

Isıl İşlem Şartlarının Ötektik AlSi Döküm Alaşımının Abrasif Aşınma Davranışına Etkileri

Hasan HASIRCI

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknikokullar, Ankara/TURKİYE
(Geliş / Received : 11.04.2014 ; Kabul / Accepted : 26.06.2014)

ÖZ

Bu çalışmada, ötektik AlSi alaşımının yapı, mekanik özellikleri ve abrasif aşınmasına uygulanan ısı işlem şartlarının etkileri araştırılmıştır. Numuneler 610°C sıcaklıkta dökülmüş, ardından farklı koşullarda ısı işlem uygulanmıştır. Abrasif aşınma testleri, disk üzerinde pim aşınma test cihazında, 10 ve 30N yük altında, 0.1 m s-1 kayma hızında, 220 ve 800 Mesh Al₂O₃ aşındırıcı zımparalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, uygulanan ısı işlemler sonucunda gelişmiş mekanik özelliklere rağmen abrasif aşınma özelliklerinin kötüleştiğini göstermiştir. En iyi aşınma sonuçları döküm halindeki numunede elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ötektik AlSi, ısı işlem, yaşlandırma, abrasif aşınma

Effects of Heat Treatment Parameters on the Abrasive Wear Behaviours of the Eutectic AlSi Alloy

ABSTRACT

In this study, the effects of applied heat treatment conditions on structure, mechanical properties and abrasive wear of eutectic AlSi alloys were investigated. The specimens were poured at 610°C temperature, and then applied heat treatment at different conditions. Abrasive wear tests were performed by pin-on-disc wear tester under loads of 10 and 30 N, at a sliding speed of 0.1 m s-1, used for 220 ve 800 Mesh Al₂O₃ abrasive paper. The experiment results showed that worsen abrasive wear properties were obtained by heat treatments, although better mechanical properties. The best wear results were obtained in as-cast sample.

Keywords: Eutectic AlSi, heat treatment, aging, abrasive wear

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi sürekli üzerinde çalışılan konuların başında gelmektedir. Özellikle hafiflikleri ve korozyon dayanımları nedeniyle Al ve alaşımları büyük oranda araştırma konusu olmaktadır. Çünkü bu malzemeler bu özellikleri nedeniyle hava taşımacılığında kullanılan araçlar tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. Bu amaçla yapılan araştırma çalışmaları çok yönlüdür. Bu çalışmalara bakıldığında, farklı döküm teknikleri [1-6], alaşımlama [7-12] ve ısı işlem [10, 11, 13-18] gibi başlıca işlemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde kullanılan hava araçlarının gövde yapılarının büyük bir kısmı alüminyum alaşımları kullanılarak imal edilmektedir [7]. Alüminyum ve alaşımlarını pek çok uygulama için uygun ve ekonomik kılan özelliklerin başında; görünümü, hafifliği, işlenebilirliği, fiziksel ve mekanik özellikleri ve yüksek korozyon dayanımı gelir. Bazı alüminyum alaşımlarının kopma mukavemeti 600 MPa değerine kadar çıkar. Genel olarak yüksek sıcaklıklar için çok uygun olmayan bazı alüminyum alaşımları 300 °C'ye varan sıcaklıklara kadar rahatlıkla kullanılabilir. Alüminyumun; hava, su, tuzlu su ve petrokimyasallar da dahil olmak

üzere pek çok kimyasal madde ortamında yüksek korozyon dayanımına sahiptir [8, 9]. Düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruması alüminyumun bir başka üstün özelliğidir. Elde edilen sonuçların avantajları nedeniyle özellikle ısı işlem uygulamaları öne çıkmaktadır. Al alaşımlarına farklı amaçlar için çok farklı ısı işlemler uygulanabilmektedir. Bunların başında temperleme, su verme ve yaşlandırma gelmektedir. Alüminyum alaşımları için ısı işlem genellikle, çökeltme sertleşmesi gösterebilen işlenik (işlem) alaşımların mukavemetini ve sertliğini arttırmak için uygulanan işlemlerle sınırlıdır. Alüminyum alaşımlarının mukavemetinin artırılması amacıyla uygulanan çökelti oluşturma ısı işlemi; çözeltili alma, fazların çözülmesi (katı çözeltilinin oluşturulması), su verme; aşırı doymuş yapının oluşturulması, yaşlanma; çözünen atomların oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda çökmesi (çökeltme sertleşmesi) olmak üzere üç basamaktan oluşur. Alüminyum alaşımlarının ısı işlem süreleri ve sıcaklıkları ayrıntılı olarak mevcuttur [13, 14, 16, 19, 20]. Diğer yandan Al alaşımlarına ısı işlem uygulanabilmesi ya da daha doğrusu başarılı bir ısı işlem (özellikle yaşlandırma ısı işlemi) uygulanabilmesi için özellikle Cu, Mg, Fe, Mn, Sn ve Zn elementlerinin varlığının gerekliliği vurgulanmaktadır [20-22]. Çünkü bu elementler ısı işlem sonucunda çökeltiler (Mg₂Si, Mg₃Mn₂Al₁₈, Al-

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:hasirci@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.1, 7-14

FeSi, AlCuMgSi, CuAl₂ vb.) oluşturmak için gerekmektedir. Oluşturulan bu çökeltiler ise dayanımı ve sertliği geliştirmektedir.

