

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 025902 (469-477)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 025902 (469-477)

DOI: 10.35414/akufemubid.823799

Araştırma Makalesi / Research Article

Sıcak Haddelene Yolluk Makarası Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

Aytekin KURT¹, Muhammed ELİTAŞ^{2*}, Bilge DEMİR³, Ömür YAZICI⁴^{1,4} Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük.² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik.³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük.

* Sorumlu yazar, e-posta: muhammed.elitas@bilecik.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5358-1783>
 aytekin@sakadc.com.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2196-7109>
 bdemir@karabuk.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3617-9749>
 omuryazici@hotmail.com.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5771-9062>

Geliş Tarihi: 10.11.2020

Kabul Tarihi: 16.03.2021

Öz

Takım çelikleri endüstriyel üretimin temel malzemeleri olmalarının yanında maliyet üzerinde de çok etkilidir. Dolayısıyla ekonomik ve teknolojik olarak ideal takım çeliğinin seçimi, karakterizasyonu ve servis performansının anlaşılması önem arz etmektedir. Çelik Haddehanesi, sıcak hadde yolluk sistemi gibi sürtünmeli ve sıcaklık altında çalışan makine parçaları takım çeliği seçimine esas olmak üzere bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, ticari 1.2379, 1.2436 ve CPR soğuk iş takım çelikleri kullanılmıştır. Gerçek şartlardakilere benzer ısıl ve mekanik özelliklere sahip muhtelif üretilen numuneler kullanılarak abrasif aşınma davranışları incelenmiştir. Deney numuneleri ısıl işlem, sertlik ölçme, yağlamasız "pin on ring" kuru abrasif aşınma deneyleri ve makro-mikro görüntü analizi vb. incelemelere tabi tutulmuştur. Abrasif aşınma deneyleri; aşındırıcı olarak 60 mesh ve 220 mesh zımpara, 30 N, 50 N ve 80 N kuvvet ve 10 ve 20 metre abrasif aşınma yolu şartlarında gerçekleştirilmiştir. Gerçek üretim şartlarında da aşınma miktarları gözlemlenmiş ve laboratuvar sonuçları ile kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlarda; daha düşük karbon miktarına sahip fakat güçlü karbür yapıcı elementlerce daha zengin CPR soğuk iş takım çeliğinin 1.2379 ve 1.2436 soğuk iş takım çeliklerine göre daha yüksek aşınma direnci ve tokluk değerleri gösterdiği gözlemlenmiştir. Karbür yapısının da diğerlerine göre daha küçük olduğu görülmektedir. Sonuçta takım çeliklerinin uygunluğu mekanik ve mikroyapısal olarak detaylı olarak değerlendirilmiştir. Hem endüstriyel hem de akademik fayda üretilmiştir.

Anahtar kelimeler

Soğuk iş takım çelikleri;
Aşınma; Mikroyapı;
Mekanik özellikler

Investigation of Wear Behavior of Hot Rolling Runner Reel Cold Work Tool Steels

Abstract

In addition to being the basic materials of industrial production, tool steels are also very effective on cost. Therefore, it is important to understand the economically and technologically ideal tool steel selection, characterization and service performance. This study was carried out as the basis for the selection of tool steel for machine parts operating under friction and temperature such as steel rolling mill, hot rolling runner system. Commercial 1.2379, 1.2436 and CPR cold work tool steels were used in this study. Abrasive wear behaviors have been investigated using various produced samples with thermal and mechanical properties similar to those in real conditions. The test samples were subjected to heat treatment, hardness measurement, non-lubricated "pin on ring" dry abrasive wear tests, macro-micro image analysis etc. examinations. Abrasive wear tests were carried out under 60 mesh and 220 mesh sandpaper, 30 N, 50 N and 80 N forces and 10- and 20-meters abrasive wear path conditions. Abrasion amounts were also observed under real production conditions and compared with the laboratory results. In the experimental results, it has been observed that CPR cold work tool steel with lower carbon content but richer in strong carbide forming elements shows higher wear resistance and toughness values than 1.2379 and 1.2436 cold work tool steels. It is seen that the carbide structure is

Keywords

Cold work tool steels;
Wear; Microstructure;
Mechanical properties

1. Giriş

Çelik; geliştirilebilir mekanik özelliklerinden dolayı pek çok endüstriyel alanda kullanımı oldukça yaygın olan günümüzde özellikle inşaat, otomotiv, tıp, havacılık gibi alanlarda kullanılan bir metaldir. Üretim yöntemi ve kullanım yeri bakımından çelikler, demir ve karbondan başka pek çok alaşım elementlerini de içerir. Yapılarında bulunan karbon miktarı ve içerdiği alaşım elementlerinin cins ve miktarları, çeliklerin birçok özelliklerini belirleyen ana faktörlerdir. Isıl işlemlerle kimyasal kompozisyonunun iyileştirilmesi, çeliğin birçok alanda kullanımına imkân sağlamaktadır (Kurt 2019, Demir vd. 2017, Demir vd. 2017).

