

# H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde krom-nikelli çeliklerin aşınma davranışları

Yavuz SUN\*, Hüseyin ÇİMENOĞLU

İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada, Fe-0.4C-27Cr-5Ni ve Fe-0.4C-18Cr-9Ni dökme çeliklerin konsantrasyonu % 0-10 arasında değişen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisindeki aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri, ileri-geri aşınma deney cihazında, 275 gr sabit yük altında ve 26 mm/s deney hızında 10 mm çapındaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilyenin numune yüzeylerine sürtünmesi ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonrası numune yüzeyinde oluşan aşınma izleri, yüzey profilometresi yardımı ile incelenmiş ve deney sonuçları aşınma iz alanları ölçülerek mm<sup>2</sup> cinsinden alan kaybına göre değerlendirilmiştir. Deney sonuçları, Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliğinin Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliğine nazaran daha fazla aşındığını göstermiştir. Aşınma deneylerinin yapıldığı çözeltinin konsantrasyonunun artması çeliklerin aşınma direncini ve sürtünme katsayısını azaltmıştır.*

**Anahtar Kelimeler :**Cr-Ni çelikleri, aşınma, korozif aşınma, korozyon.

## Wear behaviour of Cr-Ni steels in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution

### Abstract

*In this study, wear performances of Fe-0.4C-27Cr-5Ni and Fe-0.4C-18Cr-9Ni steels were examined. Microstructural characterization of the as-cast steels was made by microscopic examinations and X-ray diffraction analysis. Mechanical properties of the steels were determined by hardness measurements and Charpy impact tests at room temperature. Wear tests were performed on a reciprocating wear tester in %0-10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions. The tests were made under normal load of 275 g by rubbing a 10 mm diameter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ball on the surface of the samples with a sliding velocity of 26 mm/s. After the wear tests, wear tracks developed on the worn surfaces were investigated by a profilometer and the results of the wear tests were quantified in the units of mm<sup>2</sup> according to wear track area measurements. The matrixes of the Fe-0.4C-27Cr-5Ni and Fe-0.4C-18Cr-9Ni were identified as ferritic and austenitic, respectively. In the microstructures of both steels dominant carbide was Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Fe-0.4C-27Cr-5Ni steel exhibited higher hardness and lower toughness than Fe-0.4C-18Cr-9Ni steel. In H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions, Fe-0.4C-27Cr-5Ni steel exhibited higher wear resistance than Fe-0.4C-18Cr-9Ni steel. Increase of concentration of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution resulted in decrease of wear resistance and friction coefficient of both steels.*

**Keywords:** Cr-Ni steels, wear, corrosive wear, corrosion.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Yavuz SUN. yavuzsun@hotmail.com; Tel: (370) 433 66 03.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Yüksek krom ve nikelli çeliklerin aşınma davranışlarının incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 24.11.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 21.12.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Yüksek Cr ve Ni'li dökme çelikler üstün korozyon direnci, aşınma direnci ve yüksek sürünme mukavemeti gerektiren mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çeliklerin ticari kullanım alanlarına örnek olarak; gaz türbünleri, askeri ekipmanlar, kimyasal proses ekipmanları ve uçak motorları verilebilir (Metal Handbook, 1990).

Yüksek Cr ve Ni'li çeliklerin özellikleri matris, karbür ve intermetaliklerden oluşan mikroyapı ile yakından ilgilidir. Matris, bileşime bağlı olarak ferritik veya ostenitik olabilir. Bileşimde bulunan Cr ferriti Ni ise osteniti kararlı hale getiren ana alaşım elementleridir. Bu çeliklere ilave edilen alaşım elementlerinin amacı mekanik özellikleri iyileştirmek, aşınma ve korozyon direncini arttırmaktır. Cr korozyon direncini geliştirirken, Ni yüksek sıcaklık direncini arttırmaktadır (Davis, 1997).