Al alaşımlarına en çok uygulanan ısıtım işlemi olan T6, çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma aşamalarından oluşan işlemdir. Çözeltiye alma ısıtım işleminde malzemenin ergime başlangıç sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa ısıtıldıktan sonra, hızla bu sıcaklıktan soğutulması ile aşırı doymuş katı eriyik yapısı oluşturulur. Burada amaç çökeltme sertleştirilmesi yaratacak elementlerin çözünerek katı çözelti içinde hapsedilmesidir. İşlem sıcaklığı (420 - 520 °C) ve süresi (1-3 saat) parçanın kesit kalınlığı ve bileşimine bağlı olarak maksimum homojenizasyon sağlayacak şekilde seçilmelidir. Çözeltiye alma adımında üç faz görülür. Birincisi alaşım elementlerinin çözünerek zengin bir alüminyum matris fazının oluşturulması ki bunlar daha sonra çökeltme sertleşmesi yaratacaktır, ikincisi çözünmeyen bileşenlerin küreselleşmesi ve üçüncüsü mikro yapının homojenleşmesidir. Hızlı soğutma yani su verme işlemi çözünen elementlerin çözeltide kalmasını sağlamaktadır. Hızlı su verme çökelti sertleştirilmesi özelliğini geliştirmektedir. Su verme işlemi sıcak su, polimerli su ya da yüksek hızlı fanlarla hava ile yapılabilir. Su verme işleminin en önemli detaylarından biri de çözeltiye alma işleminden çıkan parçanın çok kısa süre içinde su verme işlemine tabi tutulmasıdır [16, 19, 20, 23]. Su verme sonrasında çözeltide kalan çözünen elementler, oda sıcaklığında yavaşça çökelmeye başlarlar. Bir süre sonra bazı alaşımlar oda sıcaklığında oldukça sertleşebilirler. Buna doğal yaşlanma adı verilir. Suni yaşlandırma olarak anılan işlem ise, döküm parçaların 100-200 °C gibi sıcaklık aralığında 1-25 saat aralığında tutulması ile yaşlandırmanın hızlandırılmasıdır. Yaşlandırma sıcaklığında süre arttıkça, yavaş yavaş çökelti yapısı oluşur ve sertlik maksimum değerine doğru artar. Daha fazla yaşlandırmaya devam edilirse sertlik düşmesinin görüldüğü aşırı yaşlanma durumu ortaya çıkar. Isıtım işlemi uygulaması sonucunda mekanik özellikler gelişmektedir. Yukarıdaki bilgilerden hareketle ötektik AlSi12 alaşımına yaşlandırma işleminin uygulanamayacağı bazı kaynaklarda belirtilmektedir [21, 23]. Ancak uygulanan

ısıtım işlemi sıcaklıklarının yükseltilmesi matriste (α -Al) Si'un çözünürlüğünü ve az da olsa mevcut bazı elementlerin (Si, Mg, Fe v.b.) Al ve Si ile bileşikler oluşturabilmelerini mümkün kılmaktadır [18, 19, 24]. Diğer yandan yüksek sıcaklıkta ısıtım işlemi yaparken oksit oluşumunun önlenmesi için atmosferden korumanın da sağlanması gerekmektedir. Literatür incelendiğinde, yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıtım işlemi ve etkilerinin incelendiği çalışmanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Böyle bir çalışmanın yapılmasının normal şartlarda ısıtım işlemi yapılamayan ya da uygulanmayan, fakat çok yaygın kullanıma sahip AlSi alaşımlarının özelliklerinin gelişimi kontrol edilebilecektir. Buradan hareketle üretilen parçalar kullanım yerlerinde genellikle bir aşındırıcı veya bir metale temas ederek çalışmak zorundadır. Bu nedenle döküm parçaların mekanik özelliklerinin yanında aşınma özelliklerinin de iyi bilinmesi gerekir. Bu yöntemle üretilen parçaların aşınma özellikleri, parçaların kullanılacakları yerlerde ömürleri bakımından önem taşımaktadır. Ancak literatürde bu amaçla yapılmış hiçbir çalışma bulunmamaktadır. İfade edilen nedenlerden dolayı, ötektik AlSi döküm alaşımının uygulanan ısıtım işlemleri sonucunda abrasif aşınma özelliklerinin döküm durumuna göre değişiminin tespit edilmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Tablo 1'de kimyasal kompozisyonu verilen ötektik AlSi (TSE Al-Si12, DIN Al-Si12 ve A.S.T.M A13) malzemesi sıcaklık kontrollü elektrik direnç ocağında ergitilmiş ve 610 °C sıcaklıkta döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Döküm işlemleri yaş kum kalıplar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Döküm ile çubuk biçimindeki silindirik parçalar (\varnothing 20 x 200 mm) üretilmiş ve bu parçalar oksitlenmenin bulunmadığı bir banyo içerisinde Tablo 2'de özetlendiği gibi ısıtım işlemine tabi tutulmuştur. Çözeltiye alma işlemi tüm deneylerde 560°C sıcaklıkta yapılmıştır. Üretilen çubuklar daha sonra TS 138 standardına uygun olarak hazırlanan çekme deney çubukları Dartec 1200 bilgisayar kontrollü numune test cihazında çekme deneyine tabi tutularak

