



AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Sığ Kriyojenik İşleminin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisi

Eşref KIZILKAYA¹, İsmail OVALI¹

¹Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Programı 20160 Kınıklı/DENİZLİ,

Öz

Bu çalışmada; AISI 4140 çeliğine farklı sürelerde sığ kriyojenik işlem uygulanmış ve ısıtma işlem parametrelerinin aşınma davranışları ve darbe dayanımları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kriyojenik işlemlerde 3 farklı bekletme süresi ve tek temperleme işlemi uygulanmıştır. Aşınma testleri üç farklı kuvvet altında (5 N, 10 N ve 15N) sabit kayma hızında (3.16 m/s) ve üç farklı kayma mesafesinde (95 m, 190 m, 285 m) gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, sığ kriyojenik işlem parametrelerinin AISI 4140 çeliğinin mekanik özelliklerini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Kriyojenik işlem ısıtma işleminde düşük bekletme sürelerinin başta aşınma olmak üzere birçok mekanik özellikler üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri, kriyojenik ısıtma işlem parametreleri kontrol edilerek optimize edilebileceği belirlenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 22/07/2017
Düzeltilme: 07/11/2017
Kabul: 20/11/2017

Anahtar Kelimeler

AISI 4140
Kriyojenik İşlem
Abratif Aşınma
Hacim Kaybı

The Effects of Shallow Cryogenic Process On The Mechanical Properties of AISI 4140 Steel

Abstract

In this study, shallow cryogenic treatments were carried out for various holding time to AISI 4140 steel and the effects of heat treatment parameters on wear behavior, impact strength and tensile strength were investigated. Three different holding times were used for cryogenic heat treatments. After the cryogenic process, single tempering was applied. In addition, the abrasion tests were carried out at three different forces (5N, 10N and 15N) at a constant slip speed (3.16 m / s) and at three different slip distances (95 m, 190 m, 285 m).

It has been determined that the shallow cryogenic process parameters significantly influence the mechanical properties of the AISI 4140 steel as a result of experimental studies., Low heat treatment times in cryogenic heat treatment have been found to have a positive effect on many mechanical properties, especially wear. The mechanical properties of the AISI 4140 steel can be optimized by controlling the shallow cryogenic heat treatment parameters.

Keywords

AISI 4140
Cryogenic Process
Abrasive Wear
Volume Loss

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde mekanik sistemler kullanım alanına göre aşırı yük ve yüksek hız gibi birçok ağır koşullar altında çalışmaktadır. Bu nedenle endüstriyel ve bilimsel çalışmalar, mevcut malzemelerden beklenen özellikleri sürekli iyileştirme ve geliştirme doğrultusunda ilerlemektedir [1]. Bu durumun bir sonucu olarak: son yıllarda metalik malzemelerin mikro yapıları, temel mekanik özellikleri ve kırılma karakteristiği arasındaki ilişkiler üzerine yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır [2].

AISI-4140 çeliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme ısıtma işlemi sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklilik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkân vermesi en önemli özelliğidir. Bu nedenlerden dolayı AISI-4140 çeliği yaygın bir kullanım alanına sahiptir [4, 5].

Kriyojenik işlem, genellikle yüksek aşınmaya maruz kalan malzemelerde aşınma direncini artırmak amacıyla uygulanan ısıl işlemlerin tamamlayıcı bir faaliyetidir. Kriyojenik işlem, sıfır altı işlem olarak da bilinmektedir. Bu yöntem ile geleneksel ısıl işlem uygulanmış malzeme içerisindeki kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi, ince karbür çökeltilerinin oluşumu ve homojen Fe-C dağılımı sağlamaktadır. Böylece malzemelerin sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler elde edilmektedir. Son yıllarda malzemelerin mekanik özelliklerini güçlendirmek için kriyojenik işlem yaygın olarak kullanılmaktadır. Kriyojenik işlemin, uzay araştırmalarından gıda nakliyesine kadar birçok alanda uygulamaları bulunmaktadır [6,7].

Gökhan H. ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada sıvı azotta bekletme ve geleneksel kriyojenik işlemlerin AISI 4140 ıslah çeliğine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada sıvı azotta bekletme işlemi -196°C 'de 24 saat ve kriyojenik işlemde ise -140°C 'de 24 saat olarak uygulanmıştır. Uygulanan kriyojenik işlem ile sonucunda sertlikten feragat etmeden tokluğun %32.83'lük oranla artışı gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem veya sıvı azotta bekletme işlemi uygulanan tüm numunelerin mikro yapısında, martenzit dağılımında iyileşme ve martenzit oranında artış gözlemlenmiştir [8].

Demir E. yaptığı bir çalışmada, farklı bekletme sürelerindeki kriyojenik işlemin AISI D2 çeliğinin kalıntı gerilmelerine, sertliğine ve mikro yapısına etkisi araştırmıştır. Aynı zamanda yüzey pürüzlülük cinsinden de inceleme yapmıştır. Yapılan çalışmada kriyojenik işlemde bekletme sürelerini 0.5, 4, 16 ve 24 saat değişkenlerinde gerçekleştirmiştir. Elde etmiş olduğu bulgular neticesinde klasik ısıl işlem ve diğer bekletme süreleri ile karşılaştırıldığında, en yüksek bekletme süresi olan 24 saat bekletme süresi, kalıntı gerilme, karbür dağılımı ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuçlar vermiştir [9].

