

**KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa UZUN

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2014

Bu tez çalışması 13.FEN.BİL.48 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Mustafa UZUN

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa UZUN tarafından hazırlanan “Kriyojenik işlem görmüş soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışının incelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

Başkan	: Prof. Dr Kubilay ASLANTAŞ Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	İmza
Üye	: Yrd.Doç.Dr. Şükrü ÜLKER Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	İmza
Üye	: Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	İmza
Üye	: Ünvanı, Adı ve Soyadı Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	İmza
Üye	: Ünvanı, Adı ve Soyadı Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/06/2014

İMZA

MUSTAFA UZUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Mustafa UZUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

Bu araştırmada derin kriyojenik işlem görmüş ve farklı sıcaklıklarda temperlenmiş Vanadiş 4 soğuk iş takım çeliğinin aşınmaya karşı davranışı incelenmiştir. Çelik numuneler gerekli zımparalama kademelerinden (120-1200) geçirilerek -145°C’de (0.5, 1, 2, 4, 8, 12 ve 24 saat) süresince kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmıştır.. Aşınma deneyleri, kuru ortamda 10 ve 20 N yükler altında, 0.3 m/s kayma hızında ve oda sıcaklığında ball-on-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma sonucunda numunelerin yüzeyindeki aşınma bölgeleri SEM ile analiz edilerek aşınmaya karşı davranışları incelenmiştir.

2014, ii + 52 sayfa

Anahtar Kelimeler: Vanadiş 4, Derin Kriyojenik ısıtma işlemi, Mikro yapı, Aşınma direnci

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION WEAR BEHAVIOR OF THE CRYOGENIC TREATED COLD WORK TOOL STEEL

Mustafa UZUN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. İbrahim GÜNEŞ

In this research, the effects of deep cryogenic treatment (DCT) on the wear resistance of Vanadis 4 steel will be investigated. For this purpose, a number of bearing steel samples were held for different times (0.5, 1, 2, 4, 8, 12, and 24h) at deep cryogenic temperatures (-145°C). The wear experiments were carried out in a ball–disk arrangement, by applying loads of 10 N and 20 N and a sliding velocity of 0.3 m/s. As a result of the wear tests, the effect of deep cryogenic treatment on friction coefficient, surface roughness and wear rate will be studied. Worn surfaces of the samples were characterized by scanning electron microscopy and the results will be investigated with those obtained for deep cryogenic treatment samples.

2014, ii + 52 pages

Key Words: Vanadis 4 steel; Deep cryogenic treatment; Microstructure; Wear resistance.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ'e araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a, Deneysel çalışmalarda katkılarında dolay Atılım Üniversitesi Metal Őekillendirme Mükemmeliyet Merkezine, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teşekkür ederim.

Mustafa UZUN

AFYONKARAHİSAR, 2014

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	2
1.2 Kapsam	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Kriyojenik İşlem.....	4
2.1.1 Kriyojenik İşlemin Avantajları.....	7
2.1.1.1 Kalıntı Östenit Fazını Martenzite Dönüştürme	8
2.1.1.2 Karbür Formlarındaki Değişme.....	8
2.1.1.3 Tane Yapısında İncelme	9
2.1.1.3 İç gerilmelerin giderilmesi	9
2.1.2 Kriyojenik İşlemin Dezavantajları.....	9
2.2 Vanadis 4 Soğuk İş Takım Çeliği.....	9
2.2.1 Vanadis 4 Soğuk İş Takım Çeliği Özellikleri.....	10
2.3 Çelikleri aşınma davranışları	10
2.3.1 Aşınma.....	10
2.3.1.1 Adhezif (Yapışma) aşınma	11
2.3.1.2 Abrazif aşınma.....	12
2.3.1.3 Yorulma ve delaminasyon aşınma.....	14
2.3.1.4 Oksidasyon aşınma	15
3. MATERYAL ve METOT	17
3.1 Deneyleerde Kullanılan Malzemeler.....	17
3.2 Deneyleerde Kullanılan Cihazlar	17
3.2.1 Kriyojenik Isıl İşlem Fırını	17
3.2.2 Metalografik İşlemler	19
3.2.3 Sertlik Cihazı	19
3.2.4 X-Işınları Difraksiyon Analiz Cihazı (XRD)	20

3.2.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	20
3.2.6 Aşınma Cihazı	21
3.2.7 Struers Numune Hazırlama Ünitesi ve Stresstech Taşınabilir XRD Kalıntı Ostenit Analiz Sistemi	23
3.2.8 Numune kesme cihazı.....	25
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	26
4.1 Kriyojenik İşlem Görmüş Vanadis 4 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	26
4.2 EDX Analizi	29
4.3 XRD Analizi	32
4.4 Sertlik Analizi.....	36
4.5 Aşınma Analiz Sonuçları.....	38
4.5.1 Aşınma Hacmi Oranı ve Sürtünme Katsayısı Grafikleri	38
4.5.2 Aşınma SEM mikro yapısı	41
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	45
6. KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat derece
°	Derece
C	Karbon
Mn	Mangan
Cr	Krom
V	Vanadyum
W	Volfram
Si	Silisyum
Ø	Çap
N	Newton
mm	Milimetre
Nm	Newtonmetre
KW	Kilowatt
dev./dak	Devir/ Dakika
%	Yüzde
gr	Gram

Kısaltmalar

PCL	Programlanabilir mantıksal denetleyiciler
AISI	Amerikan Demir ve çelik Enstitüsü
DKI	Derin kriyojenik ısıtım işlem
GSV	Geleneksel su verme
XRD	Kalıntı Östenit Analiz
EDX	Elementer Dağılım Analizi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Adhezif aşınmanın temel mekanizması (Holberg, 1994).....	12
Şekil 2.2 Abrazif aşınma temel mekanizması.	13
Şekil 2.3 Yorulma ve Delaminasyon aşınmanın temel mekanizması	15
Şekil 2.4 Oksidasyon aşınmanın temel mekanizması	16
Şekil 4.1 Kriyojenik ısıtım işlem görmüş a) 175 °C GSV, b) 175 °C DKI-1S c) 175 °C DKI-12S d) 175 °C DKI-24S numunelerin SEM mikro yapıları	27
Şekil 4.2 Kriyojenik ısıtım işlem görmüş a) 350 °C GSV, b) 350 °C DKI-1S c) 350 °C DKI-12S d) 350 °C DKI-24S numunelerin SEM mikro yapıları	28
Şekil 4.3 Kriyojenik ısıtım işlem görmüş a) 525 °C GSV, b) 525 °C DKI-1S c) 525 °C DKI-12S d) 525 °C DKI-24S numunelerin SEM mikro yapıları	29
Şekil 4.4 175°C GSV Elementel Dağılım Analizi.....	30
Şekil 4.5 175°C 1 Saat Elementel Dağılım Analizi.....	30
Şekil 4.6 175°C 12 Saat Elementel Dağılım Analizi.....	31
Şekil 4.7 350 °C 24 Saat Elementel Dağılım Analizi.....	31
Şekil 4.8 525°C GSV Elementel Dağılım Analizi.....	32
Şekil 4.9 525 °C 24 Saat Elementel Dağılım Analizi.....	32
Şekil 4.10 Vanadis 4 Soğuk iş takım çeliğinin 175°C GSV kalıntı östenit miktarı	33
Şekil 4.11 Vanadis 4 Soğuk iş takım çeliğinin 175 °C1 saat kalıntı östenit miktarı ...	33
Şekil 4.12 Vanadis 4 Soğuk iş takım çeliğinin 175°C 24 saat kalıntı östenit miktarı	34
Şekil 4.13 Vanadis 4 Soğuk iş takım çeliğinin 525°C GSV kalıntı östenit miktarı	34

Şekil 4.14	Vanadis 4 Soğuk iş takım çeliğinin 525°C 1 saat kalıntı östenit miktarı	35
Şekil 4.15	Vanadis 4 Soğuk iş takım çeliğinin 525°C 24 saat kalıntı östenit miktarı ...	35
Şekil 4.16	Sertlik Değerleri Karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.17	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş 175 ° C ‘ deki numunelerin Sürtünme katsayıları	38
Şekil 4.18	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş 350 °C ‘ deki numunelerin Sürtünme katsayıları	39
Şekil 4.19	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş 525 °C ‘ deki numunelerin Sürtünme katsayıları	39
Şekil 4.20	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş Aşınma değerleri	41
Şekil 4.21	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş numunelerin aşınma SEM mikroyapıları a) 175GSV, b) 175DKI-1S, c) 175 DKI-12S, d) 175 DKI-24S	42
Şekil 4.22	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş numunelerin aşınma SEM mikroyapıları a) 350 GSV, b) 350 DKI-1S, c) 350 DKI-12S, d) 350 DKI-24S	42
Şekil 4.23	Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş numunelerin aşınma SEM mikroyapıları a)525GSV, b) 525 DKI-1S, c) 525 DKI-12S, d) 525 DKI-24.....	43
Şekil 4.24	175 °C – 525 °C Aşınma Bölgesi EDX analizleri	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Vanadis 4 iş takım çeliğinin kimyasal bileşimleri	17
Çizelge 3.2 Gerçekleşen Isıl İşlem Parametleri.....	18
Çizelge 3.3 Aşınma Deney parametleri.....	21
Çizelge 4.1 Numunelerin Nicel faz analiz sonuçları.....	36

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1	Kriyonenik işlemin yapıldığı azot tankı görünümü	5
Resim 2.2	Kriyonenik işlemin yapıldığı azot tankı bilgisayar kontrollü kamara	7
Resim 3.1	Kriyojenik İşlem Fırını	18
Resim 3.2	Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.....	19
Resim 3.3	Mikrosertlik	19
Resim 3.4	X-Işınları Difraksiyon Analiz Cihazı (XRD).....	20
Resim 3.5	Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	21
Resim 3.6	Aşınma cihazının görünüşü.....	21
Resim 3.7	Aşınma Deney Programı.....	23
Resim 3.8	Stresstech Taşınabilir XRD Kalıntı Ostenit Analiz Sistemi	24
Resim 3.9	Struers Numune Hazırlama Ünitesi	24
Resim 3.10	Ge-Seifert XRD Faz ve Doku Analizi Sistemi	24
Resim 3.11	Numune kesme cihazı	25
Resim 4.1	Vanadis 4 çeliğinin sertlik değerleri	37

1.GİRİŞ

Günümüzdeki üretici firmalar sanayideki yerlerini korumak ve ürünlerini her daim geliştirmek istemektedirler. Tabi bu durumda finansal bütçelerini de göz önüne almak isteyecekler ve şirketler elinde bulunan malzemeyi minimum maliyetle en iyi şekilde kullanarak, geliştirerek üretim yapmaktadırlar. Öncelikle malzeme yapımında kullanılan kesici ve delici iş takım çelikleri göz önüne alınmaktadır. Bu malzemelerin hangi çelik türünden yapıldığı araştırılır, daha sonra gerekli işlem basamaklarından geçilerek aşınmaya karşı gösterdiği direnç incelenir, korozyona uğrama özelliği ele alınarak mükemmeliyet derecesine yakın iş takım çeliği üretilmeye çalışılır, çünkü bu nokta şirketlerin maliyetleri açısından önem arz etmektedir. Bu arada şirketlere iki önemli madde çıkmakta bunlardan birincisi işlenecek malzeme yani uygun malzeme seçimi olacak diğer ikinci madde ise malzemeyi işleyecek kesici takım bunların en uygun olanı seçilmediği takdirde yapılacak işlem bir hayli maliyetli olacaktır.

Uygun malzeme seçimini ele alacak olursak günümüzde gerek sanayide olsun gerekse teknolojiye olsun birçok malzeme kullanılmaktadır. Sanayinin geliştiği zamanlar genellikle kullanılan malzemeler metal ağırlıklı idi. Bugün ise kompozit malzemelerin gelişmesi ile birlikte daha hafif, daha dayanıklı ve ekonomik tasarımlar yapma imkânı ortaya çıkmış oldu. Mühendislikte malzemenin seçimi büyük bir önem teşkil etmekte, malzemenin içyapısına uygun özellikler bulunmalıdır. Bunlar Mekanik özellikler (Çekme mukavemeti, sertlik, tokluk, süneklik, şekillendirilebilirlik, yorulma direnci, akma direnci, vs), Kimyasal özellikler (Kimyasal bileşenler, Korozyon dayanımı, çözülebilirlik vs), Termal özellikler (Isı iletim katsayısı, Isı tutma kapasitesi, genleşme katsayısı, vs), Elektrik özellikleri (Direnç, dielektrik dayanımı, kapasitans değeri vs), Isıl işlem özellikleri, Manyetik özellikleri, Optik özellikleri (ışığı soğurma, yansıtma dereceleri), Ekonomik özellikler (Fiyat, temin edilebilirlik, vs) malzemenin hangi alanda kullanılacağına göre bu özelliklere göre seçimi yapılır. Diğer bir maddeyi ele alacak olursak kesici takımın özelliği olan iyi bir malzeme yüzeyi bırakan aşınma direnci yüksek malzeme olmalı. Maliyet açısından ise mümkün olduğunca daha çok malzeme işleme özellikli bulunmalı. Örnek verecek olursak bir takım çeliği ile 10 malzeme işlenebiliyorsa bu takım çeliği uygun ısıl işlemlere tabi tutularak malzemenin içyapısında değişikliğe gidilir bundan sonra malzemeye çeşitli özellikler kazandırılmış

olur ki aynı takım çeliği ile 100 malzeme işlenmiş olur. Tabi burada yapılan ısıl işlemlerin maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü yapılan işlemler farklılık gözetmekte bunlar menevişleme, sementasyon, gerilim giderme, sertleştirme, normalizasyon, oksidasyon, indüksiyon yüzey sertleştirme, yumuşatma tavlama, Sıfır altı işlemler (Subzero) gibi işlemlerin bazıları maliyet açısından yüksek tutarlar arz etmektedir.

Genellikle takım çeliklerinden istenen özellik daha sert, daha yüksek dayanımlı ve aşınmaya dirençli olması beklenmektedir. Tabi bu beklentiler takımın çalışma ortamına göre de değişiklik göstermektedir. Deneyeceğimiz işlemler şirketlerin çalışma koşullarına ve isteklerine göre tasarlanmış en uygun ürünü seçmelerine yardımcı olması beklenmektedir.

1.1 Amaç

Bu çalışmada soğuk iş takım çelikleri sürekli aşınma ve sürtünmeye maruz kalan yerlerde (sac basma kalıpları, kesme kalıpları, çapak alma kalıpları, kesme bıçakları, talaş kaldırma ve aşınmaya dayanıklı kalıp elemanları) kullanılmaktadırlar. Bu çeliklerin kriyojenik ısıl işlemlerle aşınma ve sürtünmeye karşı dirençlerinin artırılması amaçlanmıştır.

Vanadis 4 soğuk iş takım çeliği özellikle kalıp ve kalıp elemanları yapımında kullanıldığı için çokça delme işlemlerine maruz kalmaktadır. Takım maliyetlerinin azaltılması için işlenebilirliği düşük olan bu malzemenin delinmesinde takım ömrünü doğrudan etkileyen takım aşınmasının kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu çalışmada uygulanacak olan kriyojenik işlemin Vanadis 4 soğuk iş takım çeliğinin; mikro yapı, mikro-sertlik ve aşınma üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılacaktır.

1.2 Kapsam

Soğuk iş takım çelikleri günümüzde çok geniş bir alanda kullanılmakta birlikte özellikle aşınmaya maruz kalan çeliklerdir. Kriyojenik işlem, sıfırlama işlemi olarak da adlandırılmakta yüksek aşınmaya maruz kalan takımlarda aşınma direncini artırma amaçlı uygulanan bir soğutma işlemidir. Takım çeliklerine uygulanan geleneksel sertleştirme yöntemlerinde çelik östenitleme işleminin ardından çelik cinsine bağlı

olarak çeşitli soğutma ortamlarında minimum mümkün sıcaklık olan oda sıcaklığına kadar soğutulur ve martenzitik yapı elde edilir. Yüksek alaşımli çeliklerde ise sertleşmeyi sağlayan martenzitik dönüşüm belirli bir sıcaklıkta başlar ve oda sıcaklığında sona ermez. Oda sıcaklığına kadar yapılan konvansiyonel soğutmayla bu tür çeliklerin bünyesinde yüksek oranda kalıntı östenit olarak adlandırılan metastabil faz bulunur (Örneğin, 1,2379 çeliğinde sertleştirme sıcaklığına bağlı olarak kalıntı östenit miktarı %12-20 arasında değişim göstermektedir). Takımın aşınma direncini kötü etkileyen kalıntı östenit fazını gidermenin en etkili yolu konvansiyonel soğutma işleminin ardından kriyojenik işleminin uygulanmasıdır. Kriyojenik işleminde parçalar sıvı azotun buharlaştırılmasıyla -185°C'ye kadar soğutularak maksimum oranda aşırı doymun martenzitik yapı elde edilir. Kriyojenik işlemi takiben uygulanan menevişleme işleminde ise konvansiyonel sertleştirme işleminde gözlenmeyen beta karbürler çelik matrisinde çökeler, hem artık östenitin giderilmesi hem de beta karbür çökmesine bağlı olarak yüksek alaşımli çeliklerde maksimum aşınma direnci kazanımı sağlanır.

