MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK DÖVME SÜREÇLERİNDE FARKLI MAÇA MALZEMELERİ VE FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİNİN MAÇALARIN PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HAKAN COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK DÖVME SÜREÇLERİNDE FARKLI MAÇA MALZEMELERİ VE FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİNİN MAÇALARIN PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HAKAN COŞKUN

(523218018)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başlamam hususunda beni teşvik eden ve eğitimim süresince her zaman imkan sağlayan Sayın Ahmet TORUN ve Sayın Kemal SALAMCI'ya en içten dileklerimle teşekkür ediyorum.

Lisansüstü eğitimim boyunca mesleki ve akademik gelişimim için tecrübelerinden yararlanma imkânı sunan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Yusuf KAYNAK Hocam'a çok teşekkür ediyorum.

Torun Bakır A.Ş.'de her konuda yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Ar-Ge Merkezinden Mak. Müh. Emre TAŞCIOĞLU, Mak. Müh. Gökhan ATAY ve Mak. Müh. Ali Özkan KESKİN'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başlamam hususunda beni teşvik eden ve eğitimim süresince her zaman desteklerini hissettiren eşime en içten dileklerimle teşekkür ediyorum.

Ağustos, 2021 **Hakan COŞKUN**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iii
ABSTRACT iv
SEMBOLLER v
KISALTMALAR vi
ŞEKİL LİSTESİ vii
1. GİRİŞ 11
2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DÜZENEKLER 15
2.1 Malzeme ve Özellikleri 15
2.2 Test ve Analizler 15
3. B ULGULAR VE TARTIŞMA 24
3.1 Maça Malzeme Numunelerinin Mikroyapısal Karakterizasyonlarının ve Aşınma Analizlerinin Yapılması 24
3.2 Maça Malzeme Numunelerinin Isıl İşlem Sonrası Aşınma ve Mikroyapı Analizleri 28
3.2.1 Aşınma analizleri 28
3.2.2 Mikroyapı Analizleri 40
3.3 Charpy ve Sertlik Analizleri 42
3.4 Maçaların imal edilmesi, yüzey sertleştirme işleminin uygulanması (nitrokarbürizasyon) ve karakterizasyonu 62
3.5 Yüzeyi sertleştirilmiş maçaların metalografik, mikrosertlik, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma ölçümleri 63
3.5.1 Mikroyapı Analizi 63
3.5.2 Mikrosertlik Analizi 65
3.5.3 Yüzey Pürüzlülüğü Analizi 66
3.5.4 Aşınma Analizleri 66
4. SONUÇLAR 71

ÖZET

SICAK DÖVME SÜREÇLERİNDE FARKLI MAÇA MALZEMELERİ VE FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİNİN MAÇALARIN PERFORMANSLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Sıcak dövme süreci imalat endüstrisinde çok yoğun olarak kullanılan imalat yöntemlerinden biridir. Dövme sürecinde metalik malzemelerin rahat şekilde plastik deformasyona uğramaları ve kolay şekillenmeleri için metalik malzemeler yeniden kristallenme sıcaklıklarının üzerinde bir sıcaklıkta ısıtılarak şekillendirilmektedir. Dövme esnasında ise özellikle delik vb geometrilerin şekillendirilmeleri için de dövme sürecinde maça denilen takımlar kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık altında malzemeye nüfuz eden bu takımlar sıcaklık farklılıkları sonucu oluşan termal ve dövülen parçalara nüfuz etmelerinden dolayı da mekanik gerilmelere maruz kalmaktadır. Dolayısı ile maça malzemeleri ve bu malzemelerin yüzey özelliklerinin doğru belirlenmesi önemli bir mühendislik sorunu olup, bilimsel temelli yaklaşımlarla araştırılması önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında pirinç malzemelerin otomatik ve friksiyon preslerle sıcak dövülme sürecinde kullanılan ve sıcak iş takım çeliklerinden imal edilen maçalara uygulanacak yüzey işlemlerin ve maça için malzeme seçiminin maçanın performansına etkisi incelenecektir. Yapılacak çalışmada maça malzemeleri olarak Dievar ve DIN 1.2367 malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemeler ısıl işlem ve kriyojenik ısıl işleme tabi tutulmuştur. Farklı sertliklerde aşınma ve kırılma özellikleri incelenmiştir. Ayrıca yüzey işlemleri olarak ise nitrokarbürizasyon ve bu operasyonun süresi değişken olarak alınarak çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak dövme, Maça Malzemesi, Yüzey Sertleştirme, Aşınma Direnci

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF VARIOUS MATERIALS AND SURFACE TREATMENTS ON THE PUNCH PERFORMANCE IN HOT FORGING PROCESS

Hot forging process is one of the most commonly used manufacturing methods in the manufacturing industry. Metallic materials are formed by heating at a temperature above the recrystallization temperatures so that the metallic materials are easily deformed and shaped easily during the forging process. During the forging, especially for shaping the geometry of holes, punch tools are used in the forging process. These tools that penetrate the material under high temperature are subjected to mechanical stresses as they penetrate the thermal and forged parts formed as a result of temperature differences. Therefore, accurate determination of the materials and surface properties of these materials is an important engineering problem and it is important to investigate them with scientific based approaches.

In this thesis, the effect of surface treatment on punch performance of hot work tool steels used in hot forging process of eccentric presses of brass materials will be examined. In the study, Dievar and DIN 1.2367 materials is used as punch materials. Also, the effect oıf heat treatment including cryogenic treratment on wear and charpy impact test is investigated. In addition, nitrocarburization as surface treatments and the variable duration of this operation are investigated.

Keywords: Hot forging, Punch Material, Surface Hardening, Wear Resistance

SEMBOLLER

g : Gram

sn : Saniye

mm : milimetre

m/s : Metre/saniye

N : Newton

Ra : Yüzey pürüzlülüğü

T :Sıcaklık (ºC)

C :Karbon

Mo :Molibden

Cr :Krom

Ni :Nikel

HRC :Rockwell sertliği

HV :Vickers sertliği

KISALTMALAR

ASTM : Uluslararası Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu

DIN : Alman Standardizasyon Enstitüsü

HV : Vicker sertlik ölçücü

HMK : Hacim Merkezli Kübik

LN_2 : Sıvı azot (Liquid Nitrogen)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Otomatik preste (a) ve Friksiyon preste (b) kullanılan maça örneği..... 12

Şekil 1.2. Şekil 1.1.(a)'da sunulan maça hasarı sonucu dövülen parçada meydana gelen hasar. 12

Şekil 1.3. Otomatik preste kullanılan maçalarında meydana gelen hasar ve çatlak ilerleme mekanizmaları. 13

Şekil 1.4. Frisksiyon maçalarında meydana gelen hasar mekanizmaları..... 14

Şekil 2.1. Isı modüllü pin on disk aşınma test cihazı. 15

Şekil 2.2. Çentik darbe cihazı(a), cihaz elektronik panel görüntüsü(b)..... 16

Şekil 2.3. Mikrosertlik cihazı görüntüsü. 16

Şekil 2.4. Dijital optik mikroskop düzeneği. 16

Şekil 2.5. Zımparalama ve bakalite alma cihazı. 17

Şekil 2.6. Üretilen çentik darbe test numunesi (a) ve Standart ölçüleri (b). 19

Şekil 2.7. Pin on disk aşınma test numunesi. 20

Şekil 2.8. İşlem görmemiş haldeki 3 farklı sıcak iş takım çeliğine ait mikroyapı görüntüleri. 20

Şekil 2.9. Tutucunun ısı modülüne yerleştirilmesi ve iş parçasının tutucuya sabitlenmesi. 21

Şekil 2.10. Isı modülünün çalıştırılıp termokupl yardımı ile sıcaklığın kontrol edilmesi. 22

Şekil 2.11. Çentik darbe deney düzeneği..... 23

Şekil 3.1. Oda sıcaklığında farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma izi görüntüleri. 24

Şekil 3.2. Oda sıcaklığındaki farklı çelik malzemelerde oluşan aşınma genişlikleri. 25

Şekil 3.3. Oda sıcaklığında farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma topografi görüntüleri. 25

Şekil 3.4. 150 °C sıcaklıkta farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma testi sonucu oluşan aşınma izi görüntüleri..... 26

Şekil 3.5. 150 °C sıcaklıkta farklı çelik malzemelerde oluşan aşınma genişlikleri..... 27

Şekil 3.6. 150 °C sıcaklıkta farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma topografi görüntüleri. 27

Şekil 3.7. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izi görüntüleri..... 28

Şekil 3.8. 1.2367 malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izi genişlikleri. 29

Şekil 3.9. DIEVAR malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izi genişlikleri. 30

Şekil 3.10. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası oda sıcaklığı koşullarında meydana gelen aşınma izi değerleri. 30

Şekil 3.11. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası oda sıcaklığı koşullarında meydana gelen aşınma izi değerleri. 31

Şekil 3.12. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izlerini üç boyutlu görüntüleri. 31

Şekil 3.13. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi görüntüleri. 32

Şekil 3.14. 1.2367 malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri. 33

Şekil 3.15. DIEVAR malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri. 33

Şekil 3.16. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası 150 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri. 34

Şekil 3.17. Farklı malzemelerin kriyojenik ısıl işlem sonrası 150 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri. 35

Şekil 3.18. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 150 °C oluşan aşınma izlerinin üç boyutlu görüntüleri. 35

Şekil 3.19. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 300 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi görüntüleri. 36

Şekil 3.20. 1.2367 malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri. 37

Şekil 3.21. DIEVAR malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 300 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri. 37

Şekil 3.22. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri. 38

Şekil 3.23. Farklı malzemelerin kriyojenik ısıl işlem sonrası 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri. 38

Şekil 3.24. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 300 °C oluşan aşınma izlerinin üç boyutlu görüntüleri. 39

Şekil 3.25. Farklı ısıl işlem prosedürleri uygulanmış malzemelerin mikro yapı görüntüleri. 41

Şekil 3.26. DIN 1.2367 malzemesine ait oda sıcaklığındaki darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi. 42

Şekil 3.27. DIEVAR malzemesine ait oda sıcaklığındaki darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi. 43

Şekil 3.28. Oda sıcaklığında yapılan çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi görüntüleri. 44

Şekil 3.29. DIN 1.2367 malzemesine ait oda sıcaklığındaki kayma kırılma yüzdesi ve sertlik ilişkisi. 46

Şekil 3.30. DIEVAR malzemesine ait oda sıcaklığındaki kayma kırılma yüzdesi ve sertlik ilişkisi..... 47

Şekil 3.31. 1.2367 malzemesine ait 150 °C' de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi. 48

Şekil 3.32. DIEVAR malzemesine ait 150 °C'de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi 49

Şekil 3.33. 150 °C sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi görüntüleri. 50

Şekil 3.34. DIN 1.2367 malzemesine ait 150 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi 51

Şekil 3.35. DIEVAR malzemesine ait 150 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi 52

Şekil 3.36. DIN 1.2367 malzemesine ait 300 °C'de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi .. 53

Şekil 3.37. DIEVAR malzemesine ait 300 °C'de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi 55

Şekil 3.38. 300 °C sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi görüntüleri. 56

Şekil 3.39. DIN 1.2367 malzemesine ait 300 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi 58

Şekil 3.40. DIEVAR malzemesine ait 300 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi 59

Şekil 3.41. Oda sıcaklığında yapılan darbe çentik testi sonucunda oluşan darbe enerjileri. 60

Şekil 3.42. 150 °C sıcaklıkta yapılan darbe çentik testi sonucunda oluşan darbe enerjileri. 61

Şekil 3.43. 300 °C sıcaklıkta yapılan darbe çentik testi sonucunda oluşan darbe enerjileri. 61

Şekil 3.44. Örnek nitrokarbürizasyon mikroyapısı..... 63

Şekil 3.45. Nitrokarbürizasyon sonrası alınan mikroyapı görüntüleri..... 64

Şekil 3.46. Farklı sürelerde gerçekleştirilen nitrokarbürizasyon işlemi sonrası yüzey altında meydana gelen sertlik değişimi. 65

Şekil 3.47. Farklı ısıl işlem prosedürleri için yüzey işlemi öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değerleri. 66

Şekil 3.48. İki farklı sürede uygulanan yüzey işlemlerin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması. 68

Şekil 3.49. Yüzey işlem görmüş malzemenin aşınma izindeki çatlak ve kopmaların örnek görüntüsü. 68

Şekil 3.50. Kriyojenik işlem sonrası nitrokarbürizasyon yüzey işlemi uygulanan numunenin aşınma görüntüsü. 69

Şekil 3.51. Yüzey işlem uygulanmış numunelerin 300 °C sıcaklıktaki aşınma görüntüleri. 70

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Deneysel çalışmada kullanılan iş parçası malzemelerinin kimyasal kompozisyonu..... 15

Tablo 2.2. Deney planlamasına ait çizelge. 17

Tablo 2.3. Test edilen malzemelere ait ısıl işlem parametreleri. 18

Tablo 2.4. Test edilen malzemelere ait kriyojenik işlem parametreleri. 19

Tablo 2.5. Deneylerde kullanılan malzemenin ısıl işlem görmemiş haldeki sıcak iş takım çeliklerine ait sertlik değerleri. 21

Tablo 2.6. Pin on disk aşınma deney koşulları. 22

1. GİRİŞ

Takım çelikleri içinde önemli bir yere sahip olan sıcak iş takım çelikleri imalat süreçlerinde yoğun olarak kullanılanmakta olup, özellikle imalat süreçlerinde belirli değerin üzerindeki sıcaklıklarda ve yüklerde sıklıkla çalışmaktadır [1-4]. İmalat endüstrisinde yoğun şekilde kullanılan bu malzemeler için sertik-tokluk ilişkisi ve sıcaklık altında aşınma dayanımları önemli ve bu malzemelerin performanslarında belirleyicidir [5, 6]. Bu malzemeler özellikle çalışma ortamında temperleme sürecini deneyimlenemektedirler. Dolayısı ile bu durum sıcak iş takım çeliğinden yapılan kalıp ve maça gibi komponentlerde kalıcı şekil değişimi ve aşınmalara da neden olmaktadır [1].

Bununla birlikte bu malzemelere uygulanan ısıl işlemler bu malzemelerin performanslarını hayli önemli oranda etkilemektedir. Özellikle sertlik, mikroyapı ve tokluk davranışları yapılan ısıl işlemlerle kontrol altında tutulabilmektedir [7, 8].

Bu işlemler sıcak iş takım çeliklerinin yüksek sıcaklık altında darbe direnci ve aşınma direncini belirmektedir. İlaveten, temperleme sıcaklıkları, sıcak iş takım çeliğinin özelliklerinin kontrolünde önemli bir parametredir. Yapılan çalışmalar özellikle Temperleme sıcaklıklarının bu malzemelerde kalıntı östenit miktarında etkin olduğu ve bundan dolayıda sıcak iş takım çeliklerinin özelliklerini değiştirmek için kullanılan bir yaklaşım olduğu bilinmektedir [9]. Artık östenit miktarı, sıcak iş takım çeliklerinin aşınma ve tokluk performansını etkiler. Dolayısıyla, temperleme sıcaklıklarındaki kontrol vesilesiyle arzu edilen sertlik ve yüksek dayanımın sağlanması mümkün olabilmektedir. İlaveten, Temperleme ve sıcaklığının yüksek sıcaklık koşullarında çalışan komponentlerin aşınma davranışına etkisinin irdelendiği çalışmalarda literatüre yer almaktadır. Örneğin, Wang ve ark. [10] H13 çelik malzemesine farklı temperleme sıcaklıkları uygulanmış ve bunun sonucunda malzemedeki sertlik ve tokluk değişimini ortaya koymuştur . İlaveten, temperleme sıcaklığının aşınma direncine etkisini de kapsamlı olarak araştırılmıştır. Aşınma testleri farklı sıcaklıklarda yapılmış ve çalışma sıcaklığındaki değişimin aşınma direncinde ortaya çıkardığı farklılıklar sunulmuştur. Zambrano ve ark. [11] dökme demir malzemesinde temperleme sıcaklığının tesirini araştırmış ve yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımları deneysel olarak ortaya konulmuştur. 200, 400 ve 600 °C'de gerçekleştirilen aşınma deneyleri incelendiğinde, aşınmayla kütlesel kayıpın uygulanna sıcaklık ile yakın ilişkili olduğu görülmüştür. İlaveten, temperleme sıcaklığının aşınma dayanımına etkisi

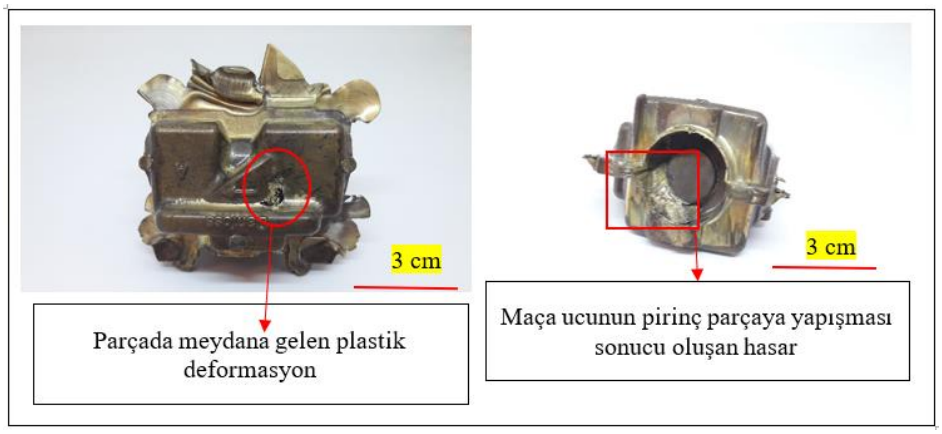
bu makale ile detaylandırılmıştır. Leskovsek ve ark. [12] makalelerinde H11 takım çeliğini ve bu çeliğin temperlenme sıcaklığının sertik-tokluk davranışına etkisini araştırmışlardır.

Literatüre ilaveten, endüstride bu konuda karşılaşılan somut sorunlar da tez kapsamında araştırılmıştır. Örneğin Torun Bakır firmasındaki reel uygulamada, otomatik dövme presinde kullanılan ve friksiyon dövme presinde kullanılan maçalar Şekil 1.1.'de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Otomatik preste (a) ve Friksiyon preste (b) kullanılan maça örneği.

Hasara uğrayan maçaların zamanla pirinç parçasında da bazı deformasyonlar meydana getirmekte olduğu görülmektedir. Bu hasarlara ilişkin görüntüler Şekil 1.2'de sunulmuştur. Maça malzemesinin sertlik değeri, mikroyapı incelemeleri ve kırık yüzey incelemesi tamamlanarak kırılmaya yol açabilecek nedenler irdelenmiştir. İlk olarak hasara uğrayan numuneler gözle incelenmiştir.



Şekil 1.2. Şekil 1.1.(a)'da sunulan maça hasarı sonucu dövülen parçada meydana gelen hasar.

İlgili maça malzemesine ait hasar mekanizmaları Şekil 1.3'te sunulmuştur. Pirinç malzeme parçasının zamanla maça uç formunu deforme ettiği ve hasara uğrattığı görülmüştür.



Şekil 1.3. Otomatik preste kullanılan maçalarında meydana gelen hasar ve çatlak ilerleme mekanizmaları.

Diğer taraftan Friksiyon preste kullanılan maça malzemesine ait hasar mekanizmaları Şekil 1.4'de sunulmuştur. Maçanın ince cidarlı olan formu yüksek deformasyonlara maruz kalarak çatlak ve hasar mekanizmaları oluşturmuştur. Zamanla yüksek basma gerilmelerinden kaynaklı pirinç malzeme çatlak içerisine dolup çatlağı genişletmekte ve kırılmaya yol açmaktadır.



Şekil 1.4. Frisksiyon maçalarında meydana gelen hasar mekanizmaları.

Doğrudan endüstriyel uygulamalar dikkate alındığında özellikle ince cidarı olan gerek Otomatik gerek se Friskiyon preslerde kullanılan maçalarda hasarların oluştuğu görülmektedir. Diğer taraftan yapılan literatür araştırması dikkate alındığında ise, çalışmaların genellikle temperleme odaklı olduğu ve temperleme sürecindeki sıcaklık ile bunun malzemelerin aşınmaya karşı mukavemetine ve tokluk ile ilişkisine yönelik olduğu görülmektedir. Özellikle sıcak iş takım çeliği malzemesinden yapılan bu maçalar uzun süreler yüksek sıcaklık altında çalışmaları nedeniyle süreye bağlı ve çalışma sıcaklığına bağlı aşınma ve kırılma reaksiyonları farklılık içerebilmektedir. Bu çalışma literatürdeki çalışmalardan farklı olarak pirinç dövme sürecindeki maçaların malzemelerini dikkate almış ve bu konuya odaklanmıştır. Dolayısı ile bu süreçlerde gerçek endüstride kullanılan DIN 1.2367 ve DIEVAR malzemeler ve bunların farklı ısıl işlemler sonrasında ve özellikle farklı sıcaklıklarda aşınma ve kırılma davranışları incelenerek bu konuda literatüre katkı sunmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DÜZENEKLER

2.1 Malzeme ve Özellikleri

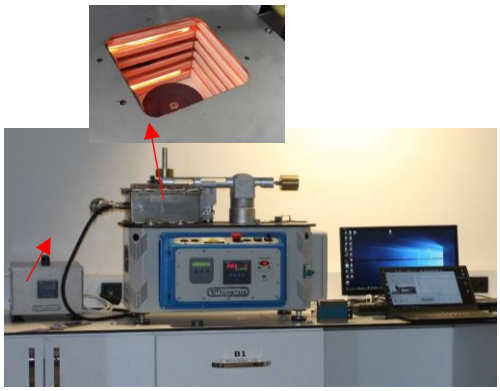
Tez kapsamında dövme süreçlerinde endüstride yaygın olarak kullanılan sıcak iş takım çeliklerinden olan 1.2367 ve Dievar malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Deneysel çalışmada kullanılan iş parçası malzemelerinin kimyasal kompozisyonu

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Ni
1.2367	0,38	0,4	0,4	Max 0,03	Max 0,005	5,0	2,8	0,55	-	-
DIEVAR	0,35	0,2	0,5			5,0	2,3	0,6		

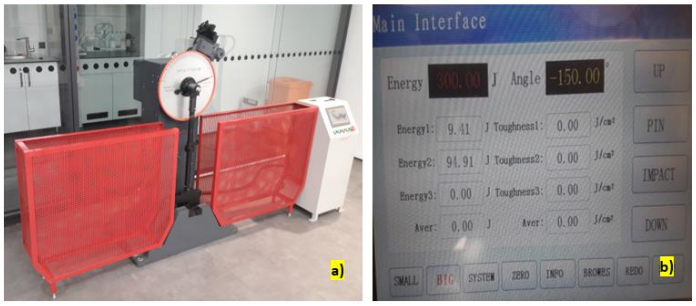
2.2 Test ve Analizler

Tez kapsamında numunelere pin on disk aşınma tetsi uygulanmıştır. Testin yapıldığı cihaz ASTM G99 [13] standardına uygun olarak çalışmakta olup çalışma sıcaklık aralığı 0- 750 °C' dir. Isı modüllü aşınma test cihazının görüntüsü Şekil 2.1' de sunulmuştur.