Tablo 1. Döküm işlemlerinde kullanılan ötektik AlSi alaşımı kimyasal bileşimi (Chemical analysis of eutectic AlSi alloy used in casting process)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	Pb	Al
11,5-13,5	0,50	0,10	0,40	0,10	0,10	0,06	0,10	0,011	Kalan

Tablo 2. Uygulanan ısıtım işlemleri (Applied heat treatments)

Numune No	Isıtım İşlem – Isıtım İşlem Kodu
N1	Isıtım işlemsiz - F
N2	560°C'de 2 saat çözeltiye alma + havada soğutma (Temperleme) - W
N3	560°C'de 2 saat çözeltiye alma + su verme (Su verme) – T5
N4	560°C'de 2 saat çözeltiye alma + su verme + 180°C'de 5 saat yaşlandırma (Su verme + Yaşlandırma) – T6

bunların çekme dayanımı ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Her bir numune için 3 tekrar yapılmış ve bunların ortalaması sonuç olarak verilmiştir.

Üretilen çubuklardan alınan numuneler metalografik hazırlama işlemlerinden geçirildikten sonra Olympus marka optik ve Joel JSM-6060 LV SEM mikroskobu kullanılarak mikro yapıları incelenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda oluşması muhtemel fazlar için EDS analizi yapılmıştır. Aynı zamanda bu fazların ayrımı kolay olmadığından denge diyagramları ve literatürden de yararlanılmıştır. Metalografik inceleme için hazırlanan numunelerin yüzeylerinden Instron Wolpert marka cihazda HV₃₀ türünden sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 6 tekrar yapılmış ve bunların ortalaması sonuç olarak verilmiştir. Hazırlanan numuneler kullanılarak aşınma deneyleri, modife edilmiş disk üzerinde pim abrasif aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Abrasif aşınma testleri 220 ve 800 Mesh Al₂O₃ zımparalar üzerinde ve 10 ve 30 N yükler altında ve 0,1 m s⁻¹ kayma hızında gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

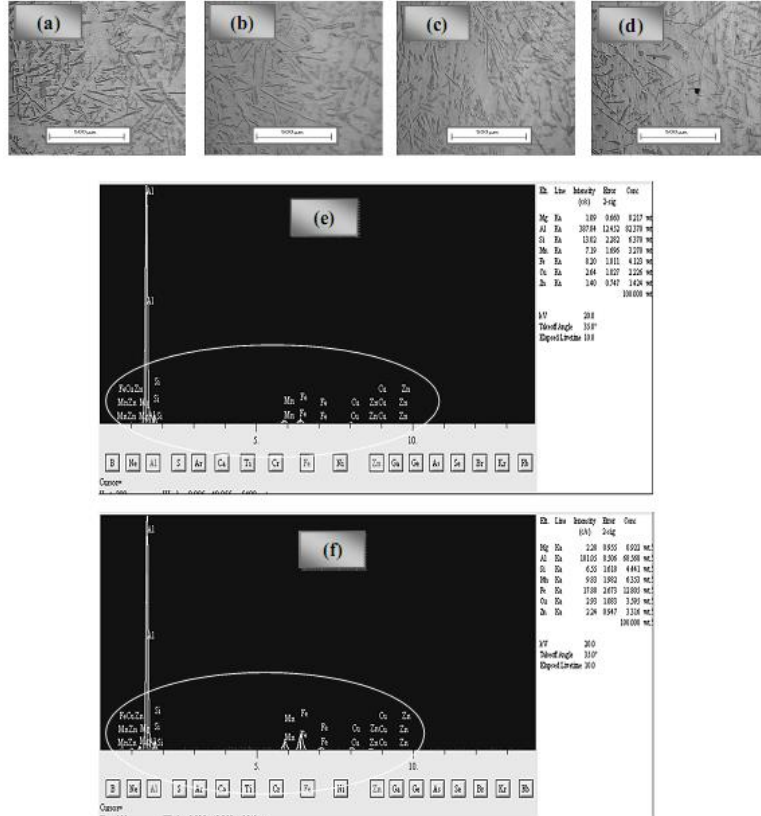
3.1. Mikro Yapı ve Mekanik Özellikler (Micro structure and Mechanical Properties)

Üretilen numunelere ait mikro yapı görüntüleri ve EDS sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Görüntüler

incelendiğinde dökülmüş haldeki numuneye kıyasla ısıtıl işlem görmüş numunelerdeki Si fazı şekil ve boyutlarının değiştiği görülmektedir.

