

ÜRETİM ŞARTLARININ YERÇEKİMİNE TERS DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARÇALARIN YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Hasan HASIRCI ve Ferhat GÜL

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Beşevler, Ankara,
hasirci@gazi.edu.tr, fgul@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 27.01.2005; Kabul/Accepted: 27.04.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, döküm sıcaklığı ve basıncının yaş kum kalıplar kullanılarak geleneksel yerçekimi (gravity casting) ve yerçekimine ters döküm (counter gravity casting) yöntemleri ile üretilen Al-% 10 Si alaşımının yapı ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Alaşıma ait numuneler 600, 640 ve 690°C sıcaklıklarda 100, 200, 250, 300 ve 500 mmHg vakum seviyelerinde dökülmüştür. Elde edilen sonuçlar, yerçekimine ters döküm yöntemiyle üretilen parçaların geleneksel döküm yöntemiyle üretilen parçalarda daha üstün mekanik özelliklere sahip olduklarını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yerçekimine ters döküm, yaş kum kalıp, mekanik özellikler.

EFFECTS OF PROCESS PARAMETERS ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE PARTS PRODUCED BY COUNTER GRAVITY CASTING PROCESS

ABSTRACT

In this study, the effects of pouring temperature and pressure on structure and mechanical properties of Al - 10% Si alloys produced by green sand mold traditional gravity casting and counter gravity casting methods were investigated. The specimens were poured at 600, 640 and 690°C temperature under 100, 200, 250, 300 and 500 mmHg vacuum level. The results showed that improved mechanical properties were obtained by counter gravity casting process.

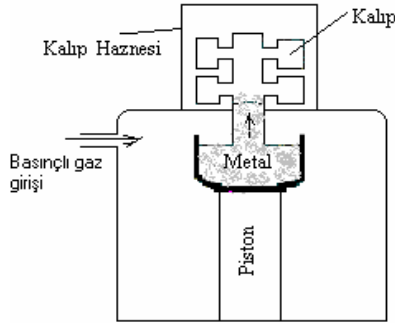
Keywords: Counter gravity casting, green sand mold, mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaliteli, sağlam ve üstün özelliklere sahip döküm parçaların elde edilebilmesi amacıyla yönelik olarak yapılan çalışmalar neticesinde yerçekimine ters döküm (counter gravity casting) yöntemi geliştirilmiştir [1-9]. Bu yöntem basit bir ifadeyle sıvı metalin farklı şekillerde yerçekiminin tersi yönünde kalıba doldurulması esasına dayanır. Bu işlemde sıvı metal basınçlı gaz, elektromanyetik pompa ve vakum yardımı ile kalıp içerisine doldurulmaktadır. Söz konusu yöntem dökümü özel ve kontrollü yapılması gereken alaşımların ve özellikle çok ince kesitli parçaların üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Yöntemin yapılışı, işlemin yapıldığı düzenek, değişik kalıp malzemelerinin (kabuk kalıp,

seramik kalıp gibi) uygulamaları daha önceki çalışmalarda çok sınırlı da olsa değerlendirilmiştir [1-9]. Ancak kalıp malzemesi, metalin doldurulma şekli, geleneksel yer çekimi döküm ile alaşımların mikro ve makro yapıları ile kazandırılan özellikler bakımından birçok detayın henüz tam olarak araştırılmadığı görülmektedir. Daha önceleri dökümcüler tarafından üretilen metal bir piston vasıtasıyla sabit haldeki döküm kalıbına gönderilmek suretiyle döküm işlemi gerçekleştirilmiştir [4,5]. Daha sonra bu sistem akıcılık, işlem kolaylığı, her türlü kalıp ve malzemeye uygulanabilme gibi avantajlarının fazla olması sebebiyle düşük gaz basıncı yardımıyla döküm işlemlerine dönüştürülmüştür [2,6-9]. Basınçlı sıvı metalin kalıba gönderildiği sistemde, kalıp içerisinde sıvı metal ergitme ünitesinin de bulunduğu yalıtılmış

bir düzenek içerisinde yerleştirilmiştir (Şekil 1). Kalıbın alt kısmında ergimiş metalin doldurulmasına yarayan bir boru (gidici) bulunmaktadır.



Şekil 1. Gaz basıncı yardımıyla gerçekleştirilen yerçekimine ters döküm yönteminin şematik gösterimi (Figure 1. Schematic illustration of counter gravity casting performed by the use of gas pressure)

Döküm işlemi sıvı metal üzerine basınç uygulanması ve bu şekilde kalıbın doldurulması esasına dayanmaktadır. Gidicidaki metal aynı zamanda besleyici görevi de yapmaktadır. Bu durum alçak basınçlı bu döküm yöntemi ile üretilen parçalara çok üstün özelliklerin kazandırılmasına yardımcı olur. İşlemlerin otomasyonu, düşük kalıp ve metal sıcaklığı ile işlemlerin uygulanma kolaylığı gibi açılardan geleneksel (yer çekimi ile) döküm yöntemlerine oranla bu yöntemi avantajlı hale getirmektedir [1,3,10]. Düşük basınç altında katılma hızının artması nedeniyle dökümlerde tane boyutu ve dendrit kol aralığı azaltılmakta ve sonuçta mekanik özellikler iyileştirilmektedir [1,3,10]. Ancak, sıvı metalin doldurulması sırasında uygulanan gaz basıncının çalkantı oluşumu, metalin döküm sırasında hızlı katılarak akıcılığın azalması gibi olumsuzluklar beraberinde birtakım döküm hatalarını da getirebilmektedir. İşte bu nedenle geleneksel döküm yöntemlerine oranla bir çok avantajları bulunmasına karşın, vakumlu sisteme kıyasla dezavantajları da bulunmaktadır [1,2]. Vakum kullanımı ile sıvı metalin kalıba dolmasını sağlayan sistemde ise, kalıp boşluğuna sıvı metalin itilmek suretiyle değil de çekilerek veya emilerek doldurulması dışında alçak basınçlı gaz ile yerçekimine ters döküm yöntemi ile aralarında işlemin yapılışı açısından pek fark