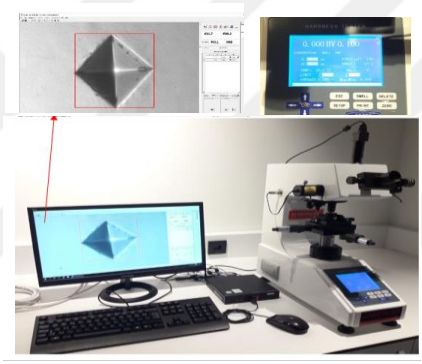
Şekil 2.1. Isı modüllü pin on disk aşınma test cihazı.

Çalışma kapsamında V-çentikli darbe deneyleri Hardway marka cihaz ile gerçekleştirilecektir. Cihazın resmi Şekil 2.2'de sunulmuştur.



Şekil 2.2. Çentik darbe cihazı(a), cihaz elektronik panel görüntüsü(b).

Çalışma kapsamında yapılan sertlik ölçüm (Vickers sertlik) deneyleri Hardway marka mikrosertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihazın görüntüsü Şekil 2.3'de sunulmuştur. Her bir numuneye ait sertlik değerleri ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. 100 gf yük ve 10 sn yükleme süresi ile testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3. Mikrosertlik cihazı görüntüsü.

Çalışma kapsamında takım çeliğine ait parlatılmış numuneler Keyence marka dijital optik mikroskop altında incelenmiştir. Aynı büyütme oranlarında her bir numunenin mikroyapısı ve aşınma ölçüleri dijital optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir. Cihazın resmi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Dijital optik mikroskop düzeneği.

Çalışma kapsamında kullanılacak olan farklı takım çeliklerini incelemek için numuneler Struers marka otomatik cihaz yardımıyla bakalite alınmıştır. Numuneler AKASEL marka siyah bakalit tozu kullanılarak hazırlanmıştır. Cihazların görüntüsü Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.5. Zımparalama ve bakalite alma cihazı.

Deneysel işlem planlamaları aşağıda yer alan Tablo 2.2'de sunulmuştur. Aşınma ve çentik deneylerinde kullanılacak numunelerin ısıl işlem ve kriyojenik işlem parametreleri aşağıda yer alan tabloda görülmektedir.

Tablo 2.2. Deney planlamasına ait çizelge.

Isıl İşlem (1. Aşama)			
Malzemeler	Sertlik Değerleri (HRC)		
DIN 1.2367 DIEVAR	50	53	56
Aşınma ve Çentik Darbe Testi Sıcaklıkları			
20 ºC	150 ºC	300 ºC	
Kriyojenik İşlem (2. Aşama)			
Malzemeler	Sertlik Değerleri (HRC)		
DIN 1.2367 DIEVAR	50	53	56
Aşınma ve Çentik Darbe Testi Sıcaklıkları			
20 ºC	150 ºC	300 ºC	

Deneylerde kullanılan 4 farklı sıcak iş takım malzemesine ait ısıl ve kriyojenik işlem parametreleri tablolar halinde sunulmuştur. İstenilen sertlik değerlerine ulaşabilmek için her bir malzemeye farklı ısıl ve kriyojenik işlem parametreleri uygulanmıştır. Isıl işlemlerde kullanılan fırın vakum tipi inert gazlar (Nitrojen, argon, helyum vb.) ile

soğutma yapılabilen bir fırın tipidir. Fırına ait soğutma basıncı 0,9-13 bar aralığındadır. Vakum fırın maksimum 1600 ºC'ye çıkabilmektedir.

Testlerde kullanılan malzemelerin istenilen sertlik değerlerine ulaşabilmesi için uygulanan ısıl işlem parametreleri Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Test edilen malzemelere ait ısıl işlem parametreleri.

	Adet	Sertleştirme işlemi	1.Meneviş	2.Meneviş	3.Meneviş	Sertlik değeri
DIN 1.2367	18	1050 ºC, 3 bar, 2 fan	570 ºC, 3 saat	600 ºC, 4,5 saat	-	50
	18	1050 ºC, 3 bar, 2 fan	570 ºC, 3 saat	580 ºC, 4 saat	-	53
	18	1050 ºC, 3 bar, 2 fan	550 ºC, 3 saat	555 ºC, 3 saat	-	56
DIEVAR	18	1020 ºC, 3 bar, 2 fan	570 ºC, 3 saat	600 ºC, 4,5 saat	-	48
	18	1020 ºC, 3 bar, 2 fan	570 ºC, 3 saat	560 ºC, 4 saat	-	50
	18	1020 ºC, 3 bar, 2 fan	180 ºC, 3 saat	180 ºC, 3 saat	180 ºC, 3 saat	52

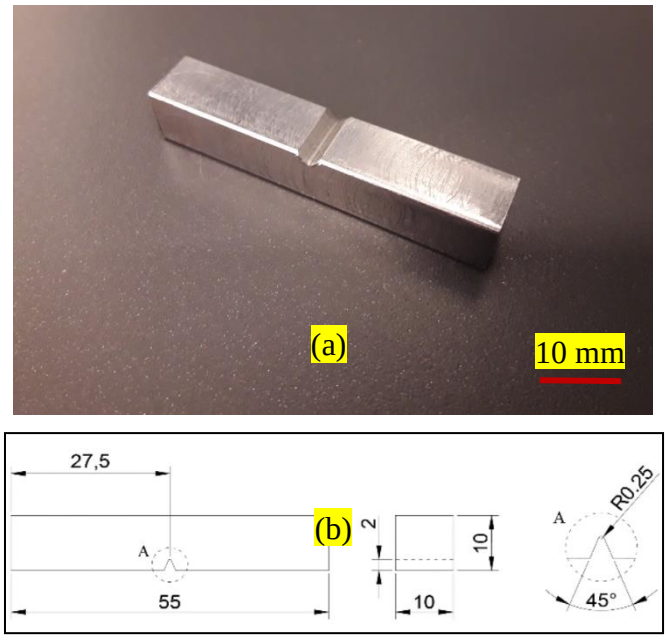
Kriyojenik (Sıfır altı) işlemlerde kullanılan soğutucu kabin 3 fanlıdır ve soğutucu olarak sıvı nitrojen kullanılmaktadır. Proses sıcaklığı -100 ºC, tutma süresi 1 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Soğutucu kabinin maksimum kapasite sıcaklığı -150 ºC'dir. Kriyojenik işlem östenitleme işleminden sonra gerçekleştirilmiştir. Sonrasında 3 adet menevişleme işlemi uygulanmıştır.

Testlerde kullanılan malzemelere uygulanan kriyojenik işlem parametreleri Tablo 2.4'de sunulmuştur.

Tablo 2.4. Test edilen malzemelere ait kriyojenik işlem parametreleri.

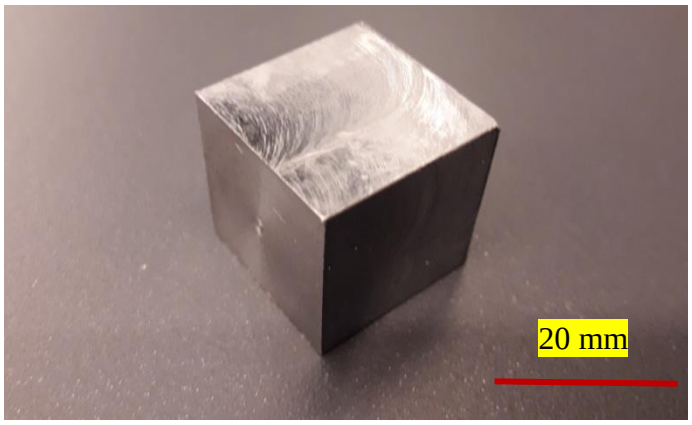
	Adet	Sertleştirme işlemi	Sıfır altı işlem	1.Meneviş	2.Meneviş	3.Meneviş	Sertlik değeri
DIN 1.2367	18	1050 ºC, 3 bar, 2 fan	-100 ºC, 1 saat	570 ºC, 3 saat	600 ºC, 4,5 saat	-	50
	18	1050 ºC, 3 bar, 2 fan	-100 ºC, 1 saat	570 ºC, 3 saat	580 ºC, 4 saat	585 ºC, 4 saat	53
	18	1050 ºC, 3 bar, 2 fan	-100 ºC, 1 saat	550 ºC, 3 saat	555 ºC, 3,5 saat	-	56
DIEVAR	18	1020 ºC, 3 bar, 2 fan	-100 ºC, 1 saat	570 ºC, 3 saat	600 ºC, 4,5 saat	-	48
	18	1020 ºC, 3 bar, 2 fan	-100 ºC, 1 saat	570 ºC, 3 saat	560 ºC, 4 saat	-	50
	18	1020 ºC, 3 bar, 2 fan	-100 ºC, 1 saat	180 ºC, 3 saat	180 ºC, 3 saat	180 ºC, 3 saat	52

Yapılan ısıl işlem ve kriyojenik işlemlerin sonucunda elde edilen çentik darbe numunelerinin görüntüleri Şekil 6(a)'da sunulmuştur. Çentik darbe numuneleri ASTM E23 standardına uygun olarak üretilmiş olup, standart ölçüleri Şekil 6(b)'de gösterilmiştir [14].



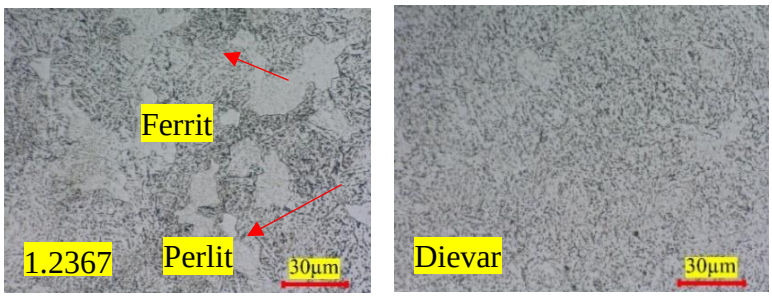
Şekil 2.6. Üretilen çentik darbe test numunesi (a) ve Standart ölçüleri (b).

Pin-on-disk aşınma test numuneleri 20x20x20mm (en x boy x yükseklik) ölçülerinde üretilmiş olup, numunenin görüntüsü Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 2.7. Pin on disk aşınma test numunesi.

Deneylerde kullanılan ısıl işlem görmemiş haldeki sıcak iş takım çeliklerine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 2.8'de sunulmuştur. İlgili malzemelere ait sertlik değerleri Tablo 2.5'de sunulmuştur. Malzemelere ait mikroyapılar incelendiğinde ferrit ve perlit faz yapılarını görmekteyiz. Ferrit faz yapısı HMK kafes yapısına sahiptir. Perlit faz yapısı hem ferrit hem de sementit (Fe_3C) faz yapısından oluşmaktadır. Ferrit faz yapısının sertliği perlit fazı ile karşılaştırdığımızda daha düşük olmaktadır. Mikroyapılardaki ferrit ve perlit faz oranları incelediğimiz malzemelerin sertlik ve tokluk değerlerini etkileyecektir. Dievar malzemesinin mikroyapısında kaba ferrit faz yapılarını görememekteyiz. Ancak bu malzemede ferrit faz oranı diğerlerine göre daha fazladır. Bunun sonucu olarak malzeme sertliği diğerlerine göre daha düşük olmaktadır. Dievar malzemede sementit (Fe_3C) faz yapısının dağılımı daha homojen DIN 1.2367 ferrit faz yapılarını görmekteyiz. Perlit faz yapısının malzeme içerisinde dağılımı sertlik değerlerinde farklılığa neden olmaktadır.

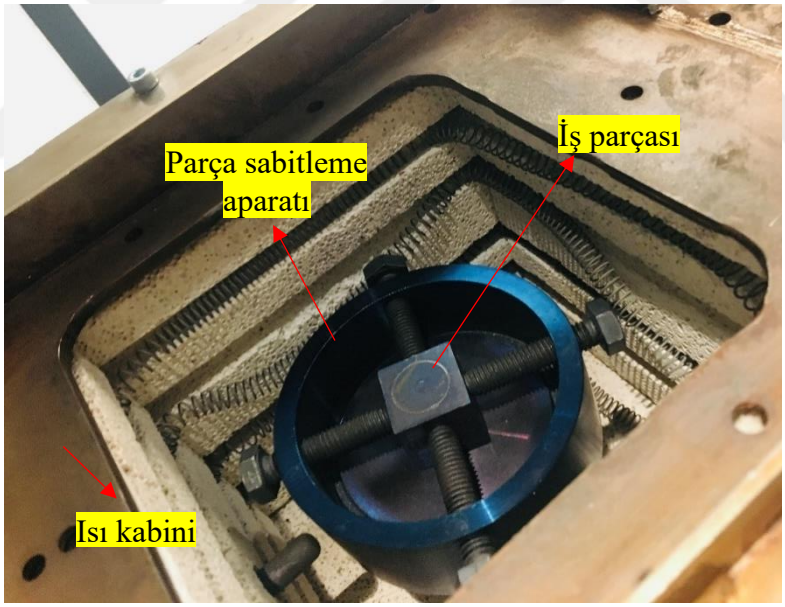


Şekil 2.8. İşlem görmemiş haldeki 3 farklı sıcak iş takım çeliğine ait mikroyapı görüntüleri.

Tablo 2.5. Deneylerde kullanılan malzemenin ısıl işlem görmemiş haldeki sıcak iş takım çeliklerine ait sertlik değerleri.

Malzeme	Sertlik, HV
1.2367	196
DIEVAR	173

Aşınma deneyleri, ısı modüllü pin-on-disk cihazı kullanılarak ASTM G-99 standartına göre yapılmıştır. Aşınma testinde kullanılan numune tutucusunun ısı modülüne yerleştirilmesi Şekil 2.9' da gösterilmektedir. Pin on disk aşınma cihazının deney düzeneğinde dikey bir pin tutucu üzerine aşındırıcı bilye sabitlenmektedir. Pin tutucunun altına ise aşındırılacak malzeme sabitlenir ve belirli devirde dönmesi sağlanır. Pin tutucunun üzerine yerleştirilen yükler sayesinde malzeme üzerinde aşınma izleri meydana gelmektedir ve belirli süreler sonunda bu aşınmadaki değişimler ölçülmektedir. Aşınma cihazının deneysel çalışma parametreleri Tablo 2.6' da sunulmuştur.



Şekil 2.9. Tutucunun ısı modülüne yerleştirilmesi ve iş parçasının tutucuya sabitlenmesi.

Tablo 2.6. Pin on disk aşınma deney koşulları.

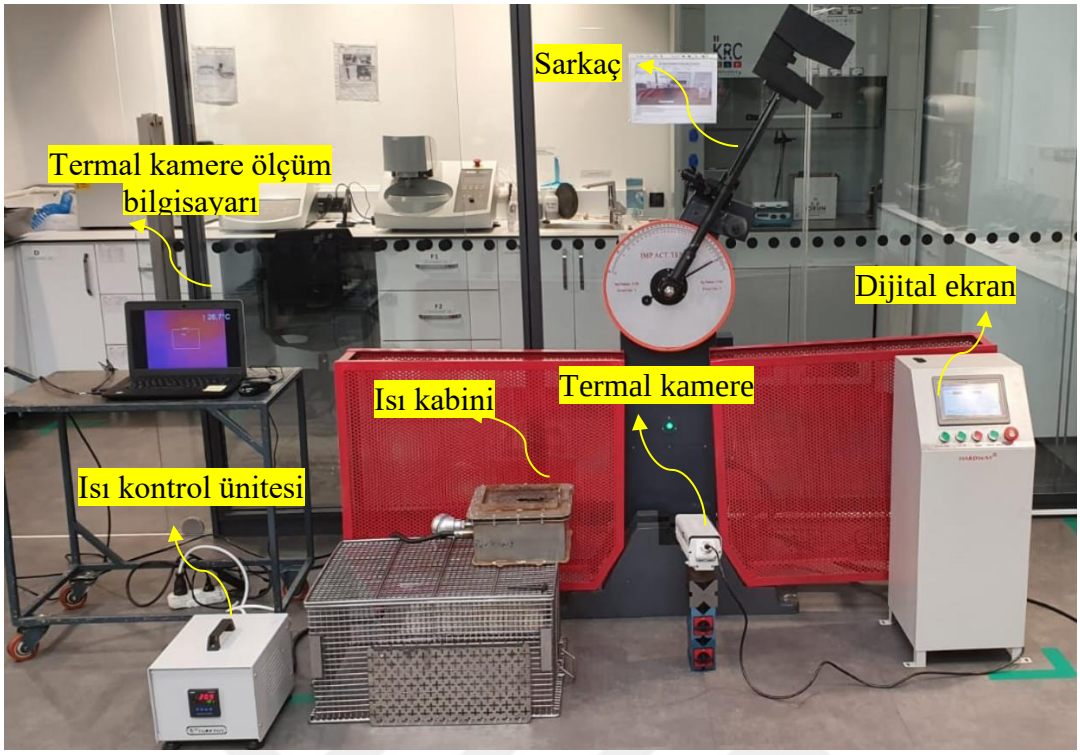
Parametreler	
Uygulanan yük (N)	20
Hız (m/s)	0,03
Sıcaklık (°C)	22, 150
Süre (s)	1800
Aşınma İz Çapı (mm)	14

Aşınma deneyleri esnasında sıcaklık değerleri kontrollü olarak değiştirilmiş ve yüksek sıcaklıklarda malzemelerin aşınma dayanımları incelenmiştir. Isı modülünden ayarlanan sıcaklık değerleri termokupl yardımı ile ölçülüp sıcaklık değerlerinin uygunluğu kontrol edilmiştir. Şekil 10'de 150 dereceye ayarlanan ısı modülünün iş parçasında oluşturduğu sıcaklık değerinin termokupl yardımı ile ölçülmesi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere iş parçasına temas ettirilen termokupl ucu, ısı modülünden ayarlanan sıcaklıkla iş parçasındaki sıcaklık değerinin çok yakınsadığını göstermektedir.



Şekil 2.10. Isı modülünün çalıştırılıp termokupl yardımı ile sıcaklığın kontrol edilmesi.

V-çentikli darbe testleri ve numune hazırlanması ASTM E23-16 standartlarına göre yapılmıştır. Darbe testlerinde 150 J kapasiteli sarkaç kullanılmıştır. Çentik darbe deney düzeneği Şekil 2.11' de sunulmuştur. Deneyler esnasında termal kamera ile sıcaklıklar kontrol edilmiştir. Testler her malzemeden ve belirli sertlik değerinde olan en az 3 numuneye uygulanmıştır. Bu 3 farklı darbe enerjisi değerinin ortalaması alınarak grafiklerde kullanılan darbe enerji değeri hesaplanmıştır.



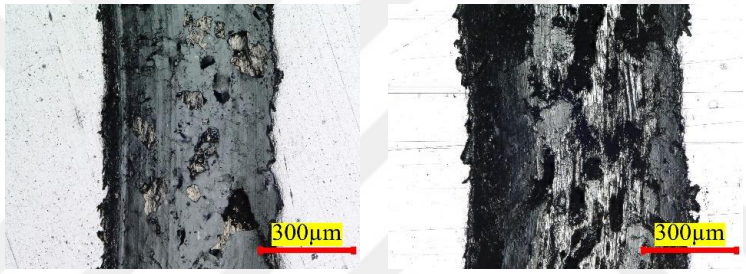
Şekil 2.11. Çentik darbe deney düzeneği

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Maça Malzeme Numunelerinin Mikroyapısal Karakterizasyonlarının ve Aşınma Analizlerinin Yapılması

Aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınma izleri incelendiğinde, oda sıcaklığındaki deneylerin genelinde aşınma mekanizması olarak adezyon ve abrasif aşınma meydana gelmiştir.

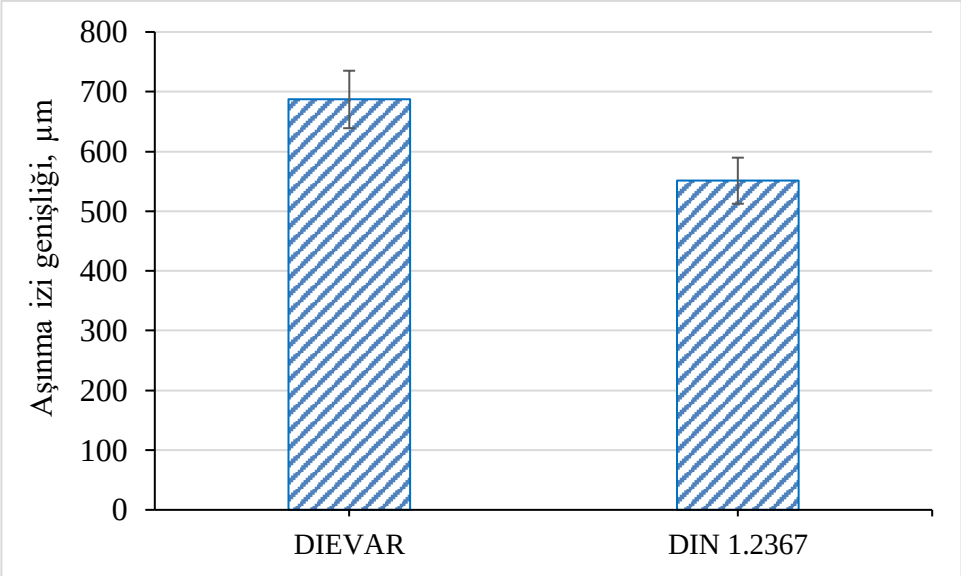
Oda sıcaklığında gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda oluşan aşınma izlerinin dijital optik mikroskop yardımı ile alınmış görüntüleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Aşınma izleri incelendiğinde malzemeler arasındaki sertlik farklarının etkili olduğu gözlemlenmiştir.



2367 Dievar

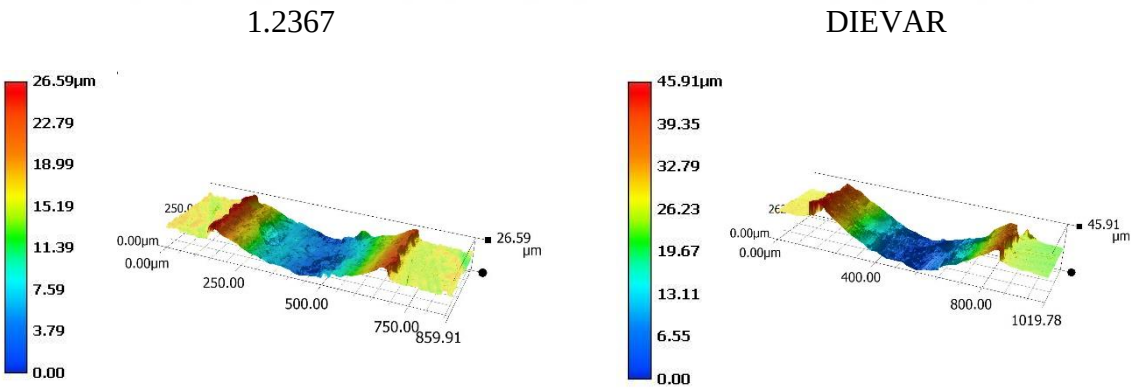
Şekil 3.1. Oda sıcaklığında farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma izi görüntüleri.

