

Zn-60Al-(1-5) Cu ALAŞIMLARININ KURU SÜRTÜNME DURUMUNDAKİ AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ayşegül BEKTAŞOĞLU *

Temel SAVAŞKAN **

Bu çalışmada beş adet üçlü Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Üretilen alaşımların aşınma özellikleri çubuk-disk (pin-on-disk) esaslı bir deney düzeneği yardımı ile incelendi. Söz konusu alaşımların iç yapılarının alüminyumca zengin α dendritleri ile bu dendritleri çevreleyen çinkoca zengin η ve bakırca zengin ϵ ve T' fazlarından oluştuğu gözlemlendi.

Yapılan incelemeler sonucunda Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının sertliğinin artan bakır oranı ile sürekli artarken, çekme dayanımının %4 oranına kadar artan bakır oranıyla arttığı ve bu oranın üzerinde ise bakır oranı arttıkça azaldığı belirlendi. Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıplarının çalışma süresi ve uygulanan basınçla hemen hemen doğru orantılı olarak arttığı gözlemlendi.

Alaşımlara ait örneklerin aşınma yüzeylerinde belirgin çizikler ile sıvama tabakalarına rastlandı. Aşınma örneklerinin yüzeylerinde bir sıvama tabakası ile bu tabakanın altında yer alan yönlenmiş bölge şeklinde kendini gösteren bazı yapısal değişimlerin meydana geldiği gözlemlendi. Bu yapısal değişimler basınç etkisiyle meydana gelen plastik deformasyon ve sürtünme ısısına dayandırılarak açıklandı. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının kuru sürtünme durumundaki aşınmasında adhezyon ve abrazyon mekanizmalarının etkin olduğu belirlendi.

Anahtar sözcükler : Çinko-alüminyum-bakır alaşımları, kuru sürtünme aşınması

In this study five ternary Zn-60Al-(1-5)Cu alloys were produced by permanent mould casting. The wear properties of these alloys were investigated using a pin-on-disk machine. The microstructure of these alloys was consisted of aluminium rich α dendrites, zinc-rich η phase and copper rich- ϵ and T' phases.

The hardness of the Zn-60Al-(1-5)Cu alloys increased continuously with increasing copper content. The tensile strength of the alloys also increased with increasing copper content up to 4% Cu, but above this level it decreased as the copper content increased. It was observed that the volume loss due to wear of the alloys showed a linear change with the test duration and the applied pressure.

Distinct scratches and smearing were observed on the wear surface of samples of the alloys tested. Metallographic examinations revealed three different regions in the surface material of the wear samples. These were a smearing layer, a flowed region and the unchanged material with original microstructure. Formation of these different layers was related to the microstructural changes, which occurred due to frictional heat and heavy plastic deformation. As a result of these observations it was concluded that adhesion and abrasion are the main mechanisms for the wear of Zn-60Al-(1-5)Cu alloys under dry sliding condition.

Keywords : Zinc-aluminium-copper alloys, dry sliding wear.

* Öğr. Gör., Pamukkale Üniversitesi Denizli Meslek Yüksekokulu

** Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Çinko esaslı alaşımlar günümüzde pek çok alanda geleneksel yatak alaşımlarının yerini almaktadır [1-2]. Bu durum söz konusu alaşımların geleneksel yatak alaşımlarına göre daha üstün fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklere sahip olmalarından kaynaklanmaktadır [3-4]. Bu alaşımların üstün tribolojik özelliklere sahip olmaları, bunların iç yapıları ile yüzeylerinde oluşan çinko ve alüminyum oksit filmlerine dayandırılarak açıklanmaktadır [5]. Söz konusu alaşımların iç yapıları yumuşak bir matris ve sert fazlardan oluşmaktadır. Bu alaşımlardaki sert fazlar yük taşıma görevi yaparken, yumuşak fazlar katı yağlayıcı gibi davranarak kaymayı kolaylaştırmaktadır [6-8].

Bu alaşımların kullanımında karşılaşılan en ciddi problemin ortam sıcaklığı ve bunun hemen üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelen hacimsel büyüme olayı olduğu bilinmektedir [9-10]. Ayrıca, kararlı bir iç yapı elde etmek için uygulanan stabilizasyon işleminin de bu alaşımların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür [11]. Bu sorunların ortadan kaldırılması ya da en aza indirilmesi için alaşımların kimyasal bileşimlerinin iyi seçilmesi veya uygun ısı işlemlerin uygulanması gerekir.

Çinko esaslı alaşımlar üzerinde yapılan çalışmalar daha çok ötektik (Zn-5Al), ötektoid (Zn-22Al) ve monotektoid (Zn-40Al) bileşimler üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Yüksek oranlarda alüminyum içeren çinko esaslı alaşımların sürtünme ve aşınma davranışları ise yeterince incelenmemiştir. Söz konusu alaşımların özellikle kuru sürtünme durumundaki aşınma davranışları ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı yüksek oranda (%60) alüminyum içeren üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının kuru sürtünme durumunda ve farklı basınçlar altındaki aşınma davranışlarını incelemek, bakır oranı ve basıncın bu davranışlara etkisini belirlemek, bu davranışlarla malzeme özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koymak ve böylece yatak tasarımına yönelik veriler elde etmektir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Alaşımların Üretimi

Bu çalışmada beş adet üçlü Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımı kokil döküm yöntemiyle üretildi. Ergitme işlemi elektrikli bir pota içerisinde gerçekleştirildi. Ergitilen alaşımlar, kimyasal bileşime göre belirlenen ve 550-675°C arasında yer alan uygun bir sıcaklıkta 45 x 60 x 190 mm boyutlarındaki bir kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri atomik absorpsiyon spektrometresi yardımıyla belirlendi. Yapısal incelemeler için alaşımlardan alınan örnekler standart metalografi yöntemi ile hazırlandıktan sonra %5'lik nital içerisinde dağlanarak hem ışık mikroskobunda hem de tarayıcı elektron mikroskobunda (SEM) incelendi.

