



**DERİN KRİYOJENİK İŞLEMDE RAMPALAMA FONKSİYONUNUN
KAPLAMALI TAKIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Servet ŞEHİRLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2020

Servet ŞEHİRLİ tarafından hazırlanan “DERİN KRİYOJENİK İŞLEMDE RAMPALAMA FONKSİYONUNUN KAPLAMALI TAKIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Adnan AKKURT

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Bilgin KAFTANOĞLU

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Sezer ÖZERİNÇ

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Hanifi ÇİNİCİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 22/09/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Servet ŞEHİRLİ

22/09/2020

DERİN KRİYOJENİK İŞLEMDE RAMPALAMA FONKSİYONUNUN KAPLAMALI TAKIMLARIN PERFORMANSINA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Servet ŞEHİRLİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2020

ÖZET

Yapılan çalışmada, PVD tekniği ile biriktirilen Alüminyum Krom Nitrür (AlCrN) kaplamalı, parmak freze kesici takımlara, derin kriyojenik işlem (DKİ) uygulanmıştır. Çalışma hedefleri kapsamında bir DKİ ünitesi tasarlanarak üretimi yapılmıştır. Numunelere 0,25 °C/dak, 0,5 °C/dak ve 1 °C/dak olmak üzere 3 farklı rampalama fonksiyonunda DKİ'ler uygulanmıştır. Numuneler uygulanan her bir rampalama hızı için 24, 36 ve 48 saat olmak üzere 3 farklı sürede -196°C'de bekletilmiştir. DKİ sonrası elde edilen numuneler üzerinde mikro sertlik ve nano sertlik ölçümleri yapılmıştır. Testler sonucunda en yüksek sertlik değeri 0,25 °C/dak rampalama hızı ile DKİ görmüş numunelerde elde edilirken en düşük sertlik değeri ise 1 °C/dak rampalama hızıyla DKİ uygulanmış kesici takımda tespit edilmiştir. Daha sonra numuneler, AISI 4140 malzeme üzerinde yüzey frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Frezeleme işlemleri kuru kesim şartlarında gerçekleştirilirken kesme bölgesine hava üfleme yapılarak talaşın takımla iş parçası arasına sıkışması önlenmiştir. AISI 4140 malzeme üzerinde, takım aşınması ve kesme yüzeylerinde pürüzlülük tespiti yapılmıştır. En büyük aşınma 0,5 °C/dak 48 saat grubu kesici takımda, en düşük aşınma ise 0,25 °C/dak 24 saat grubunda görülmüştür. Elde edilen en iyi yüzey pürüzlük değeri alın frezelemede 0,25 °C/dak 48 saat grubu ile çevresel frezelemede ise 0,25 °C/dak 24 saat grubu kesici takımla işlenen yüzeyde tespit edilmiştir. Seçilmiş olan rampalama hızları ve bekletme süreleri açısından yapılan değerlendirmelerde en iyi takım ömrü hedefine 0,25 °C/dak ve 24 saat bekletme süresi ile elde edilen takımla ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Kriyojenik işlem, kesici takım, performans artışı, AlCrN, frezeleme
Sayfa Adedi : 65
Danışman : Prof. Dr. Adnan AKKURT

EVALUATION OF THE EFFECT OF DEEP CRYOGENIC TREATMENT RAMP
FUNCTION ON THE PERFORMANCE OF COATED CUTTING TOOLS

(M. Sc. Thesis)

Servet ŞEHİRLİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2020

ABSTRACT

In this work, deep cryogenic process (DCP) was applied to the end mill cutting tools coated with Aluminum Chrome Nitride (AlCrN). In order to achieve the goals of the work, a DCP unit was designed and produced. DCPs with 3 different ramping functions were applied to the samples as $0.25^{\circ}\text{C} / \text{min}$, $0.5^{\circ}\text{C} / \text{min}$ and $1^{\circ}\text{C} / \text{min}$. The samples were kept at -196°C for 3 different periods of 24, 36 and 48 hours for a ramping speed. Micro hardness measurements were made on the experience tests obtained after DCP. Among the tests, the highest hardness value was obtained with the ramping speed of $0.25^{\circ}\text{C} / \text{min}$ in the DCP follow-up, while the low hardness value was found in the cutting tool with DCP applied with a ramping speed of $1^{\circ}\text{C} / \text{min}$. Then the end mill cutting tools were used to surface mill on AISI 4140 material. During milling in dry cutting conditions, the connection is air blown to prevent chips from entering between the tool and the workpiece. Tool wear and roughness on cutting surfaces were determined on AISI 4140 material. The most wear was discovered on $0.5^{\circ}\text{C} / \text{min}$ 48 hour group, while the lowest wear was seen in the $0.25^{\circ}\text{C} / \text{min}$ 24 hour group. The best surface roughness value obtained was determined on the surface machined with the tool with $0.25^{\circ}\text{C} / \text{min}$ 48 hour group in face milling and $0.25^{\circ}\text{C} / \text{min}$ 24 hour cutting group in peripheral milling. In the evaluations made within the selected ramping speeds and holding times, the best tool life target was reached with the tool that was achieved with $0.25^{\circ}\text{C} / \text{min}$ and 24 hours holding time.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Cryogenic treatment, cutting tool, performance increase, AlCrN, milling

Page Number : 65

Supervisor : Prof. Dr. Adnan AKKURT

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında çalışmalarımı yönlendiren ve çalışmalarım boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Adnan AKKURT'a, Gazi Üniversitesi imalat bölümü laboratuvarlarında deneysel çalışmalarına imkân sağlayan sayın Prof. Dr. İhsan KORKUT'a, tez çalışmalarım için ODTÜ Nano Mekanik laboratuvarının değerli çalışma ekibine, numunelerin temininde kesici takım desteği sağlayan ve değerli bilgilerini paylaşan KARCAN firmasının değerli çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalışmalarım boyunca sabrını ve desteğini esirgemeyen kıymetli eşime, canım oğullarıma ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan değerli hocalarım ve annem ile babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Değerlendirmesi	6
3. KURAMSAL TEMELLER	9
3.1. Kesici Takım Kaplamaları	9
3.2. Kriyojenik İşlem.....	13
3.2.1. Kriyojenik işlemin genel etkileri.....	15
3.2.2. Kriyojenik işlemlerin kesici takımlara etkisi	16
3.2.3. Kriyojenik işlemde üç temel parametre	19
3.3. Frezeleme	21
3.4. Frezeleme İşlemini Etkileyen Faktörler	23
3.4.1. Frezeleme işleminde kesme parametreleri	23
3.4.2. Parmak frezeler	26
4. MALZEME VE METOT	29
4.1. Kriyojenik İşlem Ünitesi Tasarımı ve Üretimi.....	29
4.2. İş Parçası	34

	Sayfa
4.3. Deneylerinde Kullanılan Tezgâh ve Cihazlar	34
4.4. Kesici Takımlar	39
4.5. Kriyojenik İşlemin Kesici Takımlara Uygulanması	39
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	43
5.1. Sertlik İncelemeleri	43
5.1.1. Mikro sertlik	43
5.1.2. Nano sertlik	44
5.2. İşlenebilirlik Çalışmaları	46
5.2.1. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	46
5.2.2. Kesici takım aşınması	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yıllara göre elde edilen düşük sıcaklık değerleri	15
Çizelge 3.2. Çeliklerin, sıg ve derin kryojenik işlem sonucundaki performans artışları	16
Çizelge 4.1. AISI 4140 çelik numunenin kimyasal bileşimi	34
Çizelge 4.2. AISI 4140 çelik numunenin fiziksel özellikleri.....	34
Çizelge 4.3. First mcv-1100 CNC dik işleme merkezi özellikleri.....	35
Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	37
Çizelge 4.5. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takım ve özellikleri.....	39
Çizelge 4.6. DKİ'nin takımlara uygulanma parametreleri.....	40
Çizelge 4.7. Deneylere göre DKİ süreleri.....	41
Çizelge 5.1. Aşınma testlerinde kullanılan kesme parametreleri.....	49
Çizelge 5.2. Nanoindentation sonucu elde edilen eta parametreleri.....	53

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Magnetron saçtırma mekanizması	10
Şekil 3.2. Klasik bir PVD püskürtme işlemi akış diyagramı	11
Şekil 3.3. Çeliğin karbon oranına bağlı olarak Ms ve Mf sıcaklıklarının değişimi	17
Şekil 3.4. Muhtelif freze takımları	21
Şekil 3.5. Frezeleme işlem türleri	22
Şekil 3.6. İlerleme yönüne göre frezeleme çeşitleri	22
Şekil 3.7. Frezelemede diş başına ilerleme	26
Şekil 3.8. Kesme derinliği şematik görünüm.....	26
Şekil 3.9. Muhtelif parmak frezeleme takımları	27
Şekil 4.1. Kesiti alınmış kriyojenik işlem vakum kabininin iç yapısı	31
Şekil 4.2. Kriyojenik işlem ünitesi şeması.....	33
Şekil 4.3. Keysight veri toplama cihazı ile DKİ sırasında elde edilen zaman-sıcaklık değişim grafiği, kalibrasyon sonucu elde edilen ofset verisi de hesaba katılarak sıcaklık verileri hesaplanmıştır	40
Şekil 4.4. Sırasıyla 0,25 °C/dak, 0,5 °C/dak ve 1 °C/dak, rampalama hızlarda, 24, 36 ve 48 saat bekletme süreleri için oluşan sıcaklık-zaman grafikleri.....	42
Şekil 5.1. Numunelerin mikro-sertlik ölçüm ortalama grafiği.....	44
Şekil 5.2. Numunelerin nano-sertlik ölçüm ortalama grafiği	45
Şekil 5.3. Alın frezelemede kesme hızı ve uygulanan kriyojenik işlemlere bağlı olarak, ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim grafikleri.....	47
Şekil 5.4. Çevresel frezelemede, kesme hızı ve uygulanan kriyojenik işlemlere bağlı olarak, ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim grafikleri.....	48
Şekil 5.5. AlCrN kaplamalı kesici takımlar ile kuru kesme koşullarında yapılan aşınma testi sonucu elde edilen takım ömürleri	50
Şekil 5.6. Indentation sonucunda elde edilen elastik ve plastik deformasyonun kuvvet-indentasyon derinliğinin gösterimi	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları	18
Resim 4.1. (a) Ön çalışma düzeneği, (b) Nihai düzenek	30
Resim 4.2. Sıcaklık kontrol ünitesi	31
Resim 4.3. Kriyojenik işlem ünitesi.....	32
Resim 4.4. FIRST mcv-1100 CNC freze tezgâhı	35
Resim 4.5. CNC freze tezgâhı FANUC kontrol ünitesi.....	36
Resim 4.6. Mitutoyo Surftest SJ-410 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	37
Resim 4.7. ToupView yazılım programı ekran görüntüsü.....	38
Resim 4.8. Nikon ECLIPSE E200 mikroskop	38
Resim 4.9. (a) Mikro sertlik (b) Nano sertlik ölçüm cihazları.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Talaş kesit alanı, mm ²
a_p	Kesme derinliği, mm
a_e	İşleme genişliği, mm
D_c	Takım çapı, mm
f	Devir başına ilerleme, mm/dev
F_a	Eksenel kuvvet, N
f_{cc}	Yüzey merkezli kübik kafes
F_{rz}	Radyal kuvvet, N
F_{sz}	Kesme kuvveti, N
F_{vz}	İlerleme kuvveti, N
f_z	Kenar başına ilerleme, mm/z
h₁	Deformasyona uğramış talaş kalınlığı, mm
h₂	Teorik talaş kalınlığı, mm
k_s	Düzeltilme faktörü, N/mm ²
L	İlerleme uzunluğu, mm
M_c	Burulma momenti (tork), Ncm
M_s	Toplam kesme momenti, Nm
n	Devir sayısı, dev/dak
p	Çevresel kesme hızı, m/dak
T	Efektif işleme zamanı, dak
u	Takımın ilerlemesi, mm/dev
v	Takımın dönmesi, dev/dak
η	Eta Sayısı
V_c	Kesme hızı, m/dak
V_f	İlerleme hızı, mm/dak
z	Kesici kenar sayısı
Φ	Matkap uç açısı, derece

Kısaltmalar	Açıklamalar
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
BCBN	Binderless Cubic Boron Nitride (Bağlayıcısız Kübik Bor Nitrür)
BUE	Built-up Edge (Yığıntı – Yığılma Talaş)
CBN	Cubic Bor Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
CP	Commercial Pure (Ticari Saflıkta)
CT	Cryogenic Treatment (Kriyojenik İşlem)
CTT	Cryogenic treatment and tempering (kriyojenik işlem+temperleme)
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Çökeltme)
DKİ	Derin Kriyojenik İşlem
HRc	Rockwell sertlik
Hv	Vickers sertlik
Kİ	Kriyojenik İşlem
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
SEM	Scanning Electron Microscope (Elektron Tarama Mikroskobu)
SKİ	Sığ kriyojenik işlem
UC	Uncouted (Kaplamasız)
UT	Untreated (İşlem uygulanmış)
WC	Tungsten Karbür
XRD	X-Ray Diffraction (X-ışını difraksiyon analizi)

1. GİRİŞ

İmalatta farklı malzemelerin kullanılması ve talaşlı üretim tezgâhlarının gelişimi, kesme hızı ve ilerleme hızlarının artmasına bağlı olarak kesici takımların da gelişimini zorunlu hale getirmektedir. Bugün ise kesici takımların bu denli gelişmesinde en önemli unsur takımlara uygulanan kaplama işlemleri olmuştur. Böylelikle takım dayanımları artarken kesici uçlar daha sert bir forma dönüşmüştür. Kaplama kullanımının, işleme performansı ve takım ömrü üzerindeki olumlu etkileri birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Malzemelerin işlenmesinde, uygun kesici takımın seçimi ne kadar önemliyse, ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği gibi parametrelerin doğru belirlenmesi de o kadar önemlidir. Düşük kesme hızlarında yapılan işlemlerde, kesme süresinin artması, üretimde ki zaman kayıpları maliyet artışlarını da beraberinde getirmektedir. Talaşlı imalatta yüksek kesme hızlarında işleme yapıldığında, kesici takımlar çok hızlı aşınarak takım ömrünü azaltmaktadır. Aşınan kesici takımın yenisi ile değiştirilmesi de büyük zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Tüm bunlar üretim maliyetlerindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Kesici takımın seçimi, işlenecek malzeme özelliklerinin yanı sıra kesme ve ilerleme hızı ile kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin ne denli önemli oldukları değerlendirildiğinde iyi bir kesme için geliştirilmiş takımlara yönelmek gerektiği açıktır.

Takım ömrü, talaşlı imalatta verimliliğin artırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Kesici takım ömrü ve kesme gücünü arttırmaya yönelik bir çok yöntem denenmiş olsada en önemli uygulamaların takım yüzeylerine uygulanan kaplama işlemleri ve yaygın olmasada kriyojenik işlem uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Kriyojenik işlem, yüksek hızda çalışma sonucu aşınmaya maruz kalan iş parçalarında ve kesici takımlarda aşınma direncinin yükseltilmesi amacıyla uygulanan bir işlemdir. Kriyojenik işlem uygulanan malzeme atomik yapısında homojen bir dağılım gerçekleşmektedir. Kalıcı olmasının yanı sıra aynı zamanda ekonomik bir uygulama olan kriyojenik işlem, uygulama sıcaklıklarına bağlı olarak iki guruba ayrılır. -50 °C ile -80 °C arasında yapılan işleme sıg kriyojenik işlem (SKİ) denirken, -125 °C'den daha düşük sıcaklıklarda yapılan işleme ise derin kriyojenik işlem (DKİ) adı verilir. Kriyojenik işlem (Kİ), belirli bir rampalama hızında ve bekletme süresi içerisinde malzemeye uygulanır. Kİ'de rampalama hızı malzemenin mikro yapısı üzerinde çok önemli bir rol oynar. Geleneksel yapılan ısı işlemlere göre, Kİ'nin en büyük özelliği, uygulandığı malzemede bulunan kalıntı östenitin martensite dönüşmesine ve ince karbür çöktürmeleri oluşumunda, malzemenin her yerine homojen olarak karbür dağılımını sağlamasıdır. Bu

özellikleri sayesinde malzemenin mekanik dayanımları açısından sertlik ve aşınma direncinde önemli ölçüde iyileştirme sağlamaktadır. KI'de malzemeler, belirli bir bekleme süresi içerisinde, özel yalıtımlı kabin içinde bekletilerek yapılır. İşlem sonrası malzemeler tekrar oda sıcaklığına getirilir. Sıcaklığın, indirilme hızına, aşağı rampalama, ortam sıcaklığına çıkarılma hızına ise yukarı rampalama, denilmektedir. KI'de nihai amaç, sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerde, iyileşme, elde edebilmektir.

Hedeflenen çalışma ile literatürde yer almayan kesici takımlara uygulanan derin kryojenik işlemlerde rampalama hızının kesici takım özelliklerine ve performansına etkilerinin araştırılmasıdır. Bunun için öncelikle kryojenik işlem ünitesi tasarlanarak üretilmiş ve sahada önemli kullanıma sahip AlCrN kaplanmış parmak freze çakısına üç farklı rampalama hızında ve her biri için üç farklı bekletme süresinde derin kryojenik işlem uygulanmıştır. Takımların kesme yüzey sertlikleri iki farklı metod ile belirlenmiştir. Kryojenik işlem sonucunda, kesici takımlardaki hem alttaşın hem de kaplamaların sertliğinin ve tokluğunun arttığı, daha düzenli mikro yapıdan ötürü termal ve elektrik iletiminin iyileştiği, yine düzenli mikro yapının oluşmasından ötürü termal şoklara dayanımının arttığı ve bu sebeplerden ötürü, daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen takımların ömür tespitleri, kesme performansları ve aşınma dirençleri tespit edilerek ideal rampalama hızı belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde, kesme ve ilerleme hızının artmasıyla kaplama teknolojisine olan eğilim oldukça artmıştır [1]. Son yıllarda, malzemelerin işlenebilirliğinde ciddi anlamda ilerleme sağlanmıştır. Bu anlamda Kİ, iş parçalarına uygulanmakta olan ısıtma işlemleri tamamlayan yeni bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır [2]. Kİ, yüksek aşınma koşulları altında çalışan malzemelerde aşınma direncini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. İnce filim kaplamalar gibi sadece malzeme yüzeyine değil, parçanın tamamına etki eder. Kİ tek seferde yapılabilen ucuz olmasının yanı sıra kalıcı bir uygulamadır. Kİ ile geleneksel ısıtma işlemi uygulanmış malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martensite dönüşmesi, ince karbür çökeltilerinin oluşumu ve homojen karbür dağılımı sağlanmaktadır. Kİ yapılan malzemelerde aşınma direnci artarken sertlik gibi mekanik özelliklerde de ciddi iyileşmeler görülmektedir [3]. Kİ’de bekletme süreleri üzerine yapılan araştırmalarda genellikle, 36 saat en ideal bekletme süresi olarak bulunmuştur [4].

D. Das ve ark. -196°C sıcaklıkta yapılan DKİ’nin AISI D2 soğuk iş takım çeliği üzerindeki etkilerini araştırarak, malzemenin aşınma özelliği, sertlik değeri, mikro yapı karakteristiği üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Farklı bekletme sürelerinde (0–132 saat arasında) en iyi sonuç veren bekletme süresinin belirlenmesi hedeflenerek deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, DKİ’nin aşınma direncini yükselttiği tespit edilmiştir. En iyi aşınma direncine sahip malzemedeki artış %84,88 olurken, bekleme süresi olarak 36 saat ile kriyojenik işlem uygulanan numunelerde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, mikro yapı incelemeleri, sertlik değerleri ile aşınan yüzeylerin topografisi incelenerek doğrulanmıştır [4].

Amini ve diğerleri çalışmalarında, DKİ uyguladıkları AISI D3 soğuk iş takım çeliğini 24, 36, 48, 72, 96 ve 120 saatlik bekletme sürelerinde deneysel olarak incelemişlerdir. Kİ’nin numunelerin mikro yapıları, karbür dağılımları, makro ve mikro sertlik değerleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. AISI D3 takım çeliğinin DKİ sonrası karbür dağılımı ve mikro yapısındaki değişimler, mikro ve makro sertlik açısından en iyi sonuçları 36 saatlik süre ile DKİ görmüş numunede elde edildiği belirtilmiştir [5].

F. Kara çalışmasında, AISI 52100 rulman çeliğinin farklı bekletme sürelerinde DKİ görmesi sonunda, numunelerin mikro yapısı ile mekanik özellikleri inceleyerek numuneler üzerinde

12, 24, 36, 48 ve 60 saatlik farklı bekletme sürelerinde -145°C 'de KI'nin etkisini araştırmıştır. KI sonrasında numuneler mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde 36 saat süreyle işlem gören numunenin en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. 36 saatlik süreyle DKİ gören numunelerin mikro yapılarının daha homojen, karbür çökmesinin ise daha ince olduğu ve mikro yapı özellikleri açısından en iyi sonuçları verdiği görülmüştür [6]. Literatürde, 36 saatlik bekletme süresi ile yapılan kriyojenik işlemin en iyi sonuçları verdiği görülmektedir.

Kriyojenik işlemin ilk kullanım amacı kalıp malzemeleri iken günümüzde kesici takımlara da uygulanmaktadır. Kesici takımlarda ömür artışı ve kesme şartlarından iyileşme sağlayarak ciddi avantajlar sağlamıştır. Özellikle bazı takım malzemelerine uygulanan kriyojenik işlem ile takım ömründe % 91'lerden % 817'lere varan iyileşmelerin olduğu ifade edilmektedir [7].

Bazı araştırmacılar kriyojenik işlemin aynı zamanda takımların performansını iyileştirebileceği konusunda fikir birliğine varmışlardır. Takım çeliklerinin aşınma direncini iyileştirmesi, bu işlemin en önemli etkisidir. Uzay, elektronik ve otomotiv gibi bazı endüstriler, parçaların aşınma direncini ve boyutsal kararlılığı iyileştirmek için bu işlemi üretim hattında kullanmışlardır [8].

