

DİFÜZÖRLÜ VE DİFÜZÖRSÜZ YOLLUK SİSTEMLERİNİN A356 ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Tansel TUNÇAY¹, Süleyman TEKELİ¹, Dursun ÖZYÜREK²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh.06500-ANKARA

²Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh.78100-KARABÜK

ttuncay@kardokmak.com.tr, stekeli@gazi.edu.tr, dozyurek@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 27.04.2012; Kabul/Accepted: 21.03.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, A356 alüminyum döküm alaşımında eşit kesit alanına ve farklı kesit şekillerine sahip difüzörlü ve difüzörsüz yatay yolluk sistemlerinin, sıvı metal hareketine bağlı olarak mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmanın amacı, yolluk sistemlerinin sebep olduğu inklüzyon, gaz veya çekme boşluğu gibi döküm hatalarını azaltmaktır. Bu yüzden yatay yolluklar, eşit kesit alanına ve farklı kesit şekline sahip (kare, dikdörtgen ve dairesel çıkışlı) difüzörler kullanılarak genişletilmiştir. Dökülen A356 alaşımı plakalardan hazırlanan numunelerden çekme testleri yapılarak, elde edilen sonuçlar Weibull istatistiksel analizi ile incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, tasarlanan difüzörlü yatay yolluklarda sıvı metalin hareketindeki türbülansın azaldığı en yüksek çekme değerleri ve Weibull modülünün kare kesitli difüzörlü yatay yolluk kullanılarak dökülen numunelerde olduğu görülmüştür. Kırık yüzey Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) incelemelerinde ise kırılmanın, intermetalik ikincil fazların (oksitlerin vb.) ve boşlukların bulunduğu bölgelerde gerçekleştiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yolluk sistemleri, alüminyum kuma döküm, oksit film, sıvı metal hareketi

THE EFFECT OF DIFFUSER AND NON-DIFFUSER RUNNER SYSTEMS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A356 ALLOY

ABSTRACT

In this study, runner systems which have equal cross-sectional area and different forms of cross-sectional diffuser and non-diffuser runner system's effects on mechanical properties of A356 aluminium alloy, depending on the movement of the liquid metal, were investigated. The aim of the study is to reduce casting defects due to inclusion caused by runner systems such as gas or shrinkage porosity. Therefore, the horizontal runners have been extended by using diffusers having cross-sectional area equivalent with a different cross-sectional shape (square, rectangular and circular outlet). Tensile test specimens were prepared from the plates of casting A356 alloy and tensile tests were performed. Obtained results were examined Weibull statistical analysis. As a result, one hand, it is observed that the turbulence effect on liquid metal has been decreased the highest tensile results and Weibull modulus has been appeared on the samples which have horizontal runners produced by using a square section diffuser in designed horizontal diffuser. On the other hand, according to Scanning Electron Microscope (SEM) analysis on fracture surfaces, fracture has been observed in the area of intermetallic secondary phases (oxides etc.) and in area with gas or shrinkage porosity.

Keywords: Runner systems, aluminum sand casting, oxide film, movement of the liquid metal

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Döküm alüminyum alaşımları, döküm kabiliyetlerinin iyi olması ve dayanım/ağırlık oranlarının ve korozyon dirençlerinin yüksek olmasından dolayı özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde bir Al-Si-Mg alaşımı olan A356 alaşımı, transmisyon kutusu, manifold, silindir başlığı, jant vb. parçaların üretiminde kullanılmaktadır [1,2]. Döküm malzemenin kalitesi şarj malzemenin kalitesine, ergitme ortamına, yolluk sistemine ve katılma şartlarına bağlıdır [3,4]. Son

yıllarda özellikle döküm yöntemiyle üretimde, sıvı metal türbülansı ve yüzey türbülansının mekanik özelliklere etkisi simülasyon modelleri ve deneysel çalışmaları yapılarak araştırılmaktadır [5-8]. Sıvı metalin kalıp boşluğuna transferi amacıyla tasarlanan yolluk sisteminin, döküm malzemenin mekanik özelliklerinde etkili olduğu yapılan birçok çalışmada belirtilmektedir [4-10]. Yolluk sistemlerinin tasarımı aşamasında yapılan hataların sıvı metalin akışı sırasındaki türbülans, döküm havuzunda girdap etkisi ile hava sürüklenmesine, yatay ve dikey yolluklarda süresiz akışa sebep olmaktadır. Sıvı metalin akışı sırasındaki bu süresizlik, beraberinde yüzey türbülansına da neden olmaktadır. Yüzey türbülansı, sıvı metalin yüzeyindeki koruyucu oksit film tabakasının türbülanslı akış durumunda kırılması, katlanması ve yeni oksit filmlerin oluşmasına yol açmaktadır [3,4,9]. Genellikle şarj malzemesinden ve yolluk sisteminden kaynaklanan oksit ve inklüzyonların kalıp boşluğuna girmesi, iyi bir yolluk sistemi tasarımıyla engellenmektedir [11,12]. Döküm işlemi sırasında sıvı alüminyum yüzeyinde oluşan oksit film tabakaları, sıvı metal ile beraber kalıp boşluğuna girerler. Katılma öncesi sıvı yüzeyinde yüzen bu oksitler, katılma sırasında döküm malzeme içinde oluşan dendritler arasında sıkışmaktadırlar. Bunun yanında, sıvıda çözünen hidrojen miktarı katıda çözünen hidrojen miktarından daha yüksek olduğundan, dendritler arasına sıkışan oksit film (bifilm) katmaları (şarj ve sıvı metalin türbülansından kaynaklanan), zamana ve sıcaklığa bağlı olarak mikro yapıda gözeneklere sebep olmaktadır. Ayrıca sıvı fazdan katı faza geçiş sırasındaki yoğunluk farkından dolayı, katılma çekmesinden kaynaklanan boşluklar meydana gelmektedir. Gaz ve çekme boşlukları birbirinden ayrı olarak görüleceği gibi birlikte de olabilmektedir. Mikro yapıda gaz boşlukları çekme boşluklarına göre daha küresel ve düzgün bir morfolojiye sahiptir. Buna karşılık çekme boşlukları daha karmaşık ve pürüzlü yüzeye sahiptirler [9-13]. Sıvı alüminyumun içerdiği oksit ve hidrojen miktarı düşük basınç test cihazı ile belirlenebilmektedir. Fakat gözenek miktarı sadece hidrojen miktarına bağlı değil, aynı zamanda oksit film katman miktarına da bağlıdır [14].