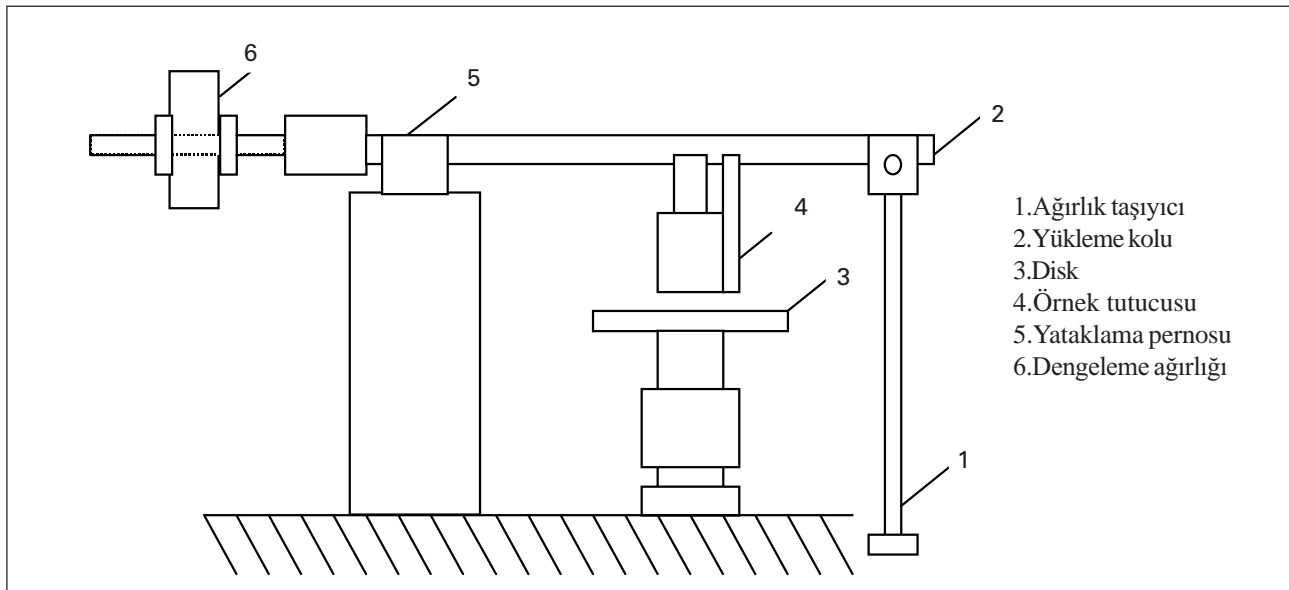
Alaşımların çekme dayanımları TS138-A standartlarına uygun olarak hazırlanan numunelerin $4,5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ lik deformasyon hızında çekme deneyine tabi tutulmaları sonucunda belirlendi. Brinell sertlik değerleri 588,4 N'luk yük altında 1,6 mm çapında batıcı uç kullanılarak ölçüldü. Vickers mikrosertlik ölçümleri ise 20 g'lık yük altında yapıldı.

Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Alaşımların aşınma özelliklerinin incelenmesinde şematik

resmi Şekil 1'de verilen çubuk-disk (pin-on-disk) esaslı bir deney düzeneği kullanıldı. Bu düzeneğe rulmanlarla yataklanmış bir mil, bir disk, bir örnek tutucusu, yükleme kolu ve hız kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin diski Fe 70 çeliğinden (Fe-%0,41C-%0,90Cr-%0,14Mo-%0,90Mn-%0,20Si) imal edilerek ısıl işleme 50 RSD-C değerine kadar sertleştirildi. Çapı $360 \pm 0,01$ mm olan diskin yüzeyi ise $\pm 3 \mu\text{m}$ 'lik bir hassasiyetle taşlandıktan sonra $0,5 \mu\text{m}$ tane boyutuna sahip alümina ile parlatıldı. Aşınma örnekleri, boyutları 10 x 15 x 30 mm olacak şekilde talaşlı işleme hazırlandı. Deney sırasında aşınma örneklerinin sıcaklıkları temas yüzeylerinden 5 mm yukarıya açılan bir deliğe yerleştirilen bakır-nikel termoeleman çifti yardımıyla ölçüldü.

Her 4,52 km'lik yola karşı gelen bir saatlik süre sonunda ultrasonik yöntemle temizlenen örneklerin kütleleri 0,01 mg'lık hassasiyete sahip bir terazi ile ölçülerek kütle kayıpları belirlendi ve her bir alaşım için toplam beş saat süreli deney yapıldı. Aşınma deneyleri 0,25, 0,5, 1,0 ve 1,5 MPa'lık basınçlar altında ve 1,26 m/s'lik sabit kayma hızında gerçekleştirildi. Aşınma örneklerinin yüzeyleri ile kayma doğrultusuna dik (enine)



Şekil 1. Çubuk-Disk (pin-on-disk) Esaslı Aşınma Deney Düzeneğinin Şematik Resmi

ve paralel (boyuna) kesitleri SEM'de incelendi ve yapısal değişimlerin belirlenmesi için bu kesitler üzerinde mikrosertlik ölçümleri yapıldı.