Döküm sonucu elde edilen numunenin mikro yapısının α (Al) ve β (Si) fazları ile ötektik kanun olarak adlandırılan ikincil α (Al) fazı ve çubuk biçimindeki Si parçacıklarında olduğu görülmektedir. Aslında ısıtıl işlemle bu mevcut fazlar varlıklarını sürdürmektedir. Ancak az da olsa bu fazların şekil, boyut ve dağılımları ile ilgili değişimlerin olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulaması sonucunda düşük miktarda alaşım elementi miktarıyla dahi EDS analizleri sonuçlarına bakılarak Mg₂Si, Al₃Fe, Al₃Mg₂, Mg₃Mn₂Al₁₈, Al₁₂Fe₃Si₂, Al₁₂Fe₃Si gibi bazı çökelti fazların kısmen oluşabileceği elde edilen mekanik özelliklerle ilişkilendirildiğinde görülecektir. Çünkü bazı çökelti fazların oluşumu için daha yüksek sıcaklıkların gerektiği Şekil 2'de verilmekte olan denge diyagramlarından açıkça görülmektedir. Uygulanan ısıtıl işlem sıcaklıkları ne kadar yükseltirse ifade edilen çökelti fazların oluşma imkanı artacaktır. Aynı zamanda yüksek sıcaklık uygulamasının Si fazı üzerinde bu fazın şeklinin kısmen küreselleşmesine sebep olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen numunelere çekme ve sertlik testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Bu sonuçlar; döküm numunenin (N1) özelliklerine kıyasla, ısıtıl işlem uygulanması sonucunda



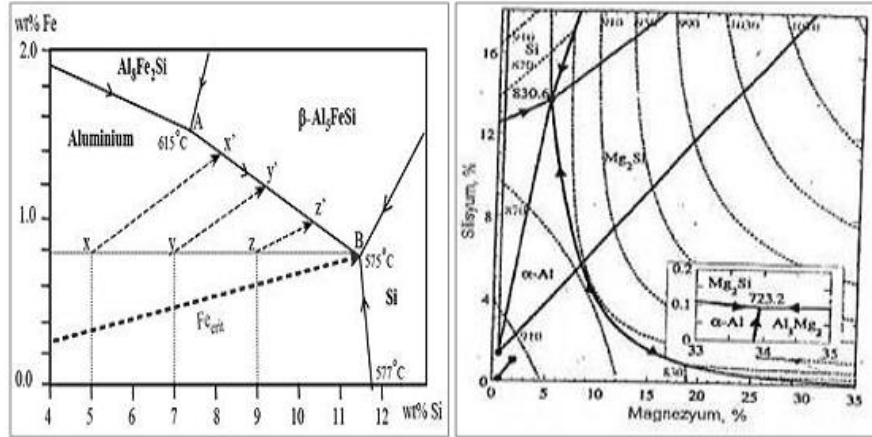
Şekil 1. (a) Isıl işlemsiz (N1), (b) temperlenmiş (N2), (c) su verilmiş (N3) ve (d) yaşlandırılmış (N4) numunelerin optik mikroskop görüntüleri ile (e) ısıtıl işlemsiz ve (f) yaşlandırılmış numunelere ait EDS sonuçları (Micrographs of a) as-cast (N1), b) tempered (N2), c) quenched and d) aged specimens, EDS results of (e) as-cast and (f) aged specimens)

üretileen numunelerin (N2, N3 ve N4) daha yüksek sertlik ve çekme dayanımına sahip olduklarını göstermektedir.

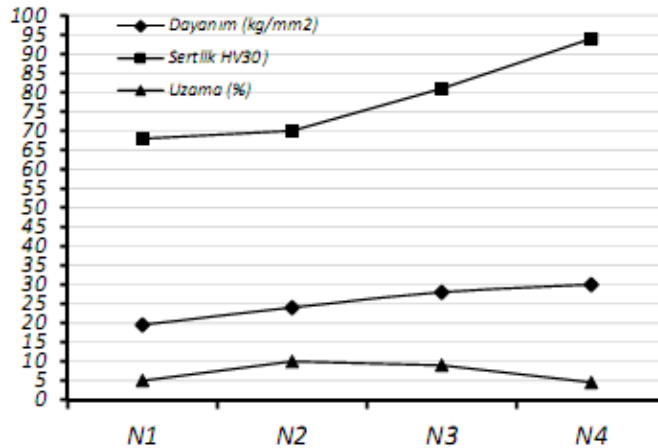
Ancak, ısıl işlemlerin tamamında sonuçlar aynı olmamaktadır. Isıl işlem uygulanan numuneler arasında en düşük sonuçlar temperlenmiş numunede (N2) elde edilirken, en iyi sonuçlar yaşlandırılmış numunede (N4) elde edilmektedir. Al alaşımlarının döküm yöntemi, ısıl işlem ve alaşımlama gibi metotlarla mekanik özellikleri geliştirilebilmekte olduğu daha önce giriş bölümünde ifade edilmiştir. Döküm yoluyla Al malzemesinin basınç, vakum uygulaması ve hızlı katılaştırma işlemleri sonucunda yoğunluğun artırılması, tane ve faz boyutunun (özellikle ötektik Si fazı) küçültülmesi suretiyle özelliklerinin geliştirildiği bildirilmektedir [1, 2]. Alaşımlamada ise durum hem döküm işlemi hem de ısıl işlemde meydana gelen çökelti fazların yardımıyla mukavemetlenme mekanizmalarının devreye girmesiyle Al malzemesinin mekanik özellikleri geliştirilmektedir. Bu çalışmanın asıl konusu ısıl işlem olduğundan alaşım elementlerinin bu işlemdeki rollerinin incelenmesi daha yararlı olacaktır.