Takım çeliği, şekillendirme ve kesme uygulamaları sırasında aşınmaya dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Takım çeliğinde genellikle çeşitli tiplerde karbürler bulunur; aşınma direncini artıran sert bir faz olarak hareket etmek için. Karbür boyutundaki ve fraksiyonundaki değişimden elde edilen takım çeliğinin mekanik özellikleri, üretime, alaşım içeriğine ve ısıl işleme bağlıdır. Takım çelikleri altı gruptan birine ayrılabilir: soğuk iş, sıcak iş, darbeye dayanıklı, yüksek hız, kalıp ve özel amaçlı takım çelikleri. Bu takım çeliklerinin çoğu, belirli çalışma alanları için gereksinimleri karşılar (Larsson 2013).

Endüstride sıklıkla karşımıza çıkan takım çelikleri, talaşlı ve talaşsız üretimde kullanılan, sıcak veya soğuk durumdaki iş parçalarını dövme, kesme ve sıkıştırma metotlarından biri veya birkaç tanesi ile biçimlendirme işi yapabilen yüksek alaşımli çeliklerdir (Albaraz 2010). Takım çelikleri sahip oldukları %0,4 -2,1 karbon içeriği ile karbon çeliği olarak işleme alınmakta ve hem karbon ve hem de volfram vb. ergime dereceleri yüksek ve farklı metallere ilavesi ile oldukça güç metotlar ile üretilmektedir (Akça 2006). Takım çelikleri malzemelerin hem işlenmesi hem de şekillendirilmesi amacı ile kullanılan çeliklerdir. Toplamda çelik üretim miktarının %8'ini oluşturan takım çeliklerinin kullanımı her geçen sene artarak

devam etmektedir. Çelik ürünlerin takım çeliği olarak adlandırılması sadece kullanım amacına yönelik olmaktadır. Başka çelik grupları gibi takım çeliklerinde kimyasal kompozisyona göre gruplandırma yapılmamaktadır. Bu sebeple aynı kimyasal kompozisyona sahip çelikler üretim metotlarındaki değişiklikler ile ayrı özelliklere sahip olabilmektedir. Değişik kullanım sahalarında benzer kimyasal kompozisyona sahip çelikler farklı isimler ile adlandırılmaktadır (Özer 2016). Takım çeliklerinin sertleştirilebilirlikleri veya temperlemeye karşı dirençleri farklıdır (Akça 2006). İmalat ve kalıp sektöründe kullanılan belli başlı çelik türlerinden biri olan takım çeliklerinin kendilerine özgü üstün özellikleri vardır. Metal ve metal dışı malzemelerin muhtelif yöntemlerle şekil verilmesinde ana malzeme sıklıkla takım çelikleridir. Bu çelikler genellikle elektrik fırınlarında ergitilerek üretilmektedir (Alan 2014). Kesici takım çelikleri; sertleştirme ortamına, alaşım oranına ve uygulama alanına göre sınıflandırılmaktadır (Int Kyn. 1). Takım çeliklerinin en yaygın sınıflandırma sistemi, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) tarafından belirlenmiştir. Takım çeliklerinin AISI sınıflandırma sistemi; su verme ve uygulama metodunu, özel karakteristikleri ve kompozisyonlarını esas alır (Smith 2000). Ülkemizde ise yaygın olarak DIN normuna göre takım çelikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da DIN standardı sıra numarası ile ifade edilen takım çelikleri kullanılmıştır. İstisna olarak CPR yeni bir takım çeliği çeşididir ve bu özel isimle ticarilemiştir.

Takım çeliklerinin dezavantajlarından bir tanesi üretim maliyetinin yüksek oluşudur. Bu bakımdan ekonomik olmalı ve aynı zamanda istenilen şekle işlenebilme ve üretim yeteneğine sahip olmalıdır. Günümüzde soğuk iş takım çeliklerinin kullanım alanları çok fazla ve maliyet açısından çok kritiktir. Sıyırma ve kırma bıçakları, sinter presleme takımları, kazıma, çekme ve kabartma takımları, kesme takımları, derin çekme ve sıvama takımları ve hassas delik delme zımbaları olarak kullanılırlar. Soğuk iş

takım çeliklerinden yüksek aşınma dayanımı, yüksek sertlik, yüksek çekme dayanımı, yüksek basma dayanımı özellikleri beklenir (Kurt 2019). Pek çok çeliğin bu denli geniş bir dağılım ile kullanımında karşılaştırmalı aşınma ve diğer performanslarının iyi anlaşılması tercih ve kullanımları için elzemdir.