Al-Si-Mg döküm alaşımlarının katılmasında α -Al dendritler, demirce zengin iğnemi plakalı β -Al₃FeSi, α -AlFeSi intermetalik yapı ve ısıl işlem sonrasında Mg₂Si intermetalik fazları oluşmaktadır [15]. Ayrıca soğuma hızının artmasıyla toplam boşluk miktarı ve ortalama boşluk boyutu azalmaktadır [16]. Alüminyum alaşımındaki magnezyum miktarının artışına bağlı olarak Al₂O₃ oksit tabakası ile birlikte MgAl₂O₄ (spinel yapı) oluşmaktadır [10]. Malzemelerin üretim süreçlerindeki parametrelerin malzeme kalitesi üzerine etkisi, ilk kez çeliklerin çekme test sonuçları kullanılarak Waloddi Weibull tarafından iki dağılımlı Weibull analizi ile yapılmıştır [17]. Sıvı metal hareketini sağlayan yolluk sistemlerinin parça kalitesi üzerine etkisi Weibull

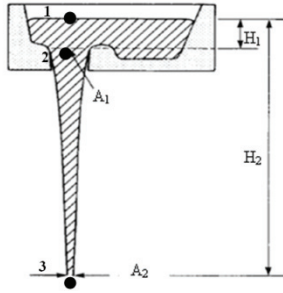
modülü ile değerlendirilmektedir [5,8,11,12]. Dai'nin yaptığı bir çalışmada, dikey yolluğa tanjansal dairesel kesitte birleştirilen yatay yolluk ile vorteks akış uygulanarak dairesel, dikdörtgen ve üçgen kesitli yatay yolluk sistemlerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir [5]. Deneysel çalışmalar sonucunda farklı kesitli yatay yolluk sistemlerinin, mekanik özellikler üzerinde dikkate değer artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Reilly'nin yaptığı çalışmada ise, dikey yolluk yüksekliğinin, oksit film tabakası oluşumu üzerine etkisi incelenmiş ve dikey yolluk yüksekliğinin artması ile meme giriş hızı, yüzey türbülansı ve oksit oluşumunun arttığı belirlenmiştir [6]. Hsu ise, sıvı metalin dikey ve yatay yolluğun birleştiği yerdeki oksitlenme karakteristiğini dirsek, iç-dış kavis ölçüsüne ve sıvı metal hızına bağlı olduğunu belirtmektedir [9]. Sıvı metal hızının azaltılması yolluk sistemi kesit alanlarının artırılmasıyla (difüzör yardımı ile) yapılmaktadır. Yapılan bir diğer çalışmada ise, engelleyici tip difüzör kullanılarak sıvı metal hızı, sistemin debisi ve boşalma katsayıları su ile yapılan modellerle incelenmiş ve engelleyici tip difüzör kullanılarak sıvı metalin yatay yolluktaki hızı azaltılmıştır. Fakat yolluk sistemlerinde kullanılan difüzörlerin döküm metalin kalitesine etkisi üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır [18].

Bu çalışmada, eşit kesit alanına farklı çıkış şekline sahip difüzörlerin kullanıldığı yolluk sistemlerinin sıvı metalin akış davranışı, kalıp dolumu simülasyon programı ile akışkanlar mekaniğine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca deneysel olarak döküm malzeme kalitesinin mekanik özelliklere etkisi, Weibull istatistiksel analizi ile sınıflandırılmıştır. Ayrıca çekme testi uygulanan numunelerin kırık yüzeyleri SEM (EDS'li) ile; gaz, çekme boşlukları, inklüzyonlar ve oluşan intermetaliklerin kırılma davranışına etkileri araştırılmıştır.

2. TEORİK ESASLAR (THEORETICAL PRINCIPLES)

Sıvı metalin yolluk sistemi ve kalıp içindeki hareketi, akışkanlar mekaniğine göre sıkıştırılmaz olarak değerlendirilmektedir [3,4,19,20]. Sıvı metalin yolluk sistemi ve kalıp içindeki hareketi üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, sıvı metal hızı (döküm yüksekliğine bağlı olarak) artarak yatay yolluğa düşer ve yolluk sisteminin son noktasına kadar ulaşır. Bu aşamada ani kesit şekli ve yön değişiklikleri sıçrama ve türbülansa sebep olmaktadır. İkinci aşamada, yatay yolluğun son noktasına ulaşan sıvı metal yolluk sistemini tamamen doldurur, sıçrama ve düzensizlikler azalır. Üçüncü aşamada ise sıvı metal memeden kalıp boşluğuna ulaşır. Böylece sıçrama ve düzensizlik en az olur. Yolluk sistemi hesaplamaları, akışkanlar mekaniğine göre (sıvı metalin ilerlediği kesit alanı ve yön değişiminden) oluşması muhtemel büyük ve küçük hız kayıpları ihmal edilerek yapılmaktadır [3,4,20]. Dikey yolluk giriş ve çıkış alanı, sıvı metalin toplam düşme yüksekliğine göre hesaplanmaktadır. İnceltilmiş dikey yolluk ile sıvı

metalin atmosfer ile teması ve kalıp kumunun gaz geçirgenliğinden kaynaklanan hava emişi de engellenmektedir. Şekil 1’de dikey yolluk sistem elemanı görülmektedir. 1, 2 ve 3. noktalara göre enerjinin korunumu (Eşitlik 1) ve kütle korunumu (Eşitlik 2) prensipleri kullanılarak kayıplar ihmal edilerek, A_1 ve A_2 alanları ile V_1 ve V_2 sıvı metal hızları hesaplanır. Eşitliklerde; A , alanı (m^2), V , hızı ($m/sn.$), H , yüksekliği ($m.$), m , kütleyi ($kg.$) ve g , yerçekimi ivmesini ($9,82m/sn^2$) simgelemektedir.



