

PAPER DETAILS

TITLE: Alüminyum Alasimlarına Uygulanan Sivi Metal Temizligi Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi

AUTHORS: Mehmet TOKATLI,Emin USLU,Murat ÇOLAK,Çaglar YÜKSEL

PAGES: 235-247

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2488550>

Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Sıvı Metal Temizliği Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi

Mehmet TOKATLI^{1*} , Emin USLU¹ , Murat ÇOLAK¹ , Çağlar YÜKSEL² 

¹Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bayburt, Türkiye
²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Erzurum, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Alüminyum döküm,
Sıvı metal
temizleme,
Bifilm,
İnklüzyon,
Temizleme test
yöntemleri

Özet

Endüstride alüminyum, cevherden (birincil alüminyum) ve hurda malzemelerden (ikincil alüminyum) üretilmektedir. Gerek geri dönüşüm ile ülke ekonomisine gerekse rekabet piyasası ile işletmeciyeye sağladığı katkı ile ikincil alüminyum kullanımı döküm endüstrisinde oldukça fazla yer almaktadır. Ancak ikincil alüminyumun avantajı yapıda bulunan inklüzyonlar, safsızlıklar, hidrojen gazları, oksit filmleri gibi etkenlerin temizlenmesine bağlıdır. Geri dönüşüm yoluyla alüminyumun kullanımında sıvı metal temizliği oldukça önemlidir ve temizleme işlemi için endüstriyel uygulamalarda çeşitli alternatifler mevcuttur. Uygulanan temizleme işleminin uygunluğunun kontrolü ve verimli olup olmadığının belirlenmesi için çeşitli test teknikleri de kullanılmaktadır. Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının dökümünde sıvı metal kalitesinin önemi ve temizleme yönteminin uygunluğu için kullanılan test yöntemleri değerlendirilmiştir. Ayrıca yöntemlerin kullanımı ve birbirlerine göre karşılaştırmaları verilmiştir. Sonuç olarak dökümhane pratiğine bağlı olarak güncel test yöntemleri tartışılmıştır.

*e-posta: mehmettokatli@bayburt.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için:

Mehmet TOKATLI; Emin USLU; Murat ÇOLAK; Çağlar YÜKSEL, "Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Sıvı Metal Temizliği Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 5, s 2, ss. 235-247

How to cite this article:

Mehmet TOKATLI; Emin USLU; Murat ÇOLAK; Çağlar YÜKSEL, "Investigation of Liquid Metal Cleanliness Control Methods Applied to Aluminium Alloys", Bayburt University Journal of Science, vol. 5, no 2, pp. 235-247

Investigation of Liquid Metal Cleanliness Control Methods Applied to Aluminium Alloys

Keywords:

*Aluminum casting,
Liquid metal
cleaning,
Bifilm,
Inclusion,
Cleaning test
methods*

Abstract

In industry, aluminum is produced from ore (primary aluminum) and scrap materials (secondary aluminum). The use of secondary aluminum is very common in the casting industry, with its contribution to the country's economy through recycling, as well as to the competitive market and the manufacturer. However, the advantage of secondary aluminum depends on the cleaning of factors such as inclusions, impurities, hydrogen gases, oxide films in the structure. Liquid metal cleaning is very important in the use of aluminum through recycling, and there are various alternatives for cleaning in industrial applications. Various test techniques are also used to check the suitability of the applied cleaning process and to determine whether it is efficient. In this study, the test methods used for the importance of liquid metal quality in the casting of aluminum alloys and the suitability of the cleaning method were evaluated. In addition, the use of the methods and their comparison with each other are given. As a result, current test methods are discussed depending on foundry practice.

1 GİRİŞ

Alüminyum döküm tesislerin hedefleri yüksek kalitede mamulü rekabet ortamında uygun maliyetle üretmektir. Bu bağlamda dökümhanelerde önemli miktarlarda birincil, ikincil alüminyum ve ana alaşımlar kullanılmaktadır. Birincil alüminyum, boksit cevherinden en yaygın üretim yöntemi olan Bayer prosesi ile alümina üretimi elde edilmesinden sonra elektroliz (Hall-Herault) prosesi ile elde edilmektedir [1].