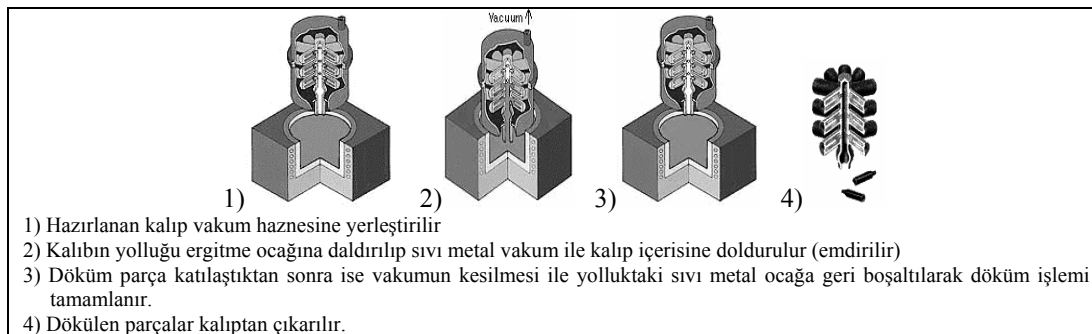
bulunmamaktadır (Şekil 2). Yöntem otomasyona uygun olup, döküm sırasında sıvı metalin akışı ve akıcılığı, çok ince kesite sahip parçaların üretimi, hedeflenen sıcaklıkta döküm, dökümü özel işlem gerektiren parça ve alaşımların kontrollü atmosfer altında üretilebilmesi gibi bir çok faktörün kolayca kontrol edilebilmesi nedeniyle yüksek kalitede döküm parça üretimi yapılabilmektedir [2-7,9-11].

Vakum yardımıyla yerçekimine ters döküm yöntemi ile parça üretimi konusunda genel olarak yöntemin tanıtan sınırlı çalışmalar bulunmaktadır. Bu konuda vakum miktarı, döküm sıcaklığı ve döküm işlemlerinde dünyada en yaygın olarak kullanılan yaş kum kalıpların üretilen döküm parçaların yapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı sıcaklık ve basıncın yaş kumdan hazırlanan kalıplara dökülen Al-%10 Si alaşımının yapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin belirlenmesidir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL PROCEDURE)

Yerçekimine ters döküm yöntemi ile numune üretimi için elektrik direnç ergitme ünitesi kullanılmıştır. Ergitme sırasında; ocak ve sıvı metalin sıcaklığı K-tipi termokupullar yardımıyla ölçülmüştür. Döküm işlemlerinde, kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen %10 Si içeren ticari Al-Si döküm alaşımı (ETİAL 171) kullanılmıştır. Çalışmada vakum ile yerçekimine ters döküm yapılabilmesi için çelik malzemenin özel olarak hazırlanmış olan boru tipi dereceler kullanılmıştır. Yerçekimi döküm işlemlerinde ise dökümhanelerde kullanılan geleneksel çerçeve tipi dereceler kullanılmıştır.

Döküm işlemleri 600, 640 ve 690°C sıcaklıklarda ve 100, 200, 250, 300 ve 500 mmHg vakum seviyelerinde hazırlanan yaş kum kalıplar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Üretilen çubuk biçimindeki silindirik parçalar (\varnothing 20 x 200 mm) TS 138 standardına uygun olarak Dartec 1200 tipi tahribatlı bilgisayar kontrollü numune test cihazında çekme deneyine tabi tutularak bunların çekme dayanımı ve % uzama değerleri belirlenmiştir.



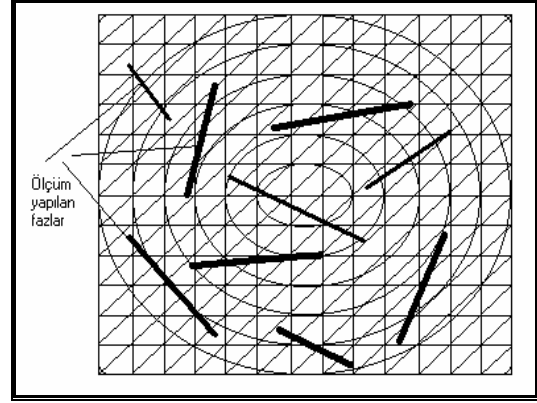
Şekil 2. Vakum ile yapılan yerçekimine ters döküm yönteminin işlem aşamaları [3] (Figure 2. Operation steps of vacuum counter gravity casting process)

Tablo 1. Döküm işlemlerinde kullanılan Al -% 10 Si alaşımı kimyasal bileşimi (Table 1. Chemical analysis of Al-10Si alloy used in casting process)