Şekil 1. Dikey yolluk sistemi (Sprue runner system)

$$\frac{1}{2} mV_1^2 = mgH_1, \frac{1}{2} mV_2^2 = mgH_2$$

$$[V = \sqrt{(2gH)}] \quad (1)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 = Q \quad (2)$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \quad (3)$$

Öncelikle döküm havuzu etkin döküm yüksekliği, toplam döküm yüksekliği ve kesit alanları Eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır. Yatay yolluk ve meme kesit alanları da istenilen sıvı metal hızına göre, kütle korunumu ve/veya Bernoulli eşitlikleri kullanılarak hesaplanmaktadır [3,4,19,20]. Sıvıların akış durumundaki türbülansı Reynolds (Re), yüzey türbülansı ise Weber (We) boyutsuz sayıları ile belirlenmektedir. Sıvı metalin yüzeyindeki oksit film tabakasının akış kararlılığı Weber boyutsuz sayısı ile ilişkilendirilmektedir. Reynolds sayısı, sıvının atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır (Eşitlik 4). Reynolds sayısı 2000 değerine kadar sıvının akış durumu laminer, 2000–20000 arası geçiş durumu, 20000 değeri ve sonrasında türbülanslı akış durumu göstermektedir. Reynolds sayısına bağlı olarak sıvı metal için kritik alt ve üst sınır hızı belirlenmektedir. Bütün sıvılar için $Re = 2000$ kritik alt sınır hızı, $3000 < Re < 4000$ kritik üst sınır hızı olarak tanımlanmaktadır.

$$Re = \frac{VD}{\mu} \quad (4)$$

Weber sayısı, sıvının iç kuvvetlerinin yüzey gerilimine oranıdır (Eşitlik 5). Sıvı metalin akış durumundan daha fazla yüzey türbülansının ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Yüzey türbülansı, kalıp boşluğunu dolduran sıvı metalin üst yüzeyindeki

atomik çekim kuvvetleri etkisi ile ince ve zar şeklinde olan film tabakasının düzensiz (türbülanslı) hareketidir. Eşitlik 4 ve 5’te D , kanalın hidrolik çapı ($m.$), μ , sıvı metalin viskozitesi ($kg./m. sn.$), γ , yüzey gerilimi ($N/m.$) simgelemektedir.

$$We = \frac{\rho DV^2}{\gamma} \quad (5)$$

Başlangıçta sıvı metalin yolluk sistemini tamamen dolduramaması hem yüzey hemde akış türbülansına yol açmaktadır. İki dağılımlı Weibull analizi ile yolluk sistemlerinin döküm malzeme üzerine kalitesi incelenmektedir. Weibull istatistiksel analizi genel formülü Eşitlik 6’da verilmiştir.

$$F_W = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{\sigma} \right)^\lambda \right] \quad (6)$$

Weibull kümülatif dağılımı, x eksenine yerleştirilen \ln (çekme test sonucu) değerlerine karşı y eksenine $\ln[\ln(1/1-F_w)]$ değerleri yerleştirilerek çizilen çizgidir. Çizginin eğimi, Weibull modülü olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 6’da F_w , kümülatif başarısızlık oranı, x , ölçülen değer, σ , karakteristik gerilim (veya ölçek parametresi) (% 63.21) ve λ , Weibull modülünü (dağılımın kalite parametresi) simgelemektedir [5,8,11,12,17].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Deneysel çalışmalarda, 200x125x15 mm ölçülerinde döküm plakalar kullanılmıştır. Döküm plakasının yolluk sistemi ve sıvı metal hızı hesaplamalarında daha önce verilen 1,2 ve 3 nolu eşitlikler kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda dikey yolluk yüksekliği 205 mm ve etkin döküm yüksekliği (havşa yüksekliği) 25 mm olarak belirlenmiştir. İnceltilmiş dikey yolluk, yatay yolluklara inceltirilmiş dirsek ile birleştirilmiştir. Dirsek çıkış hızı yaklaşık olarak $2 m/sn$ [$(2gh)^{1/2}$] olarak hesaplanmıştır. Yatay yollukta sıvı metal hızını $1 m/sn$ olarak sağlayabilen daire, dikdörtgen ve kare kesitli difüzörler, yatay yolluk ve dirsek arasına konumlandırılmıştır. Meme giriş hızı kesit kalınlığına bağlı olarak $0.3 m/sn$ hesaplanmış ve meme kesit alanı $1500 mm^2$ olacak şekilde modeller hazırlanmıştır. Sürekli akış durumunda, kesit çevresinin değişimi ile boyutsuz sayılar da değişmektedir. Bu nedenle, yatay yollukta (farklı kesitler kullanılarak) sıvı metalin akış karakteristiği değiştirilmiştir. Yatay yollukların uç kısmında, sıvı metalin katlanmasını engellemek için eğimli bir bölge oluşturulmuştur. Sıvı metalin memeden kalıp boşluğuna giriş hızı $0,30 m/sn$ hızı hesaplanarak (Eşitlik 5) toplam meme kesit alanı bulunmuştur. A356 alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir. Bütün bu hesaplamalar sonrasında sıvı metalin akış sırasındaki hareketi Nova Flow&Solid döküm simülasyon programı ile sonlu farklar metodunu dayalı olarak simüle edilmiştir.

Tablo 1. A356 alaşımının Kimyasal Kompozisyonu (% Ağırlıkça) (Chemical Composition of A356 Alloy) (% Weight)

A356 Alaşımı	Si	Mg	Fe	Ti	Mn	Cu	Zn
	7,34	0,319	0,14	0,11	0,031	0,010	0,009

Bu çalışmada kalıp malzemesi olarak 60–70 AFS tane iriliğine sahip silis kumu (silika) kullanılmıştır. Kalıp kumu, silika ağırlığının %1.8'i kadar ester bazlı alkali fenolik reçine (bağlayıcı olarak) ve reçine ağırlığının %20-25'si kadar sertleştirici ile hazırlanmıştır.

Çalışmalarda, difüzlüz kare, difüzlü dikdörtgen, kare ve dairesel yatay yolluk olmak üzere dört farklı yolluk sistemi (Şekil 2) kullanılmıştır. Her bir yolluk sistemi kullanılarak üçer adet plaka dökülmüştür. Plakaların döküm sıcaklığı 730-740°C olarak ölçülmüştür. Döküm plakalardan yatay ve dikey eksende çekme numuneleri ASTM E 8M-04 standardına göre hazırlanmıştır.

