

Emre Taşcıoğlu* 

Torun Bakır Alaşımları Metal San.
Ve Tic. A.Ş.
Kocaeli/Türkiye

Yusuf Kaynak 

Marmara Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
İstanbul/Türkiye

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 16-07-2020

Kabul: 05-09-2020

*Sorumlu Yazar: Emre Taşcıoğlu
Email:emre.tascioglu@torunmetal.com

Farklı Sertlik Değerlerindeki W360 Sıcak İş Takım Çeliğinin Yüksek Sıcaklıkta Aşınma Davranışı ve Çentik Darbe Dayanımının İncelenmesi

Kısa kalıp ömürleri dövme imalat sektörü için kabul edilemez problemlerden biridir. Kalıp çeliklerinde çalışma ömrü iyileştirmeleri için ilk akla gelen tokluk dayanımıdır. Ancak, aşınma direnci de üretim ve imalat için büyük önem taşımaktadır. Çünkü iyi bir aşınma direnci sadece maliyeti düşürmekle kalmaz, aynı zamanda ürünlerin kalitesinin tutarlı olmasını sağlar. Sıcak iş takım çeliği malzemelerine uygulanan ısı işlemlerin darbe dayanımı ve aşınma davranışı üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, farklı temperleme sıcaklıkları ile elde edilen farklı sertlik değerlerinin, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda W360 sıcak iş takım çeliğinin darbe dayanımına ve aşınma davranışına etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma davranışı, Darbe dayanımı, Isıl işlem, Sıcak iş çeliği, XRD analizi

GİRİŞ

Sıcak iş takım çelikleri seri üretimde yaygın olarak kullanılan ve uygulama sırasında yüksek sıcaklıklara ve mekanik yüklere maruz kalan operasyonlarda sıklıkla tercih edilen malzemelerdir[1-4]. İmalat sanayinde de önemli bir rol oynayan sıcak iş takım çeliklerinin çalışma ömrü genellikle iyi tokluğa ve yüksek aşınma direncine bağlıdır[5, 6]. Sıcak iş takım çelikleri yüksek sıcaklıklarda çalıştığından, malzeme temperleme etkisine maruz kalır. Bu durumda, malzemenin sertliğindeki azalma nedeniyle dövme gibi işlemlerde plastik deformasyon ve aşınma meydana gelir[1].

Sıcak iş takım çeliklerine uygulanan bazı ısı işlemler malzemelerin özelliklerini geliştirebilir. Isıl işlemle malzemelerin sertlik değerlerinin, mikroyapısal özelliklerinin ve faz dağılımlarının kontrol edilmesi seri üretimde kullanılan bir yöntemdir[7, 8].

Isıl işlemler, malzemelerin darbe dayanımı ve aşınma direnci üzerinde oldukça etkilidir. Ayrıca, bir ısı işlem parametresi olan temperleme sıcaklıkları, malzeme özelliklerinin değiştirilmesinde kullanılan önemli bir değişkendir. Temperleme sıcaklıklarının sıcak iş takım çeliklerinde kalıntı östenit oranlarını

değiştirdiği gösterilmiştir ve malzeme özelliklerini değiştirmek için kullanılan bir yöntemdir[9]. Kalıntı östenit oranları, malzemelerin aşınma direncini ve tokluk değerlerini doğrudan etkiler. Bu nedenle, temperleme sıcaklıklarını kontrol ederek yeterli sertlik ve yüksek mukavemet elde etmek mümkündür.

Temperleme sıcaklığının aşınma direnci üzerindeki etkisini araştıran bazı çalışmalar literatürde mevcuttur.