Bu tez çalışmasında, üretici firmadan nano kompozit AlCrN ince film kaplamalı olarak temin edilen karbür kesici takımlara derin kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmıştır. Yapılan çalışma temelde iki ayrı bölümde ele alınmıştır. İlk bölümde, üç farklı rampalama hızında ($0,25^{\circ}\text{C}/\text{dak}$, $0,5^{\circ}\text{C}/\text{dak}$, $1^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) ve üç farklı bekletme süresinde (24 saat, 36 saat ve 48 saat) DKİ uygulanmıştır. İkinci bölümde ise belirlenen kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinde frezeleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda DKİ görmüş AlCrN kaplamalı kesici takımların keme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması mikro ve nano sertlik açısından incelemesi yapılmıştır.

Khan ve Ahmed [9], kriyojenik soğutma kullanmış, Zhang [10], kesici takımlara kriyojenik işlem uygulamıştır. Söz edilen makalede farklı tungsten karbür-kobalt oranlarıyla kesici takımlar hazırlanmış ve bu takımlara DKİ uygulanmıştır. Sonuç olarak da düşük kobalt oranlı tungsten karbür kesici takımlarda, kriyojenik işleminin, Sigma-kobalt fazının malzeme içerisindeki dağılımını artırdığı anlaşılmıştır.

Kumar ve Choudhury [11], Podgornik ve ark. [12], kriyojenik işlemin aşınma direnci, kırılma tokluğu ve takım ömrü gibi kesici takım özelliklerini geliştirebilen bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Bu makalelerde özellikle yüksek hız çeliklerinde tokluk, aşınma direnci ve yük taşıma gücünün, kriyojenik işlemlerle arttığı bulunmuştur.

Senthilkumar [13], 4140 çeliğinde kalıntı gerilimlerin kriyojenik muamele yöntemi ile arttığını belirtmiştir. Makalede DKİ (-196 C) ile sıg kriyojenik işlemler (-80C) karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda 4140 çeliğinde DKİ'nin, kompresif kalıntı gerilimi oluşturduğu, sıg kriyojenik işlemin ise çekme yönünde kalıntı gerilimi oluşturduğu gözlenmiştir. Ek olarak, malzemenin tokluğunun geleneksel ısı işlem görmüş numunelere göre kriyojenik olarak işlenmiş numunelerden önemli ölçüde etkilenmediğini belirtilmiştir. Fe esaslı alaşımlarda kriyojenik muamele kullanılarak, malzemedeki östenit fazının martensite dönüşümü ve ince karbür parçacıklarının oluşumu meydana gelmesi farklı makalelerin sonuçlarında yer almıştır.

Das [14], maksimum aşınma direncini elde etmek için en uygun değerlerde muamele süresini bulmak amacıyla farklı muamele süreleri (0, 12, 36, 60 ve 84 saat) için AISI D2 takım çeliğinde kriyojenik işlem kullanmıştır. Optimum aşınma direncini belirlemek için bir pin-on-disk testi kullanılmıştır. 36 saatlik kriyojenik muamelenin en iyi muamele süresi olduğunu belirtilmiştir. 36 saat boyunca kriyojenik olarak muamele görmüş AISI D2 takım çeliğinin aşınma direnci, geleneksel olarak işlenmiş bir takımınkinden 76,2 kat daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Amini [15], farklı tedavi sürelerinin (24, 36, 48, 72, 96 ve 120 saat) AISI D3 takım çeliğinin mekanik ve mikro-yapısal değişiklikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Daha yüksek sertlik ve karbür yüzde değerlerini elde etmek için optimum işlem süresinin 36 saat olduğunu bulunmuştur. Ayrıca kalıntı östenit fazının, kriyojenik muamele sonucunda ortadan kalktığını ve daha homojen tanecik boyutları gözlenmiştir. Karbürün çelik içerisindeki dağılımı da muamele sonucunda daha homojen olmuştur.

Gill ve ark. [16], sement karbürler üzerinde kriyojenik işlem kullanılarak ince karbürlerin oluşumunu (M6C tipi: $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ve M12C tipi: $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$), karbür taneciklerinin homojen dağılımını, kalıntı gerilimi değişimini ve kobalt faz dönüşümünün varlığını göstermiştir. Makalede kaplanmamış R45 sement tungsten karbür kesici takımlar sıg ve DKİ'lere maruz

kalmıştır. DKİ'nin SKİ'ye göre, takım ömründe daha yüksek iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Özbek [17] takım aşınmasını azaltmak için farklı tutma sürelerinin (12, 24, 36, 48 ve 60 saat) tungsten karbür uçlarına olan etkisini incelemiştir. X6D profillerine göre 12 ve 24 saatlik işlenmiş numunelerde $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ karbür çökeltisi bulunmuştur. Kriyojenik muamele nedeniyle, kesici takımların aşınma dirençleri kenar aşınmasında % 29'a kadar iyileştirildiği ve 24 saatlik kriyojenik olarak muamele edilmiş numuneler en iyi aşınma direncini gösterdiği bulunmuştur.

Thakur [18], Inconel 718'in kriyojenik işlem sonrası tornalama sırasında tungsten karbür kesici ucun performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Yong ve Ding [19], farklı kriyojenik muamele tutma sürelerine (2, 4, 8, 24 ve 72 saat) sahip WC-Co kesici takımları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kriyojenik olarak muamele edilmiş numunelerin aşınma dirençleri, muamele edilmemiş numunelerden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Kriyojenik olarak muamele edilmiş numunelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinin, kalıntı gerilimi ve kobaltın faz dönüşümü mekanizması üzerinden gerçekleştirildiği gösterilmiştir.

Varghese, kriyojenik ortamda işlem görmüş frezelerin, metre/dakika oranı arttıkça, kesme kuvvetlerine azalma olduğunu göstermiştir [57]. Reddy, farklı kesme hızlarında kriyojenik işlem görmüş kesici takımlar üzerinde kesme kuvvetlerini ölçmüş ve kriyojenik işlemin kesme kuvvetinde azalma oluşturduğunu göstermiştir [3].

Gill [20], kriyojenik muameleyi TiAlN kaplı tungsten karbür kesici takımlar üzerinde -110 °C ve -196 °C sıcaklıklarda uygulamış ve işlem görmemiş takımların kıyasla -110 °C sıcaklıkta işlenen takımlara göre takım ömrünün % 25,53 arttığını belgelemiştir. Ek olarak, -196 °C sıcaklıktaki kriyojenik işlemin, kaplamanın yapışma oranını azalttığını göstermiştir.

2.1. Literatür Değerlendirmesi

Kriyojenik işlem (Kİ) hakkındaki literatür çalışmaları incelendiğinde, Kİ geleneksel ısıtma işleme alternatif olarak kullanılabileceği görülebilir. Martensit yapıda olan malzemelerde aşınma direncinin arttığı bilinmektedir. Kİ sürecinin bir sonucu olarak, mikro yapının

östenitten martensite değiştiği görülmektedir. Yapılan araştırmalarda KI'nin endüstriyel kesici takımların çalışma ömrünü önemli ölçüde uzattığı, kesici takımın aşınmasını azalttığı bulunmuştur. Literatürdeki çalışmalar KI'nin farklı uygulamaları açısından, SKI ve DKİ olarak iki sıcaklık değerinde görülebilir. SKI ve DKİ malzemelerin aşınma direnci üzerindeki etkilerini karşılaştıran çalışmalar, derin DKİ'de daha iyi sonuçların elde edildiğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, KI'de bekletme sürelerinin de önemli olduğu değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda KI'nin, özellikle krom içeren malzemeler üzerinde kullanıldığında, kesici takımın aşınması üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki literatür çalışmalarından görülebileceği gibi, endüstride yaygın olarak kullanılan AlCrN kaplamalı kesici takımların kesme ve aşınma sürecine ilişkin yeterli bilimsel araştırma yoktur. Literatürde mevcut eksikliklerin giderilmesi ve AlCrN kaplı kesici takımların KI sonrası takım ömründe meydana gelen gelişmelerin araştırılması gerekmektedir. KI rampalama hızları üzerinde yapılan araştırmalardaki boşluklar da, literatür çalışmalarında eksikliği tespit edilen bir diğer konudur. Bu sebeple, PVD yöntemiyle biriktirilen AlCrN kaplanmış, parmak freze kesici takımlar numune olarak seçilmiştir. Bu numunelere farklı rampalama hızlarında ve bekletme sürelerinde DKİ'ler uygulanmıştır. Bu çalışma içerisinde özel bir kriyojenik işlem ünitesi tasarlanarak üretimi yapılmıştır. Araştırma konusunun bu alandaki boşluğu doldurmak için faydalı olacağı ve aynı zamanda elde edilen teknolojik verilerin, imalat sektörü firmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Kesici Takım Kaplamaları

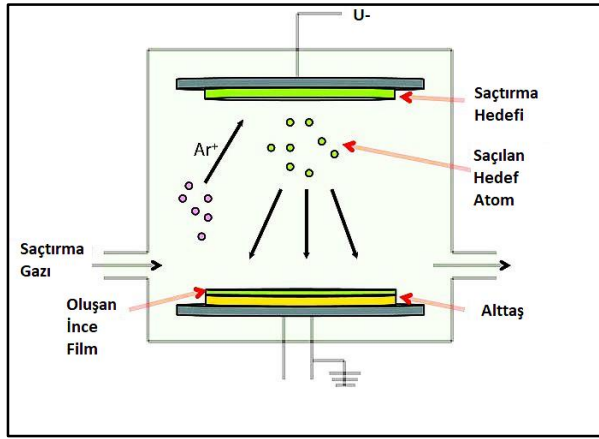
Kaplamalı aletler genellikle talaşlı imalat ve işleme çalışmalarında kullanılır. Kuru işleme sırasında, takım yüksek sürtünme, mekanik ve termal yüklere maruz kalır. Kuru kesme işlemlerinde takımların verimliliğini arttırmak için, üstün özelliklere sahip yeni kaplamalar geliştirilmektedir. Gelişmiş kaplama sistemleri için temel gereksinimler şunlardır: Farklı kesme koşulları altında en iyi oksidasyon direnci sağlaması. Geliştirilmiş tribolojik özellikler ve hasar direnci ile yüksek yüzey kalitesi sağlaması. Takım ömrünü uzatarak soğutucu ve yağlayıcı ihtiyacını azaltması. Aşınma direncini artırarak yüksek yüzey sertliğini sağlaması [21].

PVD yöntemiyle biriktirilmiş sert kaplamalara en fazla işleme endüstrisinde ihtiyaç duyulur. TiN sert kaplamalar, kesme aletlerini korumak için kullanılan ilk nesil kaplamalardır. Mekanik ve sürtünme özellikleri için uygun olmasına rağmen, düşük oksidasyon direncine (~ 600 °C'de oksidasyonun başlaması) sahiptiler. Bu sebeple kesici takımların ısı davranışlarını ve dolayısıyla çalışma ömürlerini iyileştirebilmek için farklı kimyasal elementlerle alternatif çözümler araştırılmıştır [22].

1980 yılında TiN, endüstrideki ilk kaplama olarak uygulandı. Saf TiN kaplamalar doğası gereği kırılgan olduğundan bu kaplamaların tokluğunu artırmak ve en yüksek sertliği yakalamak için büyük çaba sarf edilmiştir. Genel olarak, kaplamaların tokluğunu arttırmak için metal nitrür kaplanması sırasında ikinci bir metal eklenir. TiAlN kaplama daha sonraki yıllarda yapılarak izlenmiştir. Diğer malzemeler CrN, CrAlN, TiB₂, ZrN ve elmas gibi karbon kaplamalardır [23]. Endüstride TiAlN ve AlCrN en yaygın olarak kullanılan kaplama çeşitleridir. Bu kaplamalar farklı türdeki malzemelere karşı en iyi performansı göstermesi ve aşınmaya dayanıklı olduklarından koruyucu kaplamalar olarak kullanılır [24].

Kesici takımları sert malzemelerle kaplamak için iki ana yöntem kullanılır. Bunlar fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemleridir. Kaplama türü temelde basit bir kural ile seçilir. Daha büyük aşınma hacmi nedeniyle tornalamada CVD kaplamaları tercih edilirken, sıkıştırma gerilimi ve daha keskin kesme kenarları nedeniyle frezelemede PVD kaplamalarının kullanılması daha uygundur [25].

İnce filmler yapmak için en yaygın tekniklerden biri fiziksel buhar biriktirmedir (PVD) [26]. Hedef malzeme, numunenin yerleştirildiği bir vakum bölgesinde buharlaştırılır. Bu teknik ile nano yapıları malzemeler ince filmler şeklinde üretilebilir. Magnetron saçtırma, araştırma amacıyla en yaygın kullanılan PVD tekniğidir. Bu teknik, vakumlu ortamda, yüksek enerjiyle buharlaştırılarak plazma haline getirilen kaplayıcı saf malzeme atomlarının saçtırılarak, kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde yapıştırılarak biriktirilmesi [27]. Hedef materyalin yüzeyinin iyon bombardımanı, ikincil elektronlar oluşturur, bu da bölgede sürekli bir plazmaya yol açar. Şekil 3.1’de magnetron saçtırma mekanizmasını göstermektedir.



Şekil 3.1. Magnetron saçtırma mekanizması

PVD vakum işlemlerinin aksine, kimyasal buhar biriktirme (CVD), gaz halindeki kimyasal bileşiklerin, uygun şekilde ısıtılmış ve hazırlanmış alt taşlar ile reaksiyonuna dayanan ısı ile aktive edilen bir işlemdir. CVD kaplama için tipik biriktirme sıcaklıkları 800 ila 1200 ° C arasındadır. PVD kaplamalar ise 450-550 ° C aralığındaki sıcaklıklarda yapılır. Bu yüzden PVD yöntemi yüksek hızlı çelik takımlar (HSS) üzerinde ince film birikmesine olanak tanır. Ek olarak, PVD yöntemi kesici takım kenarlarının keskin bir şekilde kaplanmasına imkân verir. Kesici takımlarda çatlak büyümesini engelleyen yüksek sertlik ve basınç gerilmeleri PVD'nin avantajlı özellikleri arasındadır. Yüksek biriktirme oranlarında, kalın katmanlar oluşturabilen CVD yönteminde üretilen kaplamalı takımlar yüksek talaş kaldırma işlemleri için uygundur. PVD ile üretilen kesici takımları ise orta ve son işleme operasyonları için seçilir. PVD ince filmler, alt taşlar ile kimyasal etkileşim olmadan yapılabilir. CVD kaplamalar ise alt taş ile kolayca etkileşime girer ve bazen ara yüzlerde kırılğan karbürler

üretir. PVD kaplamalı takımların basit bir şekilde sıyrılarak yeniden keskinleştirilmesi, maliyetleri azaltarak büyük bir endüstriyel pazar açmaktadır [28].



Şekil 3.2. Klasik bir PVD püskürtme işlemi akış diyagramı

Temel olarak PVD uygulamaları, saçtırma ve buharlaşma adı altında iki genel kategoriye ayrılmaktadır. Kaplamaların kalınlığı nanometreden milimetreye kadar değişebilmektedir. Elektron ışını ile ısıtılan kaynakların ortaya çıkmasıyla çok yüksek birikme hızları ($25\mu\text{m/sn}$) elde edilmiştir. Çok sayıda inorganik malzemeler, metaller, alaşımlar, bileşikler ve bazı organik malzemeler PVD teknolojileri kullanılarak biriktirilmektedir.

Fiziksel buhar biriktirme (PVD), nötr veya iyonize metal atomlarının kaplanacak malzeme üzerinde yoğunlaştırılarak, vakum ortamında biriktirilmesi ile gerçekleştirilir. Sert kaplamaların biriktirilmesi için çeşitli PVD teknikleri mevcuttur. Bunlar arasında katodik ark buharı (plazma veya ark iyonu kaplama) birikimi, magnetron saçtırma (veya saçtırma iyonu kaplama) ve kombine magnetron ve ark işlemleri en yaygın olarak kullanılan PVD teknikleridir. Bu PVD işlemleri, metalik bileşenlerin buharlaşma tipine ve biriktirme işlemi sırasında kullanılan plazma koşullarına göre farklılık gösterir. Metalik bileşenin (biriktirilecek) bir katıdan buhar fazına (metal atomlarının farklı şekillerde iyonize olduğu) geçişi, bir buharlaşma kaynağının ısıtılması (katodik arktaki gibi) veya bir hedef malzemenin(targetin) saçtırılması ile (magnetron saçtırma gibi) gerçekleştirilebilir. Katodik ark ve magnetron saçtırma teknikleri, Ti ve Al gibi farklı erime noktalarına sahip metallerin bir Ti-Al alaşım target/katotundan buharlaşmasına izin verir. PVD ark buharlaştırma işlemlerinde, PVD saçtırma işlemlerinden daha yüksek oranda enerji girişi kullanılır.

Düşük iyonlaşma oranları geleneksel magnetron saçtırma işleminin dezavantajıdır. Azot kısmi basıncının artması magnetron saçtırma işleminde sert kaplamaların birikme oranını azaltır. İyonizasyon oranlarını iyileştirmek için geleneksel saçtırma teknikleri geliştirilmiştir. Yüksek iyonizasyon magnetron saçtırma teknikleri, sert kaplamanın geleneksel saçtırma tekniklerinden çok daha yüksek iyonlaşma hızında birikmesine izin verir. RF plazma destekli magnetron püskürtme işleminde, hedefin önündeki plazma yoğunluğu büyük ölçüde artırılarak metal iyonizasyon oranında on kata varan artışlar sağlanmaktadır [29].

Nitrür kaplamalar, kesici takımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni yüksek kimyasal kararlılık, yüksek sertlik, yüksek aşınma, süneklik, ve korozyon direnci gibi özellikleridir. Çalışma ömrünü ve dayanıklılığını arttırmak için kullanılan bu kaplamalar, katodik ark buharlaştırma tekniği gibi çok katmanlı kaplamaların uygulanması ile yapılmaktadır. Katodik ark buharlaşması ile biriktirilen kaplamaların benzersiz özellikleri nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplamalar yoğun, düzgün ve sürekli; ayrıca alt tabakaya mükemmel yapışma özelliğine sahiptir. Ek olarak, Ark PVD yönteminde kullanılan parametreler, çökeltme işlemi sırasında morfolojiyi kontrol etmek için ayarlanabilir. Yüksek erime noktasına sahip malzemeler ve en önemlisi heterojen çok katmanlı kaplamalar gerçekleştirilebilir. Örneğin, kalıpları aşındırıcı ortamlardan korumak için titanyum, krom ve nitrür biriktirilebilir. Alüminyum döküm kalıplarında kaplama malzemesi olarak krom nitrür(CrN), titanyum alüminyum nitrür(TiAlN) ve alüminyum krom nitrür (AlCrN) yaygın olarak kullanılmaktadır. TiN ve CrN kaplamalar, TiAlN ve AlCrN kaplamalardan daha düşük termal ve oksidasyon direncine sahiptir. Sonuç olarak, 750 °C'ye kadar sıcaklıklara maruz kalan alüminyum döküm kalıbında, titanyum nitrür (TiN) ve krom nitrür (CrN), bir kaplama olarak kullanılmaya uygun değildir. Nitrür kaplama, düşük termal dirence sahip olduğundan yüksek sıcaklıklı ortamlarda kullanılamaz. Bu arada, yüksek sıcaklık çevre koşullarına maruz kalırken özellikleri ayrışmaya eğilimlidir. Alüminyum krom nitrür (AlCrN) ve titanyum alüminyum nitrür (TiAlN), titanyum nitrür (TiN) ve krom nitrür (CrN) ile karşılaştırıldığında nispeten yüksek bir termal dirence sahiptir. Son olarak, AlCrN ve CrN kaplamalar, kalıp ve kalıp yüzeyini aşındırıcı ortamlardan korumak için uygun malzemelerdir [30].

Son yirmi yıl boyunca yapılan çok sayıda çalışma, yüksek alüminyum içeriğine sahip (AlCrN, AlTiN) kaplamaların, yüksek sıcaklıklarda alüminyum içermeyen nitrür

kaplamalardan (CrN, TiN) daha iyi aşınma dayanımı sağladığını göstermiştir. Bu kaplamalar yüksek sertlik, oksidasyon direnci ve düşük ısı iletkenliğine sahiptirler [31].

PVD sert kaplamalar, kesici takımların aşınma direncini arttırarak, nikel esaslı alaşımların işlenmesi gibi zorlu çalışma ortamlarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kaplamaların gelişmiş aşınma direnci, kaplama malzemesinin kesici takım üzerindeki optimize edilmiş fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. AlCrN ve AlTiN gibi alüminyum esaslı çok işlevli ve çok bileşenli kaplamalar araştırmacılar arasında popülerlik kazanmıştır. Bu kaplamalar, yüksek sertliği, düşük ısı iletkenliği ve oksidasyon direnci nedeniyle yüksek sıcaklıkta CrN ve TiN gibi alüminyum eklenmeyen kaplamalara kıyasla daha iyi aşınma direnci sağlar. Ancak AlTiN'ı AlCrN ile karşılaştırdığımızda, titanyum esaslı nitrür bileşimine daha yüksek alüminyum içeriğinin eklenmesinin, kaplamanın kristal yapısını değiştirdiği görülebilir. TiN'nin kübik kafesinden oluşan altıgen kafes, yapıyı değiştirmeden daha fazla miktarda alüminyum tutabilen krom esaslı kaplamalara kıyasla, bazı özellikleri açısından daha az elverişlidir. Bu özellikler, AlCrN esaslı kaplamanın yüksek hızlı işleme uygulamaları için verimli ve uygulanabilir bir seçenek olduğunu kanıtlamaktadır. Geleneksel PVD tekniği ile biriktirilen bu kaplamalar, talaşlı imalatı işlemeyi diğer kaplamalara kıyasla daha kolay hale getirir. Fakat yüzey morfolojisi ve kaplama yapısı açısından belirli sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlamalar, hem magnetron hem de katodik ark tekniklerinin avantajlarından yararlanılarak çözülebilir. Mükemmel aşınma ve diğer tribolojik özelliklerin yanı sıra yüzeyde hatasız bir kaplama biriktirilebilir. Bununla birlikte, elde edilen bu kaplamaların bazı özellikleri literatürde mevcut olmasına rağmen, aşınma performansı açısından davranışları, katodik ark yöntemli PVD işlemiyle biriktirilen AlCrN esaslı kaplamaya kıyasla hala bilinmemektedir [32].

