda önemli rol oynar. Takım yüzeyinde oluşan yığılma talaş, koparak uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçacıkların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir [18].

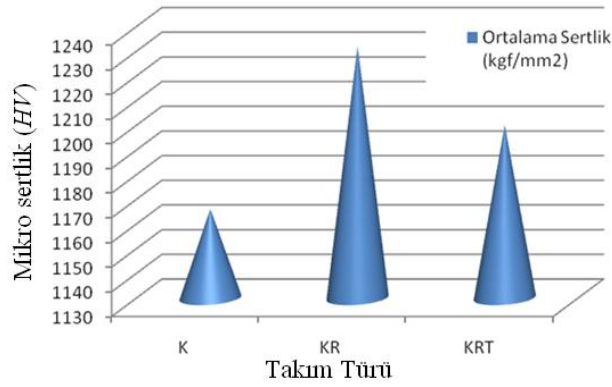
Abrasif (Abrasive) aşınma çok yaygındır ve çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde, taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan uç üzerindeki mekanik yüklerin sonucudur. Kesici takımın abrasif aşınmaya karşı direnç kabiliyeti önemli ölçüde sertliğine bağlıdır [43].

K, KR ve KRT takımlar aşınma deneyleri sonuçlarına göre değerlendirildiğinde en iyi aşınma değerlerine KRT takımlarda ulaşılmıştır. En kötü sonuçlara ise K takımlarda ulaşılmıştır. Kaplamasız karbür takımlar üzerine uygulanan kriyojenik ısıl işlemin olumlu etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Yapılan birçok çalışmada kriyojenik işlemin kesici takımların ömürlerinin ve aşınma dirençlerinin artmasında olumlu etkilerinin bulunduğu ortaya çıkmıştır [44-47]. Kriyojenik işlem ile takımların mikro yapısında olumlu etkiler oluşmuştur. Kriyojenik işlemin karbür

takımın aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Aşınma direncinin artması takımların soğuması ile büzülen yapı yavaş yavaş soğuma esnasında mikro yapıda önceki haline göre daha düzenli yapı oluşması ile açıklanabilir. K takımlar üzerine yapmış olduğumuz kriyojenik işlemin delik kalitesi üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik işlemde sonra temperleme uygulanan takımlarda (KRT) temperlemenin olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem kesici takımların tokluğunu ve aşınma direncini artırmaktadır. Kriyojenik işlem esnasında malzemede meydana gelen büzülme ve genleşme malzemenin tamamında gerilmelerin azalmasına neden olur. Kriyojenik işlem karbür takımlarda karbürlerin homojen dağılımını sağlamaktadır [50]. Kriyojenik işlem geleneksel ısıtma işlem uygulamalarından farklı olarak bu işlem malzemeye yüzeysel değil derinlemesine etki eder. Geleneksel ısıtma işlemlerinde malzemenin mikro yapısı östenit yapısını muhafaza eder. Fakat kriyojenik işlem ile malzemenin tamamı Martenzit yapıya bürünür. Martenzit yapı östenit yapıya göre daha düzenli ve daha küçük tane yapısına sahiptir. Martenzit yapısını aşınma direnci daha yüksektir [44,49].

5.6. Mikro Sertlik Ölçümleri

Tungsten karbür takımlara uygulanan kriyojenik işlem, ve temperleme işlemi ile elde edilen üç farklı takım türündeki (K, KR, KRT) sertlik değeri değişimlerini değişim incelenmiştir. Mikro sertlik ölçümleri K takımında 1166 HV, KR takımında 1232 HV KRT takımında ise 1200 HV olarak ölçülmüştür. Kriyojenik işlem takımın sertlik değerini bir miktar arttırmıştır. Kriyojenik işlem sonrasında temperleme uygulanan KRT takımlarda sertlik değerleri KR takıma göre bir miktar düşmüştür.