Element	Bileşim oranı (% ağırlık)
% Si	9.42
% Fe	0.38
%Cu	0.05
%Mn	0.431
%Mg	0.36
%Cr	0.015
%Ni	0.04
%Zn	0.06
%Ti	0.10
%Pb	0.011
%Al	Kalan

600°C döküm sıcaklığı bu alaşım için çok düşük olduğundan bu sıcaklıkta geleneksel döküm yönteminde başarılı bir döküm yapılamamıştır. Bu nedenle mekanik özellikleri test edilememiştir. Üretilen çubuklardan alınan numuneler metalografik hazırlama işlemlerinden geçirildikten sonra optik mikroskop monitörü üzerinde hazırlanan bir skala yardımıyla Çizgisel Kesişme Metodu (Şekil 3) kullanılarak incelenmiştir.

Söz konusu numuneler %0,5 HCl + %99,5 saf sudan oluşan çözelti içerisinde dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Döküm numunelerinin yoğunluklarının tespiti için Archimedes prensibi kullanılmıştır.



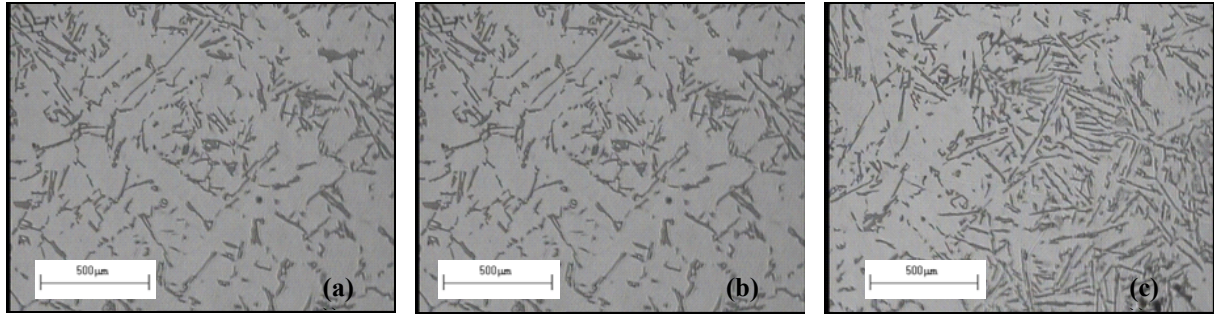
Şekil 3. Çizgisel kesişme metodu skalası (Figure 3. Scale of linear intercept method)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

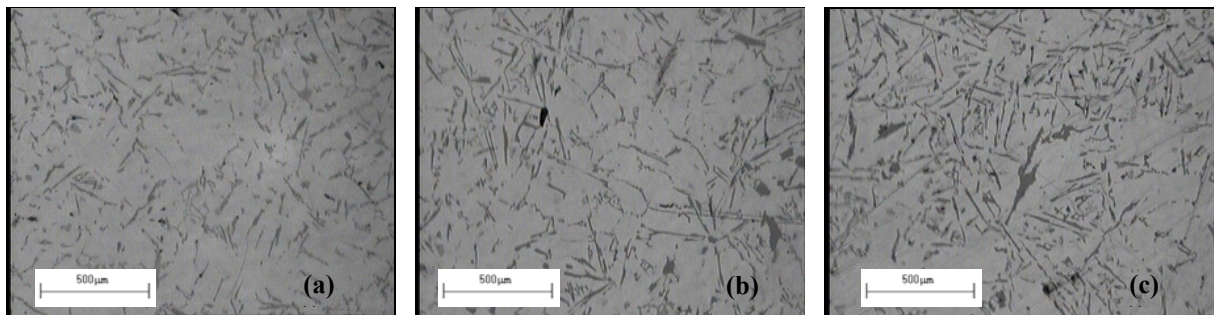
3.1. Yapısal Özelliklerin Değerlendirilmesi (Evolution of Structural Properties)

Üretilen numunelerin mikroyapılarını gösteren fotoğraflar Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Bu yapılar yer alan Si fazının boyut ve şeklinin uygulanan döküm sıcaklığı ve vakum miktarının etkisiyle katılma hızı ve karakteristiğinin farklılaşmasına bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Al - %10 Si alaşımının mikroyapısının ötektik kanun olarak adlandırılan α (Al) fazı ile çubuk biçimindeki Si parçacıklarında oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. (a) 600°C, (b) 640°C ve (c) 690°C döküm sıcaklıklarında geleneksel yerçekimi döküm yöntemi ile üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları (Figure 4. Micrographs of specimens produced by gravity casting process at pouring temperatures of (a) 600°C, (b) 640°C and (c) 690°C)