Literatürde, yüksek Cr ve Ni'li çeliklerin genellikle korozyon ve yüksek sıcaklık özellikleri incelenmiştir. Bu çeliklerin korozif aşınma davranışları hakkında sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır.

## Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada, Fe-0.4C-27Cr-5Ni ve Fe-0.4C-18Cr-9Ni nominal bileşimlerine sahip yüksek Cr ve Ni'li döküm çelikler kullanılmıştır.

İncelenen çeliklerin mikroyapı karakterizasyonu, mikroskobik inceleme ve x-ışınları difraksiyon (XRD) analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Mikroskobik inceleme çalışmalarında, standart metalografik yöntemlerle zımparalanan ve parlattıran numuneler oksalik asit çözeltisinde 1.5 volt altında 15 saniye süreyle elektrolitik olarak dağlanmıştır. XRD çalışmaları, Cu-K $\alpha$  radyasyonu kullanan Philips PW1710 model XRD cihazı ile 20 mA akımda 50 kv jeneratör gerilimi altında 10<sup>o</sup>-90<sup>o</sup> açı aralığında ve 0.02<sup>o</sup>/s değerinde bir tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir.

Mekanik özellik karakterizasyonu, sertlik ve darbe deneyleriyle yapılmıştır. Sertlik ölçümleri metalografik olarak hazırlanmış numuneler üzerinde Vickers batıcı ucu ile Schimatzu Model

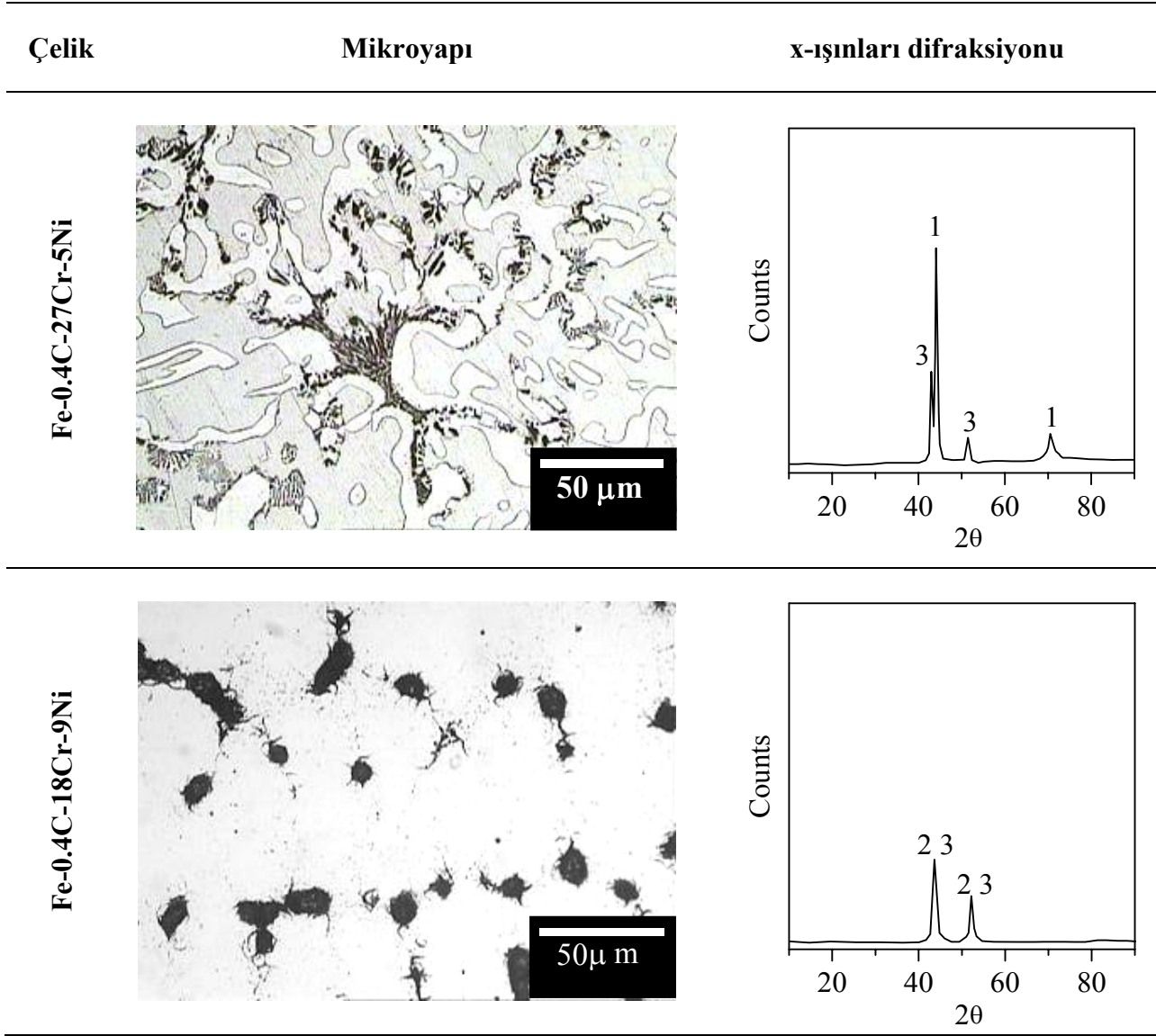
mikrosertlik cihazında 1 kg yük kullanılarak belirlenmiştir. Standart olarak hazırlanan V-çentikli numunelerin darbe deneyleri, Mohr Federhaff marka PSW 30/15 model Charpy tipi darbe deney cihazı ile oda sıcaklığında yapılmıştır.