Şekil 5.12. K, KR, KRT takımlara ait mikro sertlik ölçümleri

Kriyojenik işlemin sayesinde takımın mikro yapısı kalıntı östeniti martenzite dönüşerek takımın gerilim giderir. Kriyojenik işlem boyunca martenzit oluşumuyla birlikte takım yüksek karbon martenzit gibi davranır. Bu şekilde malzemenin sertliğini artırır. Kriyojenik işlem beraberinde oluşan kalıntı östenit malzemenin darbe direncini artırır [54].

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin, farklı takım türü (K, KR, KRT) dört kesme hızı (50, 55, 60, 65 m/dk) ve iki ilerleme hızında (0,063 ve 0,08 mm/rev) soğutma sıvısı kullanmadan (kuru şartlarda) delinebilirliği, deneysel olarak incelenmiştir. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım türünün; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve dairesellik sapma değerleri ve takım aşınması üzerindeki etkileri esas alınmıştır. Çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kesme kuvvetleri açısından tüm grafikler incelendiğinde en düşük kesme kuvveti değerine KRT takımla 65 m/dk kesme hızı ve 0.063 mm/rev ilerleme hızında ulaşılmıştır. Bu değer 720 N'dur. En yüksek kesme hızı değerine ise K takımla 50 m/dk kesme hızı ve 0.063 mm/rev ilerleme hızında ulaşılmıştır. Bu grafiklerdeki en yüksek kesme kuvveti değeri ise 900 N'dur. En düşük ile en yüksek kesme kuvveti arasında %20 fark bulunmaktadır. Farklı takım türleri karşılaştırıldığında en düşük kesme kuvveti değerlerine KRT takımlarla ulaşılmıştır. İkinci en iyi değere KR en yüksek kesme kuvveti sonuçlarına ise K takımlarla elde edilmiştir. Kesme kuvvetinin büyüklüğü takım ömrünü olumsuz yönde etkilediğinden dolayı bu değerlerin düşük olması istenmektedir.

Kesme kuvvetlerine etki eden faktörler incelendiğinde en etkili faktörün ilerleme hızı olduğu görülmektedir. Genel itibari ile 0.063 mm/rev ilerleme hızında en düşük kesme kuvveti değerlerine ulaşılmıştır. İlerleme hızından sonra diğer etkili faktör kesici takım türü olarak gözlemlenmektedir. Takımlar içinde en düşük kesme kuvvetlerine KRT takımlarda ulaşılmıştır.

Dairesellik değerlerindeki değişim için deneylerde kullanılan iki ilerleme hızı (0,063, 0,08 mm/rev) kendi aralarında kıyaslandığında tüm takım türlerinde en iyi sonuçlara 0.063 mm/rev ilerleme hızında ulaşılmıştır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri

de artmıştı. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla meydana gelen titreşimler dairesellik değerlerini olumsuz etkilemiştir. Oluşan titreşimler sonucunda takımların kesme kenarlarında meydana gelen deformasyonların da delik kalitesine olumsuz etki yaptığı söylenebilir. Oluşan deformasyonların uzun süreçte takımın ömrüne de etki ettiği deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır.

Delik daireselliğine etki eden kesme hızlarına (50, 55, 60 ve 65 m/dk) genel olarak bakıldığında ise kesme kuvveti arttıkça elde edilen dairesellik kalitesi artmaktadır. Kesme hızı düştükçe talaşın delikten dışarı atılması zorlanmaktadır. Dışarı atılması zorlanan talaş takımın kesici kenarına yapışarak yığıntı talaş (BUE) oluşumuna neden olur. Düşük kesme hızlarında oluşan talaş sıvanması (BUE) daireselliği bozmaktadır. En iyi dairesellik değerlerine 65 mm/dev kesme hızında ulaşılmıştır.

Delik daireselliği açısından K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik değerleri karşılaştırıldığında en iyi dairesellik değerlerine KRT matkaplarla ulaşılmıştır. K takımları KR takımında elde edilen sonuçlar takip etmiştir. En kötü delik kalitesi ise K matkaplarla elde edilmiştir.