2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Kriyojenik İşlem

Geleneksel yöntemle kriyojenik ısıl işlem, parçaları -160 °C ile -165 °C arasında birkaç saat (1saat,12 saat 24 saat, vb. aralıklarda) ile birkaç gün arasında değişim gösterilerek bekletilen bir işlemdir. Kriyojenik işlemin ardından uygulanan temperleme işlemlerinin (175 °C, 350 °C, 525 °C vb. aralıklarda değişim gösteren sıcaklıkların) uygulanmasıyla parçaların kristolografik ve mikro yapısı iyi yönde geliştiği ve çok güzel karbür çökmesi sağlandığı görülmüştür.

Mohan Lal vd, kriyojenik işlemin çeliklerde klasik ısı davranışı işlemini tamamlayıcı bir işlem olduğunu vurgulamışlardır. Bu işlem; kaplamaların aksine parçanın tümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Yapılan deneyler sonucunda, kriyojenik işlemin takım ömründe yaklaşık olarak %110'a varan bir iyileşme sağladığı gözlenmiştir. Hatta kriyojenik işlem görmüş takımlar, TiN kaplamalardan bile daha iyi performans göstermiştir. Mohan Lal vd, (2001) , Firouzdor vd, karbonlu çeliklerin yüksek hız ve kuru kesme şartlarında M2 HSS matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlemin, aşınma direnci ve takım ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır.

Kriyojenik işlemde, malzemeler çok düşük sıcaklıklara (-165 °C) soğutularak istenilen metalurjik ve mikro yapısal özelliklere kavuşması sağlanır. Bu sıcaklıklara düşülmesi, sisteme bilgisayar kontrollü sıvı azot (N₂) beslenmesi ve en uygun yalıtım malzemelerinin kullanılması ile mümkün olmaktadır. Kriyojenik işlem “derin” ve “sığ” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sığ kriyojenik işlemde malzemelerin sıcaklığı -150 °C civarına düşürülmektedir. Malzemelerin mekanik özelliklerinde kayda değer bir iyileşme olmasına rağmen istenilen özelliklere tam olarak ulaşamamaktadır. Derin kriyojenik işlemde malzemeler -165 °C'ye kadar soğutulmakta, bu işlemin etkileri sığ kriyojenik işleme göre belirgin bir şekilde artmaktadır.

Kriyojenik işlem, malzeme yapısındaki kalıntı östeniti martenzite dönüştürerek daha homojen ve daha yoğun bir karbür dağılımı sağlayarak malzemelerin aşınma direncini

arttırmaktadır. (Huang *et al.*, 2003).

Kriyojenik işlem azot tanklarında yapılmakta olup bilgisayar kontrollü kamara adı verilen ekranlardan takip edilmekte böylece tam kontrol ve mükemmel hassasiyet ile gerçekleştirilmektedir.

Kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem ardına uygulanan temperleme işleminin matkap ömürlerinde sırasıyla %77 ve %126 iyileşme sağladığını belirlemişlerdir. (Seah vd. (2003), kriyojenik işlemin sonrasında beta fazı parçacıklarının sayısının artması ile kriyojenik işlemin tungsten karbür torna uçlarının takım ömrünü arttırdığını ve aşınma direncini geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Yong vd. (2007), orta karbonlu çeliğin yüksek hızlı işlenmesinde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış tungsten karbür uçların performansını karşılaştırmıştır. Kriyojenik işlem uygulanan takımlar, uygulanmamış takımlar karşısında %28,9 – %38,6 daha iyi takım ömrü sergilemiştir. Reddy vd. (2007), yaptıkları deneyler sonucunda, derin kriyojenik işlemin karbür takımların ömürleri üzerinde %9,58 -%21,8 arasında bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir.

Kriyojenik işlemde 3 çevrim söz konusudur:

- Kontrollü Soğutma
- Bekletme
- Kontrollü Isıtma



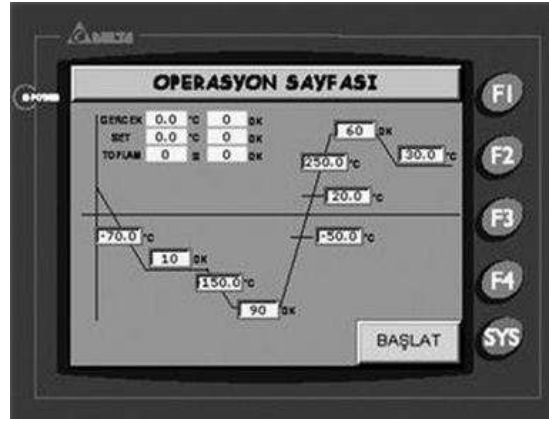
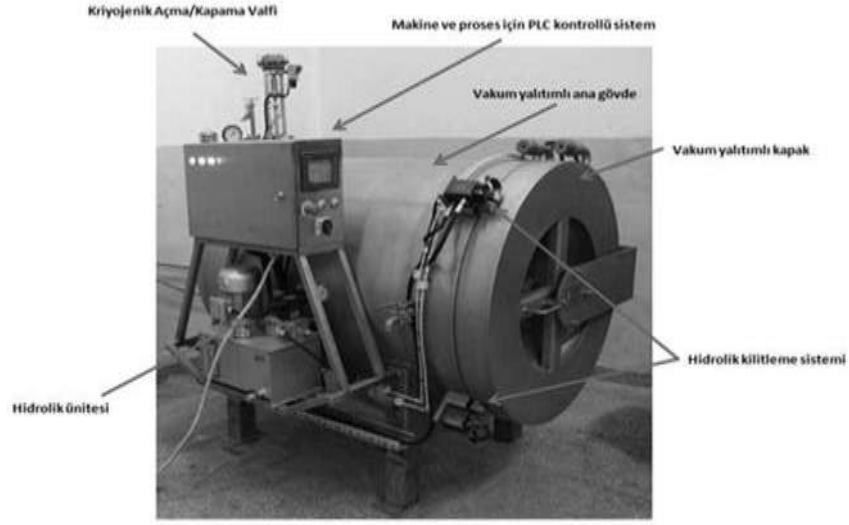
Resim 2.1 Kriyojenik işlemin yapıldığı azot tankı görünümü (Alper Isıl İşlem San. ve Tic. A.Ş 2012).

Kriyojenik İşlemin Uygulanmasında kullanılan bazı malzemeler aşağıda belirtilmiştir.

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

-20°C den sonra karbonlu çelik malzeme kırılganlaştığı için kriyojenik çalışma sıcaklıklarında (-50°C ve altı) ancak alüminyum, bakır ve alaşımları (bronz, pirinç) ve paslanmaz çelik AISI, 304, 316 pratik olarak kullanılacak malzemelerdir. Sızdırmazlık elemanı olarak pratikte en uygun teflon ve alaşımlı teflon (%30 cam takviyeli, bronzlu gibi) kullanılmaktadır.

Adem vd., yapmış oldukları çalışmada ise AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin delinebilirliği üzerinde M35 HSS kesici takımlar üzerine uygulanan kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem ardına uygulanan temperleme işleminin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalar neticesinde Kesici takımlar üzerine uygulanan Kİ ve KİT kesme Kuvvetlerinde KİU takımlara göre sırasıyla %10-16, % 13-25 arasında değişen bir düşüşe sebep olduğu gözlenmiş, Kesme kuvvetleri değişimi üzerinde ilerlemedeki değişim kesme hızındaki değişimden daha etkili olduğu saptanmış ve Kesme kuvvetlerindeki değişim ile delik çaplarındaki değişim benzer eğilimler gösterdiği belirtilmiştir. Kriyojenik işlem, mikro yapı içerisindeki karbürlerin homojen dağılımını, kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü sağlayarak takımın aşınma direncini arttırmış, buda takım aşınmasını azaltarak ömür artışı sağlamıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak KİT takımlar KİU takımlara göre %95-48 arasında değişen değerlerde takım ömrü artışı sağlamıştır. (Çiçek vd., 2011)



Resim 2.2 Kriyojenik işlemin yapıldığı azot tankında bulunan bilgisayar kontrollü kamara (Alper Isıl İşlem San. ve Tic. A.Ş 2012).

2.1.1 Kriyojenik İşlemin Avantajları

Kriyojenik işlem, geleneksel ısıl işlemin devamı olup yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Avrupa ve Amerika’da yaygın olarak uygulanan kriyojenik işlem büyük şirketlerin varlığıyla yurtdışında oldukça yaygınlaşmıştır. Buna rağmen ülkemizde kriyojenik işlem uygulamaları bu kadar üstün özelliğe rağmen hemen hemen hiç kullanılmamaktadır.

Kriyojenik işlemin belirgin faydaları;

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

Sıfır altı işlemin etkileri;

- Kalıntı östenit fazını martenzite dönüştürme
- Karbür Formlarındaki Değişme
- Tane Yapısında İncelme
- İç gerilmelerin giderilmesi

2.1.1.1 Kalıntı Östenit Fazını Martenzite Dönüştürme

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

2.1.1.2 Karbür Formlarındaki Değişme

Geleneksel sertleştirme yöntemlerinde karbürler kristal yapısının içine girerek kristal yapısında gerilmelere neden olmaktadır. Kriyojenik işlem sırasında karbür partikülleri 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.

2.1.1.3 Tane Yapısında İncelme

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

2.1.1.4 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.

2.1.2 Kriyojenik İşlemin Dezavantajları

- Aşırı gerilmelerden dolayı, iş parçasında çatlamlar olabilir.
- Maliyet açısından, her malzemeye uygulanamayabilir.

Bu konuda yapılan çalışmalar makine parçalarının endüstride daha etkili ve verimli kullanılması, parçaların aşınma, sürtünme davranışlarının geliştirilmesi ve bu sayede hem maliyet hem de malzemedeki tasarruf sağlanabilmesi amaçlanmıştır.

2.2 Vanadis 4 Soğuk İş Takım Çeliği

Metallerin şekillendirilmesinde iş takım çeliği olarak seçeceğimiz malzemenin özelliklerini de irdelememiz gerekmektedir. Vanadis 4 çeliği piyasada bulunabilecek bir malzeme olmasına rağmen kullanımı pek az olduğundan üzerinde pek fazla araştırılma yapılmamıştır.

2.2.1 Vanadis 4 Soğuk İş Takım Çeliği Kullanım Alanları

Yüksek performans beklenen adhesif aşınma ve ağız dökülmesine karşı direnç istenen uygulamalar için yüksek alaşımlı toz metalürjik soğuk iş takım çeliği kullanılmaktadır. Soğuk iş takım çeliğimiz aşağıdaki fiziksel ve mekanik özelliklerin farklı bileşimlerini içermektedir

- Aşınma direnci
- Akma mukavemeti
- Tokluk
- İşlenebilirlik ve taşlanabilirlik
- Isıl işlem özellikleri

Vanadis 4 çeliği uygulama alanlarında kesme, hassas kesme ve kalın malzemelerin form verme kalıpları ile paslanmaz ve yumuşak malzemelerin kesme ve form verme kalıplarında iyi sonuçlar vermektedir. Yüksek mukavemetli saçlar ile bakır ve alüminyumun kesme ve form verme kalıplarında da kullanılmaktadır.

2.3 Çeliklerin Aşınma Davranışları

2.3.1 Aşınma

Aşınma birbiriyle temas eden malzemelerin birbirine sürtünmesinden dolayı meydana gelmektedir. Aşınma sisteminin özelliğine göre çeşitli mekanizmalarla ortaya çıkmaktadır. Aşınma; malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması neticesinde, mekanik etkenler ile yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu istenmeyen yüzey bozulmasının meydana gelmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Özbek 2000).

Makinelerde ortaya çıkan arızaların ve konstrüksiyon elemanlarının kullanım dışı kalmasının en önemli sebeplerinden birisi aşınmadır. Sürtünme nasıl bir enerji kaybı nedeni ise, aşınmada tekrar geriye kazanılamayan bir madde kaybı sebebidir. Bu yüzden dünyada her yıl önemli ölçüde ekonomik kayıplar meydana gelmekte buna paralel

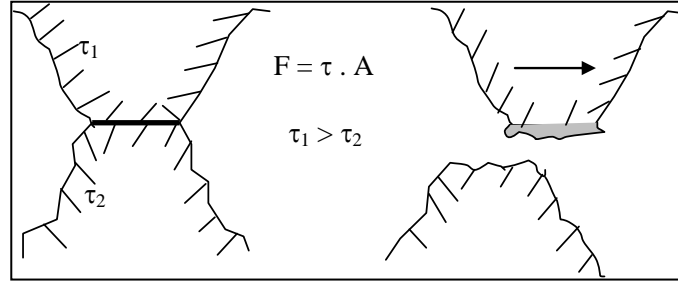
olarak kayıpların önlenmesi için çeşitli tedbirler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Endüstride aşınmadan dolayı meydana gelen hasarların aşınma tiplerine göre yaklaşık oranları şu şekildedir (Eyre 1975):

- Abrazif aşınma, %50
- Adhezif aşınma, %15
- Eroziv aşınma, %8
- Kimyasal aşınma, % 8
- Korozif aşınma, %5
- Yorulma ve diğer aşınmalar, %14

2.3.1.1 Adhezif (Yapışma) Aşınması

Adhezif aşınma deneyleri özellikle vakum atmosferi altında yapılmaktadır. Çünkü temas yüzeylerinde oluşan tabii birikintiler ve oksidasyon ürünleri aşınmanın karakterini etkilemektedir. Aşınma deneyleri atmosferik şartlarda yağlamasız yapıldığında sürtünen yüzeyler arasında tribooksidasyon ürünlerinin oluşturduğu bir reaksiyon tabakası gözlenmiştir (Uzun 2002).

Adhezif aşınma en genel olarak, karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre relatif hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir. Basınç altında bir araya getirilmiş malzemelerde bulunan karşılıklı pürüzler, sürtünme ile oluşan ısı ve soğuk kaynaklaşma etkisi ile birbirlerine bağ yaparlar. Yüzeylerin relatif teğetsel hareketi, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopmaya neden olur. Bunun neticesinde Şekil 2.1'de görüldüğü gibi bir yüzeyden diğerine malzeme transferi meydana gelir (Holberg and Matthews 1994).



Şekil 2.1 Adhezif aşınmanın temel mekanizması (Holberg, 1994).

Şekil 2.1’ de Görülen mekanizma zayıf olan yüzeyden diğer yüzey üzerine malzeme transferinin gerçekleştiğini göstermektedir.

Archard, adhezif aşınmanın ağırlıklı olduğu hallerde, bu aşınma tipi için aşağıdaki bağıntıyı deneylerden çıkarmıştır (Holberg and Matthews 1994):

$$V = \frac{K.W.s}{H} \quad (2.1)$$

Burada; V: Aşınma hacmi, K: Malzemeye ait bir sabit, W: Normal kuvvet (yük), H: Malzemenin sertliği, s: Kayma yolu.