3.2. Kriyojenik İşlem

Kriyojenik işlemde, malzemeler istenen metalurjik ve mikroyapısal özelliklere ulaşmak için çok düşük sıcaklıklara (-196 °C) indirilerek soğutulur. Bu soğutma bilgisayar kontrollü sıvı azot (N₂) ekleme yöntemleri ile en uygun yalıtımlı kabin ve malzemeler kullanılarak yapılır. Kriyojenik işlemler sıg ve derin olarak iki kısma ayrılmaktadır. Derin kriyojenik işlemde (DKİ) malzemeler -196 °C'ye kadar indirilirken, sıg kriyojenik işlemde (SKİ), malzemelerin sıcaklığı -150 °C civarına düşürülmektedir. SKİ'de malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileşmeye olmasına rağmen, istenen özelliklere tam olarak ulaşılamamaktadır. DKİ'nin

malzeme üzerindeki etkisi SKİ'ye kıyasla önemli ölçüde yüksektir. Kriyojenik işlem, bir parçanın, yaklaşık -50 °C ila -273 °C aralığında tanımlanan sıcaklığın düşürülerek kademeli olarak soğutulmasıdır. Malzeme belirli bir bekleme süresi boyunca bu sıcaklıkta tutulur ve daha sonra yavaş yavaş oda sıcaklığına getirilir. Sıcaklığın -196 °C'ye indirilme hızına aşağı rampalama ve ortam sıcaklığına çıkarılma hızına ise yukarı rampalama denilmektedir. Kİ'de amaç mekanik özelliklerde (genellikle sertlik ve aşınma direnci) iyileşme elde edebilmektir. 1960'lı yılların sonuna kadar, kriyojenik işlem, parçanın doğrudan sıvı azot içine daldırılmasıyla gerçekleştirildi. Doğrudan daldırma yönteminde Kİ sırasında parçada çatlaklar meydana gelmekteydi. 1960'ların sonlarında soğutma ve ısıtma hızları ayarlanabilen ve sıcaklığı geri besleme kontrollü kriyojenik işleme sistemleri geliştirildi. Bu sistemler çok düşük sıcaklıklarda çatlatmadan malzemeye kriyojenik işlem uygulamayı mümkün hale getirdi. Sertlik ve mukavemette gözle görülür bir artışa yol açan takım tezgâhlarının kriyojenik işlenmesi ile ilgili ilk çalışmaların sonuçları 1980'lerde doğrulanmıştır [4].

Kriyojenik işlem;

- Çelikler,
- Dökme demirler,
- Demir dışı metaller,
- Alaşımlar,
- Karbürler,
- Plastikler,
- Seramikler,

gibi geniş bir malzeme aralığına uygulanabilmektedir. İşlem 1 – 2 °C/dak hızlarla soğutulmakta ve 36 ile 72 saat arasında yapılmakta olup malzeme çeşidine ve ağırlığına göre değişmektedir. Talaşlı imalat operasyonlarında, kalıplama, enjeksiyon kalıplama, demir dövme, kaynak, otomotiv, havacılık, elektronik, çelik, ahşap, madencilik gibi birçok endüstride kullanılabilir [46]. Kriyojenik süreç hala havacılık, imalat sanayi, spor, müzik aletleri ve ateşli silahlar gibi alanlarda çeşitli parçaların performansını arttırmak için kullanılmaktadır. Kİ ile takım /çelik sacın tribolojik özelliklerini geliştirmek için son on yılda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Sac formları, zimbalar, matkaplar, parmak frezeler,

rulmanlar, takozlar, krank milleri, pistonlar, vb. malzemeler için çalışma ömründe önemli artışlar kaydedilmiştir [36].

Kriyojenik işlem,

- Malzemelerin kullanım ömürlerini uzatmaktadır.
- Kalıcı ve bir kere uygulanan bir işlemdir.
- Aşınma direncini artırmaktadır.
- Çekme mukavemetini ve tokluğu artırmaktadır.
- Kalıntı gerilimleri gidermektedir.
- Gevrekliği azaltmaktadır.
- Malzemenin sadece yüzeyine değil tamamına etki etmektedir.

Kriyojenik işlem, geleneksel ısıtıl işlemin devamı olup yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Avrupa ve Amerika’da yaygın olarak uygulanan kriyojenik işlem bu konuda büyük şirketlerin varlığıyla yurtdışında oldukça yaygınlaşmıştır. Kİ sahip olduğu bu kadar üstün özelliğe rağmen ülkemizde oldukça az kullanılmaktadır.

Kriyojenik işlemin 1877’de doğduğuna inanılmaktadır. Bu yıl oksijenin 90 °K’ye (-183 °C) kadar soğutulduğu. 1895’te 40 °K’ye ulaştığında havayı sıvılaştırmak ve ana bileşenlerine ayırmak mümkün oldu. Helyum 1908’de sıvılaştırıldı. 1920 ve 1930’larda mutlak sıfır sıcaklıklara ulaşılmıştır [33].

Çizelge 3.1. Yıllara göre elde edilen düşük sıcaklık değerleri [33]

YIL	1800	1840	1877	1878	1885	1889	1900	1908
SICAKLIK (°K)	223°K	163°K	90°K	77°K	50°K	20,3°K	14°K	4,22°K
YIL	1910	1919	1922	1932	1933	1935	1945	1965 -
SICAKLIK (°K)	1,04°K	1,0°K	0,83°K	0,71°K	0,27°K	0,004°K	0,00114°K	0,000012°K

3.2.1. Kriyojenik işlemin genel etkileri

Metaller kristal yapılarına göre sınıflandırılabilirler için kriyojenik sıcaklıkların malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi kristal yapının incelenmesiyle

anlaşılabilir. Endüstride kullanılmakta olan metalik malzemelerde, sığ ve derin Kİ sonrası aşınma direncindeki artışlar çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeliklerin, sığ ve derin kryojenik işlem sonucundaki performans artışları [62]

AISI #	Tanımı	(-80 C)	(-196 C)
D-2	Yüksek karbon/krom alaşımlı takım çeliği	316%	817%
A-7	Krom alaşımlı takım çeliği	204%	560%
S-7	Silisyum alaşımlı takım çeliği	241%	503%
52100	Rulman çeliği	195%	420%
0-1	Yağda su verilmiş takım çeliği	221%	418%
A-10	Grafitli takım çeliği	230%	264%
M-1	Molibden alaşımlı yüksek hız takım çeliği	145%	225%
H-13	Krom/molibden alaşımlı sıcak iş takım çeliği	164%	209%
M-2	Tungsten /molinden alaşımlıyüksek hız takım çeliği	117%	203%
T-1	Tungsten alaşımlı yüksek hız takım çeliği	141%	176%
CPM-10V	Yüksek vanadyum alaşımlı takım çeliği	94%	131%
P-20	Kalıp çeliği	123%	130%
440	Martenzitik paslamaz çelik	128%	121%
430	Feritik paslanmaz çelik	116%	119%
303	Öztenitik paslanmaz çelik	105%	110%
8620	Düşük nikel/krom/molibden alaşımlı çelik	112%	104%
C1020	%0,2 karbon alaşımlı çelik	97%	98%
AQS	Grafitli dökme demir	96%	97%
A-6	Mangan alaşımlı takım çeliği	73%	97%
T-2	Tungsten alaşımlı yüksek hız takım çeliği	72%	92%

Malzemeler mekaniksel özellikleri açısından incelendiğinde, kriyojenik uygulama sonucunda sıcaklığın azalması ile akma dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, darbe dayanımı, sertlik ve elastik modülüsünün arttığı görülmektedir. Kİ uygulanarak mikro anlamda malzemenin kristal yapısındaki hatalar giderilir. Bununla birlikte malzeme sertliği artmakta, aşınma direnci, mukavemet, tokluk değerleri yükselmektedir. Malzemenin iç gerilmeleri azalırken, çalışma ömrü artmaktadır.

3.2.2. Kriyojenik işlemlerin kesici takımlara etkisi

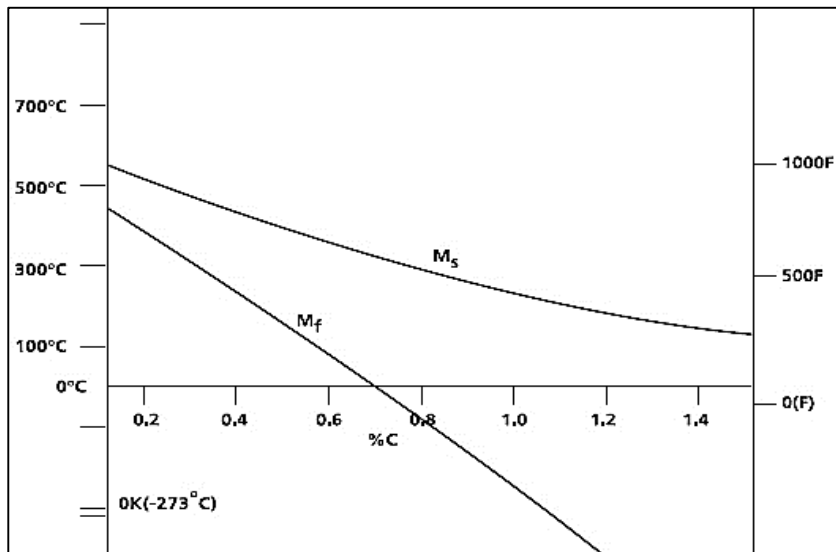
Tungsten Karbür kesici takımların verimliliğin artırılmasında kriyojenik işlem kritik bir rol oynamaktadır. Khan ve Ahmed [9]kriyojenik soğutma kullanmış, Zhang [10], kesme işlemleri için kesici takım malzemelerine kriyojenik işlem uygulamıştır. Söz edilen makalede farklı tungsten karbür-kobalt oranlarıyla kesici takımlar hazırlanmış ve bu

takımlara DKİ uygulanmıştır. Sonuç olarak da düşük kobalt oranlı tungsten karbür kesici takımlarda, kriyojenik işleminin, Sigma-kobalt fazının malzeme içerisindeki dağılımını artırdığı anlaşılmıştır. Kalyan Kumar ve Choudhury [11] ve Podgornik ve ark. [13], kriyojenik muamelenin aşınma direnci, kırılma tokluğu ve takım ömrü gibi kesici takım özelliklerini geliştirebilen tedavi yöntemlerinden biri olduğunu belirtmişlerdir. Bu makalelerde özellikle yüksek hız çeliklerinde tokluk, aşınma direnci ve yük taşıma gücünün, kriyojenik işlemle arttığı bulunmuş ve ifade edilmiştir.

Kalıntı östenit fazını martensite dönüştürme

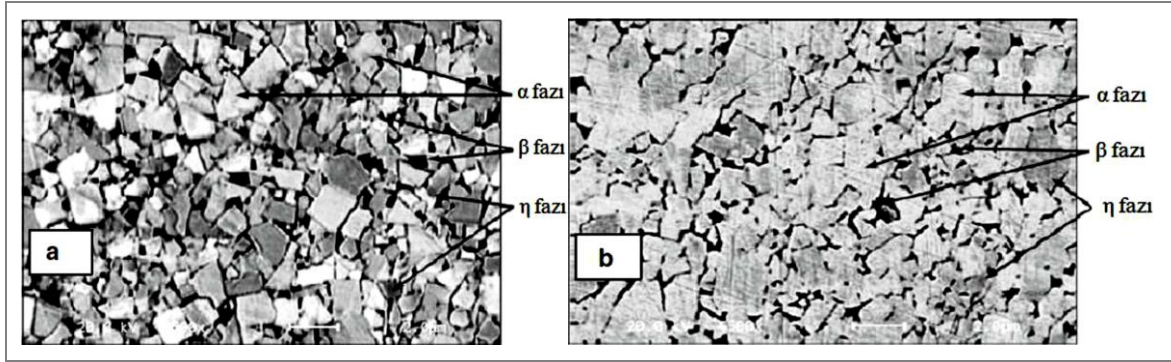
Geleneksel ısıtma işlem uygulamalarında çelikleri sertleştirmek amacıyla öncelikle östenit fazı elde edilir ve bu faz hızlı soğutulularak martensit fazı elde edilmek istenir. Fakat geleneksel ısıtma işlem sonucunda östenit fazının hepsi martensite dönüşmez. Bu noktada kriyojenik işlem devreye girerek yaklaşık olarak bütün kalıntı östenit fazını martensite dönüştürür.

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi yüksek karbonlu çeliklerde östenitin tamamen martensite dönüşebilmesi için çeliğin normal ortam sıcaklığından çok daha düşük sıcaklıklara soğutulması gerekmektedir. Sıfırlı ısıtma işlemi (KI) amacı ötektoid üstü çeliklerde kalıntı östenitin tamamen martensite dönüşümünü sağlayabilmektir. Bu işlem ile %0,83 C içeren bir çelikte kalıntı östenit oranı %42’den %0,9’a düşürülebilmektedir. Martensitik dönüşümün tamamlanması yüksek sertlik sağlarken kabul edilebilir tokluk değerlerini de karşılamaktadır [34].



Şekil 3.3. Çeliğin karbon oranına bağlı olarak Ms ve Mf sıcaklıklarının değişimi [34]

Gill ve arkadaşları ise, DKİ uygulanmış takımın α fazının numunenin her yerinde sürekli bir yapı oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca α fazı karbürlerinin kristalografik olarak dayanıklı ve gerilimsiz bir düzene hizalandığını bildirmişlerdir (Resim 3.1b). Bu durum kırılmalara sebep olan gerilim riskini azaltarak WC-Co malzemesinin aşınma direncini artırmaktadır. Ayrıca tungsten karbür takımında DKİden sonra daha yüksek sıcaklıklara karşı koymaya imkân sağlayan β fazı içeriğinin önemli oranda azaldığını rapor etmişlerdir (Resim 3.1b). Diğer yandan işlemsiz WC-Co malzemede η fazının az miktarda olduğunu, kriyojenik işlemten sonra $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ η fazı karbürünün çökeldiğini bildirmişlerdir (Resim 3.1a) [35]. Kİ ile karbon dağılımının artması sonucu daha büyük bir tane yapısı elde edilmektedir [34, 36].



Resim 3.1. Tungsten karbür kesici takımın SEM fotoğrafları [3]

Karbür formlarındaki değişme

Geleneksel sertleştirme yöntemlerinde karbürler kristal yapısının içine girerek kristal yapısında gerilmelere neden olmaktadır. Kriyojenik işlem sırasında karbür tanecikleri kristal latisten kurtularak malzeme içerisinde dağılmaktadır. Bu sayede kalıntı gerilmeler önemli derecede azalmakta ve yüksek sertlikte karbür yapıları meydana gelerek aşınma direncinde yüksek artışlara neden olmaktadır.

Tane yapısında incelme

Alaşımı oluşturan atomlar yapıda en kararlı oldukları yerde durmak isterler. Bu atomlar kriyojenik işlem sayesinde en iyi dizilişi yakalayarak tane yapısında incelmeye neden olmaktadır. Bu sayede, moleküler bağlar güçlenmekte ve malzemenin aşınma direncinde artış meydana gelmektedir.

İç gerilmelerin giderilmesi

Atomların yeniden dizilişi ve bu nedenle tane yapısındaki incelme nedeniyle kristal yapısındaki atom boşlukları (hataları) giderilerek birim hacimdeki atom yoğunluğu artmaktadır. Bu sayede malzemedeki iç gerilmeler önemli derecede azalmaktadır.

Mikro yapısal değişiklikler neticesinde malzemelerde mukavemet, tokluk ve sertlik artmakta, aşınma direnci yükselmektedir. Özellikle aşınma direncindeki artışlar %800 oranlarını yakalamaktadır. Bunların sonucunda malzeme ömrü belirgin bir şekilde artmaktadır.

3.2.3. Kriyojenik işlemde üç temel parametre

Kriyojenik rampalama (sıcaklık değişim) hızı

Kriyojenik işlem, kesici takımlara uygulandığında, istenilen sıcaklığa ulaşma hızını belirlemek için iki temel yaklaşım vardır. İlk yaklaşıma termal şok denilmektedir. Bu yaklaşımda, numuneler hızla kriyojenik uygulama sıcaklığına getirilmektedir. Uygulama yapılırken, kesici aletler genellikle sıvı azot içine doğrudan daldırılmaktadır. İkinci yaklaşımda ise numuneler belirli bir rampalama hızında, yavaş yavaş kriyojenik sıcaklığa getirilmektedir. Bilimsel çalışmalar, birinci yaklaşım ile yapılan uygulamalarda, kesme aletlerinde termal şok nedeniyle sıcaklıktaki ani değişiklik nedeniyle malzemedeki mikro çatlaklar oluştuğunu göstermiştir [37]. Kriyojenik işlemin, numunelerin mikro-yapılarında çatlak oluşturmaması için kontrollü bir şekilde, kademeli olarak soğutulması gerekmektedir. Bilgisayar kontrollü sistemlerde, sıcaklık değişimi belirli bir rampalama hızında yapılırken malzemenin sıvı azota temas etmesi engellenmektedir. Dolayısıyla parça boyutlarında herhangi bir değişim olması engellenmekte ve parçada çatlama riski ortadan kaldırılmaktadır. Kİ sadece yüzeye uygulanan bir işlem olmayıp, malzemenin her noktasında aynı etkiyi yaratılmaktadır.

Bekletme süresi

Kİ uygulamaları incelendiğinde, uygulama süreleri malzemenin yapısına bağlı olarak 1 saat ile 40 saat arasında değişmektedir [38]. Maruz kalma süresi kesici takımların östenitten martensite geçişinde, yeni karbürlerin oluşumunda ve karbürlerin dağılımında önemli bir

parametredir [36]. KI'de daha yüksek verimlilik sağlamak ve işlem maliyetlerini azaltmak için uygulama süresinin optimize edilmesi önemlidir [39]. Östenitik paslanmaz çelik AISI 302'nin yorulma ve korozyon direncini, sertliğini ve çözünür malzeme performansını incelemek için Baldissera ve arkadaşları 9 ve 24 saatlik uygulama sürelerinin DKİ uyguladıkları numuneler üzerinde araştırmalar yapmışlardır [40]. Malzemenin yorulma davranışında iyileştirme için 9 saatlik bekletme süresinin yeterli olduğu belirtilmektedir. Darwin ve ark. En yüksek aşınma direnci sağlayan bekletme sürelerini bulabilmek için 12, 24 ve 36 saatlik kriyojenik uygulamalar yapmışlardır. Paslanmaz çelik numunelerin 36 saatlik kriyojenik bekleme süresinde en iyi aşınma direncini sağladığını belirtmişlerdir. 36 saatlik uygulama süresi ile örneklerin aşınma direncinde % 24 artış bulmuşlardır [41].

Uygulama sıcaklığı

Düşük sıcaklıklarda kullanılan kriyojenik işlemin uygulama sıcaklığı, kesme aletlerinin tipine bağlı olarak değişir. Çalışmalar ışığında, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem sıcaklıkları -80 °C ile -196 °C arasında değişmektedir [42]. Kesici takımlar üzerinde kullanılacak kriyojenik işlemin uygulama sıcaklığının belirlenmesi, kesici takımın aşınma direnci, sertlik ve tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmek için önemlidir [43]. Bu amaçla yapılan birçok çalışma KI için en iyi uygulama sıcaklığını belirlemek amacıyla farklı sıcaklıklar denenerek yapılmıştır. Darwin ve ark. KI parametrelerinin aşınma direnci üzerindeki etkisini araştırdı ve KI'yi paslanmaz çelik numunelere üç farklı sıcaklıkta uyguladı [41]. Çalışmalarda KI parametrelerinden biri olan uygulama sıcaklığının, numunelerin aşınma direnci üzerinde oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Yine aynı çalışmada en etkili kriyojenik işlem sıcaklığını -184 °C olarak belirlemişlerdir. Baron çalışmasında, 19 farklı takım çeliği, 3 farklı paslanmaz çelik ve diğer 4 farklı çelik malzeme, üzerinde yaptığı çalışmalarda, kriyojenik işlemin, aşınma direnci üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışmada iki farklı sıcaklıkta (-84 °C ve -196 °C) kriyojenik işleme tabi tutulan numuneler karşılaştırıldığında, -196 °C'de tutulan takım çeliklerinin aşınma direncinde önemli bir artış gözlemlenirken, -84 °C'de tutulan numunelerin aşınma direncinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, paslanmaz çeliklerin kriyojenik muamelesinden sonra aşınma direncinde bir artış gözlenmiştir. Bununla birlikte, aşınma direnci açısından bu iki tutma sıcaklığı arasındaki fark %10'dan az olmuştur. Normal karbon çeliği ve dökme demir, her iki tutma sıcaklığında kullanılan kriyojenik işlemde herhangi bir gelişme göstermedi [4]. Firouzdor ve ark. DKİ'nin (-196 °C) kuru koşullar altında CK40

karbon çeliğinin hizmet ömrü ve aşınma direnci üzerindeki etkisini araştırdı. HSS aletine uygulanan kriyojenik işlemin kesici aletin ömrünü % 77 uzattığını bulmuşlardır [44]. Reddy ve ark. Tungsten karbür aracı P30 üzerinde -110°C 'de bir kriyojenik tedavi kullanıldı. Kriyojenik işlemin, C45 çeliğini karbür bir aletle işlerken aletin yanak aşınmasını azalttığını bulmuşlardır [6]. Benzer çalışmalar Shirbhate ve ark., Candane ve ark., Defu ve ark. Gerçekleştirildi [45]. Gu ve ark. çalışmalarında, derin kriyojenik ısıtma işleminin (-196°C) sıcaklığının, kriyojenik işlem ısısının Ti'nin sertliği üzerindeki etkisini belirlemek için Ti-6Al-4V alaşımının sertliği için etkili bir parametre olduğunu bulmuşlardır [1].