Hazırlanan çekme numunelerine yaşlandırma (T6) ısıl işlemi yapılmıştır. Çekme numuneleri 540°C de 8 saat solüsyona alındıktan sonra suda hızlı soğutulmuştur. Yaşlandırma ısıl işlemi 170°C de 10 saat süre ile yapılmıştır. Yaşlandırma işlemi tamamlandıktan sonra numunelerin çekme testleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Shimadzu AG-IS (50 kN) çekme cihazında 2 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı incelemelerinde Meiji

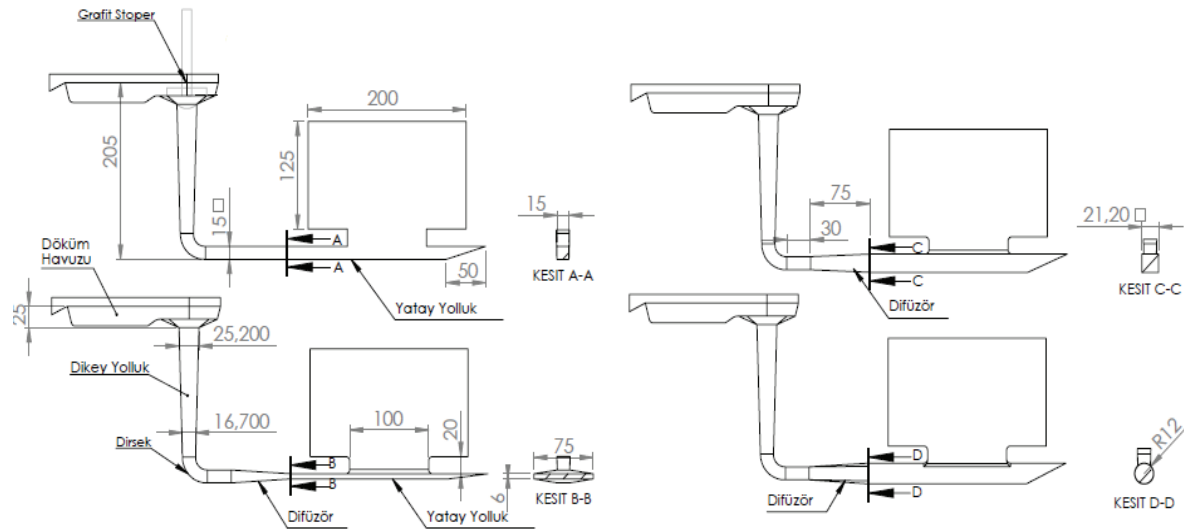
ML 7100 marka optik mikroskop ve Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Jeol JSM-6060 (SEM) tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır.

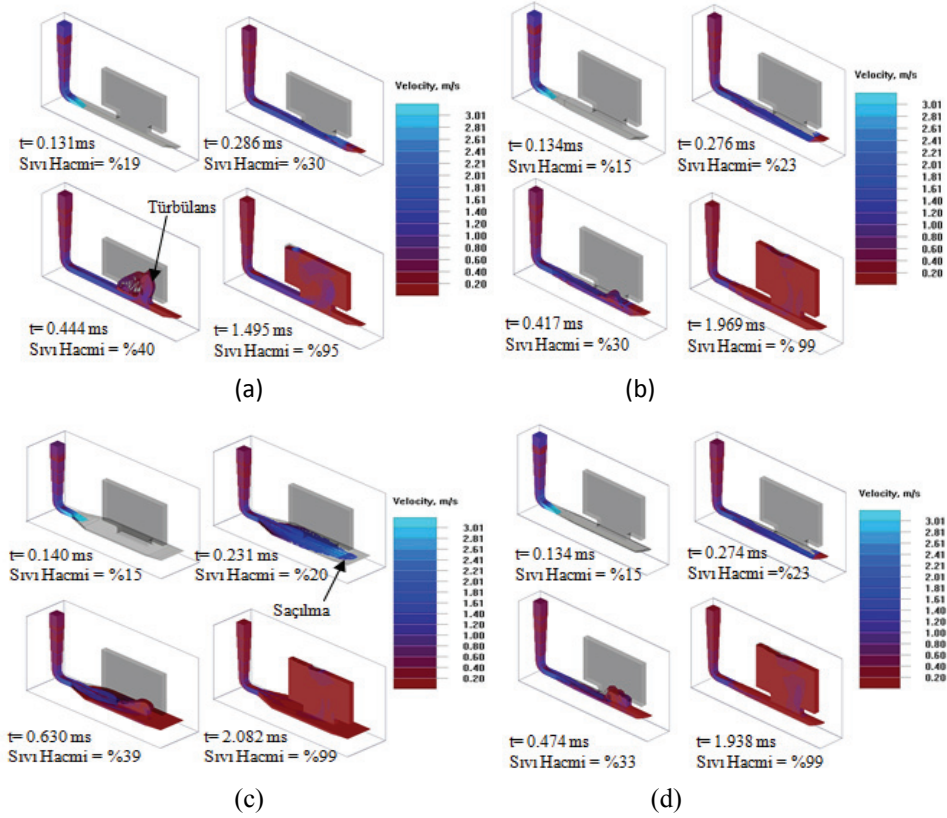
Ayrıca çekme testi uygulanan numunelerin kırılma yüzeylerinde kırılmaya sebep olan döküm hataları (gaz ve çekme boşlukları, inklüzyonlar) ve intermetalik faz oluşumları SEM ile incelenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSION)

4.1. Similasyon Sonuçları (Simulation Results)

Sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurması sırasında yolluk sistemindeki kanal kesit ve şekline bağlı olarak hızı ve türbülansı da değişmektedir. Sıvı metalin türbülansı Reynolds sayısı, yüzey türbülansı da Weber sayısı ile ilişkilidir. Bu çalışmada kullanılan yatay yolluk sistemlerinin kesit alanları aynı olsa bile kesit çevreleri farklı olduğu için, Reynolds ve Weber sayıları farklıdır. Sıvı metalin difüzlüz kare kesitli ve difüzlü (kare, daire ve dikdörtgen kesitli) yatay yolluklardaki hareketi Şekil 3'de verilmiştir.