Dijital optik mikroskop yardımı ile ölçülen aşınma izlerinin genişlikleri Şekil 3.2' de farklı malzemelere bağlı olarak sunulmuştur. Şekil' de görüldüğü üzere aşınma testleri sonucunda oluşan aşınma izi genişlikleri çelik malzemeler arasında farklılık göstermiştir. Dievar da aşınma genişliği 687 µm olmuştur. Ancak sertlikteki azalma ile artan aşınma genişlikleri DIN 1.2367 malzemesi için geçerli olmamıştır. Çünkü aşınma mekanizması neredeyse tamamen adezyona dönmüştür. Yüzeye yapışan malzemeler sürtünme katsayısındaki azalmanın da etkisiyle aşındırıcı bilyenin malzeme yüzeyinden daha az miktarda partikül kaldırarak bilyenin malzeme yüzeyinde kaymasına neden olmuştur.



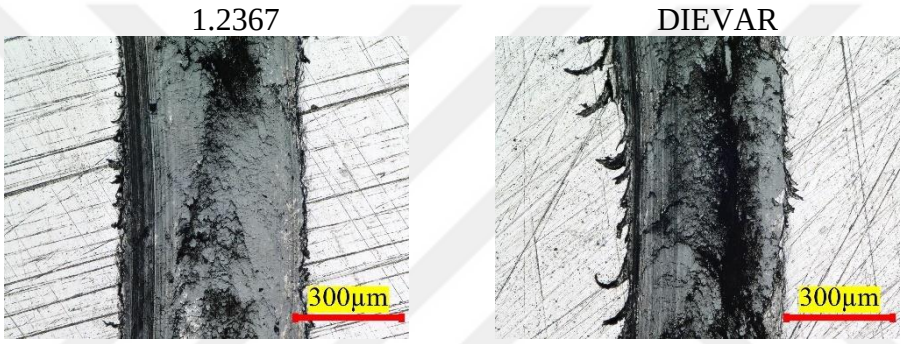
Şekil 3.2. Oda sıcaklığındaki farklı çelik malzemelerde oluşan aşınma genişlikleri.

Oda sıcaklığında yapılan aşınma deneyleri sonrasında oluşan izlerin üç boyutlu görüntüleri Şekil 3.3' te gösterilmiştir. Aşınma görüntüleri incelendiğinde aşınma izi genişliklerindeki farklılıklar, aşınma derinliklerinde de meydana geldiği görülmüştür.



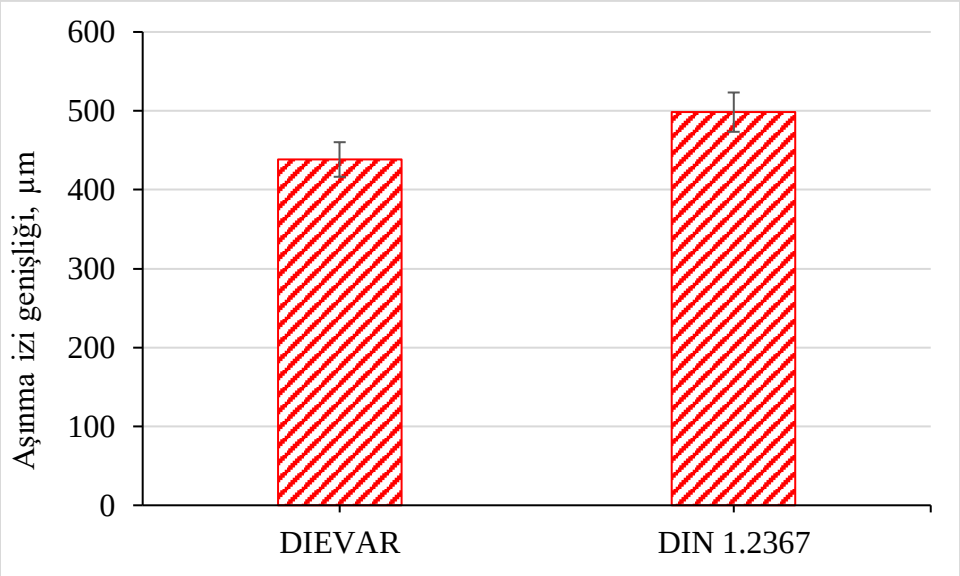
Şekil 3.3. Oda sıcaklığında farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma topografi görüntüleri.

150 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izlerinin görüntüleri Şekil 3.4' te sunulmuştur. Şekil incelendiğinde sıcaklığın artması ile aşınma mekanizmasındaki değişim net olarak gözükmektedir. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde abrasif aşınma ve adezyon aşınma mekanizması rol oynarken, sıcaklığın artması ve malzemelerin sertliklerinde meydana gelen azalma ile aşınma mekanizması daha çok adezyon ve oksidasyon olarak karşımıza çıkmıştır. Bunun nedeni, bu sıcaklıkta oluşan oksidatif filmin malzeme ve bilye yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltmak için yağlayıcı görevi görmesidir[15, 16]. Kuru kayma aşınma testlerinde oksidasyon aşınması baskın mekanizma olarak kabul edildiğinden, aşınma oranı önemli ölçüde azalır [17].



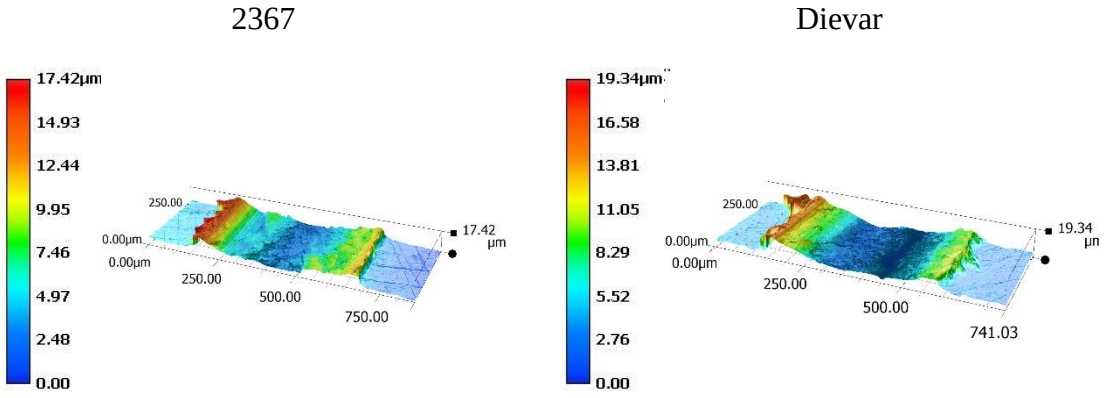
Şekil 3.4. 150 °C sıcaklıkta farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma testi sonucu oluşan aşınma izi görüntüleri.

Aşınma izlerinden alınan ölçümler Şekil 3.5'te malzemelere bağlı olarak gösterilmiştir. Sıcaklığın artması ile malzemelerde meydana gelen yumuşama oranı artmıştır. Dievar malzemelerinde sertliği daha az olan sıcaklığın artması ile daha fazla yumuşamaya maruz kalarak adezyon aşınmasının da etkisiyle daha az aşınmaya maruz kalmıştır. Ancak DIN 1.2367 yumuşama eşiğini aşarak bilyenin malzemeye daha çok gömülmesine sebep olmuştur ve dolayısı ile aşınma genişliğinde artış gözlemlenmiştir. Aşınma genişlikleri değerleri karşılaştırıldığında Dievar da 438 µm olmuştur. DIN 1.2367 malzemesindeki aşınma genişliği 498 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5. 150 °C sıcaklıkta farklı çelik malzemelerde oluşan aşınma genişlikleri.

150 °C yapılan aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izleri dijital optik mikroskop cihazıyla üç boyutlu olarak taranmış ve Şekil 3.6' da sunulmuştur. Görüldüğü üzere sıcaklığın artması ile aşınma derinliklerinde azalma olmuştur. Bu durum aşınma bölgesinde oluşan adeyzon mekanizması ve oksit tabakası ile ilişkilendirilmektedir [17, 18] .

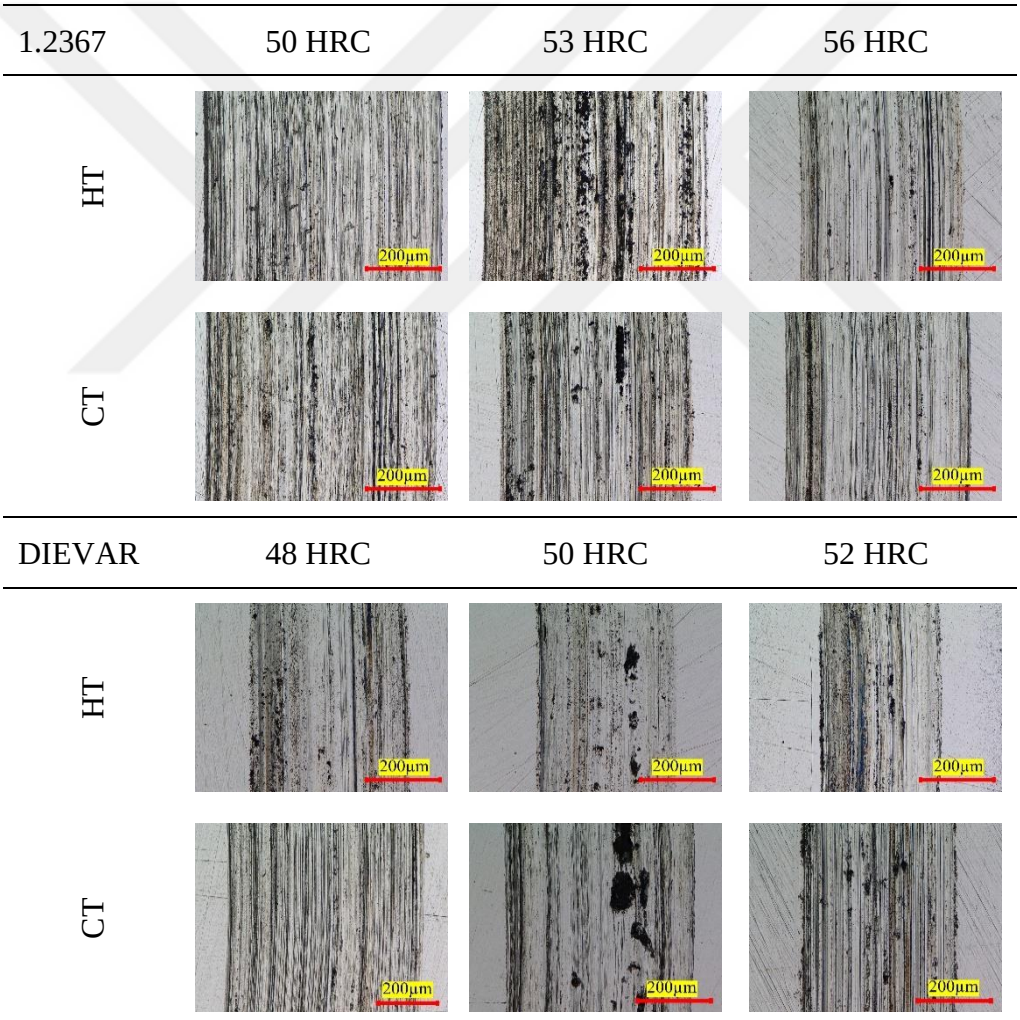


Şekil 3.6. 150 °C sıcaklıkta farklı çelik malzemelere uygulanan aşınma topografi görüntüleri.

3.2 Maça Malzeme Numunelerinin Isıl İşlem Sonrası Aşınma ve Mikroyapı Analizleri

3.2.1 Aşınma analizleri

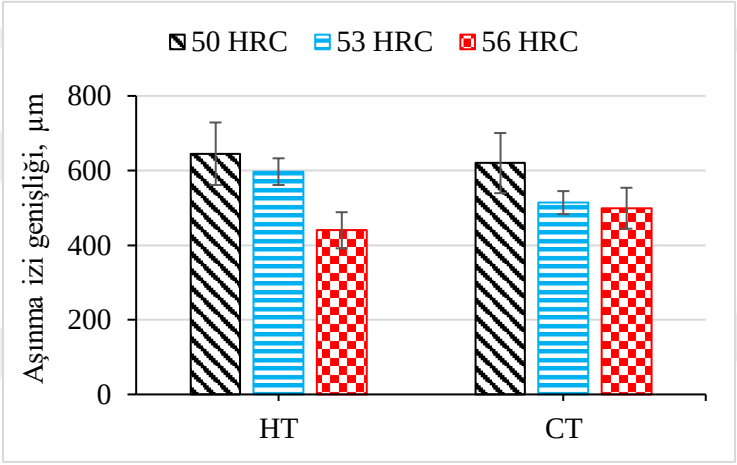
Maça malzemelerinde ısıl işlem sonrası farklı sertlikler elde edilmiştir. Elde edilen sertliklerde (50,53, ve 56 HRC) aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca konvansiyonel ısıl işlem (HT) ile kriyojenik ısıl işleme (CT) 'in aşınmaya etkileri de irdelenmiştir. Şekil 3.7'de bu çalışma sonucu elde edilen aşınmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 3.7. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izi görüntüleri.

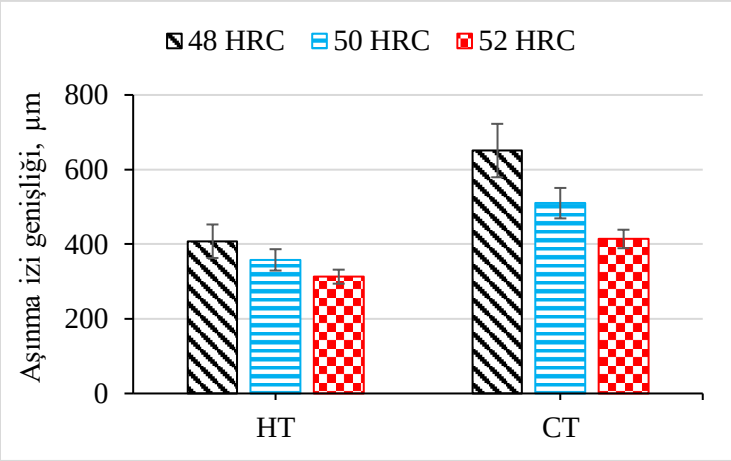
Aşınma izi görüntüleri alındıktan sonra program üzerinden iz genişlikleri ölçülmüştür. Farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 1.2367 malzemesinde meydana gelen aşınma izi genişliği değerleri Şekil 3.8' de sunulmuştur. Grafik farklı sertliklere bağlı olarak ve konvansiyonel ısıl işlem (HT) ile kriyojenik ısıl işleme (CT) bağlı olarak oluşturulmuştur.

Grafik incelendiğinde sertliğin artışı ile her iki ısıl işlem koşulunda da aşınma izi değerleri azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu azalma konvansiyonel ısıl işlem için 50' den 56 HRC ye yaklaşık %32 iken, kriyojenik ısıl işlemde %20 olmuştur. Kriyojenik işlemin aşınmaya etkisi ise çok kısıtlı olmuştur.



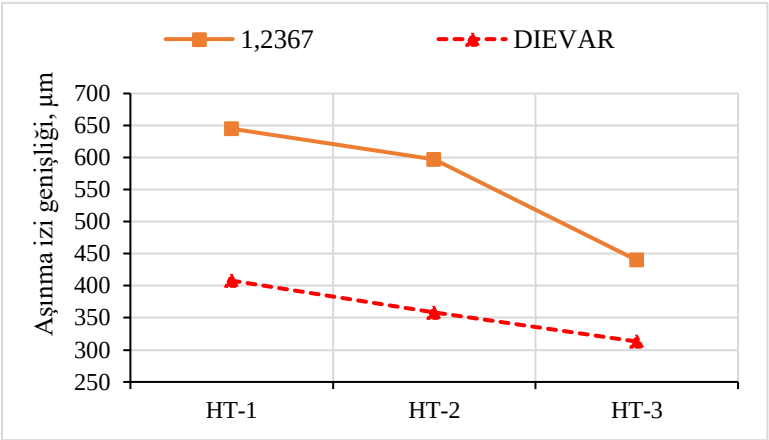
Şekil 3.8. 1.2367 malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izi genişlikleri.

DIEVAR malzemesine ait oda sıcaklığında meydana gelen aşınma izi genişlikleri Şekil 3.9' da sunulmuştur. Görüldüğü üzere sertliğin etkisi bu malzemede de etkili olmuş ve aşınmanın azalmasında rol oynamıştır. Şöyle ki sertliğin 48'den 52 HRC ye artması ile konvansiyonel ısıl işlemde aşınma izi yaklaşık %23 oranında azalmıştır. Kriyojenik işlemde ise bu azalma oranı yaklaşık %36 olmuştur. Bu malzemede kriyojenik işlem beklenilenin aksine bir davranış sergilemiş ve aşınma genişliklerinde artışa neden olmuştur.

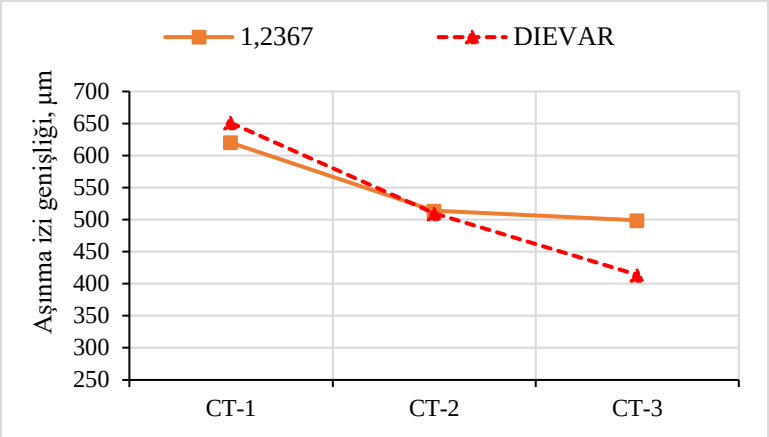


Şekil 3.9. DIEVAR malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izi genişlikleri.

Şekil 3.10'da iki farklı malzemenin konvansiyonel ısıl işlem sonrası meydana gelen aşınma izleri kıyaslanmıştır. Görüldüğü üzere her iki malzemede de sertliğin artması ile aşınma izi azalma eğilimde olmuştur. HT-1 koşulunda en fazla aşınma ortalama 645 ile 1.2367 malzemesinde gözlemlenmiştir. En az aşınma ise DIEVAR malzemesinde ve ortalama 408 değerinde olmuştur. Bu fark yaklaşık %37 azalma olarak karşımıza çıkmıştır. HT-3 durumunda yine en yüksek aşınma değeri 1.2367 malzemesinde 440 mikron olmuştur. En az aşınma izi ise DIEVAR malzemesinde 313 mikron olarak ölçülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası oluşan aşınma değerleri farklı malzemelere bağlı olarak Şekil 3.11' de sunulmuştur. Kriyojenik işlemde de sertliğin artması aşınmayı azaltıcı bir etken olmuştur.

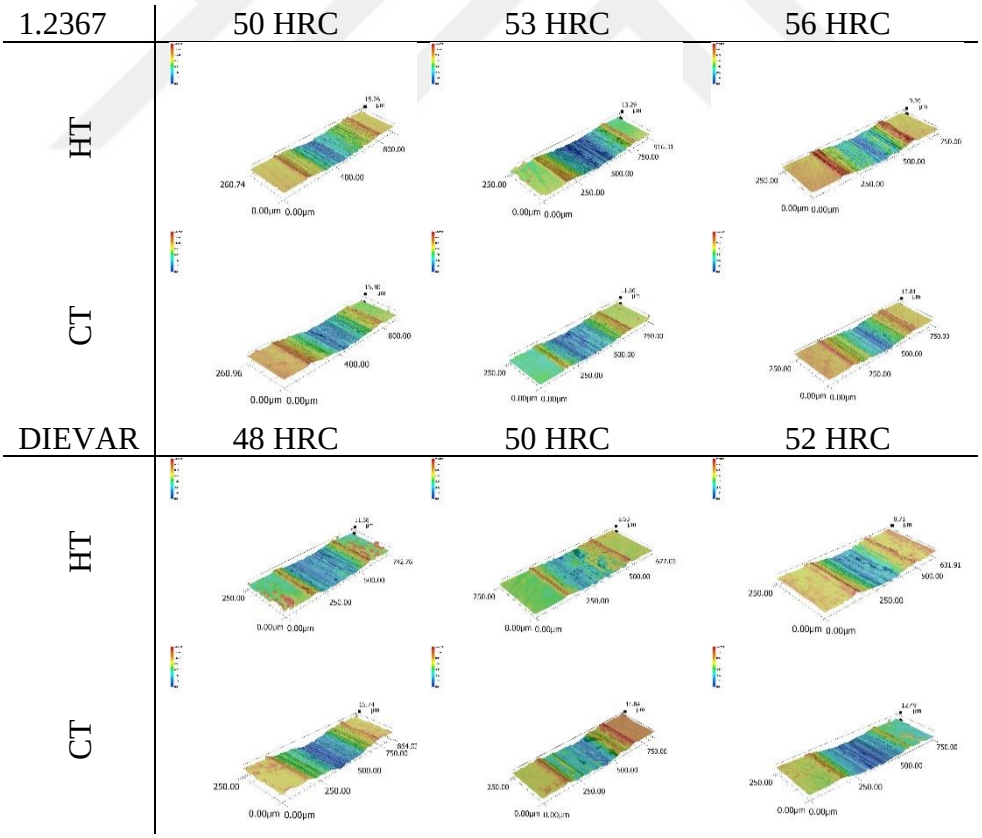


Şekil 3.10. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası oda sıcaklığı koşullarında meydana gelen aşınma izi değerleri.