Wang ve arkadaşları[10] H13 çeliğine farklı temperleme sıcaklıkları uygulamışlar ve malzemedeki sertlik ve darbe tokluğu değerlerini incelemiştir. Ayrıca temperleme sıcaklığının aşınma davranışı üzerindeki etkisini de ortaya koymuşlardır. Aşınma testleri farklı sıcaklıklar altında gerçekleştirilmiş ve ortam sıcaklığındaki değişimle birlikte aşınma davranışındaki farklılıklar gözlemlenmiştir. Zambrano ve arkadaşları[11] dökme demirin temperleme sıcaklığı üzerindeki etkisini incelemişler ve yüksek sıcaklıklarda aşınma dirençlerini test etmişlerdir. 200, 400 ve 600 derece sıcaklıkta yapılan aşınma testlerine bakıldığında, kütle kaybı sıcaklığın etkisiyle değişmiştir. Ayrıca temperleme sıcaklığının aşınma direnci üzerindeki etkisi bu çalışmada ortaya

konulmuştur. Leskovsek ve arkadaşları[12] çalışmalarında H11 takım çeliğini incelemişler. Çalışmada, temperleme sıcaklığı artığında sertlik değerleri azalmış, kırılma tokluğu değerleri ise buna bağlı olarak artış göstermiştir.

Görüldüğü gibi, literatürde temperleme sıcaklığının aşınma direnci ve tokluk üzerindeki etkisini inceleyen bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda aşınma dirençleri farklı ortam sıcaklıklarında test edilmiştir. Ancak, tokluk değerlerinin yüksek sıcaklıklarda test edildiği sistematik bir çalışma yoktur. Sıcak iş takım çelik malzemelerinin yüksek sıcaklıklardaki darbe dayanımı ciddi anlamda önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmanın literatürdeki boşluğu kapatacağı ve katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, W360 sıcak iş takım çeliğine farklı temperleme sıcaklıkları ve süreleri uygulanmıştır. Farklı temperleme sıcaklıklarından sonra oluşan farklı sertlik değerlerinde, malzemelerin yüksek sıcaklıklarda aşınma davranışı ve darbe dayanımı değerleri kapsamlı olarak incelenmiş ve oda sıcaklığında gerçekleştirilen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

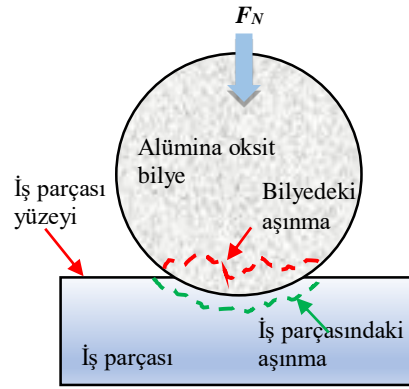
DENEYSEL TASARIM

Çalışma kapsamında W360 sıcak iş takım çeliği malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimleri Tablo 1' de sunulmuştur.

Tablo 1. W360 malzemesinin kimyasal bileşimi.

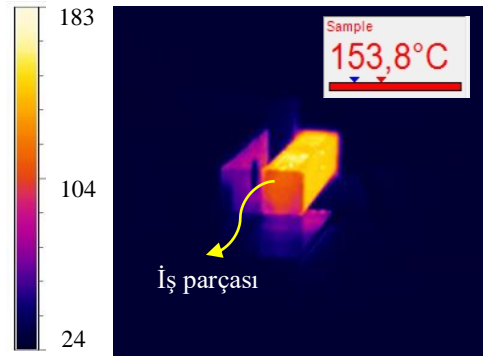
| C | Si | Mn | Cr | Mo | V |
|-----|-----|------|-----|----|------|
| 0.5 | 0.2 | 0.25 | 4.5 | 3 | 0.55 |

Aşınma deneyleri için W360 malzemesinden 20x20x20 mm boyutlarında numuneler hazırlanmış olup ASTM G99 standardına uygun olacak şekilde pin on disk yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri Turkyus marka ısı modüllü pin on disk aşınma cihazında yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığı koşuluna ilaveten 150 ve 300 derecede olmak üzere yüksek sıcaklıklarda da yapılmış ve oda sıcaklığı koşulundaki sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Bu deneyler için aşınma direnci yüksek olan 3 mm çapındaki alümina oksit bilyeler kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan alümina oksit bilyenin yumuşama noktası 1725 °C iken, erime noktası 2050 °C' dir. Pin on disk aşınma deneyleri 20 N yük altında ve 0,03 m/s hız uygulanarak yapılmıştır. Her bir aşınma deneyi 14 mm iz çapında ve 90 dakika süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyinin şematik gösterimi Şekil 1' de sunulmuştur.



