

YÜZEYİ FERROMANGAN TOZ ALAŞIMIYLA KAPLI DÖKÜMLERİN AŞINMA KARAKTERİSTİĞİNİN BULANIK MANTIKLA MODELLENMESİ

Serkan ÖZEL, Bekir YALÇIN*, Hüseyin TURHAN ve İlyas SOMUNKIRAN

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

* Makine Eğitimi Bölümü, , Teknik Eğitim Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

sozel@firat.edu.tr, bekir@tef.sdu.edu.tr, hturhan@firat.edu.tr, ilyass@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 05.01.2007; Kabul/Accepted: 24.12.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, ferromangan tozu ile alaşımlandırılan döküm bakır alaşımının aşınma performansı, aşınma deneyleri ile belirlenmiştir. Döküm bakır alaşımından imal edilen numunelerin yüzeyleri; 9 g toz emdirme miktarı, 115 A, 125 A ve 140 A akım şiddeti kullanılarak Gaz Tungsten Ark (GTA) yöntemi ile ferromangan tozuyla alaşımlandırılmıştır. Aşınma deneyleri, 20, 40 ve 60 N yüklerde ve farklı mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Aşınma karakteristiği, ağırlık kaybı ile ölçülmüş ve bu değerlere göre bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bulanık mantık modelinde; akım, yük ve mesafe sistem girdisi, aşınma miktarı kontrol parametresi (çıkıtı) olarak atanmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen verilere göre, sistem girdisi üyelik fonksiyonları ve alt küme aralıkları tespit edilmiştir. Çıkıtı parametresinin doğru bir şekilde kontrol edilebilmesi için alt küme aralığı sekiz kümede incelenmiştir. Kurulan uzman model ile, girdi parametrelerine göre oluşan aşınma miktarı tahmin ettirilmekte olup, tahmin değerleri deneysel verilere oldukça yakın olduğu regresyon analizi (R2 korelasyon katsayısı ve formülasyonları) ile tespit edilmiştir. Bu sayede, hiçbir deney yapılmamış durumda, bu malzemenin aşınma performansı karakterize edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey alaşımlama, aşınma, bulanık mantık.

FUZZY LOGIC MODEL OF WEAR CHARACTERISTIC OF SURFACE ALLOYED WITH FERROMANGANESE POWDER

ABSTRACT

In this study, wear performance of cast copper alloyed with ferromanganese powder was determined by wear experiments. Surface of the specimens produced by cast copper were alloyed with 9 g ferromanganese powders using 115 A, 125 A and 140 A current intensities applied by Gas Tungsten Arc (GTA) Method. Wear experiments were carried out using different loads 20, 40 and 60 and sliding distances. The wear characteristics were measured with weight loss. Fuzzy logic model was setup according to experimental results. Current intensity, applied load and sliding distances were assigned as inputs and then wear amount was designed as output in this fuzzy logic model. Based on experimental results, system input and output membership functions were determined. Output support range was investigated in eight groups to be able to make sensitive estimates. It is found that estimated wear amount with the use of the proposed system be very close to experimental wear results thanks to regression analyses (R2 correlation values). For untested conditions wear performance characteristics could be determined with an application of the proposed fuzzy logic model of the investigated alloys.

Keywords: Surface alloying, wear, fuzzy logic.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde bilgisayar ve sistemleri alanındaki gelişmeler, endüstride rekabet ve kaliteyi arttırmakla

birlikte mekanik sistemlerin bilgisayarla kontrolünü zorunlu hale getirmiştir. Bu teknolojik gelişmelerin imalat sektöründeki dönüşümleri, bilgisayar destekli imalat (Computer Aided Manufacturing-CAM),

esnek imalat (Flexible Manufacturing-FM), bilgisayar destekli mühendislik (Computer Aided Engineering-CAE, Sonlu Eleman Metodu (Finite Element Method-FEM), Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design-CAD) vs. ve bu sistemlerin kombinasyonu ile bilgisayar bütünleşik üretim (Computer Integrated Manufacture-CIM) sistemlerini ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmelerle, karmaşık ileri imalat sistemlerinde (Robotik Sistemler, Akıllı İmalat Sistemleri, vb.) üretim sistemlerinin kontrolü ve modellenmesi ve buna bağlı olarak simülasyonu, sistemlerin işlem kontrolü, izlenmesi ve ürün analizi önem kazanmıştır. Bu sistemlerin güvenilir olarak modellenmesi/kontrolü için bazı mühendislik bilgisayar programları ve yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanlar; bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi yapay zekâ uygulamalarıdır. Bu sayılan yöntemler içerisinde bulanık mantık özellikle tahmin, kontrol, veri analizi ve sınıflandırma için oldukça uygun bir yöntemdir [1,2,3]. Bulanık Model tam ve kesin olmayan bilgiler kullanılarak tutarlı ve doğru karar vermeyi sağlayan, bir analiz ve karar verme mekanizmasıdır [4,5]. Diğer bir ifade ile gerçek ve kesin olmayan değerleri sözlü ifade edilebilen dilsel değişkenler tarzında algılayabilen ve tam doğruluk yerine yaklaşık karar vermeyi sağlayan bir mantık modelidir [6].