Onur Y. yaptığı bir çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış DIN 1.2379 ve DIN 1.2080 soğuk iş takım çeliklerinin abrasif aşınma dirençleri araştırmıştır. Çalışmasında gerçekleştirmiş olduğu değişkenleri işlemsiz, su verme, su verme+kriyojenik işlem uygulanmış ve su verme+kriyojenik işlem uygulanmış+temperlenmiş olarak belirlemiştir. Kriyojenik işlem -140°C 'de 12 saat süreyle uygulanmış sonrasında gerçekleştirilen temperleme işlemi ise 200°C 'de 2 saat süreyle uygulamıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin abrasif aşınma direncinin uygulanan yüke ve kullanılan aşındırıcının boyutuna bağlı olduğunu belirlemiştir. Kriyojenik işlem, soğuk iş takım çeliklerinin sertlik ve aşınma direncini önemli ölçüde arttırdığı tespit etmiştir. Her iki malzeme türünde de en düşük aşınma kaybı, su verilmiş+kriyojenik işlem yapılmış numunede görülmüştür [10].

F. Arslan, kalıp üretiminde kullanılan Calmax® ve Vanadis 4 Extra® patentli soğuk iş takım çeliklerine sıfırlatma işlemi uygulamak suretiyle, mikroyapı ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Sıfırlatma işlemi -197°C 'de sıvı azot da 15 ve 60 dakikalık bekleme sürelerinde uygulamışlardır. Yapılan çalışmanın etkisini görmek amacıyla optik mikroskop ve SEM analizlerinin yanı sıra sertlik ve aşınma deneyleri de yapmışlardır. Bu durumun sonucunda kalıntı östenit miktarının azaldığı ve sertliğin ise arttığı gözlemlenmiştir [11].

Yapılan literatür taramalarında AISI 4140 çeliğine kriyojenik işlem uygulamaları gerçekleştirilmiş ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri olarak araştırılmıştır [7-10]. Ancak sığ kriyojenik işlemin AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışma sayısı çok sınırlıdır. Bu çalışmada, sığ kriyojenik işlemin AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışları, darbe dayanımları ve çekme dayanımları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

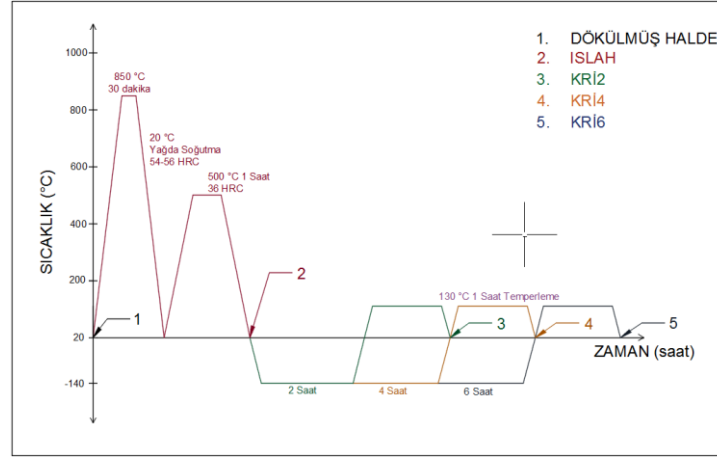
Deneylerde AISI 4140 (42CrMo4) çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: AISI 4140 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu (Ağırlıkça %)
(Chemical Composition (wt %))

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0.38 -0.45	0.15 -0.40	0.50 -0.80	0.035 max	0.035 max	0.90 -1.20	0.15 -0.30	-

Deneyel çalışmalarda AISI 4140 çeliğine ıslah ısıl işlemi (ISLAH), 2 saat kriyojenik işlem (KRİ2), 4 saat kriyojenik işlem (KRİ4) ve 6 saat kriyojenik işlem (KRİ6) uygulanmıştır. Isıl işlem deneyi Şekil 1’de verilmiştir. Bu uygulamalar sonucunda 5 farklı değişken üzerinde aşağıda belirtilen numune kodlamaları yapılmıştır.

1. Dökülmüş Halde numune
2. Islah numune
3. KRİ2 (ıslah sonrasında 2 saat kriyojenik işlem uygulanmış numune)
4. KRİ4 (ıslah sonrasında 4 saat kriyojenik işlem uygulanmış numune)
5. KRİ6 (ıslah sonrasında 6 saat kriyojenik işlem uygulanmış numune)



Şekil 1. Isıl işlem Deney Planı (Heat Treatments Guide)

Islah ısıl işlemi için öncelikle numuneler 850 °C’de 1 saat bekletilerek östenitleme işlemi yapılmıştır. Sonrasında oda sıcaklığında bulunan THERMISOL QH 2400 ısıl işlem yağı içerisinde hareketli soğutularak sertleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Sertleştirme sonrasında numuneler 500 °C’de 1 saat bekletilerek fırından çıkarılmış ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılarak temperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu işlemler sonrasında ıslah etme ısıl işlemi tamamlanmıştır.

Deneyel çalışmada, numunelere PLC kontrollü direkt soğutma metodu ile çalışan bir sistemde kriyojenik işlem uygulanmıştır. Numunelerin sıcaklığı oda sıcaklığından ortalama 2 °C/dk hızla oda sıcaklığından -140 °C’ye indirilmiştir. Bu sıcaklık sonrasında 3,4 ve 5 numunelerine ait bekleme sürelerinde bekletildikten sonra yine ortalama 2 °C/dk hızla oda sıcaklığına çıkması sağlanmıştır. Temperleme işlemi 130 °C’de 1 saat bekletilerek istenmeyen durumların giderilmesi sağlanmıştır.