Bu konuda yapılan teorik çalışmalar sonucunda, teorik yaklaşımlarda hemen hemen aynı sonuçlara varılmıştır. Bu sonuçlar şu şekilde özetlenebilir (Ulukan 1993):

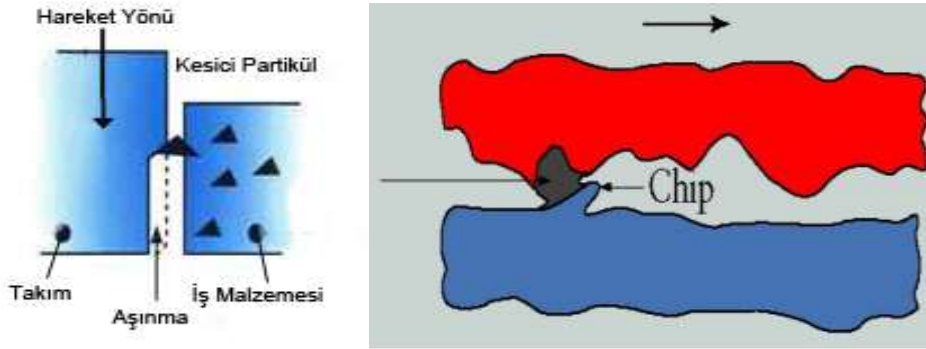
- Adhezif aşınma miktarı, uygulanan yük ve kayma yolu ile doğru, malzemenin plastik akma mukavemeti ve sertliği ile ters orantılıdır.
- Sonuçlardaki farklılıklar, sadece malzeme sabitleri diyebileceğimiz katsayılarla olmaktadır.
- Yüksek hız, yüksek sıcaklık ve aşırı yükleme durumlarında, bu bağıntılarda sapmalar olabilir (Ulukan 1993).

2.3.1.2 Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan partiküllerle temasta olması ve sert partiküllerin malzeme yüzeylerinden parçalar koparması ile meydana

gelir. Sert partiküller ya dışarıdan sisteme girer veya adhezif aşınma ürünleri olarak sistem içinde meydana gelir. Buna göre, abrazif aşınma iki elemanlı veya üç elemanlı olarak meydana gelmektedir. İki elemanlı abrazif aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbirleri ile etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrazif aşınma ise, ana ve karşı malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olacağı gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir (Ashby and Jones 1996).

Sert bir yüzey yumuşak bir yüzey üzerine bastırıldığında, sert yüzey üzerindeki pürüzler yumuşak malzeme üzerinde lokal plastik akış meydana getirir. Teğetsel hareketin etkisiyle sert yüzey yumuşak yüzeyden malzeme kaldırır (Lipson and Colwell 1961). Abrazif aşınma mekanizmasında, sertlik aşındırıcı tane veya pürüzün boyut ve şekli, atak açısı, uygulanan normal yük, kayma hızı ve malzemelerin kırılma tokluğu önemli faktörlerdir.



Şekil 2.2 Abrazif aşınma temel mekanizması.

Şekil 2.2’ de Görülen Abrazif aşınmada sert partüküllerin malzeme yüzeylerinden parçalar koparması ile oluşan aşınma mekanizması gösterilmiştir.

Hutchings (1992), abrazif aşınma mekanizmasının plastik deformasyon veya gevrek kırılma olmak üzere iki şekilde meydana geldiğini belirlemiştir. Birinci durumda malzeme kaybı metallerdeki gibi plastik deformasyonla, ikinci durumda ise malzeme kaybı, özellikle seramiklerde ve düşük kırılma tokluğuna sahip malzemelerde olduğu gibi gevrek kırılma ile meydana gelmektedir.

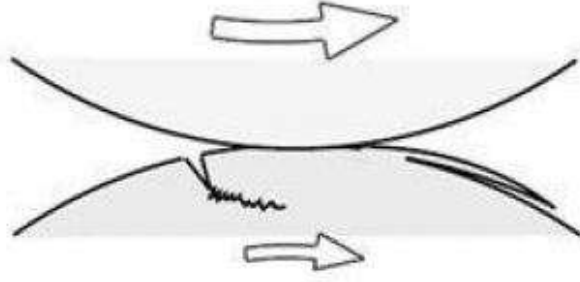
Çatlaklar, uygulanan yük kritik bir değeri (W^*) aştıktan sonra meydana gelmekte ve bu değer malzemelerin kırılma tokluğu ve sertliğine bağlı olarak şeklinde değişim göstermektedir (Hutchings 1992).

$$W^* \propto \left(\frac{K_c}{H}\right)^3 K_c \quad (2.2)$$

2.3.1.3 Yorulma ve Delaminasyon Aşınması

Delaminasyon aşınma teorisi ilk defa Suh tarafından açıklanmıştır. Bu teoriye göre, aşınma esnasında malzemenin yüzeyi veya yüzeyine çok yakın yerler yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip değildir. Kayma hareketinin devam etmesi ile, yüzeyden sonlu uzaklıktaki dislokasyonlar pekleşmeye uğrar. Bunun neticesinde küçük boşluklar oluşur. Malzeme içerisinde ikinci bir sert fazın olması bu boşlukların oluşumunu kuvvetlendirir. Zamanla, boşluklar büyür ve nihayetinde yüzeye paralel çatlaklar ortaya çıkar. Bu çatlaklar kritik bir kalınlığa ulaştıklarında, yüzey ile çatlak arasındaki malzeme, plaka şeklinde partiküller halinde kesilir. Bu partiküllerin şekli, uzunluğa ve iç gerilmelere bağlıdır. Suh, kendi teorisine dayanan aşınma denklemi de geliştirmiştir. Bu teoriye göre aşınma hızı, normal yük ve kayma uzunluğu ile doğru orantılıdır. Archard'ın aşınma denkleminin tersine sertliğe direkt olarak bağlı değildir (Suh 1973).

Yorulma aşınması, değişken tekrarlı yüklemeler sonucu meydana gelir. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması bir çok aşınma prosesinde görülür. Neticede, malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur (Holberg 1994).



Şekil 2.3 Yorulma ve Delaminasyon aşınmanın temel mekanizması.

Delaminasyon aşınması ise, birbiri üzerinde kayan yüzeylerde mikroskobik ölçekte ortaya çıkan bir çeşit yorulma aşınmasıdır. Temas bölgesinde oluşan basıncın sonucu yüzeyin hemen altında çatlaklar oluşur. Yükün daha fazla artması ve çatlağın deformasyonu, çatlağın yayılmasına ve diğer çatlaklarla birleşmesine neden olur. Çatlak yayılması yüzeye paraleldir. Nihayetinde plaka şeklinde yüzeyden kopmalar meydana gelir (Holberg and Matthews 1994).

2.3.1.4 Oksidasyon Aşınması

Oksidasyon aşınması, en yaygın karşılaşılan kimyasal aşınma proseslerinden biridir. Metallerin yüzeyinde ince bir oksit tabakası her zaman oluşabilmektedir. Bu tabaka aynı zamanda, sürtünme ve aşınmaya karşı koruyucu tabaka özelliğine sahip olabilir (Holberg and Matthews 1994). Oksidasyon aşınması teorisine göre, kayan iki yüzey arasında ortaya çıkan sürtünme ısı, metal yüzeyi üzerindeki oksit filminin kalınlığını artırmak için enerji sağlayabilir. Oksit filmi kritik bir kalınlığa ulaştığında çıkıntılar (asperities), aşınma partikülleri oluşturarak kırılırlar. Bu yığıntılar (debris) abrazif aşınmayı başlatabilir.

Oksidasyon aşınmasının adhezif aşınmadan bir derece daha düşük olduğu düşünülür. Bu şekilde aşındırıcı partikül oluşturma ihtimali temas basıncı, kayma hızı, sıcaklık ve çevre gibi aşınma ortamı özelliklerine ve korozyon potansiyeli, oksidasyon kinetiği, metalin oksijene afinitesi, mukavemet ve sertlik gibi aşınan metalin özelliklerine bağlıdır. Şartlar ince, sert ve yapışkan oksit filminin büyümesine izin verirse aşınma

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan çelik malzeme, deney cihazları ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çalışmamızda Ø20x6 mm ebatlarındaki soğuk iş takım çeliği olarak adlandırılan Vanadis 4 çeliği kullanılmıştır. Bu çeliğin kimyasal bileşimleri çizelge 3.1’ de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.1 Vanadis 4 Soğuk İş Takım Çeliği Kimyasal Bileşimleri.

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>W</i>	<i>Si</i>
1.4	0.4	4.7	3.5	3.7	-	0.4

3.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Tez çalışmasında aşınma, mikro yapı, sertlik, kalıntı östenit miktarı , kimyasal analiz deneyleri için kullanılan cihazlar resim 3.1-3.11’ de görülmektedir.

3.2.1 Kriyojenik Isıl İşlem Fırını

Çalışmamızda kullanılan Vanadis 4 çeliği ilk olarak kriyojenik ısıl işleme tabi tutulmuştur. Öncelikle numuneler sıvı azot tankı içerisine -145 C°’de 1,12 ve 24 saat süresince bekletilerek kriyojenik işlem (sıfırlatı) uygulanmaktadır. Bu işlem resim 3.1’ de görülen kriyojenik ısıl işlem fırınındaki kamara adı verilen ekran kontrolü ile sağlanmaktadır.

Ayrıca kriyojenik işlem görmüş Vanadis 4 takım çeliğinin üzerine uygulanan temperleme süreleri ve sıcakları çizelge 3.2 detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Resim 3.1 Kriyojenik İşlem Fırını.

Resim 3.1’ deki Kriyojenik işlem fırınında kamara adı verilen kontrol sistemi tarafından işlemler yürütülmektedir. Bu şekilde bilgisayar kontrollü olduğunda kriyojenik işlem daha hassas ve yüzeylere en iyi şekilde etki etmektedir.

Çizelge 3.2 Geçekleştirilen Isıl İşlem Parametreleri.

Numuneler	Sertleştirme (~64 HRC)	Ön temperleme (~62 HRC)	Kriyojenik işlem	Son temperleme
175 GSV			---	---
175 DKI - 1S			-145 °C 1 saat	175 °C
175 DKI- 12S			-145 °C 12 saat	175 °C
175 DKI - 24S			-145 °C 24 saat	175 °C
350 GSV			---	
350 DKI - 1S	10 saat 1030 °C östenitleme	---	-145 °C 1 saat	350 °C
350 DKI - 12S			-145 °C 12 saat	350 °C
350 DKI - 24S			-145 °C 24 saat	350 °C
525 GSV			---	
525 DKI - 1S			-145 °C 1 saat	525 °C
525 DKI - 12S			-145 °C 12 saat	525 °C
525 DKI - 24S			-145 °C 24 saat	525 °C

*GSV- Geleneksel su verme

*DKI- Derin kriyojenik ısıt işlem

3.2.2 Metalografik İşlemler

Kriyojenik işlem görmüş numuneler, kesitten kesilerek reçine ile kalıplanmış ve gerekli 240-1200 grid'lik zımparalama kademesinden geçirilmiştir. Parlatma işlemi 1µm alümina solüsyonu ile gerçekleştirilmiştir. Dağlayıcı olarak % 3'lük nital kullanılmıştır.



Resim 3.2 Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.

3.2.3 Sertlik Cihazı

Numunelerin yüzeylerinde oluşan tabakalarının sertlik ölçümleri SHIMADZU HMV-2 model sertlik cihazı ile yüzeyden merkeze doğru 50 gr. yük altında Vickers sertlik ölçme yöntemiyle ölçülmüştür.



Resim 3.3 Mikrosertlik cihazı.

3.2.4 X-Işınları Difraksiyon Analiz Cihazı (XRD)

X-Işını Difraksiyon (XRD) spektrokopisi X-ışını adı verilen ultraviyole ışıktan daha güçlü olarak bilinen fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. XRD deneyinde numune türüne göre hangi minerallerden oluştuğu tespit edilmiştir. Çalışma prensibi olarak kriyojenik işlem görmüş numuneye X-ışını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplaması söylenebilir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde ve çok kısa sürede izlenebilmektedir.



Resim 3.4 X-Işınları Difraksiyon Analiz Cihazı (XRD).

3.2.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Kriyojenik işlemlerle numunelerin aşınma bölgelerinin mikro yapı analizleri LEO 1430 VP markalı taramalı elektron mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kriyojenik işlem görmüş numunelerin mikro yapısındaki elementer dağılımları EDX yöntemiyle analiz edilmiştir.



Resim 3.5 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

3.2.6 Aşınma Cihazı



Resim 3.6 Aşınma cihazının görünüşü.

Aşınma işleminin deney parametleri aşağıdaki Çizelge 3.3 ' de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.3 Aşınma Deney Parametleri.

Aşınma Deneyler Parametleri		
Uygulanan Yük	Aşınma Mesafesi	Kayma Hızı
10 N ve 20N	500 metre	0,3

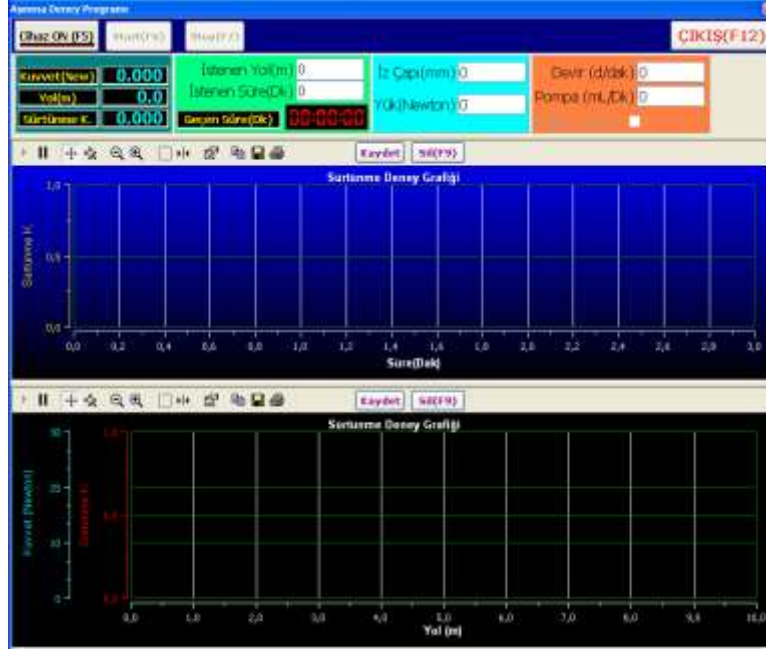
Oda sıcaklığındaki aşınma testleri kriyojenik işlem görmüş vanadis 4 numunelerine uygulanmıştır. Aşınma testlerinde ASTM G99'a uygun olarak tasarlanan bilye-disk aşınma cihazı kullanılmıştır (Resim 3.7). Bu sistemde, sabit duran ve yüklemenin üzerinden yapıldığı bilye tutucu ve bunun karşısında dönme hareketi yapan bir disk vardır. Diskin hareketi, 0.7 KW gücünde, dikey olarak yerleştirilen bir A.C motoru ile sağlanmıştır. Motora bağlanan kontrol ünitesi ile bilgisayar programından devir sayısı 0-1000 dev./dak. arasında ayarlanabilmektedir.

Aşınma sırasındaki sürtünme katsayılarının belirlenmesi için yükleme kolunda bilye tutucuya yakın olan kısma yük ölçer (load cell) monte edilmiştir. Standart uzama ölçerle (strain gage) donatılmış ve Wheatstone köprü sistemine göre çalışan yük ölçer (load cell) vasıtasıyla bilye ve disk sistemindeki teğetsel kuvvetler tespit edilmiştir. Yük ölçerden alınan sinyaller ADAM-3016 amplifikatörde düzenlendikten sonra, I/O dönüştürücü kart (PCL-812PG) vasıtasıyla bilgisayara aktarılmaktadır. Sürtünme katsayısını ölçmek için Borland Delphi 5'de yapılan program, teğetsel kuvvetin yüke bölümü olan m sürtünme katsayısını süreye bağlı olarak çizen bir grafik vermektedir. Program test boyunca, saniyede 15 veri almakta ve bu verilerin ortalamasını almaktadır.

Aşınma deneylerinde bilye olarak H.C. Starck Ceramics Gmbh firmasından temin edilen 8 mm çapında ve ortalama 1895 HV sertliğe sahip WC-Co bilyeler kullanılmıştır. Her deney için ayrı bir aşındırma elemanı kullanılarak, yüzeyin bozulmasından kaynaklanabilecek hatalar ortadan kaldırılmıştır. Aşınma deneyleri bilye disk sisteminde kuru sürtünme şartında oda sıcaklığında, 10 N ve 20N yük altında, 0.3 m/sn kayma hızında, 500 metre mesafe boyunca aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında her bir numune ve aşındırma elemanı alkolle temizlenmiştir. Deney sonrası numunelerin aşınma hacimleri Rugosimeter cihazından elde edilen aşınma kesit alanlarının aşınma izi çevresiyle çarpımı sonucunda bulunmuştur. Aşınma hızı ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

Aşınma hızı=Aşınan hacim miktarı/ (Uygulan yük x Kayma mesafesi), mm³/Nm



Resim 3.7 Aşınma deney programı.