Değişik uygulamalarda kullanılan bulanık mantık modelleme ile ilgili yayınlar ve çalışmalar yapılmıştır. Wang ve diğerleri [13], metal kesme işlemlerinde veri seçimi için uzman tezgah operatörünün bilgilerine dayanarak ilerleme verilerini optimize etmişler ve genelleştirilmiş bir uzman model kurmuşlardır. Kurulan modelde elde edilen sonuçları, Makina Bilgisi El Kitabında (Machining Data Handbook) tavsiye edilen değerlerle kıyaslamışlar ve sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ghungchoo ve Saini [14] ise, CNC tornalama işlemlerinde takım aşınmasını on-line tahmini için bulanık-sinir ağı modeli kurmuşlardır. Çalışmanın ilk aşamasında bulanık mantık kullanılarak takım aşınması sınıflandırılmış, ikinci aşamada bir sonraki aşama için girdi verileri normalize edilmiş ve üçüncü aşamada yan yüzey ve krater aşınmasının tahmini için yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Kurulan model ile deneysel verilerden elde edilen sonuçların çok yakın olduğunu ifade etmişlerdir. Yalçın ve diğerleri [15], demir esaslı toz metal yatakların aşınmasını karakterize eden bir bulanık mantık model oluşturmuşlardır. Bu modelden elde edilen aşınma tahmin verilerini deneysel aşınma ölçümleri ile kıyaslamışlardır. Değerlerin aritmetik olarak 0.001-0.005 aralığındaki hassasiyette tahmin edilebildiğini ve deney yapılmamış yatak işletme şartlarında aşınmanın doğru tahmin edilebildiğini ortaya koymuşlardır. Liang ve diğerleri [16],

endüstriyel torna ve freze işleme operasyonlarında kesme hızı gücünü, bulanık mantık yöntemiyle kontrol etmişlerdir. Oluşturdukları modelde, sistemin uyumluluğunu iyileştirme amaçlanmıştır. Çalışmalarında, tornalama ve frezeleme işlemlerinde iş-parçası malzemesi kadar takım değişikliğinin de, bulanık sisteme kolayca uyarlanabileceğini ileri sürmektedirler.

Bakır, düşük maliyet ve fabrikasyon kolaylığı, iyi korozyon ve aşınma direncinden dolayı yüksek elektrik ve ısı iletkenliğinin gerektiği kontak malzemesi, direnç kaynak elektrodu ve koruyucu gaz ark kaynak nozulu olarak kullanılmaktadır [7,8]. Bakır-alüminyum alaşımları, mekanik özellikleri, aşınma ve korozyona karşı dirençlerinin iyi olmasından dolayı hava endüstrisinde uçak parçalarının yapımında [9]; Mn katkılı mangan-nikel alüminyum bronzları ise denizcilikte pervanelerin yapımı için kullanılmaktadır [10]. Aşınma ve kayma özellikleri iyi olan kalay bronzları ise aşınmaya maruz kalan tekerlek ve kayma yatakları gibi makine parçalarının üretiminde kullanılmaktadır [11]. Malzeme yüzeyindeki bileşim değişimleri korozyon, yorulma ve aşınma gibi hasarlara karşı dayanımları etkiler. Dolayısıyla malzemeler kullanım amaçlarına göre uygulanan çeşitli yüzey işlemleri sonucu kullanıma sunulurlar [12].

Bu çalışmada, daha önce deneysel olarak yapılan çalışmaya dayanılarak [17,18], bakır alaşımı yüzeyine alaşımlandırılan ferromangan tozu ile elde edilen alaşım tabakasının aşınma değerleri bulanık mantık ile modellenmiştir. Yüzeysel alaşımlandırma işlemi Gaz Tungsten Ark (GTA) yöntemi kullanılmış ve 115, 125 ve 140 A gibi farklı akım şiddeti değerleri seçilmiştir. Alaşımlanan tabakalar, farklı aşınma mesafelerinde, 20, 40 ve 60 N yükler altında aşınma deneyine tabi tutulduktan sonra ağırlık kaybı ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlere göre bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Kurulan modelde; akım, yük ve mesafe sistem girdisi, aşınma miktarı kontrol parametresi (çıkıtı) olarak atanmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen verilere göre, sistem girdisi üyelik fonksiyonları ve alt küme aralıkları tespit edilmiştir. Çıkıtı parametresinin doğru bir şekilde kontrol edilebilmesi için alt küme aralığı sekiz kümede incelenmiştir. Bu sayede, hiçbir deney yapılmamış durumlarda, bu malzemenin aşınma performansı karakterize edilebilmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Döküm yöntemi ile elde edilen bakır alaşımının ve yüzeye alaşımlandırılan FeMn tozunun kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Bakır alaşımının yüzeyine yerleştirilen 9 g ferromangan alaşım tozu, 115 A, 125 A ve 140 A akım şiddetlerinde Gaz