3.2. Aşınma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Wear Test Results)

Üretilen numunelere abrasif aşınma testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 4'de verilmiştir. Bu sonuçlar; döküm numunenin (N1) özelliklerine kıyasla, ısıl işlem uygulanması sonucunda üretilen numunelerin (N2, N3 ve N4) daha yüksek sertlik ve çekme dayanımına sahip olduklarını, buna karşın aşınma sonuçlarının kötüleştiğini göstermektedir. Isıl işlem uygulanan numuneler arasında en düşük sonuçlar yaşlandırılmış numunede (N4) elde edilirken, en iyi sonuçlar temperlenmiş numunede (N2) elde edilmektedir. Isıl işlem şartlarına bağlı olarak meydana gelen yapısal değişimler aşınma miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Çünkü mekanik özelliklerin yanında aşınmayı büyük oranda bu yapısal değişimler belirlemektedir. Matris yapıda bulunan fazların şekil ve boyutlarının değişimi özellikle abrasif aşınma karakteristiklerini belirlemektedir. Bu durumun daha iyi anlaşılması açısından Şekil 5'de gerçek aşınma yüzey görüntüleri ve Şekil 6'da ise matristeki faz boyutuna bağlı olarak aşınma sırasında meydana gelen değişimlerin şematik gösterimleri verilmiştir.



Şekil 2. Al-Si-Mg-Fe dengelerinde meydana gelebilecek fazlar (Phases that may occur in the balance Al-Si-Mg-Mg-Fe) [25, 26, 27]



Şekil 3. Numunelerin mekanik özellikleri (N1: Döküldüğü gibi, N2: Temperlenmiş, N3: T5 işlemi uygulanmış, N4: T6 işlemi uygulanmış) (Mechanical properties of specimens N1: As-cast, N2: Tempered, N3: T5 treated, N4: T6 treated)

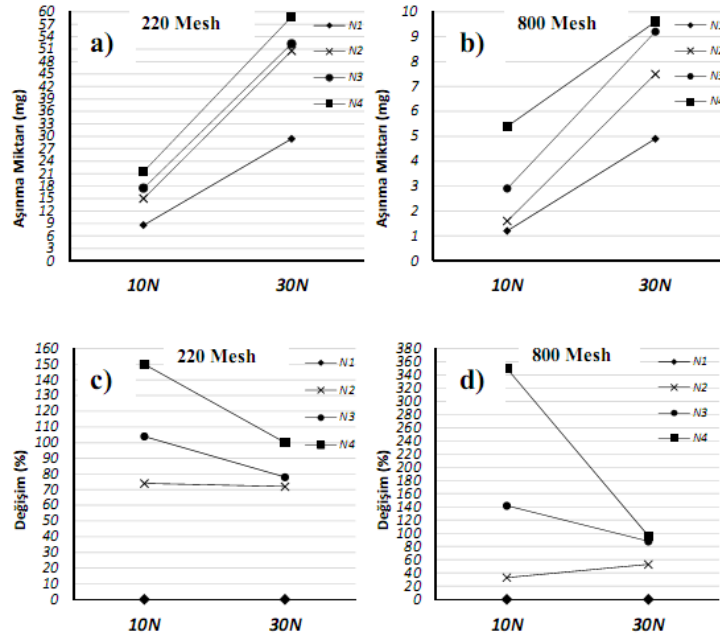
Tablo 3. Numunelerin aşınma miktarları (mg) ve değişimleri (%) (Table 3. Wear amounts of the specimens (mg) and changes (%))

	Numune No	Yük: 10 N	% Değişim	Yük: 30 N	% Değişim
220 Mesh	N1	8,6	***	29,4	***
	N2	15	+ 74	50,6	+ 72
	N3	17,5	+ 104	52,3	+ 78
	N4	21,5	+ 150	58,8	+ 100
800 Mesh	N1	1,2	***	4,9	***
	N2	1,6	+ 33	7,5	+ 53
	N3	2,9	+ 142	9,2	+ 88
	N4	5,4	+ 350	9,6	+ 96

*** Referans değerdir.

Metal ve alaşımlarının aşınma özellikleri genellikle mikro yapısal ve mekanik özellikleri ile yapılan işlemlere bağlı olarak değişmektedir. Diğer yandan aşınma sırasında yapısal ve mekanik özelliklerdeki gelişmenin aksine çeşitli yapısal ve mekanik davranışlar görülebilmektedir. Bunlardan birisi de bu çalışmada olduğu gibi sertliğin arttığı şartlarda aşınmanın da artması olarak söylenebilir. Bu durum bazı çalışmalarda da [29-32] ifade edilmektedir. Bu amaçla genellikle numunelerin aşınma yüzeyleri incelenmekte ve buna göre yorum yapılmaktadır. Aşınma makro ve mikro boyutta değerlendirilmesi gereken bir olgudur. Aşındırıcı boyutu burada çok önemli bir faktördür. Aşınan malzeme aşındırıcı boyutundaki değişime bağlı olarak farklı davranışlar