Sürtünme katsayısı programı vasıtasıyla kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Aşınma deneyleri sonucunda kriyojenik işlem süresine ve kayma hızlarına bağlı olarak sürtünme katsayısı ve aşınma oranı grafikleri çizilmiştir.

3.2.7 Struers Numune Hazırlama Ünitesi ve Stresstech Taşınabilir XRD Kalıntı Östenit Analiz Sistemi

Kalıntı östenit miktarının ölçülebilmesi için numuneler Numune Hazırlama Ünitesinde (Resim 3.9 Struers Numune Hazırlama Ünitesi) hazır hale getirilir. Daha sonra kriyojenik işlem görmüş numunelerimiz taşınabilir XRD Kalıntı Östenit Analiz Sistemi (Resim 3.8 Stresstech Taşınabilir XRD Kalıntı Östenit Analiz Sistemi) yardımı ile kalıntı östenit miktarına bakılmıştır.

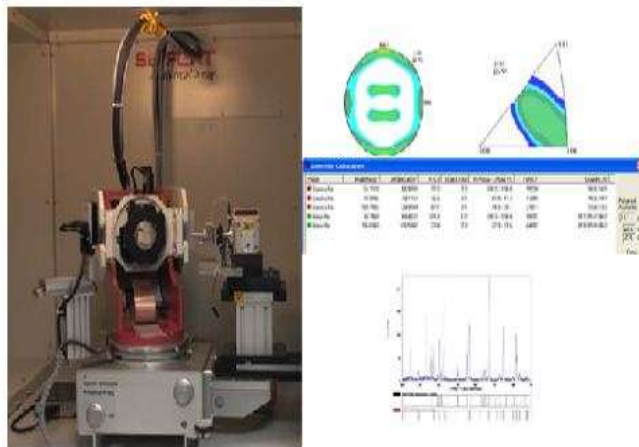
Aynı zamanda bu işlemler sırasında XRD Faz ve doku analiz sisteminden yararlanılmıştır.(Resim 3.10 Ge-Seifert XRD Faz ve Doku Analizi Sistemi)



Resim 3.8 Stresstech Taşınabilir XRD Kalıntı Ostenit Analiz Sistemi.



Resim 3.9 Struers Numune Hazırlama Ünitesi.



Resim 3.10 Ge-Seifert XRD Faz ve Doku Analizi Sistemi

3.2.8 Numune kesme cihazı



Resim 3.11 Numune kesme cihazı.

Aşınma işlemlerinin ardından numunelerimiz tam ortadan olmak üzere iki eşit parçaya numune kesme cihazında (Resim 3.11 Numune kesme cihazı) kesilmiştir. Kesilen yüzeyleri alkol ile temizlenerek diğer işlemler için hazır hale getirilmiştir.

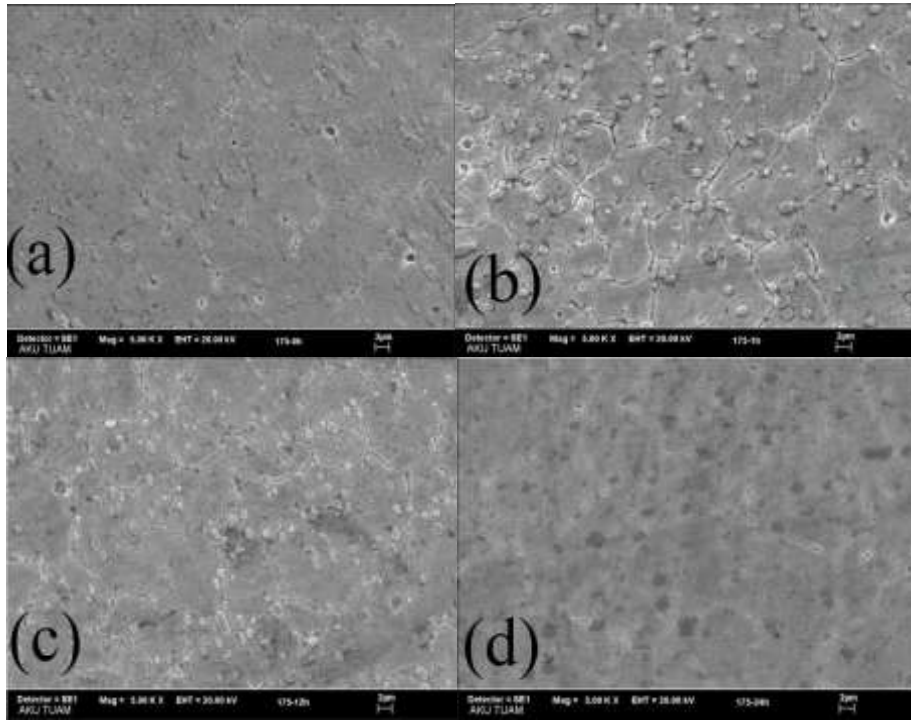
4.DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 Kriyojenik İşlem Görmüş Vanadis 4 Çeliğinin Mikro Yapısı

Şekil 4.1-4.3'te kriyojenik ısıtma işlemi görmüş Vanadis 4 çeliğinin SEM mikro yapıları görülmektedir. Kriyojenik işlemi sonucunda numuneler üzerinde karbür tanelerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4.1-4.3'te 175, 350 ve 525°C-GSV numunelerinin mikro yapılarında karbür dağılımlarının tane içerisinde ve sınırlarında oluştuğu görülmektedir. Kriyojenik ısıtma işlemi bekletme süresinin 1 saatten 12 saate yükselmesiyle birlikte tanelerin ince ve daha homojen olarak dağıldığı ve işlem süresinin 24 saate artmasıyla da tanelerin tekrar büyüdüğü gözlenmiştir. Mikro yapıda tane büyüklüğünün mekanik özellikleri negatif yönde etkilediği bilinmektedir. Köksal vd.(2010) yapmış oldukları çalışmada AISI 1060 çelik malzemenin tokluk ve sertlik değerlerine soğutma ortamının etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada AISI 1060 çeliğine tavlama sıcaklığı ve soğutma ortamları değiştirilerek malzemenin içyapısı ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimler araştırılmıştır. Tavlama sıcaklığı 820 °C ve 950 °C olup, 25 dakika süresince numuneler bekletilmiş ve havada, suda ve yağda soğutulmuştur. Ayrıca suda soğutulan numunelere 600 °C' de gerilim giderme tavlama uygulanmıştır. Sonuç olarak yapılan soğutma işlemlerinde tane boyutunun küçüklüğü tokluğu arttırdığı gözlenmiştir (Köksal, vd. 2010). Kriyojenik ısıtma işlemi görmüş numunelerin (DKI), geleneksel ısıtma işlemi görmüş numunelere (GSV) göre karbür dağılımları daha ince ve homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1-4.3).

Geleneksel su verme işleminde, su verme işlemi sonrasında martenzite dönüşemeyen kalıntı östenitin malzemenin sertlik değerini düşürmektedir. Kalıntı östenit miktarını azaltmak ve malzemenin mekanik özelliklerini (sertlik, aşınma vs.) artırmak için malzemelere kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Kriyojenik ısıtma işlemi çökelti fazlarının daha da küçük hale getirilmesiyle malzemelerin mekanik özellikleri geliştirilmektedir. Sert ve gevrek haldeki çökelti fazları iç gerilmeler nedeniyle daha da küçük parçalara ayrılmaktadır (Huang,J.Y., et al. 2003).

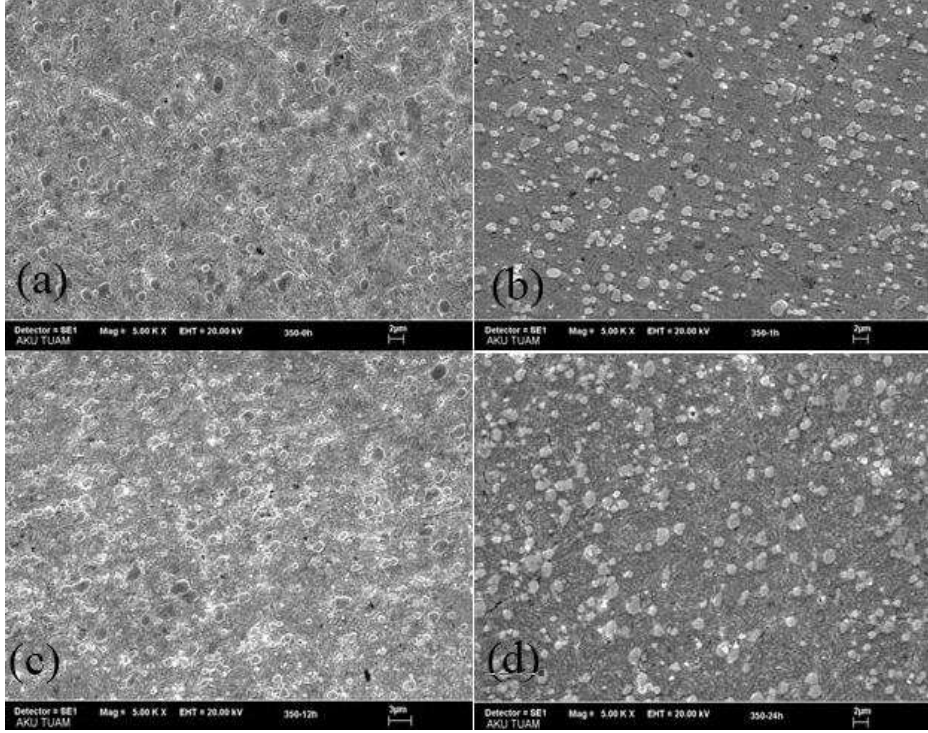
Literatürde yapılan çalışmalarda kriyojenik işlemin mekanik özellikleri arttırdığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kriyojenik ısıl işlem ile numunelerin mikro yapıdaki karbürlerinin özelliklerini değiştirerek sertlik değerlerini yükselttiği ve takım ömrünü arttırdığı tespit edilmiştir (Çiçek, A., vd. 2012). Mikro yapıdaki görüntü iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Birincisi; karbür parçalarının dağılımı kriyojenik işlem görmüş zimbada daha düzgün dağılmıştır. İkincisi; kriyojenik işlem görmüşte karbür hacmi iki kata kadar artmaktadır. Ayrıca bu karbür çoğalması matris malzemedeki karbonun ve alaşım elementlerinin miktarını azaltarak matris malzemesinin sünekliğini artırmaktadır. Huang vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada AISI M2 çeliğini -80 C 'de 1 hafta boyunca kriyojenik ısıl işleme tabi tutarak aşınma dirençlerini incelemişlerdir. Kriyojenik ısıl işlemin numunelerin aşınma dayanımlarını önemli ölçüde arttırdıklarını tespit etmişlerdir (Huang,J.Y.,et al. 2003).



Şekil 4.1 Kriyojenik ısıl işlem görmüş a) 175 °C GSV, b) 175 °C DKI-1Saat c) 175 °C DKI-12Saat d) 175 °C DKI-24S numunelerin SEM mikro yapıları.

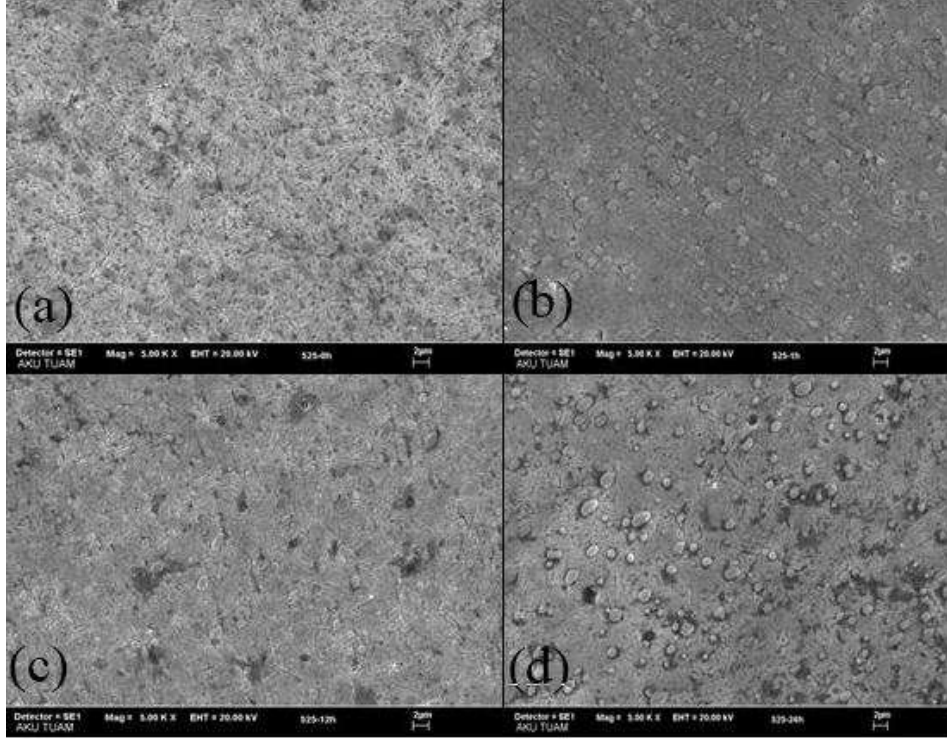
Şekil 4.1 ' de görülen GSV numunesinde karbürlerin daha kaba ve homojen bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 4.1.b' de mikro yapıya bakıldığında karbürlerin daha

homojen dağıldığı ve tane boyutlarının daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 4.1.c' de görülen mikro yapıda karbürlerin daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2 Kriyojenik ısıtım işlem görmüş a) 350 °C GSV, b) 350 °C DKI-1Saat c) 350 °C DKI-12Saat d) 350 °C DKI-24S numunelerin SEM mikro yapıları.

Şekil 4.2' de görülen mikro yapılarda karbürlerin 175 °C' deki mikro yapılara göre daha küçük ve karbürün çok olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.2.b' görülen karbürlerin Şekil 4.1.d' de parçalandığı gözlemlenmiştir.

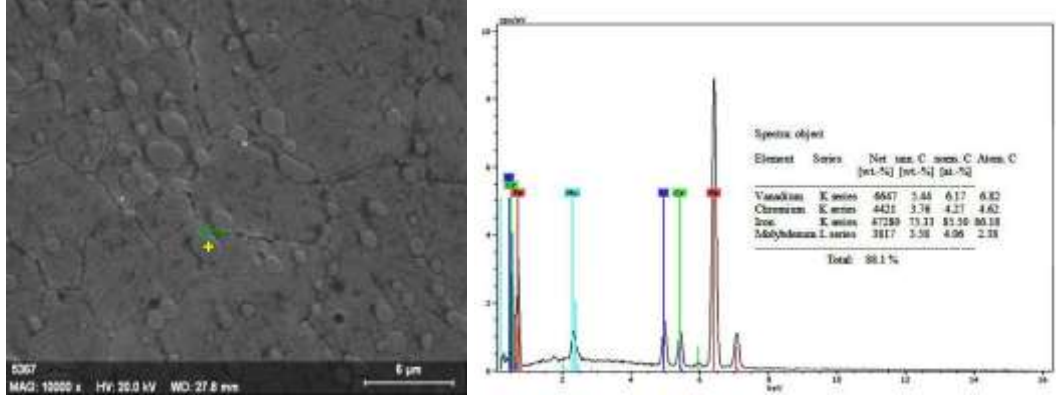


Şekil 4.3 Kriyojenik ısıtıl işlem görmüş a) 525 °C GSV, b) 525 °C DKI-1Saat c) 525 °C DKI-12Saat d) 525 °C DKI-24S numunelerin SEM mikro yapıları.

GSV numunelerinde temperleme sıcaklığının artmasıyla birlikte karbürlerin parçalandığı görülmüştür. 175 °C , 350 °C, 525 °C DKI 1 saatlik numuneler incelendiğinde karbürlerin birden daha irileştiği ve homojen dağılımın yitirdiği gözlenmiştir.