Şekil 1. Aşınma deneyi şematik gösterimi Çentik darbe testleri için numunelerin boyutları

ASTM E23 standardına uygun olarak üretilmiştir.(merkezde 45° V' lik bir çentik ile 10x10x55 mm). Çentik darbe testleri Hardway darbe test cihazında gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklardaki darbe testleri esnasında Optris marka termal kamera kullanılmış ve sıcaklık değerleri kontrol edilmiştir. Şekil 2' de termal kamera ile yapılan sıcaklık ölçümü esnasında alınan bir örnek görüntü sunulmuştur.



Şekil 2. 150 °C sıcaklıkta yapılan çentik darbe deneyi esnasında alınan termal kamera görüntüsü.

Çalışmada kullanılan W360 sıcak iş takım çeliğine farklı ısıl işlem parametreleri uygulanmıştır. Farklı temperleme sıcaklıkları uygulanan numunelerin ısıl işlem yöntemleri Tablo 2' de sunulmuştur. Aşınma deneyleri sonrasında bilye aşınma alanları ve malzeme aşınma yüzeyleri Keyence dijital mikroskop yardımı ile ölçülmüştür.

Tablo 2. W360 malzemesine uygulanan ısıt işlemler parametreleri

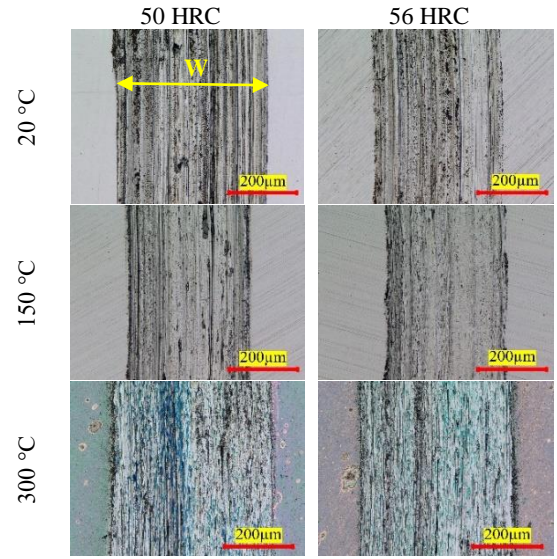
| Isıl işlemler numarası | Sertleştirme | 1.Temperleme | 2.Temperleme | 3.Temperleme | HRC ±1 |
|------------------------|-----------------------|----------------|------------------|------------------|--------|
| HT-1 | 1050 °C, 3 bar, 2 fan | 570 °C, 3 saat | 590 °C, 4 saat | - | 56 |
| HT-2 | 1050 °C, 3 bar, 2 fan | 570 °C, 3 saat | 600 °C, 4,5 saat | 590 °C, 4 saat | 53 |
| HT-3 | 1050 °C, 3 bar, 2 fan | 570 °C, 3 saat | 600 °C, 4,5 saat | 595 °C, 4,5 saat | 50 |

BULGULAR VE TARTIŞMA

Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları düşünüldüğünde, aşınma davranışı önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde, farklı ısıt işlemler parametreleri ve ortam sıcaklıklarının malzemenin aşınma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

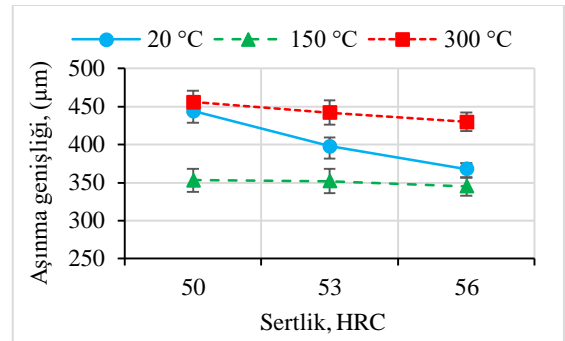
Çalışma kapsamında yapılan aşınma deneylerinden sonra aşınma izi genişlikleri dijital mikroskop yardımıyla ölçülmüştür. Aşınma izi genişlikleri her bir numuneden alınan üç adet ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 3’ de farklı sertliklerdeki W360 malzemesinin farklı ortam sıcaklıklarında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izi görüntüleri sunulmuştur. Görüntülerden de anlaşıldığı üzere sertlik değerlerinin ve ortam sıcaklıklarının aşınma izi genişliklerinde etkili olduğu görülmüştür.