**Şekil 2.** Bu çalışmada kullanılan dört farklı yolluk sistemi (Four different gating systems used in this study)



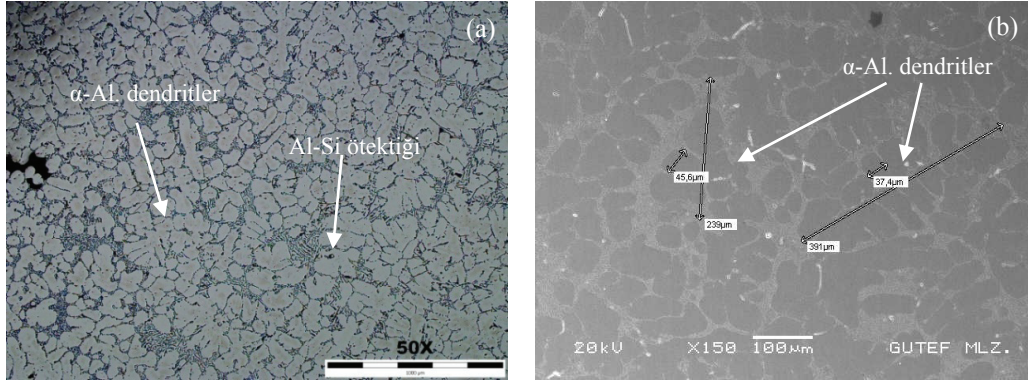
Şekil 3. Sıvı metalin kare kesitli difüzörsüz yatay yolluktaki hareketi (a), sıvı metalin kare kesitli difüzörlü yatay yolluktaki hareketi (b), sıvı metalin dikdörtgen kesitli difüzörlü yatay yolluktaki hareketi (c), sıvı metalin daire kesitli difüzörlü yatay yolluktaki hareketi (d) (Liquid metal filling runner of none-diffuser of square cross section (a), liquid metal filling runner of diffuser of square cross section (b), liquid metal filling runner of diffuser of rectangle section (c), liquid metal filling runner of diffuser of round (d)).

Döküm yüksekliğinden dolayı (205 mm) sıvı metalin hızı yaklaşık olarak 2 m/s civarındadır. Dikey ve yatay yolluk birleştirilmesinde kullanılan inceltilmiş dirsek, ölü bölgeleri engellemektedir. Şekil 3 (a)'da verilmiş olan difüzörsüz kare kesitli yatay yollukta sıvı metal 0.286 ms. (milisaniye) sonra yatay yolluğun sonuna kadar ulaşmaktadır. Sıvı metal akışının 0,444 ms. sonra meme ve kalıp boşluğuna karmaşık ve türbülanslı bir şekilde ulaştığı görülmektedir. Türbülanslı akışla kalıp boşluğuna akan sıvı metal, bu aşamada oksitlenmeye maruz kalmaktadır. Meme giriş hızı 0,30-1,00 m/s aralığındadır. Sıvı metalin farklı konumlardaki anlık hızların düzensizliği sıvı üzerindeki film tabakasının kırılmasına ve katlanmasına sebep olmaktadır. Toplam döküm süresi 1,505 ms. olarak hesaplanmıştır. Sıvı metalin kare kesitli difüzörlü yatay yolluktaki hareketi Şekil 3 (b)'de görülmektedir. Sıvı metal inceltilmiş dirsekten 0,134 ms sonra difüzöre ulaşmıştır. Yaklaşık olarak 1m/s hızla kare difüzörü ve yatay yolluğu 0,417 ms' de doldurmaktadır. Sıvı metal, türbülansız bir şekilde memeden kalıp boşluğuna akmaktadır. Meme giriş hızı 0,32-0,54 m/s (0,619 ms.) civarındadır. Sıvı metalin memede daha az kalıp atmosferi ile temas ettiği anlaşılmaktadır. Fakat difüzördeki kesit artışından dolayı sıvının yüzeyindeki oksit tabaka alanı da artmaktadır. Toplam döküm süresi 1,982

ms.'dir. Sıvı metalin dikdörtgen kesitli difüzörlü yatay yolluktaki hareketi Şekil 3 (c)'de görülmektedir. Dikdörtgen yatay yolluğun difüzör çıkışında sıvı metal kalıp duvarından ayrıldığı ve yatay yolluk içinde saçılmaya başladığı görülmektedir (0,231 ms.). Sıvı metalin memeden giriş hızı ise 0,17-0,55 m/s aralığındadır ve kalıp boşluğunu 0,630 ms'de doldurmaktadır (toplam döküm süresi 2,095 ms'dir). Sıvı metalin daire kesitli difüzörlü yatay yolluktaki hareketi Şekil 3 (d)'de görülmektedir. Fakat dairesel kesitte sürekli sıvının doldurduğu (ıslattığı) çevre değişkendir. Bu yüzden sıvı dairesel yatay yolluk içinde oksit tabakası katlanmaları meydana gelmektedir (toplam döküm süresi 1,965 ms).

4.2. Mikro Yapısal İnceleme (Microstructural Examination)

A356 alaşımın döküm ve ısıl işlem sonrasındaki dendritik mikroyapısı Şekil 4 (a)'da α -Al dendritler ve dendritler arasında Al-Si ötektiği görülmektedir. Şekil 4 (b)'deki ise SEM görüntüsünde α -Al dendritlerin uzunluğu 239-391 μ m ve dendrit kol kalınlıkları 37,4-45,6 μ m olarak ölçülmüştür. Al-Si-Mg döküm alaşımlarında mikro yapı dendritik olarak oluşmaktadır. Dendrit kollar arasında mesafe alaşımın soğuma şartlarına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4. A356 alaşımın optik mikroskop (a) ve SEM (b) görüntüsü (Optical microscopy (a) and SEM (b) image of A356 alloy)

Farklı yolluk sistemlerinin Weibull modüllerinin bulunması için gerekli döküm plakalardan elde edilen maksimum mühendislik çekme gerilme değerleri (σ_c) Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’den de anlaşılacağı gibi, farklı yolluk sistemleri ile dökülen plakalardan hazırlanan çekme numunelerinden elde edilen çekme testi sonuçlarında sıvı metalin akış yönüne paralel doğrultudaki (yatay) numunelerin çekme mukavemetleri, sıvı metalin akışına dikey doğrultuda hazırlanan numunelerin çekme mukavemetlerinden daha düşüktür. Bunun sebebi sıvı metalin akış yönünde türbülansın ve/veya yüzey türbülansı daha yoğun olmasıdır. Ayrıca oluşan oksit film tabakalarının, sıvı alaşım ile arasındaki yoğunluk farklarının az olmasından dolayı ve sıvı

metal katılaşımına kadar akışa paralel olarak yüzmesinden kaynaklanmaktadır [3,5,6,7].