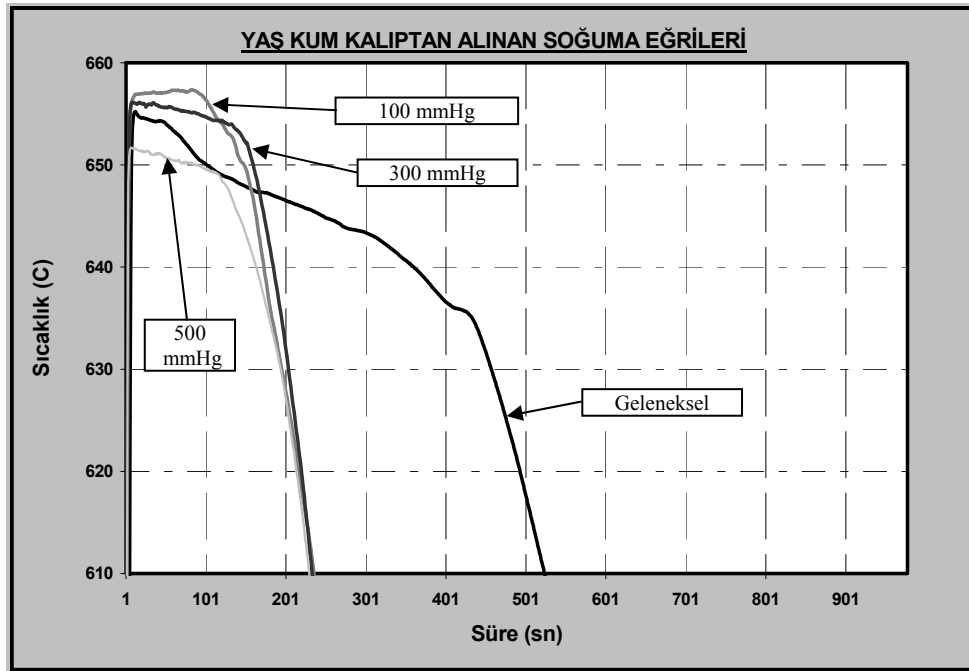
Şekil 5. (a) 600°C, (b) 640°C ve (c) 690°C döküm sıcaklıklarında yerçekimine ters döküm yöntemi ile 500 mmHg vakum uygulanarak üretilen numunelerin mikroyapı fotoğrafları (Figure 5. Micrographs of specimens produced by counter gravity casting process at pouring temperatures of (a) 600°C, (b) 640°C and (c) 690°C and vacuum level of 500mmHg)

Döküm sıcaklığının azalmasıyla Si fazlarının dağılım ve biçimlerinin değişime uğradığı görülmektedir. 690°C sıcaklıktaki kaba ve uzun çubuk şeklindeki Si faz boyutunun 640°C'de küçüldüğü görülmüştür. Döküm sıcaklığının 600°C'ye düşmesi ile birlikte daha fazla değişim meydana gelmektedir. 600°C'de daha yüksek sıcaklıklara oranla Si fazının boyutunun küçüldüğü tespit edilmiştir. Vakum ile yerçekimine ters dökümde ise her üç döküm sıcaklığında da öteklik görünümde değişim meydana gelmektedir. Vakum ile döküm sonucunda Si parçacıklarının geleneksel yerçekimiyle döküme kıyasla kaba olan boyutlarının küçülmesi neticesinde matris içerisindeki dağılımı artmaktadır. Döküm sırasında oluşan fazların boyut ve şekillerinin katılma hızına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Döküm sıcaklığı arttıkça katılma hızı düşmekte ve sıvıdan katı faza geçişte daha az çekirdeklenme olmaktadır. Çekirdeklenme hızının azalması sunucunda daha iri taneli yapı oluşmaktadır [1,3,10]. Vakum uygulaması durumunda döküm malzemenin katılma hızı ve biçimi değişime uğramaktadır. Vakum uygulaması sonucunda basınçlı döküm (pres döküm) uygulamalarına benzer şekilde döküm malzemesinin katılma hızı artmakta ve katılma süresi ise kısalmaktadır. İlâveten vakum ile katılmanın başladığı sıcaklık da değişmektedir.

Vakum miktarı 100 mmHg'dan 500 mmHg'ya arttığında katılma sıcaklığı daha da azalmakta ve katılma süresi kısalmaktadır. Bu sonuç Şekil 6'da yaş kum kalıpta geleneksel ve vakum ile döküm şartlarında elde edilen soğuma eğrilerinden net olarak görülmektedir. Vakum uygulanması sonucunda soğuma hızının artmasına bağlı olarak katılma hızının artması ile geleneksel döküme kıyasla malzemenin katılma süresi daha kısa olmaktadır. Bu

sonuçlar vakum uygulanması ile katılmanın daha kısa sürede gerçekleştiğini göstermiştir. Hızlı katılma sonucunda çekirdeklenme hızı artmakta ve böylece daha küçük tane ve faz boyutları elde edilmektedir. Bu durum Si fazları arasındaki mesafenin ölçülmesi sonucunda görülmüştür. Üretilen alaşıma ait Si fazları arasındaki mesafenin döküm sıcaklığı ve vakum miktarına bağlı olarak değişimi çizgisel kesişme yöntemiyle incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında Si fazları arası mesafenin geleneksel yerçekimi ile dökümlerde 600°C sıcaklıkta 10.73 μm , 640°C sıcaklıkta 12.33 μm ve 690°C sıcaklıkta ise 15 μm olduğu görülmektedir.

Döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak Si fazları arasındaki mesafenin arttığı görülmektedir. Bu durum döküm sıcaklığındaki artış ile birlikte Si fazının kabalaştığını göstermektedir. İlâve olarak her bir döküm sıcaklığında ve 500 mmHg vakum miktarlarındaki Si fazları arasındaki mesafe de ölçülmüştür. Vakum uygulanması ile birlikte fazlar arasındaki mesafenin 600°C sıcaklıkta 8.33 μm , 640°C sıcaklıkta 9.1 μm ve 690°C sıcaklıkta ise 13.3 μm olduğu görülmüştür. Sonuçlar geleneksel döküm yöntemine kıyasla her bir döküm sıcaklığında uygulanan vakum nedeniyle meydana gelen hızlı katılma sonucunda fazlar arası mesafenin azaldığını göstermektedir. Aynı zamanda vakum ile gerçekleştirilen dökümlerde de döküm sıcaklığındaki artışa katılma hızının azalmasına (Şekil 6) bağlı olarak Si fazları arasındaki mesafenin arttığı tespit edilmiştir. Geleneksel ve 500 mmHg vakum altında yerçekimine ters döküm sonucunda Si fazları arasındaki mesafenin değişimi incelendiğinde, fazlar arasındaki mesafe değişimlerinin 600°C sıcaklıkta



Şekil 6. Geleneksel ve yerçekimine ters döküm yöntemleriyle üretilen parçaların soğuma eğrileri
(Figure 6. Cooling curves of casting parts produced by counter gravity casting and gravity casting processes)

% 22.36, 640°C sıcaklıkta % 27 ve 690°C sıcaklıkta ise % 11.33 olduğu görülmüştür. Sonuçlar en fazla değişimin 640°C döküm sıcaklığında meydana geldiğini göstermektedir.

3.2. Mekanik Deneylerden Elde Edilen Bulguların Değerlendirilmesi (Discussion of Mechanical Test Results)

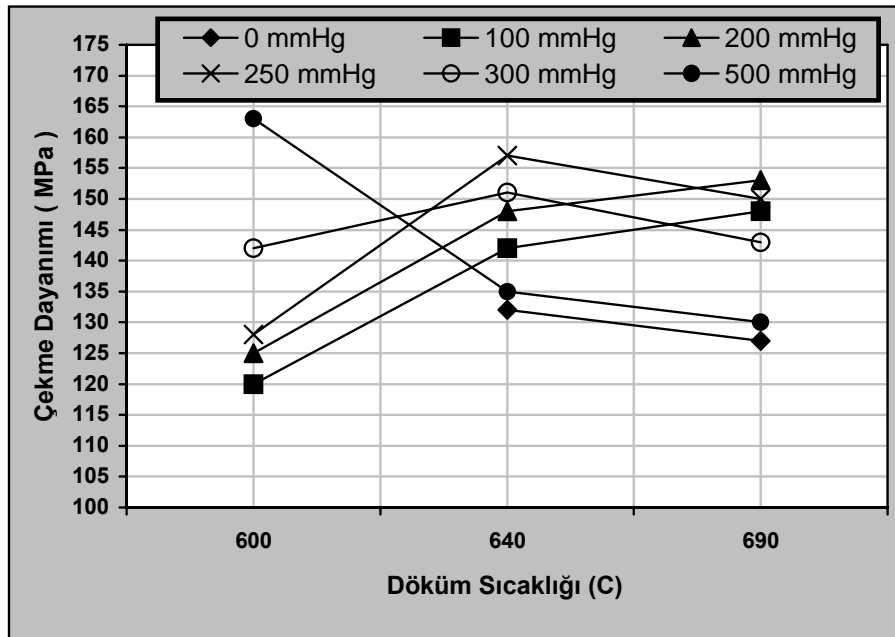
Mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2 ve Şekil 7’de verilmiştir. Bu sonuçlar vakum ile üretilen

numunelerin geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerden daha yüksek sertlik ve çekme dayanımına sahip olduklarını göstermektedir. Vakum ile döküm yapıldığında kalıp içerisinden sıcaklığın daha hızlı çekilmesi neticesinde döküm malzemesi daha hızlı katılaşmaktadır (Şekil 6). Hızlı katılaşma nedeniyle dökülen numunelerde küçük boyutlu taneler oluşmaktadır. Aynı zamanda yapı içerisindeki oluşan Si parçacıklarının boyutu küçülmekte ve bunların dağılımları daha homojen hale gelmektedir. Malzeme yapısındaki tane boyutunun küçülmesi ve sert

Tablo 2. Değişik sıcaklık ve vakum şartları altında dökülen parçaların mekanik özellikleri (Table 2. Mechanical properties of casting parts poured at different temperatures and under different vacuum conditions)

Numune	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (BHN)
1 (600°C)	(****)	(****)	(****)	62
1a (100 mmHg-600°C)	120	1.25	0.3	64
1b (200 mmHg-600°C)	125	1.55	0.3	68
1c (250 mmHg-600°C)	128	1.92	0.55	72
1d (300 mmHg-600°C)	142	2.4	0.7	74
1e (500 mmHg-600°C)	163	2.82	1.1	77
2 (640°C)	132	1.53	0.8	65
2a (100 mmHg-640°C)	142	2.36	1.2	71
2b (200 mmHg-640°C)	148	2.59	1.45	72
2c (250 mmHg-640°C)	157	3.1	1.4	73
2d (300 mmHg-640°C)	151	2.87	0.87	69
2e (500 mmHg-640°C)	135	1.78	0.78	68
3 (690°C)	127	1.92	0.72	58
3a (100 mmHg-690°C)	148	2.10	0.85	63
3b (200 mmHg-690°C)	153	2.38	1.1	65
3c (250 mmHg-690°C)	150	2.73	0.8	67
3d (300 mmHg-690°C)	143	2.7	0.75	62
3e (500 mmHg-690°C)	130	2.15	0.61	61

(****) : Döküm işlemi sonucunda sağlam numune üretimi gerçekleştirilememiştir.