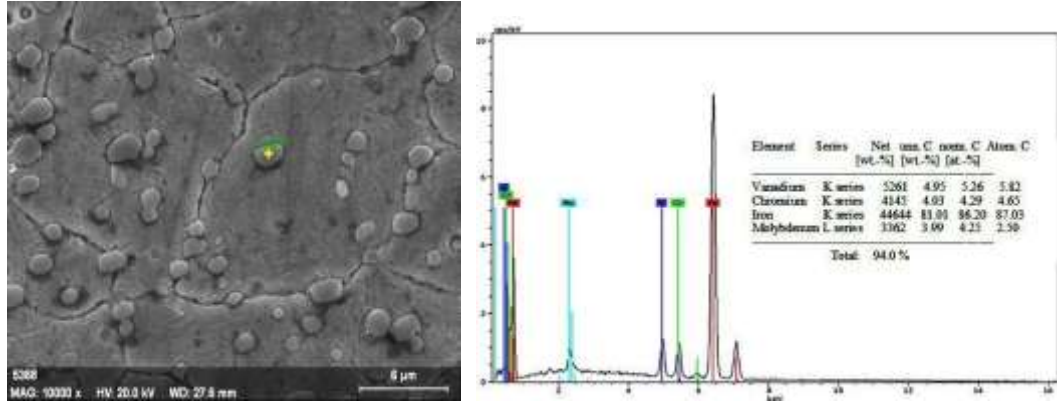
4.2 Elementer Dağılım Analizi Sonuçları (EDX)

Şekil 4.4-4.9’da kriyojenik işlem görmüş numunelerin EDX analizleri görülmektedir. EDX analizi sonucunda Vanadiş 4 soğuk iş takım çeliğın de Fe, Cr, V ve az miktarda Mo elementine rastlanmıştır. EDX ve XRD (Şekil 4.10-4.15) analizleri incelendiğinde vanadyum, krom, demir ve molibden karbürlerin oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.4 ve 4.5’te GSV ve DKI-1 saat işlem görmüş numunede demir ve vanadyum miktarının, Şekil 4. 6 ve 4.7’te ise demir ve krom miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Alaşım elementleri karbür oluşturduklarında ortamdaki karbon ve alaşım elementi miktarlarında azalmalara neden olduğu bilinmektedir (Huang,J.Y.,et al. 2003).



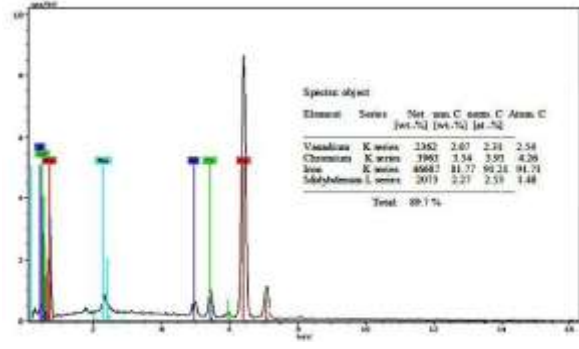
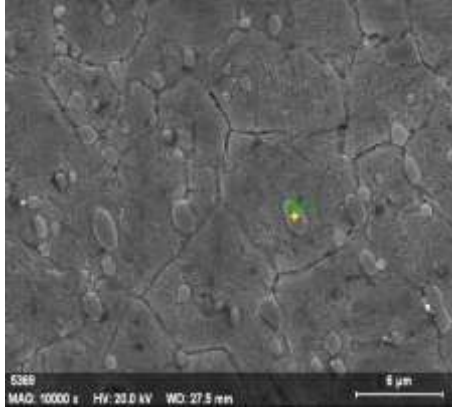
Şekil 4.4 175°C GSV' de Elementel Dağılım Analizi.

Şekil 4.4' de 175°C GSV' de Elementel Dağılım Analizi görülmektedir. EDX analizleri sonucunda Vanadyum, krom, demir, molibden fazları görülmektedir.

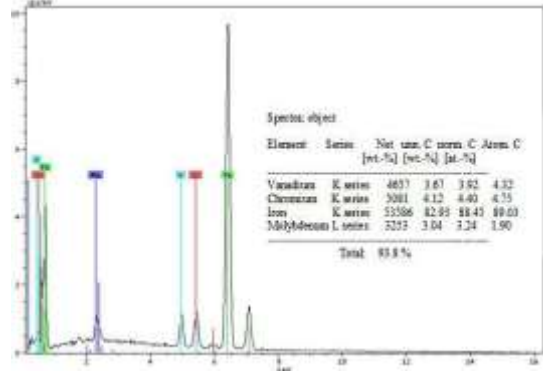
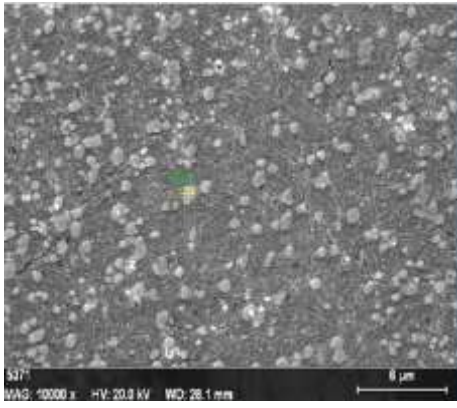


Şekil 4.5 175°C 1 Saat Elementel Dağılım Analizi.

Şekil 4.5' de 175°C 1 Saat Elementel Dağılım Analizi görülmektedir. Vanadyum fazında düşüş görülmekle birlikte krom fazında bir artış görülmektedir.

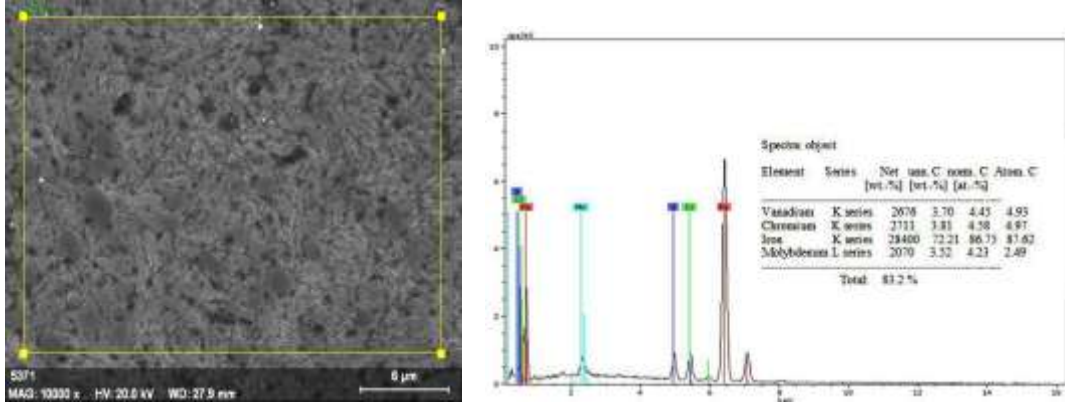


Şekil 4.6 175°C 12 Saat Elementel Dağılım Analizi.

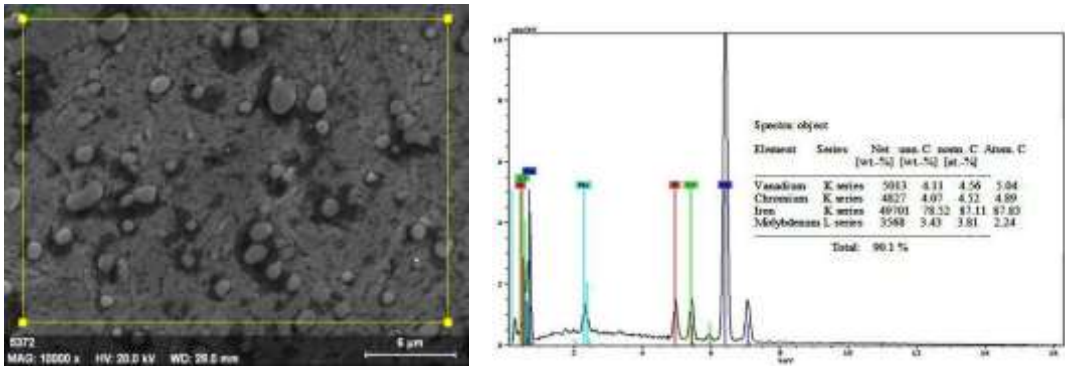


Şekil 4.7 350 °C 24 Saat Elementel Dağılım Analizi.

Şekil 4.6 – Şekil 4.7’de kriyojenik işlem süresinin artmasıyla birlikte krom ve vanadyum fazlarında artış tespit edilmiştir. Ayrıca kriyojenik işlem süresi arttıkça demir ve molibden fazında düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8 525°C GSV 'de Elementel Dağılım Analizi.

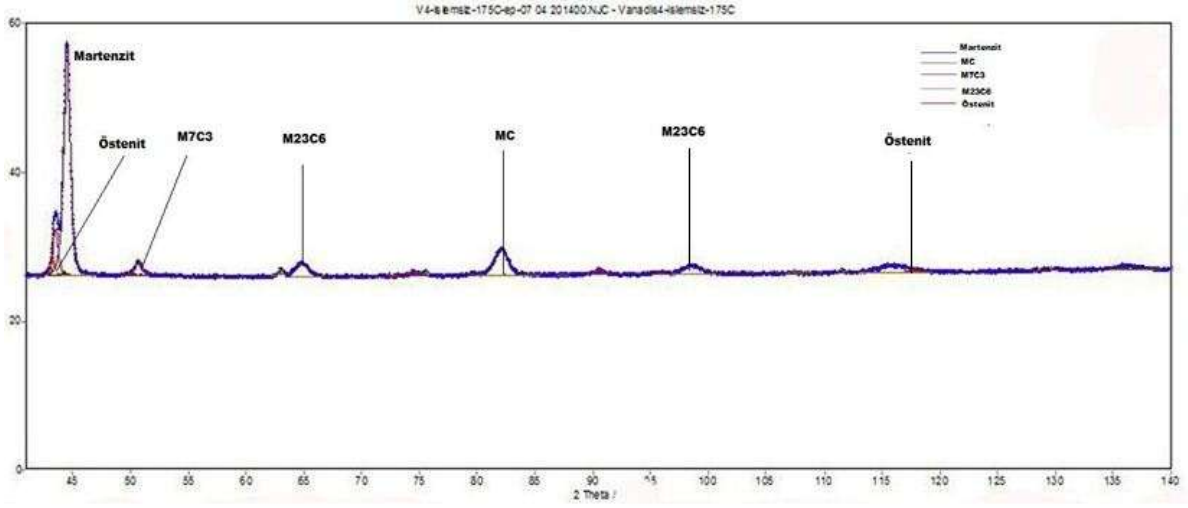


Şekil 4.9 525 °C 24 Saat Elementel Dağılım Analizi.

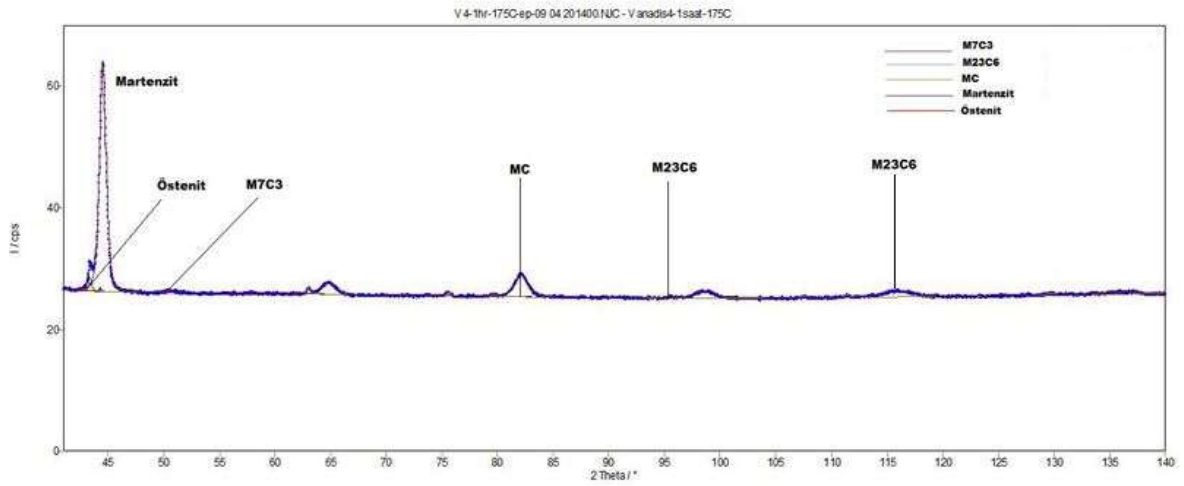
Şekil 4.8 – Şekil 4.9' da görülen analizde karbürlerin oluşturduğundan dolayı elementel farklılıkta bir azalma gözlemlenmiştir.

4.3 X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD)

Şekil 4.10-4.15'te GSV ve Kriyojenik işlem görmüş ve ardından farklı sıcaklıklarda temperlenmiş (175°C -525°C) numunelerin XRD analizleri görülmektedir. XRD analizleri sonucunda kalıntı östenit, martenzit ve karbürlerin oluştuğu tespit edilmiştir. Elde edilen fazların miktarı çizelge 4.1 ' de verilmiştir. Dairesel grafiklerde görülen kırmızı renk Östenit miktarını, mor renkte Martenzit miktarını, Sarı renk MC, yeşil renk M_7C_3 , Mavi renkte ise $M_{23}C_6$ alaşım elementlerinin karbürü bileşiklerini göstermektedir.

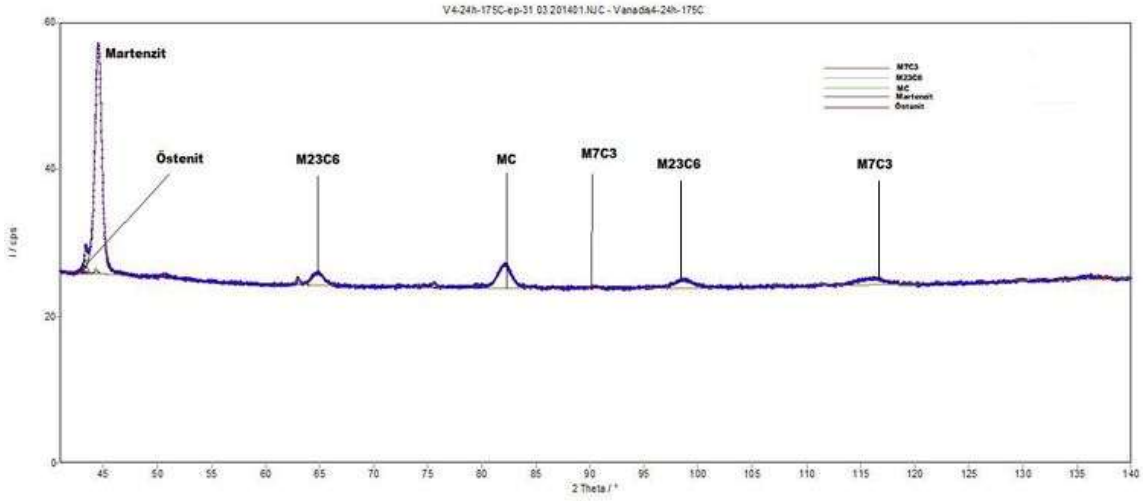


Şekil 4.10 Vanadis 4 Soğuk İş takım Çeliğinin 175°C GSV numunesinin kalıntı östenit miktarı.

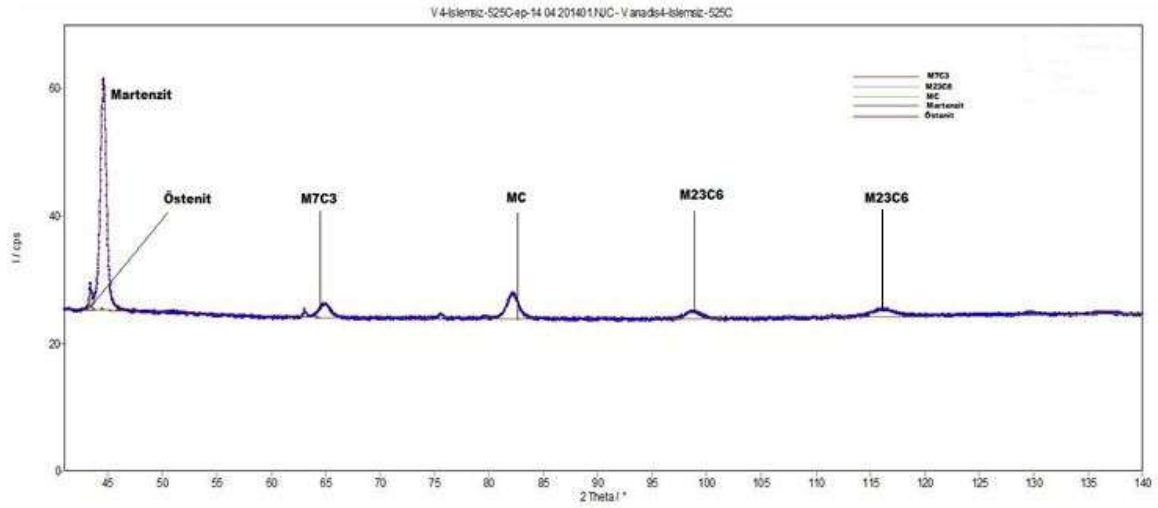


Şekil 4.11 Vanadis 4 Soğuk İş takım Çeliğinin 175°C 1 saat numunesinin kalıntı östenit miktarı.