W360 malzemesinde oluşan aşınma izlerinin genişlik değerleri Şekil 4’ de sunulmuştur. Aşınma değerleri sertlik ve ortam sıcaklığına bağlı olarak oluşturulmuştur. Grafik incelendiğinde sertliğin artması ile aşınma genişliklerinde beklendiği gibi azalma meydana gelmiştir[13]. Sertliğin ve temperleme sıcaklığının aşınma davranışına etkisi kalıntı östenit oranının kontrolü ve çökelen karbürlerdeki oransal ve yapısal değişim ile ilgili olduğu bilinmektedir[11, 14].



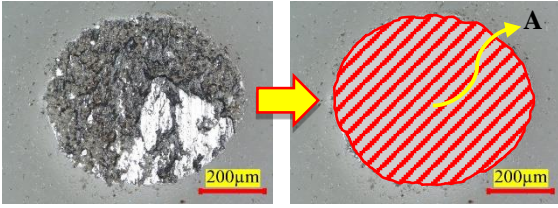
Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda ve farklı sertlik değerlerinde oluşan aşınma izi görüntüleri

50 HRC sertlikte oda sıcaklığında yapılan aşınma deneyi sonucunda yaklaşık 444 µm aşınma genişliği oluşmuştur. 150 °C sıcaklıkta yapılan deneyde ise bu değer 353 µm olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artması ile aşınmada meydana gelen yaklaşık %20 oranındaki azalma sürtünme kuvvetlerindeki azalma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir[15]. 300 °C sıcaklıkta meydana gelen aşınma ise 456 µm olmuştur. Bu sıcaklıktaki artış malzemenin yumuşama eğiliminde olması ve bilyenin malzeme içine daha iyi nüfus ederek aşınma izini artırması ile ilgilidir. 56 HRC sertlikteki numune incelendiğinde oda sıcaklığındaki numunede 368 µm aşınma izi oluşmuştur. 150 °C sıcaklıkta 345 µm, 300 °C sıcaklıkta ise 430 µm aşınma olmuştur. Görüldüğü gibi bu sertlik değerinde de 150 derece sıcaklık aşınmayı azaltma eğiliminde iken 300 derecede durum artan aşınma ile karşımıza çıkmaktadır.



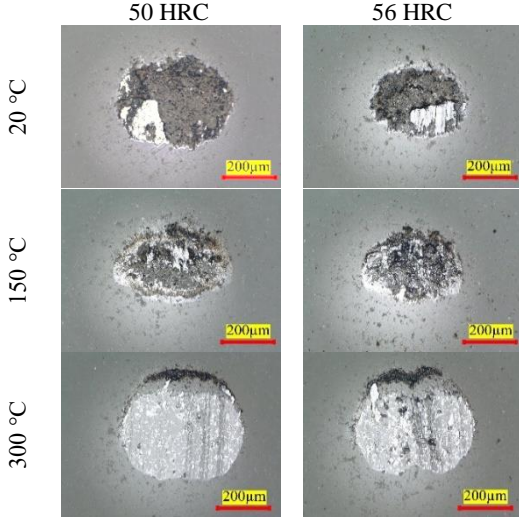
Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda ve farklı sertlik değerlerinde oluşan aşınma izi değerleri

Aşınma deneyleri sonrasında aşındırıcı bilye dijital optik mikroskop altında incelenmiş ve bilyedeki aşınma izlerinin alanı ölçülmüştür. Şekil 5’ de bilye aşınma alanı ölçümünün örnek görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 5. Bilye aşınma alanı ölçümünün örnek görüntüsü

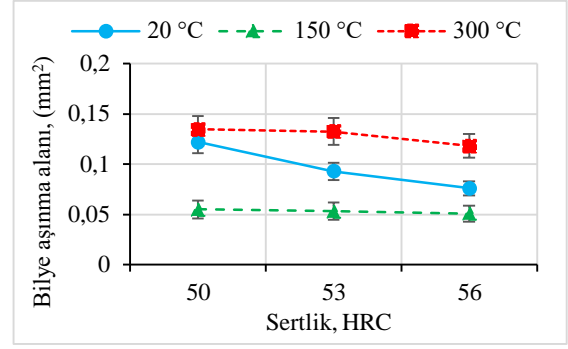
Şekil 6’ da W360 malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında aşındırıcı bilyelerde meydana gelen izlerin görüntüsü sunulmuştur. Görüldüğü üzere malzeme sertliğinin ve ortam sıcaklığının bilye aşınma zine etkisi gözle görülür düzeyde olmuştur.