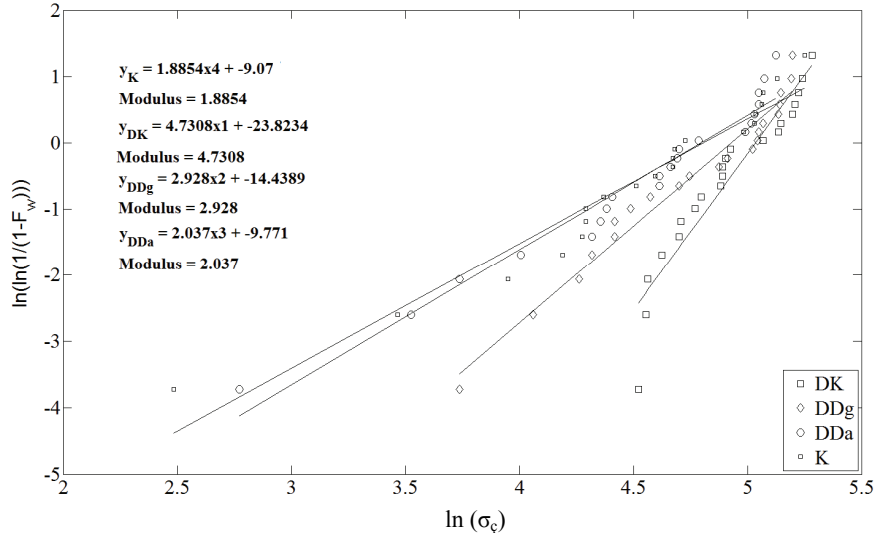
Döküm işlemlerinde kullanılan difüzörsüz ve farklı kesit şekline sahip difüzörlü yatay yolluk sistemlerinin Weibull modülleri Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’den de anlaşılacağı gibi, difüzörsüz ve farklı kesit şekline sahip difüzörlü yatay yolluk sistemleri, A356 döküm alaşımının mekanik özellikleri ve Weibull modülleri farklıdır. Yolluk sisteminin döküm malzemenin kalitesi üzerine yapılan çalışmalarda, farklı tasarımlar ve yolluk sistemi elemanları kullanılarak Weibull modülleri belirlenmektedir [5,8,11,12]. Difüzörlü yatay yolluk sistemleri ile sıvı metalin hızı ve buna bağlı olarak türbülansı, oksitlenmeyi azaltmaktadır.

Tablo 2. Farklı yolluk sistemleri ile üretilen numunelerin çekme test sonuçları (Different gating systems produced tensile test results)

	K (MPa)	DK (MPa)	DDg (MPa)	DDa (MPa)
Dikey Test Numuneleri	12	92	42	16
	32	96	58	34
	66	102	71	42
	72	111	89	55
	73	121	97	75
	73	138	136	80
	91	159	155	82
	146	170	159	106
	169	172	180	160
Ort.	81,61	129,02	109,57	72,22

Not: K: Difüzörsüz kare,
DK: Difüzörlü kare,
DDg: Difüzörlü dikdörtgen,
DDa: Difüzörlü daire.

	K (MPa)	DK (MPa)	DDg (MPa)	DDa (MPa)
Yatay Test Numuneleri	52	95	75	78
	79	110	83	101
	99	118	83	101
	107	132	110	109
	107	133	115	110
	108	133	131	120
	113	135	152	147
	153	181	156	151
	154	183	170	153
	158	186	171	156
	159	189	172	156
	191	197	181	168
	Ort.	123,34	149,50	133,42



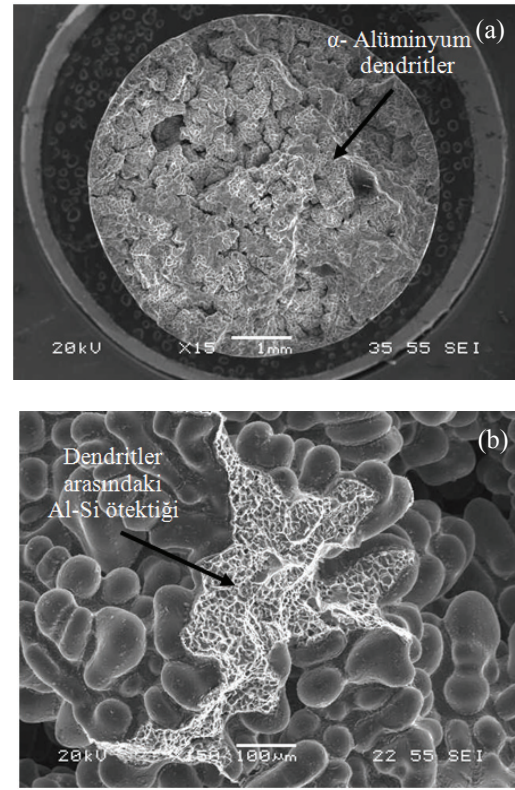
Şekil 5. Farklı yolluk sistemlerinin Weibull modülleri (Weibull modulus of different gating systems)

Yapılan çekme testleri sonrasında en düşük Weibull modülü 1,8 olarak difüzörsüz kare yatay yolluk sistemi ile dökülen numunelerde elde edilirken, en yüksek Weibull modülü 4,7 olarak difüzörlü kare yatay yolluk sistemi kullanılarak dökülen numunelerde elde edilmiştir. Bunun nedeni, difüzörsüz kare yatay yolluk sistemi ile dökülen numunelerde sıvı metalin yolluk sisteminde akışı sırasında meydana gelen saçılma, türbülans ve yüzey türbülansıdır [5-9].

Weibull modülünün yüksek olması döküm malzemenin kalitesinin artmışının bir ifadesidir. Al-Si-Mg alaşımlarında katılaşma, ilk olarak sıvı fazdan α -alüminyum dendritlerin oluşması ile başlamaktadır. A356 alaşımının mikro yapısında katılaşma hızına ve kimyasal kompozisyona bağlı olarak intermetalik fazlar oluşmaktadır. Bu alaşımların yapısında demirce zengin β -Al₅FeSi ve α -AlFeSi intermetalik fazların yanında ısıl işlem sonrasında Mg₂Si fazı da oluşmaktadır [15].