Dairesellik sapma değerlerine etki eden kesme hızlarına (50, 55, 60 ve 65 m/dk) genel olarak bakıldığında kesme kuvveti arttıkça ölçülen dairesellik sapma değerleri azalmaktadır. Sapma değerlerinin düşmesi ile daha kaliteli delikler elde edilmektedir. Delme işleminde kullanılan kesme hızı düştükçe talaşın tahliyesi zorlanmaktadır. Kolay tahliye edilemeyen talaş takımın kesici kenarına yapışarak yığıntı talaş (BUE) oluşumuna neden olur. Düşük kesme hızlarında oluşan talaş sıvanması (BUE) daireselliği bozmaktadır. En iyi dairesellik sapma değerlerine genel olarak 65 mm/dev kesme hızında ulaşılmıştır.

Dairesellik sapma değerine etkide bulunan iki ilerleme hızı (0,063, 0,08 mm/dev) kendi aralarında kıyaslandığında tüm takım türlerinde en iyi sonuçlara 0.063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin de arttığını gözlemledik. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla meydana gelen titreşimler dairesellik değerlerini olumsuz yönde etkilediği gibi dairesellik sapma değerlerini de olumsuz

etkilemiştir. Oluşan titreşimler sonucunda takımların kesme kenarlarında meydana gelen deformasyonların da delik kalitesine olumsuz etki yaptığı söylenebilir.

Dairesellik sapma değerini etkileyen K, KR, KRT matkap ile kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak dairesellik sapma değerleri karşılaştırıldığında en düşük sapma değerlerine KRT matkaplarla ulaşılmıştır. Elde edilen dairesellik sapma değerleri sonuçları dairesellik değerleri ile paralellik göstermektedir. K takımları KR takımında elde edilen sonuçlar takip etmiştir. En kötü delik kalitesi ise K matkaplarla elde edilmiştir. K takımlar üzerine yapmış olduğumuz kriyojenik işlemin sapma değerleri üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik işlemten sonra temperleme uygulanan takımlarda (KRT) temperlemenin olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

Dairesellik sapma değeri için tüm parametreler incelendiğinde en düşük sapma değerlerine KRT takım ile 0,063 mm/dev ilerleme hızı ve 65 m/dk kesme hızında ulaşılmıştır. Bu parametreler ile ölçülen sapma değeri 10 µm değeridir. Bu değer tüm parametrelerde ölçülen en iyi sapma değeridir.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri sonucunda deliklerde ölçülen Ra değerlerinin birçok faktöre bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat etki eden her bir parametrenin Ra değerleri üzerinde farklı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme hızlarının artması Ra değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir ve diğer parametrelere göre Ra değerleri üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. En iyi Ra değerlerine 0,063 mm/dev ilerleme hızlarında ulaşılmıştır. Kesme hızlarına baktığımızda kesme hızları da Ra pürüzlülük değerleri üzerinde etkiye sahiptir. Kesme hızları arttıkça Ra pürüzlülük değerlerinde iyileşmeler tespit edilmiştir. Kesme hızlarında en iyi sonuçlara 65 m/dk hızında ulaşılmıştır. Takımlar karşılaştırıldığında her takımında farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Takım türleri de Ra değerlerinde etkili bir parametredir. En iyi Ra değerlerine KRT takım türüyle ulaşılmıştır. En düşük Ra değerleri ise K takımlarla elde edilmiştir. Tüm parametreler incelendiğinde en iyi Ra değeri olan 1,54'e KRT takım ile 65 m/dk kesme hızı ve 0,063 mm/dev ilerleme hızında ulaşılmıştır.

Aşınma deneyleri sonuçlarına göre K, KR ve KRT takımlar değerlendirildiğinde en iyi aşınma değerlerine KRT takımlarda ulaşılmıştır. En kötü sonuçlara ise K takımlarda ulaşılmıştır. Kaplamasız karbür takımlar üzerine uygulanan kriyojenik ısıtma işleminin olumlu etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem ile takımların mikro yapısında olumlu etkiler oluşmuştur. Kriyojenik işlemin karbür takımın aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Aşınma direncinin artması takımların soğuması ile büzülen yapı yavaş yavaş soğuma esnasında mikro yapıda önceki haline göre daha düzenli yapı oluşması ile açıklanabilir. K takımlar üzerine yapmış olduğumuz kriyojenik işlemin delik kalitesi üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Kriyojenik işleminden sonra temperleme uygulanan takımlarda (KRT) temperlemenin olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