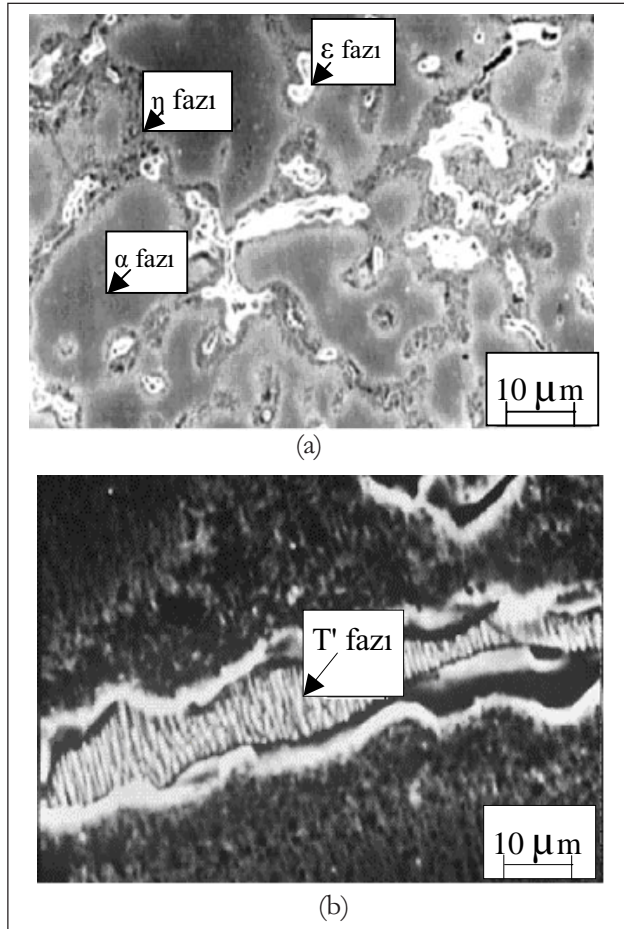
BULGULAR

Kimyasal Bileşim ve İç Yapı

Alaşımın kimyasal bileşimleri Tablo1'de verilmiştir.

Tablo1. Alaşımın Kimyasal Bileşimleri

Alaşım	Kimyasal Bileşim (%)		
	Cu	Al	Zn
Zn-60Al-1Cu	0,9	61,9	37,2
Zn-60Al-2Cu	1,8	61,4	36,8
Zn-60Al-3Cu	2,8	62,9	34,3
Zn-60Al-4Cu	4,1	63,6	32,3
Zn-60Al-5Cu	4,9	62,6	32,5

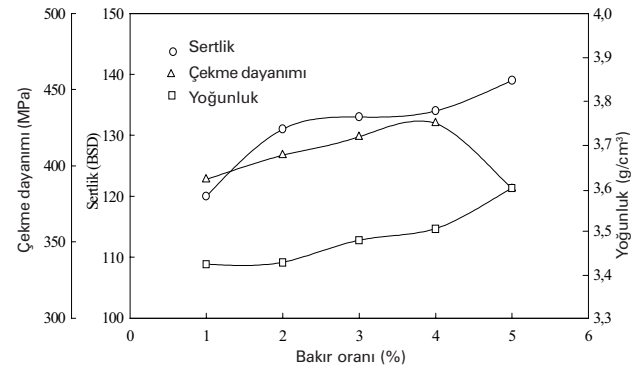


Şekil 2. Zn-60Al-4Cu Alaşımının İç Yapısını Gösteren SEM Fotoğrafları: (a) İç Yapı ve (b) T' Fazının Görünümleri

Alaşımın iç yapılarının alüminyumca zengin α dendritleri ile bu dendritleri çevreleyen çinkoca zengin η ve bakırca zengin ϵ ve T' fazlarından oluştuğu görüldü, Şekil 2a ve 2b.

Fiziksel ve Mekanik Deneyle Edilen Bulgular

Yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda alaşımlardan elde edilen yoğunluk, çekme dayanımı ve sertlik değerlerinin bakır oranına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 3'de verilmiştir. Bu eğrilerde görüldüğü gibi alaşımların yoğunluğu ve sertliği artan bakır oranı ile sürekli artarken, çekme dayanımı %4 Cu oranından sonra azalmaktadır.



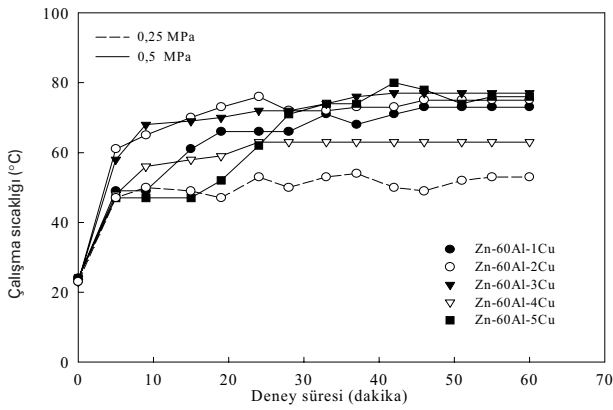
Şekil 3. Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarının Yoğunluk, Sertlik ve Çekme Dayanımının Bakır Oranına Göre Değişimlerini Gösteren Eğriler

Aşınma Deneyle Edilen Bulgular

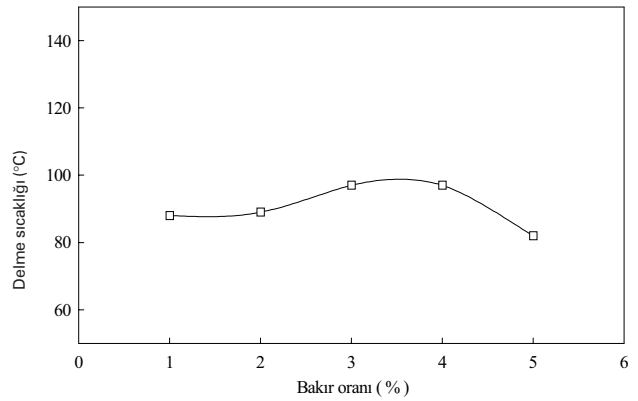
Farklı basınçlar altında deney tabii tutulan aşınma örneklerinin çalışma sıcaklığı ve bu örneklerde aşınma ile meydana gelen hacim kaybının deney süresine göre değişimini gösteren eğriler Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Bu eğrilere bakıldığında aşınma örneklerinin çalışma sıcaklıklarının başlangıçta hızlı bir şekilde artarak yaklaşık bir saatlik süre sonunda sabit değerlere veya sürekli rejim haline ulaştıkları ve bu örneklerde aşınma ile meydana gelen hacim kaybının deney süresi ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Söz konusu örneklerin sürekli