Soğuma hızının artması ile ötektikte Fe' in neden olduğu intermetalikler azalmaktadır [21]. Al-Si-Mg alaşımlarında Mg miktarı ötektik dönüşüm sıcaklığını da değiştirmektedir. Ayrıca yapıda Mg₂Si intermetalik oluşumunu, Fe içerikli intermetaliklerin oluşumu da azalmaktadır [22]. α -Al dendritleri arasında oluşan bu ikinci fazların yapı içindeki dağılım ve boyutları malzemenin mekanik özelliklerine (çekme ve yorulma gibi) etki etmektedir.

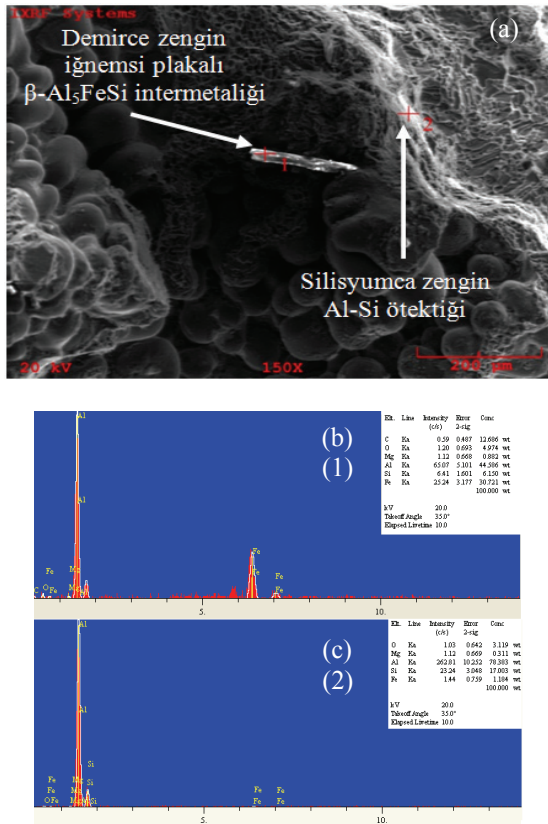
Uygulanan T6 ısıl işlemi sonrasında elde edilen ince dendritik yapı A356 alaşımı kaba taneli dendritik yapıya sahip A356 alaşıma göre daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Çekme testi sonrasında kare kesitli difüzörsüz yatay yolluk kullanılarak dökülen (12 MPa) numunenin kırık yüzeyinde alınan SEM görüntüleri Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Kare kesitli difüzörsüz yatay yollukla üretilen numunenin kırık yüzey SEM görüntüleri (a,b) (Produced samples of square section nondifuser runner SEM images of fracture surfaces (a,b))

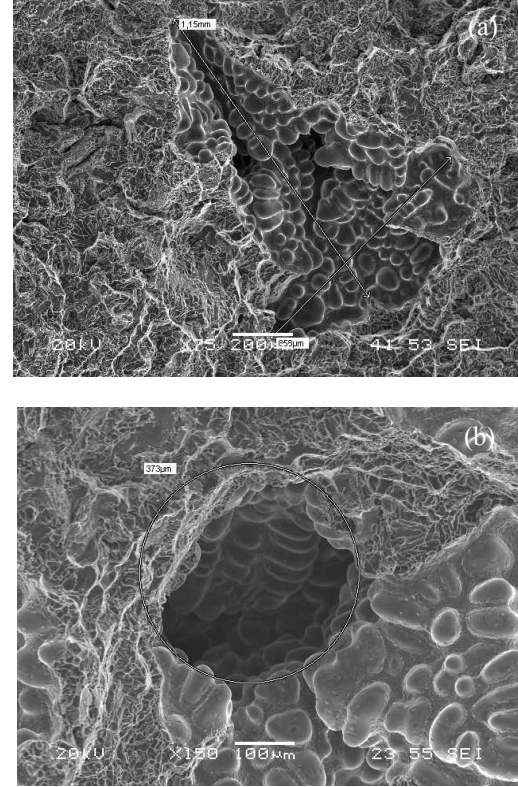
Katılaşma sonrasında α -alüminyum dendritler Şekil 6. (a)'da dendritler arasındaki silisyumca zengin Al-Si ötektik ise Şekil 6.(b)'de görülmektedir. Alüminyum alaşımlarında (özellikle çekme ve yorulma testlerinde) kırılma, α -Al dendritlerden oluşan tanelerin sınırlarında (taneler arası) ve/veya taneleri oluşturan dendritlerin kırılması (tane içinde) sonucunda oluşmaktadır [23]. Kırılma bölgelerinde genellikle

intermetalik ikincil fazlar, inklüzyonlar, oksit film tabakaları, gaz ve mikro çekme boşlukları önemli rol oynamaktadır. Kırılma, kırık yüzeylerdeki iğnemi ve keskin köşeli ikincil fazların çevresindeki gerilim yoğunlaşması ile oluşan mikro çatlaklar ile başlamakta ve bu mikro çatlakların birleşmesiyle ilerlemektedir. Yapılan kırık yüzey incelemelerinde (SEM ve EDS) demirce zengin iğnemi plakalı β - Al_3FeSi ve α - AlFeSi intermetalik yapıları görülmektedir. Kırık yüzey SEM görüntüsünde (Şekil 7 (a)) dendritler arasındaki silisyumca zengin Al-Si ötekliği ve stoperden kopan grafitin (C) EDS analizi (Şekil 7 (b) (1)) ve demirce zengin iğnemi plakalı β - Al_3FeSi intermetalikliğinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 7(c) (2)).



Şekil 7. Kare kesitli difüzlüz yatay yollukla üretilen numunenin kırık yüzeyinden alınan SEM (a) ve EDS analizleri (b,c) (Produced samples of square section nondifuser runner SEM (a) and EDS analysis (b, c) of the fracture surfaces)

Ayrıca kırılma yüzeyinde dendritler arasında sıvı metalin sıvı fazdan katı faza dönüşümü esnasındaki hacimce daralmadan kaynaklanan karmaşık yapıli keskin köşeli mikro çekme boşlukları (1,15 mm – 859 μm) Şekil 8 (a)'da, hidrojen miktarına bağlı olarak kaynaklanan küresel gaz boşluğu (373 μm) Şekil 8 (b)'de görülmektedir.