3.3. Frezeleme

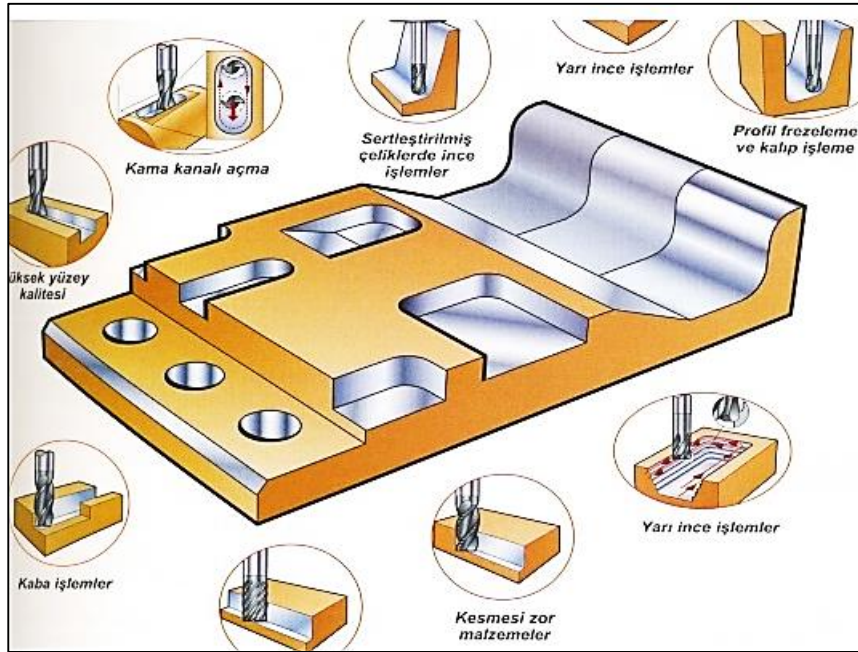
Çevresi kesici ağızlarla donatılmış, kendi eksenini etrafından sabit bir hızla dönerek, tezgâh tablasının ilerlemesi ile freze tezgâhına sabitlenen iş parçası üzerinden talaş kaldırılmasına frezeleme işlemi denilir [47, 48]. Frezeleme işleminde farklı kesiciler kullanılmaktadır, Şekil 3.4'te muhtelif freze takımları görülmektedir.



1. Düz uçlu karbür parmak freze,
2. Modüler karbür parmak freze,
3. 8 köşe uçlu 43° yüzey frezesi,
4. 2 köşe uçlu 90° kenar frezesi,
5. Kanal işleme frezesi,
6. Sıralı uçlu helisel freze,
7. Köşe radüslü karbür parmak freze,
8. 8 köşe uçlu 45° yüzey frezesi,
9. Küre uçlu karbür parmak freze,
10. Çok kesme kenarlı parmak freze,
11. 14 köşe uçlu 45° yüzey frezesi,
12. 4 köşe uçlu 90° kenar frezesi,
13. Yüksek ilerlemeli yüzey frezesi,
14. Sıralı uçlu helisel freze,
15. Pah kırma frezesi.

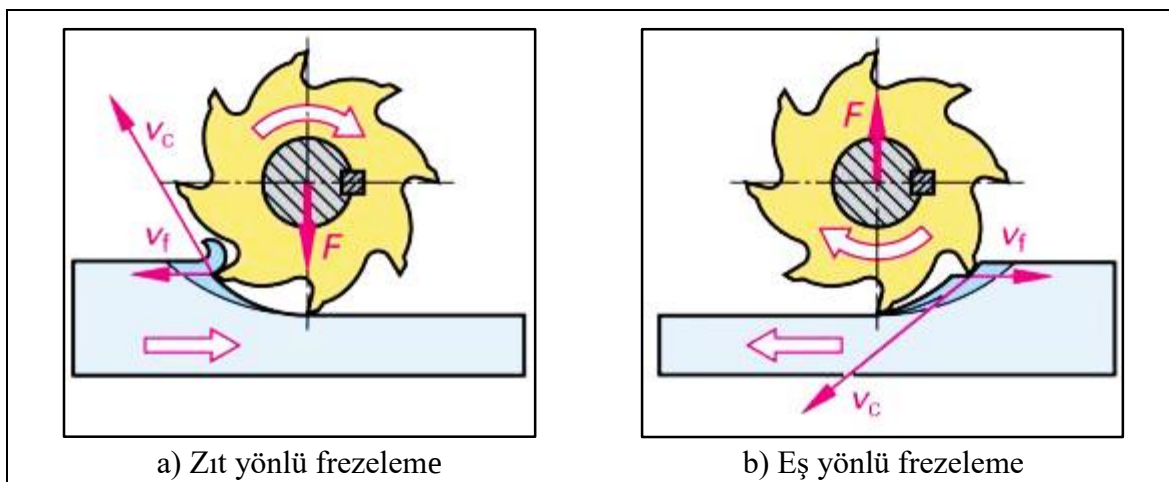
Şekil 3.4. Muhtelif freze takımları [63]

Frezeleme işlemini, alın frezeleme ve çevresel frezeleme olmak üzere iki bölüme ayırabiliriz. Şekil 3.5(a)'da görüldüğü gibi çevresel frezeleme işleminde kesici takım dönme eksenini üzerinde işlenecek parçanın yüzeyine paralel olarak çalışır. Alın frezeleme işleminde ise kesici takım dönme hareketi işlenecek parçanın yüzeyine dik olarak çalışır. Şekil 3.5 (b)'de alın frezeleme işlemi görülmektedir.



Şekil 3.5. Frezeleme işlem türleri [64]

Frezelemede kesici takımın dönme yönü ve iş parçasının hareket yönü ile iki farklı kategori altında sınıflandırır zıt ve aynı yönlü işleme. Zıt yönlü işlemede kesici takımın ağız işleme parçasının üstünde zıt bir şekilde hareket eder (Şekil 3.6 (a)), aynı yön frezelemede kesici takımın ve tablanın hareketi anı yöndedir (Şekil 3.6 (b)). İki frezeleme işlemin arasındaki en ayırıcı fark talaş kaldırma işlemidir, zıt yöndeki işlemlerde talaş kalınlığı aynı yöndeki frezeleme işlemlerden daha kalındır.



Şekil 3.6. İlerleme yönüne göre frezeleme çeşitleri [65]

3.4. Frezeleme İşlemini Etkileyen Faktörler

Frezeleme işlemini etkileyen bir sürü etken vardır ve bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Frezeleme tezgâhının gücü ve cinsi,
- Kesme derinliği, kesme genişliği, kesme hızları, işleme şartları ve yağlama şekli,
- Kullanılan takım, kesici takımın çapı, kesicinin kenar sayıları, kuvvet dağılım modelleri ve ağız uçları,
- İşletmede alınan tedbirler, işlemeyi yapan işçi performansı, işletme planı, tezgâh bakımı [49].

3.4.1. Frezeleme işleminde kesme parametreleri

Kesici takımın işleme parçasının dakikada metre cinsinden kat ettiği yol, kesme hızı olarak tanımlanır. Frezeleme işleminde kesici takımın çapı kesme hızını belirlemekte önem arz eder. İdeal ve uygun kesme hızı seçimi kesme şartlarının belirlenmesinde önemli bir etkisi olduğu açıktır [50].

Kesici takımların düşük hızlarda çalışması, zaman olarak üretim maliyeti kaybını göz önünde bulundurursak veya takımın çok hızlı aşındığında bilenmesi veya değiştirilmesi göz alırsak, bu şartlarda en ideal hızı bulmak işletmeci ve operatör için önem arz eder. Ayrıca, tablanın ilerleme hareketinde iş parçasının işleminde önemli yere sahiptir, eğer ilerleme çok yavaş gerçekleştirilirse, parça çok geç bitecektir, çok hızlı ilerlerse otlamaya sebep olacaktır ve çakının ömrü belirgin bir şekilde azalacaktır. Hızlı ilerleme, çakının kırılmasına da sebep olabilir. Anlatılan sorunlara ilaveten, talaş derinliği de işlemlerde önem arz eder. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği frezeleme işlerinde önem verilmesi gereken en kritik konular arasında yer almaktadır [51].

Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş kaldırma derinliğini belirlerken aşağıdaki verilen maddeleri göz önüne alınarak seçilmelidir:

- İmalatın süresini en aza indirmek,
- Kesicinin ömrü maksimum olması,
- Ölçülebilir hassasiyetin yakalanması,

- En iyi yüzey pürüzlülüğün elde edilmesi,
- Maksimum talaş kaldırılması,
- En az takım zıyaatı elde edilmesi,
- Maliyetin minimuma indirilmesi [52].

Kesme hızı

Kesme hızını, kesici üzerinde bir noktanın, dakikada metre cinsinden kat ettiği mesafedir. Kesme hızı aşağıda verilen formülle bulunmaktadır.

$$V_C = \frac{\pi D N}{1000} \quad (3.1)$$

Burada,

$$V_C = \text{kesme hızı, } \left(\frac{\text{m}}{\text{dak}} \right)$$

$$D = \text{Freze çapı, (mm)}$$

$$N = \text{Devir sayısı, } \left(\frac{\text{dev}}{\text{dakika}} \right)$$

Bir iş parçasının işlemek için aşağıda verilen parametreler göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir:

- İşlenecek parçanın malzemesi,
- Kullanılacak kesicinin malzemesi,
- Kesici takımın çapı,
- İş parçası yüzey kalitesi,
- Kaldırılacak talaş derinliği,
- Bağlama elemanı ve tezgâhın esnemezliği,
- İlerleme miktarı.

İlerleme hızı

İlerleme hızı, iş parçasından talaş almak üzere kesici takımın hemen altında, iş parçasının bir dakikada kat ettiği mesafedir. Kesme hızı ve ilerleme mesafesi birbiri ile çok yakın ilişkide bağlılardır. İlerleme hızı denklem 2'yi kullanarak hesaplanır.

$$F = f_z * Z * N \quad (3.2)$$

Burada,

F= Tabla ilerleme hızı (mm/dak),

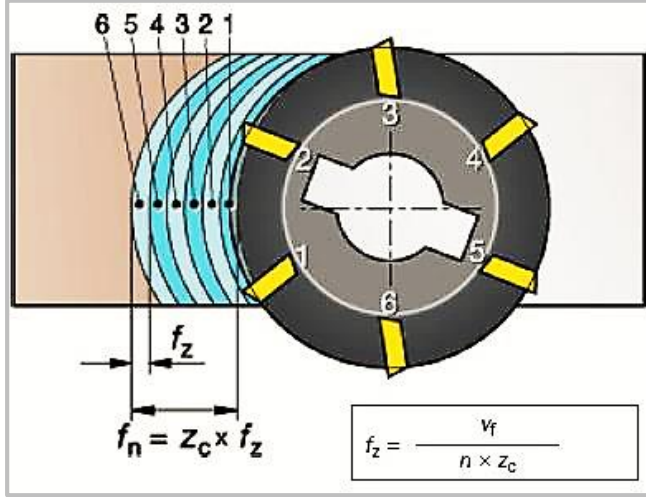
f_z = Diş başına ilerleme (mm/diş),

Z= Frezenin kesici diş sayısı (adet),

N= Devir sayısı (dev/dak).

Frezeleme işleminde diş başına ileriye doğru (f_z) hareket etmek önemli faktörlerden birisidir. Freze başlığı çok uçtan oluşan bir takımdır, bundan dolayı her ucun yeterli miktarda talaş kaldırabilmesi için, ilerleme hızının en ideal değere getirilmesi önem arz eder. Diş başına ilerleme şu şekilde tanımlanabilir, bir kesici takımın kenarın parçadan girişi ve aldığı talaşla bir sonraki kesici kenarın arasında geçen zaman süresince freze tablasının hareket ettiği mesafedir. Bundan dolayı, dişler arasındaki mesafeden ilerleme hızı değişkenlik gösterebilir [52].

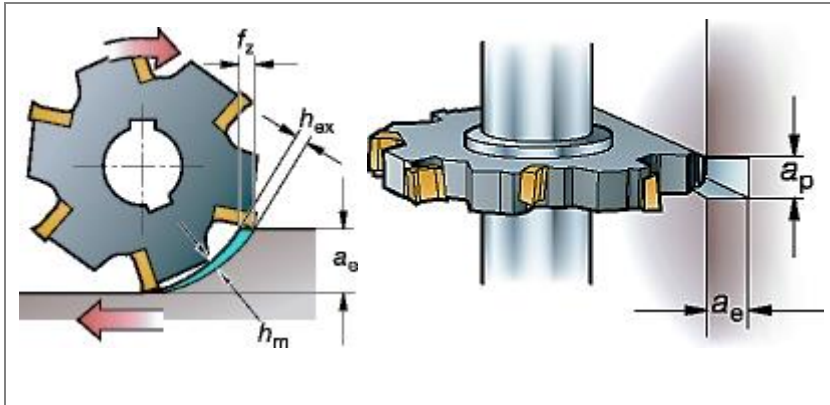
İlerleme hareketinin ideal hesaplanması, yüzey kalitesinin, kesicinin ömrünü ve imalat adedinin maliyetini etkileyecektir. İlerleme hızı çok düşük seçilirse, frezeleme işlemi çok yavaş yapılırken, parça imalatı geç bitecektir. Ancak, ilerleme hızı yüksek seçildiğinde takımın kırılma ihtimali artacaktır. Bu nedenle, en uygun ilerleme değerini seçmek önemlidir.



Şekil 3.7. Frezelemede diş başına ilerleme [66]

Kesme derinliği

Frezeleme işleminde, talaş derinliği iş parçasından dikey olarak alınan talaş ve dalma miktarıdır (Şekil 3.8). Talaş derinliği a_p sembolü kullanılarak gösterilir. Kesme miktarı uygun tayin edilmezse işleme zamanı ve bundan dolayı maliyet artacaktır. Kesme derinliği ve ilerleme mesafesi arasında da bir doğru orantı ilişkisi vardır. Kesme derinliği fazla olduğu zaman işlem kaba olacağı için ilerleme hızı yüksek olabilir ancak hassasiyetini yakalamak için derinlik düştükçe ilerleme hızı düşmesi gerekir .



Şekil 3.8. Kesme derinliği şematik görünüm[66]

3.4.2. Parmak frezeler

Genel olarak çevresel ve alın olmak üzere ikiye ayrılan frezeleme işlemi, takımın kendi etrafında dönmesi ile kesme işlemini gerçekleştirilir. Bu işlemlerde önemli olan talaş

kalınlığı, kesme hızı ve ilerleme hızıdır. Kesme hızı m/dak veya dev/dak olarak ifade edilir. Frezeleme karşıt ve aynı yönde yapılabilir. Karşıt yönde frezenin dönme yönü parçanın ilerleme yönüne zıtken aynı yönlü ilerlemede parçanın ilerlemesi ile frezenin dönmesi aynı yönde olur. Frezeleme işleminde, yan duvarlar ve iş parçası çevresinin işlenmesinde aynı zamanda farklı kanalların işlenmesinde çok kullanılan kesici takımlar parmak frezelerdir. Parmak frezeler çok kompleks bir geometriye sahiptir. Parmak freze üzerinde talaş açıları vardır. Bu açılar sayesinde kesme performansını en yüksek düzeyde çıkarırlar. Bu yüzden kesme işlemine göre parmak freze türü iyi belirlenmelidir. Şekil 3.9’da muhtelif parmak freze takım türleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Muhtelif parmak frezeleme takımları [67]

Parmak frezeler ile yapılan frezeleme işlemlerinde meydana gelen titreşimler kesici takımda sehım oluşmasına sebep olur. Frezelemede meydana gelen bu esneme yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olur. Frezeleme işleminde kesme kuvvetleri yapılan işlemin sonucuna etki eder. Radyal, eksenel ve teğetsel kuvvetler parmak frezeyi oluşturan kuvvetler yönünde zorlar. Frezeleme işlemleri, bu zorlamalar sonucunda parmak frezede oluşacak eğilme dikkate alınarak belirlenmelidir.

4. MALZEME VE METOT

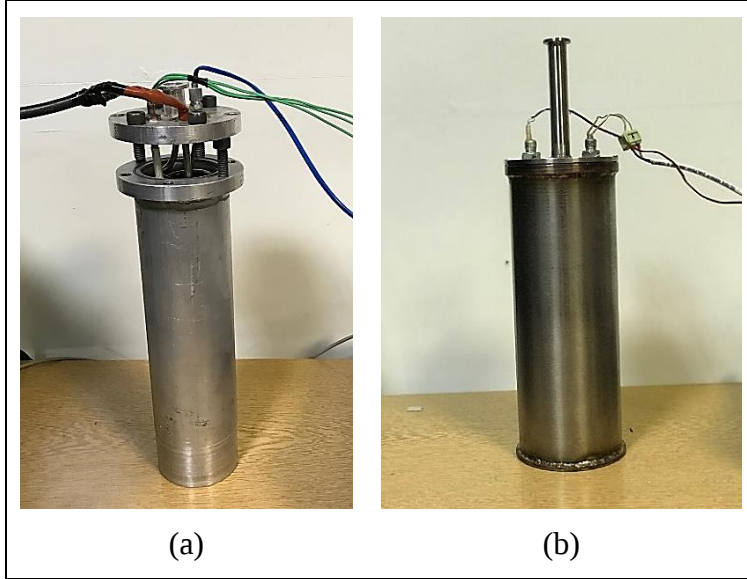
Bu çalışmada, PVD tekniği kullanılarak biriktirilmiş, Alüminyum Krom Nitrür (AlCrN) kaplamalı parmak freze kesici takımlara, farklı parametrelerde DKİ'ler uygulanmıştır. Yapılan çalışma kapsamında bir kriyojenik işlem ünitesi tasarlanıp hazırlanmıştır. Malzeme olarak, frezeleme işlemlerinde yaygın şekilde tercih edilen, mekanik kimyasal ve işlenebilirlik özelliklerinden ötürü, AISI 4140 imalat çeliği kullanılmıştır. Seçilen kesici takımın üretici firmasının önerileri ve ürünün katalog değerleri göz önüne alınarak işleme şartları ve parametreleri belirlenmiştir. Aynı özelliklere sahip kesici takımlara DKİ'ler uygulanarak elde edilen yeni ürünler, aynı şartlarda frezeleme işlemine tabi tutulmuş elde edilen çıktılar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Aşınma testlerinde elde edilen numuneler üzerinde yüzey pürüzlülüğü araştırılmıştır. Yapılan işlemlerin kesici takım sertliğe etkisini araştırmak amacıyla mikro ve nano sertlik ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan malzeme, donanım, işleme parametreleri, takım tezgâhı vb. özellikler aşağıda sunulmuştur.

4.1. Kriyojenik İşlem Ünitesi Tasarımı ve Üretimi

Bu çalışma için, özel olarak bir kriyojenik işlem ünitesi tasarlanarak hazırlanmıştır. Tasarım aşamasında öncelikli olarak, kriyojenik soğutma ve bekleme süreleri için literatür incelemeleri yapılmış ve DKİ parametreleri belirlenmiştir. Literatür araştırmalarında kesici takım ve kesici takım kaplamaları konusunda çalışılmaya ihtiyaç duyulan alanlar incelenmiş, alüminyum krom nitrür (AlCrN) kaplanmış kesici takımlar çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Literatür incelemeleri sonucunda derin kriyojenik olarak adlandırılan -196 °C'de deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. DKİ ünitesi boyutları tasarlanırken, kesici takım türü, takım ölçüleri, adetleri ve gelecekte çalışılması düşünülen numune ölçüleri göz önüne alınmıştır. Kriyojenik işlem kabinde kullanılacak malzeme tipleri incelenerek, kriyojenik ortamda deformasyona uğramayacak malzeme tipleri belirlenmiştir. Kabinin, termal şoklara dayanarak, soğutma ve ısıtma işlemlerini gerçekleştirebilmek amacıyla alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeden yapılmasına karar verilmiştir [11, 14, 53, 54].

Numuneler ile sıvı azot arasında termal yalıtımı oluşturabilmek için yapılacak vakum kabininin nihai ölçüleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, kabin imalatında kullanılacak malzeme kaynak ve bağlantı elemanlarının kriyojenik ortamda sağlam kalabilmesi için en uygun malzemelerin seçimi yapılmıştır.

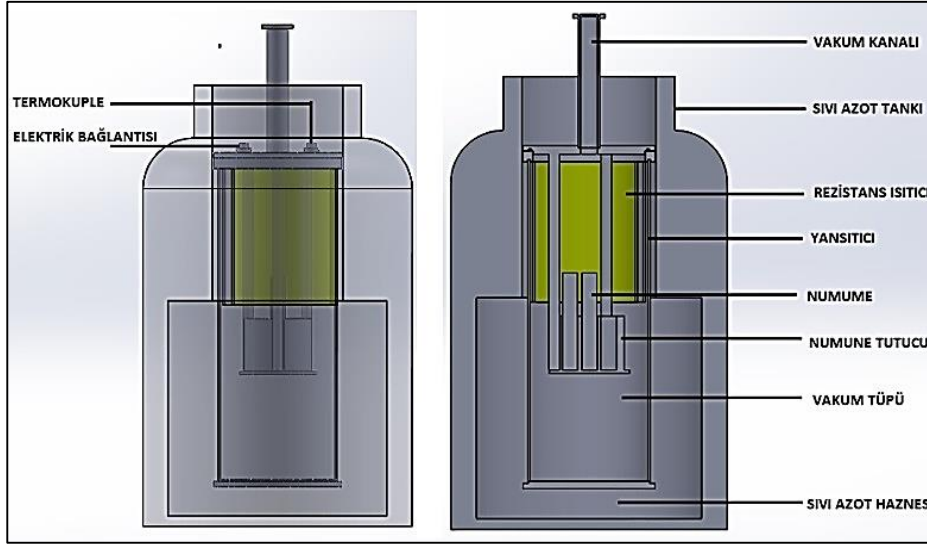
İlk olarak DKİ kabini içerisinde homojen sıcaklık dağılımını oluşturabilmek ve sıvı azota maruz kalan kabin elemanlarının davranışlarını incelemek için ön düzenek tasarımı yapılarak imalatı yapılmıştır. Resim 4.1(a)'da bu düzenek görülmektedir. Hazırlanan bu ön düzenek malzemesi için alüminyum seçilmiştir.