rejim durumundaki sıcaklıkları (denge sıcaklığı) ile 0,5 MPa'lık basınç altında yapılan deney sırasında bu örneklerde meydana gelen ortalama hacim kaybının bakır oranına göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Bu eğriler denge sıcaklığının bakır oranı ile önemli ölçüde değişmediğini, ancak ortalama hacim kaybının artan bakır oranı ile önce azalıp %2 Cu oranında bir minimumdan geçtikten sonra %3'ün üzerindeki bakır oranlarında önemli bir değişim sergilemediğini göstermektedir. Ayrıca, bu eğriler incelenen alaşımlar içerisinde en düşük hacim kaybının Zn-60Al-2Cu alaşımında, en yüksek hacim kaybının ise Zn-60Al-4Cu alaşımında meydana geldiğini göstermektedir. Alaşımlar

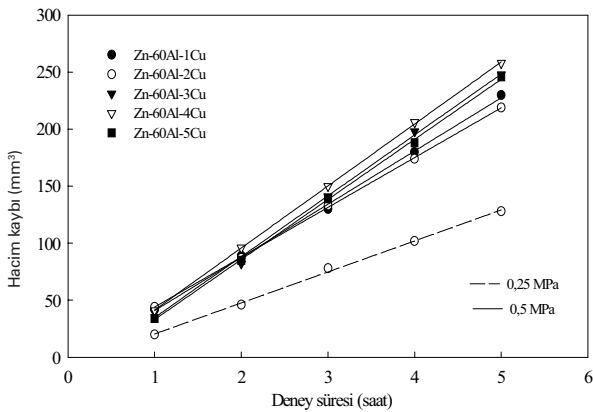
içerisinde en düşük hacim kaybına maruz kalan veya en üstün aşınma direnci sergileyen Zn-60Al-2Cu alaşımına ait aşınma örneğinin farklı basınçlar altındaki çalışma sıcaklığı ile bu örnekte aşınma ile meydana gelen hacim kaybının deney süresine göre değişimlerini gösteren eğriler Şekil 8 ve 9'da verilmiştir. Bu eğrilerde görüldüğü gibi söz konusu alaşımın çalışma sıcaklığı deneyin başlangıcında aniden yükselerek bir saatlik zaman içerisinde sürekli rejim haline ulaşmakta ve bu alaşımda aşınma ile meydana gelen hacim kaybı deney süresi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu alaşıma ait örneklerin denge sıcaklığı ile bu örneklerde aşınma ile meydana gelen ortalama hacim kaybının basınca göre



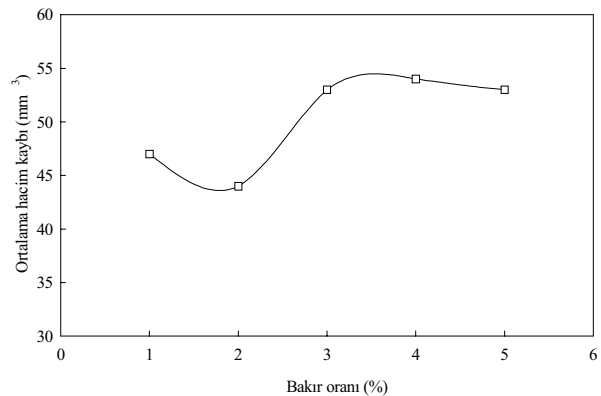
Şekil 4. Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarının Çalışma Sıcaklıklarının Deney Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



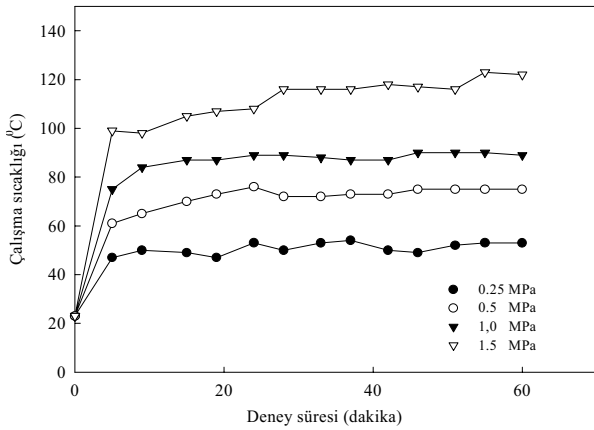
Şekil 6. 0,5 MPa'lık Basınç Altında Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarının Denge Sıcaklığının Bakır Oranına Göre Değişimini Gösteren Eğri



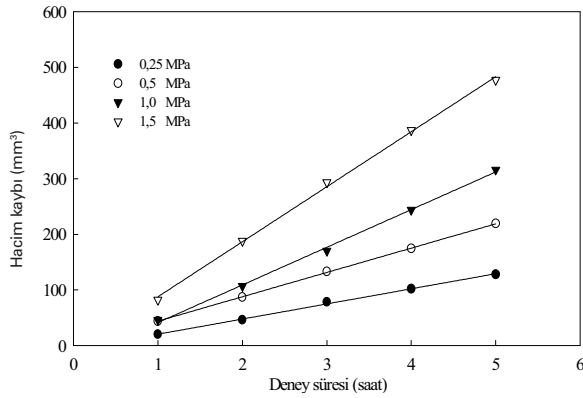
Şekil 5. Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarında Aşınma ile Meydana Gelen Hacim Kaybının Deney Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