GSV'de numunesinde martenzit şiddetleri biraz daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Kriyojenik işlem görmüş 1 saatlik numunede ise martenzit pik şiddetleri biraz daha baskın gözükmemektedir.

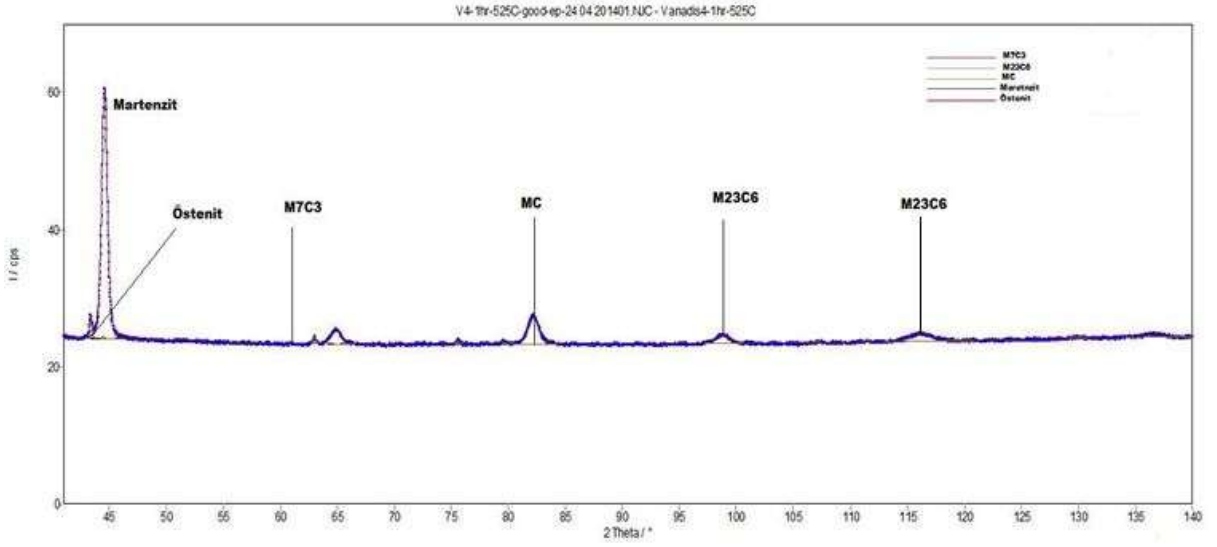


Şekil 4.12 Vanadis 4 Soğuk İş takım Çeliğinin 175°C 24 saat numunesinin kalıntı östenit miktarı.

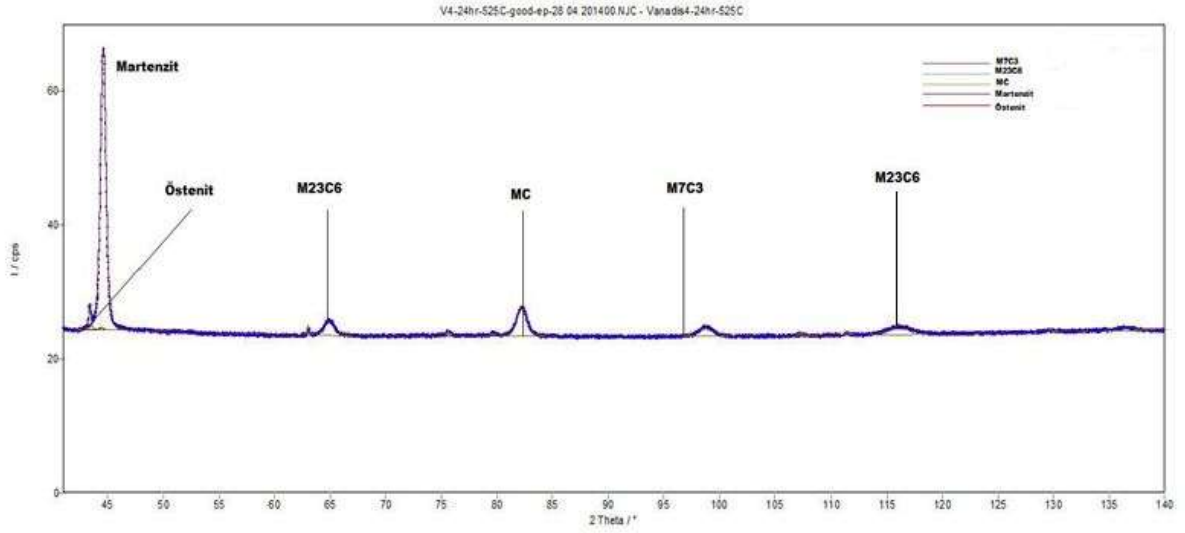


Şekil 4.13 Vanadis 4 Soğuk İş takım Çeliğinin 525 °C GSV numunesinin kalıntı östenit miktarı.

Kriyojenik işlem süresinin artmasıyla birlikte martenzit pik şiddetlerinde artış görülmektedir. GSV numunelerinde martenzit miktarı 74.37' den temperleme sıcaklığının etkisi ile birlikte 83.98' e çıktığı tesbit edilmiştir. Kriyojenik işlem ve temperleme sürelerinin artmasıyla DKI işlem görmüş numunelerde martenzit miktarı 89.01' çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.14 Vanadis 4 Soğuk İş takım Çeliğinin 525 °C 1saat numunesinin kalıntı östenit mi.



Şekil 4.15 Vanadis 4 Soğuk İş takım Çeliğinin 525 °C 24 saat numunesinin kalıntı östenit miktarı.

GE Seifert XRD 3003-PTS cihazı ile $\text{CuK}\alpha$ ışınması altında, 41° - 140° $2\theta^\circ$ Aralığında, 0.02° lik tarama adımı ile 18 saatte tamamlanmış olan ölçüm sonucunda elde edilmiş olan difraktogram üzerinde AutoQuan® yazılımı ile gerçekleştirilen nicel analiz sonuçları aşağıda ki çizelge 4.1 'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 Numunelerin Nicel faz analiz sonuçları.

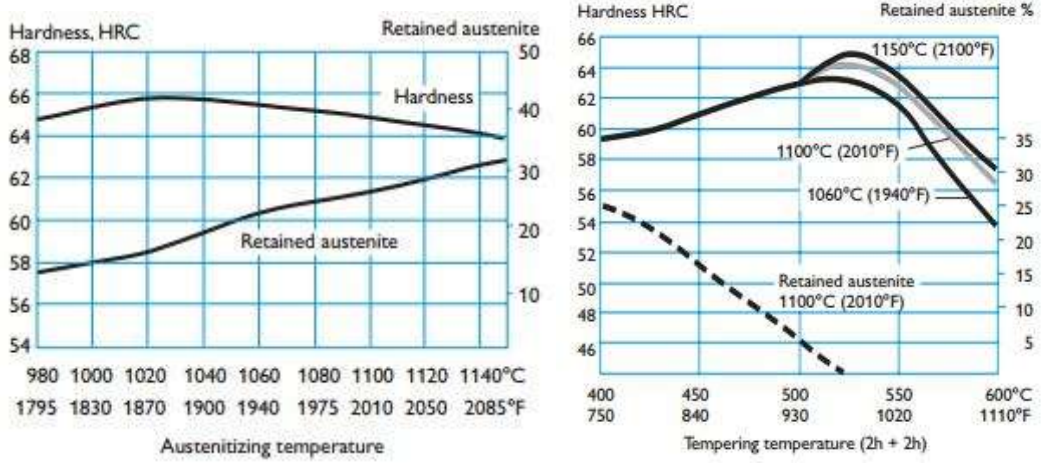
Numune Adı	Östenit (Vol.%)	MC (Vol.%)	M7C3 (Vol.%)	M23C6 (Vol.%)	Martenzit (Vol.%)	% Karbür oranı
GSV 175 °C	14.1	8.15	2.38	1.00	74.37	11.53
V4-1saat – 175 °C	4.01	9.71	0.00	1.10	85.17	10.81
V4- 24 saat 175 °C	3.53	6.21	1.20	1.86	87.20	9.27
GSV 525 °C	1.93	9.51	3.42	1.16	83.98	14.69
V4-1saat – 525 °C	0.70	9.63	3.74	0.75	85.87	14.12
V4-24 saat – 525 °C	0.25	10.0	0.10	0.88	89.01	10.99

GSV 175°C numunesinde kalıntı östenit miktarının kriyojenik işlem sonucunda azaldığı tespit edilmiştir. Kalıntı östenit kriyojenik ısıl işlem sonrasında martenzite dönüştüğü çizelge 41'den görülmektedir. Bu durum literatür ile uyum içerisindedir .Kriyojenik ısıl işlem süresinin artmasıyla birlikte hem kalıntı östenit miktarının hem de % karbür oranında azalmaların olduğu gözlenmiştir.

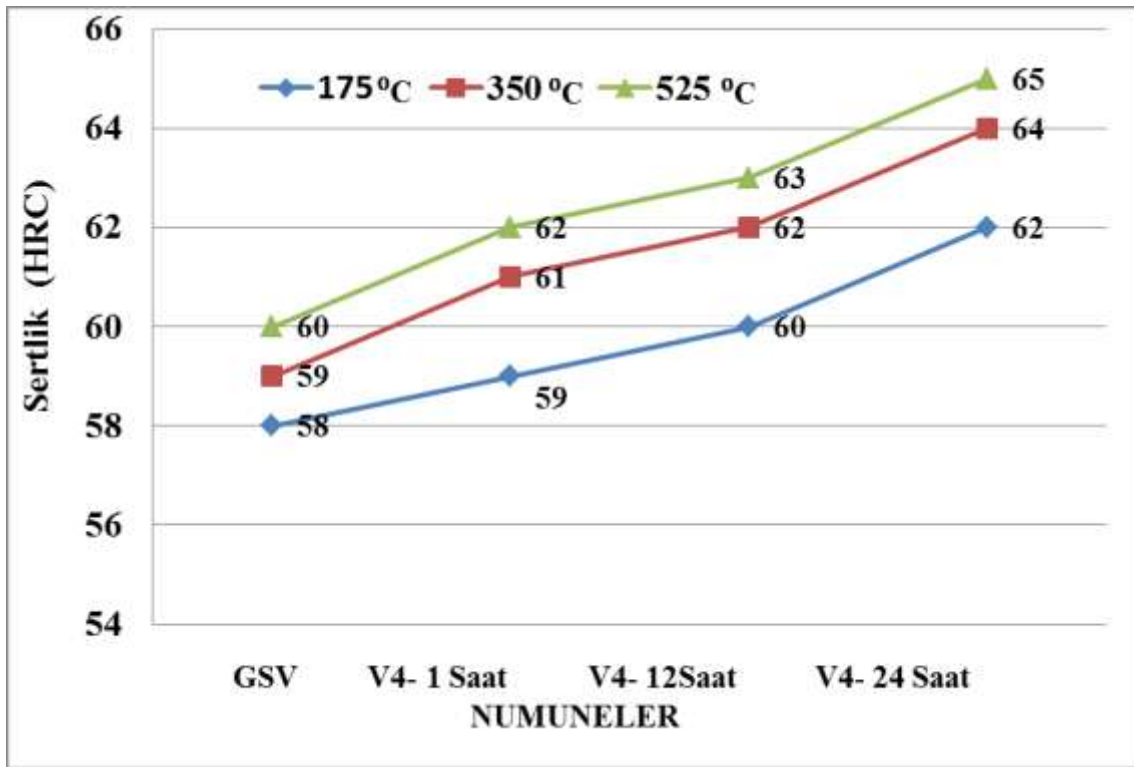
4.4 Sertlik Sonuçları

Şekil 4.16'da Geleneksel ve kriyojenik işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri 58-65 HRC arasında değiştiği gözlenmiştir. Aşağıda Şekil 4.16' da görüldüğü gibi GSV numunesi 58 HRC sertliğinde iken 24saat kriyojenik işlem sonrası 62,5 HRC sertliğe yükselmiştir. Yaklaşık olarak kriyojenik ısıl işlem sonrasında numunelerin sertlik değerlerinde % 10,5 oranında artışların olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kriyojenik işlemin numunelerin sertlik değerleri üzerinde artışlar sağladığı görülmüştür (kalıntı östenitin martenzite dönüşümünden dolayı).

Dhokey vd.(2009) AISI D3 çeliğine -185°C'de 8 saat kriyojenik ısıl işlem uygulamışlar. Geleneksel su verilmiş çeliğin 56 HRC olan sertlik değerlerinin kriyojenik ısıl işlem sonrasında 61 HRC'ye yükseldiğini tespit etmişlerdir.



Resim 4.1 Vanadis 4 çeliğinin sertlik değerleri.



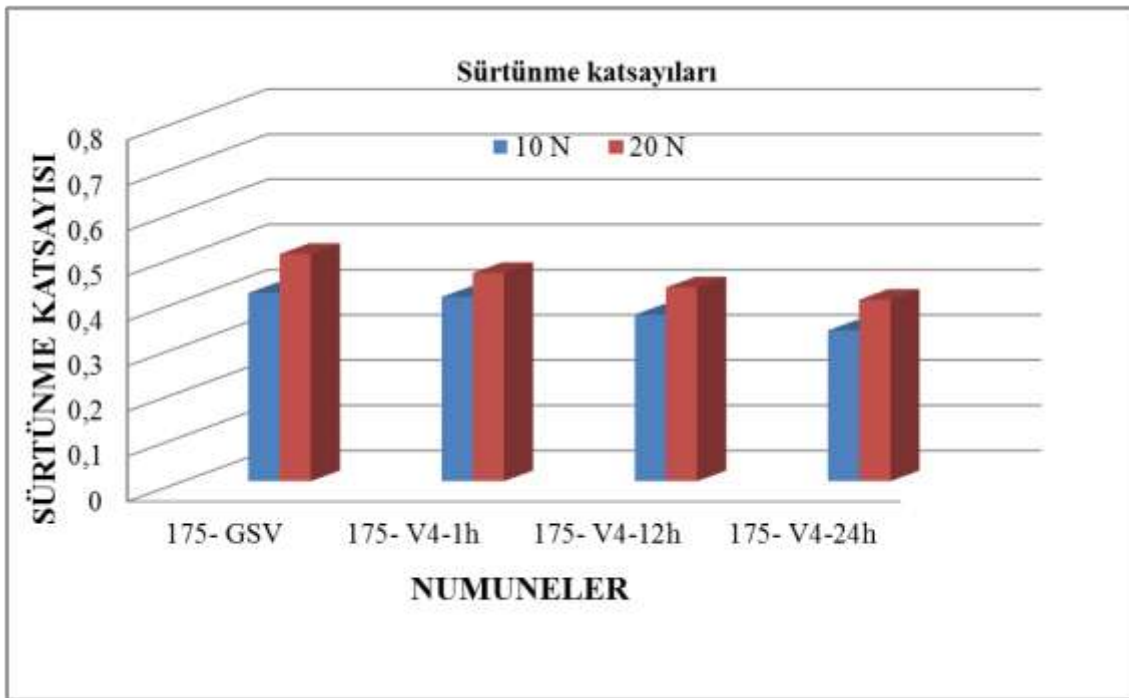
Şekil 4.16 Sertlik Değerleri Karşılaştırılması.

Sertlik değerleri karşılaştırıldığında 175°C' deki numunede 62 HRC , 350°C 'deki numunede 64HRC, 525°C' deki numunede ise 65 HRC sertlik değerleri gözlemlenmiştir.