Çalışma esnasında iki yüzey ne zaman birbirine temas etse aşınma olayı meydana gelir. Bilhassa sanayide sıklıkla meydana gelen yüzeylerdeki aşınma olayına dayalı malzeme kaybı ekonomik açıdan önem arz eden güce ve maddesel kayba sebep olmaktadır. Bu yüzden makine üretiminde aşınma olayına tabi kalabilecek yerlerde aşınma mukavemeti iyi olan malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerin belirlenebilmesi için de kesinlikle birçok teorik ve deneysel çalışmanın yapılması faydalı bir gayrettir (Çelik 1991, Yılmaz 1997). Aşınma deneyinin metotlarını genel anlamda iki grupta ele almak mümkündür. Birisi, yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda gerçek ve karşı taraf malzemenin adhesif (metal-metal) aşınma değerlerinin bulunduğu yöntemler diğeri ise gaz, sıvı ve katı durumdaki maddelerin tesiri altında sadece karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü yöntemlerdir (İzciler 1997).

Bu çalışmada, 1.2379, 1.2436 ve CPR soğuk iş takım çeliklerinin mikroyapı özellikleri ve aşınma dayanımları incelenmiştir. Sıcak hadde yolluk sistemi gibi sürtünmeli ve sıcaklık olan bir durumda bazı parçalar için çelik seçimine esas olmak üzere bu çalışma sonuçları kullanılabilir. Bu amaçla makaraların hadde ürünleri ile temasını temsilen "pin on ring" aşınma test sistemi ile numunelere abrasif aşınma deneyleri yapılmıştır. 30 N, 50 N, 80 N yüklerde 60 mesh ve 220 mesh zımparalarda numune yüzeylerine 10 ve 20 metre yol aldırılmıştır. Numunelerin ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçülerek tespit edilmiştir. Abrasif aşınma deneyi sonucunda tespit edilen ağırlık kayıplarından yararlanılarak aşınma grafikleri oluşturulmuştur. Mikroyapı görüntüleri ile aşınma deneyi sonuçları detaylı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca gerçek üretim şartlarında bu çalışmadaki değerlere sahip makaralar test edilmiş ve laboratuvar sonuçları ile kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

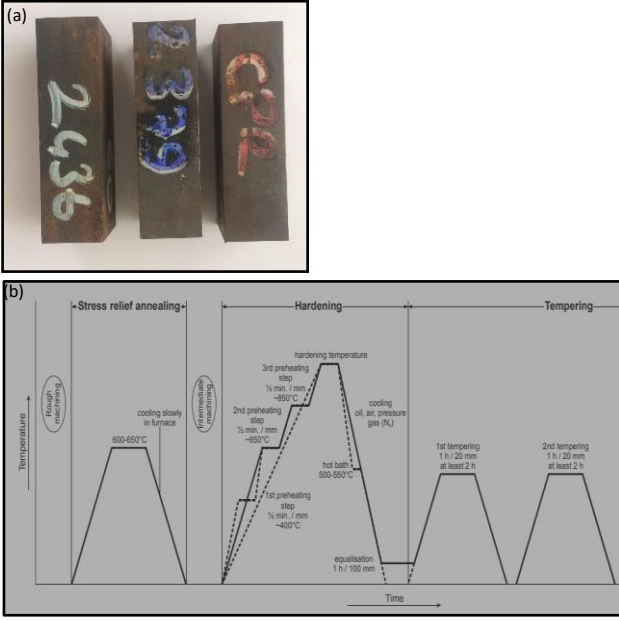
15x20x55 mm ebatlarında DIN 1.2379, DIN 1.2436 soğuk iş takım çelikleri ve alternatif olarak düşük karbonlu yüksek W, V ve Mo içerikli Dörrenberg Edlstah'ın iyileştirdiği CPR yeni nesil soğuk iş takım çeliği sertlik ve aşınma deneylerinde kullanılmak üzere temin edilmiştir. Bu ebatlardan Şekil 1(a)'da görülen 55x20x15 mm boyutlarına talaşlı imalat ile işlenmiştir. Çeliklerin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Her üç çelikte paslanmaz özelliğe sahiptir.

Çizelge 1. Çeliklerin kimyasal bileşimi % ağırlıkta

Malzeme	C	Cr	Mo	V	W
DIN 1.2379	1,55	12,00	0,80	0,90	-
DIN 1.2436	2,10	12,00	-	-	0,80
CPR	1,20	12,00	1,40	1,70	2,50

2.2 Isıl İşlem Prosesleri

Isıl işlem, hassasiyet ve sağlam uygulama bilgisi gerektirdiği için ve ayrıca endüstriyel katkı sağlamak adına benzerlik oluşturmak için ticari profesyonel ısıl işlem firmasına arzu edilen sertlik değerleri üzerinden tanımlama ile yaptırılmıştır. Bu ısıl işlemler: Ticari açıdan ıslah olarak tanımlanan su verme temperleme, menevişleme işlemleridir. Isıl işlem prosedürü Şekil 1(b)'de gösterilmiştir. 1.2379, 1,2436 ve CPR soğuk iş takım çeliklerine uygulanan ısıl işlemler ve sıcaklıkları ise Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan 3 tip soğuk iş takım çeliği numuneleri(a) ve ısıl işlem prosedürleri (b)