Şekil 7. 0,5 MPa'lık Basınç Altında Deneye Tabi Tutulan Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarında Aşınma ile Meydana Gelen Ortalama Hacim Kaybının Bakır Oranına Göre Değişimini Gösteren Eğri



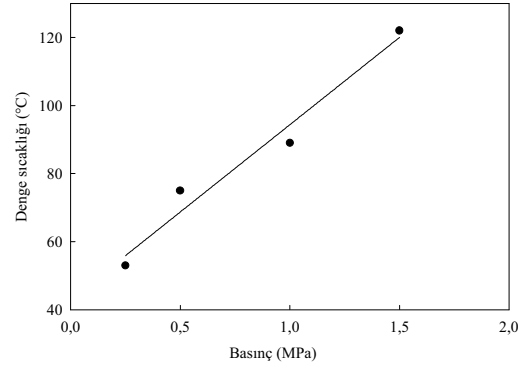
Şekil 8. Farklı Basınçlar Altında Aşınma Deneyine Tabi Tutulan Zn-60Al-2Cu Alaşımının Çalışma Sıcaklığının Deney Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



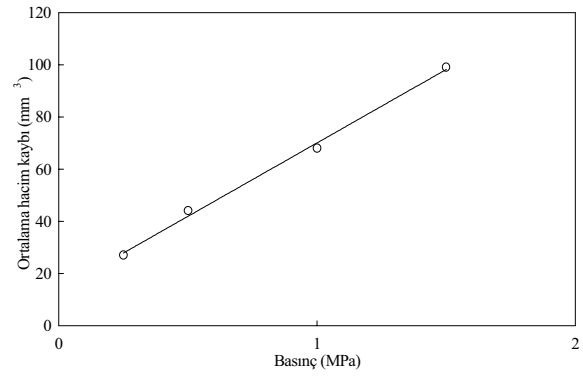
Şekil 9. Zn-60Al-2Cu Alaşımında Farklı Basınçlar Altında Aşınma ile Meydana Gelen Hacim Kaybının Deney Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler

değişimini gösteren eğriler ise Şekil 10 ve 11'de verilmiştir. Bu eğriler de söz konusu alaşımın denge sıcaklığı ile ortalama hacim kaybının basınç ile doğru orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

Şekil 5 ve 9'da verilen doğru şeklindeki aşınma grafiklerinin eğimleri lineer regresyon yöntemiyle hesaplanarak alaşımların aşınma hızları belirlendi. Alaşımların aşınma hızlarının bakır oranına göre değişimini gösteren eğri Şekil 12'de verilmiştir. Bu şekildeki eğriye bakıldığında aşınma hızının artan bakır oranı ile önce azaldığı, %2 Cu oranında bir minimumdan geçtikten sonra tekrar arttığı ve %3Cu oranından sonra da fazla

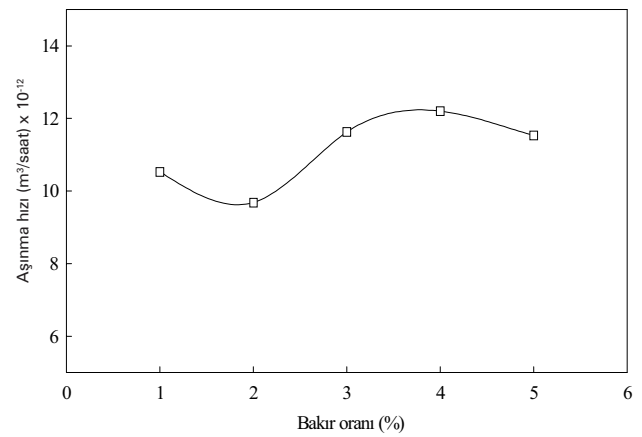


Şekil 10. Zn-60Al-2Cu Alaşımının Denge Sıcaklığının Basınca Göre Değişimini Gösteren Eğri

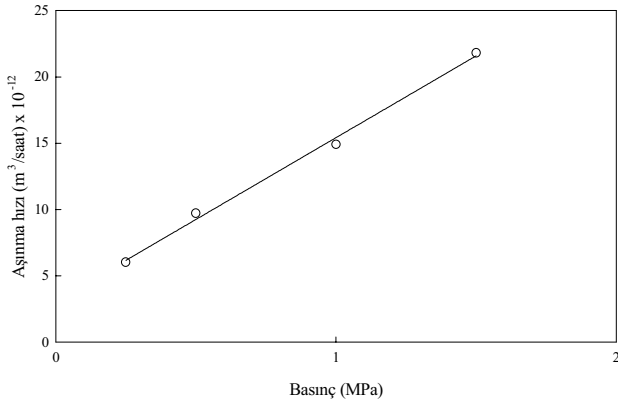


Şekil 11. Zn-60Al-2Cu Alaşımında Aşınma ile Meydana Gelen Ortalama Hacim Kaybının Basınca Göre Değişimini Gösteren Eğri

değişmediği görülmektedir. Alaşımlar içerisinde en üstün aşınma direnci sergileyen Zn-60Al-2Cu alaşımının aşınma hızının uygulanan basınca göre değişimini gösteren grafik ise Şekil 13'de verilmiştir. Bu şekil bu alaşımın aşınma



Şekil 12. 0,5 MPa'lık Basıncıta Zn-60Al-(1-5)Cu Alaşımlarının Aşınma Hızının Bakır Oranına Göre Değişimini Gösteren Eğri



Şekil 13. Zn-60Al-2Cu Alaşımının Aşınma Hızının Basınca Göre Değişimini Gösteren Eğri