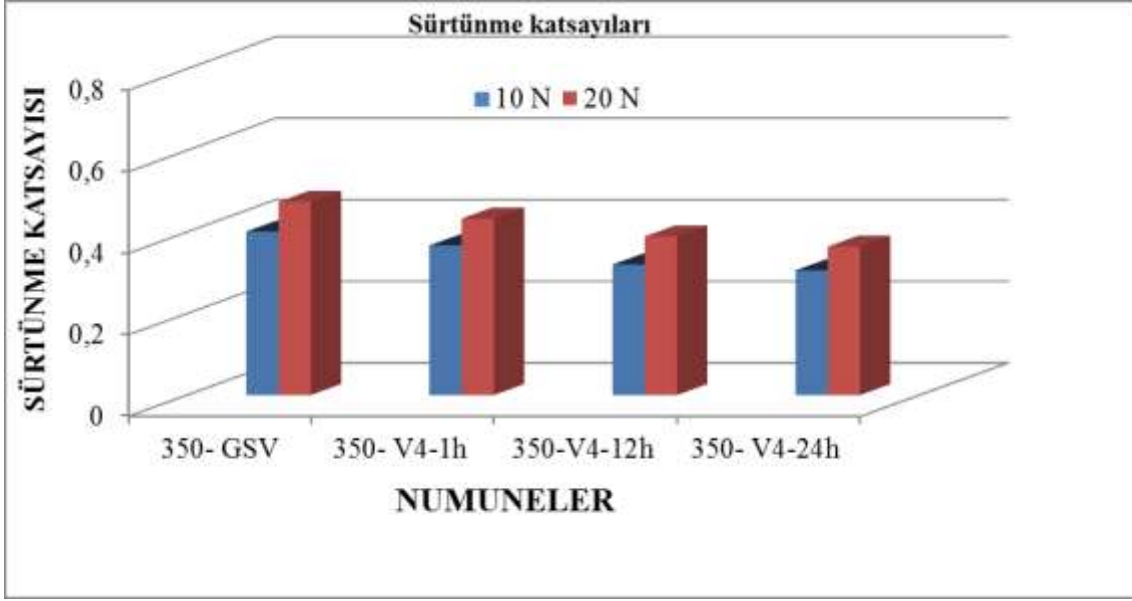
4.5 Aşınma Analiz Sonuçları

4.5.1 Aşınma Hacmi Oranı ve Sürtünme Katsayısı Grafikleri

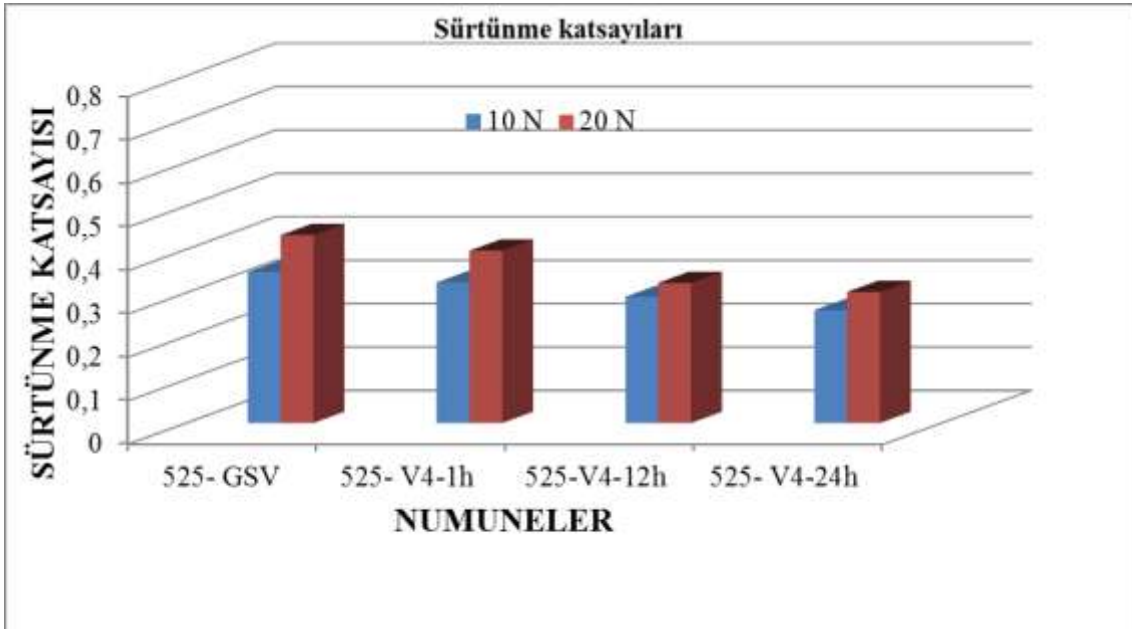
Şekil 4.17- 4.19'da geleneksel ve derin kriyojenik ısıtma işlem görmüş numunelerin sürtünme grafikleri görülmektedir. Uygulanan aşınma yük miktarının artmasıyla birlikte sürtünme katsayılarında artışlar görülmüştür. Geleneksel su verilmiş ve kriyojenik işlem görmüş numunelerin sürtünme katsayıları 0,3-0.6 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Geleneksel su verilmiş ve kriyojenik işlem görmüş numunelerde sürtünme katsayı değerleri birbirine yakın çıkmıştır.



Şekil 4.17 Kriyojenik ısıtma işlem görmüş 175 ° C ' deki numunelerin Sürtünme katsayıları.



Şekil 4.18 Kriyojenik ısıtma işlemi görmüş 350° C ‘ deki numunelerin Sürtünme katsayıları.



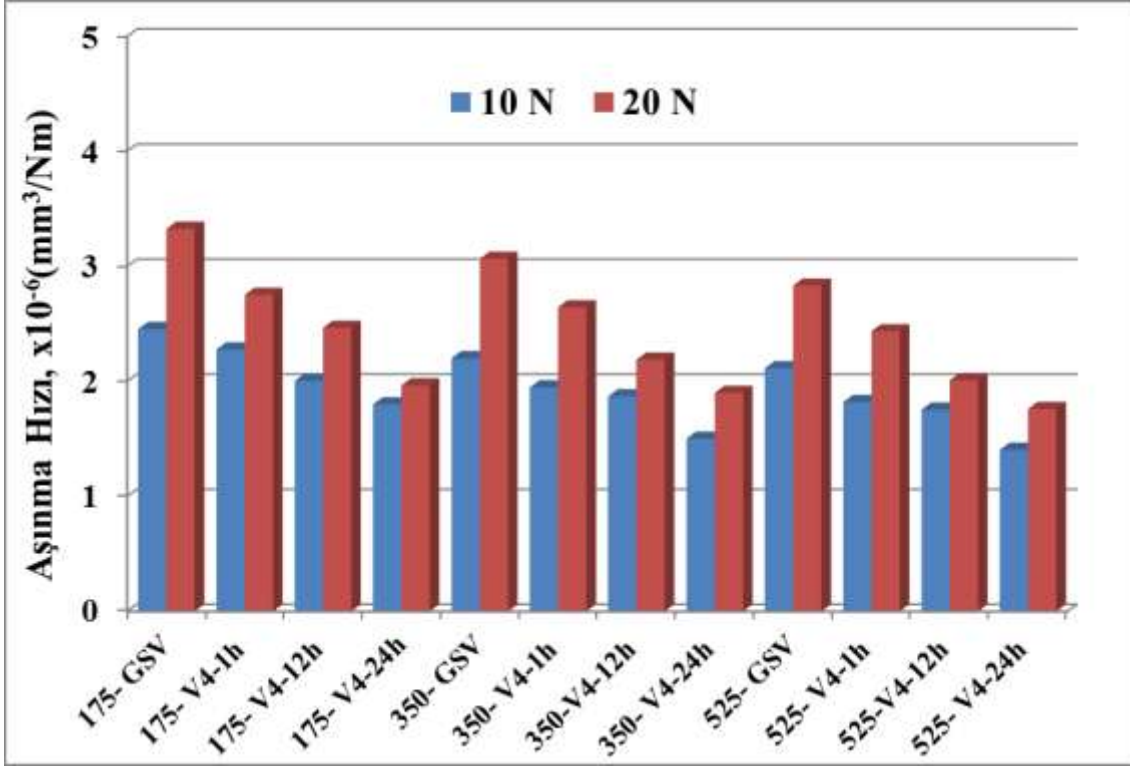
Şekil 4.19 Kriyojenik ısıtma işlemi görmüş 525° C ‘ deki numunelerin Sürtünme katsayıları.

Şekil 4.20- 4.23'te geleneksel ve derin kriyojenik ısıtma işlem görmüş numunelerin aşınma grafikleri görülmektedir. Kriyojenik ısıtma işlem görmüş numunelerdeki aşınma oranları, geleneksel ısıtma işlem görmüş numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Kriyojenik işlem süresinin artmasıyla birlikte aşınma oranlarında düşüşler görülmüştür. Temperleme süresinin artmasıyla birlikte aşınma oranlarında düşük oranlarda azalmalar meydana gelmiştir. Bunun nedeni malzemelerin sertlik değerlerinden kaynaklanmaktadır. 525 °C 'de temperlenmiş numunelerde kalıntı östenit miktarında azalmalar meydana gelirken hem martenzit hem de toplam % karbür oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Bu artışlar numunelerin sertlik değerlerini artırarak aşınma oranlarında düşüşlere neden olmuştur. Aşınma direncinin malzemenin sertliği ile ilgili olduğuna dair literatürde oldukça fazla miktarda çalışma bulunmaktadır (Li *et al.* 2008, Mu *et al.* 2010, Gunes 2013).

Das et al.(2009) AISI D2 -196 °C 10-132 saat sürelerde sıvı azot içerisinde kriyojenik işleme tutulmuş ve numuneleri aşınma dirençleri araştırılmışlardır. En iyi aşınma davranışın 36 saat kriyojenik işlem görmüş numunelerde tesbit edilmiştir.

Darvin et al. (2008) %18 Cr martenzit paslanmaz çeliği kriyojenik işleme tabi tutmuşlar ve kriyojenik işlem süresinin aşınma direncini etkilediği tesbit edilmiştir.

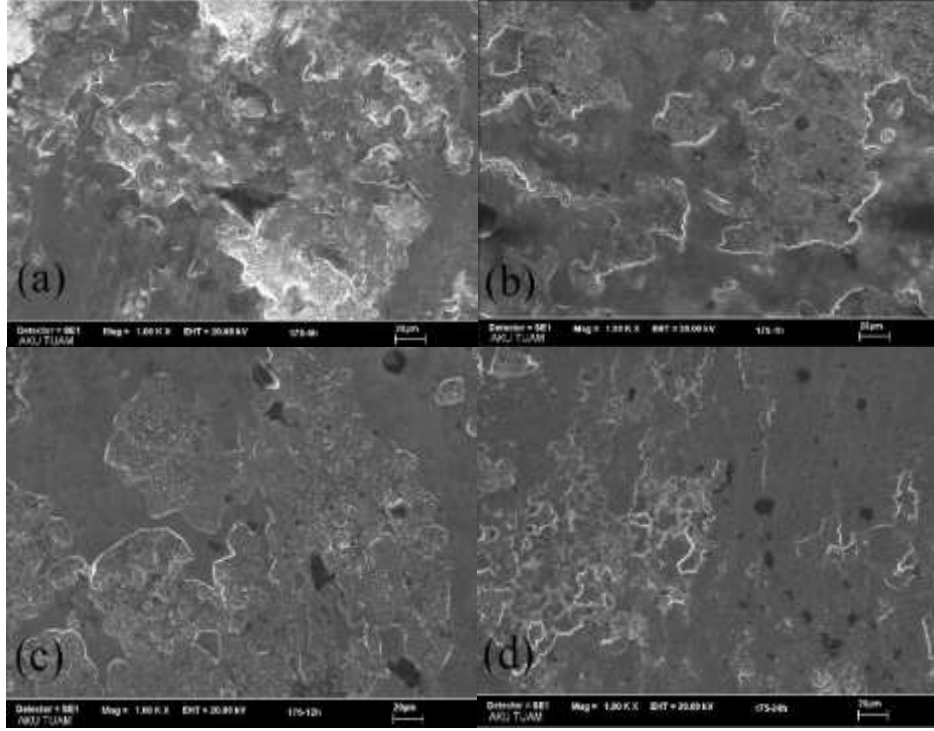
Amini et al.(2010) AISI D3 24-120 saat arasında Kriyojenik ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır. Çeliğin aşınma davranışı malzemenin karbür oranının, karbürün homojen dağılımını numunenin sertliği, çeliğin sertliğini etkilediği gözlenmiştir.



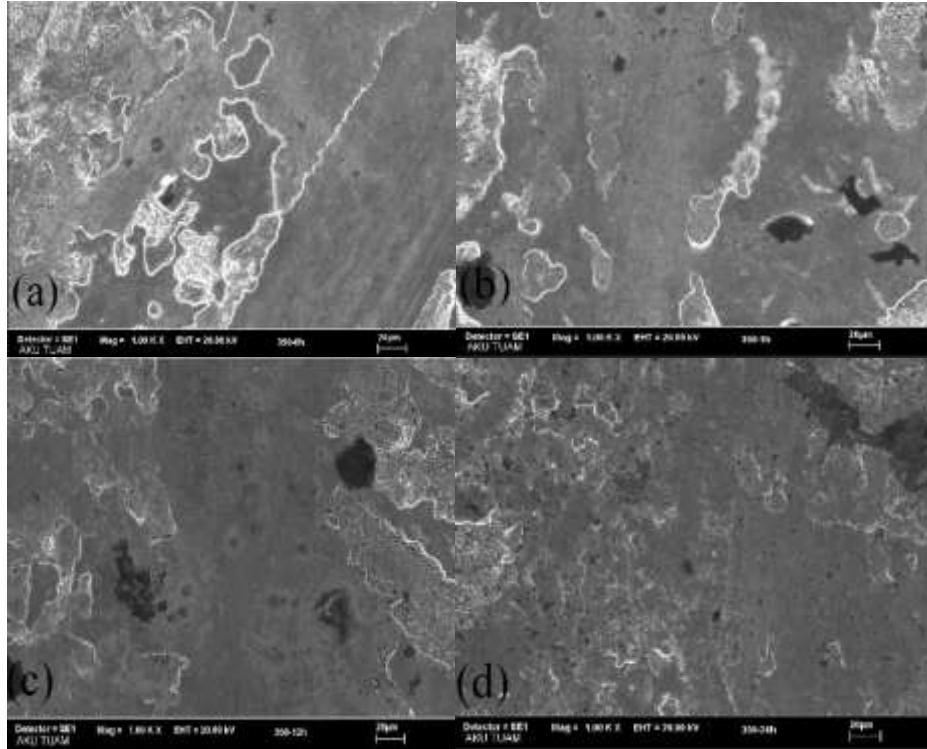
Şekil 4.20 Kriyojenik ısıtılmış numunelerin aşınma değerleri.