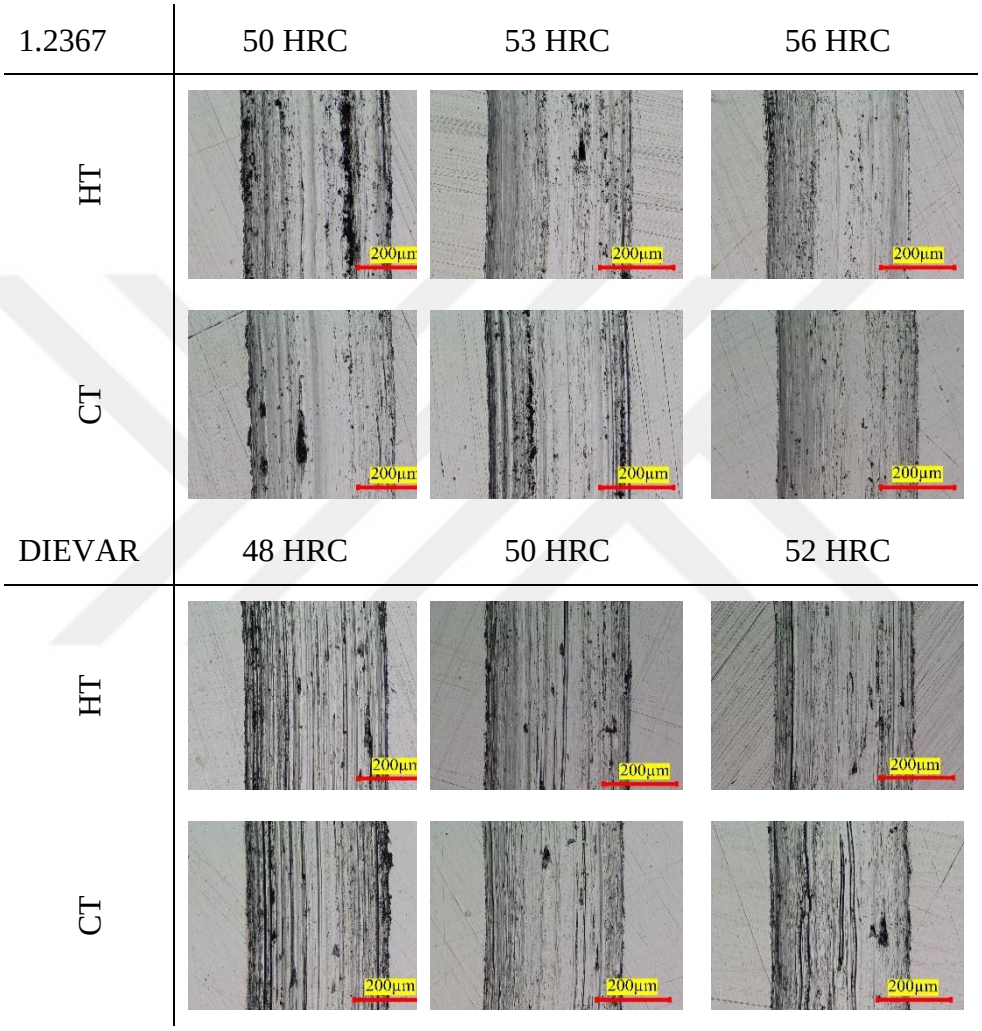
Şekil 3.11. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası oda sıcaklığı koşullarında meydana gelen aşınma izi değerleri.

Oda sıcaklığında yapılan deneyler sonrasında alınan üç boyutlu görüntüler Şekil 3.12' de sunulmuştur. Malzeme ve ısıl işlem prosedürleri arasındaki aşınma farklılıkları şekil üzerinde görülmektedir.



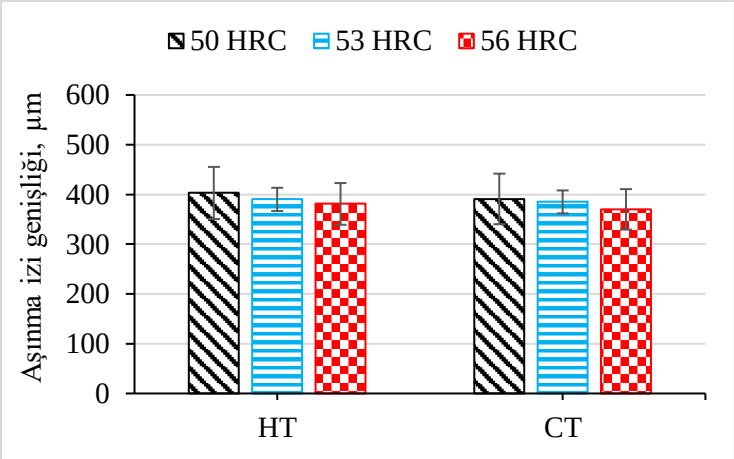
Şekil 3.12. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde oda sıcaklığı koşullarında oluşan aşınma izlerini üç boyutlu görüntüleri.

150 °C de yapılan aşınma deneyleri sonrasında malzemelerde meydana gelen aşınma izlerinin görüntüsü Şekil 3.13’ de ısıl işlem koşuluna bağlı olarak sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde de olduğu gibi 150 derecedeki deneylerde de sertliğin ve ısıl işlem prosedürlerinin etkisi görülmüştür.



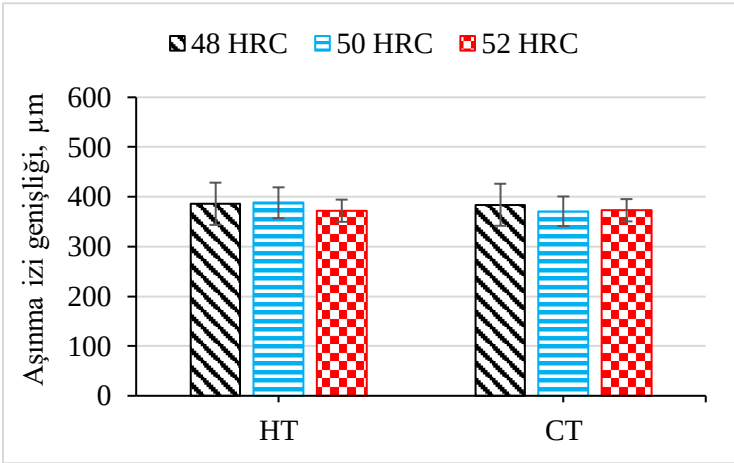
Şekil 3.13. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi görüntüleri.

Farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 1.2367 malzemesinde meydana gelen aşınma izi genişliği değerleri Şekil 3.14’ de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde sertliğin artışı ile her iki ısıl işlem koşulunda da aşınma izi değerleri azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu azalma konvansiyonel ısıl işlem için 50’ den 56 HRC ye yaklaşık %6 iken, kriyojenik ısıl işlemde %5 olmuştur. Kriyojenik işlemin aşınmaya etkisi ise çok kısıtlı olmuştur.



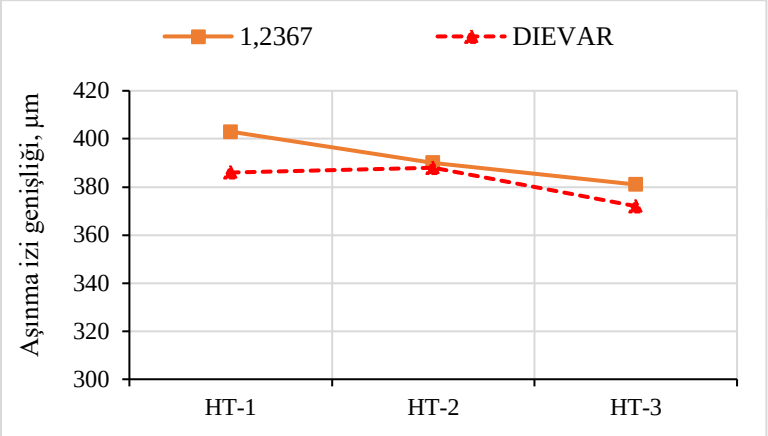
Şekil 3.14. 1.2367 malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri.

DIEVAR malzemesine ait 150 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi genişlikleri Şekil 3.15' de sunulmuştur. Görüldüğü üzere sertliğin etkisi yine etkili olmuş ancak çok sınırlıdır. Şöyle ki sertliğin 48'den 52 HRC ye artması ile konvansiyonel ısıl işlemde aşınma izi yaklaşık %4 oranında azalmıştır. Kriyojenik işlemde ise bu azalma oranı yaklaşık %3 olmuştur. Görüldüğü üzere sertliğin etkisi bu sıcaklıkta çok sınırlı olurken aynı şekilde ısıl işlem prosedürünün etkisi de çok sınırlı olmuş ve farklılıklar minimum seviyede kalmıştır.



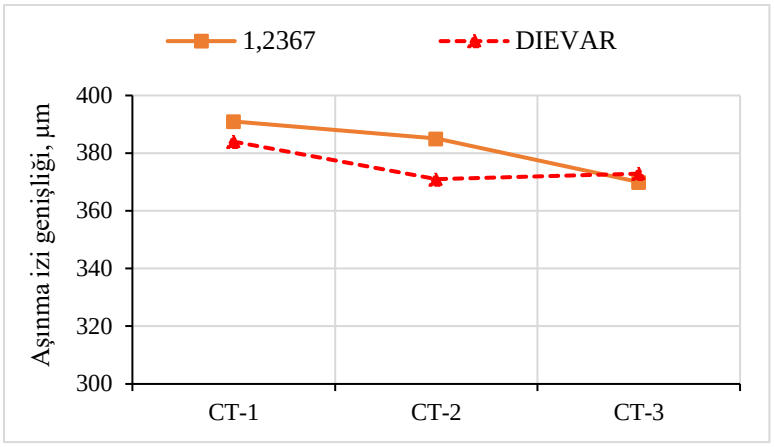
Şekil 3.15. DIEVAR malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri.

Şekil 3.16’ da 2 farklı malzemenin konvansiyonel ısıl işlem sonrası meydana gelen aşınma izleri kıyaslanmıştır. Görüldüğü üzere her iki malzemede de sertliğin artması ile aşınma izi azalma eğilimde olmuştur. Bu eğim oda sıcaklığında yapılan deneylere göre daha az olmuştur. HT-1 koşulunda en fazla aşınma ortalama 403 mikron ile 1.2367 malzemesinde gözlemlenmiştir. HT-3 durumunda yine en yüksek aşınma değeri 1.2367 malzemesinde 381 mikron olmuştur.

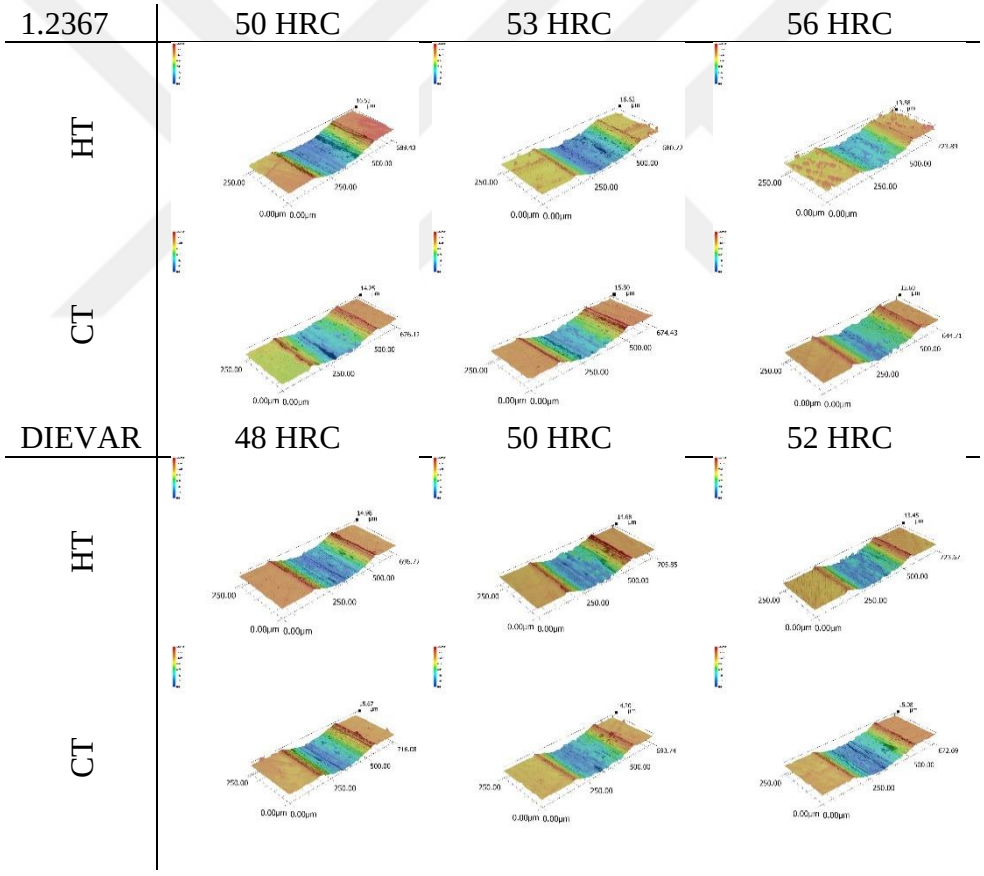


Şekil 3.16. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası 150 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri.

Kriyojenik işlem sonrası oluşan aşınma değerleri farklı malzemelere bağlı olarak Şekil 3.17’ de sunulmuştur. Kriyojenik işlemde de sertliğin artması aşınmayı azaltıcı bir etken olmuştur. CT-1 koşulunda en az aşınma 384 mikron ile DIEVAR malzemesinde olmuştur. Görüldüğü gibi ortalama farklar oldukça azalmıştır. CT-3 koşulunda en yüksek aşınma ise DIEVAR malzemesinde olmuştur. Aşınma izleri görüntülerinin derinlikleri açısından bilgi vermesi için üç boyutlu olarak da görüntüleri alınmıştır. Şekil 3.18’ de farklı malzeme ve farklı ısıl işlemler sonucunda 150 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izlerinin üç boyutlu görselleri sunulmuştur.



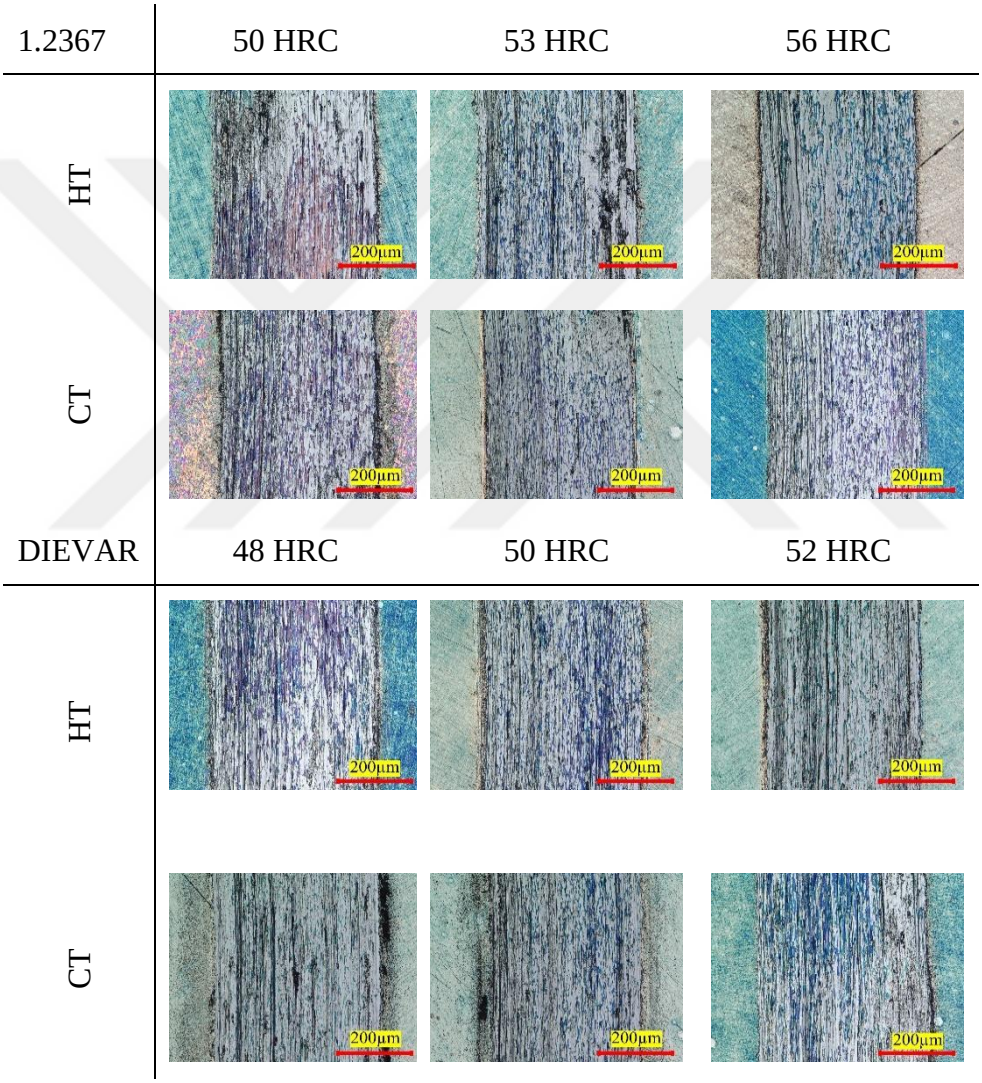
Şekil 3.17. Farklı malzemelerin kriyojenik ısıl işlem sonrası 150 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri.



Şekil 3.18. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 150 °C oluşan aşınma izlerinin üç boyutlu görüntüleri.

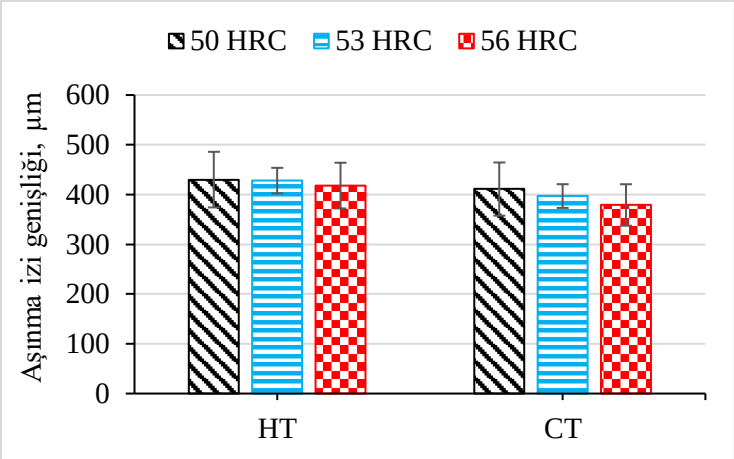
150 derece sıcaklıkta yapılan deneylerden sonra incelenen bilyelerden alınan görüntüler Şekil 30’ da sunulmuştur. Grafikte dikkat çeken husus oda sıcaklığındaki gibi ciddi aşınmaların yerine daha az aşınmalar görülmektedir. Bunun sebebi sıcaklığın artması ile sürtünme kuvvetlerinin azalması olabilir.

300 °C de yapılan aşınma deneyleri sonrasında malzemelerde meydana gelen aşınma izlerinin görüntüsü Şekil 40’ da ısıl işlem koşuluna bağlı olarak sunulmuştur.



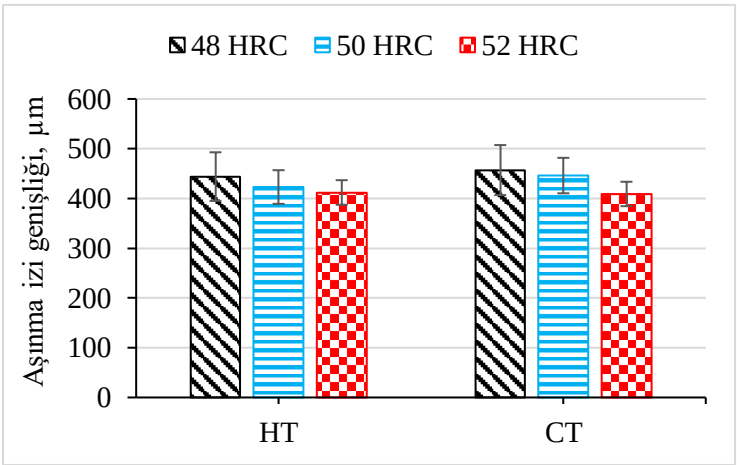
Şekil 3.19. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 300 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi görüntüleri.

Farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 1.2367 malzemesinde meydana gelen aşınma izi genişliği değerleri Şekil 3.20' de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde sertliğin artışı ile her iki ısıl işlem koşulunda da aşınma izi değerleri azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu azalma konvansiyonel ısıl işlem için 50' den 56 HRC ye yaklaşık %3 iken, kriyojenik ısıl işlemde %8 olmuştur.



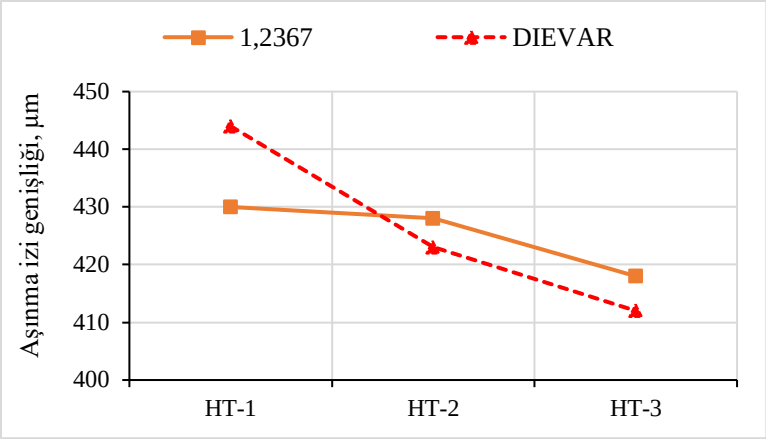
Şekil 3.20. 1.2367 malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 150 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri.

DIEVAR malzemesine ait 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi genişlikleri Şekil 3.21' de sunulmuştur. Sertliğin 48'den 52 HRC ye artması ile konvansiyonel ısıl işlemde aşınma izi yaklaşık %7 oranında azalmıştır. Kriyojenik işlemde ise bu azalma oranı yaklaşık %10 olmuştur. Kriyojenik işlem konvansiyonel işleme yakın sonuçlar vermiş olup etkisi yine sınırlı olmuştur.



Şekil 3.21. DIEVAR malzemesinin farklı ısıl işlem prosedürleri sonrası 300 °C sıcaklıkta oluşan aşınma izi genişlikleri.

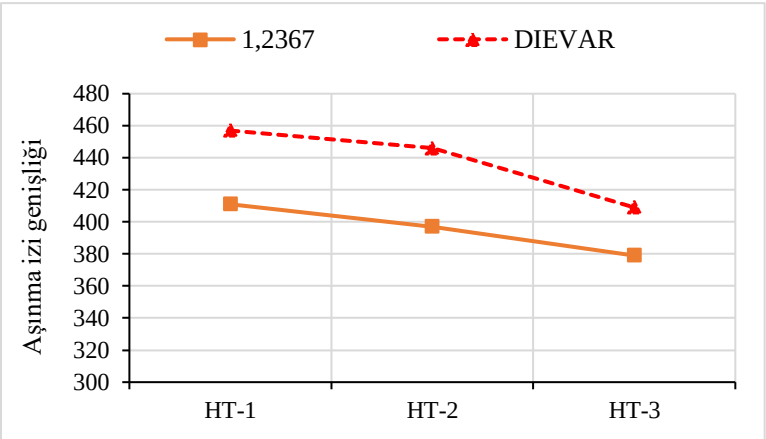
Şekil 3.22' de iki farklı malzemenin konvansiyonel ısıl işlem sonrası meydana gelen aşınma izleri kıyaslanmıştır. Görüldüğü üzere tüm malzemelerde sertliğin artması ile aşınma izi azalma eğilimde olmuştur. En az aşınma ise 1.2367 malzemesinde ve ortalama 430 mikron değerinde olmuştur. Bu fark yaklaşık %7 azalma olarak karşımıza çıkmıştır. En az aşınma izi ise DIEVAR malzemesinde 412 mikron olarak ölçülmüştür.