Tablo 1. Bakır alaşımı ve ferromangan alaşım tozunun % ağırlık olarak kimyasal bileşimleri

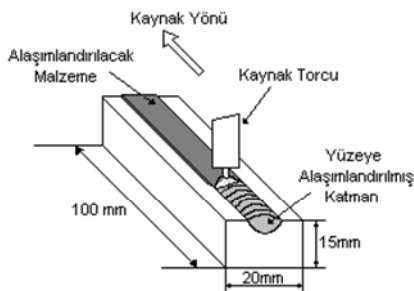
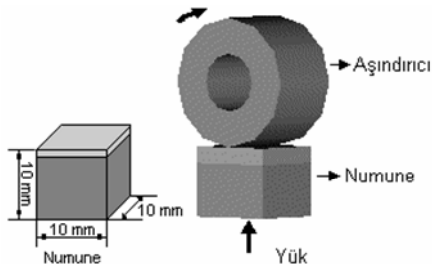
Alaşım Elementleri (% ağırlık)									
Alaşım ve Elementler	Cu	Al	Zn	Sn	Fe	Mn	Ni	C	Si
Cu-alaşımı	kalan	7.00	7.00	4.50	1.50	1.00	1.00	-	0,38
(Fe,Mn) tozu	-	-	-	-	83,40	13	2,80	0,70	0,10

Tungsten Ark (GTA) yöntemiyle yüzeyde alaşımlandırılarak bir üst tabaka oluşturulmuştur (Şekil 1). Yüzevi alaşımlandırılan alt tabakadan dik kesitte mikroyapı ve aşınma numuneleri çıkarılmıştır. Numunelerin mikro yapı incelemeleri için taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneyi, adhesiv aşınma aparatında kuru şartlarda yapılmıştır.

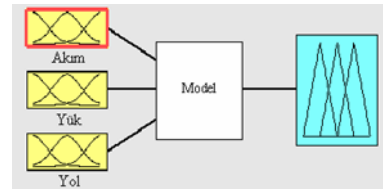
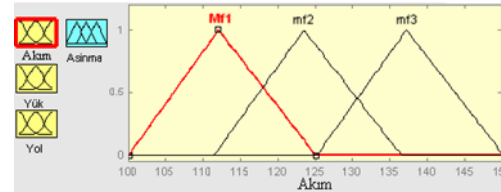
Deneyde kullanılan numune boyutları ve aşındırma düzeni Şekil 2’de verilmiştir. Deneyler; 115 A, 125 A ve 140 A akım şiddetlerinde yüzeyi alaşımlandırılan numunelere, 20, 40 ve 60 N’luk üç farklı yükte, 50-500 m. kayma mesafesinde, 0,0079 m/sn kayma hızında ve 9,5 mm çapındaki AISI 9840 çeliği aşındırıcı olarak kullanılarak, farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi uygulanan dokuz numunenin aşınma miktarları, aşınma öncesi ve sonrası 10^{-5} g ağırlığa duyarlı elektronik terazi ile tartılıp, kütle kaybı belirlenmiştir.

2.1. Deney Sistemi İçin Kullanılan Model (Model Used For Experimental System)

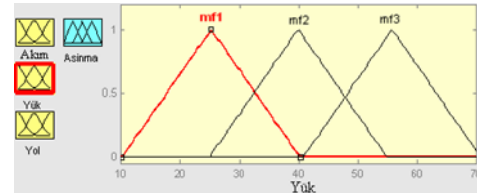
GTA yöntemiyle yüzeyi ferromangan alaşımlanan döküm bakır alaşımının aşınma performansını, akım şiddeti, yükleme durumu ve uygulanan mesafe gibi temel parametreler etkilemektedir. Alaşımlanan döküm bakır alaşımının aşınma karakteristiği, öncelikle bulanık sistemin kural tabanını oluşturabilmek için deneylerle belirlenmiştir. Kurulan bulanık modelde, uygulanan akım şiddeti, yük ve mesafe girdi olarak, aşınma ise çıktı olarak atanmıştır.

**Şekil 1.** GTA yöntemiyle yapılan yüzey alaşımlandırmasının şematik gösterilişi**Şekil 2.** Adhesiv aşınma numune boyutları ve deney düzeneği

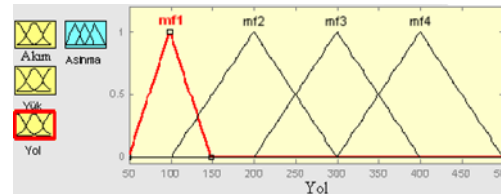
Üyelik fonksiyonları ve alt küme aralıkları arasındaki ilişkiler yapılan deney şartlarına göre belirlenmiştir. Ölçülen deneysel aşınma sonuçlarına göre, uzman modelin kural tabanı oluşturulmuş ve toplam 255 kural yazılmıştır. Tüm bu işlemler Matlab 6.5 programında gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bulanık modelde, üyelik fonksiyonları ve alt küme aralıkları arasındaki ilişki Mamdani prensibine göre kurulmuş ve sırası ile Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.