Resim 4.1. (a) Ön çalışma düzeneği, (b) Nihai düzenek

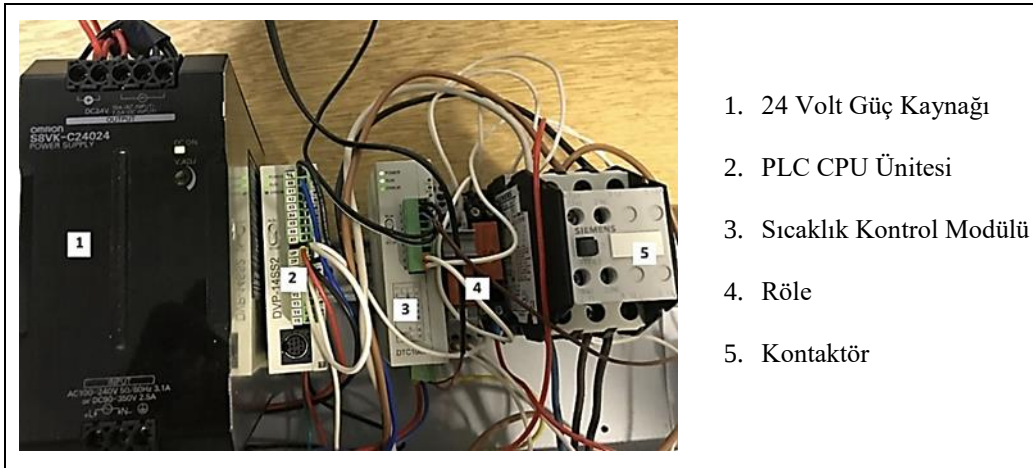
Resim 4.1 (a)'da görülen ön çalışma düzeneği içerisine yerleştirilen termočiftler yardımı ile kabin içerisindeki sıcaklık değişimi ölçülerek kabin performansı test edilmiştir. Kabin dış gövdesinde ve kaynak bölgelerinde sıvı azotun yarattığı yüksek sıcaklık farkına bağlı deformasyon oluşumları incelenerek vakum kaçakları tespit edilmiştir. Düzeltmesi gereken tasarım değişiklikleri tespit edilerek yeni tasarım oluşturulmuştur. Elde edilen veriler ışığında, kabin iç sıcaklığını dengeleyici görev yapan ısı üreticinin vakum ortamında iyi sonuç verebilmesi için ihtiyaç duyulan ısı kaynağı hesaplanmıştır. Ön düzenek üzerinde yapılan denemeler sonucunda nihai tasarım yapılarak üretimi gerçekleştirilmiştir.

Resim 4.1'(b)'de üretilen bu nihai düzenek görülmektedir. 3D yazıcı ile numuneler için kabin içine uygun bir tutucu tasarlanarak üretimi yapılmıştır. Şekil 4.1'de katı modeli görülen düzenek içerisinde deneyler yapılmıştır. DKİ esnasında kabin içi sıcaklık dağılımları bir veri toplama cihazı (34972A LXI Data Acquisition / Data Logger) tarafından kaydedilmiştir. Veriler incelendiğinde, çalışma hedefleri kapsamında uygulanan DKİ'nin hatasız olarak gerçekleştirildiği görülmüştür.



Şekil 4.1. Kesiti alınmış kriyojenik işlem vakum kabininin iç yapısı

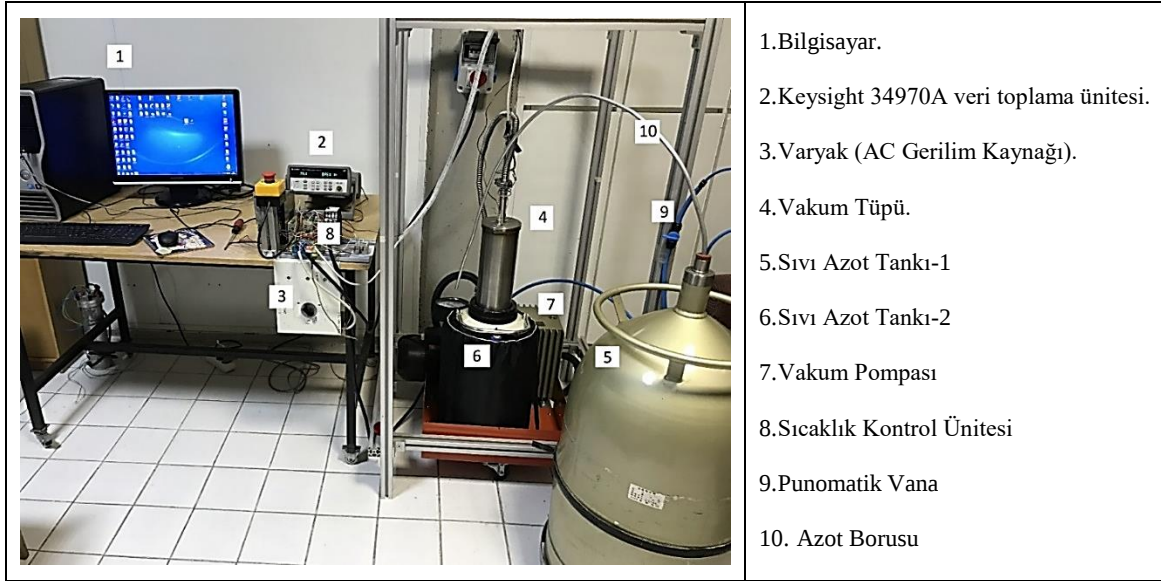
DKİ ünitesi, basınç ve sıcaklık kontrolü ile istenilen sıcaklık değerlerine ulaşmayı hedeflemektedir. Ayarlanabilir bir sıcaklık düşüşü ve yükselişi için ihtiyaç duyulan ısı gücü (Watt) hesaplanarak kullanılan kabin ölçülerine göre özel bir ısıtıcı tasarımı yapılmıştır. Deneysel ihtiyaçlara cevap verebilecek ölçüde farklı kriyojenik rampalama hızlarını elde edebilmeye uygun, elektronik kontrollü bir sistem tasarımı üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Resim 4.2’de hazırlanan kontrol ünitesi görülmektedir



Resim 4.2. Sıcaklık kontrol ünitesi

Sistemin ana kontrolü için bir PLC (Programlanabilir Logic Controller) kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünde çalışma aralığı $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan T tipi termočiftler kullanılmıştır. Sıcaklık verilerini işlemek ve çalışma parametrelerini girebilmek için Delta marka DTC sıcaklık kontrol modülü kullanılmıştır. Sıcaklık kontrol modülüne girilen

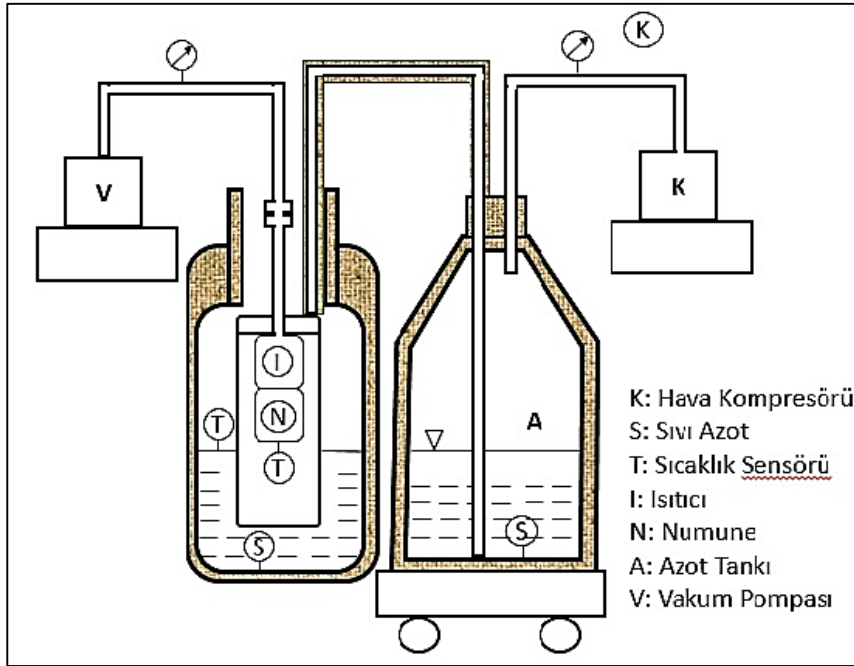
parametreler (rampalama hızı ve bekleme süreleri) bilgisayar ekranı üzerinden anlık olarak takip edilebilmektedir. Tüm sistem bir PLC tarafından denetlenerek sıcaklık ve basınç kontrolü otomatik olarak yapılır. Acil durumlara karşı elektrik kesici devre elamanları kullanılmıştır. Bu sayede sistemin çalışması gerek otomatik gerekse manuel olarak durdurulabilmektedir. Bu çalışma için, hazırlanan kriyojenik işlem ünitesi son hali Resim 4.3’de gösterilmiştir.



Resim 4.3. Kriyojenik işlem ünitesi

Sıvı azot, hava basıncı kullanılarak sistem içerisine enjekte edilmektedir. Isı yalıtımlı azot tankı içerisine yerleştirilen işlem kabini kademeli olarak tank içerisine indirilir. Kabin dışında bulunan sıvı azotun, numuneler üzerinde doğrudan etkisini azaltmak için vakumlama işlemi yapılmıştır. Kabin içerisindeki havanın vakumlanarak ortamdan alınması homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmesini sağlar. Geri besleme yöntemiyle yapılan kontrol sayesinde numunelere uygulanan sıcaklık ayarlanabilir hale getirilir. Kullanılan mekanik pompa 1×10^3 mbar seviyesinde vakumlama yapar. Sistemde istenilen özelliklere sahip Balzers Pfeiffer DUO 030 A tipi vakum pompası kullanılmıştır.

Toplam işlem süresi boyunca sıvı azot seviyesindeki azalmanın kriyojenik işlem sıcaklığını etkilememesi için ana azot tankından işlem tankına, hava basıncı kullanılarak azot enjeksiyonu yapılır. Şekil 4.2’de kriyojenik işlem ünitesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.2. Kriyojenik işlem ünitesi şeması

Kesici takımlar kriyojenik işlem tüpü içerisine yerleştirilerek tüpün kapağı kapatılır. Sistemin PID parametreleri, vakum oranı, kabin hacmi ve ısıl iletkenliği kullanılarak belirlenir. PID parametrelerinin doğru belirlenmesi sistem için kritik önemdedir. Bu işlem için DTCSOFT programında bulunan Auto Tuning özelliği kullanılır. Bu işlem ile hassas sıcaklık kontrolü için gerekli olan PID parametreleri belirlenmiş olur. DTCSOFT yazılımı kullanılarak hazırlanan program üzerinde, kriyojenik işlemin rampalama parametreleri ve bekletme süreleri ayarlanır. DKİ’de bu parametreler her rampalama hızı ve bekleme süresi için ayrı ayrı programda düzenlenir. Kabinin vakumlanması, ısıl iletkenliği düşürerek azotun etkisini azaltırken, kabin içindeki rezistif ısıtıcı ünite ile hassas sıcaklık kontrolü yapmaya başlar. PID değerleri bulunurken, ısıtıcının voltajı bir varyak ile ayarlandıktan sonra sabitlenir. Bir daha değiştirilmez. Bu sayede rezistansın watt gücü sabitlenmiş olur. Kabin iç sıcaklığı bir termočift ile dışarıya aktarılır. Termočift, DTC modülü ile sıcaklık kontrolünde kullanılırken aynı zamanda Keysight 34970A veri toplama ünitesi ile kriyojenik işlem sıcaklığını takip etmek amacıyla kullanılır. Keysight veri toplama cihazı yazılımı bir bilgisayar üzerinde kurulur ve kriyojenik işlem sırasında oluşan sıcaklık değişimleri bir grafik üzerinde anlık olarak takip edilir.

4.2. İş Parçası

Frezeleme işlemlerinde boyutları 70mm en, 105mm boy, 25mm yüksekliği olan AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. 4140 çeliği, piyasada karbon çeliği olarak sınıflandırılan genelde Amerikan standardı olarak adlandırılarak kullanılan %0,4 C'li çeliklerdir. Frezeleme işlemlerinde kullanılacak AISI 4140 çelik numuneye ait kimyasal bileşim Çizelge 4.1'de fiziksel özellikler ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI 4140 çelik numunenin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P(max)	S(max)	Cr	Mo
0,38-0,45	0,15-0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	0,90-1,20	0,15-0,30

Çizelge 4.2. AISI 4140 çelik numunenin fiziksel özellikleri

Sertlik (HB)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modülüs (GPa)	Yüzde uzama (%)
192-212	420	680	205	31

4.3. Deneylerinde Kullanılan Tezgâh ve Cihazlar

CNC freze tezgâhı

Kriyojenik işlemlerin kesici takımın aşınma performansı üzerindeki etkileri tüm takımlara aynı kesme şartları ve parametreleri uygulanarak araştırılmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış takımlarla belirli bir yol alınarak aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. AlCrN kaplamalı kesici takımlar için, ürünün katalog değerleri göz önüne alınarak deneysel şartlara en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda DKİ uygulanarak elde edilen yeni ürünler, aynı şartlarda frezeleme işlemine tabi tutulmuş elde edilen çıktılar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Deneylerde ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, Eğitim Atölyesinde mevcut FIRST mcv-1100 CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. CNC tezgâhı; üç eksenli lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO formatlı programlanabilir FANUC kontrol üniteli bir dik işleme merkezidir. Bu tezgâhın teknik özellikleri Çizelge 4.3'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. First mcv-1100 CNC dik işleme merkezi özellikleri

Model No	mcv-1100
Tabla çalışma yüzeyi	1300 x 600 mm
X,Y,Z hareket sınırı	X: 1100 mm Y: 600 mm) Z: 560 mm
İş mili motor gücü	11/15kW
Tabla yükleme gücü	1100kg
Makine ağırlığı	7400 kg
Maksimum akım kap.	63 amper
Maksimum devir sayısı	8000 rpm/min
Sırasıyla x, y, z eksen	600, 500, 600 mm
Ölçü hassasiyeti	0,001 mm
İşletim sistemi	Fanuc

CNC tezgâhı; üç eksenle lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO formatlı programlanabilir FANUC kontrol üniteli bir dik işleme merkezidir. Resim 4.4 ve Resim 4.5’de takım aşınması deneyleri için kullanılan CNC freze tezgâhı ve kontrol ünitesi gösterilmiştir.



Resim 4.4. FIRST mcv-1100 CNC freze tezgâhı



Resim 4.5. CNC freze tezgâhı FANUC kontrol ünitesi

Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

AlCrN kaplamalı tungsten karbür takımlarla, 4140 çeliğinin frezelenmesinden sonra yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan R_a dikkate alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için Mitutoyo Surf test SJ-410 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 4.6). Ölçümün sağlıklı gerçekleşmesi için 5 farklı yerden ölçüm yapılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin (R_a) ortalaması alınmıştır. Ölçümler kesme uzunluğu boyunca yani takım yoluna paralel olacak şekilde ve üç ayrı yüzeyden yapılmıştır. Elde edilen pürüzlülük değerleri Microsoft Excel programına kaydedilmiş ve aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri

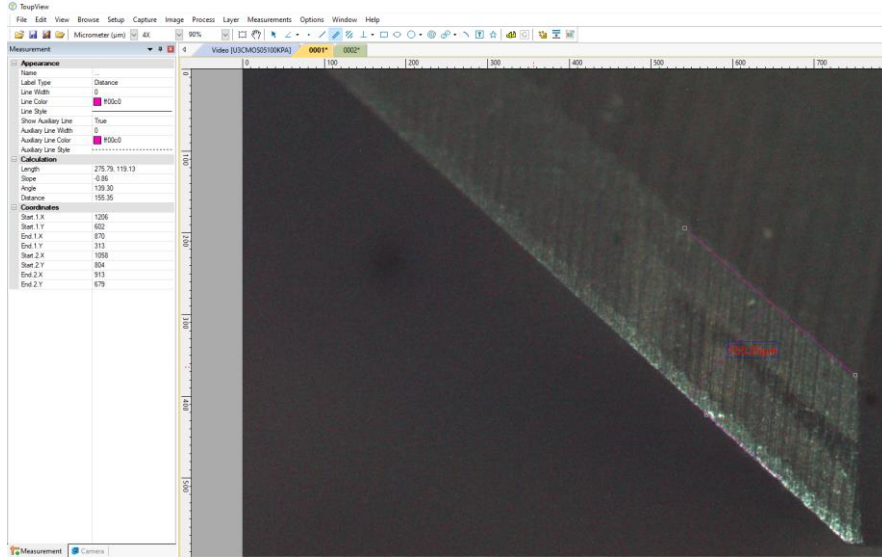
Marka	Mitutoyo
Model	Surftest SJ-410
Standart	ISO1997
Tarama hızı (mm/sn)	0,8
Ölçüm aralığı	0,8 mm
Profil çözünürlüğü (mm)	2,5µm
Filtre	Gauss
Örnekleme uzunluğu (mm)	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
Tarama uzunlukları (mm)	1,75; 5,6; 17,5
Yaklaşık ağırlık (N)	6



Resim 4.6. Mitutoyo Surftest SJ-410 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Mikroskop ve ölçüm yazılımı

Yapılan işlemin sonunda kesme işlemine son verilerek aşınan yüzey resimleri ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü Nanomekanik Laboratuvarında mevcut Nikon ECLIPSE E200 mikroskobu ile alınarak kaydedilmiştir. ToupView yazılım programı kullanılarak kesici takımlarda oluşan yan yüzey aşınmaları ölçülmüştür. Kesici takımlarda oluşan aşınma oranları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan ToupView yazılım programı üzerinden alınan görüntü Resim 4.7’de, mikroskop cihazının genel görüntüsü ise Resim 4.8’de gösterilmiştir



Resim 4.7. ToupView yazılım programı ekran görüntüsü

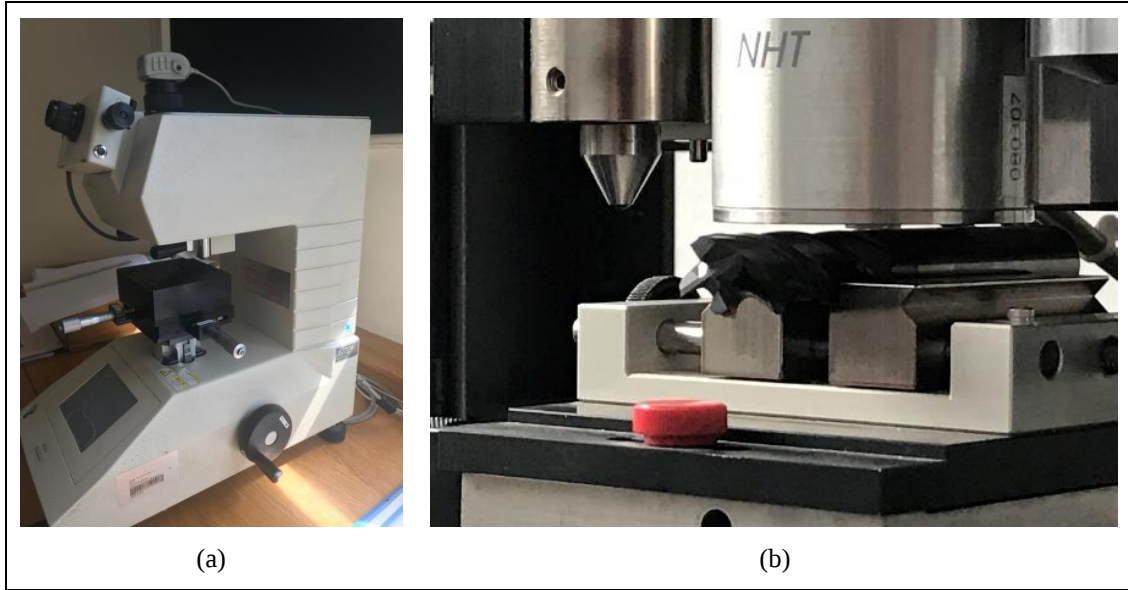


Resim 4.8. Nikon ECLIPSE E200 mikroskop

Mikro ve nanosertlik ölçüm cihazları

Kesici takımlara uygulanan DKİ'nin sertliğe etkisini araştırmak amacıyla mikro ve nano sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde mevcut SHIMADZU marka HMV-2 model mikro sertlik ölçüm cihazı (Resim 4.9-a) gerçekleştirilmiştir.

Mikro sertlik ölçümleri 1000 gr yük altında 10 saniye uygulanarak yapılmıştır. Nano sertlik testleri ODTÜ Merkezi Laboratuvar mevcut indentation (nano/micro) test cihazında (Resim 4.9-b) yapılmıştır. Numunelerin 10 farklı bölgesinden alınan değerlerin ortalaması alınmıştır.