6.2. Öneriler

- i. Kesme kuvvetleri dikkate alındığında 0,063 ilerleme hızı, 65 m/dk kesme hızı ve KRT takım tercih edilebilir.
- ii. Aşınma performansı göz önüne alındığında AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde KRT takımların kullanılması önerilebilir.
- iii. Yüzey pürüzlülük değerleri yönünden deney sonuçları incelendiğinde AISI D2 soğuk iş takım çeliği delinirken KRT takım ile en iyi sonuçlar elde edildiğinden bu takım tavsiye edilebilir. En iyi yüzey pürüzlülük değerleri için KRT takım 65 m/dk kesme hızı ve 0,063 mm/dev ilerleme hızı kombinasyonunda elde edildiğinden bu hızların kullanılmasını tavsiye edebiliriz.
- iv. Kesme hızı tespitinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle AISI D2 soğuk iş takım çeliği 5 mm çapında tüm takım türleri için (K, KR, KRT) için 65 m/dk kesme hızı tercih edilmelidir.
- v. İlerleme hızı kesme kuvveti, dairesellik, takım aşınması gibi sonuçlara direkt etki ettiğinden delme işlemi için seçimi önem arz etmektedir. AISI D2 soğuk iş takım

çeliği üzerine 5 mm çapında delik delinmek istendiğinde 0,063 ilerleme hızı tercih edilmelidir. Çünkü ilerleme hızı takım aşınması, dairesellik ve pürüzlülük değeri üzerinde etkili bir parametredir.

Bu deneysel çalışmada üzerinde durulamayan fakat delinebilirliğe etkisi olan;

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinebilmesinde daha iyi performans gösterebilecek farklı takım türlerinin değerlendirilmesi,

Takım kesme performanslarına olumlu etkisi olan kriyojenik işlemin uygulama sürelerini değiştirerek delme performansına etkisinin belirlenmesi,

Kriyojenik işlemin farklı kesme geometrisine sahip matkapların kesme özelliklerine etkisinin belirlenmesi,

Takımlara farklı sıcaklıkta temperleme uygulayarak kesme performansına etkisinin belirlenmesi,

Farklı kesme hızı ve ilerleme hızlarında aşınma deneyleri yaparak takımların ömürlerinin hesaplanması,

İlerleme hızı (0,063- 0,08 mm/dev) değerlerine ek olarak yakın birkaç ilerleme hızının kesme şartlarına etkisinin araştırılması,

Soğutma türlerinin de farklı takım ömrüne ve aşınmasına etkisinin araştırılması,

Delme esnasında oluşan sıcaklığın ölçülerek takımın performansına ve delik kalitesine etkisinin araştırılması, gibi çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Oliveira, C.K.N., Casteletti, L.C., Lombardi N.A., Totten, G.E., Heck, S.C., “Production and characterization of boride layers on AISI D2 tool steel”, *Vacuum*, 84: 792–796 (2010).
2. Bourithis, L., Papadimitriou G.D., Sideris J., “Comparison of wear properties of tool steels AISI D2 and O1 with the same hardness”, *Tribology International* , 39: 479–489 (2006).
3. Er, A.O., “İşlenmesi Güç Malzemelerin Talashlı Üretiminde kesici performanslarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 1-2 (2008).
4. Vimal, A. J., Bensely, A., Lal, D. M., Srinivasan, K., “Deep Cryogenic Treatment Improves Wear Resistance of En 31 Steel”, *Materials and Manufacturing Processes*, 23: (4) 369 – 376 (2008).
5. Howard B.E., “Can I benefit from the use of low temperature treatment?”, *Steel Processing*, 502–508 (1953).
6. Kaynak, Y., “Matkap ile Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 3 (2006).
7. Çakır, M.C., “Modern Talashlı İmalat Yöntemleri”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, 148-163 349-410 (2000).
8. Avuncan, G., “Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar”, *Makine Takım Endüstrisi A.Ş.*, İstanbul, 50 (1998).
9. Goetsch, L.D., “Modern Manufacturing processes”, *Delmar Publishers Inc.*, U.S.A (1991).
10. Özdemir, U., Erten, M., “Talashlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1: 37-50 (2003).
11. Soylu, A., “Bir Delme Dinamometresi Tasarım Ve İmalatı İle HSS–1040 Malzeme Çiftinde İlerleme Kuvveti Ve Döndürme Momentinin Analizi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 10-16 (2007).