Şekil 6. Farklı sıcaklıklarda ve farklı sertlik değerlerinde oluşan bilye aşınma izi görüntüleri

Aşınma deneyleri sonrası bilyelerde meydana gelen aşınmaların alanları Şekil 7’ de sıcaklığa ve sertliğe bağlı olarak sunulmuştur. Grafik genel olarak incelendiğinde malzeme yüzeyinde meydana gelen aşınma miktarı ile benzer eğilim göstermiştir. 50 HRC sertliğe sahip numunenin oda sıcaklığı koşullarında aşınmasından sonra bilyede 0.122 mm² aşınma alanı ölçülmüştür. Aynı sertlik değerinde sıcaklığın 150 dereceye çıkarılması ile sürtünme kuvvetlerindeki azalmanın etkisiyle aşınma alanı %59 azalarak 0.05 mm² olmuştur. 300 °C sıcaklıkta ise bilye aşınma alanı %2 artarak 0.134 mm² olmuştur. 56 HRC sertlik değerlerindeki numunelerin oluşturduğu bilye aşınma alanları incelendiğinde oda sıcaklığı koşullarında 0.07

mm², 150 °C sıcaklıkta 0,05 mm² ve 300 °C sıcaklıkta ise 0,118 mm² olarak ölçülmüştür.



Şekil 7. Farklı sıcaklıklarda ve farklı sertlik değerlerinde oluşan bilye aşınma alanları

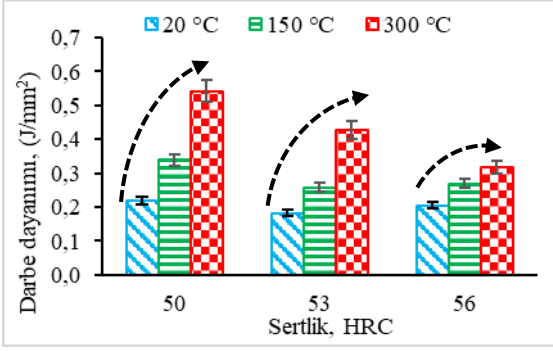
Çalışma kapsamında tüm numunelere çentik darbe testi uygulanmıştır. Her bir numuneden 3 adet üretilmiş olup deneyler üç kez tekrar edilip ortalaması alınmıştır. V-çentikli darbe deneyleri sonrasında elde edilen darbe enerjileri kesit alanına bölünerek darbe dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Darbe dayanımı formülü denklem (1)’ de sunulmuştur[16].

Darbe dayanımı (J/mm²) = Darbe enerjisi (J) / Kesit alanı (mm²) (1)

Şekil 8’ de hesaplanan darbe dayanımı değerleri sertliğe ve sıcaklığa bağlı olarak sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü üzere sertlik değerleri ve ortam sıcaklığı malzemenin darbe dayanımı üzerinde etkili olmuştur. Malzemenin kullanım alanına göre değişken ve dinamik yüklerle maruz kalan parçalarda darbe dayanımının yüksek olmasına önem verilir. Grafik incelendiğinde 50 HRC sertliğe sahip ve oda sıcaklığı koşullarında test edilen çentik numunelerindeki darbe dayanımı ortalama 0.219 J/mm² olarak ölçülmüştür. Aynı sertlikte ortam sıcaklığının 150 derece olması ile birlikte darbe dayanımı %55 artarak 0.34 J/mm² olmuştur. Sıcaklığın 300 °C olması durumunda ise darbe dayanımı değeri 0.543 J/mm² olmuştur. Bu değer oda sıcaklığı koşulundan yaklaşık %148 oranında daha fazladır. En yüksek sertlik değeri olan 56 HRC değerindeki numunelerin sonuçları kıyaslanacak olursa, oda sıcaklığı koşullarında ortalama 0.205 J/mm² darbe dayanımı değeri ölçülürken, 150 derece sıcaklıkta 0.269 J/mm² ve 300 derece sıcaklıkta ise 0.317 J/mm² olarak ölçülmüştür.