Çizelge 2. Numunelere uygulanan ısıl işlemler-tavlamarlar ve sıcaklıkları

Malzeme	Östenitleme	1. Meneviş	2. Meneviş
1.2379	1040°C	520°C	550°C
1.2436	960°C	500°C	500°C
CPR	1040°C	520°C	545°C

2.3 Mikroyapı incelemesi

Metalürjik yapının incelemesi için 15x20x55 mm ebatlarındaki soğuk iş takım çeliklerinden numuneler kesilerek çıkarılmıştır. Kesilen numuneler standart metalografik usul ile mikro inceleme için hazır hale getirilmiştir. %3 Nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır.

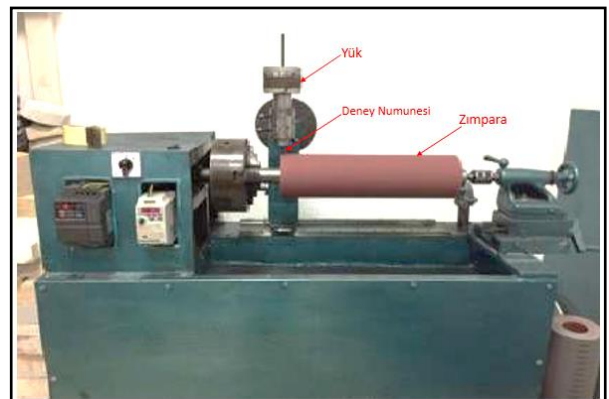
2.4 Sertlik ölçümü

Takım çelikleri ve sertleştirilmiş diğer çelikler için sektörel olarak yaygın sertlik ölçüm yöntemi Rockwell C'dir. Bu çalışmada da bu yöntemin temel prensibi olan 150 kg yük altında 10 saniye bekletilerek numunelerin makro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her numune üzerinden çok fazla ölçüm alınmış ve sağlıklı olarak alınan bu ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları numunenin Rockwell C değeri olarak belirlenmiştir.

2.5 Aşınma deneyi

Numunelerin aşınma davranışlarını belirlemek için tambur üzerinde kütle, numune- Blok on Ring aşınma cihazında (Şekil 2.), 140 mm çapında ve 500 mm boyunda tamburun üstü 60 ve 220 mesh ölçü kalınlıklarında zımparalar ile kaplanarak 30, 50 ve 80 N aralığında yükler altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Abrasif aşınma deneyi süresince numunenin daima temiz zımpara üzerinde sürtünmesi için zımpara kaplı tambur dönerken numune tutucu kol yatay hareket ettirilerek spiral şeklinde iz oluşturulmuştur.

Blok on Ring aşınma cihazında gerçekleştirilen abrasif aşınma deneyi için kullanılan zımpara kağıtları birim alandaki aşındırıcı partikül sayısına göre numaralandırılmaktadır. Zımpara üzerindeki partikül çapı arttıkça zımpara numarası azalmaktadır. 60 mesh zımparanın ortalama partikül çapı 270 μm , 220 mesh zımparanın ortalama partikül çapı ise 60 μm 'dir. Dolayısıyla aşınma deneyinde kullanılan 60 mesh zımparanın partikül boyutu 220 mesh zımparanın partikül boyutuna göre daha büyüktür. 60 mesh kaba, 220 mesh zımpara ise daha ince zımpara olarak kullanılmıştır. Zımpara kaplı tambura 30, 50 ve 80 N yükler altında 300 dev/dk dönme hızı verilmiştir. Numune tutucu kolun yatay hareketinde ilerleme hızı tüm yükler için 18 mm/sn olarak belirlenmiştir. Bu değerler sonucunda hem numunenin daima temiz zımpara üzerinde sürtünmesi sağlanmış hem de maksimum kayma mesafesi elde edilmiştir. Toplam kayma mesafesi 10 m ve 20 m aralıklarla belirlenmiş ve 0,1 mg hassasiyetindeki terazide ağırlık kaybı ölçülmüştür. Blok on Ring aşınma cihazı Şekil 2'de gösterilmiştir.



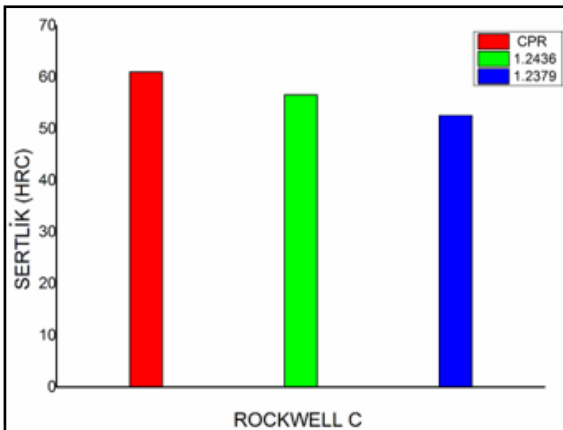
Şekil 2. Block on ring aşınma cihazı.