Aşınma deneyleri ASTM G133 standardında tanımlanan, ileri-geri aşınma deney cihazında saf su ve konsantrasyonu %1-10 arasında değişen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri içerisinde gerçekleştirilmiştir. İleri-geri aşınma deneyleri numune yüzeyine 10 mm çapında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilyenin sürtünmesi ile yapılmış olup, hareket uzunluğu ve toplam kayma mesafesi sırasıyla 12 mm ve 240 m'dir. Deneyler 26 mm/s kayma hızında 275 g yük altında yapılmıştır. Aşınma deneyi sonrasında numune yüzeylerinde oluşan aşınma izleri profilometre (Perthometer S8P) ile analiz edilmiştir.

## Deney sonuçları ve irdeleme

İncelenen çeliklerin mikroyapılarına ait optik mikroskop görüntüleri ve XRD sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Mikroyapı, matris ve karbürlerden (siyah bölgeler) oluşmaktadır. XRD sonuçlarına göre, Fe-0.4C-27Cr-5Ni bileşimine sahip çelik ferritik matrise sahip iken Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliği ostenitiktir. Çeliğin bileşiminde yüksek miktarda Cr ve düşük miktarda Ni'nin bulunması ferritik matrisi kararlı hale getirmiştir. Cr miktarı düşük Ni miktarı yüksek olan çeliklerde ostenitik matris elde edilmiştir (Fadilha ve Rios, 2002; Jacksen, 1970). Bununla birlikte her iki çeliğin mikroyapısında Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> tipi karbürlerin mevcut olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen çeliklerin sertlik ve darbe deneyi sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Cr içeriği düşük ve Ni içeriği yüksek olan Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliği Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliğinden %20 oranında daha düşük sertlik, %600 oranında daha yüksek darbe enerjisi sergilemiştir. Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliğinin Cr içeriğinin yüksek olması, mikroyapıdaki karbür miktarını artırmış ve böylece sertliğin artmasına ve tokluğun azalmasına neden olmuştur. Ayrıca Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliğinin ostenitik, Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliğinin ise ferritik matrise sahip olması da mekanik özelliklerin farklılık göstermesine yol açmıştır (Zumelzu vd., 2002).