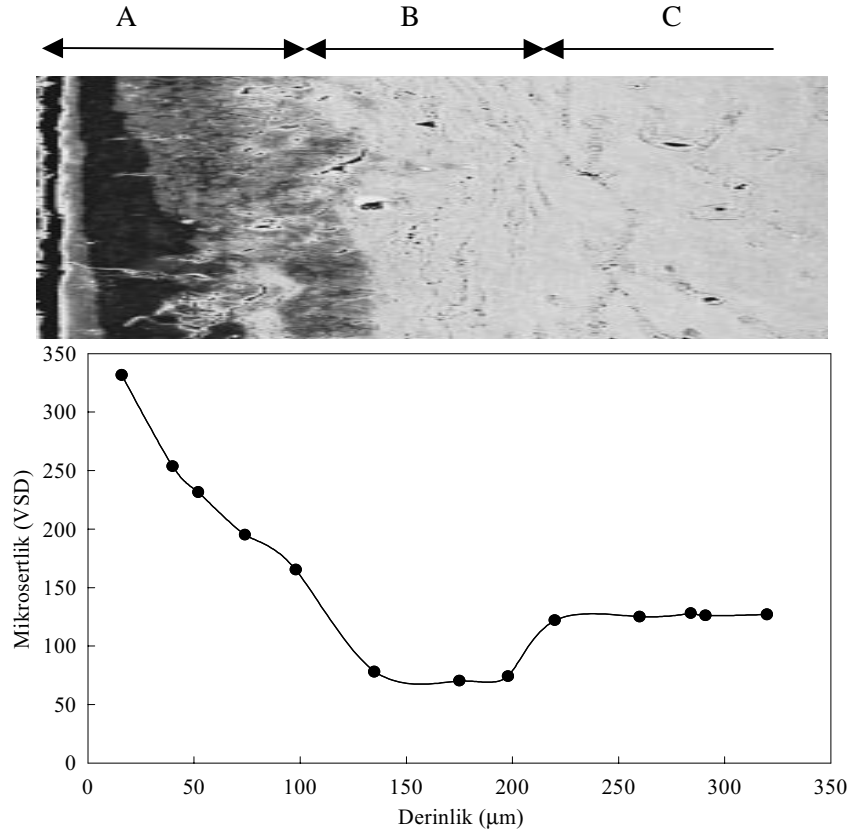


Şekil 14. 1,0 MPa'lık Basınç Altında Deneye Tabi Tutulan Zn-60Al-2Cu Alaşımının Aşınma Yüzeyinin SEM Fotoğrafı

hızının basınçla hemen hemen doğru orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

SEM ile yapılan incelemeler sırasında örneklerin aşınma yüzeylerinde genelde sıvama tabakaları ve çiziklerin yer aldığı gözlemlendi. Zn-60Al-2Cu alaşımının 1,0 MPa'lık basınç altında deneye tabi tutulan bir örneğinin aşınma yüzeyinin Şekil 14'de verilen SEM fotoğrafı bu durumu sergilemektedir. Bu alaşıma ait bir aşınma örneğinin kayma doğrultusuna paralel (boyuna) kesitinin SEM görüntüsü ve bu kesit üzerindeki mikrosertlik değerinin yüzeyden itibaren değişimini gösteren eğri Şekil 15'de verilmiştir. Bu kesit üzerinde genelde üç farklı yapısal bölge yer almaktadır. Bunlardan yüzeyi kaplayan koyu renkli bölge A, yönlenme belirtileri gösteren bölge B ve en iç kısımda yer alan yapısal değişime uğramamış bölge de C olarak adlandırılmıştır. Bu eğri aşınma deneyine tabi tutulan örneklerin sertliğinin yüzeyden itibaren artan derinlikle azaldığını, C bölgesi içerisinde yer alan belirli bir derinlikte

en düşük değerine düştükten sonra tekrar artarak alaşımın ilk sertliğine ulaştığını göstermektedir. Aşınma örneklerinin enine kesitleri üzerinde de benzer bulgulara rastlanmıştır.



Şekil 15. Zn-60Al-2Cu Alaşımına Ait Aşınma Örneğinin Kayma Doğrultusuna Paralel Kesitinin Görünümü ve Bu Kesit Üzerindeki Mikrosertlik Değerinin Aşınma Yüzeyinden İtibaren Alınan Derinliğe Göre Değişimini Gösteren Eğri

İRDELEME

Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının dökülmüş durumdaki iç yapılarının alüminyumca zengin α dendritleri ile bu dendritleri çevreleyen çinkoca zengin η ve bakırca zengin ϵ ve T' fazlarından oluştuğu görüldü. Alaşımların bakır oranı arttıkça ϵ ve T' fazlarının oranlarının da arttığı gözlemlendi, (Şekil 2). Bu durum söz konusu fazların bu elementi içermesinden kaynaklanmaktadır [12-13].

İncelenen alaşımların sertlik ve çekme dayanımlarının artan bakır oranı ile arttığı, %4 bakır oranından sonra ise bakır oranı arttıkça azaldığı görüldü. Bu durum katı çözelti sertleşmesi ve bakırca zengin fazların mekanik davranışlarına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, çinko-alüminyum-bakır alaşımlarındaki alüminyumca zengin α fazı içerisinde bakırın en fazla %1 oranında çözündüğü ve bu bakır oranının üzerine çıkılması durumunda ise tane sınırlarında ϵ ve T' gibi bakırca zengin metallerarası bileşiklerin oluştuğu bilinmektedir [12-14]. Alaşımlara katılan bakırın bir kısmının bileşik oluşumu için harcanması nedeniyle bakır oranı arttıkça matrisi oluşturan alüminyumca zengin α fazı içerisindeki bakır oranı azalmaktadır. Bu durum da alaşımlardaki katı çözelti sertleşmesi etkisinin azalmasına yol açmaktadır [14-15]. Diğer taraftan bakırca zengin fazların boyut ve oranlarının artması alaşımların gevrek kırılma olasılığını artırmaktadır [15]. Bu nedenlerden dolayı bakır oranının %4 değerinin üzerine çıkarılması durumunda alaşımların çekme dayanımında azalma meydana gelmektedir.