12. Akkurt, M., “Talas Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 168-180, (1992).
13. Mendi, F., “Takım Tezgahları ve Teori Hesapları”, **Gazi Kitabevi**, Ankara, 2: 150-160 (2006).
14. Korucu S., “Delik İşlemlerinde Kesiciler Üzerine Etki Eden Gerilmelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 39-40 (2007).
15. ISO 8688-1, Tool life testing in milling- Part 1:Face milling, (1989).
16. Evkaya, M., “Metallerde aşınmaya karşı yapılan kaplamada uygun toz materyali ve kaplama yönteminin bilgisayar destekli seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 27 (2003).
17. Altıntaş, Y., “Manufacturing Automation”, **Cambridge University Press**, United Kingdom, 50 (2000).
18. Akıncıoğlu, S., “AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Farklı Kesici Takım ve Parametreler Kullanılarak Delinebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 23-24 (2011).
19. Akkurt, A., Ovalı, İ., “Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15 (3): 371-382 (2009).
20. Qimi, J., Hsi-Yung, F., Daoshan O.Y., Desta, M.T., “A Roundness Evaluation Algorithm with Reduced Fitting Uncertainty of CMM Measurement Data”, **Journal of Manufacturing Systems**, 25 (3): 184-195 (2006).
21. Pınar, A.M., Güllü, A., “Dairesellik Hatası Ölçümünde Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi”, **Journal of Polytechnic**, 10 (2): 137-144 (2007).
22. Firouzdor, V., Nejati, E., Khomamizadeh, F., “Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill”, **Journal of Materials Processing Technology**, 206: 467–472 (2008).
23. Erdoğan, M., “Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri”, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 1: 5-6 (2000).

24. Rahim, E.B.A., “Performance Evaluation of Uncoated and Coated Carbide Tools When Drilling Titanium Alloy”, Master Thesis, **University Technology Malaysia Faculty of Mechanical Engineering**, Malaysia, 50-60, (2005).
25. Gill, S.S., Singh R., Singh H., Singh J., “Wear behavior of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 49: 256–260 (2009).
26. Das, D., Dutta, A.K., Ray, K.K., “Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel”, **Wear**, 266: 297–309 (2009).
27. Surberg, S.H., Stratton, P., Lingenho, K., “The effect of some heat treatment parameters on the dimensional stability of AISI D2”, **Cryogenics**, 48: 42–47 (2008).
28. Cantero, J.L., Tardı, M.M., Canteli, J.A., Marcos, M., Miguelez, M.H., “Dry drilling of alloy Ti–6Al–4V”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 45: 1246–1255 (2005).
29. Kıvak, T., “INCONEL 718’in Delinebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 21-33 (2007).
30. Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök G., Kutlu, L., “Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Optimizasyonu”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)**, Karabük, 1-2, (2009).
31. Gill, S.S., Singh, R., Singh, H., Singh, J., Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Vol. 49, pp. 256-260 (2009).
32. Yong, A.Y.L., Seah, K.H.W., Rahman, M., Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 47:754-759 (2008).
33. Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D., Nagarajan G., Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment, **Cryogenics**, 45: 747-754 (2005).
34. Thakur, D., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L., Influence of different post treatments on tungsten carbide–cobalt inserts, **Materials Letters**, 62: 4403-4406 (2008).