Şekil 7. Al - %10 Si alaşımının çekme dayanımının uygulanan vakum miktarı ve döküm sıcaklığına göre değişimini gösteren eğriler (Figure 7. Variation of tensile strength of Al-10%Si alloy with vacuum level and pouring temperature)

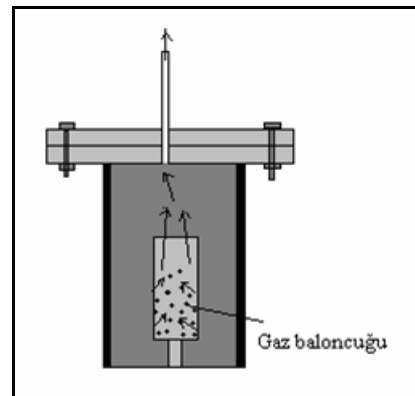
silisyum parçacıkları arasındaki ortalama uzaklığın azalması nedenleriyle üretilen Al - % 10 Si alaşımının sertlik ve çekme dayanımı artmaktadır [11-15].

Düşük sıcaklık ve vakum neticesinde sıvı metalin akışı çok zor olmakta ve akıcılık azalmaktadır. Kalıp içerisine yeterli rahatlıkla doldurulamayan sıvı metal ve hızlı katılaşma sonucunda gözenekler (boşluklar) oluşmaktadır. Bu gözenekler oluşan gazlardan ziyade akıcılığı düşük metalin meydana getirdiği dentritlerarası gözenekler şeklinde meydana gelmektedir. Bu durum mikroyapı incelemeleri sırasında tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ise kalıp içerisinde meydana gelen gazlar neticesinde gözenekler oluştuğu görülmektedir. Oluşan gözenekler yoğunluğu düşürerek alaşımın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. 600 °C sıcaklıkta özellikle 100 ve 200 mmHg vakum seviyelerinde döküm sonucunda elde edilen sertlik ve mukavemet değerlerinin, 640 ve 690 °C sıcaklıklarında geleneksel yöntemle yapılan dökümle elde edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Çünkü 100 ve 200 mmHg vakum ve düşük sıcaklık şartlarında sıvı metal akıcılığının azalması neticesinde döküm işlemi oldukça güçleşmekte, hatta imkansızlaşmaktadır. Düşük sıcaklıkta döküm malzemesinin yarı katı halde olması ve hızlı katılaşma (Şekil 6) sebebiyle düşük vakum seviyelerinde döküm sonucunda düşük yoğunlukta döküm parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Buna karşın, düşük sıcaklıkta yüksek vakum ile döküm sonucunda özellikler iyileşmektedir. Düşük sıcaklık ve vakum seviyelerinde düşük yoğunluk ve zayıf mekanik özelliklerin elde edilmiş olması neticesinde, düşük döküm sıcaklıklarında yüksek vakum ile döküm yapılmasının önemli avantajlar sağlayacağı bu çalışma sonuçları ile görülmüştür. Çünkü yüksek vakum ile sıvı metal akıcılığı artmakta ve yoğunluğu yüksek malzeme üretimi mümkün olmaktadır. Bu durum ise mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Yapılan bu çalışmada en yüksek dayanım, yoğunluk ve sertlik ile en düşük porozitenin 600 °C sıcaklık ve 500 mmHg vakum seviyesindeki döküm şartları sonucunda elde edilmiştir.

640 ve 690 °C döküm sıcaklıklarında elde edilen sonuçlara bakıldığında ise düşük vakumda (0, 100 ve 200 mmHg) yapılan döküm sonucunda düşük çekme dayanımı elde edilirken, vakum miktarının yaklaşık 250 mmHg seviyelerine çıkarılması durumunda en yüksek dayanım değerlerine ulaşılmaktadır. Vakum miktarının daha fazla artırılması ile dayanım tekrar azalma göstermektedir. En yüksek dayanım değerlerinin 600 °C'de 500 mmHg, 640 °C sıcaklıkta 250 mmHg ve 690 °C'de ise 200 mmHg vakum seviyelerinde elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar; döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha düşük vakum seviyelerinde daha yüksek dayanım elde edilebileceğini göstermektedir. Bir başka ifadeyle yaş kum kalıba döküm işlemlerinde

yüksek sıcaklıkta düşük basınç ile çalışma sonucunda çekme dayanımı özelliklerinde artış sağlamaktadır.