**Şekil 3.** Yüzevi alaşımlanan döküm bakır alaşımının aşınma davranışının kontrolü için oluşturulan bulanık model.

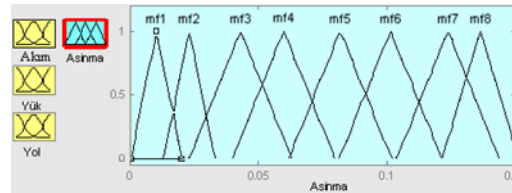
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. a) Akım şiddeti üyelik fonksiyonu ve alt küme aralıkları, b)Yük üyelik fonksiyonu ve alt küme aralığı, c)Yol üyelik fonksiyonu ve alt küme aralığı, d) Üyelik fonksiyonu ve çıktı parametresi aşınma kaybı.

Oluşturulan uzman modelde, amper olarak akım şiddeti üç alt küme aralığında, yükleme durumu üç küme aralığında ve aşınma mesafesi ise dört alt küme aralığında modellenmiştir. Çıktı parametresi ise, çok hassas kontrol edilebilmesi için sekiz küme aralığında sınıflandırılmıştır. Üyelik fonksiyonları ve her bir üyelik fonksiyonunun küme aralıkları arasındaki ilişkiler ne kadar doğru kurularsa, çıktı parametresi o kadar doğru kontrol edilebilmektedir. Üyelik fonksiyonlarının çıkarılması ve küme aralıkları, deneysel verilere göre sezgi, kümeleme ve çıkarım esasına dayanarak belirlenir. Kurulan bulanık modelde, kural tabanı tam ve kesin olarak elde edilmiş sonuçlardan oluşturulmuştur. Şekil 5'te bulanık modeli ile aşınma kaybının tahmini için oluşturulan kural tabanı verilmiştir.

Şekil 3'te görüldüğü gibi kural tabanı, her bir üyelik fonksiyonu/durum değişkeni ve küme aralıkları için ayrı ayrı kural yazılmıştır. Kurallar sözel olarak ifade edilse de, temelde her bir kural bir sayısal sonucu vermektedir. Bulanık modelde, bu malzeme için herhangi bir aşınma rejiminde oluşacak aşınma değeri, yazılan kuralların doğruluğuna bağlıdır. Yazılan kurallar tamamen deneysel şartlardan elde edilen değerlerden elde edilir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

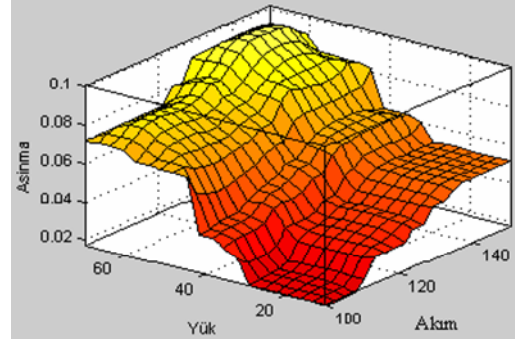
% 7 Al, % 7 Zn ve % 4.5 Sn ilave edilerek döküm yoluyla elde edilen ve yüzeyi alaşımlanan bakır alaşımının aşınma performansının kontrolü için kurulan uzman model çalıştırıldığında, herhangi iki girdi (etki) parametresi ile aşınma kaybı arasındaki ilişki üç boyutlu yüzeysel grafikler halinde elde edilmiştir. Ayrıca, aşınma kaybı, yine girdi parametreler arasındaki ilişkiye göre sayısal değer olarak tahmin ettirilmiştir. Şekil 6'da verilen bulanık sistemden elde edilen yüzeysel grafikler ile bu malzemenin değişik koşullarda aşınma karakteristiği belirlenmiştir.

Şekil 6-a'ya göre, yüzeye uygulanan akım ve uygulanan yük arttıkça aşınma kaybı artmıştır. Sistemde yükün etkisi, uygulanan akım değerine göre çok daha etkili olduğu gözlemlenmekte ve 40 N yük değeri kritik değer olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık 25 N yükleme koşulunda ve 100-110 A mertebesinde aşınma kaybı hemen hemen hiç gözlemlenmemekte ve 30 N yük durumunda ve yaklaşık 125 A mertebesinde ani bir aşınma kaybı tespit edilmiştir. Bu durum deneysel şartlar ile uyum sağlamaktadır.