35. Das, D., Dutta, A.K., Ray, K.K., Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel, *Cryogenics*, 49: 176-184 (2009).
36. Wang, Z.Y., Rajurkar, K.P., Wear of CBN tool in turning of silicon nitride with cryogenic cooling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37: 319-326, (1997).
37. Baldissera, P., Delprete, C., “Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel”, *Materials & Design*, 30: 1435-1440, (2009).
38. Bramipour, D., Svec, T.A., White, K.W., Powers, J.M., Wear Resistance of Cryogenically Treated Stainless Steel Files, *Journal of Endodontics*, 27: 212-213 (2001).
39. W.A. Kline, R.E. DeVor, J.R. Lindberg, “The prediction of cutting forces in end milling with application to cornering cuts”, *Int J Mach Tool Des Res*, 22: 7–22 (1982).
40. Y. Altintas, A. Spence, “End milling force algorithms for CAD systems” *Ann CIRP*, 40: 31–34 (1991).
41. H.Y. Feng, N. Su, “A mechanistic cutting force model for 3D ball-end milling”, *Trans ASME J Manuf Sci Eng*, 123: 23–29 (2001).
42. E. Budak, Y. Altintas, E.J.A. Armarego, “Prediction of milling force coefficients from orthogonal cutting data”, *Trans ASME J Manuf Sci Eng*, 118: 216–224 (1996).
43. Gezgin, A., “Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü Ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 47-50 (2007).
44. Silva F. J., Franco S.D., Machado Á.R., Ezugwu, E.O., Souza A.M., “Performance of cryogenically treated HSS tools” *Wear*, 261: 674–685 (2006).
45. E.A. Smolnikov, G.A. Kossovich, “Cold Treatment of Cutting Tools”, *Termicheskaya Obrabotka Metallov*, 10: 5–7 (1980).
46. L.B. Tseitlin, V.D. Kolensnichenko, T.V. Karnaushenko, V.V. Umanets, E.S. Zhmud, “Tool Life of High Speed Steel Cutters After Cold Treatment”, *Termicheskaya Obrabotka Metallov*, 10: 7–9 (1980).

47. E.S. Zhmud, “Improved Tool Life After Shock Cooling”, *Termicheskaya Obrabotka Metallov*, 10: 3–5 (1980).
48. A.P. Gulyaev, “Improved methods of heat treating high speed steels to improve the cutting properties”, *Metallurgy*, 12: 65 (1937).
49. F.R. Barron, “Yes—Cryogenic Treatments Can Save You Money! Here's Why”, *Tapi*, 57: 5 35–40 (1974).
50. J.Y. Huang, Y.T. Zhu, X.Z. Liao, I.J. Beyerlein, M.A. Bourke, T.E. Mitchell, “Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel”, *Mater. Sci. Eng.*, A399: 241–244 (2003).
51. Kınikoğlu, N.G., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, *Mart Matbaacılık*, İstanbul, 65: 855 (2001).
52. Ekinci, C., “Düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerin sertlik ve mikro yapıları üzerine soğuma hızının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 20-22 (2011).
53. Kuzu, C., “Birincil seviyeli rockwell sertlik standardı makinesi tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 10-16 (2006).
54. Çiçek A., Kıvak, T., Turgut , Y., Uygur, İ., Ekici, E., “Derin Kriyojenik İşlemin Kesme Kuvvetleri, Delik Çapları ve Takım Ömrü Üzerine Etkileri”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, 16-18 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKINCIOĞLU Gülşah
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1982, İSTANBUL
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (380) 731 22 05
 e-mail : gulsahakincioglu@gmail.com
 Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Resmi ve Konstrüksiyonu Öğretmenliği Bölümü	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009 – ...	Düzce Üniversitesi Gümüşova Meslek Yüksekokulu Gümüşova/DÜZCE	Öğretim Görevlisi
2008 – 2009	Gazi Üniversitesi Atatürk Meslek Yüksekokulu ANKARA	Öğretim Görevlisi
2007 – 2008	ENTİ Mühendislik Ostim/ANKARA	Makine ressamı
2005 – 2007	Fikret Erdoğan ve Ortakları LTD.ŞTİ. Eyüp/İSTANBUL	Makine ressamı