Aşınma deneylerinin başlangıç aşamasında örneklerin sıcaklığının ani bir yükselme gösterdikten sonra genliği gittikçe azalan dalgalanma şeklinde değiştiği gözlemlendi, Şekil 4-8. Aşınma örneklerinin çalışma sıcaklığında gözlenen bu değişimler yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme kuvveti veya sürtünme katsayısına dayandırılarak

açıklanabilir. Şöyle ki, kuru çalışma şartlarında yapılan deneylerin başlangıç aşamasında yüzeyler arasında oldukça yüksek bir sürtünme kuvveti oluşur ve bu kuvvet ilerleyen zaman içerisinde yüzeylerin birbirine alışması nedeniyle azalma gösterir [15-16]. Sıcaklık artışı sürtünmeden kaynaklandığından ölçülen çalışma sıcaklığı sürtünme kuvvetinde meydana gelen değişime bağlı olarak değişmektedir.

Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kayıplarının deney süresi ve uygulanan basınç ile doğru orantılı olarak arttığı, ancak elde edilen doğruların eğimlerinin alaşımdan alaşıma değişiklik gösterdiği görüldü, (Şekil 5, 9 ve 11). Bu durum aşınma hızının alaşımların kimyasal bileşimi ile uygulanan basınca bağlı olduğunu göstermektedir. Nitekim sertlik ve mukavemet değerlerinin artış gösterdiği bakır oranlarında hacim kaybı ve aşınma hızının azaldığı görülmüştür. Bu gözlem malzemelerin aşınma davranışının sertlik ve özellikle çekme dayanımına bağlı olduğunu göstermektedir [16-19]. Alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybı, ölçülen çalışma sıcaklığı ve aşınma hızının artan basınç ile hemen hemen doğru orantılı olarak arttığı gözlemlendi (Şekil 10, 11 ve 13). Bu durum yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısının artan basınçla artmasından kaynaklanmaktadır [16].

Alaşımların aşınma yüzeylerinde belirgin çiziklerle sıvama tabakalarına rastlandı, (Şekil 14). Bu bulgu kuru çalışma koşullarında bu alaşımlardaki etkin aşınma mekanizmasının adhezyon olduğunu, ancak abrazyonun da bu aşınma davranışında önemli rol oynadığını göstermektedir [20-23]. Ayrıca bakır oranı arttıkça bu alaşımların aşınma yüzeylerinde oluşan çiziklerin hem sayısının hem de genişliğinin arttığı gözlemlendi. Bu durum

da bu alaşımlarda oluşan bakırca zengin sert parçacıkların sayı ve boyutunun artan bakır oranı ile artmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü bu parçacıklar çalışma sırasında örnek yüzeyinden koparak disk yüzeyine yapışmakta ve çalışma sırasında örnek yüzeyi ile temas ederek aşınma yüzeyinin çizilmesine yol açmaktadır.

Yapılan metalografik incelemeler sırasında aşınma örneklerinin yüzeylerinde bazı yapısal değişimlerin meydana geldiği gözlemlendi, (Şekil 15). Bu değişimler sıvama tabakası, kayma doğrultusunda yönlenme belirtileri gösteren bölge ve bunun altında yer alan değişime uğramamış orijinal bölge şeklinde kendilerini gösterdi. Mikrosertlik ölçümleri sonucunda bu bölgelerin farklı sertlik değerlerine sahip oldukları görüldü. Sözü edilen yapısal değişimlerin oluşumu basınç etkisiyle meydana gelen plastik deformasyon ve sürtünme ısısına dayandırılarak açıklanabilir [23]. Şöyle ki, kuru sürtünme durumunda yüzeyler arasında meydana gelen aşırı sürtünme nedeniyle örnek yüzeyi ısınır ve uygulanan basıncın etkisiyle de yüzey malzemesi aşırı deformasyona maruz kalır. Aşınma nedeniyle örnek yüzeyinden ayrılan parçalar önce disk yüzeyine yapışırlar, daha sonra örnek yüzeyine transfer olarak basınç ve sürtünmenin etkisi ile yüzeye gömülür veya sıvanırlar. Hem aşırı ısınan hem de aşırı plastik deformasyona maruz kalan bu sıvama tabakasının (A bölgesi) sertliği deformasyon sertleşmesi ve oksitlenme nedeniyle büyük ölçüde artar. Sürtünme tabakasının altında yer alan B tabakası ise sürtünme ısısının etkisiyle yumuşayan ve plastik deformasyon sonucunda kayma doğrultusunda akma belirtileri gösteren bölgeyi temsil etmektedir. Nitekim mikrosertlik ölçümleri bu bölgenin en düşük sertliğe sahip olduğunu göstermiştir, (Şekil 15). Bu tabakaların en altında yer alan C bölgesi ise yapısal değişime uğramamış bölge olup, orijinal alaşımla aynı sertliğe sahiptir.