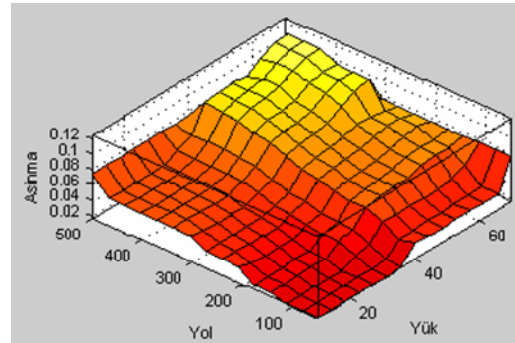
Şekil 6-b'de ise, mesafe, yük değişkeni ve aşınma miktarını gösteren grafik verilmiştir. Yaklaşık 200-300 m kayma mesafesi (yol) kritik değer olarak nitelendirilmekte ve yükte ise 30 N mertebesinde aşınma artışı eğilimi gözlemlenmiştir. Yine yol ve yük arttıkça, lineer olarak aşınma miktarının da arttığı

1. If (Akım is M1) and (Yük is m1) and (Yol is m1) then (Aşınma is m1) (1)
2. If (Akım is M1) and (Yük is m1) and (Yol is m2) then (Aşınma is m1) (1)
3. If (Akım is M1) and (Yük is m1) and (Yol is m2) then (Aşınma is m2) (1)
4. If (Akım is M1) and (Yük is m1) and (Yol is m3) then (Aşınma is m2) (1)
5. If (Akım is M1) and (Yük is m1) and (Yol is m4) then (Aşınma is m3) (1)
6. If (Akım is M1) and (Yük is m1) and (Yol is m4) then (Aşınma is m3) (1)
7. If (Akım is M1) and (Yük is m2) and (Yol is m1) then (Aşınma is m2) (1)
8. If (Akım is M1) and (Yük is m2) and (Yol is m2) then (Aşınma is m2) (1)
9. If (Akım is M1) and (Yük is m2) and (Yol is m2) then (Aşınma is m2) (1)
10. If (Akım is M1) and (Yük is m2) and (Yol is m3) then (Aşınma is m3) (1)
11. If (Akım is M1) and (Yük is m2) and (Yol is m4) then (Aşınma is m3) (1)

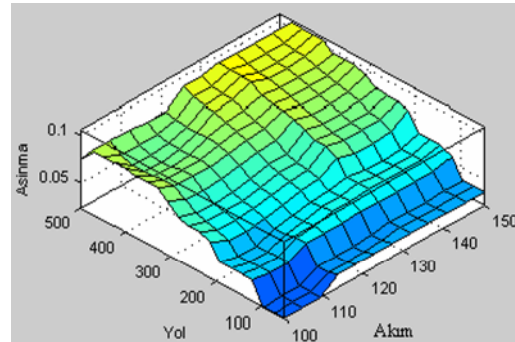
Şekil 5. Uzman model için oluşturulan kural tabanı.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. a) Yük-akım değeri ve aşınma ilişkisi, b) Yük-mesafe ve aşınma ilişkisi, c) Akım-mesafe ve aşınma ilişkisi

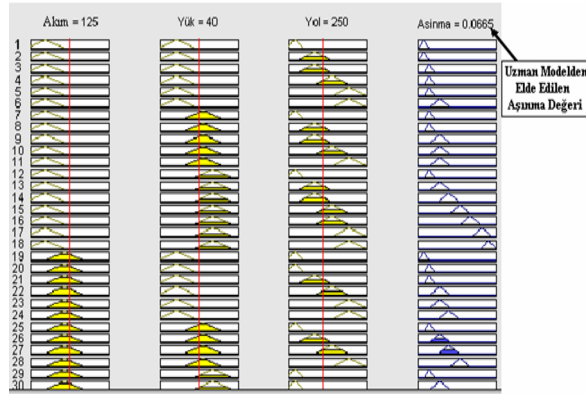
görülmektedir. Şekil 6-c'de ise akım-yol değişkeninin aşınmaya etkisi görülmektedir.

Kayma mesafesi akıma göre aşınmayı çok daha fazla etkilemiştir. Yaklaşık 110 A değerinde ve kayma mesafesi 100m mertebesinde sonra aşınma eğiliminin arttığı gözlemlenmiştir. Yine numunelere uygulanan alaşımlama akımı ve aşınma yolu arttıkça aşınma kaybı da artmıştır. Bu grafiklerin genel eğilimi, deney şartları ile oldukça uyumludur. Bulanık sistemde üç boyutlu yüzeysel grafikler elde