rının oluşumunda çok etkilidir [29-32]. Bu çalışmada malzeme içerisinde oluşan özellikle Si ve diğer fazların boyutları ısıtma işlemleri sonucunda küçülmektedir. Fazlardaki bu küçülme kaba zımpara kullanıldığında aşınmayı artırmaktadır (Şekil 4.a). Bu durum zımpara boyutu küçüldükçe tersine dönmektedir (Şekil 4.b). Küçük boyutlu aşındırıcı ile ince fazların bulunduğu malzemelerin aşındırıldığı testlerde, aşınma mekanizması mikro sürüklenme şeklinde meydana gelmektedir. Oysa bu çalışmada büyük aşındırıcı boyutlarına sahip aşındırıcılar kullanılmıştır. Bu nedenle aşınma mekanizması mikro kesme ve çatlak oluşumları şeklinde meydana gelmektedir. Kaba faz boyutlarına sahip olmaları nedeniyle aşınma sırasında kaba fazların kesilmesi yada çatlak oluşumu zorlaşmaktadır. Meydana gelen bu zorluk aşınma miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Diğer yandan, iri parçacıkların özellikle büyük aşındırıcı boyutlarına sahip zımparalarla yapılan aşınma testleri sırasında önce numune yüzeyinde biraz deformasyon oluşturmaları ve ardından bu zorluğa rağmen kırılması sonucunda küçük parçacıklar meydana gelmektedir. Bu kırılarak küçülen parçalar aşındırma işlemi sırasında matris malzeme ile karışarak, aşındırıcı ile aşındırılan malzeme yüzeyleri arasında aşınan malzeme yüzeylerine batarak veya arada bir yağlayıcı malzeme gibi davranarak teması zorlaştırmaktadır [29-31]. Ayrıca, kaba bir faz ile matris arasındaki yüzey alanı, ince fazın matrisle olan yüzey alanından daha fazladır. Bu nedenle aşındırma işlemi sırasında numunenin aşındırıcıya karşı direnci de fazla olacaktır. Bunun sonucunda, kaba faz bulunan veya parçacık takviyesi yapılan malzemelerde aşınma miktarı azalmaktadır. Bu durum aşınma testleri



Şekil 4. Numunelerin aşınma miktarları (a ve b) ve % değişimleri (c ve d) (N1: Döküldüğü gibi, N2: Temperlenmiş, N3: T5 işlemi uygulanmış, N4: T6 işlemi uygulanmış) (Figure 4. Wear amounts of the specimens (mg) and changes (%)) N1: As-cast, N2: Tempered, N3: T5 treated, N4: T6 treated)

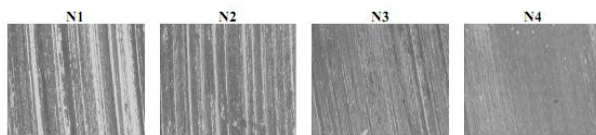
sergileyebilmektedir. Özellikle malzeme içerisinde oluşan fazların kaba ve ince olmaları aşınma mekanizmalarında

sonucunda incelenen numune yüzeylerinde de tespit edilmiştir (Şekil 5). Çünkü aşınma sonucunda numune

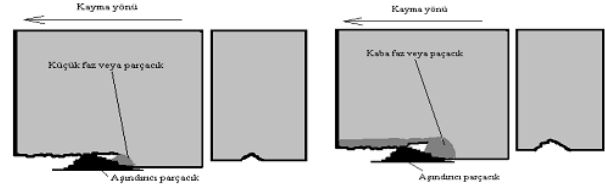
yüzeyleri incelendiğinde; döküm ve kısa süre ısıl işlen uygulanan numunelerde daha geniş ve derin çiziklerin meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5.a ve b).

Matris içerisinde yer alan fazların boyutlarının aşınmaya etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle Şekil 5'de verilen 30 N yük ve 800 mesh zımpara ile aşınma işlemine tabi tutulmuş numunelerin aşınma yüzeylerinin incelenmesinde büyük yarar bulunmaktadır. Numune yüzey görüntülerine bakıldığında en kaba ve geniş çizgilerin döküm halindeki numunede (N1) (Şekil 5.a), en ince ve dar çizgilerin ise yaşlandırılmış numunede (N4) (Şekil 5.d) oluştuğu görülecektir. Bu görüntüleri bakıldığında en düşük sertliğe sahip numunede en fazla ve büyük boyutlu aşınma izlerinin olmasının doğal bir sonuç olduğu ilk önce düşünülebilir. Ancak görüntüler aşınma sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, bu numunede (N1) aşınmanın en az miktarda meydana geldiği sonucu görüldüğüne göre bu çıkarımın yanlış olduğu görülecektir. Aşınma deformasyon ve ardından kesmenin birlikte gerçekleştiği bir süreçtir. Bu nedenle aşınma sonuçları incelenirken bu faktörlerin göz önünde bulundurulmasında büyük fayda vardır.