Gerçek sıcak hadde makaraları bu çalışmada belirtilen sertlik ve ısıl işlem durumları ile elde edilmiş ve fabrika ortamında yüksek miktarda haddeleme yapılarak test edilmiş ve pin on ring deneyleri ile mukayese edilmiştir. Gerçek işletme ortamında (Saka Demir Çelik) 28-34 mm boyutlarında yuvarlak ürünlerde kullanılan sıcak hadde finiş yolluk makaralarının aşınma miktarları: ton başına oran olarak hesap edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Sertlik sonuçları

CPR, DIN 1.2379 ve DIN 1.2436 soğuk iş takım çeliklerinin ısıl işlemler sonrası ölçülen Rockwell-C sertlik değerleri grafiksel olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. CPR soğuk iş takım çeliğinin 1.2379 ve 1.2436 soğuk iş takım çeliklerine göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Burada elde edilen sertlikler, kimyasal kompozisyonlar açısından ve sektörel tecrübeye bağlı olarak arzu edilen değerlerdir. DIN 1.2436 ve DIN 1.2379 takım çeliklerinde hadde makarası uygulamalarında gevreklik sorunları çatlama ve aşırı malzeme kayıpları meydana gelme ihtimalinden ve CPR malzemesinin düşük karbon oranından dolayı bu sertlik seviyeleri makul kabul edilmiştir. Yüksek volfram ve vanadyum miktarları CPR takım çeliğinde daha yüksek sertlik elde edilmesine diğer bir ifade ile menevişleme sırasında nispeten yüksek menevişleme sıcaklığı da söz konusu olsa sertliğin daha az düşmesine fayda sağlamıştır. Düşük karbon, yüksek tokluk ve düşük gevreklik beklentisinden dolayı da bu durumun problem oluşturmayacağı değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Sertlik sonuçları.

Takım çeliklerinde sertlik değerleri su verme ile yüksek seviyede elde edilebilmekte ve ardından tekrarlı temperleme işlemleri ile istenilen değerde ayarlanabilmektedir. Burada da şayet sertlik değerleri 1.2379 ve 1.2436 takım çelikleri için yüksek sertlik ve düşük sürelerde temperleme ile bu sertliğin korunması mikroyapıda aşırı hızda su verme ve kısa temperleme ve az sayıda temperlemeden dolayı hem bu çelikleri yüksek karbon miktarı sebebi ile çarpılma ve mikro çatlak oluşumunu teşvik etmekte ve hem de kalıntı östenit miktarını hem soğutma hızı ve hem de yüksek karbondan dolayı kalıntı östenitin miktarının yüksek olmasına sebep olabilmektedir (Yamanoğlu 2015, Akıncıoğlu vd. 2012). Dolayısıyla Fabrika şartlarında finiş makaralarında kullanımları için yüksek sertlikler tercih edilmemeli ve/veya yüksek sertlik değerleri söz konusu ise kriyojenik işlemler ilave olarak yapılmalıdır. Çalışma esnasında yüklemeye zorlamalarında kalıntı östenitin martensite dönüşümü ile hacimce büyümeye sebep olabileceği için bu çeliklerden yapılmış finiş makaralarının çatlamasına ve/veya parçalanmasına sebep olmaktadır (Ersöz ve Ovalı 2018).

CPR çeliğinin sertliğinin her ne kadar karbon miktarı diğer çeliklerden düşük olsa da daha yüksek V ve W içeriği CrC yanında yüksek miktarda WC ve VC karbürlerin oluşmasına imkân verecektir. Kıyaslandığında; CrC sertliği yaklaşık 62-68 Rc iken, VC sertliği yaklaşık 80-82 Rc ve WC sertliği yaklaşık 75-78 Rc civarındadır. Dolayısıyla her ne kadar menevişleme sıcaklıkları farklı da olsa benzer ısıl işlem rotası ile CPR çeliğinde daha yüksek sertlik ve daha sert karbürler içerdiği için de daha yüksek bir aşınma direnci beklenebilir.

3.2 Mikroyapı sonuçları

İncelenen, CPR, DIN 1.2436 ve DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliklerinin ısıl işlem ile dayanımlandırılmış hallerinin optik mikroskop ile alınan mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 4(a), Şekil 4(b) ve Şekil 4(c)'de verilmiştir.