Dünya boksit rezervinin % 1' i ülkemizde Toroslar kuşağında bulunmaktadır. Bu boksit rezervi, Konya ili Seydişehir ilçesinde bulunan ETİ alüminyum tarafından birincil alüminyuma dönüştürülmektedir. Birincil alüminyum üretiminde maliyetin büyük bir kısmı enerjiye harcanmaktadır. Birincil alüminyum üretimi için kullanılan elektrik enerjisinin % 5 ile aynı miktarda ikincil alüminyum üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu da ikincil alüminyumun üretimde cazibesini önemli miktarda arttırmaktadır [2]. İkincil (hurda) alüminyum üretimi esnasında kullanılan enerjinin düşük olması hem doğaya hem de ekonomiye katkısının oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Bu özelliğinin yanı sıra üretimde istenilen mekanik özellikli ürün eldesi için sıvı metal kalitesinin kontrolü gibi ilave proseslerin tatbik edilmesi gerekmektedir.

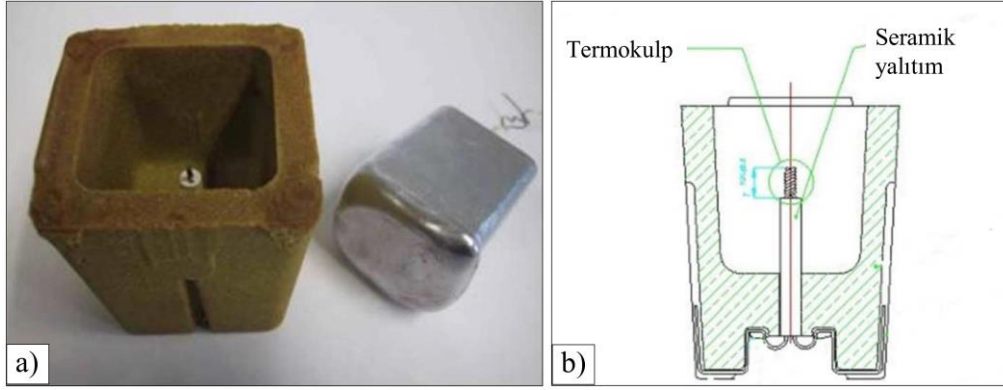
Endüstride çeşitli sıvı metal temizleme prosesleri bulunmakla birlikte, en uygun proses ürün kalitesi ve ekonomik çıkar göz önünde bulundurularak seçilmektedir. Endüstride ve akademik çalışmalarda flaks kullanımı sıvı metal temizliğinde yaygın olarak kullanılmakta ve piyasada 150°'ye yakın flaks çeşidi bulunmaktadır [3]. Bunun yanı sıra daha çevreci ve yaygın kullanım alanı olan rotary (döner tip) gaz giderme yöntemi de endüstride görülmektedir. Endüstride çok yaygın kullanım yeri bulmasa da akademik çalışmalarda yer alan gelenekselden ziyade yenilikçi temizleme yöntemleri olan kontrollü katılaştırma yöntemi, elektromanyetik yönlü gaz giderme, sprej gaz giderme, ultrasonik gaz giderme yöntemi, vakumlu gaz giderme yöntemleri de sıvı metal temizleme yöntemleri içerisinde görülmektedir [4].

Sıvı metal temizleme yöntemlerinin başarısının ve alüminyum ergiliğinin kalitesinin değerlendirmesi için kullanılan çeşitli test yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; termal (soğutma eğrisi) analizi, X ışıını yöntemi, ultrasonik test, vakum altında katılaştırma, K-mold, elektriksel direnç testi, tatur testi, akışkan testi, Prefil veya PoDFA cihazı olarak sıralanabilir. Sıvıdaki bu tür ölçümler, katı haldeki numunelerin analizini kolaylaştırır ve böylece üretkenliği artırır. Bu nedenle, son yıllarda bu safsızlıkları ölçmek ve gidermek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Bu kapsamda çalışmada sıvı alüminyum kalitesini belirleyici test yöntemleri incelenmiştir.

2 TERMAL ANALİZ YÖNTEMİ

Sıvı bir metal veya metal alaşımlarının katılaşma süresinde, sıcaklık değişimlerinin meydana geldiği ve bu süreçte çeşitli fazların oluştuğu bilinmektedir. Katılaşma tamamlanana kadar kaydedilen sıcaklık-zaman verileri ile alaşımla ilgili nicel veriler veren grafikler elde edilir. Elde edilen bu eğrilere soğuma eğrisi ve bu yöntemle genel

olarak termal analiz (TA) denilir. Bu yöntem 1980' li yıllardan bu yana sıvı alüminyum temizlik kontrolünde kullanılmakta olan bir test metodudur. Şekil 1' de test kabı ile numunesi ve şematik çizimi gösterilmektedir [5].