Şekil 6'da da ifade edilmeye çalışıldığı üzere kaba fazın bulunduğu malzemeler aşındırıcı tarafından kesilirken daha fazla güç sarf edilmesi gerekmektedir. Kaba ve sert fazların bulunduğu malzemelerde aşınma süreci öncelikle aşındırıcının matrise batması, ardından kaba faz ile temas etmesi ve fazın kesilememesinden dolayı önüne alıp sürüklenmesi şeklinde devam eder. Bu sürüklenme sırasında kaba fazın yüzey alanının büyüklüğünden dolayı deformasyon miktarı ve bunun için gerekli güç miktarı da artmaktadır. Bu durum yapılan bir çalışmada açıkça gösterilmiştir [32]. Adesif aşınma işlemlerinde meydana gelen direnç (ters) kuvvetlerinin ölçümleri ile teyit edilebilmektedir. Faz boyutu büyüdükçe direnç kuvvetleri artmaktadır. Bu sürüklenme sırasında kesilebilen ya da kırılan kaba fazlar ve matrisin ortamdan uzaklaştırılması ile süreç sona ermektedir. Çünkü birinci olarak kaba fazın kesilebilmesi için hacminin büyüklüğünden dolayı kesme işlemi zorlaşmaktadır. Bu durumda yeterince aşındırıcıya teması (yüklemenin) az olduğu durumlarda atlama ya da kesilmeden kayıp geçme nedeniyle aşınma azalmaktadır (Şekil 5.a ve b). Ters durumda ise kesme işlemi kolaylıkla oluşmakta ve aşınma artmaktadır (Şekil 5.c ve d). Diğer yandan, Al malzemelerin kullanıldıkları yerlerde aşınma genel olarak adesif karakterli olduğu için üretilen numunelerden başarılı sonuçların elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 5. Numunelerin aşınma yüzeylerindeki değişimlere ait mikroskop görüntüleri (30 N yük, 800 mesh aşındırıcı, X2.5) (Figure 5. Microscope images of changes in the wear surface of the samples (30 N load, 800 mesh abrasive, X2.5))



Şekil 6. Matristeki faz boyutunun aşınmaya etkisi (Effect on the wear of the size of the matrix phase)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Bu çalışma sonucunda, içerisinde önemli miktarda Mg, Fe, Cu, Zn gibi alaşım elementi bulunmayan AlSi alaşımlarının da yaşlandırılarak özelliklerinin geliştirilebildiği görülmüştür.
- 2) Döküm ile üretilen ötektik AlSi alaşımına oksitlenmeye karşı koruyucu ortamda yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanabildiği tespit edilmiştir.
- 3) Yüksek sıcaklıkta çözündürme sonucunda; Al içerisinde daha fazla Si çözündürülebildiği ve bunun sonucunda Si faz şekli ve miktarının değişime uğradığı görülmüştür.
- 4) Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulaması sonucunda, düşük miktarda alaşım elementi miktarıyla dahi bazı çökelti fazların (Mg_2Si , Al_3Fe , $Al_{12}Fe_3Si$, $Mg_3Mn_2Al_{18}$, Al_3Mg_2 , $Al_9Fe_2Si_2$, $Al_{12}Fe_3Si_2$ vb.) oluşabildiği görülmüştür. Oluşan bu çökeltilerin bir sonucu olarak; dayanım (% 163) ve sertliğin (% 38) geliştirilebildiği, ancak uzama miktarının azaldığı belirlenmiştir. Dayanımın en yüksek olduğu numunede (N4) yaşlandırma süresi bir miktar kısaltıldığında süneklik artırılabilir.
- 5) Isıl işlem uygulaması sonucunda meydana gelen fazların şekil ve boyutlarının küçüldüğü görülmüştür. İfade edilen değişimlerin neticesinde, mekanik özellikler gelişirken aşınmanın ise kötüleştiği tespit edilmiştir. Yük miktarının artması ile birlikte aşınma miktarı artmıştır. Genel olarak; ısıl işlemsiz numune düşük mekanik özelliklere sahip olmasına karşın, ısıl işlem sonucu üretilen numunelere oranla daha az aşınmıştır. Aşınma sırasında daha kaba fazların bulunmasından dolayı aşınmanın daha az olduğu düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hasırcı H., "Investigation Of Applicability Of Counter Gravity Direction Casting Processes In Green Sand Mould And Effect Of Process Production Casting Part On Structures And Properties", *Ph. D. Thesis*, Gazi University Institute of Science and Technology, TURKEY, April 2006.
2. Hasırcı H. and Gül F.;" Effects of Process Parameters on the Structure and Mechanical Properties of the part produced by Counter Gravity Casting Process", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 21(2): 257-264, (2006).