4.5.2 Aşınma SEM mikro yapısı

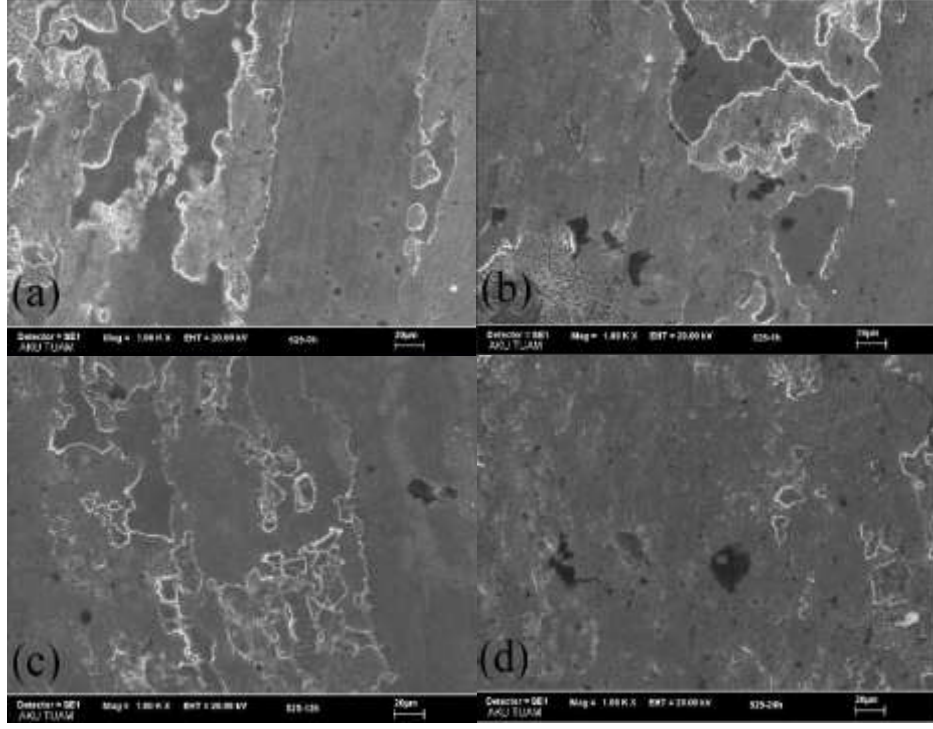
Şekil 4.22-4.24'te geleneksel ve kriyojenik işlem uygulanmış (DKI) Vanadis 4 takım çelinin 20 N yük altında aşınma izi SEM mikroyapıları görülmektedir. Derin kriyojenik ısıtılmış numunelerin aşınma bölgelerinde abrazif ve adhezif aşınma sonucunda numune yüzeylerinde debrisler, yüzey çizikleri ve mikro çatlakların oluştuğu görülmüştür. Ayrıca hem geleneksel hem de derin kriyojenik işlem görmüş numunelerin aşınma izlerinde, mikro çatlakların ilerlemesiyle delaminasyon aşınmalarının oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.21 Kriyojenik ısıt işlem görmüş numunelerin aşınma SEM mikroyapıları a) 175GSV, b) 175DKI-1S, c) 175DKI-12S, d) 175DKI-24S.

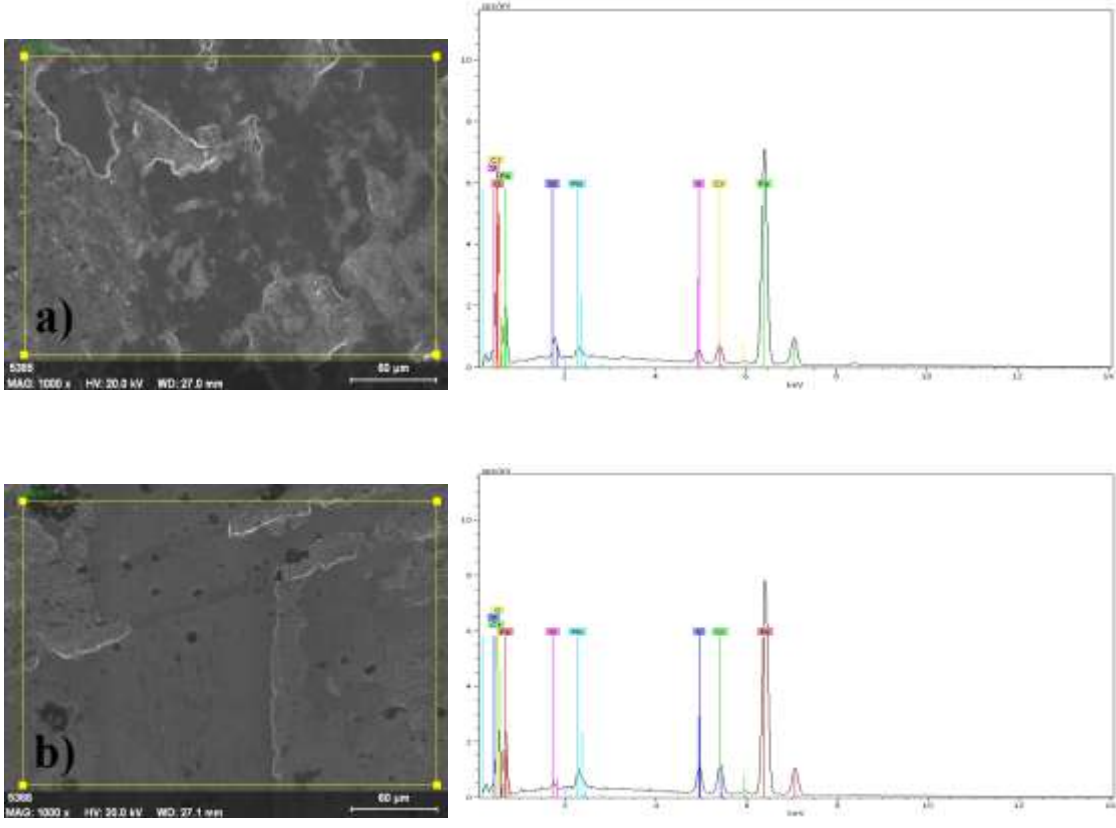


Şekil 4.22 Kriyojenik ısıt işlem görmüş numunelerin aşınma SEM mikroyapıları a) 350GSV, b) 350DKI-1S, c) 350DKI-12S, d) 350DKI-24S.



Şekil 4.23 Şekil 3.7 Kriyojenik ısıtım işlem görmüş numunelerin aşınma SEM mikroyapıları a)525GSV, b) 525 DKI-1S, c) 525 DKI-12S, d) 525 DKI-24.

Şekil 4.24’da, şekil 4.21 d ve şekil 4.23 d’den alınmış aşınma Bölgesi EDX analizleri görülmektedir. Aşınma sonucunda geleneksel ve kriyojenik ısıtım işlem görmüş numunelerin aşınma yüzeylerinde sürtünme ısısından dolayı Fe, V, Mo, Cr-bazlı oksitler oluşmuştur. Ayrıca aşınma izi boyunca kayma yönünde oksit tabakalarının uzanarak yönelmişler gözlenmiştir. Oluşan oksit tabakalarının aşınma iz boyunca uzandıkları ve numunelerin aşınma davranışlarını etkilediklerini tespit edilmiştir.



Şekil 4.24 a) 175 °C- b) 525 °C aşınma bölgesi EDX analizleri.

5.TARTIŞMA ve SONUÇ

Kriyojenik işlemden numunelerinin mikro yapılarında karbür dağılımlarının tane içerisinde ve sınırlarında oluştuğu tespit edilmiştir. Kriyojenik ısı işlem bekleme süresinin 1 saatten 12 saate yükselmesiyle birlikte tanelerin ince ve daha homojen olarak dağıldığı ve işlem süresinin 24 saate artmasıyla da tanelerin tekrar büyüdüğü gözlenmiştir. Kriyojenik ısı işlem görmüş numunelerin (DKI), geleneksel ısı işlem görmüş numunelere (GSV) göre karbür dağılımları daha ince ve homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

Elementel dağılım analizi sonucunda kriyojenik işlem görmüş numunelerde Fe, Cr, V ve az miktarda Mo elementleri elde edilmiştir. Geleneksel su verme ve 1 saat kriyojenik işlem numunede demir ve vanadyum miktarının, demir ve krom miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Geleneksel su verme ve kriyojenik işlem görmüş ve ardından farklı sıcaklıklarda temperlenmiş (175°C -525°C) numunelerin XRD analizleri sonucunda kalıntı östenit, martenzit ve karbürlerin oluştuğu tespit edilmiştir. Kalıntı östenit kriyojenik ısı işlem sonrasında martenzite dönüşmüştür. Kriyojenik ısı işlem süresinin artmasıyla birlikte hem kalıntı östenit miktarının hem de % karbür oranında azalmaların olduğu gözlenmiştir.

Geleneksel su verme ve kriyojenik işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri arasında değişim gözlenmiştir. Geleneksel su verilmiş numunelerde 58 HRC sertliğinde iken 24 saat kriyojenik işlem sonrasında 62,5 HRC sertliğe yükselmiştir. Kriyojenik ısı işlem sonrasında numunelerin sertlik değerlerinde yaklaşık % 10,5 oranında artışların olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kalıntı östenitin martenzite dönüşümünden dolayı kriyojenik işlem görmüş numunelerin sertlik değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

Geleneksel su verme ve kriyojenik işlem görmüş numunelere uygulanan yük miktarının artmasıyla birlikte sürtünme katsayılarında artışlar görülmüştür. Geleneksel su verilmiş ve kriyojenik işlem görmüş numunelerde sürtünme katsayı değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Kriyojenik ısıtım işlem görmüş numunelerdeki aşınma oranları, geleneksel ısıtım işlem görmüş numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Kriyojenik işlem süresinin artmasıyla birlikte aşınma oranlarında düşüşler görülmüştür. Temperleme süresinin artmasıyla birlikte aşınma oranlarında düşük miktarlarda azalmalar meydana gelmiştir. Bunun nedeni malzemelerin sertlik değerlerinden kaynaklanmaktadır. 525 °C 'de temperlenmiş numunelerde kalıntı östenit miktarında azalmalar meydana gelirken hem martenzit hem de toplam % karbür oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Bu artışlar numunelerin sertlik değerlerini artırarak aşınma oranlarında düşüşlere neden olmuştur.

Derin kriyojenik ısıtım işlem görmüş numunelerin aşınma bölgelerinde abrazif ve adhezif aşınma sonucunda numune yüzeylerinde debrisler, yüzey çizikleri ve mikro çatlakların oluştuğu görülmüştür. Ayrıca hem geleneksel hem de derin kriyojenik işlem görmüş numunelerin aşınma izlerinde, mikro çatlakların ilerlemesiyle delaminasyon aşınmalarının oluştuğu gözlenmiştir.

Aşınma sonucunda geleneksel ve kriyojenik ısıtım işlem görmüş numunelerin aşınma yüzeylerinde sürtünme ısısından dolayı Fe, Mo, V, Cr-bazlı oksitler oluşmuştur. Ayrıca aşınma izi boyunca kayma yönünde oksit tabakalarının uzanarak yöneldikleri gözlenmiştir. Oluşan oksit tabakalarının aşınma iz boyunca uzandıkları ve numunelerin aşınma davranışlarını etkilediklerini tespit edilmiştir.

6.KAYNAKLAR

- Ashby, F. and Jones, R.H. (1996). Engineering Materials, Butterworth / Heinemann, Oxford, 247-260.
- Barron, R.F. (1982). Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance, *Cryogenics*, **22**: 409-413.
- Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D., Nagarajan, D. (2005). Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment. *Cryogenics*, **45**: 747-54.
- Çakır, C. (1999). Modern Talaşlı İmalatın Esasları. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, Bursa, 35-42.
- Çiçek, A., Ekici,E., Uygur, İ., Akıncioğlu, S., Kıvak,T. (2012) AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Derin Kriyojenik İşlemin Takım Ömrü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, SDU *International Journal of Technological Science*, Vol. 4, No 1, June, 1-9.
- Darwin J. Mohan Lal D., G. Nagarajan, (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**: 241-247.
- Das D., Dutta A.K., Ray K.K. (2009) Inconsistent wear behaviour of cryotreated tool steels: role of mode and mechanism, *Materials Science and Technology*, **25** : 1249-1257.
- Düzgün, D. (2007). Makine Elemanları 1 Dizayn-Kontruksiyon. 420.
- Firouzdor, V., Nejati, E., Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of Materials*

Processing Technology, vol. **206**: 467–472.

Gill, S. S., Singh, R., Singh, H., Singh, J. (2009). Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **49**: 256–260.

Gunes, I. (2013). Wear Behaviour of Plasma Paste Boronized of AISI 8620 Steel with Borax and B₂O₃Paste Mixtures Original Research Article *Journal of Materials Science & Technology*, **29**: 662-668

Groover M.P. (1990), *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Hatman, A., Ülker, S. and Yurci, M.E., (2009) Yeni nesil %8 Cr'lu soğuk iş takım çeliğinin ısıtma işlem karakterizasyonunun aşınma davranışına etkisi, TMMOB 3th International Heat Treatment Symposium, 194-203,

Huang, J. Y., Zhu, Y. T., Liao, X. Z., Beyerlein, I. J., Bourke, M. A., Mitchell, T. E. (2003). Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel. *Mater. Sci. Eng., A* **339** (1–2): 241–244.

Hutchings, I. M. (1992). *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. Edward Arnold, London.

Holberg, K. and Matthews, A. (1994). *Coating Tribology*. Elsevier Science B.V., 45-74.

Kalin, M., Vizintin, J. (2006). Influence of deep-cryogenic treatment on wear resistance of vacuum heat-treated HSS. *Vacuum*, **80**:507–18.

Kalpakjian, S., Schmid, S. R. (2001). *Manufacturing Engineering and Technology*. fourth ed., Prentice Hall.

- Kamody, D.J. (1999). Cryogenics process update, *Adv. Mater. Process*, 67-69.
- Khan, A. A., Ahmed, M. I. (2008). Improving tool life using cryogenic cooling. *Journal of materials processing technology*, **196**: 149–154.
- Li, S., Xie, Y., Wu, X. (2010) Hardness and toughness investigations of deep cryogenic treated cold work die steel, *Cryogenics*, **50**: 89-92.
- Lipson, C. and Colwell, L.V. (1961). *Handbook of Mechanical Wear*. University of Michigan, Michigan.
- Melendez E., Compas I., Rocha E, Barron MA. (1997). “Structural and strength characterization of steels subjected to boriding thermochemical process,” *Mater Sci Eng* **900–3**: 234–236
- Mihmat, F. (2009). Farklı Çeliklerin Testere Freze Çakılarıyla İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 82.
- Mohan, Lal, D., Renganarayanam, S., Kalanidhi, A. (2001). Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels. *Cryogenics*, **41**: 149–55.
- Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G., Stiasny, K. H. (2001). Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels. *J Mater Process Tech.*, **118**: 5-350.
- Mu, D., Shen, B.L., Zhao, X. (2010). Effects of boronizing on mechanical and dry-sliding wear properties of CoCrMo alloy. *Mater. Des.* **31**: 3933-3936.
- Nordtest Nt Meche 038, (1997). Cutting fluids for drilling: evaluation by drill life test. Nordtest Method, Proj., 1242-95/2, ISSN 283-7196.

- Reddy, T. V. S., Ajaykumar, B. S., Reddy, M. V., Venkataram, R. (2007). Improvement of tool life of cryogenically treated P-30 tools. in: Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Composites (ICAMC-2007) at National Institute for Interdisciplinary Science and Technology, 457–460.
- Roberts, G., Krauss, G., Kennedy, R. (1998). Tool Steels: 5th Edition, 1-6.
- Seah, K. H. W., Rahman, M., Yong, K. H. (2003). Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts. Proc Inst Mech Eng Manuf., **217**:29–43.
- Simranpreet, G.S., Rupinder, S., Harpreet, S., Jagdev, S. (2009). Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions, International Journal of Machine Tools & Manufacture, **49**: 256-260.
- Suh, N.P. (1973). The Delamination Theory of Wear. Wear, 25: 111-124.
- Tetal K. (1989). Machining of Stainless Steels Handbook. 9th ed., ASM International, 681.
- Ulutan, M., Çelik, O.N., Gasan, H. and Er, U. (2010). Effect of different surface treatment methods on the friction and wear behavior of AISI 4140 steel. J. Mater. Sci. Technol., **26**: 251-257
- Uygur. I. (2006). Microstructure and wear properties of AISI 1038H stel weldments. Industrial Lubrication and Tribology, **58**: 303-311.
- Vadivel, K., Rudramoorthy, R. (2009). Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts. Int J Adv Manuf Technol., **42**:222–232.

Yang, H.-S., Jun, W., Shen, B.L., Liu, H.H., Gao, S.J. (2006). Huang, S.J. Effect of cryogenic treatment on the matrix structure and abrasion resistance of white cast iron subjected to destabilization treatment. *Wear*, **261**: 1150–1154.

Yong A. Y. L., Seah, K. H. W., Rahman, M. (2007). Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations. *Int J Adv Manuf Tech.*, **32**: 638–43.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MUSTAFA UZUN
Doğum Yeri ve Tarihi : ESKİŞEHİR 21.08.1986
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
İletişim (Telefon/e-posta) : mustafauzun1986@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Yunus Emre Endüstri Meslek Lisesi 2002
Lisans : AFYONKOCATEPE ÜNİVERSİTESİ 2011
Yüksek Lisans : AFYONKOCATEPE ÜNİVERSİTESİ 2014

Yayımları (SCI ve diğer)

Projeler :

“Kriyojenik İşlem Görmüş Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”
13.FEN.BİL.48 numaralı BAPK Projesi, 2013-2014