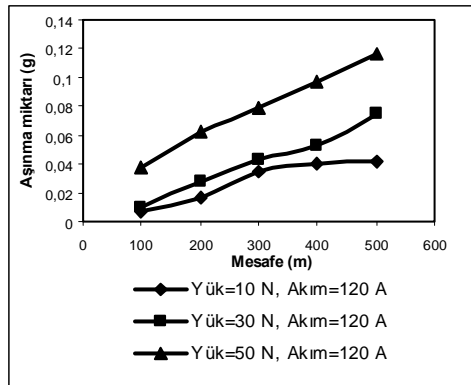
edilebildiği gibi, deneysel olarak belirlenmemiş aşınma rejimindeki aşınma değeri sayısal olarak ta elde edilebilmektedir. Bu durum Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi aşınma, deneysel olarak belirlenmemiş durumda da sayısal değer olarak elde edilmiştir. Şekil 7’deki durumda aşınma rejimi, uygulanan amper 125 A, yük 40 N ve kayma mesafesi 250 m. dir. Bu koşullarda bulanık sistemden elde edilen aşınma değeri, 0,0665 gram’ dır. Aynı koşullarda deneysel olarak ölçülmüş aşınma değeri 0,067 gram’ dır [17]. Herhangi bir aşınma rejimindeki aşınma tahmin değerleri Şekil 8’de, deneysel olarak belirlenen aşınma değerleri ile bulanık sistemden elde edilen aşınma verileri Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi, deney yapılmamış durumda ve herhangi bir aşınma rejiminde, bu alaşımın aşınma kaybı tahmin edilmiştir.

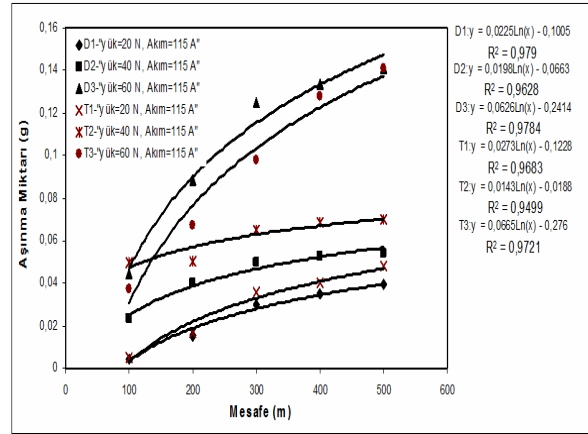
50 N yükleme ve mesafesinin artması durumunda aşınma kaybı artmıştır. Bu eğilim, deneysel verilerle benzeşir. Deneysel ve bulanık sistemden elde edilen grafik değerlerinin R^2 korelasyon katsayıları, en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmış ve Şekil 9’daki grafiklerde denklemleri ile birlikte verilmiştir. Deneysel verilerin R^2 değerleri ile bulanık sistemden elde edilen tahmin verilerinin R^2 değerlerine oldukça yakındır. Bu ise, bulanık



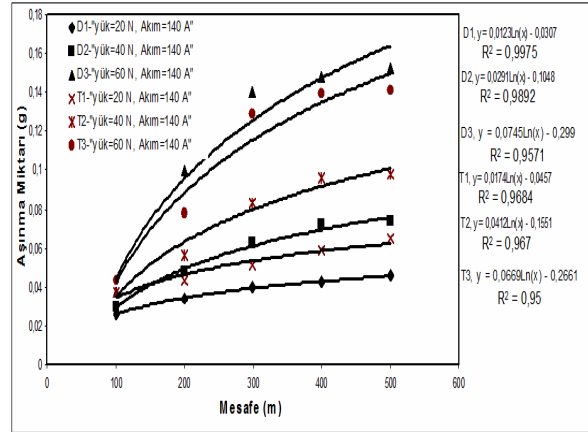
Şekil 7. Bulanık modelden elde edilen aşınma değeri



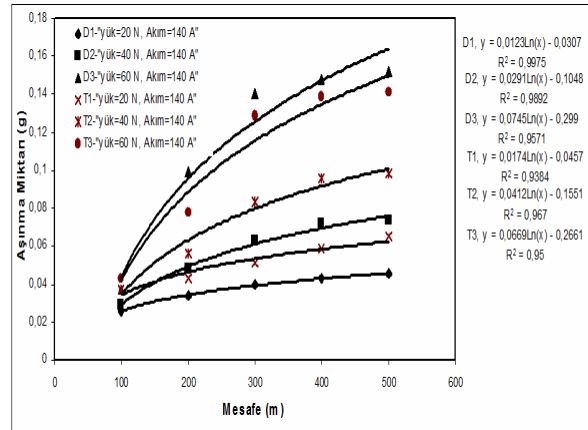
Şekil 8. Uzman modelden elde edilen herhangi bir aşınma rejiminde oluşan aşınma değerleri



(a)



(b)



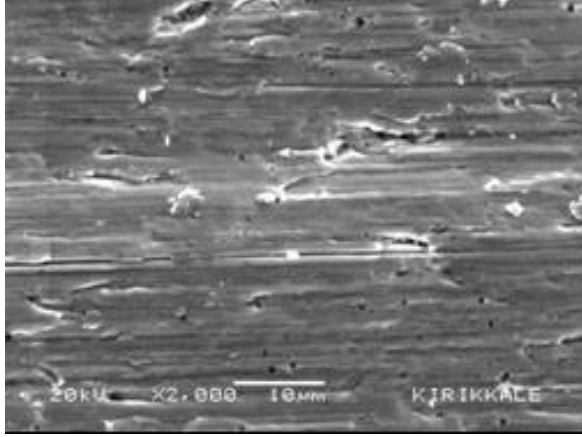
(c)