Resim 4.9. (a) Mikro sertlik (b) Nano sertlik ölçüm cihazları

4.4. Kesici Takımlar

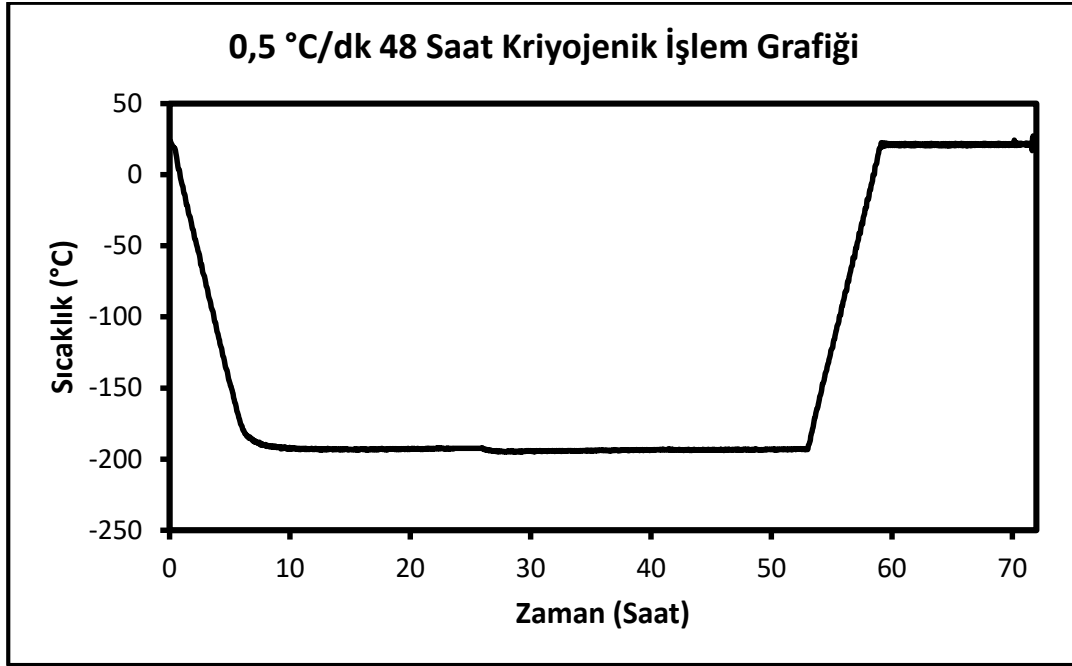
Deneylerde, DIN HA 6528 standardında 12 mm çapında, 4 ağızlı, 45° helis açılı, 82 mm boyunda KARCAN marka AlCrN kaplamalı tungsten karbür küresel uçlu parmak freze kesici takım kullanılmıştır. Takım tutucu olarak ise pens bağlantılı BT40 tutucu kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takım ve özellikleri

Üretici Kodu	Çap (mm)	Ağız sayısı	Kesici Takım Resmi
100412082	12	4	

4.5. Kriyojenik İşlemin Kesici Takımlara Uygulanması

DKİ uygulama esnasında kabin içi numune sıcaklıkları okunarak bir veri toplama cihazı (34972A LXI Data Acquisition / Data Logger) tarafından kaydedilmiştir. Kontrol ünitesinin çalışma performansını doğrulamak için kaydedilen bu veriler incelendiğinde, hazırlanan program adımlarına uygun olarak işlemin gerçekleştiği görülmüştür. $0,5^\circ\text{C/dakika}$ rampalama hızında yapılan deney verisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekilde DKİ'ye iniş ve çıkış rampalama hızı ile bekleme süresi programda istenilen grafikte aynı olduğu ve doğrusallığın yakalandığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Keysight veri toplama cihazı ile DKİ sırasında elde edilen zaman-sıcaklık değişim grafiği, kalibrasyon sonucu elde edilen ofset verisi de hesaba katılarak sıcaklık verileri hesaplanmıştır

Kriyojenik uygulamalarda numuneler ortam sıcaklığından işlem sıcaklığına belirli bir rampalama hızında soğutulmaktadır. Literatür çalışmalarında, soğutma aşamasının ve soğutma sürelerinin işlem gören numunelerin nihai özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda deney süreci için gerekli parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. DKİ'nin takımlara uygulanma parametreleri

Kriyojenik İşlem Uygulanan Takım Adedi			
Kriyojenik Bekleme Süresi	Kriyojenik uygulama hızı		
	0,25 °C/dak	0,5 °C/dak	1 °C/dak
24	2	2	2
36	2	2	2
48	2	2	2
TOPLAM	6	6	6

Yapılan deneylerde numuneler sırasıyla 0,25 °C/dak, 0,5 °C/dak ve 1 °C/dak, hızlarda oda sıcaklığından -196 °C sıcaklığa indirilmiştir. Bu sıcaklıkta 24 saat, 36 saat ve 48 saatlik farklı sürelerinde bekletilmiş ve bu saatlerin sonunda yine aynı hızlarda oda sıcaklığına çıkması

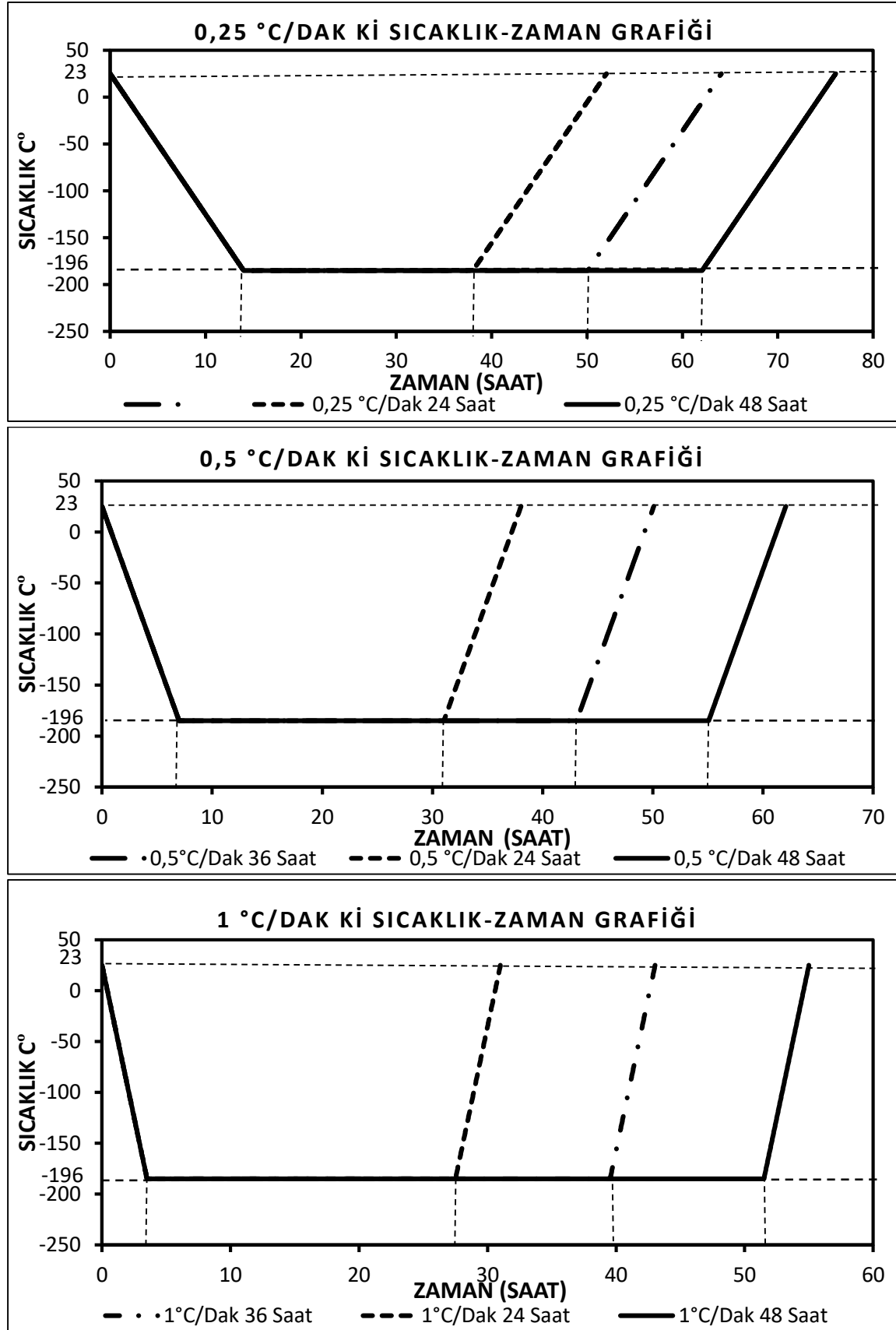
sağlanmıştır. Kesici takımlara uygulanan DKİ hızı, uygulama sıcaklığı ve toplam uygulama süresi Çizelge 4.11 'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deneylere göre DKİ süreleri

Kriyojenik Uygulama Hızı (°C/dak)	Soğutma Süresi (Saat)	Uygulama Süresi (Saat)	Isıtma Süresi (Saat)	Toplam İşlem Süresi (Saat)
0,25	13,06	24	13,06	50,12
0,5	6,53	24	6,53	37,06
1	3,26	24	3,26	30,52
0,25	13,06	36	13,06	62,12
0,5	6,53	36	6,53	49,06
1	3,26	36	3,26	42,52
0,25	13,06	48	13,06	74,12
0,5	6,53	48	6,53	61,06
1	3,26	48	3,26	54,52

Numunelerin kriyojenik sıcaklıklar altında, belirlenen sürelerde bekletilmesi, kriyojenik işlem gören malzemelerin nihai özellikleri açısından önemli olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir. Kriyojenik sıcaklıklardaki bu bekletme işleminin, atomların malzeme içerisinde yeni konumlara yayılması için gerekli olduğu görülmüştür [55]. Çalışma kapsamında yapılan DKİ'lere ait zaman-sıcaklık değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.6'da verilmiştir.

DKİ'lere ait zaman-sıcaklık değişim grafiklerinde görüldüğü gibi her bir deney için toplam deney süreleri değişmektedir. Yapılan deneyler içerisinde numuneler, en fazla 74,12 saat, en az ise 30,52 saat süreyle kriyojenik sıcaklık altında bekletilmiştir. Grafiklerin eğimi sıcaklık değişim hızını göstermektedir.



Şekil 4.4. Sırasıyla 0,25 °C/dak, 0,5 °C/dak ve 1 °C/dak, rampalama hızlarda, 24, 36 ve 48 saat bekletme süreleri için oluşan sıcaklık-zaman grafikleri

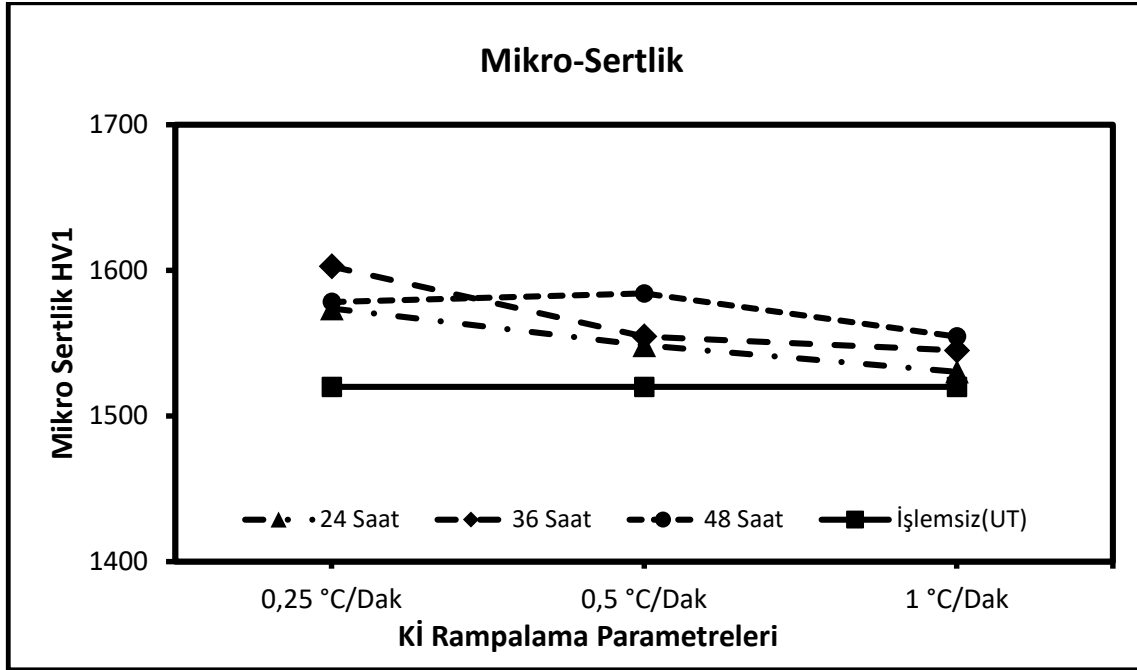
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

DKİ uygulanmış Alüminyum Krom Nitrür (AlCrN) kaplamalı parmak freze kesici takımlar üzerinde mikro ve nano sertlik testleri yapılmıştır. DKİ sonucu elde edilen yeni kesici takımlarla yapılan, AISI 4140 Çeliğinin frezeleme işlemi sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmaları değerlendirilmiştir.

5.1. Sertlik İncelemeleri

5.1.1. Mikro sertlik

PVD yöntemiyle AlCrN kaplamalı tungsten karbür numuneler üzerinde mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Parmak freze kesici takımlarının geometrik yapısı göz önüne alındığında, helisel bölge içerisinde kesme ağızlarını deformasyona uğratmamak için kaplamalı silindirik bölgeden ölçümler alınmıştır. Her bölge beşer adet ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Mikro sertlik ölçümleri, HV1 Vickers tekniği ile yapılmıştır. Numunelerin mikro sertliklerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Alınan değerlerde istatistiksel olarak standart sapmaların yüksek olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde numuneler arasında farklar olduğu, 0,25 °C/dak 36 saat DKİ uygulanmış numunenin diğerlerinden daha yüksek sertlikte olduğu görülmektedir. DKİ görmemiş numunenin diğer bütün DKİ görmüş numunelerden daha az sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Dolayısı ile DKİ görmüş numunelerde ölçülen sertlik değerlerinde artış görülmektedir. Genel olarak bütün rampalama oranlarında 24 saat bekletme süresi ile işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri diğerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Sonuçlarda, 0,25 °C/dak 36 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunenin diğerlerinden daha yüksek sertlikte olduğu görülmektedir. Kriyojenik işlemsiz (UT) numune ile en yüksek sertlik değerine sahip numune arasındaki fark en fazla % 5,3 seviyesinde olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 5.1’de mikro sertlik test sonuçları gösterilmektedir.



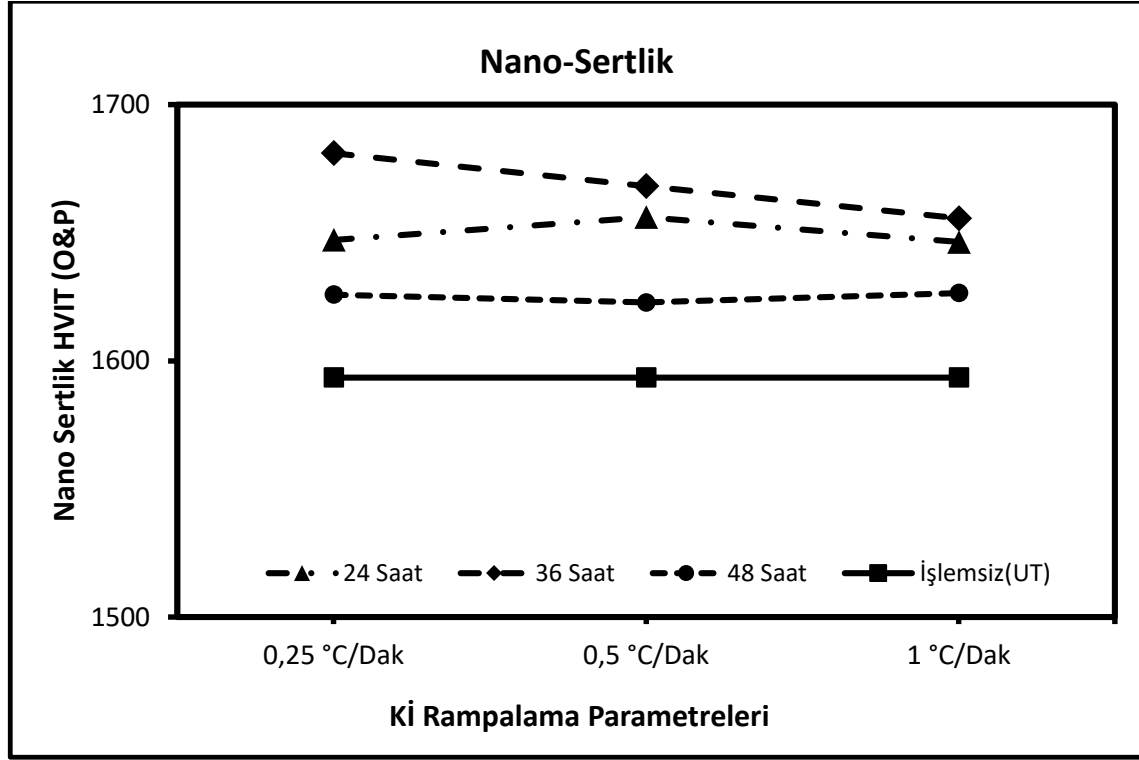
Şekil 5.1. Numunelerin mikro-sertlik ölçüm ortalama grafiği

DKİ'nin AlCrN kaplamalı tungsten karbür takımların sertliğine etkisi incelendiğinde takımlara uygulanan DKİ'lerin AlCrN kaplamalı tungsten karbür kesici takımların sertliğini arttırdığı görülmektedir. Grafiğe bakıldığında, yapılan işlemlerin sertliğe olumlu bir etkisinin olduğu ve genel olarak sertliği yükselttiği fakat 1 °C/dakika ile uygulanan DKİ'nin sertliğe daha az etkisinin olduğu görülmektedir. Yapılan birçok çalışmada DKİ uygulanan kesici takımların sertliğinin arttığı bildirilmiştir[35]. Ayrıca kesici takımlara uygulanan DKİ ile aşınma direnci, tokluk, yorulma direncinde artışın kaçınılmaz sonuç olduğu vurgulanmıştır [56]. Sertlik yükselişi, literatür verileriyle örtüşmektedir. Mikro sertlik testi sonuçlarını doğrulamak için nano sertlik testlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Nano sertlik sonuçlarının incelemesi bir sonraki başlık altında yapılmıştır.

5.1.2. Nano sertlik

PVD yöntemiyle AlCrN kaplamalı tungsten karbür numuneler üzerinde nano sertlik ölçümleri yapılmıştır. Nano sertlik testi, uygun bir indenter kullanılarak örnek yüzeyine dik olacak şekilde belirlenen bir maksimum değere kadar yük uygulanarak ve bu maksimum yük değerine ulaşıldıktan sonra tekrar dereceli olarak yükü boşaltarak yapılır. Yükleme ve yükü geri alma sonucunda elde edilen yük (N), derinlik (nm) eğrileri analiz edilerek sonuçlar belirlenir. Parmak frezelerin kaplamalı silindirik bölgesinden on adet ölçümün ortalaması

alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde, 0,25 °C/dakika 36 saat kriyojenik işlemler numunelerin en yüksek sertliğe sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Numunelerin nano-sertlik ölçüm ortalama grafiği

DKİ'nin AlCrN kaplamalı tungsten karbür takımların sertliğine etkisi incelendiğinde mikro sertlikte elde edilen ölçüm sonuçlarında standart sapmaların ve sertlik değerlerinin nano sertlik ölçümlerine göre yükseldiği görülmektedir. Kaplama kalınlığının 2-4 mikron arasında olduğu dikkate alındığında sertlik ölçümlerinin kaplama içerisinde kalması sağlanarak en iyi ortalama değerinde sertlik sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan DKİ'lerin AlCrN Kaplamalı tungsten karbür kesici takımların sertliğini arttırdığı her iki sertlik testinde de görülmektedir. Grafıklere bakıldığında, yapılan işlemlerin sertliği arttırıcı yönde bir etkisinin olduğu, genel olarak sertliğe katkı yaptığı görülmektedir. Diğer numuneler incelendiğinde yine benzer şekilde sertliklerde bir yükselme olmakla birlikte 1 °C/dak ile işlem görmüş numunenin sertlik değerleri diğerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. DKİ'nin genel olarak 0,25 °C/dak rampalama oranlarında daha iyi sonuç verdiği ve DKİ uygulanan bütün numunelerde sertlik artışının olduğu görülmektedir.

5.2. İşlenebilirlik Çalışmaları

Rekabet koşullarının artması sonucunda üretim maliyetlerinin düşürülmesi zorunlu bir hal alırken aynı zamanda ürün kalitesi ve kesici takım aşınma direncinin arttırılması da önemli bir gereksinim haline gelmiştir. Bununla birlikte aşınma direnci yüksek kesici takımlar ile yüksek kesme hızlarında kesme işlemi yapılabilmektedir. Aşınma, kesici takımın iş parçasıyla temas ettiği bölgede sürtünmeler sonucunda meydana gelir. Sürtünmeler neticesinde oluşan sıcaklık ise takımın aşınmaya karşı direncini azaltan bir etkidir. Talaşlı imalatla aşınma direnci yanında iş parçası yüzey kalitesi de önemlidir. Genellikle, başarılı bir kesici takım aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

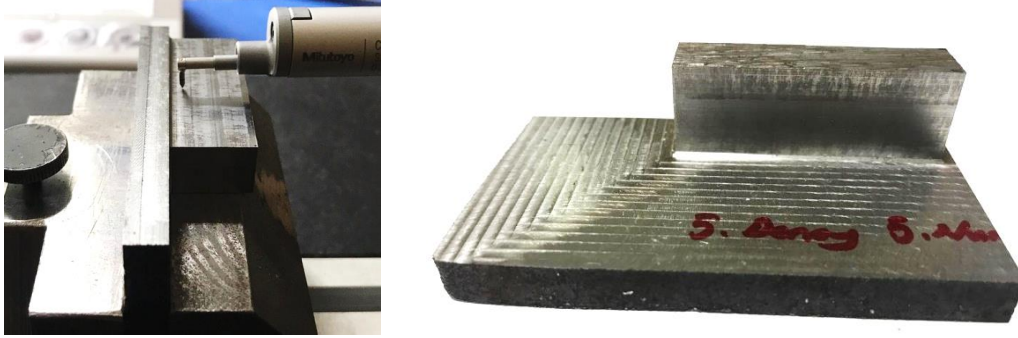
- Yüzey aşınması ve deformasyona dayanabilmesi için sert olmalı
- Kırılmaya dayanabilmesi için tok olmalı
- İş parçası malzemesi ile tepkime içinde olmamalı
- Oksitlenmeye ve difüzyona dayanabilmesi için kimyasal olarak stabil olmalı
- Ani termal değişikliklere karşı dayanıklı olmalı

İşlenebilirlik testleri kapsamında numuneler, AISI 4140 malzeme üzerinde yüzey frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Frezeleme işlemleri kuru kesim şartlarında gerçekleştirilirken kesme bölgesine hava üfleme yapılarak talaşın takımla iş parçası arasına sıkışması önlenmiştir. Kesme işlem parametreleri; kesme hızı 150 m/dak, ilerleme hızı 0,05 mm/diş, kesme derinliği (ap) 8 mm, işleme genişliği (ae) 2 mm olarak kullanılmıştır. Ayrıca iş parçasının kesme yüzeylerinde pürüzlülük tespiti yapılmıştır.