Şekil 1. İncelenen çeliklerin döküm hali mikroyapıları ve XRD paternleri. (1) Ferrit, (2) Ostenit ve (3)  $Cr_{23}C_6$

Tablo 1 . İncelenen çeliklerin mekanik özellikleri

Çelik	Sertlik (HV)	Darbe enerjisi (J)
Fe-0.4C-27Cr-5Ni	278	4.1
Fe-0.4C-18Cr-9Ni	220	26.5

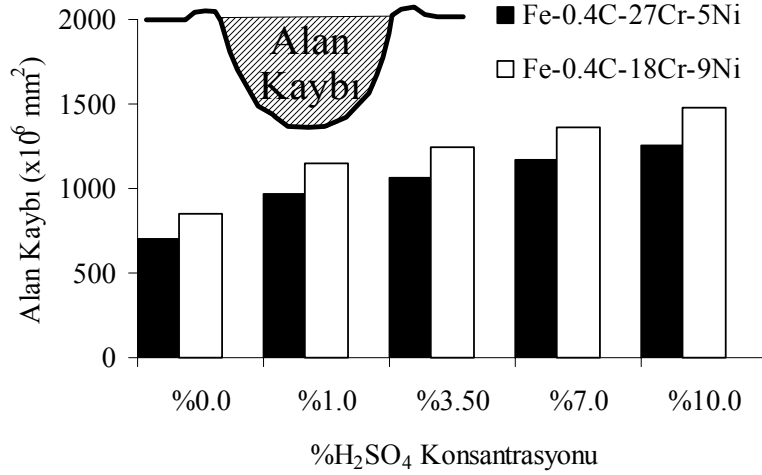
İleri-geri aşınma deneyleri sırasında numunelerin yüzeyinde oluşan aşınma izlerinin 2 boyutlu profilometrik görüntülerden hesaplanan aşınma kaybı, aşınma iz alanı ( $mm^2$ ) cinsinden Şekil 2'de verilmiştir.

Her iki çelikte de  $H_2SO_4$  konsantrasyonunun artması ile alan kaybı artmıştır. Tüm konsant-