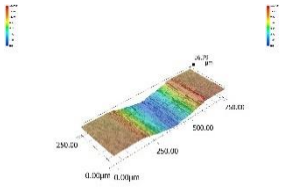
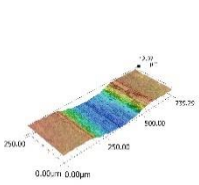
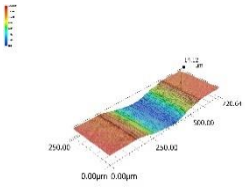
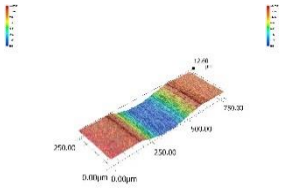
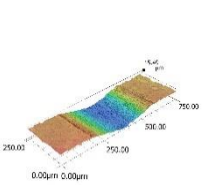
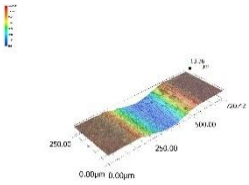
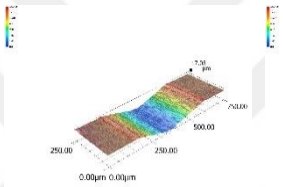
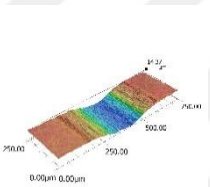
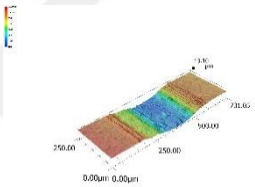
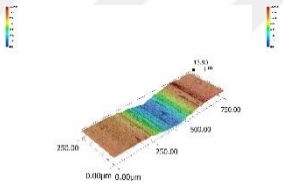
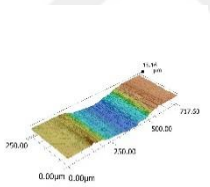
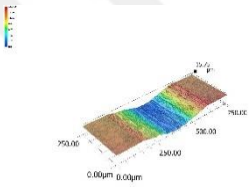
Şekil 3.22. Farklı malzemelerin konvansiyonel ısıl işlem sonrası 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri.

Kriyojenik işlem sonrası oluşan aşınma değerleri farklı malzemelere bağlı olarak Şekil 3.23' de sunulmuştur. Kriyojenik işlemde de sertliğin artması aşınmayı azaltıcı bir etken olmuştur. CT-1 koşulunda en az aşınma 411 mikron ile 1.2367 malzemesinde olmuştur.

Şekil 3.24' de farklı malzeme ve farklı ısıl işlemler sonucunda 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izlerinin üç boyutlu görselleri sunulmuştur.



Şekil 3.23. Farklı malzemelerin kriyojenik ısıl işlem sonrası 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma izi değerleri.

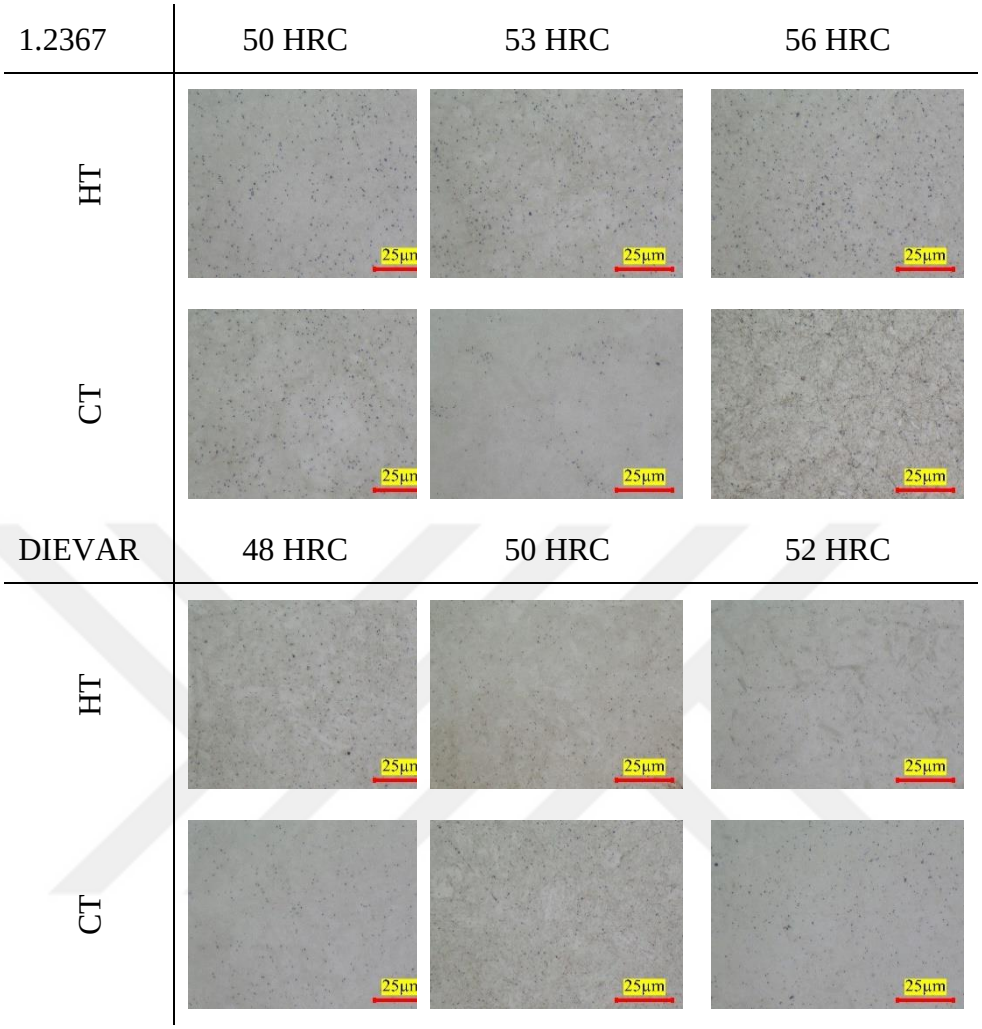
1.2367	50 HRC	53 HRC	56 HRC
HT			
CT			
DIEVAR	48 HRC	50 HRC	52 HRC
HT			
CT			

Şekil 3.24. Farklı ısıl işlem prosedürleri ve farklı malzemelerde 300 °C oluşan aşınma izlerinin üç boyutlu görüntüleri.

3.2.2 Mikroyapı Analizleri

Takım çeliklerine uygulanan ısıl işlemler sonrasında malzemenin mekanik özelliklerinin yanı sıra mikroyapısal özellikleri de değişime uğramaktadır. Isıl işlem sıcaklıklarının ve bu sıcaklıklarda bekletme sürelerinin etkisiyle ısıl işlem sonrası mikroyapıda kalan ve yumuşak faz olan östenit fazının daha sert faz olan martenzite dönüşmesi ile malzeme sertliğinde artış gözlemlenir. Malzeme mikroyapısında kalan östenit fazı ne kadar az olursa daha sert yapıda malzeme elde edilmiş olur. Ayrıca kalıntı östenit fazının malzeme sertliğindeki etkisinin yanı sıra aşınma davranışı ve tokluk değerini de etkilediği görülmüştür [19]. Isıl işlem ve temperleme sıcaklıklarının malzeme mikroyapısında meydana getirdiği bir diğer değişim ise yapıda meydana gelen karbür çökelmeleridir. Yapıda meydana gelen karbür çökelmelerinin hacimsel oranı ve boyutları malzemenin mekanik özelliklerine etki etmektedir. Bu aşamada, incelenen mikroyapılardaki karbürlerin büyük uzamış birincil karbürler (PC) ve ikincil karbürler (SC) olarak sınıflandırılabilir. Çok daha detaylı inceleme olanağı suna SEM cihazı ile büyük ikincil karbür (LSC) ve küçük ikincil karbür (SSC) olarak ikincil karbürlerinde sınıflandırılması mümkündür [20].

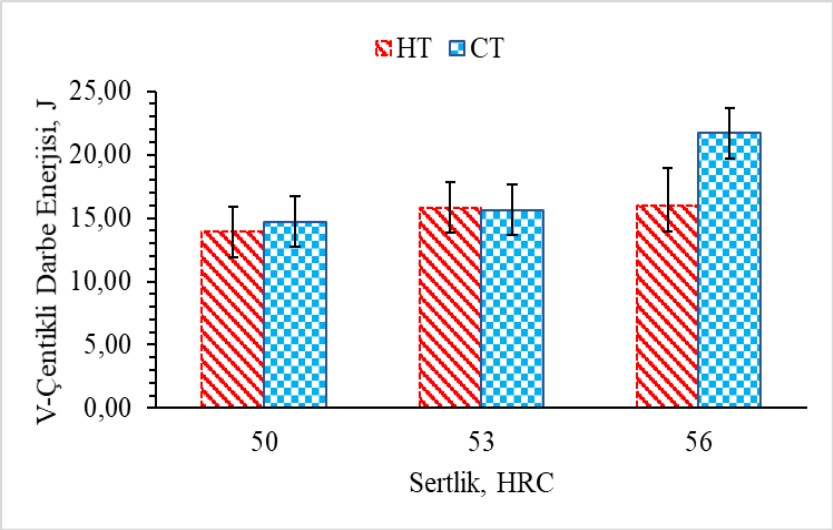
Isıl işlem ve kriyojenik işlem ile sertleştirme işlemleri uygulanan takım çeliklerinden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri dijital optik mikroskop yardımı ile alınmış olup Şekil 3.25' de sunulmuştur. Mikroyapısı incelenmek üzere bakalite alınan numuneler, zımparalama ve parlatılma işleminden sonra damlatma yöntemi ile kimyasal dağlamaya maruz bırakılmıştır. Dağlama için, 45 ml HCL, 5 ml HNO_3 ve 100 ml H_2O kullanılarak bir dağlama solüsyonu oluşturulmuştur. Damlatma yöntemi ile yapılan dağlama işlemi yaklaşık 10 saniye süre ile yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda temperleme sıcaklığının etkisini, malzeme mikroyapısındaki karbür oranından ve boyut farklılıklarından anlamak mümkündür. Ayrıca kriyojenik işlemde beklenen daha homojen karbür dağılımı yine beklenen bir sonuçtur. Ancak dijital optik mikroskop ile inceleme bu konuda yetersiz kalmıştır. Gerek duyulması halinde çok daha detaylı inceleme olanağı sağlayan SEM yönteminden yararlanılabilir.



Şekil 3.25. Farklı ısıl işlem prosedürleri uygulanmış malzemelerin mikro yapı görüntüleri.

3.3 Charpy ve Sertlik Analizleri

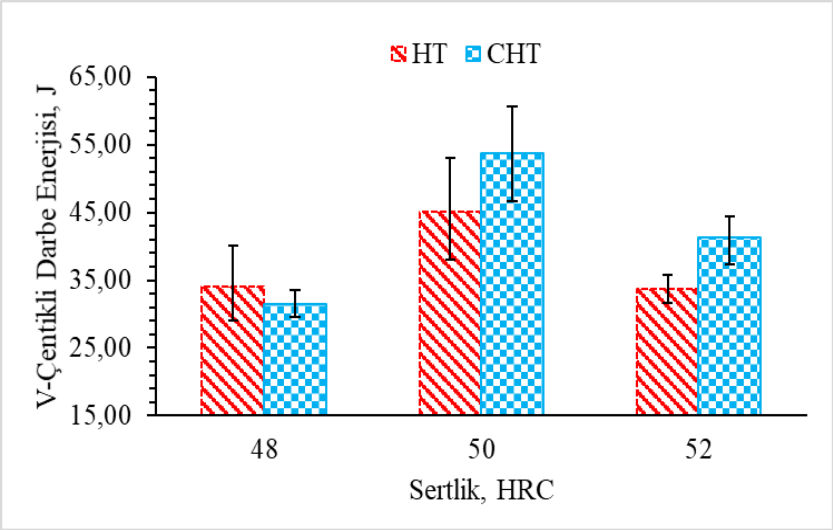
DIN 1.2367 malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan darbe enerjisi değerleri Şekil 3.26' da sunulmuştur. Şekilde görülebileceği gibi 50 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 13,93 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 14,70 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %5 artmıştır. 53 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 15,83 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 15,65 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %1 azalmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 56 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 15,97 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 21,69 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %36 artmıştır. Grafik genel olarak incelendiğinde DIN 1.2367 malzemesinin oda sıcaklığındaki darbe enerjisi değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak arttığı görülmüştür. 56 HRC sertlik değerinde konvansiyonel ısıl işlemle karşılaştırıldığında kriyojenik işlem görmüş malzemenin darbe enerjisi değerinde artış söz konusudur.



Şekil 3.26. DIN 1.2367 malzemesine ait oda sıcaklığındaki darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi.

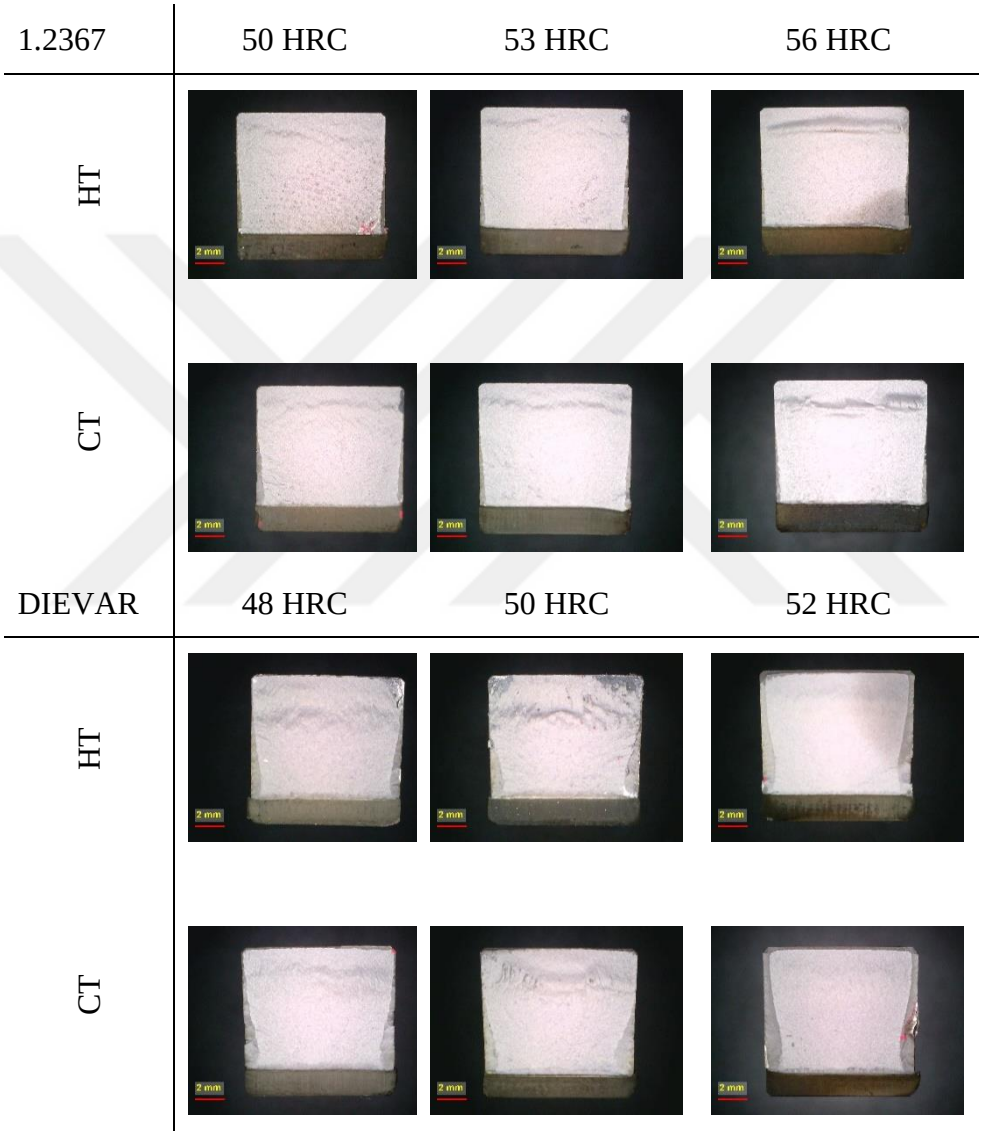
DIEVAR malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan darbe enerjisi değerleri Şekil 3.27' de sunulmuştur. Şekilde görülebileceği gibi 48 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 30,09 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 31,52 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %4,7 artmıştır. 50 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 45,02 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 53,65 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %19 artmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 52 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 33,70 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 41,36 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %22,7 artmıştır.

Grafik genel olarak incelendiğinde DIEVAR malzemesinin oda sıcaklığındaki darbe enerjisi değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak ilk başta artış 50 HRC sertlik değerinden sonra azalma görülmüştür. Sertlik değerlerinin artmasıyla darbe enerjisi değerlerindeki artışa yapıdaki martenzit, kalıntı östenit fazlarının ve tane sınırlarında çökelen karbürlerin boyut ve hacimsel oranları neden olmaktadır [21, 22].



Şekil 3.27. DIEVAR malzemesine ait oda sıcaklığındaki darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi.

Oda sıcaklığında yapılan çentik deneyleri sonrasında kırılan yüzeyler mikroskop yardımı ile incelenmiştir. Şekil 3.28’ de farklı malzemelerin farklı ısıl prosedürleri sonrası kırılan yüzeylerin görüntüleri sunulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere kırılma yüzeylerinde sertliğin değişmesi ve ısıl işlem koşullarının değişmesiyle farklılıklar gözlemlenmiştir.



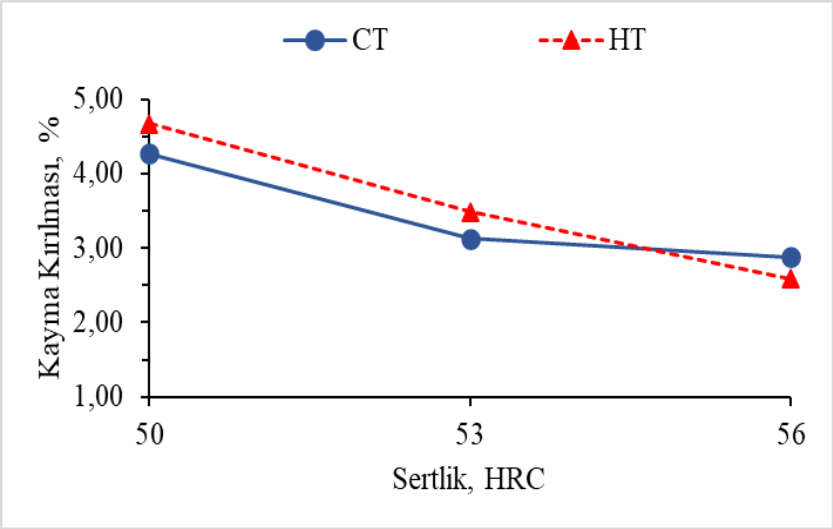
Şekil 3.28. Oda sıcaklığında yapılan çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi görüntüleri.

Çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzey morfolojileri: kayma kırılması (mat yüzey, plastik deformasyon alanları), gevrek/yarı-gevrek kırılma (parlak ve düz yüzey), kayma dudakları, son kopma alanı ve çatlak ilerleme bölgesinden oluştuğu incelenmiştir. Bu çalışmada kayma kırılma yüzdesi değerini hesaplarken kayma kırılma davranışı gösteren mat yüzeyli alanlar ve plastik deformasyona uğramış yüzeyler (kayma dudakları ve benzeri) esas alınmıştır.

Kayma kırılması değerleri ASTM E23-16 standartlarına bağlı olarak ölçülmüştür. Kırılma sonrası şekil değiştirmiş yüzey alanı Dino-Lite marka 200x büyütmeye sahip dijital mikroskop ile ölçülmüştür. İlk olarak, yüzde kayma kırılma değerini bulabilmek için kırılmış çentik numunenin tüm şekil değiştirmiş alanı (çentik alanı dahil edilmemiştir) ölçülmüş ardından standartlarda belirtilen yöntemlere bağlı kalarak gevrek kırılma yüzey alanı ölçülerek birbirinden çıkarılmıştır ve basit matematiksel işlemle yüzde değer olarak elde edilmiştir [14, 23].

DIN 1.2367 malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan kayma kırılması değerleri Şekil 67’ de sunulmuştur. Şekilde de görülebildiği gibi 50 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 4,67 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 4,27 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler baz alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %8 azalmıştır. 53 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 3,49 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 3,13 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %10 azalmıştır. 56 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 2,58 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 2,88 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %11 artmıştır.

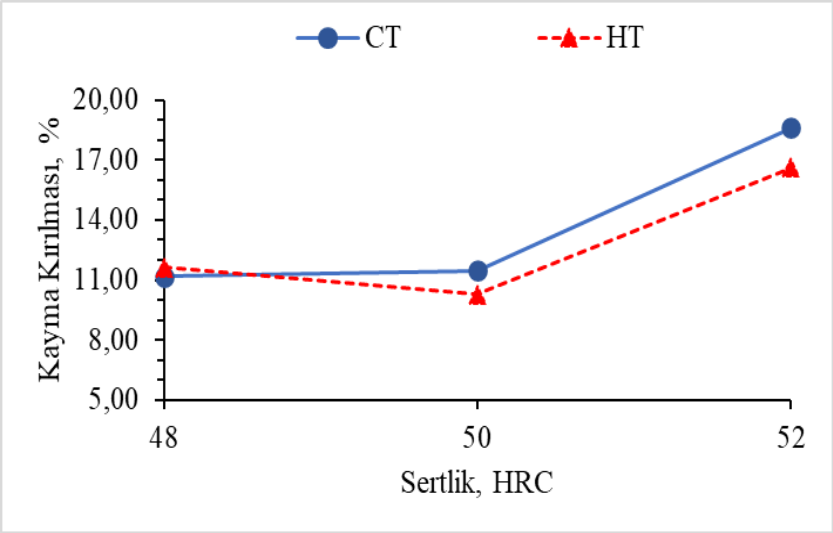
Grafik genel olarak incelendiğinde DIN 1.2367 malzemesinin oda sıcaklığındaki kayma kırılması değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 3.29. DIN 1.2367 malzemesine ait oda sıcaklığındaki kayma kırılma yüzdesi ve sertlik ilişkisi.

DIEVAR malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan kayma kırılması değerleri Şekil 3.30' da sunulmuştur. Şekilde de görülebildiği gibi 48 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 11,64 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 11,18 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler baz alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %4 azalmıştır. 50 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 10,27 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 11,47 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %11 artmıştır. 52 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 16,63 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 18,61 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %12 artmıştır.