Diğer taraftan basınçlı döküm (pres döküm) işlemlerinde basınç arttıkça üretilen parçaların mekanik özelliklerinin sürekli iyileştiği ifade edilmektedir [13]. Ancak basınçlı döküm işlemlerinde metalik kalıplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kalıp yaş kum kalıp malzemesinden üretilmiştir. Bu kalıp malzemesi silis kumu, kil (bentonit) ve nem (su) karışımından meydana gelmektedir. Yaş kuma döküm işlemlerinde nemden kaynaklanan gaz oluşumu nedeniyle döküm hataları çok sıkça görülmektedir. Yaş kum kalıplarda yüksek döküm sıcaklıkları ve vakum seviyelerinde gözenek artışı kalıp malzemesindeki nem ile sıvı metalin etkileşmesi sonucunda meydana gelmektedir. Yaş kum kalıplarda nem bulunması nedeniyle sıvı metal ile karşılaşan kalıp malzemesinde bulunan nemin $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2$ reaksiyonu sonucunda gaz (buhar) haline dönüşerek kalıp boşluklarına doğru çıkması söz konusu olmaktadır (Şekil 8). Bunun sonucunda oluşan gazların iki farklı biçimde metal içerisinde kalabileceği düşünülmektedir. Birincisi kalıbın doldurulmasının ilk safhalarında, kalıp boşluğunun tam olarak sıvı metal ile doldurulmadığı aşamada ortaya çıkan bu gazlar uygulanan vakumun etkisiyle ortamdaki uzaklaştırılması söz konusu olmaktadır. Ancak, sıvı metalin doldurulması ve katılaşmanın çok kısa bir zamanda meydana geldiği gözden kaçırılmamalıdır. İkinci olarak, katılaşmanın başladığı yerlerden birisinin de kalıp duvarlarının olduğu göz önüne alındığında, ortaya çıkan gazların bir kısmının uygulanan vakumun etkisi ile kalıp boşluğundan sıvı metal dolmadan uzaklaştırılabilmesi mümkün olabilmektedir. Ancak, uygulanan basıncın vakum olması dolayısıyla emme şeklinde olduğu düşünülürse, vakum uygulaması sırasında oluşan gazların derin (uzun) parçalarda sıvı metal içerisine çekilmesi ve hızlı katılaşma neticesinde kalıp boşluğu dışına atılamaması söz konusu olacaktır. Gaz problemleri konusunda yapılan bazı çalışmalarda da [10,11-14] bu durumlar vurgulanmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda porozite (gözenek) meydana



Şekil 8. Döküm işlemi sırasında kalıpta oluşan gazların metal içerisindeki durumu (Figure 8. Formation of porosity inside mold during pouring)

gelmekte ve üretilen parçaların özellikleri kötüleşmektedir. Porozitedeki artış ve yoğunluktaki azalma (Tablo 3) sonucunda dökülen alaşımın mekanik özellikleri (Tablo 2) olumsuz etkilenmektedir. Bu gerçek başka bir çalışmada da [13] dile getirilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar (Tablo 3) genel olarak döküm sıcaklığındaki artışa bağlı olarak yoğunluğun azaldığını ve gözenek miktarının ise arttığını göstermektedir. Aynı zamanda vakum miktarına bağlı olarak yoğunluk ve gözenek miktarlarının değiştiği görülmüştür. 600°C sıcaklıkta döküm sonucunda geleneksel yöntemle üretilen numuneler arasında en düşük yoğunluk sonuçlarının elde edildiği görülmektedir. 600°C’de geleneksel yöntemle yarı-katı yada katılaşmaya başlayan metalin dökülebilme zorlukları nedeniyle bu sonuç elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle en iyi sonuca 640°C sıcaklıkta döküm sonucunda ulaşılmıştır. Sıcaklığın 690°C’ye yükseltilmesi ile yoğunluk tekrar azalmıştır. Vakum uygulamasına bağlı olarak 600°C sıcaklıkta döküm sonuçları incelendiğinde, vakum miktarındaki artışa paralel olarak yoğunlukta artış, gözenek miktarında ise azalma görülmektedir. 640°C döküm sıcaklığındaki sonuçlar incelendiğinde ise; 250 mmHg vakuma kadar yoğunluğun arttığı, ancak daha yüksek vakumlarda tekrar yoğunluğun azaldığı görülmektedir. 690°C sıcaklıkta elde edilen sonuçlar da benzer özellikler taşımakta, ancak bu sıcaklıkta en yüksek yoğunluk değerine 200 mmHg vakumda ulaşılmaktadır.

Bulunan sonuçlar, 600°C sıcaklıkta 500 mmHg’dan daha yüksek vakum seviyesinde yapılan dökümle daha yüksek yoğunluk değerlerinin elde edilebileceğini göstermektedir. Metal sıcaklığının çok düşük olması, metalin yarı-katı ya da katılaşmaya çok yakın bir halde bulunması gaz nedeniyle gözenek miktarının azalmasına sebep olurken, metalin kalıba doldurulmasını güçleştirmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise yaş kum kalıpların bünyesindeki nem nedeniyle meydana gelen gazların olumsuzluklarından dolayı yüksek vakum seviyelerinde gözenek oluşumu artarken, yoğunluk ise azalmaktadır. Ancak, 640°C sıcaklıkta elde edilen sonuçlar bu alaşımın yaş kum kalıplara dökümü ile genel olarak en iyi özelliklerin elde edildiğini göstermektedir. Gözenek miktarı azaldıkça yoğunluk artmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yoğunluğun artmasına yol açan şartlarda üretilen alaşımın mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmektedir (Tablo 2).