Ayrıca sertliğin artması ile darbe enerji değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Sertliğin 50 HRC’ den 56 HRC’ ye artması ile oda sıcaklığı koşullarında yapılan deneylerdeki darbe dayanımı değerlerinde yaklaşık %6 oranında azalma olmuştur. 150 °C sıcaklıkta ise sertliğin artması ile meydana

gelen azalma %21 iken, 300 °C sıcaklıkta bu azalma oranı %42 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. V-çentikli darbe deneyleri sonucunda farklı sıcaklıklarda ve farklı sertlik değerlerinde oluşan darbe dayanımı değerleri

Çentik darbe deneylerinin sonrasında kırılan numunelerin kırılma yüzeyleri de incelenmiştir. Kırılma yüzeylerindeki sünek kırılma bölgesi ölçülmüş ve yüzde kayma kırılması değerleri hesaplanmıştır. Çentik numunelerinde parlak ve düz yüzeyler gevrek kırılma bölgesini, yan kısımlarında oluşan mat bölgeler ise sünek kırılmayı ifade etmektedir. Şekil 9’ da örnek kırılma yüzeyi gösterilmiş olup, sünek ve gevrek kırılma bölgeleri işaretlenmiştir.



Şekil 9. Çentik darbe testi sonrası oluşan kırılma yüzeyi

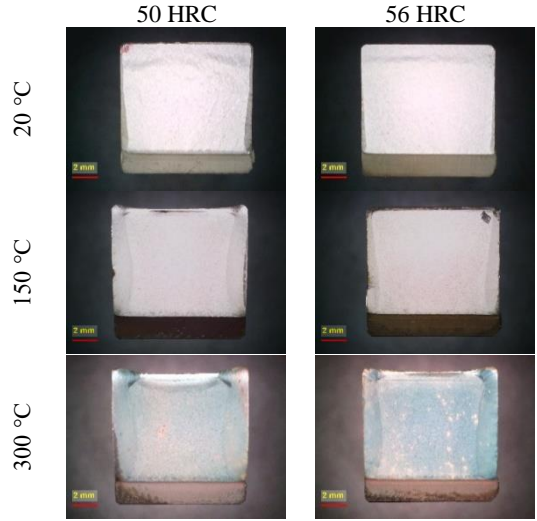
Farklı sertlik ve farklı ortam sıcaklıklarında yapılan çentik darbe deneyleri sonrasında oluşan kırılma yüzeyi görüntüleri Şekil 10’ da sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi sertliğin artması ile sünek kırılma bölgesinin alanı azalmış olup, ortam sıcaklığının artması ile artmıştır.

Deneyler sonrasında hesaplanan kayma kırılması değerleri denklem (2) deki formül ile elde edilmiştir.

$$\text{Kayma kırılması (\%)} = \frac{A_D}{8 \times 10} \times 100 \quad (2)$$

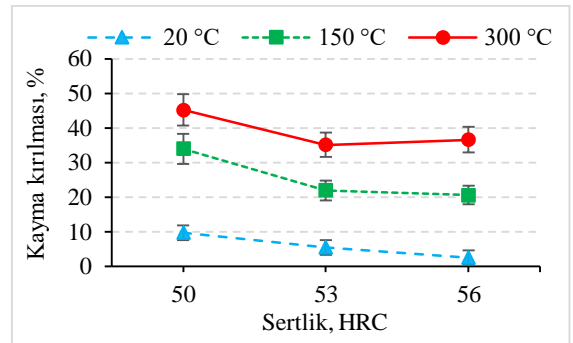
Sertliğe ve sıcaklığa bağlı olarak yapılan çentik darbe deneyleri sonrasında elde edilen yüzde kayma kırılması değerleri Şekil 11’ de sunulmuştur. Grafik

genel olarak incelendiğinde sertlikteki artışa bağlı olarak yüzde kayma kırılma değerlerinin azaldığı ancak sıcaklığın artması ile birlikte değerlerin arttığı görülmüştür. 50 HRC sertlikte ve oda sıcaklığı koşullarında oluşan yüzde kayma kırılma değeri 9,79 iken 150 derece sıcaklıkta bu değer 33,97 olmuştur. Sıcaklığın 300 derece olduğu durumda bu değer 45,21 olarak karşımıza çıkmıştır.