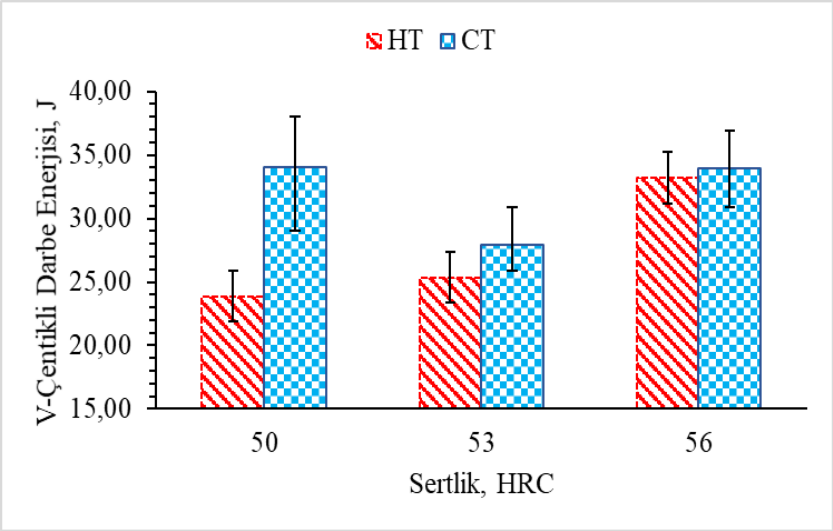
Grafik genel olarak incelendiğinde DIEVAR malzemesinin oda sıcaklığındaki kayma kırılması değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni 50, 52 HRC sertlik değerlerinde yapı içerisinde bulunan martenzit, kalıntı östenit ve çökelmiş karbürlerin hacimsel oranlarındaki değişimden kaynaklanmaktadır [21, 22].



Şekil 3.30. DIEVAR malzemesine ait oda sıcaklığındaki kayma kırılma yüzdesi ve sertlik ilişkisi.

DIN 1.2367 malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan darbe enerjisi değerleri Şekil 3.31' de sunulmuştur. Şekilde görülebileceği gibi 50 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 23,86 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 34,01 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %42,5 artmıştır. 53 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 25,36 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 27,88 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %10 artmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 56 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 33,20 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 33,91 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %2 artmıştır.

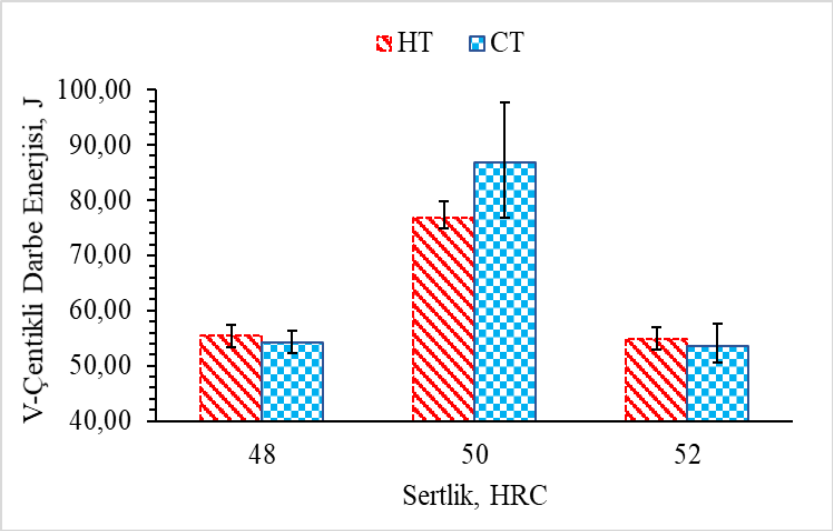
Grafik genel olarak incelendiğinde DIN 1.2367 malzemesinin 150 °C'de darbe enerjisi değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak arttığı görülmüştür.



Şekil 3.31. 1.2367 malzemesine ait 150 °C' de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi.

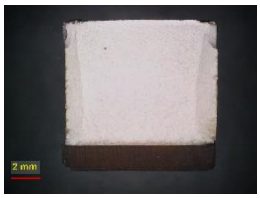
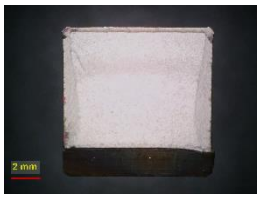
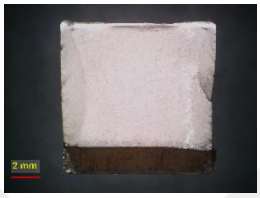
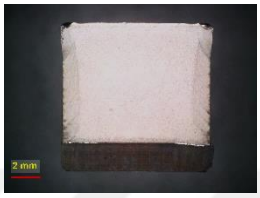
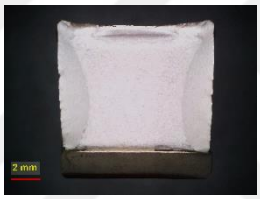
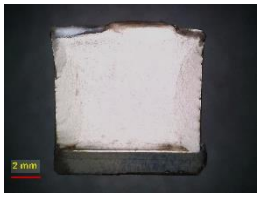
DIEVAR malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan darbe enerjisi değerleri Şekil 3.32' de sunulmuştur. Şekilde görülebileceği gibi 48 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 54,97 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 56,15 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %2 artmıştır. 50 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 76,83 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 86,72 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %13 artmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 52 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 52,29 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 58,86 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %12,6 artmıştır.

Grafik genel olarak incelendiğinde DIEVAR malzemesinin 150 °C'de darbe enerjisi değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak ilk başta arttığı 50 HRC sertlik değerinden sonra azaldığı görülmüştür. Bu sıcaklıkta darbe enerji değerleri oda sıcaklığında elde edilen değerlerle benzer artış ve azalış eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Her bir sertlik değeri için sıcaklığın artmasıyla birlikte darbe enerjisi değerlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 3.32. DIEVAR malzemesine ait 150 °C'de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi

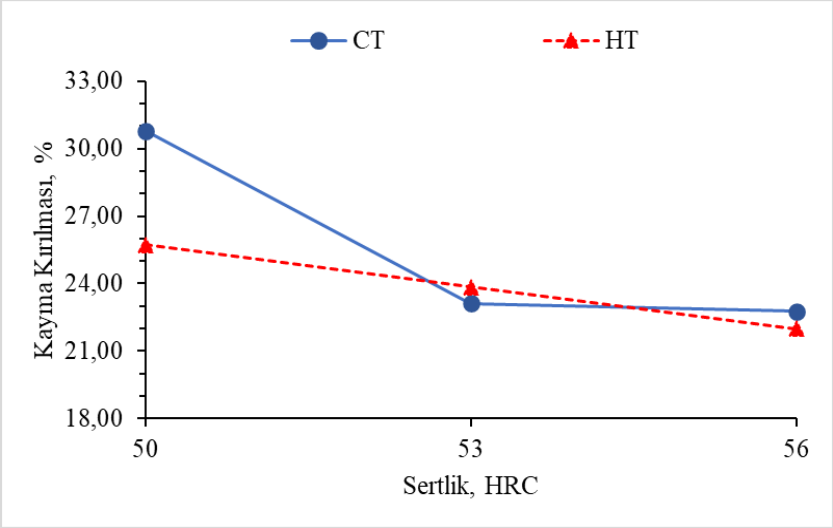
150 derece sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi sonrası malzemelerin kırılma yüzeyleri Şekil 3.33' de sertliğe ve ısıl işlem prosedürüne bağlı olarak sunulmuştur. Şekil incelendiğinde oda sıcaklığına göre tüm malzemelerin daha sünek bir davranış sergilediği görülmüştür.

1.2367	50 HRC	53 HRC	56 HRC
HT			
CT			
DIEVAR	48 HRC	50 HRC	52 HRC
HT			
CT			

Şekil 3.33. 150 °C sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi görüntüleri.

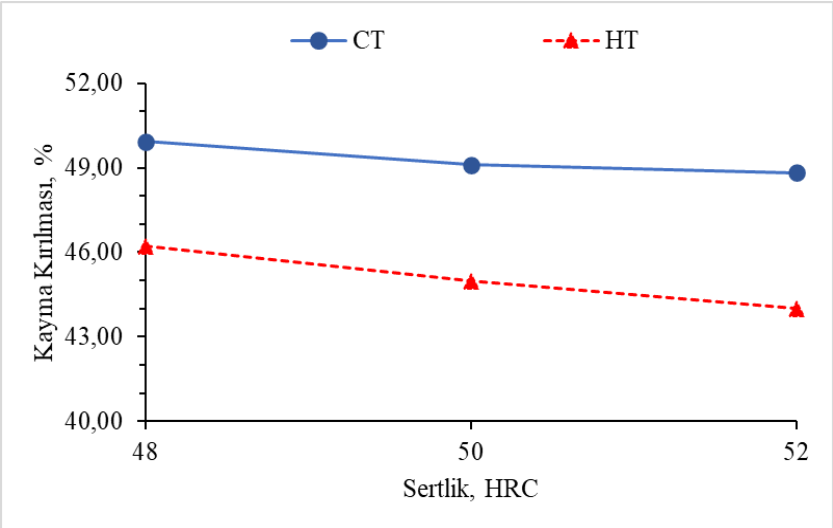
DIN 1.2367 malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan kayma kırılması değerleri Şekil 3.34'de sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi 50 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 25,72 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 30,79 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %20 artmıştır. 53 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 23,84 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 23,13 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %3 azalmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 56 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 21,98 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 22,77 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %3,6 artmıştır.

Grafik genel olarak incelendiğinde DIN 1.2367 malzemesinin 150 °C'deki kayma kırılması değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı görülmüştür.



Şekil 3.34. DIN 1.2367 malzemesine ait 150 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi

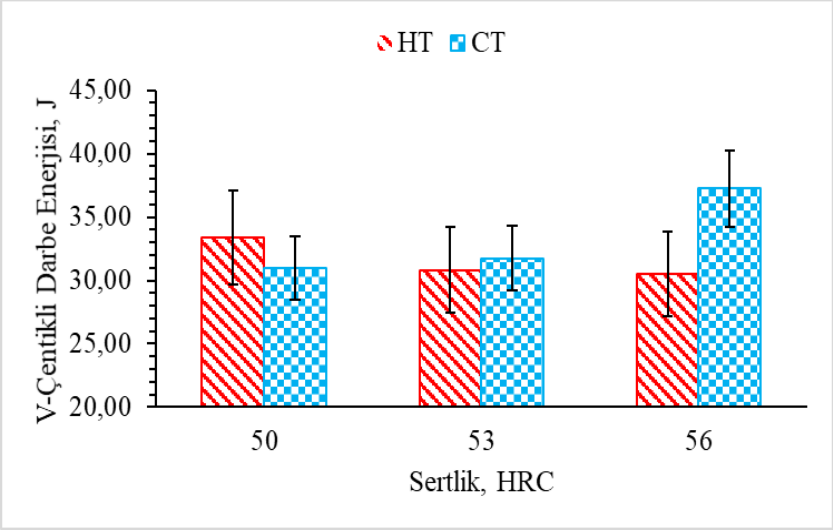
DIEVAR malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan kayma kırılması değerleri Şekil 3.35'de sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi 48 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 46,21 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 49,94 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %8 artmıştır. 50 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 44,98 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 49,10 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %9,2 artmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 52 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 43,99 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 48,82 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %11 artmıştır. Grafik genel olarak incelendiğinde DIEVAR malzemesinin 150 °C'deki kayma kırılması değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Bu sıcaklıkta DIN 1.2367 malzemesinde görüldüğü gibi sertlik artışına bağlı olarak kayma kırılması değerlerindeki azalış DIEVAR malzemesinde de görülmektedir.



Şekil 3.35. DIEVAR malzemesine ait 150 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi

DIN 1.2367 malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan darbe enerjisi değerleri Şekil 3.36' da sunulmuştur. Şekilde görülebileceği gibi 50 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 33,39 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 30,98 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %7 azalmıştır. 53 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 32,07 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 27,73 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %13,5 azalmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 56 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 30,52 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 37,23 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %22 artmıştır.

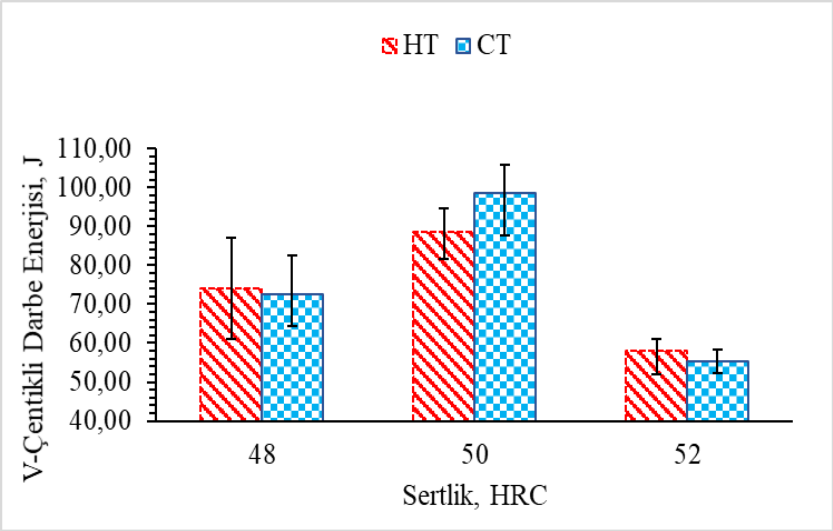
Grafik genel olarak incelendiğinde DIN 1.2367 malzemesinin 300 °C'de darbe enerjisi değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Bu sıcaklıkta sertlik artışına bağlı olarak darbe enerjisi değerlerindeki azalış DIN 1.2367 malzemesinde de görülmektedir.



Şekil 3.36. DIN 1.2367 malzemesine ait 300 °C'de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi

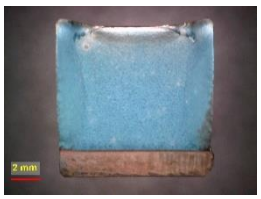
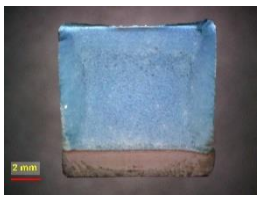
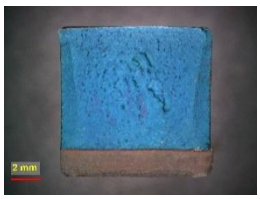
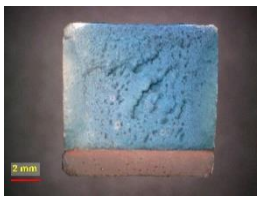
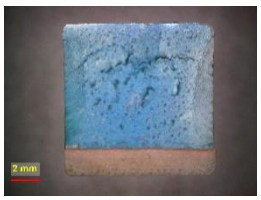
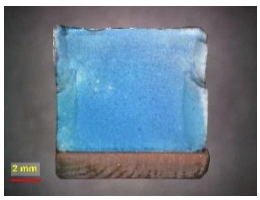
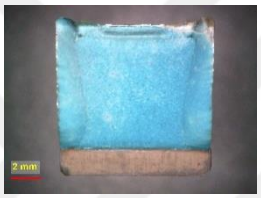
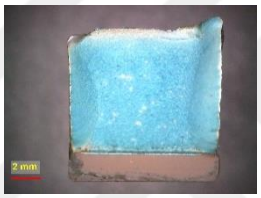
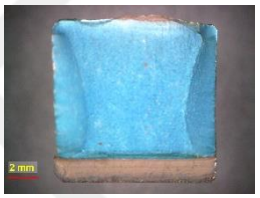
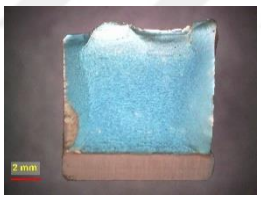
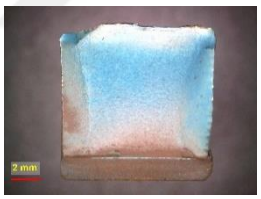
DIEVAR malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan darbe enerjisi değerleri Şekil 3.37' de sunulmuştur. Şekilde görülebileceği gibi 48 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 64,57 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 84,88 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %31,5 artmıştır. 50 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 88,52 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 98,70 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %11,5 artmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 52 HRC sertlikte darbe enerjisi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 58,12 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen darbe enerjisi değeri 55,30 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden darbe enerjisi değeri olarak yaklaşık %5 azalmıştır.

Grafik genel olarak incelendiğinde DIEVAR malzemesinin 300 °C'de darbe enerjisi değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak ilk başta arttığı 50 HRC sertlik değerinden sonra azaldığı görülmüştür. DIEVAR malzemesi için bu sıcaklıkta elde edilen darbe enerji değerleri oda sıcaklığında ve 150 °C'de elde edilen değerlerle benzer artış ve azalış eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Her bir sertlik değeri için sıcaklığın artmasıyla birlikte darbe enerjisi değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu artışa neden olan proses sıcaklığın artmasıyla yapıdaki sünek çukurcukların dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Yükselen sıcaklıklarda yapıdaki bu çukurcukların çekirdeklenmesi, büyümesi ve birleşmesi temel sünek kırılma özelliğidir [24-26].



Şekil 3.37. DIEVAR malzemesine ait 300 °C'de darbe enerjisi ve sertlik ilişkisi

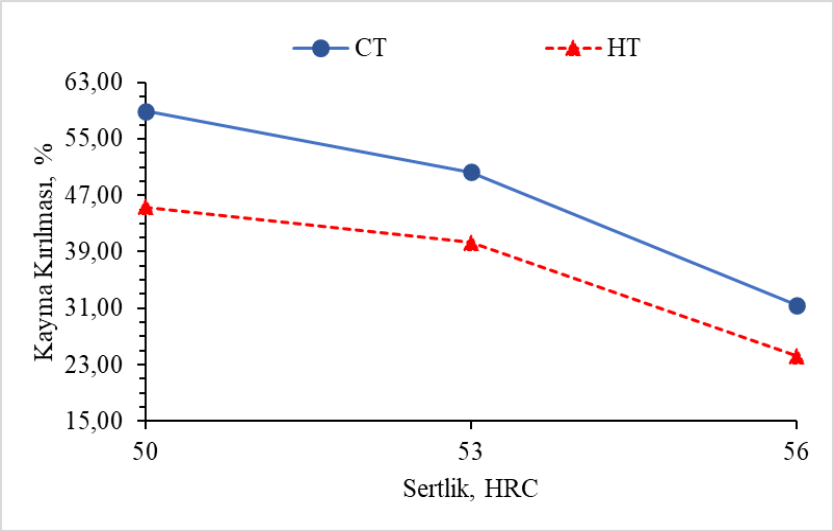
300 derece sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi sonrası malzemelerin kırılma yüzeyleri Şekil 3.38' de sertliğe ve ısıl işlem prosedürüne bağlı olarak sunulmuştur. Şekil incelendiğinde oda sıcaklığına ve 150 derece sıcaklığa göre tüm malzemelerin daha sünek bir davranış sergilediği görülmüştür.

1.2367	50 HRC	53 HRC	56 HRC
HT			
HT-CRYO			
DIEVAR	48 HRC	50 HRC	52 HRC
HT			
HT-CRYO			

Şekil 3.38. 300 °C sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi görüntüleri.

DIN 1.2367 malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan kayma kırılması değerleri Şekil 3.39'da sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi 50 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 45,36 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 58,92 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %30 artmıştır. 53 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 40,32 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 50,30 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %25 artmıştır. Şekil 27'de görüldüğü gibi 56 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 24,25 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 31,45 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %29,7 artmıştır. Kriyojenik işlemin bu sıcaklıkta hesaplanan kayma kırılma yüzde değerleri her bir sertlik değeri için konvansiyonel ısıl işlemden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni kriyojenik işleme maruz kalmış numunelerin kırılma yüzeylerinde yarı gevrek-sünek kırılma davranışı gözlenmiştir.

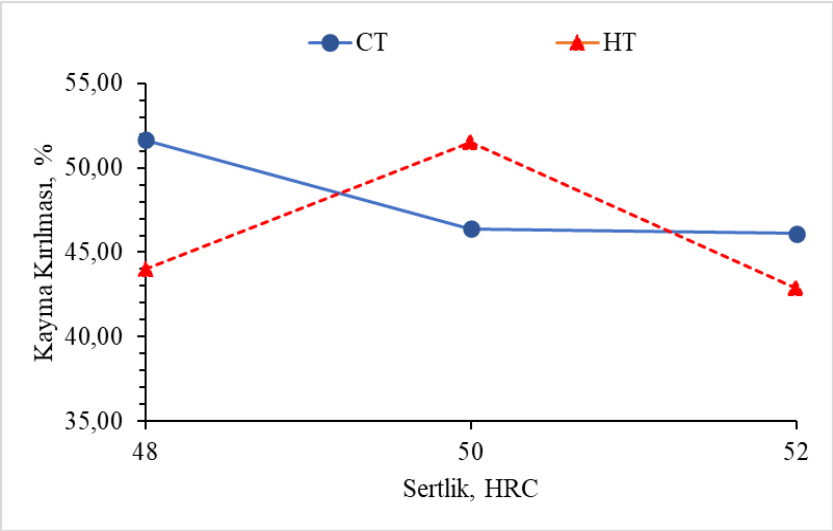
Grafik genel olarak incelendiğinde DIN 1.2367 malzemesinin 300 °C'deki kayma kırılması değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Bu sıcaklıkta sertlik artışına bağlı olarak kayma kırılması değerlerindeki azalış DIN 1.2367 malzemesinde de görülmektedir.