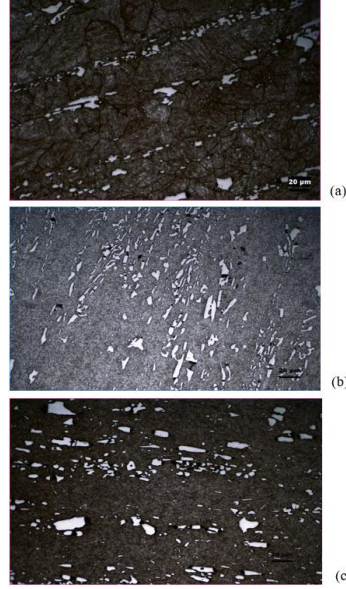
DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinde önceki östenit tane yapıları belirgin bir şekilde gözlemlenebilmekte ve beyaz olarak görülen karbürler heterojen boyut ve dağılım göstermektedir. DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinde bu beyaz görünümlü krom

karbürlerin boyutlarının diğer takım çeliği numunelerine göre daha kaba yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu çeliğin 0,9 oranında V içermesi temperleme sırasında tane sınırlarında ince VC karbür çökelmelerinin meydana gelmesi için potansiyel oluşturmaktadır. Tane sınırları nispeten belirginleşmektedir. VC özellikle tane sınırlarında ince karbür dağılımı olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu yüzden optik olarak tespit edilmesi biraz daha nispeten zordur. Su verme ve temperleme ısıl işleminin bir sonucu olarak matris yapı temperlenmiş martensittir. Yüksek karbon ve yüksek CrC'den dolayı korozyon direnci nispeten düşük olarak kabul edilmektedir.

DIN 1.2436 soğuk iş takım çeliğinde ise karbür miktarının nispeten yüksek olduğu ve bu karbür morfolojilerinin DIN 1.2379 soğuk takım çeliğindeki karbür morfolojileri ile kıyaslandığında daha iri yapıya ve heterojen olduğu gözlenmektedir. DIN 1.2436 çeliği yüksek karbonla birlikte az miktarda W içermektedir. Bu soğuk iş takım çeliğinde de bu beyaz görümlü karbürlerin yüksek karbür seviyelerinden dolayı krom karbür oldukları kabul edilebilir. Bu krom karbürlerin boyutlarının diğer takım çeliği numunelerine göre daha ince ve kısmen bant yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu çeliğin 0,80 oranında W içermesi bir miktar WC oluşumunu sağlamaktadır. WC özellikle tane sınırlarında ince karbür dağılımı olarak ortaya çıkabilmektedir. Tane sınırı veya tane içi oluşum; kimyasal bileşim, döküm ve ardışık işlemlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun optik olarak tespit edilmesi biraz daha zordur. Su verme ve temperleme ısıl işleminin bir sonucu olarak matris yapı temperlenmiş martensittir.

CPR soğuk takım çeliğinde önceki tane sınırlarının oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Tane sınırlarının diğer iki takım çeliğine nazaran daha belirgin olması yüksek W ve V elementlerinin bir sonucu olarak kabul edilebilir. Bunun sebebi de özellikle önceki östenit tane sınırlarında oluşan WC, VC, MoC'ler olarak yorumlanabilir. CPR soğuk iş takım çeliğinde de birincil olarak ifade edilen beyaz görümlü karbürlerin (CrC, WC ve VC) fazla olduğu ve bu karbür yapılarının DIN 1.2379 soğuk takım çeliğindeki karbür yapılardan daha küçük boyutlu olduğu görülmektedir. Bunun bir sebebinin karbon

miktarının düşük olması ile karbür boyutunun daha küçük olarak gerçekleşmesidir. Ayrıca temperlemeye bağlı olarak sertlik değişimlerine bakıldığında yüksek sıcaklıklarda temperlemede CPR takım çeliği mikroyapısında Cr, W, V ve Mo içeriğine bağlı olarak temper gevrekliği ve sertlikte artış görülmektedir.

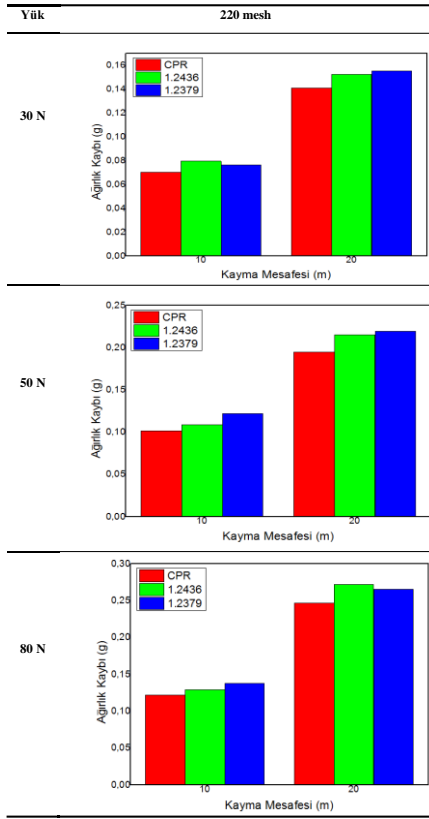


Şekil 4. Numunelerin mikroyapı fotoğrafları a) CPR, b) DIN 1.2436 ve c) DIN 1.2379