Darbe deneyinde kullanılacak olan numuneler 16 mm çapındaki bir malzemeden üretilmiştir. Darbe testi numuneleri TS EN 10045-1/1999 standardına göre hazırlanmıştır. Charpy darbe testi yöntemi kullanılmıştır. Aynı grup numunelerden en az 3 adet numune deneye tabi tutulmuş ve deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Deneylerde kullanılan darbe test cihazı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Darbe Deneyi Test Düzenegi (Impact Test Set-up)

Sertlik ölçüm için numuneler Rockwell-C sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak ölçüme tabi tutulmuştur. Aynı grup numunelerden en az 3 adet numune deneye tabi tutulmuş ve deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Sertlik deneyi laboratuvarında Meba MHT-150 sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. 120° konik elmas uç yardımıyla yapılan deneyde 150 kg yük uygulanmıştır.

Deneyler ASTM G99-05 'e göre tasarlanmış pin on disk abrasif aşınma cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan aşınma test cihazı Şekil 3'de verilmiştir. Test öncesi tüm numunelerin aşındırılacak yüzeyleri 220 mesh SiC zımpara ile zımparalanarak aynı yüzey kalitesi elde edilmiştir. Aşınma testleri 5, 10 ve 15 N yük altında ve 3.16 m/s hızda gerçekleştirilmiştir. Abresive aşındırıcı olarak 220 mesh Al₂O₃ aşındırıcı disk kullanılmıştır. Deneyler 95m, 190m ve 285m, kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiştir.

Numuneler aşındırıcı disk yüzeyine dik hareket ettirilmiş ve sürekli olarak kullanılmamış yeni bir aşındırıcı yüzeyine temas sağlanmıştır. Böylece numunelerin her deneyde yeni bir aşınma yüzeyine teması sağlanmıştır. Numunelerin ağırlık kayıpları ± 0.001 g hassasiyette elektronik terazide ölçülmüştür. Ayrıca sürtünme katsayısını belirlemek amacıyla cihaza monte edilmiş yük sensörü ile sürtünme kuvvetleri ölçülerek sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Aşınma test öncesi ve sonrasında numuneler etil alkol ile temizlenip kurutulmuştur. Abrasif aşınma deneyi Pin-On-Disk aşındırma cihazında yapılmış, ağırlık ve yoğunluklar ise RADWAG elektronik terazi cihazında ölçülmüştür



Şekil 3. Pin-On Disk Aşınma Test Cihazı (Pin-On Disc Setup)

Aşınma sonucu elde edilen veriler formül 1, 2, 3'de yerlerine koyularak sürtünme katsayısı, hacim kaybı ve aşınma oranı verileri elde edilmiştir.

Sürtünme Katsayısı;

$$\mu = \left(\frac{F}{P} \right) \quad 2.1$$

burada F yük hücresi (load cell) tarafından ölçülen sürtünme kuvveti ve P numunelere uygulanan normal yüküdür [11].

Hacim kaybı, ağırlık kaybından yararlanılarak aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır [11].

$$\text{Hacim Kaybı (mm}^3\text{)} = \left(\frac{\text{Ağırlık Kaybı (g)}}{\text{Yoğunluk (g/mm}^3\text{)}} \right) \times 1000 \quad 2.2$$

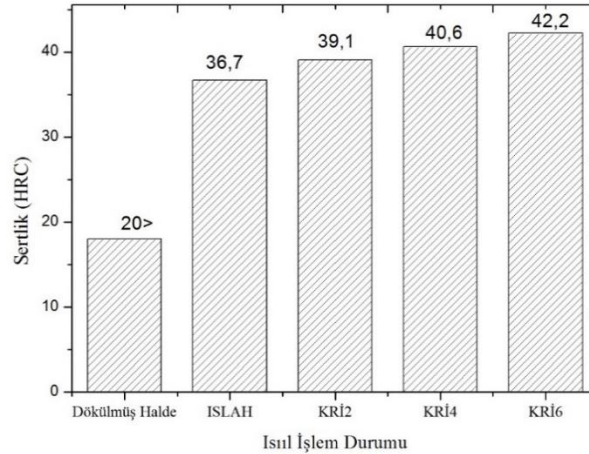
Aşınma deneyleri her numune için üç defa ölçüm gerçekleştirildi. Aşınma oranı aşağıdaki denklemden hesaplanır [11].

$$\text{Aşınma Oranı (mm}^3\text{/m)} = \left(\frac{\text{Hacim Kaybı (mm}^3\text{)}}{\text{Kayma Mesafesi (m)}} \right) \times 1000 \quad 2.3$$

3.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

3.1 Sığ Kriyojenik İşlemin Sertlik Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Shallow Cryogenic Process on the Hardness)

AISI 4140 çeliğinin kriyojenik işlem sonucu sertlik üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, her numune grubuna ait üç numune üzerinden üçer farklı sertlik değeri elde edilmiş ve bu verilerin ortalaması alınarak sertlik değeri belirlenmiştir.