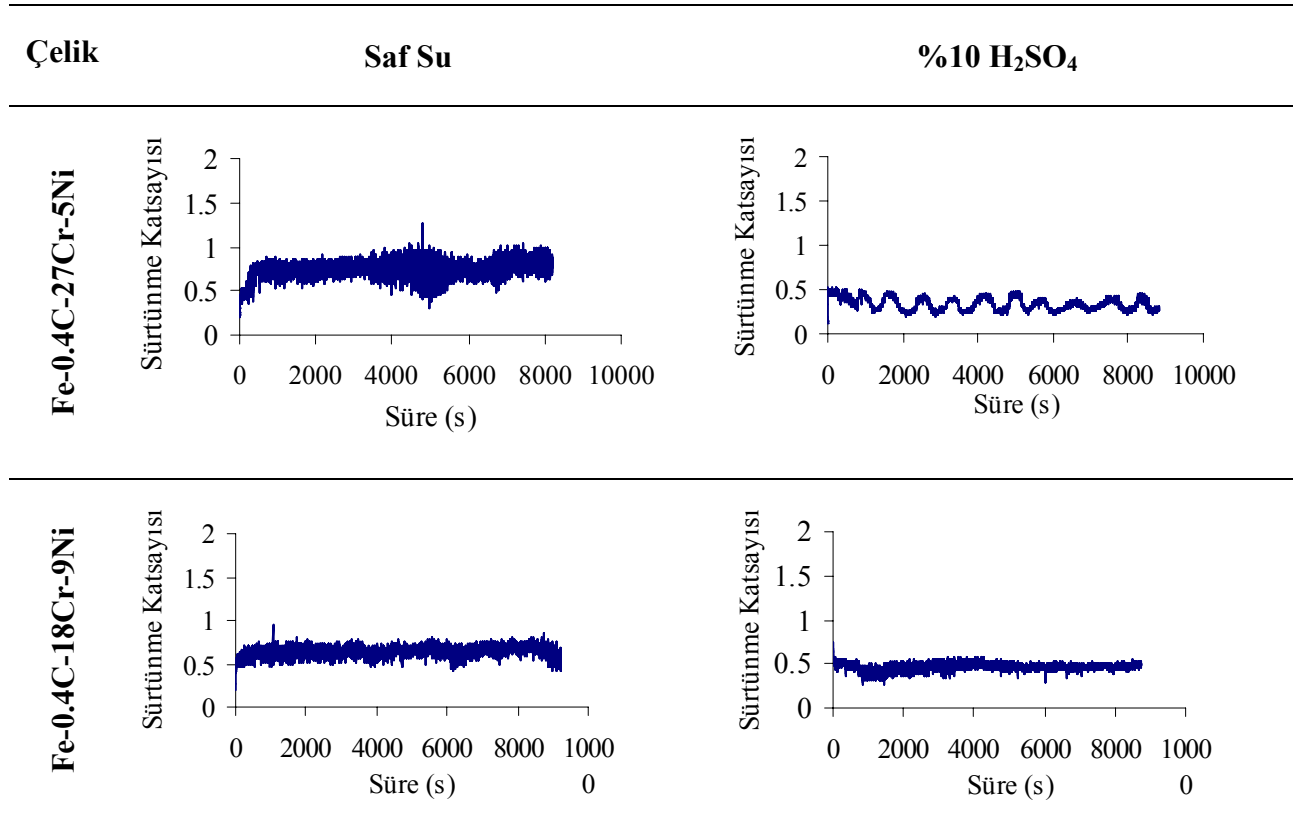
rasyonlarda, Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliği Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliğinden daha düşük alan kaybı sergilemiştir. Korozif aşınma koşullarında çeliklerin yüzeyinde Cr tarafından oluşturulan oksit tabakası  $Al_2O_3$  bilye tarafından sürekli olarak kaldırılmakta ve çıplak metal korozif ortamla temas etmektedir (Metwaly ve Song, 1994, Yılmaz vd., 2003 ve Jiang vd., 1993). Bu işlem

sırasında çelik korozyona uğrarken  $Al_2O_3$  bilyenin aşındırıcı etkisine de maruz kalmaktadır. Bu durumda sertliği yüksek olan Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliği Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliğinden daha yüksek aşınma direnci göstermiştir.

İncelenen çeliklerin  $H_2SO_4$  çözeltisi içerisinde yapılan ileri-geri aşınma deneyleri sırasında elde edilen ve Şekil 3'te verilen grafiklerden hesaplanan kararlı durum sürtünme katsayısı değerlerinin çözelti konsantrasyonu ile değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

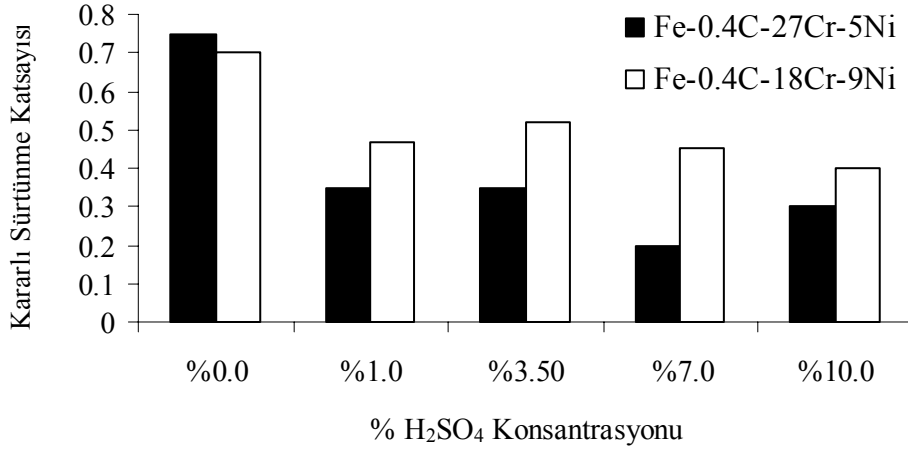


Şekil 2. İleri-geri aşınma deneylerine tabi tutulan çeliklere ait alan kaybı (aşınma iz alanı) değerlerinin çözelti konsantrasyonu ile değişimi