5.2.1. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

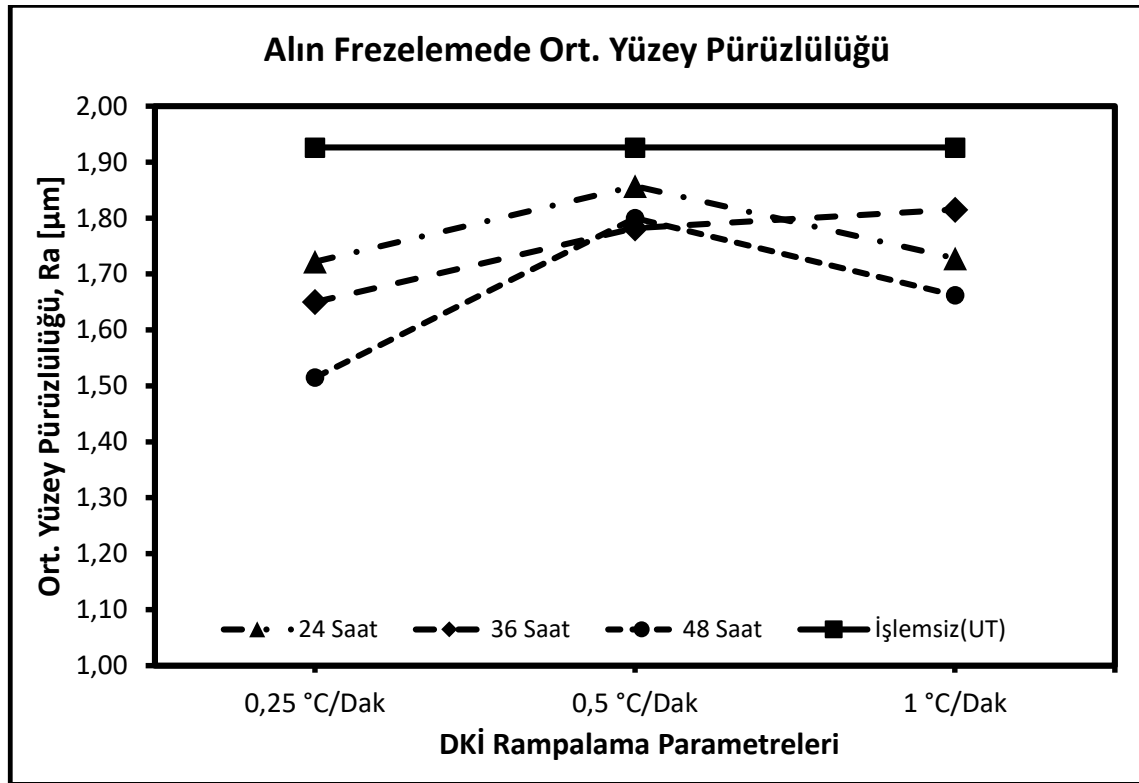
Kesici takım performansları, talaşlı imalatlarda üretilen parçaların ürün ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Talaşlı imalatla parametrelerin doğru seçilmesi yüzey kalitesini etkileyen diğer bir unsurdur. Yüksek kesme hızlarında işlem yapan kesici takımların geliştirilmesiyle birçok yeni malzeme endüstride kullanılabilir hale gelmiştir. Bu malzemeler oldukça serttir ve işlenebilme zorlukları imalat sürecinde yüzey kalitesinin iyi olmasını zorlaştırmaktadır. Bu tür malzemelerin işlenebilmesi için en uygun takımların ve bu takımlar için en uygun parametrelerin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Karcan firmasına ait kesici takımlar kullanıldığından, firma ürün katalogunda belirtilen parametreler doğrultusunda kesme

işlemleri yapılmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımlar kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde, ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmiştir. Resim 5.1’de iş parçasının kesme işlemi sonucundaki görüntüsü ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmesi görülmektedir.

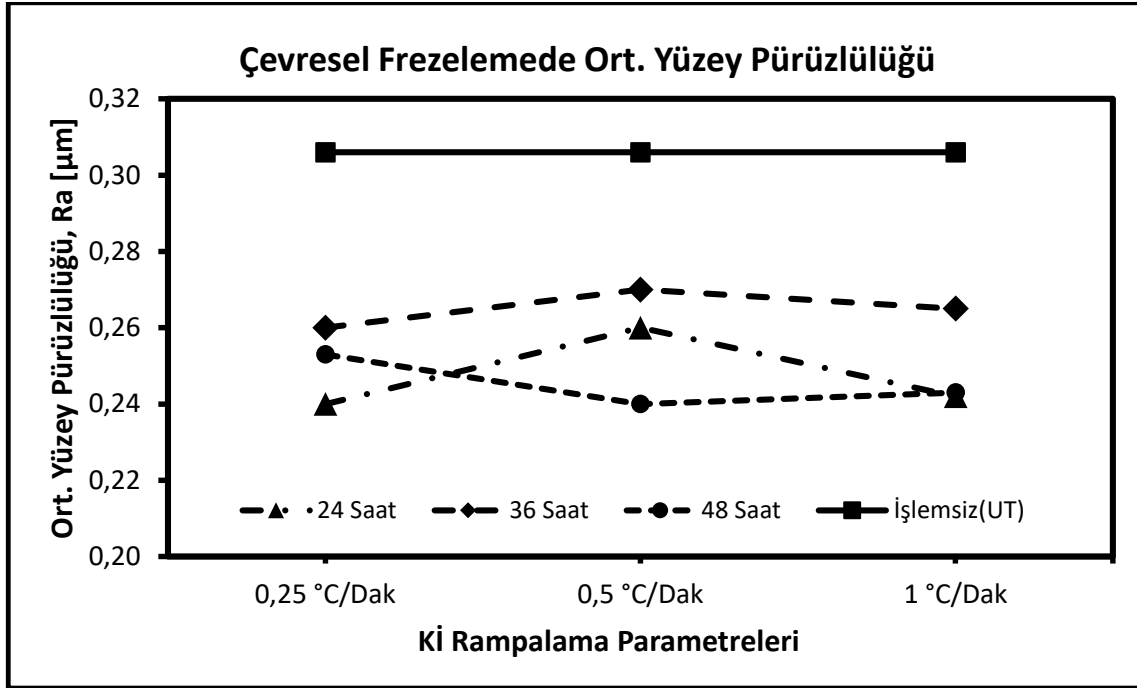


Resim 5.1. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan iş parçası ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen numuneler üzerinde yapılan yüzey pürüzlülük değerleri aşağıda verilmektedir. Şekil 5.3 alın işleme, Şekil 5.4’da ise duvar işlemede alınan ortalama yüzey pürüzlülük ölçümleri görülmektedir.



Şekil 5.3. Alın frezelemede kesme hızı ve uygulanan kriyojenik işlemlere bağlı olarak, ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim grafikleri



Şekil 5.4. Çevresel frezelemede, kesme hızı ve uygulanan kriyojenik işlemlere bağlı olarak, ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim grafikleri

Her bir kesici takımla talaş kaldırma işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzeyler üzerinde üç farklı bölgede yüzey pürüzlülüğü incelemesi yapılmıştır. Ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır. DKİ görmüş numunelerin, DKİ işlem görmemiş (UT) numunelerden daha iyi yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmektedir. AlCrN kaplamalı kesici takımlarla yapılan işlemlerde, kriyojenik işlemin ortalama yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği görülmüştür. Sonuçlarda, en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,25 °C/dak rampalama hızında DKİ uygulanmış numuneler olduğu görülmektedir.

Literatürde, PVD kaplamalı tungsten karbür takımların mekanik yapısında iyileşmeler görülmektedir. PVD kaplamalı tungsten karbür takımlarla yapılan işlemlerinde, kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu yönde etkilediği görülmektedir [35]. Kriyojenik işleme bağlı olarak PVD kaplamalı tungsten karbür takımların mekanik yapısında iyileşmeler görülmektedir [35]. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan ısı, kesme hızının artması ile doğru orantılıdır. Kesme bölgesindeki plastik deformasyon kolaylaşarak, azalan titreşimlere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde azalmalar göstermektedir [58]

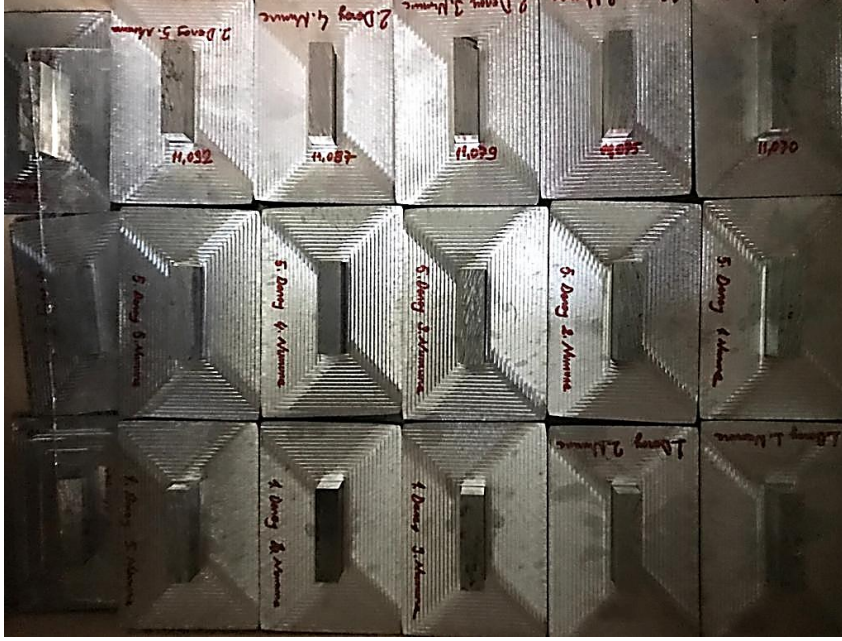
5.2.2. Kesici takım aşınması

Bu bölümde, PVD yöntemiyle biriktirilen AlCrN kaplamalı tungsten karbür takımlara uygulanan DKİ'nin takım aşınmasına etkisi araştırılmıştır. Frezeleme işlemlerinde boyutları 70mm en, 105mm boy, 25mm yüksekliği olan AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Aşınma testleri DKİ görmüş ve DKİ görmemiş tüm kesici takımlar üzerinde yapılmıştır. Takım ömrünün araştırılması amacıyla yapılan kesme işlemleri üretici firmanın belirttiği katalog değerleri üzerinden, kuru kesim şartlarında gerçekleştirilirken kesme bölgesine hava üfleme yapılarak talaşın takımla iş parçası arasına sıkışması önlenmiştir. Aşınma testlerinde kesici takımlara uygulanan kesme parametreleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Aşınma testlerinde kullanılan kesme parametreleri

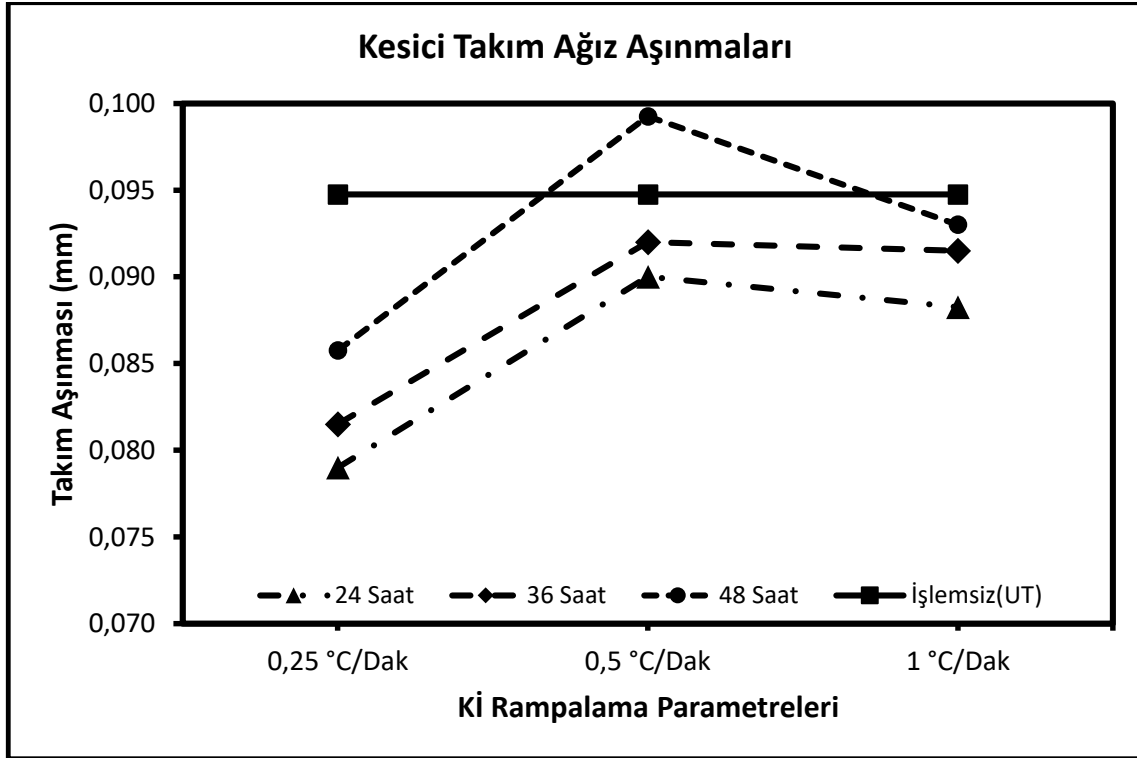
Deney	Vc [m/dak]	fz [mm/diş]	ap [mm]	ae [mm]
0,25 °C /dak, 24 saat	150	0,05	8	2
0,5 °C/dak 24 saat	150	0,05	8	2
1 °C/dak 24 saat	150	0,05	8	2
0,25 °C/dak 36 saat	150	0,05	8	2
0,5 °C/dak 36 saat	150	0,05	8	2
1 °C/dak 36 saat	150	0,05	8	2
0,25 °C/dak 48 saat	150	0,05	8	2
0,5 °C/dak 48 saat	150	0,05	8	2
1 °C/dak 48 saat	150	0,05	8	2
Derin Kriyojenik İşlemsiz(UT)	150	0,05	8	2

Yanal kayma takımının %16,6'sı ile 2 mm ve kesme derinliği de 8 mm olarak belirlenmiştir. Bir iş parçası için 8160 mm, toplamda beş iş parçasında 40800 mm kesme işleminden sonra kesici takımlar çıkarılmış ve Nikon ECLIPSE E200 dijital mikroskopta kesici takım yüzeyinden görüntüler alınmıştır. Her bir kesme ağzı sırasıyla görüntülenmiştir. Alınan görüntüler üzerinde Toupview yazılım programı kullanılarak aşınma miktarları ölçülmüştür. Talaş kaldırma işlemlerinin ardından iş parçasından alınan görüntü Resim 5.3'de görülmektedir.



Resim 5.2. Talaş kaldırma işlemi sonrasında iş parçası görüntüleri

Kriyojenik işlem uygulanmış PVD AlCrN kaplamalı tungsten karbür takımlarla AISI 4140 çelik malzeme üzerinde belirlenen parametrelerde talaş kaldırma işlemi sonunda kesici takımın üzerinde oluşan aşınma değerleri Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.5. AlCrN kaplamalı kesici takımlar ile kuru kesme koşullarında yapılan aşınma testi sonucu elde edilen takım ömürleri

Frezeleme işlemi sonucunda tüm kesici takımların kesme ağızlarının aşındığı görülmüş aşınma miktarı ölçülerek hesaplanmıştır. Kesme işlemlerinde bütün AlCrN kaplamalı karbür takımlarda aşınma miktarlarının farklı ve istenen seviyede bir ayrışmaya imkân verdiği tespit edilmiştir. Takım ömrü açısından değerlendirildiğinde en iyi sonuç 0,25 °C/dak, kaplamalı karbür kesici takımlara ait olduğu görülmüştür.

Grafikte görüldüğü gibi 0,25 °C/dak rampalama gurubunda bulunan kesici takım numunelerde ölçülen aşınma miktarlarının diğer deney guruplarından ve DKİ görmemiş numuneden daha az olması, bu takımlarda performans artışı sağlandığını göstermektedir. En büyük aşınma 0,0993 mm ile 0,5 °C/dak 48 saat grubu kesici takımda, en düşük aşınma ise 0,0790 mm ile 0,25 °C/dak 24 saat grubunda görülmüştür. En düşük aşınma (0,0790mm) değerine sahip 24 saat 0,25 °C/dak DKİ işlem görmüş numune ile DKİ işlem görmemiş numune (0,0948mm) arasındaki fark %16,66 olarak ölçülmüştür. Seçilmiş olan rampalama hızları ve bekletme süreleri açısından yapılan değerlendirmelerde en iyi takım ömrü hedefine 0,25 °C/dak ve 24 saat bekletme süresi ile elde edilen takımla ulaşılmıştır.

Aşınma verilerinin tartışması, Archard denklemi ile yapılabilir. Bu denklem, malzemedeki aşınma sebeplerini, sadece sertlik üzerinde değil, farklı bağlantılar ile de açıklamaktadır.

Denklem 5.1: Archard Temel Denklemi [61]

$$\dot{W} = k_0 \frac{P}{H} = k_0 \frac{\alpha P^{1/2} m^2 E \sigma_y P}{\beta H^{1/2} KIC^2 H} \quad (5.1)$$

Archardın temel denklemi, aşınma hızının sertlikle bağlantılı olduğunu göstermektedir. Fakat bu denklem, farklı vektörler ve kuvvetler hesaba katıldığında, sadece sertlik değil, tokluk, elastik modülüs ve akma direncinin de hesaba katılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Yukarıdaki denklem Archardın temel denklemidir. Denklemdeki k_0 değeri vektörel bir şekilde açıldığında, Elastik modülüs, y ekseninde akma mukavemeti, sertlik (H) ve tokluk (K_{1c}) terimlerinin aşınma direncine olan etkisi görülebilir. W, aşınma hızı olarak belirtilmiştir.

Denklem 5.2: Archard Hacimsel Aşınma Denklemi [61]

$$V = \left[K_1 \eta \frac{1}{L_2 d \eta} + K_2 (1 - \eta) \frac{d^2}{L_2} L_1 S = \left[K_1 \frac{1}{d} + K_2 (1 - \eta) d^2 \right] \frac{L_1}{L_2} S, \right] \quad (5.2)$$

$0 < \eta < 1$

$$\eta = W_{rc}/W_t$$

V aşınan hacim,

K_1 penetrasyon sonucunda kaybolan hacim (nm^3),

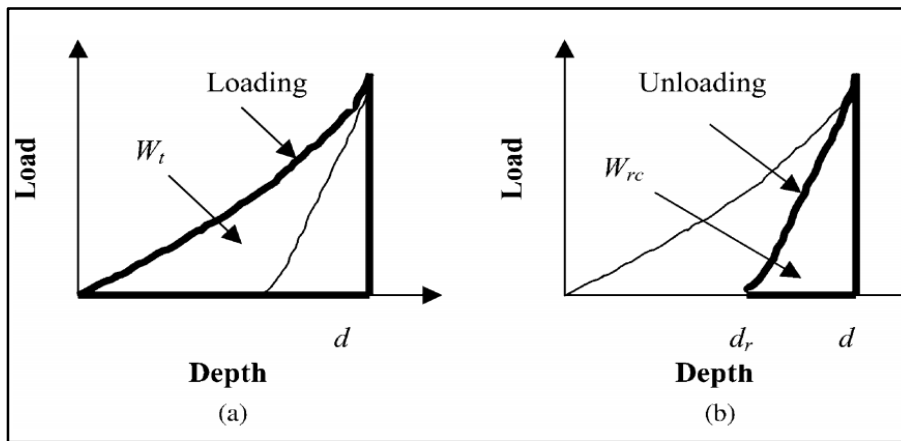
K_2 boyutsuz bir sabit,

L_1 ve L_2 aşındırma yükü ve indent yükü,

S kayma uzunluğu,

d, aşınma uzunluğu olarak tanımlanmıştır.

Aşınan hacimdeki eta birimi ise kesici takımın elastikiyetini gösteren bir orandır.



Şekil 5.6. Indentation sonucunda elde edilen elastik ve plastik deformasyonun kuvvet-indentasyon derinliğinin gösterimi [61]

Kesici takım aşınmalarının matematiksel olarak gösterimi için de eta katsayıları hesaplanmıştır. Archard denkleminde tanımlanan eta sayısı ayrı ayrı bütün numuneler için

hesaplanmıştır. Bu hesap için gereken W_t ve W_{rc} değerleri nanoindentation sonucunda verilen veriler ışığında hazırlanmıştır.

Çizelge 5.2. Nanoindentation sonucu elde edilen eta parametreleri

Numune Grubu	Eta Sayısı (η)
1 °C/dak 24 Saat	0,5902
0,5 °C/dak 24 Saat	0,5508
0,25 °C/dak 24 Saat	0,5998
1 °C/dak 36 Saat	0,5302
0,5 °C/dak 36 Saat	0,4846
0,25 °C/dak 36 Saat	0,5762
1 °C/dak 48 Saat	0,5595
0,5 °C/dak 48 Saat	0,4685
0,25 °C/dak 48 Saat	0,5808
Derin Kriyojenik İşlemsiz	0,5661

Çizelge 5.2’de belirtilen eta sayıları, elde edilen aşınma verileri ile uyum içerisindedir. En düşük aşınmaya sahip olan 24 saat 0,5 °C/dak olan grup en yüksek eta sayısına sahiptir. Bunun yanında en yüksek aşınmaya sahip olan 48 saat 0,5 °C/dak olan grupta ise eta sayısı en düşüktür. İşlem görmemiş gruptaki eta sayısı ise birçok işlem görmüş gruptan daha yüksek olmasına rağmen, aşınma sırasında sondan ikincidir. Bunun sebebi de, denklemde etanın önemli bir yer tutmasına rağmen, sertlik de kesici takım aşınmasında büyük bir etkindir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar

Bu çalışmada, PVD tekniği ile biriktirilen Alüminyum Krom Nitrür (AlCrN) kaplamalı, parmak freze kesici takımlara, dokuz farklı kriyojenik işlem uygulanmıştır. Bu işlemler için DKİ ünitesi tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Deneylerde, Karcan firmasına ait kesici takımlar kullanılmıştır. AlCrN kaplanmış parmak frezelere 0,25 °C/dak, 0,5 °C/dak ve 1 °C/dak olmak üzere 3 farklı rampalama hızında ve 24, 36 ve 48 saat boyunca, -196°C’de DKİ uygulanmıştır. DKİ’ye inişte ve çıkışta rampalama hızları eşit tutulmuştur.