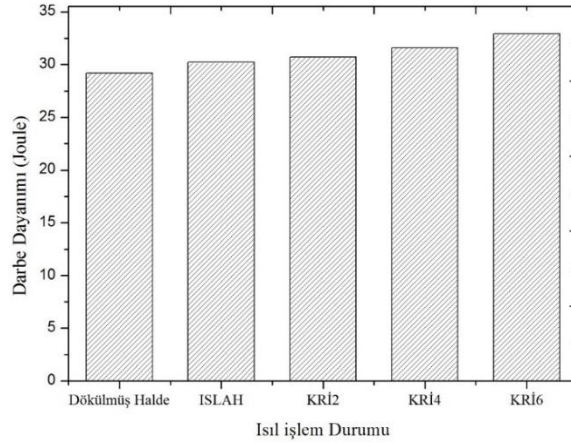


Şekil 4. Sığ Kriyojenik İşlem Bekletme Süresinin AISI 4140 Çeliğinin Sertliği Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Shallow Cryogenic Holding Time on the Hardness of AISI 4140 Steel)

Şekil 3'ten açıkça görüleceği üzere AISI 4140 çeliğinin sertliğinde yüksek oranda artış olduğu görülmektedir. Islah işlemi sonrasında çeliğin içerisinde bulunan kalıntı östenit miktarını gidermek amacıyla uygulanan kriyojenik işleminde sertlik üzerinde etkisinin olduğu açıkça anlaşılmaktadır[12]. Kriyojenik işlemin bekleme süresinin artmasıyla doğru orantılı olarak sertlikte artışta gerçekleşmiştir. Literatür çalışmaları Kriyojenik işlemin alüminyum alaşımlarında da benzer bir etki yaptığını göstermektedir[13-14].

3.2 Sığ Kriyojenik İşlemin Darbe Dayanımı Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Shallow Cryogenic Process on the Impact Toughness)

Islah ısıtma işlemi sonrasında, kriyojenik işlem uygulanan AISI 4140 çeliğinin darbe dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Darbe testi sonrasında elde edilen darbe enerjileri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Sığ Kriyojenik İşlem Bekleme Süresinin AISI 4140 Çeliğinin Darbe Enerjisi Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Shallow Cryogenic Holding Time on the Impact Toughness of AISI 4140 Steel)

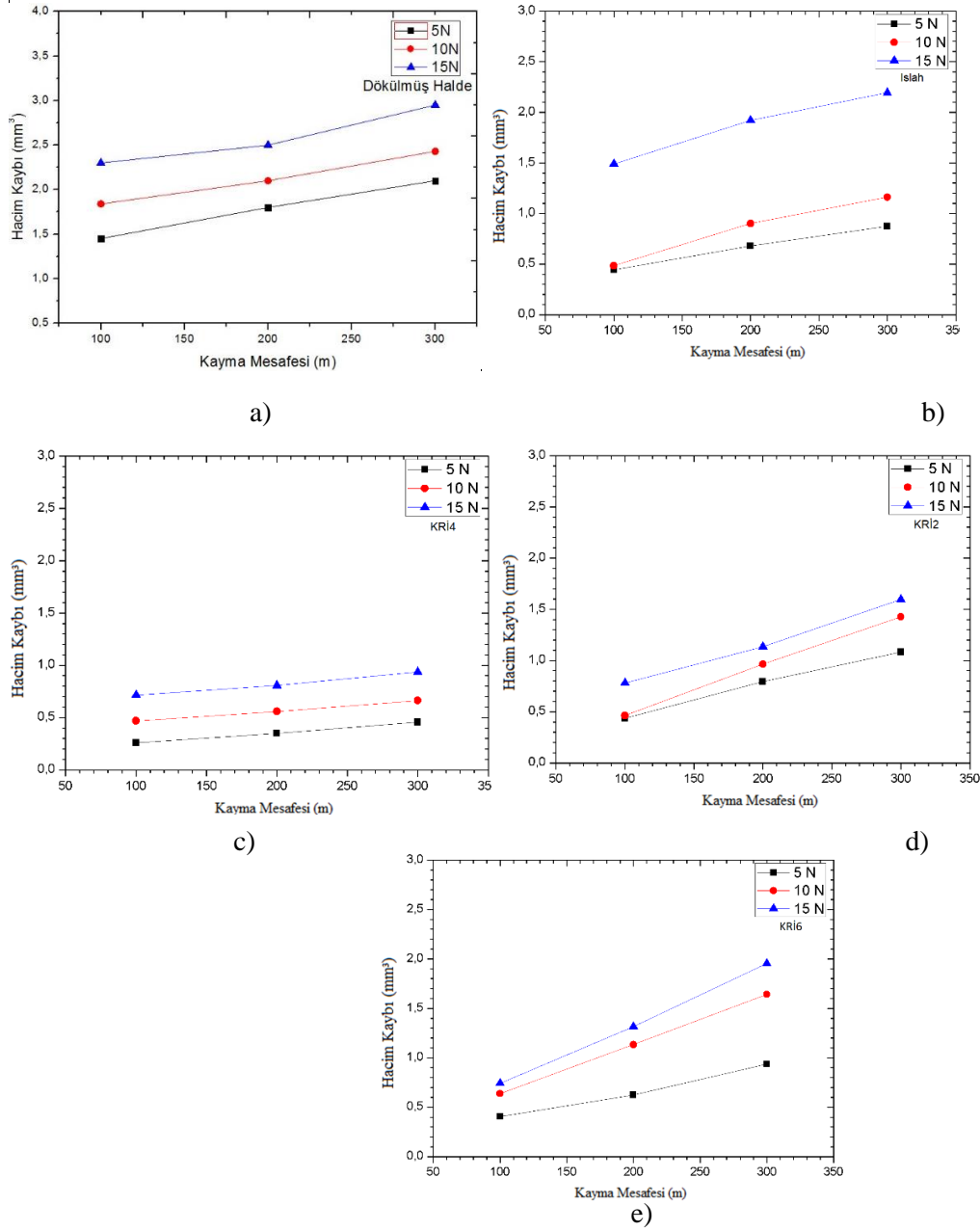
Şekil 4’de sığ kriyojenik işlemin AISI 4140 çeliğinin darbe enerjisi üzerindeki etkisi görülmektedir. Sığ kriyojenik işlemin (kısa bekleme süreli) bekleme süresine orantılı olarak darbe enerjilerinin de yükseldiği açıkça görülmektedir. Islah ısıtma işleminde temperleme sıcaklığını yüksek (500 °C) tutulmasının en büyük etkisi sertlik ve darbe enerjileri üzerinde görülmektedir. Islah işlemindeki temperleme sıcaklığı ve kriyojenik işlemin bekleme sürelerinde değişiklik yapılarak malzemenin darbe dayanımlarının optimize edilebileceği görülmektedir.