Ayrıca döküm sıcaklığı azaldıkça alaşımın yüzde uzama ve kesit daralmasının yükseldiği görülmüştür. 600°C sıcaklıkta en iyi sertlik ve mukavemet 500 mmHg basınçta elde edilirken, 640°C’de 250 ve 690°C sıcaklıkta ise 200 mmHg vakum seviyelerinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar çekme dayanımında meydana gelen değişim ile paralellik göstermektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. Değişik sıcaklık ve vakum altında dökülen parçaların bazı fiziksel özellikleri (Table 3. Some physical properties of specimens cast at different temperatures and under different vacuum conditions)

Numune	Yoğunluk (gr/cm ³)	Gözenek (%)
1 (600 °C)	2,565	5,769
1a (100 mmHg-600 °C)	2,618	3,628
1b (200 mmHg-600 °C)	2,643	2,648
1c (250 mmHg-600 °C)	2,660	1,992
1d (300 mmHg-600 °C)	2,665	1,801
1e (500 mmHg-600 °C)	2,705	0,295
2 (640 °C)	2,648	2,454
2a (100 mmHg-640 °C)	2,669	1,648
2b (200 mmHg-640 °C)	2,678	1,306
2c (250 mmHg-640 °C)	2,692	0,780
2d (300 mmHg-640 °C)	2,666	1,762
2e (500 mmHg-640 °C)	2,652	2,300
3 (690 °C)	2,605	4,145
3a (100 mmHg-690 °C)	2,644	2,609
3b (200 mmHg-690 °C)	2,657	2,107
3c (250 mmHg-690 °C)	2,621	3,510
3d (300 mmHg-690 °C)	2,615	3,747
3e (500 mmHg-690 °C)	2,610	3,946
Döküm malzemesinin teorik yoğunluğu 2.7128 g/cm ³ ’tür.		

- 1) Yerçekimine ters döküm işleminde sıcaklık ve basınç değişimine bağlı olarak üretilen malzemenin yapı ve özelliklerinde değişim meydana gelmektedir. Döküm sıcaklığındaki azalmaya bağlı olarak mikroyapıda bulunan Si parçacıklarının küçüldüğü tespit edilmiştir. Bu yapısal değişimin mekanik özelliklerin geliştirilmesinde etkili olduğu görülmüştür.
- 2) Vakum uygulaması ile üretilen alaşımın geleneksel döküm yöntemiyle üretilen alaşımdan daha üstün yapı ve mekanik özellikler sergilediği görülmüştür.
- 3) Yaş kum kalıplarda vakum miktarının döküm sıcaklığı göz önüne alınarak belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Yüksek döküm sıcaklıklarında vakum seviyesinin düşürülmesinin mekanik özelliklerin iyileşmesine katkı sağlayacağı tespit edilmiştir.
- 4) 600°C döküm sıcaklığında 500 mmHg, 640°C'de 250 mmHg ve 690°C'de ise 200 mmHg vakum seviyelerinin kullanılması sonucunda en üstün mekanik özelliklerin elde edilebileceği belirlenmiştir.
- 5) Yaş kum kalıplarda vakum ile yerçekimine ters döküm yönteminde kalıpların kurutulması ya da boyanması üretilen parçanın özelliklerinin daha da iyileşmesine yardımcı olabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. G.D.Chandley, "Use of Vacuum for Counter Gravity Casting of Metals" **Materials Res. Innovant**, pp: 14-23, 1999.
2. F.Ripkin and S.Lipson, "Counter Gravity Casting of Aluminum Alloys in Green Sand Molds" **AFS Transactions**, 67-70, pp: 581-592, 1967.
3. Anon, "Turning the Gating World Upside Down", Technical Paper, **Hitchiner Manufacturing Co.**, (www.hitchiner.com) 2003.
4. G.D.Chandley, "Counter Gravity Casting of Aluminum in Investment and Sand Molds", **AFS Transactions**, 86-39, pp: 209-214, 1986.
5. S.Lipson and F.Ripkin, "Effect of Sections Thickness on the Tensile Properties of Thin-Section Aluminum Alloy Sand Casting" **AFS Transactions**, 69, pp: 192-197, 1969.
6. G.D.Chandley and M.C.Flemings, "Gating Premium Quality Casting" **AFS Transactions**, 88-37, pp: 121-128, 1988.
7. M.C.Flemings, H.F.Conrad and H.F.Taylor, "Aluminum Alloys Fluidity Test" **AFS Transactions**, 93-59, pp: 496-507, 1993.
8. I.H.Katzarov and others, "Porosity Formation in axi-symmetric castings produced by counter-gravity casting method" **International Journal of Heat and Mass Transfer**, Vol: 44, pp: 111-119, 2001.
9. D.M.Stefanescu and others, "In Situ Research Utilization for Processing of Metals Alloys on Lunar and Mars Bases", (www.Science.nasa.gov/newhome/headlines/space98pdf/insitu.pdf) 2003.
10. G.D.Chandley, "Making casting without ladles or sprues – the CLA process" **AFS Transactions**, 76-28, pp: 37-42, 1976.
11. Anon, **Molding Methods and Materials, American Foundryman's Society publications**, Illinois, USA, pp: 120-300, 1962.
12. E.S. Kim, K.H. Lee and Y.H. Moon, "A feasibility study of the partial squeeze and vacuum die casting process", **Journal of Materials Processing Technology** 105, p: 42-48, 2000.
13. X.P. Niu, B.H. Hu, I. Pinwill and H. Li, "Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys", **Journal of Materials Processing Technology** 105, p: 119-127, 2000.
14. Anson, J.P., Stucky, M. and Druzleski, J.E., "Effect of Sr modification on nucleation and growth of microporosity during the solidification of Al-7%Si foundry alloy", **AFS Transactions**, 00-70, p: 419-426, 2000.
15. Campbell, J. "Casting" **Butterworth-Heinemann**, 120-300, 1999.