Şekil 9. Deneysel olarak belirlenen aşınma değerleri ile bulanık sistemden elde edilen aşınma verileri [a) 115 A, b) 125 A, c) 140 A]

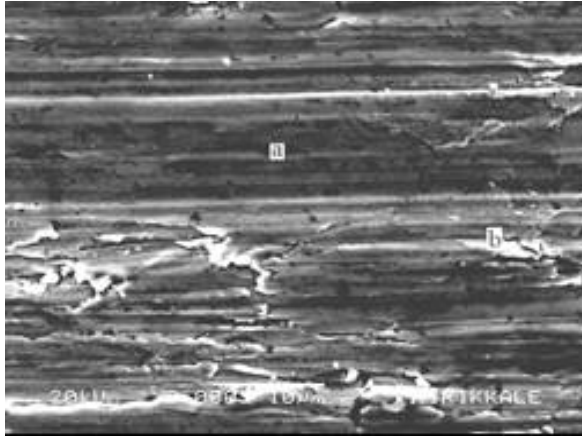
sistemle yapılan aşınma tahminlerinin hata oranının % 3-5 mertebesinde olduğu kanaatine varılmıştır.

Aşınma grafikleri incelendiğinde yük miktarının artmasıyla aşınma miktarının arttığı gözlenmiştir (Şekil 9). 115 A, 125 A ve 140 A değerlerinde alaşımlandırılan numunelerde en fazla aşınma değeri 60 N’ luk yükte gerçekleşmiştir. Akım değerindeki artışa paralel olarak aşınma miktarı da kısmen

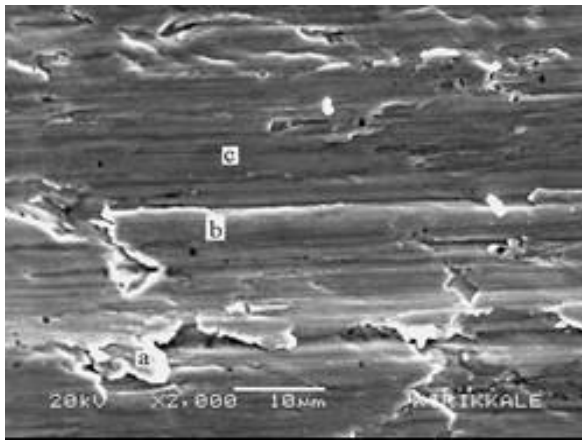
artmıştır. Şekil 10'da farklı akım şiddetlerinde gerçekleştirilen yüzeysel alaşımlanmış numunelerin aşınma yüzey SEM fotoğrafları görülmektedir. Bu SEM fotoğraflarına bakıldığında, 140 A akım şiddetinde yüzeysel alaşımlanmış numunelerde aşınma izlerinin biraz daha derinleştiği görülmektedir. Bu da akım şiddetine bağlı olarak aşınma miktarındaki kısmi artışı doğrulamaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10. Farklı akım şiddetlerinde yüzeysel alaşımlaması yapılan numunelerin aşınma yüzey fotoğrafları. a) 115 A, b) 125 A, c) 140 A

115 A, 125 A ve 140 A akım şiddetinde yüzeysel alaşımlandırılması gerçekleştirilen numunelerin 20N, 40N ve 60N yük altındaki deneysel ve uzman modelden elde edilen aşınma değerleri birbirine çok yakın karakteristik göstermiştir. Tabakanın aşınması esnasında, yüzeysel tabasında oluşan bileşiklerin koparak aşındırıcı ile numune yüzeyi arasında kalması, abrasiv etkiye neden olarak aşınmayı arttırmıştır. Uygulanan yük miktarının 20 N, 40 N ve 60 N olarak artması, ara yüzeydeki abrasiv etkiyi artırarak aşınmayı arttırmıştır. Akım şiddetindeki artışa paralel olarak enerji girdisindeki artış, ferromangan tozunun katman içerisindeki dağılımını daha kolay hale getirmiştir. Bu dağılım ile oluşan bileşiklerin artması, abrasiv etkiyi daha da artırarak aşınmayı arttırmıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bulanık mantık ile modelleme işlemi, belirsizlik gösteren ve uygulanmamış deneysel parametrelerin, yaklaşık sayısal değerlerini yakalamak amacı ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, döküm bakır alaşımının yüzeyinin farklı akım şiddetlerinde alaşımlandırılması ve yüzeyin farklı yüklerdeki aşınma davranışının belirlenmesi amacıyla sayısal değerlerin sözel bilgilere dönüştürülerek kümeleştirilmesi sağlanmış ve bulanık bir mantık ilişkisi kurularak belirsizlik gösteren ve uygulanmamış parametrelere karşılık gelecek aşınma değerlerinin tespit edilebileceği bir model kurulmuştur. Yapılan deneyler ve kurulan model sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır;