3.3 Sığ Kriyojenik İşlemin Abrasif Aşınma özellikleri Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Shallow Cryogenic Process on the Abrasive Wear Properties)

DeneySEL çalışmalar sonrasında kriyojenik işlemin AISI 4140 çeliğine abrasif aşınma direnci üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aşınma davranışı hacim kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı açısından değerlendirilmiştir.

3.3.1 Sığ Kriyojenik İşlem Bekleme Süresinin Hacim Kaybı Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Holding Time of Shallow Cryogenic Process on the Volume Loss)

Şekil 6’da AISI 4140 çeliğine ait olan farklı yüklemelerde (5N,10N ve 15N) ve farklı kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiş olan abrasif aşınma deney sonucunda hacim kaybı grafikleri verilmiştir.



Şekil 6. Sığ Kriyojenik İşlem Bekletme Süresinin AISI 4140 Çeliğinin Hacim Kaybı Üzerindeki Etkisi a) Dökülmüş Halde, b) ISLAH, c) KRİ2, d) KRİ4, e) KRİ6 (The Effects of the Shallow Cryogenic Holding Time on The Volume Loss of AISI 4140 Steel. a) As-Cast, b) ISLAH, c) KRİ2, d) KRİ4, e) KRİ6)

Şekil 5'den aşınma kuvvetinin artmasıyla hacim kaybında da doğrusal olarak bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Aynı şekilde kayma mesafesinin de artmasıyla numune meydana gelen hacim kaybı oranı da artmaktadır.

Dökülmüş koşullardaki malzeme numunenin aşındırılmasında meydana gelen hacim kaybı, ısıl işlem uygulanmış numunelerine oranla olabildiğince yüksek olduğu belirgin olarak görülmektedir. Uygulanan kuvvetin ve mesafenin artmasıyla ham numune meydana gelen hacim kaybı lineer bir doğrultu oluşturmaktadır. Bunun sebebi ise dökülmüş koşullardaki numunenin yeteri oranda sertlik değerinde olmamasından dolayı homojen bir aşınma meydana getirildiği saptanmıştır. Ancak ısıl işlem uygulanmış numunelerde aşınma esnasında meydana gelen yapışma ve kopma işlemlerinin değişkenlik göstermesinden dolayı hacim kayıplarında belirsiz sapmalar meydana gelmektedir.