Şekil 3.39. DIN 1.2367 malzemesine ait 300 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi

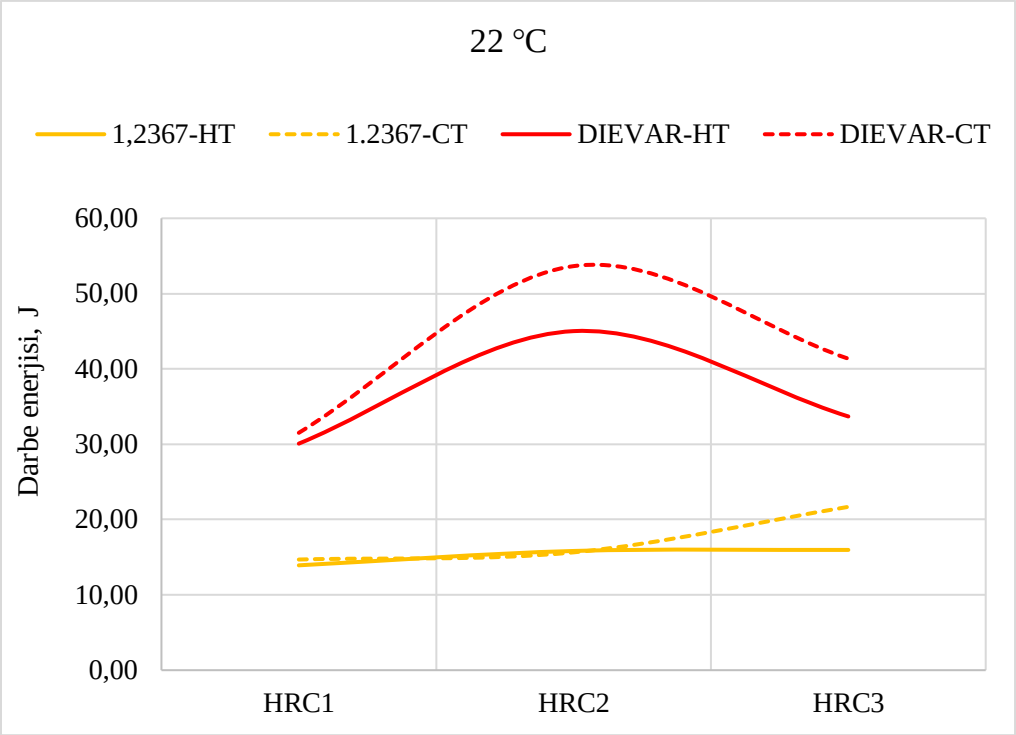
DIEVAR malzemesinin çentik darbe testi sonrası hesaplanan kayma kırılması değerleri Şekil 3.40'da sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi 48 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 44,01 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 51,65 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %17 artmıştır. 50 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 51,53 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 46,40 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %10 azalmıştır. Şekilde görüldüğü gibi 52 HRC sertlikte kayma kırılma yüzdesi değeri konvansiyonel ısıl işlem koşulunda 42,85 olarak ölçülmüştür. Bu sertlikte kriyojenik işlem görmüş malzemenin çentik darbe testi sonrası ölçülen kayma kırılma yüzdesi değeri 46,11 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında kriyojenik işlem konvansiyonel işlemden kayma kırılma değeri olarak yaklaşık %7 artmıştır.

Grafik genel olarak incelendiğinde DIEVAR malzemesinin 300 °C'deki kayma kırılması değerleri sertlikteki artışa bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Bu sıcaklıkta DIN 1.2367 malzemesinde görüldüğü gibi sertlik artışına bağlı olarak kayma kırılması değerlerindeki azalış DIEVAR malzemesinde de görülmektedir.



Şekil 3.40. DIEVAR malzemesine ait 300 °C'de kayma kırılması yüzdesi ve sertlik ilişkisi

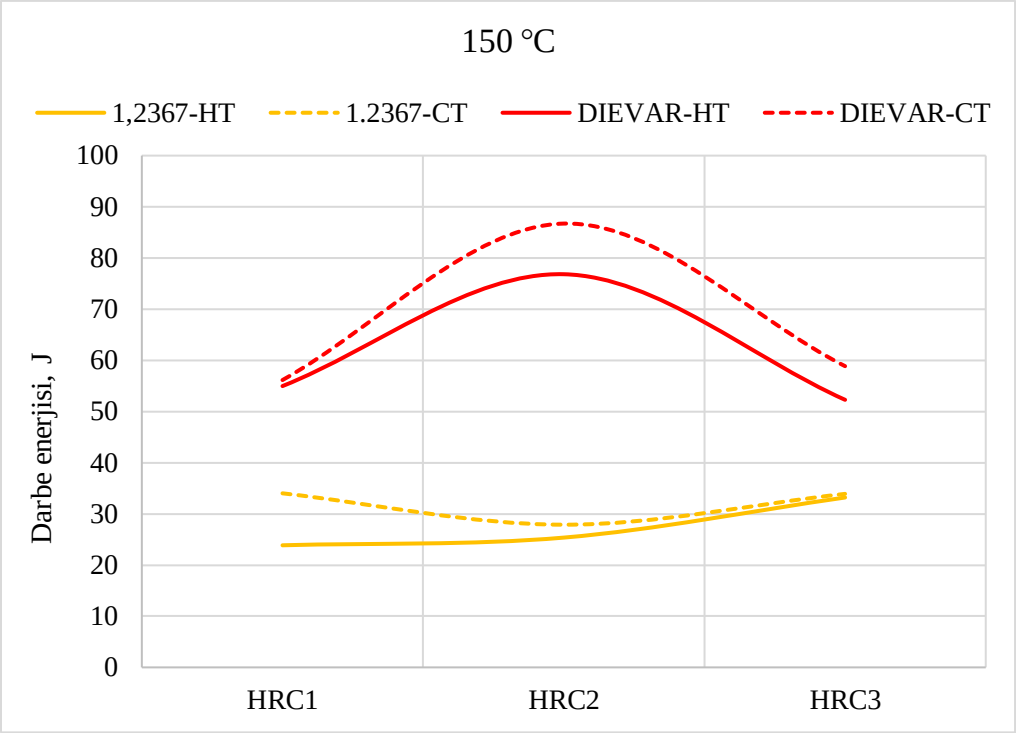
Tüm deneyler sonrasında tüm sıcaklıklarda en yüksek darbe enerjisine sahip malzemeyi belirlemek için tüm malzemelerin kıyaslandığı grafikler oluşturulmuştur. Şekil 3.41'de oda sıcaklığında meydana gelen tüm darbe enerjileri sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere tüm koşullarda DIEVAR malzemesi en yüksek darbe enerjisi oluşturmuştur. DIEVAR malzemesin kendi içerisinde ise kriyojenik ısıl işlemin etkisi ile konvansiyonel ısıl işleme oranla daha yüksek olmuştur.



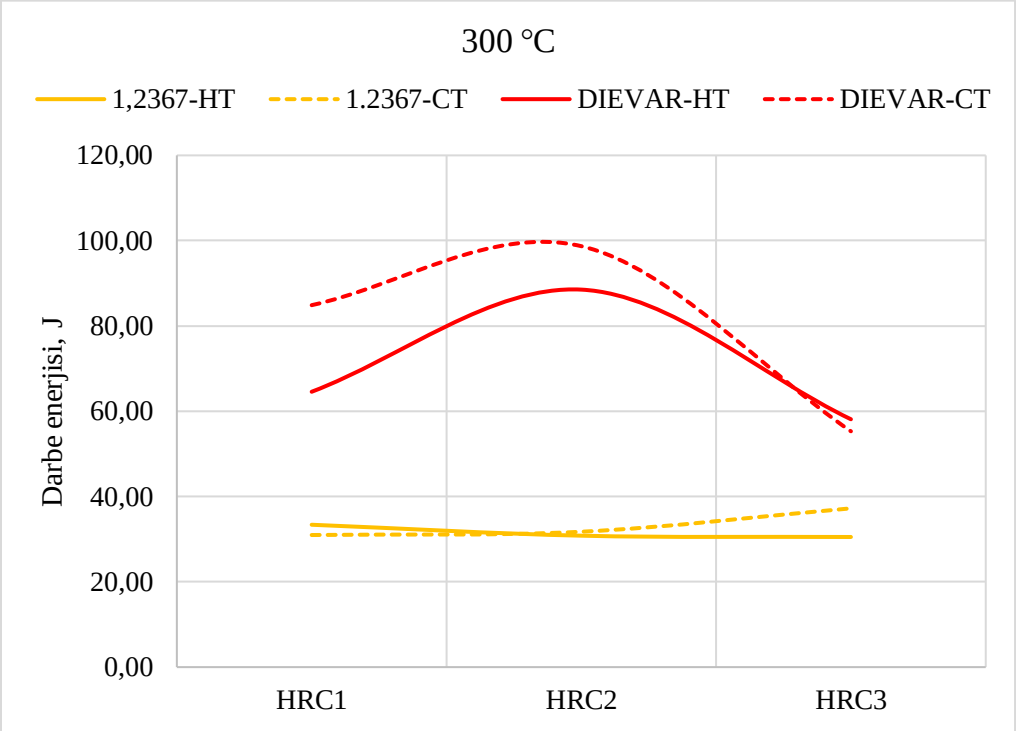
Şekil 3.41. Oda sıcaklığında yapılan darbe çentik testi sonucunda oluşan darbe enerjileri.

150 derece sıcaklıkta yapılan tüm çentik darbe sonuçlarının ortalaması Şekil 3.42'de sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere oda sıcaklığında yapılan testlerde olduğu gibi bu sıcaklıkta da DIEVAR malzemesi en yüksek çıkmıştır. Özellikle orta sertlik olan 50 HRC sertlikte en yüksek değerine ulaşmıştır. Ayrıca yine kriyojenik ısıl işlem konvansiyonel ısıl işleme göre daha tok olmuştur.

300 derece sıcaklıkta yapılan tüm çentik darbe sonuçlarının ortalaması Şekil 3.43'de sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere oda sıcaklığında ve 150 derece sıcaklıkta yapılan testlerde olduğu gibi bu sıcaklıkta da DIEVAR malzemesi en yüksek çıkmıştır. Özellikle yine orta sertlik olan 50 HRC sertlikte en yüksek değerine ulaşmış olması dikkat çekmektedir.



Şekil 3.42. 150 °C sıcaklıkta yapılan darbe çentik testi sonucunda oluşan darbe enerjileri.



Şekil 3.43. 300 °C sıcaklıkta yapılan darbe çentik testi sonucunda oluşan darbe enerjileri.

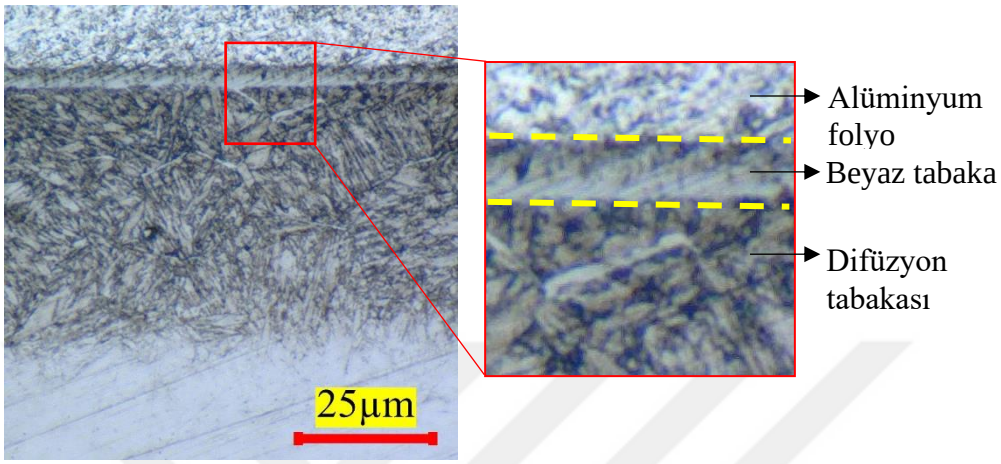
3.4 Maçaların imal edilmesi, yüzey sertleştirme işleminin uygulanması (nitrokarbürizasyon) ve karakterizasyonu

Günümüzde sıcak iş takım çeliklerinden beklenen yüksek aşınma, tokluk direnci ve yorulma dayanımı gibi bazı mekanik özellikleri geliştirmek için çeşitli ısıl işlem teknikleri kullanılmaktadır. Nitrokarbürizasyon işlemi de bu mekanik özellikleri iyileştirmeye yarayan termokimyasal bir yüzey işlemi olan ısıl işlem tekniğidir [27-29].

Nitrokarbürizasyon işlemi yaklaşık 550-600 °C sıcaklıkları aralığında uygulanmaktadır. Nitrokarbürizasyon işlemi genel olarak düşük alaşımlı çeliklerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Düşük alaşımlı çeliklerde nitrür yapıcı bir element bulunmadığından dolayı sertleşmeyi zayıflatmaktadır. Bu işlemde öncelikle sıcaklık yüksek tutulur ve difüzyon miktarının bu sıcaklıkla arttırılması hedeflenir. Ancak sadece difüzyon artışı tek başına sertliği arttırıcı etken olmadığı için yeterli değildir. Düşük alaşımlı çeliklerde azot atomları çok derinlere serbestçe difüze olabilmektedir ve bu da sertlik oluşumu için engel teşkil etmektedir. Bu proseste azotun derinlere inmeden yüzeyde yoğunlaşması için azotla beraber karbon atomu da kullanılmaktadır. Karbon atomu atomik boşlukları doldurarak azotun ilerlemesini engellemekte ve yüzeyde azot konsatrasyonunun artmasını sağlamaktadır. Sıcaklık arttırıldığı zaman yüksek difüzyon hızından dolayı yüzeyde beyaz tabaka oluşumu azalmaktadır. Karbon difüzyonu nitrokarbürizasyon işleminde beyaz tabaka oluşumu için önemlidir.

Nitrokarbürizasyon işleminde malzeme yüzey altında iki tabaka oluşmaktadır. İlk tabaka yaklaşık 8-12 µm kalınlığında olup beyaz tabaka adıyla bilinir. Beyaz tabakanın aşınma direnci üzerine etkisi vardır. İkinci tabaka ise difüzyon tabakasıdır ve yaklaşık olarak 100-150 µm aralığında olabilir. Difüzyon tabakası ise malzemenin yorulma direncine etki etmektedir. Şekil 3.44’ de örnek bir nitrokarbürizasyon mikroyapısı sunulmuştur. Nitrokarbürizasyon işlemi uygulanmış numune incelenmek üzere bakalite alınmadan önce alüminyum folyo ile sarılmıştır. Bunun sebebi bakalite alma esnasında oluşan yaklaşık 180 derece sıcaklığın malzeme sertliğinde ve mikroyapısında meydana gelebilecek olası değişimini engellemektedir. Bu nedenle şekilde beyaz tabaka üzerinde alüminyum folyo görülmektedir.

Tez kapsamında iki farklı nitrokarbürizasyon süresi belirlenmiş ve uygulanmıştır. Ancak firmalar için bu süreler gizli olduğu için süre bilgilerine ulaşılamamıştır. Ancak istenilen şekilde iki farklı tabaka oluşturuldu. Birinci numune T1, ikinci numune ise T2 olarak kodlandı.



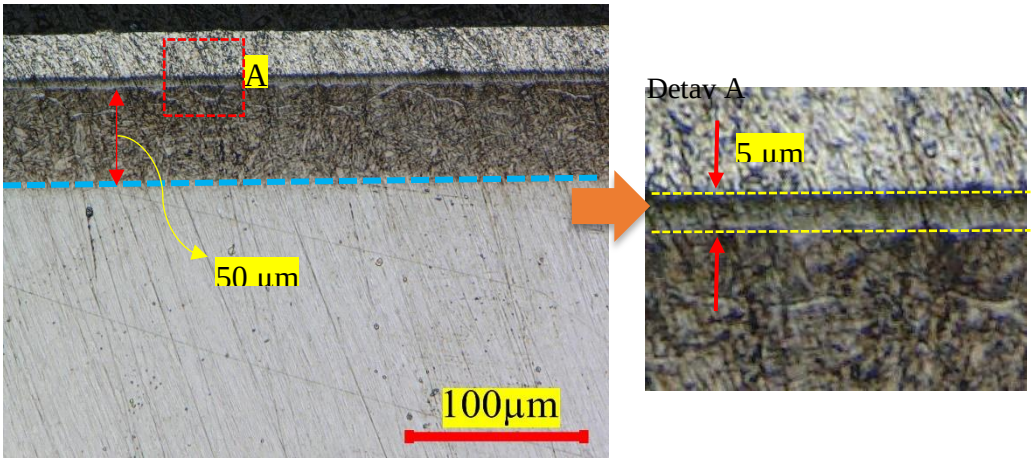
Şekil 3.44. Örnek nitrokarbürizasyon mikroyapısı.

3.5 Yüzeyi sertleştirilmiş maçaların metalografik, mikrosertlik, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma ölçümleri

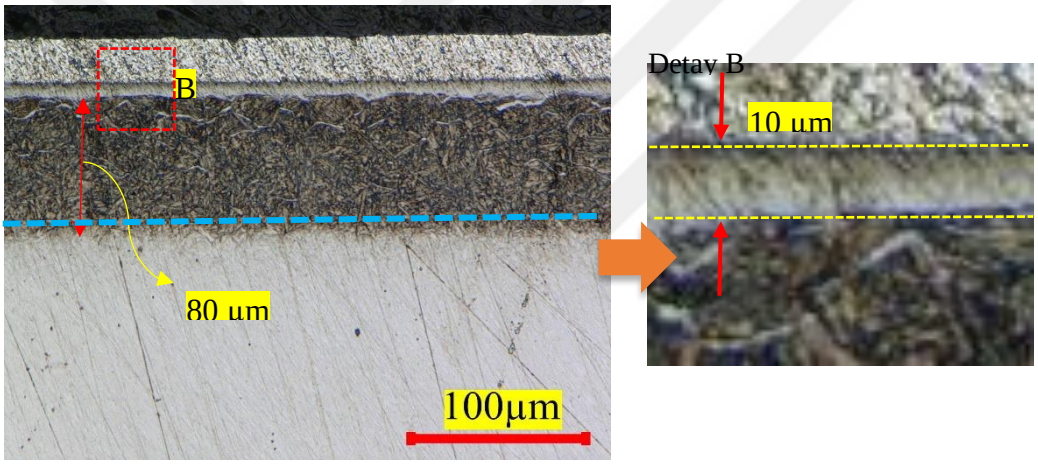
3.5.1 Mikroyapı Analizi

Farklı sürelerde yapılan nitrokarbürizasyon işlemi sonrasında parçalardan alınan numuneler folyo yardımı ile sarılıp bakalite alınmıştır. Bu aşamada en iyi tokluğu sağlayan DIEVAR malzemesi esas alınmıştır. Farklı sürelerde yapılan nitrokarbürizasyon numunelerinde farklı kalınlıklarda beyaz tabaka ve difüzyon tabakası oluşmuştur. İlk numunede (T1) nitrokarbürizasyon sonrasında yaklaşık 5 mikron beyaz tabaka oluşurken sürenin artırılması ile ikinci numunede(T2) yaklaşık 10 mikron beyaz tabaka kalınlığı ölçülmüştür. Aynı şekilde işlem süresinin artması beyaz tabakanın altında oluşan difüzyon tabakasına da etki etmiştir. Yaklaşık 50 mikron olan difüzyon tabakası süreninde artırılması ile yaklaşık 80 mikron olmuştur. Şekil 3.45' de her iki farklı işlem süresi sonucunda elde edilen numunelerin mikroyapı görüntüleri sunulmuştur. Mikroyapı görüntüleri dijital optik mikroskop yardımı ile alınmış olur, beyaz tabaka kalınlıkları ve difüzyon tabakası kalınlıkları şekil üzerinde gösterilmiştir.

1. numune(T1)



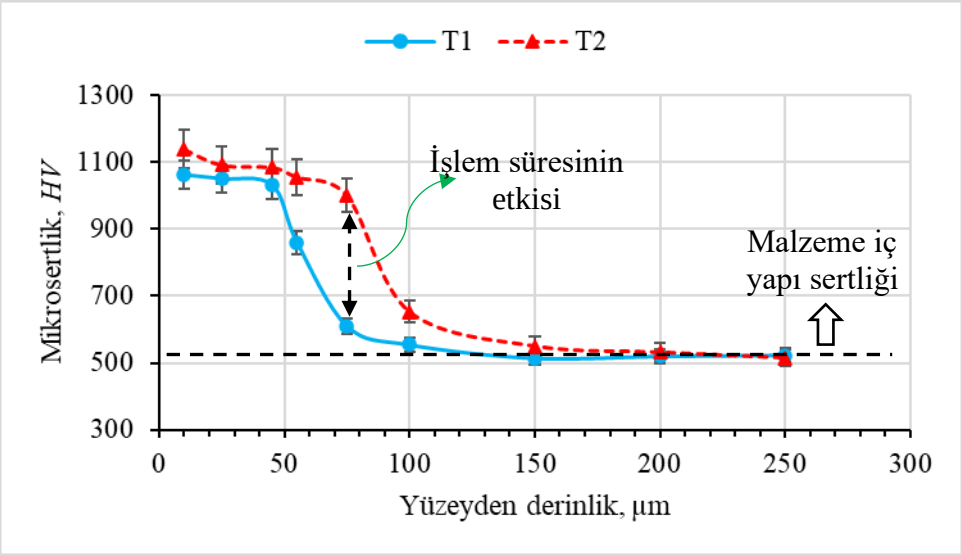
2. numune(T2)



Şekil 3.45. Nitrokarbürizasyon sonrası alınan mikroyapı görüntüleri.

3.5.2 Mikrosertlik Analizi

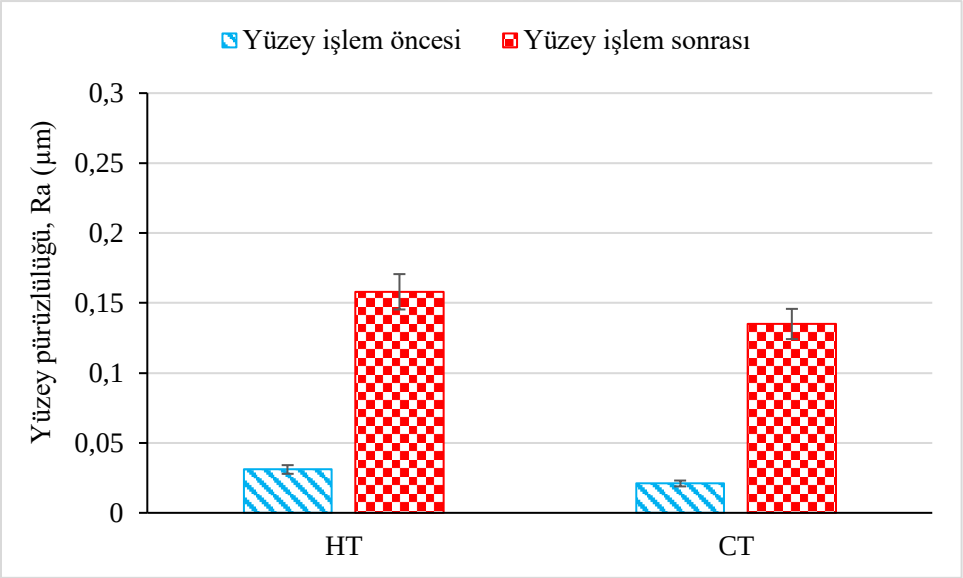
Nitrokarbürizasyon işlemi sonrasında malzeme yüzeyi altında sertlik artışı meydana gelmektedir. Bu sertlik artışı malzeme yüzeyinden belli bir derinliğe kadar görülmektedir. Şekil 3.46' da T1 ve T2 olmak üzere iki ayrı numunenin yüzey altından alınan mikro sertlik değerleri sunulmuştur. Görüldüğü üzere nitrokarbürizasyon işlemi yüzey altı sertliklerinde ciddi artışa sebep olmuştur. T1 koşulunun yüzeyden 10 mikrometre derinlikteki mikrosertlik değeri 1063 *HV* iken T2 koşulunda 1139 *HV* olmuştur. Bu artış yaklaşık olarak %7 oranında olmuştur. Yüzeyden 75 mikrometre derinlikte ölçülen mikrosertlik değerleri T1 koşulunda 861 HV, T2 koşulunda ise 1056 HV olmuştur. Değerlerden de anlaşılacağı üzere T1 koşulunda sertlik değeri azalma eğilimi gösterirken, T2 koşulunda sertlik değeri halen 1000 HV' nin üzerinde kalmıştır. Bu durum sürenin artması ile artan difüzyon tabakası kalınlığıyla ilgilidir. Yüzeyden 75 mikrometre derinlikte T1 koşulunda sertlik değeri 610 HV olmuş ve malzeme iç yapı sertliğine oldukça yaklaşmıştır. Ancak T2 koşulunda ortalama mikrosertlik değeri 1000 HV olarak ölçülmüştür. Bu durumda T2 koşulundaki mikrosertlik değeri T1 den yaklaşık olarak %64 daha fazla olmuştur. Sonuç olarak nitrokarbürizasyon süresi yüzey altı mikrosertlik derinliğinde oldukça etkili olmuştur. Difüzyon tabakasının artması sertliğe doğrudan etki etmiştir.