Şekil 3. Saf su ve %10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri içerisinde yapılan ileri-geri aşınma deneyi sırasında tespit edilen sürtünme katsayısı grafikleri

### $H_2SO_4$ çözeltisi içerisinde krom-nikelli çelikler



Şekil 4. İleri-geri aşınma deneylerine tabi tutulan çeliklere ait kararlı sürtünme katsayısının çözelti konsantrasyonu ile değişimi.

Saf su içerisinde elde edilen sürtünme katsayıları ile  $H_2SO_4$  çözeltisi içerisinde elde edilen kararlı durum sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında, çözeltinin  $H_2SO_4$  konsantrasyonunun artması ile kararlı durum sürtünme katsayısında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Korozyon ürünlerinin aşındırıcı bileye ile metal arayüzeyinde yığılması, yağlayıcı etki nedeniyle kararlı durum sürtünme katsayısının düşmesine sebep olmuştur (Baydoğan vd., 2004).

#### Genel sonuçlar

Fe-0.4C-27Cr-5Ni ve Fe-0.4C-18Cr-9Ni nominal bileşimine sahip döküm çeliklerle yapılan bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1-Kromu yüksek ve nikeli düşük olan Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliği ferritik matrise sahip iken kromu düşük Nikeli yüksek Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliği ise ostenitik matrislidir. Her iki çeliğin de mikroyapısında  $Cr_{23}C_6$  tipi karbürler mevcuttur. Ferritik matrise sahip çelik, ostenitik matrise sahip çeliğe nazaran daha yüksek sertlik ve daha düşük tokluğa sahiptir.

2-İncelenen çeliklerin  $H_2SO_4$  çözeltisi içerisindeki aşınma direnci ve kararlı durum sürtünme katsayısı ortamın  $H_2SO_4$  konsantrasyonunun artması ile azalmıştır. Fe-0.4C-27Cr-5Ni çeliği Fe-0.4C-18Cr-9Ni çeliğine nazaran daha yüksek

aşınma direnci ve daha düşük sürtünme katsayısı sergilemiştir.

#### Kaynaklar

- Baydoğan, M., Çimenoglu, H. and Kayalı, E.S., (2004). A study on sliding wear of a 7075 aluminum alloy, *Wear*, 1-10.
- Davis, J.R., (1997). Heat resistance materials, ASM International.
- Fadilha, A.F. ve Rios, P.R., (2002). Decomposition of austenite in austenitic stainless steels, *Iron and Steel Institute of Japan*, **42**, 325-337.
- Metall Handbook, (1990). Properties and selection, ASM Int.
- Jackson, R.J., (1970). The austenite liquids surface and constitutional diagram for the Fe-Cr-C metastable system, *Iron-Steel Institute*, **208**, 163-167.
- Jiang, X.X., Li, S.Z., Tao, D.D. ve Yang J.X., (1993). Accelerative effect of wear on corrosion of high alloy stainless steel, *Corrosion Science*, 836-842.
- Metwally, W.A. ve Song, M.K., (1994). Evolution of abrasive wear and erosion-corrosion resistance of high chromium cast steel, *Steel Research*, **65**, 455-461.
- Yılmaz, O., Aksoy, M. and Yıldırım, S., (2003). Wear behaviour of Fe/M7C3 metal matrix composites with various microstructures during dry sliding, *Materials Science and Technology*, **19**, 661-668.
- Zumelzu, E., Goyos, I, Cabezas, C., Opitz, O. and Parada, A., (2002). Wear and corrosion behaviour of high chromium (14-30Cr) cast iron alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, **128**, 250-255.