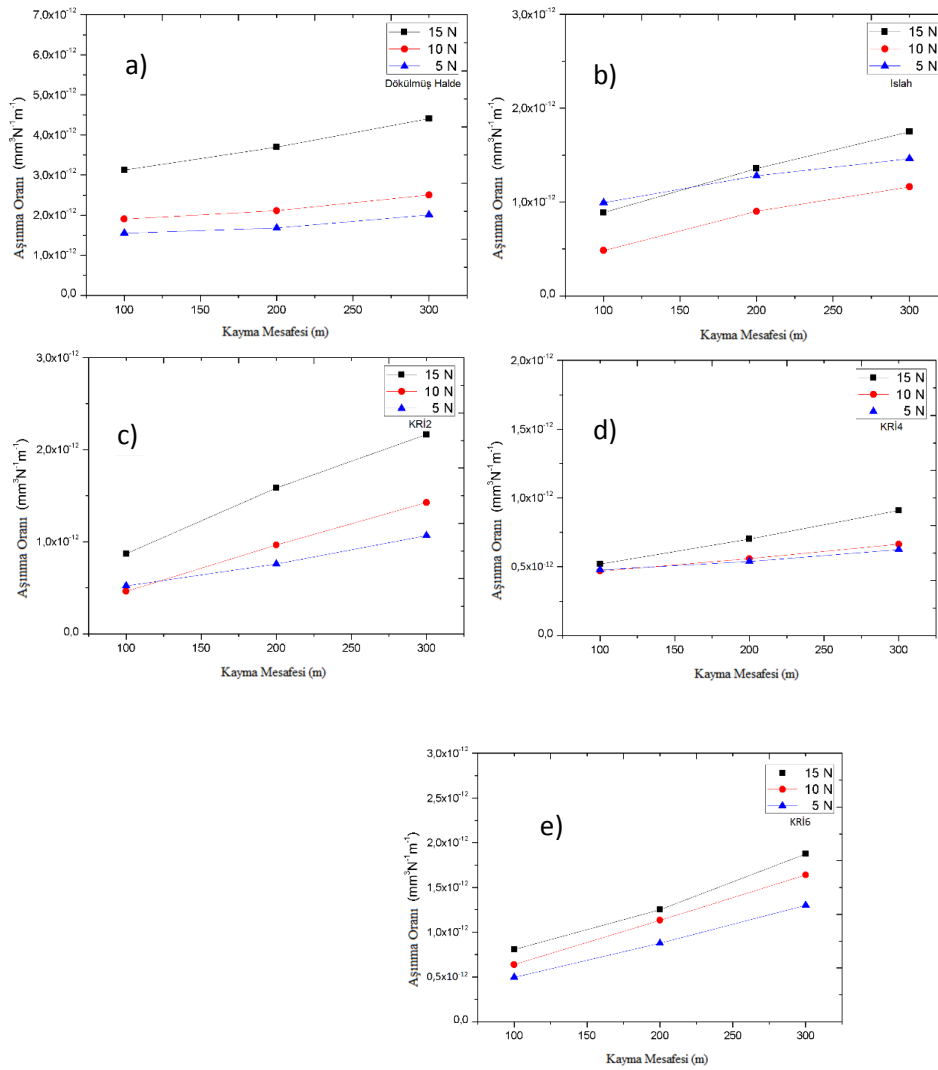
İslah ısıtma işlemi uygulanmış numunenin dökülmüş koşullardaki numuneye göre daha düşük miktarda hacim kaybı gerçekleştirdiği görülmektedir. Aynı şekilde kriyojenik işlemin uygulanmasıyla hacim kaybında azalma meydana gelmiş ve kriyojenik işlemde bekleme süresinin artmasıyla hacim kaybı oranları giderek azaldığı gözlemlenmiştir.

Sertlik deneylerinde ısıtma işlemi yapılması ve kriyojenik işlemin bekleme sürelerinin artmasıyla sertlikte de artış görülmektedir. Aşınma deneyinin sonucu olarak da kriyojenik işlemin uygulanmasıyla (sertliği artmasıyla) hacim kaybı oranında azalma meydana gelmektedir.

3.3.2 Sığ Kriyojenik İşlem Bekleme Süresinin Aşınma Oranı Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Holding Time of Shallow Cryogenic Process on the Wear Rate)

AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışlarını doğru bir şekilde karakterize edebilmek için hacim kaybı verileri yeterli olmamaktadır. Aşınma davranışlarını daha detaylı bir şekilde yorumlayabilmek amacıyla aşınma oranı ve sürtünme katsayısı verilerinin de incelenmesi gerekmektedir.

Şekil 7’de AISI 4140 çeliğine ait olan farklı yüklemelerde (5N, 10N ve 15N) ve farklı kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiş aşınma oranı grafikleri verilmiştir



Şekil 7. Sığ Kriyojenik İşlem Bekleme Süresinin AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Oranı Üzerindeki Etkisi a) Dökülmüş Halde, b) ISLAH, c) KRİ2, d) KRİ4, e) KRİ6 (The Effects of the Shallow Cryogenic Holding Time on the Wear Rate of AISI 4140 Steel. a) As-Cast, b) ISLAH, c) KRİ2, d) KRİ4, e) KRİ6)