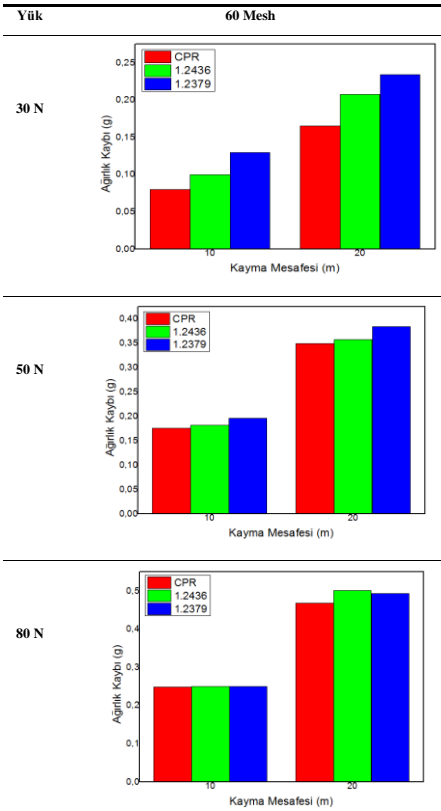
CPR çeliğinde karbür yapıcı element olarak W, V ve Mo ilavesi ve sonuçta Cr yerine bu elementlerin karbürlerinin oluşması, %12 Cr miktarının karbonca karbür yapmak için daha az tüketilmesi ve dolayısıyla sıcak hadde çıkış makaralarının çalışma esnasında ısınmaları durumunda korozyon direncinin daha yüksek olması ile malzeme kayıplarının da azalması anlamına gelmektedir. Ayrıca yüksek karbon miktarı aşınma direnci için ciddi bir avantaj sağlamaktadır.

3.3 Abrasif aşınma sonuçları

Isıl işlem ile üretilen ıslahlı (su verme & temperleme) CPR, DIN 1.2436 ve DIN 1.2379 soğuk iş takım çelikleri numuneleri laboratuvar şartlarında blok on ring- silindir üzerinde kütle aşınma deney sonuçları; kayma mesafesine göre ağırlık kaybı değerleri olarak Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. 220 mesh zımpara üzerinde yapılan aşınma deneylerinin kayma mesafesi ağırlık kaybı grafikleri.



Şekil 6. 60 mesh zımpara üzerinde yapılan aşınma deneylerinin kayma mesafesi ağırlık kaybı grafikleri.

Şekil 5'te görüldüğü gibi 220 mesh zımpara üzerinde yapılan aşınma deneylerinin kayma mesafesi ağırlık kaybı grafikleri, değişik yük ve mesafe şartlarında yapılan bütün aşınma deneylerinde CPR numunelerinin daha az aşındığını göstermektedir. Aşınma mesafesi ve yük miktarında artış olduğunda aşınma miktarı da hızla artmaktadır. Bu genel bilinen bir durumdur. CPR malzemesinin aşınma direncinin yüksek olması esasen kısmi temperlenmiş martensit yapısından ve birincil karbür yapılarına ilave olarak ince dağılmış WC, VC ve MoC karbür yapılarından ileri gelmektedir. Dolayısıyla her grup takım çeliklerinin benzer karbür dayanımlarına ilave olarak özellik gösteren CPR çeliği bu özellikleri ile favori olarak görülebilir.

DIN 1.2379, DIN 1.2436 ve CPR soğuk iş takım çeliklerinin kayma mesafesine göre ağırlık kaybı grafikleri incelendiğinde CPR soğuk iş takım çeliğinin daha az aşındığı görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi 60 mesh zımpara üzerinde yapılan aşınma deneylerinin kayma mesafesi ağırlık kaybı grafikleri, değişik yük ve mesafe şartlarında yapılan bütün aşınma deneylerinde CPR numunelerinin daha az aşınma göstermesi yukarıda izah edildiği gibidir. Ayrıca zımpara mesh değerinin artması ile aşınma oranları oldukça artmaktadır. Fakat burada aşınma eğilimi değişmemektedir.

CPR, DIN 1.2379 ve DIN 1.2436 soğuk iş takım çelikleri için 30 N, 50 N ve 80 N yükler altında 220 mesh ve 60 mesh aşındırıcı zımparalarda numunelerde meydana gelen ağırlık kaybı grafikleri incelendiğinde, CPR soğuk iş takım çeliğinin 60 mesh ve 220 mesh zımpara kalınlıklarında DIN 1.2379 ve DIN 1.2436 soğuk iş takım çeliklerine göre daha az aşındığı tespit edilmiştir.