Şekil 10. Sertlik ve sıcaklığa bağlı olarak yapılan çentik darbe testi sonrası oluşan kırılma yüzeyleri

Sertlik değerinin 56 HRC olduğu durumda ise oda sıcaklığı koşullarında oluşan yüzde kayma kırılma değeri 2,61 olarak hesaplanmıştır. Sıcaklığın 150 °C olması ile bu değer yaklaşık 20,65 olmuş ve 7 kat artış görülürken, 300 derece sıcaklıkta 36,61 değer ile yaklaşık 13 kat artış görülmüştür.



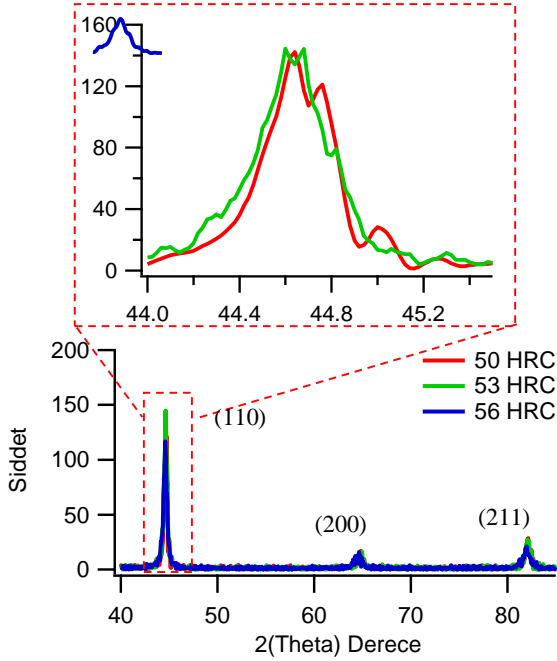
Şekil 11. Kayma kırılması değerleri

Malzemeye uygulanan farklı ısıl işlemler sonrasında malzemenin kristal yapısında meydana gelen değişimi incelemek için XRD analizleri yapılmıştır. W360 malzemesinin XRD düzlemlerine denk gelen 2-Theta değerleri Tablo 3’ de sunulmuştur. Şekil 12’ de W360 malzemesinin farklı sertliklerde oluşan XRD pikleri sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere ana pik olan (110) düzleminde sertlik değişimi ile XRD piklerinin genişliklerinde değişim olmuştur.

Genişlik değerleri FWHM(Full width at half maximum) yöntemine göre ölçülmüştür[17].

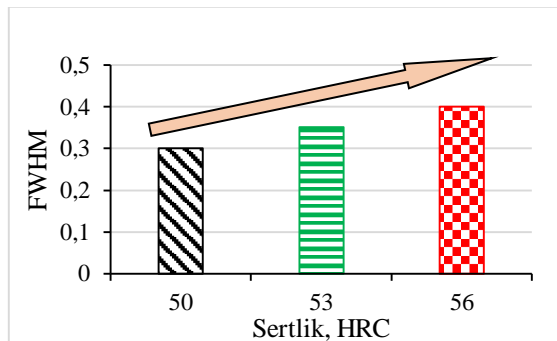
Tablo 3. W360 malzemesinin XRD düzlemlerine denk gelen 2-Theta değerleri.

| 2-Theta | Düzlem | Faz yapısı |
|---------|--------|------------|
| 44.674 | (110) | Martenzit |
| 65.022 | (200) | Martenzit |
| 82.334 | (211) | Martenzit |



Şekil 12. W360 malzemesinin farklı sertlik değerlerinde elde edilen XRD grafiği

FWHM değerleri Şekil 13' de sertlik değerine bağlı olarak sunulmuştur. Sertlik değerinin artması ile FWHM değerlerindeki artış net olarak görülmektedir. 44.6 derecedeki ana pik değerlerindeki FWHM sonuçları kıyaslandığında 50 HRC sertlik değerindeki malzemede bu değer 0.301 olmuştur. Sertlik değeri 53 HRC olduğunda ise bu genişlik %16,9 oranında artarak sertlik değerindeki artışı destekler nitelikte olmuştur. Aynı şekilde 56 HRC sertlik değerindeki malzeme 50 HRC sertliğe sahip malzeme ile kıyaslandığında 0.4 genişlik ile yaklaşık %32,89 oranında daha fazla pik genişliğine neden olmuştur.