- Mesafe, yük ve akım şiddetindeki artışa bağlı olarak aşınma miktarı artmıştır. Akım şiddetinin sabit olduğu durumda, uygulanan yükün ve mesafenin artmasıyla birlikte aşınma miktarı artmıştır. Aynı şekilde yükün sabit olduğu durumda akım şiddeti ve yolun artmasıyla da aşınma miktarı artmıştır.
- Deneysel numunelerde en iyi aşınma direnci, 115 A akım şiddetinde yüzeysel alaşımlandırılan ve 20 N aşınma yüküne sahip numunede gerçekleşmiştir.
- Kullanılan yüzeysel alaşımlandırılmış dökme bakır alaşım malzemesinin aşınma değerlerinin, bulanık mantıkla modellenmesi ile aşınma esnasında oluşan kayıpların tahmini değerleri tespit edilebilir ve yaklaşık aşınma değerleri izlenebilir. Regresyon analizleri ile elde edilen R^2 korelasyon katsayısı, deneysel ile bulanık mantık aşınma sonuçları arasında çok düşük bir sapmanın (% 3-5 mertebesinde) olduğunu tespit etmiştir.
- Uzman modelde, daha az sayıda deney şartlarında, etki parametrelerine göre değişim gösteren aşınma performansının değerlendirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Babuska, R., **Fuzzy Modeling for Control**, Kluwer Academic Publishers, Boston, 257, 1998.
2. Şen, Z., **Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve Modelleme İlkeleri**, Bilge Sanat Yayın Yapımcılık, Yayın No:8509-23-3, İstanbul, 172, 2001.
3. Passino, K.M. ve Yurkovich, S., **Fuzzy Control**, Addison Wesley Longman, Inc., California, 468, 1998.
4. Allahverdi, N., **Uzman Sistemler-Bir Yapay Zeka Uygulaması**, Atlas Yayın Dağ, İstanbul, 248, 2002.
5. Klir, G.J. ve Yuan, B., **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**, Prentice, Hall PTR, Upper Saddle River, 574, 1995.
6. D'Errico, G.E., "Fuzzy Control Systems with Application to Machining Process", **Journal of Materials Processing Technology**, 109, 38-43, 2001.
7. Deshpande P.K. ve Lin R.Y., 2006, "Wear Resistance of WC Particle Reinforced Copper Matrix Composites and the Effect of Porosity", **Materials Science and Engineering: A**, Cilt 418 (1-2), 137-145.
8. Zhan Y. ve Zhang G., "The Role of Graphite Particles in the High-Temperature Wear of Copper Hybrid Composites against Steel", **Materials & Design**, Cilt 27 (1), 79-84, 2006.
9. Liang, W., Xiaolei, X., Jiujun, X. ve Zukun, H., "Microstructures and Properties of PVD Aluminum Bronze Coatings", **Thin Solid Films**, 376, 159-163, 2000.
10. Tang, C.H., Cheng, F.T. ve Man, H.C., "Improvement in Cavitation Erosion Resistance of a Copper-Based Propeller Alloy by Laser Surface Melting", **Surface and Coatings Technology**, 182, 300-307, 2004.
11. Turhan, H. "Adhesive Wear Resistance of Cu-Sn-Zn-Pb Bronze with Additions of Fe, Mn and P", **Materials Letters**, 59, 1463-1469, 2005.
12. Akgün V.O., "Metallere Uygulanan Lazer Yüzey İşlemleri", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 46, 12-16, 2005.
13. Wang, S.V. vd., "Generalized Fuzzy Model for Metal Cutting Data Selection", **Journal of Materials Processing Technology**, 50-99, 310-317, 1999.
14. Chungwoo, C. ve Saini, D., "On-Line Tool Wear Estimation in CNC Turning Operation Using Fuzzy Neural Network Model", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42, 29-40, 2002.
15. Yalçın, B., Varol, R., Yılmaz, N., "Fe Esaslı Toz Metal (T/M)Yatakların Aşınma Özelliklerinin Bulanık Mantıkla Modellenmesi", **MTED**, 4, 1-8, 2004.
16. Liang, M. vd., "Fuzzy Control of Spindle Torque for Industrial CNC Machining", **International Journal of Machine Tool & Manufacture**, 43, 1497-1508, 2003.
17. Özel S., Turhan H., Somunkıran İ., "Cu Alaşımı Yüzeyine TIG Yöntemi Kullanılarak Ferromangan Alaşımlandırılması ve Üretim Parametrelerinin Aşınma Direncine Etkisinin İncelenmesi", **1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi**, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 1444-1450, 5-7 Eylül 2005.
18. Özel S., **Cu-Sn-Zn-Al Bronz Alaşımı Yüzeyine Ferromangan Kaplamasının Aşınma Direncine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-96, 2004.
19. Zadeh L.A., "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility", **Fuzzy Sets and Systems**, Cilt 100, 1, 9-34, 1999.