3.4. Endüstriyel uygulama ile aşınma sonuçlarının karşılaştırılması

Deneysel aşınma testlerine ilave olarak, gerçek işletme ortamında (Saka Demir Çelik) 28-34 mm boyutlarında yuvarlak ürünlerde kullanılan sıcak hadde finiş yolluk makaralarının aşınma miktarları belli bir tonaj çalışma öncesinde ve sonrasında Şekil 7.'de görüldüğü gibi ölçülerek gram-ton cinsinden ifade edilmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- **1.2379 malzeme (1 nolu makara):** Sıcak haddede bu makara ile 750-ton ürün çekilmiştir. Ürün çekilmeden önce makaranın ağırlığı 2352 gramdır. 750-ton ürün çekildikten sonra ağırlığı 2340 grama düşmüştür. Ton başına $2352-2340/750=0,016$ -gram aşınma meydana gelmiştir.
- **1.2436 malzeme (2 nolu makara):** Sıcak haddede bu makara ile 550-ton ürün çekilmiştir. Ürün çekilmeden önce makara ağırlığı 1908 gramdır. Ürün çekildikten sonra 1898 grama düşmüştür. Ton başına $1908-1898/550=0,018$ -gram aşınma meydana gelmiştir.
- **CPR özel malzeme (3 nolu makara):** Sıcak haddede bu makara ile 1000-ton ürün çekilmiştir. Ürün çekilmeden önce makara ağırlığı 2404 gr olarak ölçülmüş, 1000-ton ürün çekildikten sonra 2396 grama düştüğü tespit edilmiştir. Sonuçta $2404-2396/1000=0,008$ -gram ton başına düşen malzeme kaybı söz konusudur.

Laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlarda olduğu gibi, gerçek çalışma şartlarında da en az aşınma CPR çelik makaralarda gözlemlenmiştir.



Şekil 7. CPR malzemenin makara ağırlıkları a) ürün çekilmeden önce b) ürün çekildikten sonra.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma sonuçları ile ortaya çıkan önemli özel sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. Çeliklerin kimyasal bileşimlerine göre, karbür yapıları ve östenit tane sınırlarının belirginleşmesi farklılıklar göstermektedir.

2. Abrasif aşınma deneylerinde; 30N, 50N, 80N yüklerde ve 60 mesh, 220 mesh zımpara kalınlıklarında CPR soğuk iş takım çeliğinin aşınma dayanımının DIN 1.2379 ve DIN 1.2436 soğuk iş takım çeliklerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
3. Laboratuvar “pin on ring” aşınma deneyleri ile “işletme” şartlarında çeliklerin aşınma davranışları benzerlik göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışmamıza destek sağlayan Saka Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Akça, G., 2006. Takım çeliklerinin kaynağı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 67.
- Akıncıoğlu, S., Çiçek, A., Ekici, E., Kıvak, T. ve Uygur, İ., 2012. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **4(1)**, 1-9.
- Alan, Y., 2014. AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş takım çeliklerinin frezede işlenebilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 99.
- Albaraz, Z., 2010. Isıl işlem parametrelerinin ve kimyasal kompozisyonun sıcak iş takım çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 53.
- Çelik, H., 1991. Kaynak edilebilen kobalt ve demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 104.
- Demir, B., Elitaş, M., Kurt, A. ve Yazıcı, Ö., 2017. Farklı soğuk iş takım çeliklerinin mikroyapı ve sertliğinin incelenmesi. 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia, Nevşehir, Türkiye.
- Demir, B., Elitaş, M., Kurt, A. ve Yazıcı, Ö., 2017. Soğuk iş takım çeliklerinin farklı parametreler altında abrasif aşınma davranışı. 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia, Nevşehir, Türkiye.

Ersöz, E. and Ovalı, I., 2018. The effects of the industrial cryogenic process on the wear behaviours of AISI D2 cold work tool steels. *Journal of Polytechnic*, **21**, 411-417.

İzciler, M., 1997. Yüksek krom alaşımlı dökme demirlerin farklı sıcaklıktaki abrasif aşınma aşım katkı oranının ve ısıtma şartlarının etkileri. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 128.

Kurt, A., 2019. Sıcak hadde finiş tezgâhı yolluk makaralarında aşınma problemi için uygun olan soğuk iş takım çeliğinin seçilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 64.

Larsson, J.M.B., 2013. Influence of tool steel carbide orientation on sliding wear. Master Thesis, Karlstad University Faculty of Health, Science and Technology, Karlstad, 35.

Özer, O., 2016. 1.2344 kalite takım çeliğine alternatif sıcak iş takım çeliğinin ısıtma parametrelerinin belirlenmesi ve hadde bıçak uygulamalarındaki performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 50.

Smith, W.F., 2000. Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri 1. Dr. Mehmet Erdoğan (çeviri editörü), Nobel Akademik Yayıncılık, 265-266.

Yamanoğlu, O., 2015. Soğuk iş takım çeliklerinin aşınma direnci üzerinde kriyojenik işlemin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 116.

Yılmaz, F., 1997. Sürtünme ve aşınma. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye.

İnternet kaynakları

1-<https://www.mmo.org.tr/kitaplar/mekanik-tasarimda-celik-ve-ozellikleri>, (20.10.2020)