Şekil 8. Dendritler arasındaki mikro çekme (a) ve gaz boşluğu (b) SEM görüntüsü (SEM image of dendrites between the microshrinkage (a) and the gas space (b))

Gaz ve çekme boşlukları malzeme yapısında mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca alaşım kompozisyonuna bağlı oluşan intermetalik bileşikler genellikle katlanmış oksit film tabakaları, inklüzyonların yoğun oldukları bölgelerde, gaz veya mikro çekme boşlukları çevresinde çekirdeklenmekte veya büyümektedir [5-14]. İntermetaliklerin keskin köşeleri ve boşluk hataları artan yük ile birlikte kırılma mekanizmasını başlatmaktadırlar.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada A356 döküm alaşımlarının difüzlü ve difüzlüz yatay yolluklar kullanılarak dökümü gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kesit şekline bağlı olarak sıvı metalin akış karakteristiği değişmektedir. Ayrıca difüzlüdeki kesit şeklinin değişimi önemlidir. Tasarlanan dört farklı yolluk sisteminde en yüksek Weibull modülü (4.7) difüzlü kare kesitli yatay yollukta sağlanmıştır.
- Difüzlü yatay yollukların kullanıldığı yolluk sistemleri ile Weibull modülü ve döküm parça güvenilirliği artırılmıştır. Sıvı metalin akışı esnasında türbülans ve yüzey türbülansı sonucunda oluşan oksit film tabakaları mekanik özelliklere olumsuz etkilemektedir.

- Çekme testi sonucu elde edilen kırık yüzeyler SEM ile incelendiğinde, kırılma bölgelerinde gaz, mikro çekme boşlukları ve intermetaliklerin olduğu gözlenmiştir.
- İntermetaliklerin, özellikle gaz ve çekme boşlukları çevresinde çekirdeklendiği ve büyüdüğü belirlenmiştir. İntermetalik fazlar artan yük altında malzemenin mekanik dayanımının azalmasına ve kırılmasına sebep olmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışmaya destek sağlayan 07/2010-43 kodlu BAP projesi kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Miller W.S., Zhuang L., Bottema J., Wittebrood A.J., De Smet P., Haszler A., Vieregge A., "Recent Development in Aluminium Alloys for The Automotive Industry", **Materials Science and Engineering A**, 280, 37-49, 2000.
2. Edwards K.L., "Strategic Substitution of New Materials for Old: Applications in Automotive Product Development", **Materials and Design**, 25, 529-533, 2004.
3. Campbell J., **Casting**, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom, 2003.
4. Campbell J., **Castings Practice The 10 Rules of Castings**, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom, 2004.
5. Dai X., Yang X., Campbell J., Wood J., "Effect of Runner System Design on The Mechanical Strength of Al-7Si-Mg Alloy Casting", **Materials Science Engineering A**, 315-325, 2003.
6. Reilly C., Green N.R., Jolly M.R., "Surface Oxide Film Entrainment Mechanisms in Shape Casting Running System", **Metallurgical and Materials Transactions B**, Volume 40B, 850-858, 2009.
7. Mbuya T.O., Oduori M.F., Rading G.O., Wekesa M.S., "Effect of Runner Design on Mechanical Properties of Permanent Mould Aluminium", **International Journal of Cast Metals Research**, Volume 19, 2006.
8. Mi J., Harding, R.A., Campbell, J., "Effects of The Entrained Surface Film on The Reliability of Castings", **Metallurgical And Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science 35A**, 9, 2893-2902., 2004.
9. Hsu F.Y., Jolly M.R., Campbell J., "A Multiple-gate Runner System for Gravity Casting", **Journal of Materials Processing Technology**, Volume 209, 17, 5736-5750, 2009.
10. Pavlak L., "Effect of Filling Conditions on The Quality of Cast Aluminum Cylinder Heads", **Association of Metallurgical Engineers of Serbia**, 31-39, 2008.
11. Sirrell B., Campbell J., "Mechanism of Filtration in Reduction of Defects Due to Surface Turbulence During Mold Filling", **AFS**, 645-654, 1997.
12. Hsu F-Y., Lin H-J., "Foam Filters Used in Gravity Casting", **Metallurgical and Materials Transactions B**, Volume 42B, 1110-1117, 2011.
13. Campbell J., "Entrainment Defects", **Materials Science and Technology**, Volume 22, No 2, 127-145, 2006.
14. Dışpınar.D., Campbell J., "Critical Assesment of Reduced Pressure Test. Part1: Porosity Phenomena", **International Journal of Cast Metals Research**, Volume 17., No.5.2004.
15. Warmuzek M., "Metallographic Tecniques for Alüminum and Its Alloys", **ASM Handbook**, Volume 9, 711-751, 2004.
16. Ma Z., Samuel A.M., Samuel F.H., Doty H.W., Valtierra S., "A Study of Tensile Properties in Al-Si-Cu and Al-Si-Mg alloys: Effect of β -iron Intermetallics and Porosity", **Materials Science and Engineering A**, 490, 36-51, 2008.
17. Weibull, W., "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability", **Journal of Applied Mechanics**, 18, 293-297, 1951.
18. Hsu F-H., Lin H-J., "A Diffusing Runner for Gravity Casting", **Metallurgical and Materials Transactions B**, Volume 40B, 833-842, 2009.
19. Reikher A., Barkhudarov M.R., **Casting: An Analytical Approach**, Springer-Verlag London Limited, 2007.
20. Ruddle R.W., M.A., F.I.M., **The Running and Gating of Sand Castings**, The Institut of Metals, 1956.
21. Dutta B., Rettenmayr M., "Effect of cooling rate on the solidification behaviour of Al-Fe-Si alloys", **Materials Science and Engineering A283**, 218-224, 2000.
22. Wang Q. G., Davidson C. J., "Solidification and precipitation behaviour of Al-Si-Mg casting alloys", **Journal of Materials Science 36**, 739-750, 2001.
23. Wang Q.G., Cáceres C.H., "The fracture mode in Al-Si-Mg casting alloys", **Materials Science and Engineering A**, Volume 241, 72-82, 1998.