SONUÇLAR

1. Dökülmüş durumdaki Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının iç yapıları alüminyumca zengin α , çinkoca zengin η ve bakırca zengin ϵ ve T' fazlarından oluşmaktadır. Alüminyum oranı arttıkça α fazının, bakır oranının artması durumunda da ϵ ve T' fazlarının büyüklük ve oranları artmaktadır.
2. Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının sertlik ve çekme dayanımı artan bakır oranıyla artmakta, ancak %4 Cu oranından sonra çekme dayanımında azalma meydana gelmektedir.
3. Sabit basınç altında yapılan aşınma deneylerinde söz konusu alaşımlarda meydana gelen hacim kaybı deney süresi ile hemen hemen doğru orantılı olarak artmakta ve dolayısıyla aşınma hızı sabit kalmaktadır.
4. Kuru çalışma koşullarında Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının çalışma sıcaklığı ile bu alaşımlarda meydana gelen hacim kaybı ve aşınma hızı uygulanan basınç ile hemen hemen doğru orantılı olarak değişmektedir.
5. Kuru çalışma şartlarında söz konusu alaşımlarda aşınma ile meydana gelen hacim kaybı ve aşınma hızı artan bakır oranı ile azalmakta, %2 Cu oranında minimum değerlerden geçtikten sonra yeniden yükselmekte ve %3 Cu oranından sonra önemli bir değişim sergilememektedir.
6. Aşınma örneklerinin yüzeylerinde oluşan sıvanma tabakası ve değişik kalınlıklardaki çizikler Zn-60Al-(1-5)Cu alaşımlarının aşınma davranışında adhezyon ve abrazyonun etkin rol oynadıklarını göstermektedir.
7. Kuru sürtünme şartlarında bu alaşımlara ait aşınma örneklerinin yüzeyinde sıvama tabakası, kayma doğrultusunda yönlenmiş tabaka ve değişime uğramamış alan olmak üzere üç farklı bölge oluşmaktadır. Sözü edilen yüzey tabakasının oluşumu

aşınma parçacıklarının tekrar örnek yüzeyine yapışmaları ve gömülmelerinden, ara tabakanın oluşumu ise çalışma sırasında ortaya çıkan sürtünme ısısı ve aşırı plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır.

KAYNAKÇA

1. **Gervais, E. ve Loong, C.A.**, New ZA Alloys in Die Casting, 11th International Pressure Die Casting Conference, 19-22 June (1984) Lyon-France, 1-25.
2. **Appelian, D., Palliwal, M. ve Herrschaft, D.C.**, Casting With Zinc Alloys, Journal of Metal, November (1981) 12-19.
3. **Edward, J. ve Kubel, J.**, Metal Progress, Advanced Materials & Processes Inc., 7 (1987) 51-56.
4. **Gervais, E.**, ZA Alloys a Challenge to the Metals Industry, CIM Bulletin, April (1987) 67-72.
5. **Marczak, R.J. ve Cioch, R.**, Tribological Properties of the Concentrated Al-Zn alloys, Proc. 1st Europe Tribology Congress 1(973) London, 223-227.
6. **Geng, H. ve Ma, J.**, Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearings Alloy, Wear, 169 (1993) 201-207.
7. **Pürçek, G.**, Çinko Alüminyum Esaslı Aaşımlarından Üretilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (1994).
8. **Prasad, B.K.**, Effects of Silicon Addition and Test Parameters on Sliding Wear Characteristics of Zinc-Based Alloys Containing 37.5% Aluminium, Materials Transactions, JIM, 38, 8 (1997) 701-706.
9. **Zhu, Y.H., Yan, B. ve Huang, W.**, Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn Al Based Alloy (ZA-35), Materials Science and Technology, 11 (1985) 109-103.
10. **Loong, C.A.**, Effects of Temperature, Aging and Thickness on Die Cast Zinc Alloys, SDCE 14th International Die Casting Congress and Exposition, Toronto, Ontario, Canada, Paper No G-T87-027, May 11-14 (1987).
11. **Lee, P.P., Savaşkan, T. ve Laufer, E.**, Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys, Wear, 117 (1987) 79-89.
12. **Savaşkan, T. ve Murphy, S.**, Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn₂₅Al-Based Alloys, Wear 116 (1987) 211-224
13. **Barnhurst, R.J. ve Farge, J.C.**, A Study of The Bearing Characteristics of Zinc-Aluminium (ZA) Alloys, Canadian Metallurgical Quarterly, 3 (1988) 225-233.
14. **Savaşkan, T., Aydın, M. ve Odabaşoğlu, H.A.**, Fatigue behaviour of zinc-alimüinyum (ZA) alloys, Materials Science and Technology, 17 (2000) 681-685.
15. **Pürçek, G.**, Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Statik ve Dinamik Yük Altındaki Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs (2000) Trabzon.
16. **Halling, J.**, Principles of Tribology, Macmillan Education Ltd., London, (1989).
17. **Savaşkan, T. ve Pürçek, G.**, Çinko-Alimüinyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri, Türk Mühendis ve Çevre Bilimleri Dergisi (Tr. J. Env. Sci.) 24 (2000) 25-34.
18. **Prasad, B.K. ve Patwardhan, A.K.**, Dry Sliding Wear Response of a Modified Zinc-Based Alloy, Materials Transactions, JIM, 38, 3 (1997) 197-204.
19. **Bowden, F.P. ve Tabor, D.**, Friction and Lubrication, Second Edition, Methuen & Co. Ltd. USA, 1967.
20. **Murphy, S. ve Savaşkan, T.**, Comparative Wear Behaviour of Zn-Al Based Alloys in an Automotive Engine Application, Wear, 98 (1984) 151-161.
21. **Toabian, H., Pathak, J.P. ve Tiwari, S.N.**, Wear Characteristics of Al-Si alloys, Wear, 172, (1994) 49-58.
22. **Calayag, T. ve Ferres, D.**, High Performance High Aluminium Zinc Alloys for Low speed, Bearings and Bushings SAE Annual Conference, Paper No 820643 (1983) 2241-2251.
23. **Pürçek, G., Savaşkan, T., Küçükömeroğlu, T. ve Murphy, S.**, Dry sliding Friction and Wear properties of zinc-based alloys, Wear 252 (2002) 894-901.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Malzeme ve Takım Tezgâhları Laboratuvarlarında görevli tüm teknik personele teşekkür ederiz.