3. Li K. D. Cheng, M. C. and Chang E., "Effect of pressure on the feeding behavior of A356 alloy in low-pressure casting" *AFS Transaction*, 01-026, 311-320, (2001).
4. Chandley G.D., "Counter Gravity Casting of Aluminium in Investment and Sand Molds", *AFS Transactions*, 86-39, 209-214, (1986).
5. Kim E.S., Lee K.H. and Moon Y.H., "A feasibility study of the partial squeeze and vacuum die casting process", *Journal of Materials Processing Technology*, 105: 42-48, (2000).
6. Niu X.P., Hu B.H., Pinwill I. and Li H., "Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 105: 119-127, (2000).
7. Yurdakul M., Özbay O. and İç Y. T., "Selection of Aerospace Aluminum Alloys", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 17 (2): 1-23, (2002).
8. Rooy E. L., "Properties and Selection Non Ferrous Alloys and Special-Purpose Materials", *Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys*, Vol. 2, A.S.M. Handbook, American Society For Metals, 1-27, Ohio, (1995).
9. Bray J.W., "Properties and Selection of Non Ferrous Alloys and Special-Purpose Materials", *Aluminum Mill And Engineered Wrought Products*, Vol. 2, A.S.M Handbook, American Society For Metals, 29-60, Ohio, (1995).
10. Xiu Z.Y., Chen G.Q., Wang X.F., Wu G.H., Liu Y.M., Yang W.S., "Microstructure and performance of Al-Si alloy with high Si content by high temperature diffusion treatment", *Trans. Nonferrous Met. Soc.*, 20: 2134-2138, (2010).
11. Tan D. G., Li W.X., Xiao Y.D., Wang C., "Precipitated phases and thermodynamic analysis during solidification of Al-Fe-X system at low cooling rate", *Trans. Nonferrous Met. Soc.*, 13 (5): 1133-1136, (2003).
12. Haizhi Y., "An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Applications", *ASM International JMEPEG*, 12: 288-297, (2003).
13. Guiqing W., Xiufang B., Jinguo Q., and Junyan Z., "Effect of Be on Aging Behavior of an Al-Si-Cu-Mg Cast Alloy", *ASM International JMEPEG*, 13: 99-102, (2004).
14. Golovin S., Golovina S. B. and Sokolova O. A., "Effect of Thermal Aging on the Temperature Spectrum of Internal Friction of Alloyed Fe-Si-Al-C Ferrite" *The Physics of Metals and Metallography- Structure, Phase Transformation and Diffusion*, 105 (2): 193-201, (2008).
15. Chaudhury S.K. and Apelian D., "Fluidized Bed Heat Treatment of Cast Al-Si-Cu-Mg Alloys", *Met. And Mater. Trans. A*, 37A: 2295-2311, (2006).
16. Durmuş, H., Akgün ve S., Şahin, S., "The Investigation of Changing with Microstructure of Hardness at Precipitation Age Hardened AA7012 Aluminium Alloys, 5th International Advanced Technology Symposium (IATS'09), Karabük, Türkiye, (13-15 Mayıs 2009).
17. Tan E. and Ögel B., "Influence of Heat Treatment on the Mechanical Properties of AA6066 Alloy", *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 30: 53-60, (2007).
18. Kovačević I., "Simulation of spheroidisation of elongated Si-particle in Al-Si alloys by the phase-field model", *Materials Science and Engineering: A*, 496 (1-2): 345-354, (2008).
19. Vasilyev A.A., Kuzmin N.L. and Gruzdev A.S., "Calculation of Meta-Stable Precipitates Solvous Temperatures and Modeling of Age-Hardening in Al-Mg-Si Alloys", http://tmslab.spbstu.ru/tmslab/Poster/Poster_5.pdf (Haziran 2011).
20. Güven O., Alpdoruk D. ve Irmak Ş., "AlSi7Mg Döküm Alaşımında T6 Isıl İşlem Parametrelerinin Mekanik Değerlere Etkisinin İncelenmesi", <http://www.mendeley.com/profiles/sukru-irmak/> (Aralık 2013).
21. Meyveci, A., "Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX Serisi Al Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilim Uzmanlığı Tezi*, TURKEY, (Eylül 2007).
22. Feng W., Jishan Z., Baiqing X. and Yongan Z., "Microstructure, Mechanical Properties and Age-Hardening Behavior of an Al-Si-Fe-Mn-Cu-Mg Alloy Produced by Spray Deposition", *ASM International JMEPEG*, 20: 155-159, (2011).
23. Demir C., Mentеше E. B. ve Togay M. A., "Aluminyum Isıl İşleminde Su Verme Uygulamaları ve Kalıntı Gerilime Etkisi", http://www.componenta.com/UserFiles/componenta/File/PDF/Quenching_methods.pdf (Haziran 2011).
24. Cabibbo M., Evangelista E., and Spigarelli S., "Microstructure Studies on a Mg-Al-Si Alloy (AS21X)", *Metallurgical Science and Technology*, 22 (2): 9-13, 2004.
25. Taylor J. A., "The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys", www.aomevents.com/conferences/afi/papers/Taylor.pdf (Haziran 2011).
26. Jacobs M. H., TALAT Lecture 1203, Phase Diagrams, <http://www.eaa.net/ea/education/talat/lectures/1203.pdf> (Haziran 2011).
27. Raghavan V., "Al-Mg-Mn (Aluminum-Magnesium-Manganese) - Phase Diagram Evaluations: Section II", *Journal of Phase Equilibria and Diffusion JPEDAV*, 28 (2): 201-202, (2007).
28. Nikanorov S.P., Volkov M.P., Gurin V.N., Burenkov Y.A., Derkachenko L.I., Kardashev B.K., Regel L.L. and Wilcox W.R., "Structural and mechanical properties of Al-Si alloys obtained by fast cooling of a levitated melt", *Materials Science and Engineering A*, 390: 63-69, (2005).
29. Hasırcı H. ve Gül F., "Yerçekimine Ters Döküm Al-10Si Alaşımlarının Abrasif Aşınma Davranışı" *1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi*, İstanbul-TÜRKİYE, (5-7 Eylül 2007).
30. Yılmaz O. and Buytoz S., "Abrasive wear of Al₂O₃ - reinforced aluminum - based MMCs" *Composites Science and Technology*, 61: 2381-2392, (2001).
31. Kim S.W., Lee U.J., Han S.W., Kim D.K. and Ogi K., "Heat treatment and wear characteristics of Al/SiCp composites fabricated by duplex process" *Composites Part B: engineering*, 34: 737-745, (2003).
32. Hasırcı H. ve Gül F. "Yerçekimine Ters Döküm Yöntemiyle Üretilen Al Alaşımının Adhesif Aşınma Davranışının İncelenmesi" *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS'09)*, Karabük, Türkiye, (13-15 Mayıs 2009).