Numunelerin frezleme işleminde iş parçası olarak AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Yüzey aşındırma için en ideal kesme hızı ve ilerleme oranı, üretici firmadan bilgi alınarak ve operatör deneyimleri ile elde edilmeye çalışılmıştır. Kesme işlem parametreleri; kesme hızı 150 m/dak, ilerleme hızı 0,05 mm/diş, kesme derinliği (ap) 8 mm, işleme genişliği (ae) 2 mm olarak kullanılmıştır. Frezeleme işlemleri sonrasında, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması sonuçları aşağıda açıklanmaktadır.

- Aşınma testleri sonucunda numuneler üzerinde yapılan incelemede, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,25 °C/dak rampalama hızında DKİ uygulanmış numuneler olduğu görülmektedir. Yapılan ölçümlerde DKİ’ye maruz bırakılmış numunenin yüzey pürüzlülük değerlerinin işlem yapılmamış numunelere oranla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Aşınma testleri sonuçları incelendiğinde AlCrN kaplamalı karbür kesici takımlarının kesme ağızları ölçülmüş, 0,25 °C/dak rampalama gurubunda bulunan kesici takım numunelerde ölçülen aşınma miktarlarının diğer deney guruplarından ve DKİ görmemiş numuneden daha az olması, bu takımlarda performans artışı sağlandığını göstermektedir. En büyük aşınma 0,0993 mm ile 0,5 °C/dak 48 saat grubu kesici takımda, en düşük aşınma ise 0,0790 mm ile 0,25 °C/dak 24 saat grubunda görülmüştür. En düşük aşınma (0,0790mm) değerine sahip 24 saat 0,25 °C/dak DKİ işlem görmüş numune ile DKİ işlem görmemiş numune (0,0948mm) arasındaki fark %16,66 olarak ölçülmüştür. Seçilmiş olan rampalama hızları ve bekletme süreleri açısından yapılan değerlendirmelerde en iyi takım ömrü hedefine 0,25 °C/dak ve 24 saat bekletme süresi ile elde edilen takımla ulaşılmıştır.

- DKİ uygulanan ve uygulanmayan kesici takımların mikro-sertlik ve nano-sertlik ölçümleri yapılarak sertlik değişimi, incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yapılan DKİ'lerin AlCrN kaplamalı tungsten karbür kesici takımların sertliğini arttırdığı her iki sertlik testinde de görülmektedir. Grafiklere bakıldığında, yapılan işlemlerin bütün numunelerde artışa sebep olduğu görülebilmektedir. En fazla artış da 36 saat 1 C/dakika grubunda olduğu açıktır.
- Genel performans değerlendirmesinde, hem en az aşınan, hem en kaliteli yüzey pürüzlülüğünü ortaya koyan, fakat hem de nano sertlik deneyinde en yüksek sertliğe sahip olmayan 24 saat 0,25 °C/dak olmuştur. Ortaya çıkan bu tabloda, yapılan kryojenik işlemlerin, deneysel farklılıklardan ötürü, literatürdeki bilgilerden bir takım farklılıkları gösterdiği gözlemlenmiştir. Netice olarak, literatür bilgilerinde iyileştirmenin sağlanması, hep sertlik değerlerinin yükselmesi ile oluşturulmuştur. Fakat en sert numunenin en yüksek sertlikteki numunede değil, bir başkasında çıkması, sadece sertliğin aşınmayı etkilemediğini, başka sebeplerin de aşınmayı etkilediğini göstermiştir. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen iyileştirme değerleri de, literatürdeki değerlere yakın bir iyileştirme gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- Bu durumun sebebinin ise, sadece sertlik değil, bunun yanında tokluk değerlerinin de aşınma direncine pozitif olarak etkilediği kanıtlanmış ve literatürde gösterilmiştir. Ayrıca kryojenik işlemlerin de tokluğu pozitif olarak etkilediği, faz dönüşümlerinin sonucunda hem daha sert hem de daha tok yapıların oluşumunu sağladığı bilinmektedir. Bunlara ek olarak, performans artışlarının gözle görünür şekilde olması, ancak ve ancak tokluk artışı ile sağlanılabilmektedir. Bu durum için Archard denklemi ile nanoindentation bilgileri kullanılmış olup, tokluğu gösteren eta sayısı hesaplanmıştır. Deney sonuçları daha tok ve yüksek eta sayısına sahip olan numunenin daha yüksek performans gösterdiği yönündedir. [61].
- Literatür araştırmalarında kryojenik işlemlerin, kesici uçlarda sertliğin artışı görülmektedir [17]. Fakat yapılan çalışmalarda, farklı deneysel prosedürler ve malzemelerin kullanılmıştır. Daha genel bir perspektif ile bakış açısı ile yukarıdaki durumun bir benzeri, çeliklerdeki ısıtma işlemde bir benzeri olduğu görülmüştür. Araştırılan konunun, AlCrN kaplamalarda olan etkisinin literatürde yeni bir konu olmasından ötürü bu durumun genel ısıtma işlemler mekanizması ile açıklanması gerekmektedir.
- Çelik ve diğer benzer alaşımlar incelendiğinde farklı sıcaklık ve rampalama hızlarında, sertlik ve mekanik özelliklerin değişkenlik gösterdiği görülmektedir [59]. Mekanik

özelliklerin değişiklik göstermesi ise malzeme içerisinde farklı fazların oluşmasından kaynaklanmaktadır. Çelikte hızlı soğutmadan ötürü, faz parçacık boyutu küçülür, karbon atomları demir atomları içerisine nüfuz edemez ve yüzeyde birikir. Hızlı soğutma ayrıca malzeme içerisinde kalıntı gerilimleri de oluşturur. Bunun sebebi de çeliğin hızlı soğumasıyla birlikte, atomlarının normalde olması gereken yerlere gelememesi ve atomik seviyede hataların oluşmasıdır [60]. Olması gerekenden daha yoğun bir atomik düzen ve bu hataların varlığı, atomların bir mekanik kuvvet karşısındaki hareketlerini engeller ve bu da daha sert ama daha kırılgan bir yapı oluşturur. Bunun tam tersi olarak, yavaş soğutma hızı ise malzeme içerisindeki atomik yapıyı daha düzenli ve homojen bir hale getirir. Bundan ötürü, malzeme daha elastik ve yumuşak bir yapıya sahip olur. Elastikiyetin artışından ötürü, malzemelerdeki tokluk artar. Bu durum, sadece çeliklerde değil, birçok metalik ve seramik malzemede tespit edilmiştir.

- Bu iki mekanizma ile de, (hem ısı işlem hem de ispatlanmış kryojenik tokluk-sertlik ve aşınma direnci bağlantısı), işlem görmüş numunelerde, her ne kadar 24 saat 0,25 C/dakika numunesine kıyasla daha sert numuneler olmalarına rağmen, sadece sertliğin değil, bunun yanı sıra tokluğun da daha yüksek bir aşınma direncine etkisi olabileceğini göstermektedir. Her ne kadar bu durum tokluk deneyleri ile kanıtlanmamış olsa da, elde edilen veriler ve aşınma direncinin tokluğa olan hassasiyeti ele alındığı zaman, tek değişkenin tokluk olduğu savunulabilir.
- Bu çalışmada sertlik sonuçları incelendiğinde yukarıda bahsi geçen atomik yapıyla ilgili yapılan açıklamalarla benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu araştırmada ortaya koyulan, farklı olarak negatif basınçta kryojenik işlem yapılması da daha esnek ve daha dirençli bir fazın varlığı olarak yorumlanabilir. Yüksek sertliğin yanında, daha tok bir malzemenin de oluşumunu, bunun da kesim anında deformasyonların, kırılma ve çatlamların azalması, bundan ötürü de kesici ağızların daha az aşınması olarak yorumlanabilir.

Öneriler

- Frezeleme tornalama ve kalıp sanayisinde kullanılan kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerde farklı rampalama süreleri belirlenerek, üstün nitelikli malzemelerin işlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir. Elde edilen veriler kesici ve malzeme türüne göre tablolastırılarak saha çalışanlarıyla paylaşılabilir.

- Bu ve benzeri çalışmalarda kullanılan kriyojenik işlem ünitesi vakum ortamında çalışan ve edüstriyel uygulamalarda kullanıldığı gibi (vakum ortamsız) iki farklı sistem aynı parametreler altında karşılaştırılarak birbirlerine olan üstünlükleri ortaya konabilir.

KAYNAKLAR

1. Ramji, B. R., Murthy, H. N. and Krishna, M. (2010). Performance study of cryo treated HSS drills in drilling cast iron. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(7), 2530-2536.
2. Priyadarshini, A. (2007). *A study of the effect of cryogenic treatment on the performance of high speed steel tools and carbide inserts* Doctoral Dissertation, National Institute of Technology Department of Mechanical Engineering, Rourkela, 1-69.
3. Reddy, T. S., Sornakumar, T., Reddy, M. V., Venkatram, R. and Senthilkumar, A. (2009). Turning studies of deep cryogenic treated p-40 tungsten carbide cutting tool inserts–Technical communication. *Machining Science and Technology*, 13(2), 269-281.
4. Barron, R. F. (1982). Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance. *Cryogenics*, 22(8), 409-413.
5. Dhar, N. R. and Kamruzzaman, M. (2007). Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(5), 754-759.
6. SreeramaReddy, T. V., Sornakumar, T., VenkataramaReddy, M. and Venkatram, R. (2008). Machining performance of low temperature treated P-30 tungsten carbide cutting tool inserts. *Cryogenics*, 48(9-10), 458-461.
7. Da Silva, F. J., Franco, S. D., Machado, A. R., Ezugwu, E. O. and Souza Jr, A. M. (2006). Performance of cryogenically treated HSS tools. *Wear*, 261(5-6), 674-685.
8. Khun, N. W., Liu, E., Tan, A. W. Y., Senthilkumar, D., Albert, B. and Lal, D. M. (2015). Effects of deep cryogenic treatment on mechanical and tribological properties of AISI D3 tool steel. *Friction*, 3(3), 234-242.
9. Khan, A. A. and Ahmed, M. I. (2008). Improving tool life using cryogenic cooling. *Journal of Materials Processing Technology*, 196(1-3), 149-154.
10. Zhang, H., Chen, L., Sun, J., Wang, W. and Wang, Q. (2015). An investigation of cobalt phase structure in WC–Co cemented carbides before and after deep cryogenic treatment. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 51, 201-206.
11. Kumar, K. K. and Choudhury, S. K. (2008). Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 203(1-3), 95-101.
12. Podgornik, B., Paulin, I., Zajec, B., Jacobson, S. and Leskovšek, V. (2016). Deep cryogenic treatment of tool steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 229, 398-406.
13. Senthilkumar, D., Rajendran, I., Pellizzari, M. and Siiriainen, J. (2011). Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(3), 396-401.

14. Das, D., Dutta, A. K. and Ray, K. K. (2009). Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel. *Wear*, 266(1-2), 297-309.
15. Amini, K., Akhbarizadeh, A. and Javadpour, S. (2012). Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment. *Vacuum*, 86(10), 1534-1540.
16. Gill, S. S., Singh, H., Singh, R. and Singh, J. (2011). Flank wear and machining performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(11), 1430-1441.
17. Özbek, N. A., Çiçek, A., Gülesin, M. and Özbek, O. (2014). Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 86, 34-43.
18. Thakur, D. G., Ramamoorthy, B. and Vijayaraghavan, L. (2015). Effect of posttreatments on the performance of tungsten carbide (K20) tool while machining (turning) of Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(1-4), 587-596.
19. Yong, J. and Ding, C. (2011). Effect of cryogenic treatment on WC–Co cemented carbides. *Materials Science and Engineering: A*, 528(3), 1735-1739.
20. Gill, S. S., Singh, J., Singh, H. and Singh, R. (2011). Investigation on wear behaviour of cryogenically treated TiAlN coated tungsten carbide inserts in turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(1), 25-33.
21. Cremer, R., Neuschütz, D. (2001). A combinatorial approach to the optimization of metastable multicomponent hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 146, 229-236.
22. Danek, M., Fernandes, F., Cavaleiro, A. and Polcar, T. (2017). Influence of Cr additions on the structure and oxidation resistance of multilayered TiAlCrN films. *Surface and Coatings Technology*, 313, 158-167.
23. Kataria, S., Srivastava, S. K., Kumar, P., Srinivas, G., Khan, J., Rao, D. S. and Barshilia, H. C. (2012). Nanocrystalline TiN coatings with improved toughness deposited by pulsing the nitrogen flow rate. *Surface and Coatings Technology*, 206(19-20), 4279-4286.
24. Xu, Y. X., Riedl, H., Holec, D., Chen, L., Du, Y. and Mayrhofer, P. H. (2017). Thermal stability and oxidation resistance of sputtered TiAlCrN hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 324, 48-56.
25. Bobzin, K. (2017). High-performance coatings for cutting tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 18, 1-9.
26. Mehran, Q. M., Fazal, M. A., Bushroa, A. R. and Rubaiee, S. (2018). A critical review on physical vapor deposition coatings applied on different engine components. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 43(2), 158-175.

27. Kelly, P. J. and Arnell, R. D. (2000). Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications. *Vacuum*, 56(3), 159-172.
28. Haque, M. A. and Saif, M. T. A. (2003). A review of MEMS-based microscale and nanoscale tensile and bending testing. *Experimental Mechanics*, 43(3), 248-255.
29. Mubarak, A. M. A., Hamzah, E. H. E. and Tofr, M. T. M. (2005). Review of physical vapour deposition (PVD) techniques for hard coating. *Jurnal Mekanikal*, 20(2), 42-51.
30. Jokar, K., Elmkhah, H., Fattah-alhosseini, A., Babaei, K. and Zolriasatein, A. (2019). Comparison of the wear and corrosion behavior between CrN and AlCrN coatings deposited by Arc-PVD method. *Materials Research Express*, 6(11), 116426.
31. Endrino, J. L., Fox-Rabinovich, G. S. and Gey, C. (2006). Hard AlTiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 200(24), 6840-6845.
32. Shunmugam, M. S. and Kanthababu, M. (Eds.). (2019). *Advances in Micro and Nano Manufacturing and Surface Engineering: Proceedings of AIMTDR 2018*. Delhi, India : Springer Nature, 473-482.
33. Muldrew, K. and McGann, L. E. (1994). The osmotic rupture hypothesis of intracellular freezing injury. *Biophysical Journal*, 66(2), 532-541.
34. Thornton, P.A. and Vito, J.C. (1985). *Fundamentals of engineering materials*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall College Div, 1-679.
35. Gill, S. S., Singh, J., Singh, R. and Singh, H. (2012). Effect of cryogenic treatment on AISI M2 high speed steel: metallurgical and mechanical characterization. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(7), 1320-1326.
36. Baldissera, P. and Delprete, C. (2008). Deep cryogenic treatment: a bibliographic review. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2(1), 1-11.
37. Kalsi, N. S., Sehgal, R. and Sharma, V. S. (2014). Effect of tempering after cryogenic treatment of tungsten carbide–cobalt bounded inserts. *Bulletin of Materials Science*, 37(2), 327-335.
38. Dhokey, N. B., Hake, A., Kadu, S., Bhoskar, I. and Dey, G. K. (2014). Influence of cryoprocessing on mechanism of carbide development in cobalt-bearing high-speed steel (M35). *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45(3), 1508-1516.
39. Gill, S. S., Singh, H., Singh, R. and Singh, J. (2010). Cryoprocessing of cutting tool materials-a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 48(1-4), 175-192.
40. Baldissera, P. and Delprete, C. (2010). Deep cryogenic treatment of AISI 302 stainless steel: Part II–Fatigue and corrosion. *Materials & Design*, 31(10), 4731-4737.
41. Darwin, J. D., Lal, D. M. and Nagarajan, G. (2008). Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 195(1-3), 241-247.

42. Poomari, A., Mohan, B., Rajadurai, A. and Senthilkumar, A. (2012). Study on tool life of coated, cryogenically treated and coated and plain cermet cutting tools while machining steel. *European Journal of Scientific Research*, 85(3), 394-407.
43. Shirbhate, A. D., Deshpande, N. V. and Puri, Y. M. (2012). Effect of cryogenic treatment on cutting torque and surface finish in drilling operation with AISI M2 high speed steel. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 1(2), 50-58.
44. Firouzidor, V., Nejati, E. and Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of Materials Processing Technology*, 206(1-3), 467-472.
45. Luo, D. and Li, S. (2012). Effect of cryogenic and QPQ compound treatment on the microstructures and performance of high speed steel. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 25(1), 184-189.
46. Alava, L. A. (2008). *Multistage cryogenic treatment of materials: process fundamentals and examples of application*. Proc. of the 10 th Int. Conference cryogenic, Vitoria, Spain, 21-25.
47. Akkurt, M. (2004). *Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgâhları*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-360.
48. Gülmez, S. (2003). *Bor alaşımlı çeliklerin alın frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-108.
49. Akkurt, M. (1985). *Takım tezgahları - talaş kaldırma yöntemleri ve teknolojisi*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-671.
50. Akkurt, M. (1996). *Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-374.
51. Şahin, Y. (2001). *Talaş kaldırma prensipleri 2*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 1-490.
52. Çakır, C. (1999). *Modern talaşlı imalatın esasları*. Bursa: Dora Yayıncılık, 1-324.
53. Woodcraft, A. L. (2005). Recommended values for the thermal conductivity of aluminium of different purities in the cryogenic to room temperature range, and a comparison with copper. *Cryogenics*, 45(9), 626-636.
54. Lee, K. J., Chun, M. S., Kim, M. H. and Lee, J. M. (2009). A new constitutive model of austenitic stainless steel for cryogenic applications. *Computational Materials Science*, 46(4), 1152-1162.
55. Reitz, W. and Pendray, J. (2001). Cryoprocessing of materials: A review of current status. *Materials and Manufacturing Processes*, 16(6), 829-840.

56. Candane, D., Alagumurthi, N. and Palaniradja, K. (2013). Effect of cryogenic treatment on microstructure and wear characteristics of AISI M35 HSS. *International Journal of Materials Science and Applications*, 2(2), 56-65.
57. Varghese, V., Ramesh, M. R. and Chakradhar, D. (2019). Influence of deep cryogenic treatment on performance of cemented carbide (WC-Co) inserts during dry end milling of maraging steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 37, 242-250.
58. Nalbant, M., Gökkaya, H., Toktaş, İ. and Sur, G. (2009). The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD-and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(1), 211-223.
59. Ismail, N. M., Khatif, N. A. A., Kecik, M. A. K. A. and Shaharudin, M. A. H. (2016). The effect of heat treatment on the hardness and impact properties of medium carbon steel. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 114(1), 12108-12106.
60. Fadare, D. A., Fadara, T. G. and Akanbi, O. Y. (2011). Effect of heat treatment on mechanical properties and microstructure of NST 37-2 steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 10.
61. Liu, R., & Li, D. . (2001). Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials. *Wear*, 251(1-12), 956–964. doi:10.1016/s0043-1648(01)00711-6)
62. İnternet: Kriyojenik İşlem. Web Sitesi: <http://mmdtekno.com/kriyojenik-islem.html>, Erişim Tarihi: 07.08.2020
63. İnternet: Talaşlı İmalatın Rekabet Gücü için Profesyoneller Derneği. Web Sitesi: <https://aspromec.org/wp-content/uploads/2020/04/walter-multiply-300x150.png>, Erişim Tarihi: 12.09.2020
64. İnternet: Freze Tezgâhı Kesici Takımları. Web Sitesi: <http://www.hamitarslan.com/freze-tezgahi-kesici-takimlari.html>, Erişim Tarihi: 27.08.2020
65. İnternet: Vural, M. Prof. Dr. Web Sitesi: <https://docplayer.biz.tr/docs-images/26/8004659/images/14-0.jpg>, Erişim Tarihi: 07.08.2020
66. İnternet: Frezeleme. Web Sitesi: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>, 03.04.2020
67. İnternet: Mühendislikte Deneysel Metodlar I Dersi. Web Sitesi: <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wp-content/uploads/sites/27/2017/02/CNC-FREZE.pdf>, Erişim Tarihi: 07.08.2020

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Şehirli, Servet
 Uyuğu : Türkiye Cumhuriyeti
 Doğum tarihi ve yeri : 27/09/1973, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (533) 662 09 73
 e-mail : sservet@metu.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Ünv. / İleri Teknolojiler Bölümü.	2020
Lisans	Ahmet Yesevi Ünv. /Bilgisayar Müh.Böl.	2013
Ön Lisans	Selçuk Ünv. /MYO End. Elektronik Böl.	1993
Lise	Balgat End. Meslek Lisesi.	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013- Halen	ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü	Mühendis
1996-2013	ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü	Tekniker
1993-1996.	SANYO Büro-Ev Cihazları A.Ş.	Teknik Şef

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Şehirli, S. Akkurt, A. (2020). The Effect of Ramp Rate on Hardness in Deep Cryogenic Process. *icar3-34 International congress of academic research*, ISBN: 978-625-7813-00-6, Makale id=34, 267

Hobiler

Robotik kontrol sistemleri, deney cihazı tasarımları, scuba dalış, yamaç paraşütü



GAZİ GELECEKTİR...