Şekil 13. Farklı sertlik değerlerindeki FWHM değerleri

SONUÇ

Bu çalışmada W360 malzemesinin farklı ısıl işlemler sonucunda elde edilen sertlik değerlerinin, malzemenin farklı sıcaklıklardaki aşınma davranışına, darbe dayanımına ve XRD pik değerlerine olan etkisi kapsamlı olarak incelenmiştir.

- Sertliğin artması ile tüm ortam sıcaklıklarında malzemenin aşınma değerleri azalma eğiliminde olmuştur.
- Bilye aşınma alanları malzemedeki sertlik artışına bağlı olarak azalmıştır.
- Ortam sıcaklığına bağlı olarak malzemenin aşınma ve darbe dayanımları net olarak ortaya konmuş olup, 150 derece sıcaklıkta aşınma değerleri azalmakta ancak 300 derece sıcaklıkta tekrar artışa geçmiştir. Darbe dayanımı değerleri ise ortam sıcaklığının artması tüm sertlik değerleri için artış göstermiştir.
- Sertlik değerlerindeki artışla birlikte malzemenin darbe dayanımları genel olarak azalma eğiliminde olmuştur.
- Çentik darbe deneyleri sonrasında incelenen kırılma yüzeylerindeki sünek bölge, sertliğin artması ile azalırken sıcaklığın artması ile artmıştır.
- XRD analizleri sonrasında malzemenin ana pikinde gözlemlenen pik genişlemesi sertlikle doğru orantılı olmuş ve sertliğin artması ile artış göstermiştir.
- W360 sıcak iş takım çeliğinin darbeleri çalışmaya maruz kaldığı durumlarda sertliğin düşük tutularak(50 HRC) tokluğun artışı sağlanmalıdır. Ancak aşınmanın dominant olduğu çalışma koşullarında ise yüksek sertliğin(56 HRC) elde edilmesi için ısıl işlem parametrelerinin dikkate alınması gerekmektedir.

INVESTIGATION THE EFFECT OF VARIOUS HARDNESS VALUES ON ON WEAR AND CHARPY IMPACT RESISTANCE OF W360 HOT WORKING STEEL AT ELEVATED TEMPERATURE

Short dies life is one of the problems that cannot be acceptable for forging industries. Although toughness is the first parameter that can be considered by engineers to control for improving performance of dies in forging industries, but wear resistance is also significant parameter as it directly affects the quality of forged products and thus determine sustainable and repeatable quality. For these reasons, both high toughness and wear resistance are parameters should be considered to minimize these aforementioned problems in forging processes. In this study, the effects of different hardness values obtained with different tempering temperatures on impact resistance and wear

behavior of W360 hot work tool steel at room temperature and high temperatures were investigated.

Keywords: Wear behavior, Impact resistance, Heat treatment, Hot work tool steel, XRD analysis

KAYNAKÇA

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. Lee, J.H., et al., Effects of tempering temperature on wear resistance and surface roughness of a high speed steel roll. *ISIJ international*, 2001. 41(8): p. 859-865.
14. Singh, K., R.K. Khatirkar, and S.G. Sapate, Microstructure evolution and abrasive wear behavior of D2 steel. *Wear*, 2015. 328: p. 206-216.
15. Jozwik, J., Evaluation of Tribological Properties and condition of Ti6Al4V titanium alloy surface. *Tehnički vjesnik*, 2018. 25(Supplement 1): p. 170-175.
16. Mohan, R.R., et al., Experimental Investigation on Characteristic Study of the Carbon Steel C45 in Different Working Conditions Using Toughness Test.
17. Yilmazer, H., et al., Effect of high-pressure torsion processing on microstructure and mechanical properties of a novel biomedical β -type Ti-29Nb-13Ta-4.6 Zr after cold rolling. *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 2012. 7(2-3): p. 168-186.