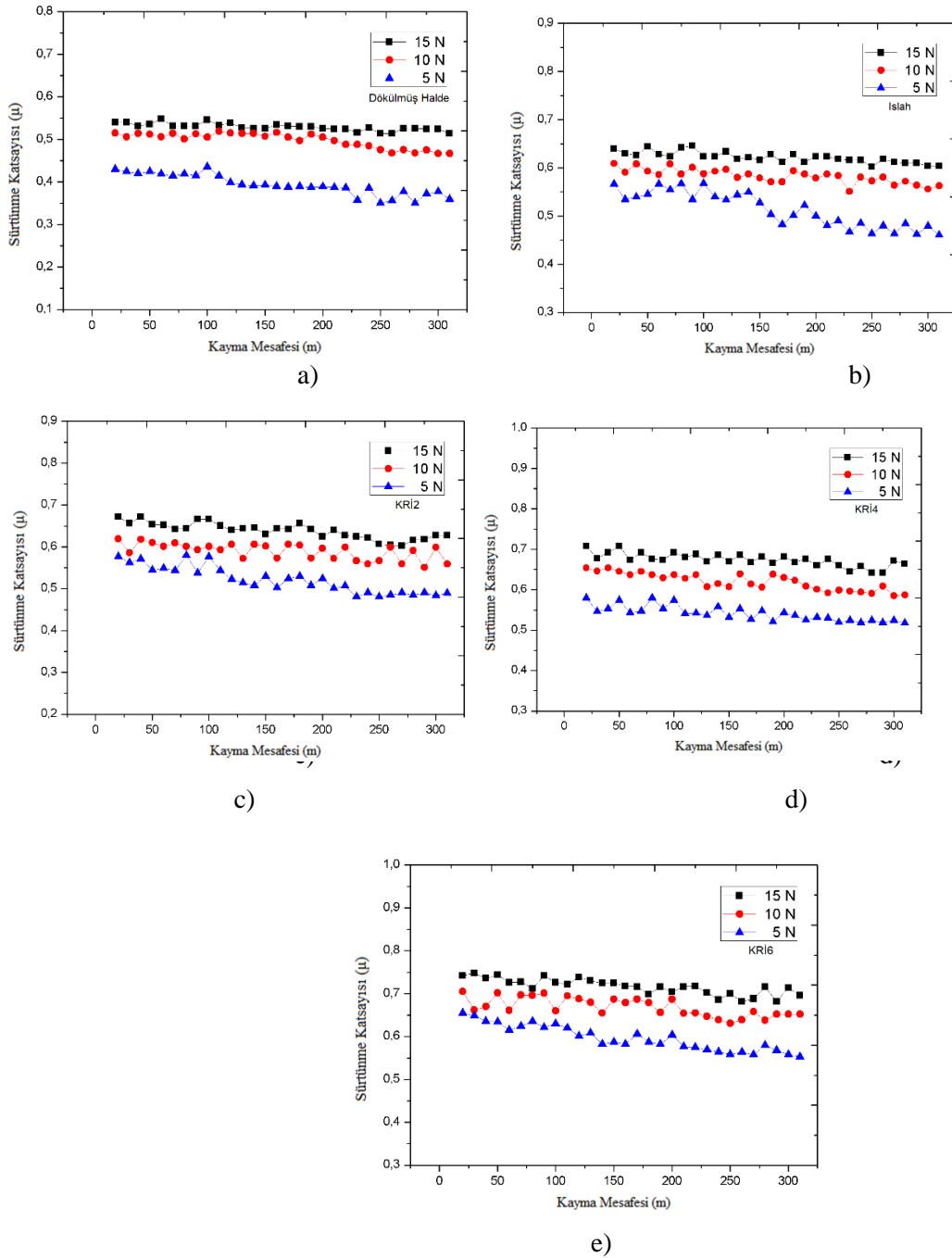
Şekil 7'den de anlaşılacağı gibi numunenin üzerine uygulanan kuvvetin artmasıyla aşınma oranında da doğrusal olarak bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Aynı şekilde kayma mesafesinin de artmasıyla numunede meydana gelen aşınma oranı da artmaktadır. Ancak ıslah ısıl işlemi uygulanmış numunede elde edilen bulgular. Diğer değişkenlerle farklı bir yol izlemektedir. Abrasif aşındırma deneyleri esnasında kullanılan ISLAH kodlu numunenin, aşındırıcı olarak kullanılan zımpara yüzeyine bütün yüzeyinin temas etmemesi sonucu farklılık göstermektedir.

Şekil 7'den açıkça görülmektedir ki dökülmüş koşullardaki numunenin aşınma oranı ısıl işlem görmüş numunelere oranla daha fazla bir aşınma meydana gelmiştir. Islah işleminin uygulanmasıyla birlikte dökülmüş koşullardaki meydana gelen aşınma oranını ile karşılaştırıldığında önemli bir düşüş meydana gelmektedir. 2 saat uygulanan kriyojenik işlemin bu aşamada fazla bir etken oluşturmadığı açıkça görülmektedir ancak kriyojenik işlemde bekleme süresinin artmasıyla doğrusal bir şekilde aşınma oranında da düşüş meydana gelmiştir.

Yapılan ıslah işlemi ve sonrasındaki kriyojenik işlemin bekleme sürelerinin artmasıyla (2 saat, 4 saat ve 6 saat) aşınma oranlarında da azalma meydana geldiği görülmektedir.

3.3.3 Sığ Kriyojenik İşlem Bekleme Süresinin Sürtünme Katsayısı Üzerindeki Etkisi (The Effects of the Holding Time of Shallow Cryogenic Process on the Friction Coefficient)

Abrasif aşınma davranışlarının daha detaylı karakterisasyon için numuneleri sürtünme katsayısı açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Sürtünme katsayısını aşınma kuvveti ile ilişkilendirilebilir. Malzeme yüzeyinden parçacık koparma işleminin kolaylaşması sonucunda sürtünme katsayısı azalmaktadır. Uygulanan kuvvetin artması durumunda daha kolay parçacık kopması görülmektedir. Şekil 8'de AISI 4140 çeliğine ait olan farklı yüklemelerde (5N, 10N ve 15N) ve farklı kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiş olan sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 8. Sığ Kriyojenik İşlem Bekletme Süresinin AISI 4140 Çeliğinin Sürtünme Katsayısı Üzerindeki Etkisi a) Dökülmüş Halde, b) ISLAH, c) KRİ2, d) KRİ4, e) KRİ6 (The Effects of the Shallow Cryogenic Holding time on the wear coefficient of AISI 4140 Steel. a) As-Cast, b) ISLAH, c) KRİ2, d) KRİ4, e) KRİ6)

Şekil 8.'de görüldüğü gibi malzemeye uygulanan kuvvet arttıkça sürtünme katsayısı azalma meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise malzemeye uygulanan kuvvet ne kadar fazla olursa aşınmaya karşı göstermiş olacağı direnç daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda kayma mesafesi arttıkça sürtünme katsayısında giderek azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmanın sebebi aşındırıcı olarak kullanılan zımparanın kayma mesafesinin artmasıyla aşındırma özelliğinin yitirmesinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak grafiklere baktığımızda dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanmalar aşınma esnasında kaynama ve kopmadan kaynaklanan değişimlerden dolayı malzemeye etkileyen kuvvetin değişkenlik göstermesinden dolayı kaynaklanmaktadır.