Şekil 3.46. Farklı sürelerde gerçekleştirilen nitrokarbürizasyon işlemi sonrası yüzey altında meydana gelen sertlik değişimi.

3.5.3 Yüzey Pürüzlülüğü Analizi

Numuneler aşınma analizler için hazırlanırken yüzeyleri parlatılmıştır. Dolayısı ile aşınmadaki sürtünmeleri azaltmak hedeflenmiştir. Yüzey işlem öncesi alınan yüzey pürüzlülük değerleri yüzey işlem sonrası alınan ölçümler ile kıyaslanmış ve Şekil 3.47' de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde görülüyor ki her iki ısıl işlem prosedüründe de yüzey işlem sonrası numunelerin yüzeylerinde pürüzlülük artışı oluştur. HT koşulunda yüzey işlem öncesi 0,031 mikron olan Ra değeri yüzey işlem sonrasında 0,158 mikron olarak karşımıza çıkmıştır. CT koşulunda ise 0,021 olan değer yüzey işlem sonrasında 0,135 olmuştur. Dolayısı ile görülüyor ki yüzey işlem sonrası tekrar bir parlatma işlemi uygulanarak verimliliği artırmak mümkündür.



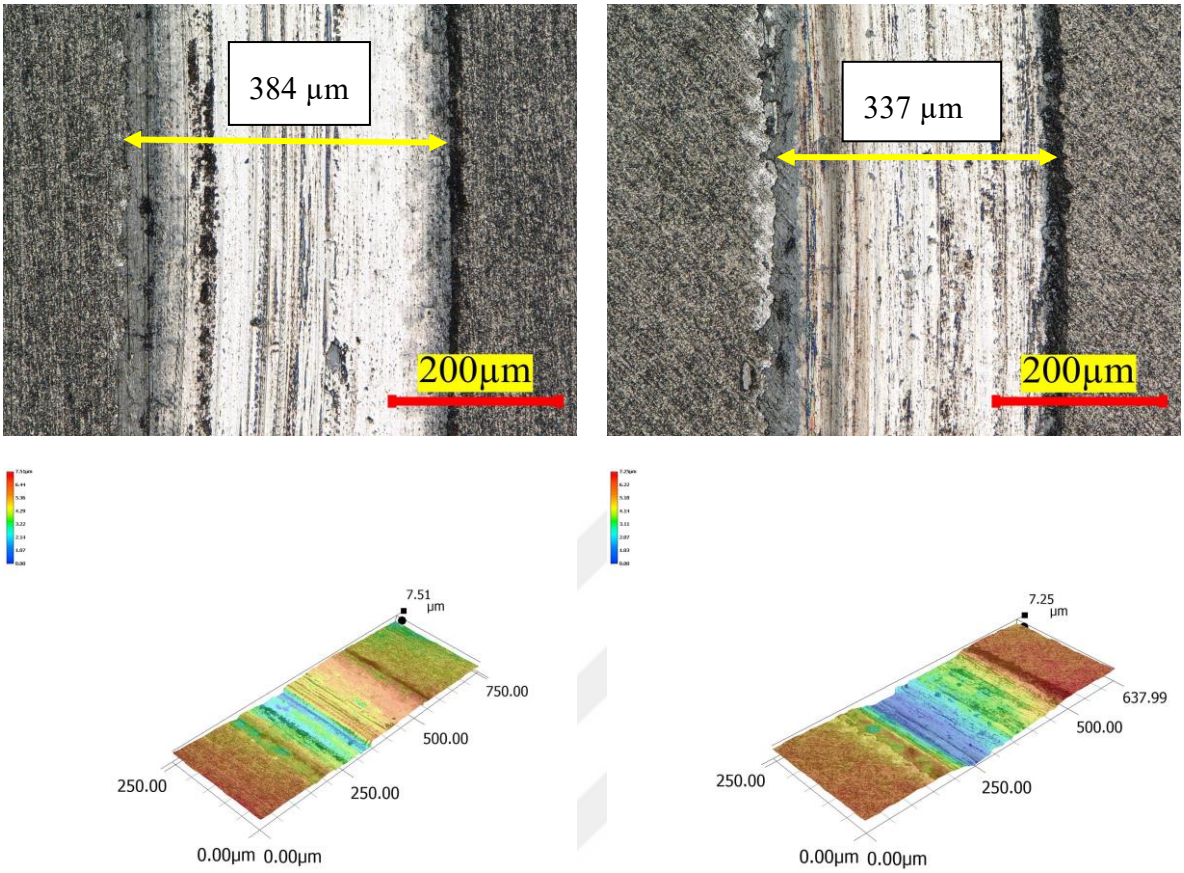
Şekil 3.47. Farklı ısıl işlem prosedürleri için yüzey işlemi öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değerleri.

3.5.4 Aşınma Analizleri

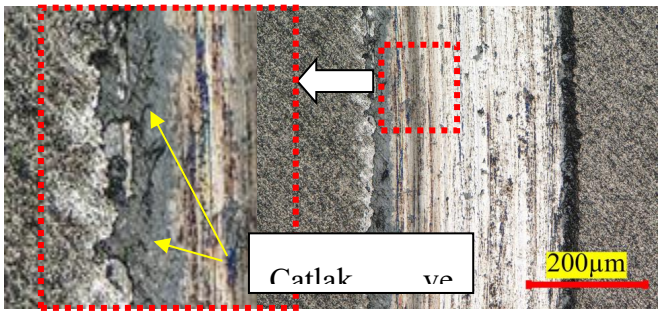
Nitrokarbürizasyon işlemi yüzey ve yüzey altında sertlik artışına neden olduğu için aşınma dayanımınında artması beklenir. Nitrokarbürizasyon süresinin artması ise aşınma direncini olumlu yönde etkiler. Literatürde yapılan çalışmalara göre nitrokarbürizasyon süesinin artması ile artan beyaz tabaka kalınlığı sayesinde aşınma direncinde iyileşmeler olmuştur [30].

Yüzey sertleştirme analizi uygulanmış numunelerin aşınma analizlerinin ilk aşaması olarak, iki farklı sürede uygulanan ve iki ayrı tabaka kalınlığı elde edilen numunelerin aşınma davranışlarının karşılaştırılması incelenmiştir. Şekil 3.48' de oda sıcaklığı koşularında yapılan konvansiyonel ısıl işlem görmüş DIEVAR malzemesine (50 HRC) ait farklı tabaka kalınlıklarında meydana gelen aşınma izleri sunulmuştur. 5 mikron beyaz tabaka olan malzemede aşınma izi genişliği ortalama 384 mikron olmuştur. Bu değer hiç yüzey işlem görmemiş aşınma değerinden (358 μm) yaklaşık %7 daha fazladır. Bu durum beklenmeyen bir sonuçtur. Yüzey işlem görmüş malzemenin az da olsa daha fazla aşınmasının sebebi yüzey pürüzlülük değerinin fazla olmasından kaynaklanabilir. Çünkü yüzey pürüzlülüğü aşınmaya etki eden parametrelerden biridir. 10 mikron beyaz tabaka olan numunede ise aşınma izi genişliği 337 μm olmuştur. Bu değer ise işlem görmemiş malzemeden yaklaşık % 6 oranında daha azdır. 10 mikronluk beyaz tabaka yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanan farkı minimize etmiş ve aşınma direncini artırmıştır. Ancak yüzey işlemin etkisi yine de sınırlı olmuştur. Çok sert ve gevrek yüzeye uygulanan noktasal kuvvet sonuçu yüzeyde oluşan kırılma ve kopmalara neden olmuştur. Şekil 3.49' da aşınma izlerinin kenarlarındaki bu kırılma ve kopma izlerini görmek mümkündür. Dolayısı ile yüzeyde oluşturulan sert tabakanın artması aşınma direncini artırmıştır. Ancak bu etki sınırlı düzeyde kalmıştır. Isıl işlem prosedürlerinin(HT ve CT) ve sıcaklığın etkisinin kıyaslanması için aşınma direnci daha yüksek olan 10 mikronluk tabakaya sahip numunelerle çalışmaya devam edilmiştir.

5 mikron beyaz tabaka (T1) 10 mikron beyaz tabaka(T2)



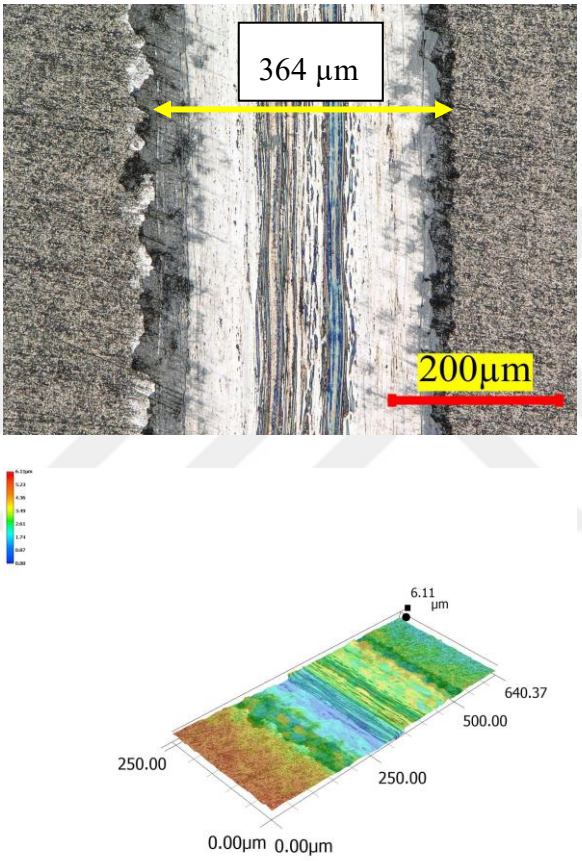
Şekil 3.48. İki farklı sürede uygulanan yüzey işlemlerin aşınma dayanımlarının karşılaştırılması.



Şekil 3.49. Yüzey işlem görmüş malzemenin aşınma izindeki çatlak ve kopmaların örnek görüntüsü.

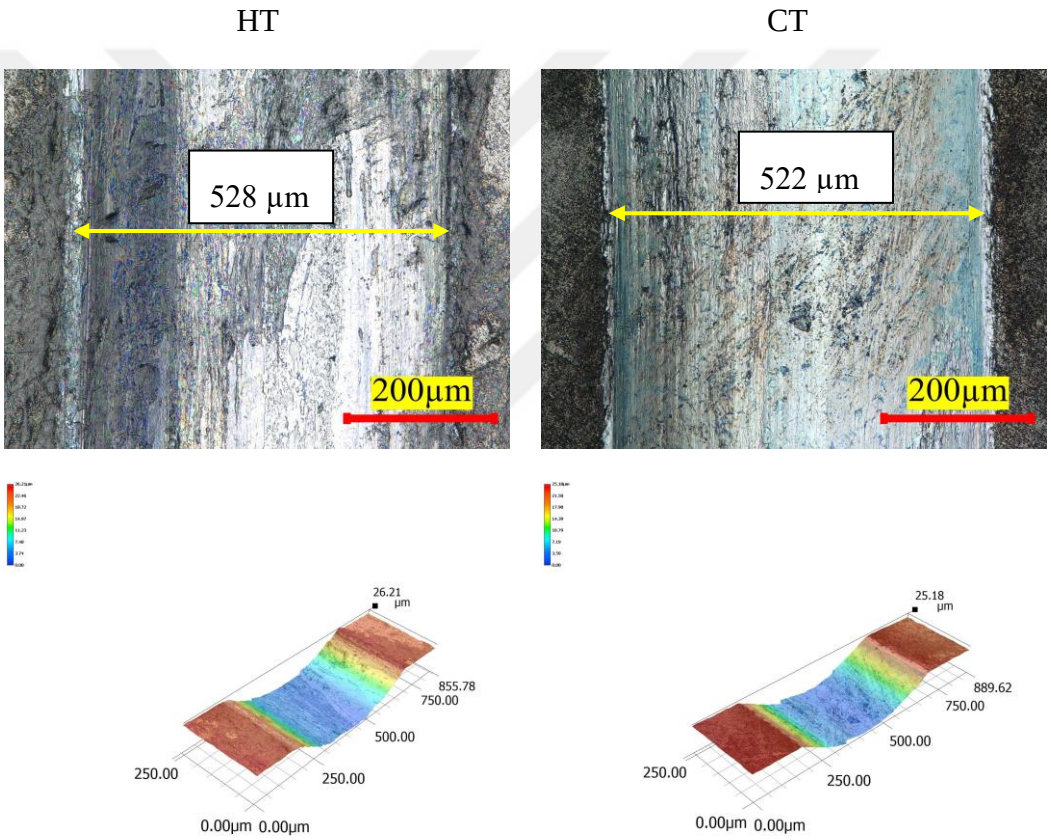
Şekil 3.50’ de kriyojenik işlem sonrası 10 mikron beyaz tabaka kalınlığı uygulanan DIEVAR malzemesinin aşınma görüntüsü sunulmuştur. Görüldüğü üzere aşınma izi genişliği ortalama 364 mikrometre olarak ölçülmüştür. Bu değer yüzey sertleştirme işlemi görmemiş malzemeye (510 µm) göre %28 daha az olmuştur. Değerlerden de anlaşılacağı üzere kriyojenik ısıl işlem sonrası nitrokarbürizasyon işlemi aşınma direncini artırmada etkili bir yöntem olmuştur.

10 mikron beyaz tabaka(T2-CT)



Şekil 3.50. Kriyojenik işlem sonrası nitrokarbürizasyon yüzey işlemi uygulanan numunenin aşınma görüntüsü.

Oda sıcaklığında yapılan deneylerden sonra nitrokarbürizasyon işleminin yüksek sıcaklıklardaki performansını incelemek için 300 derece sıcaklıkta aşınma deneyleri yapılmıştır. Şekil 3.51' de konvansiyonel ısıl işlem ve kriyojenik ısıl işlem sonrası uygulanan nitrokarbürizasyon numunelerinin 300 derece sıcaklıktaki aşınma görüntüleri sunulmuştur. Konvansiyonel ısıl işlem uygulanan numunedeki aşına izi genişliği 528 mikron iken kriyojenik ısıl işlem uygulanan numunedeki aşınma izi genişliği 522 mikron olmuştur. Görüldüğü üzere ısıl işlem prosedürünün bu sıcaklıktaki aşınma davranışına etkisi çok sınırlı olmuştur.



Şekil 3.51. Yüzey işlem uygulanmış numunelerin 300 °C sıcaklıktaki aşınma görüntüleri.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada özellikle de firksiyon ve otomatik preslerle sıcak dövme sürecinde maça malzemesi olarak yoğun şekilde endüstride kullanılan DIN 1.2367 ve DIEVAR sıcak iş takım çelik malzemeleri hem üreticiden alındıkları özelliklerde hem de farklı ısıl işlemler özellikle de kriyojenik ısıl işlem de dahil süreçlere tabi tutulmuşlar ve 3 farklı sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu elde edilen sertlik değerlerlerindeki numune parçalar oda sıcaklığı da dahil yüksek sıcaklıklarda aşınma ve charpy darbe testine tabi tutulmuş ve hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda aşınma ve kırılma davranışları incelenmiştir.

Diğer taraftan bu malzemelerden sonuçları daha iyi olan DIEVAR malzemeden yapılan maçalara yüzey işlemi (nitrokarbürizasyon) uygulanarak yüzeyde sert tabaka oluşumu sağlanmış ve bunun malzemenin oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda aşınma davranışına etkisi irdelenmiştir.

Böylece sıcak dövme sürecinde farklı sıcaklıklara maruz kalan maçaların farklı sıcaklıklardaki aşınma ve kırılma davranışları ile ilgili deneysel veri oluşturulmuştur. Maça malzemelerine uygulanan ısıl işlemler, bunlar sonucunda elde edilen sertlikler ve bu sahip olunan özellikler ile sıcak dövme sürecinde gösterecekleri aşınma ve kırılma davranışı konusunda ilerki yıllarda yapılabilecek nümerik ve analitik çalışmalara da temel oluşturacak sistematik deneysel çalışmalar yapılarak veriler ortaya konulmuştur. Tez ile sertik-tokluk-mikroyapı ve bunların aşınmaya ve kırılmaya etkisi farklı sıcaklıklarda bahsi geçen malzemeler için ilk defa literatürde sistematik olarak yer almaktadır. Dolayısı ile tez çalışmasının literatüre katkısı olmuştur. Ayrıca sıcak iş takım çeliklerindeki endüstriyel geliştirmelerin sonuç verdiği içerisine ilave edilen ek elementlerle oluşturulan mikroyapı ve mekanik özelliklerin halihazırdaki muadili kabul edilen standart sıcak iş takım çeliklerine göre kayda değer üstünlükler sağladığı da bu tez çalışması ile ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Barrau, O., et al., *Analysis of the friction and wear behaviour of hot work tool steel for forging.* Wear, 2003. **255**(7-12): p. 1444-1454.
2. Boher, C., et al., *Experimental investigation of the tribological behavior and wear mechanisms of tool steel grades in hot stamping of a high-strength boron steel.* Wear, 2012. **294**: p. 286-295.
3. Wei, M., et al., *Comparative research on the elevated-temperature wear resistance of a cast hot-working die steel.* Materials & Design, 2009. **30**(9): p. 3608-3614.
4. Fontalvo, G. and C. Mitterer, *The effect of oxide-forming alloying elements on the high temperature wear of a hot work steel.* Wear, 2005. **258**(10): p. 1491-1499.
5. Zhang, C., et al., *Effect of tempering temperature on impact wear behavior of 30Cr3Mo2WNi hot working die steel.* Frontiers in Materials, 2019. **6**: p. 149.
6. Zhu, Z., *Property data collection of common hot working die steels used in China.* Mechanical Engineering Materials, 2001. **24**: p. 38-42.
7. Wen, E., R. Song, and W. Xiong, *Effect of tempering temperature on microstructures and wear behavior of a 500 hb grade wear-resistant steel.* Metals, 2019. **9**(1): p. 45.
8. Speich, G. and W. Leslie, *Tempering of steel.* Metallurgical Transactions, 1972. **3**(5): p. 1043-1054.
9. Cao, Y., et al., *Effects of tempering temperature and Mo/Ni on microstructures and properties of lath martensitic wear-resistant steels.* Journal of Iron and Steel Research International, 2013. **20**(4): p. 70-75.
10. Wei, M., et al., *Effect of tempering conditions on wear resistance in various wear mechanisms of H13 steel.* Tribology International, 2011. **44**(7-8): p. 898-905.
11. Zambrano, O., J. Coronado, and S. Rodríguez, *Tempering temperature effect on sliding wear at high temperatures in mottled cast iron.* Tribology Letters, 2015. **57**(2): p. 19.
12. Leskovšek, V., B. Šuštaršič, and G. Jutriša, *The influence of austenitizing and tempering temperature on the hardness and fracture toughness of hot-worked H11 tool steel.* Journal of Materials Processing Technology, 2006. **178**(1-3): p. 328-334.
13. ASTM G99, *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.* Annual Book of ASTM Standards, 1999. **3**: p. 401.
14. Testing, A.S.f. and Materials. *ASTM Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials: E 23-12c*. 2012. ASTM.
15. Stott, F., *High-temperature sliding wear of metals.* Tribology International, 2002. **35**(8): p. 489-495.
16. Jiang, J., F. Stott, and M. Stack, *A generic model for dry sliding wear of metals at elevated temperatures.* Wear, 2004. **256**(9-10): p. 973-985.

17. Kim, S.J. and J.K. Kim, *Effects of temperature and contact stress on the sliding wear of Ni-base Deloro 50 hardfacing alloy.* Journal of nuclear materials, 2001. **288**(2-3): p. 163-169.

18. Jiang, J., F. Stott, and M. Stack, *The role of triboparticulates in dry sliding wear.* Tribology International, 1998. **31**(5): p. 245-256.

19. Das, D., A. Dutta, and K. Ray, *Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel.* wear, 2009. **266**(1-2): p. 297-309.

20. Das, D., et al., *Effect of deep cryogenic treatment on the carbide precipitation and tribological behavior of D2 steel.* Materials and Manufacturing Processes, 2007. **22**(4): p. 474-480.

21. Melika, Ö., *AISI H13 Takım Çeliğine Uygulanan Derin Kriyojenik İşlem ve Temperleme Isıl İşleminin Mikroyapı, Sertlik ve Darbe Enerjisine Etkisi.* Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2019. **7**(3): p. 688-699.

22. Bello, K., et al., *Effect of Ferrite-Martensite Microstructural Evolution on Hardness and Impact Toughness Behaviour of High Martensite Dual Phase Steel.* Australian journal of basic and applied sciences, 2007. **1**(4): p. 407-414.

23. Manahan, M. and C. McCowan, *Percent shear area determination in Charpy impact testing.* Journal of ASTM International, 2008. **5**(7): p. 1-15.

24. Modak, P., et al., *A review on the effect of microstructure, texture and inclusion on Charpy impact transition behaviour of low-carbon ferritic steels.* IIM Metal News, 2016. **19**: p. 21-34.

25. Yang, Y., et al., *Investigation of impact toughness of a Ni-based superalloy at elevated temperature.* Materials & Design (1980-2015), 2012. **36**: p. 699-704.

26. Mu, Y., et al., *Elevated-temperature impact toughness of Mg–(Gd, Y)–Zr alloy.* Scripta Materialia, 2013. **68**(11): p. 885-888.

27. Fontes, M.A., et al., *Morphology of the DIN 100Cr6 case hardened steel after plasma nitrocarburizing process.* Materials Research, 2019. **22**.

28. Sun, H.-z., et al., *Effect of the deformation on nitrocarburizing microstructure of the cold deformed Ti-6Al-4V alloy.* Surface and Coatings Technology, 2019. **362**: p. 234-238.

29. Ullah, N., et al., *Effect of methane concentration on surface properties of cathodic cage plasma nitrocarburized AISI-304.* Applied Physics A, 2021. **127**(7): p. 1-9.

30. Fares, M., et al., *Surface characteristics analysis of nitrocarburized (Tenifer) and carbonitrided industrial steel AISI 02 types.* Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of surfaces, interfaces and thin films, 2009. **41**(3): p. 179-186.