Değişkenleri kendi arasında değerlendirildiğinde dökülmüş koşullardaki numunenin sürtünme katsayısı en yüksektir. Islah ısıl işleminin yapılması ve sonrasında kriyojenik işlemin bekleme süresinin artmasıyla

(2 saat, 4 saat ve 6 saat) sürtünme katsayısında doğrusal bir azalma gözlemlenmektedir. Ham numune aşınma sırasında sertliğinin düşük olmasından dolayı sürtünmeye karşı bir direnç göstermeden aşınmaya maruz kaldığı için sürtünme katsayısı düşmüştür. İslah ısıtma işleminin yapılması ve kriyojenik işlemde bekleme sürelerinin artmasıyla birlikte sertlikte artış olduğu bilinmektedir. Bu sebeple sertliğin artmasıyla malzemenin aşınmaya karşı bir direnç göstermesi beklenmektedir. Hacim kaybındaki değişiklikleri incelediğimizde; hacim kaybının en az olduğu numune ısıtma işlemi sonrasında 6 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede gerçekleşmiştir. 6 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede aşınma miktarının düşük olmasından dolayı, sürtünme katsayısı düşmüştür.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada AISI 4140 çeliğine uygulanan ısıtma kriyojenik ısıtma işleminin mekanik özellikler üzerindeki etkisi; sertlik, darbe enerjisi, çekme ve akma dayanımları ve abrasif aşınma kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- AISI 4140 çeliğine ısıtma işleminin, 500 °C temperleme yapılmasıyla birlikte tokluğunda düşüş sağlamadan sertliğinde yüksek oranda artış gerçekleştiği belirlenmiştir.
- Kriyojenik işlem uygulamasında bekleme sürelerinin artmasıyla birlikte sertliğinde de doğru orantılı olarak artış gözlemlenmiştir.
- Kriyojenik işlem uygulamasında bekleme süresinin artmasıyla birlikte darbe dayanımlarında az miktarda da olsa artış meydana gelmiştir.
- Aşınma deneyinde hacim kaybı oranı en yüksek 15 N yük altında işlem görmemiş numunede en az ise 5 N yük etkisinde 6 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede gerçekleşmiştir.
- Aşınma oranı miktarlarında en düşük aşınma oranı 6 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede elde edilmiştir.
- *Sürtünme katsayısının maksimum olduğu durum 5 N kuvvet etkisindeki 6 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede gerçekleşmiştir.*

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ş. Ekinci, A. Akdemir, Nitrürlenmiş AISI 4140 çeliğine uygulanan yükün aşınma hızına etkisi, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya, (2011).
- [2] S. Ulu, H. Aytekin, G. Said, , 4 Farklı çeliğin bazı mekanik özelliklerine Fe-Fe₃C faz diyagramında A1-A3 arasında yapılan ısıtma işlemlerinin etkisi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2006).
- [3] MKE Kurumu Genel Müdürlüğü, 1454 sayı, 8 Nisan Tarihli yazı, (1993).
- [4] S.H. Avner, Introduction to Physical Metallurgy, McGraw Hill Book Company, 2.ed., New York, (1986),315-336.
- [5] S. Choo, S. Lee, M.G. Golkovski, Effects of accelerated electron beam irradiation on surface hardening and fatigue properties in an Ç-4140 steel used for automotive crankshaft, Materials Science and Engineering A, 293 (2000), 56–70.
- [6] M. M. Sundaram, Y. Yakup, K. P. Rajurkar. Experimental study of the effect of cryogenic treatment on the performance of electro discharge machining. ASME 2009 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 2 West Lafayette, Indiana, USA, October 4–7,(2009).
- [7] Y. Yildiz, M. M. Sundaram, K. P. Rajurkar, The effects of cold and cryogenic treatments on the machinability of beryllium-copper alloy in electro discharge machining. 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Madison, Wisconsin, 1-3 June, (2011).

- [8] G. Höke, İ.Şahin, Ç.Henifi, T. Fındık, Kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğinin mekanik özellikler üzerine etkisi, Selçuk Teknik Dergisi, Cilt 13:2 (2014), 25-37.
- [9] E. Demir, Investigation of the effects of holding times at cryogenic temperatures on residual stress distribution of AISI D2 tool steel, Yıldırım Beyazıt University, Graduate school of natural and applied sciences, Ankara, (2014).
- [10] O. Ymanoğlu, Soğuk iş takımlarının aşınma direnci üzerinde kriyojenik işlemin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2015).
- [11] F.K. Arslan, Soğuk iş takım çeliklerinde sıfırlama işlem derecesinin mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 3:4 (2010), 41-53.
- [12] P. Baldissera, C. Delprete, Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel, Materials & Design, 30: (2009),1435–1440.
- [13] A. Taskesen, S. Aksoz, A. T. Ozdemir, The effect of cryogenic treatment on ageing behaviour of B₄C reinforced 7075 aluminium composites Kovove Mater. 55 (2017), 57–67.
- [14] S.Aksöz, A. T. Özdemir, R. Çalin, Z. Altinok, B. Bostan, Sinterleme, Yaşlandırma Ve Kriyojenik Isıl İşlemlerinin AA2014-B₄c Kompozit Yapısına ve Mekanik Özelliklerine Etkileri, 28:4 (2013)831-839.