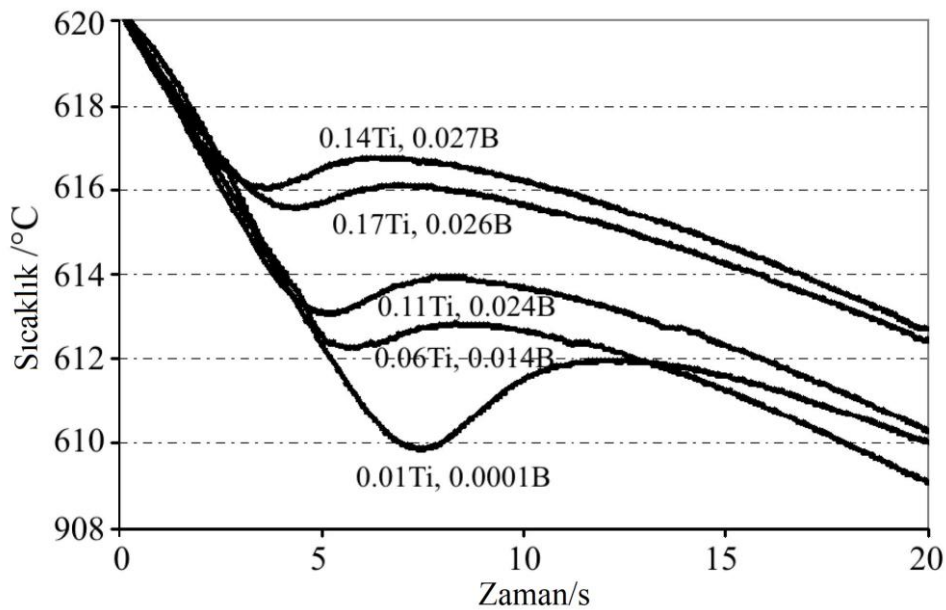


Şekil 1. Termal analiz yöntemi; a) test kabı ve numunesi, b) şematik çizimi [5]

Alüminyum alaşımlarının termal analizinde kullanılan çeşitli cihazlar mevcuttur. Bunlar genel mantık olarak bir numune kabına alınan sıvı metalin katılaşma/zaman verileri uygun bir analiz programı ile bilgisayar ortamına aktararak anlamlandırılır. TA test numuneleri, grafit, seramik, çelik gibi bir hazne sıvı metale daldırılarak veya sıvı metali döküm kepçesi yardımıyla test kabına dökerek alınabilir. Alınan numunenin katılaşma zaman aralığını ölçmek için test kabı içerisine bir veya iki K-tipi ısı çifti yerleştirilir. Isıl çiftlerden gelen veriler, veri kaydedici aracılığıyla bir bilgisayara bağlanır ve çeşitli yazılımlarla anlamlandırılır. Bu test alüminyum döküm endüstrisinde alaşım ilavelerinin (tane inceltici ve modifiye edici) alüminyum ergiyege olan verimliliğinin kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca termal analiz yöntemi tane boyutu, demir içeren metaller arası çökeltme, dendrit kararlılık noktası, ikincil ötektik düşük ergime sıcaklığı, silisyum modifikasyon seviyesi, magnezyum intermetaliklerin çökeltmesi, katı oranı ile diğer karakteristik sıcaklıklar hakkında bilgi verir [6, 7].

Emadi vd. [7] tarafından yapılan bir çalışmada; kullanım kolaylığı sunan ve düşük maliyetli olan bilgisayar destekli soğutma eğrisi analizi (CA-CCA) termal analiz yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada metallerin temel katılaşma özelliklerini soğutma eğrilerinden hesaplama yöntemleri sunulmuş ve bunların imalat proseslerinin kalite kontrolündeki önemi gösterilmiştir. Ayrıca dökme demir, bakır ve alüminyum alaşımları için örnekler verilmiştir.

5 Ti ve B içeriğinin (% kütle) A356 alaşımı (Al-7%Si) için soğutma eğrisi üzerindeki etkisi Şekil 2' de gösterilmiştir. Şekilde TA'nın ötektik platonun aşırı soğuması ve eğimi yoluyla ergiyikteki [Ti- veya P-esaslı] aşılmalı seviyesinin tahmin edebildiği gösterilmektedir. Ayrıca Ti ve B seviyelerinin artması, soğutma eğrisini yukarı kaydırması ve aşırı soğumayı azalttığı görülmektedir.



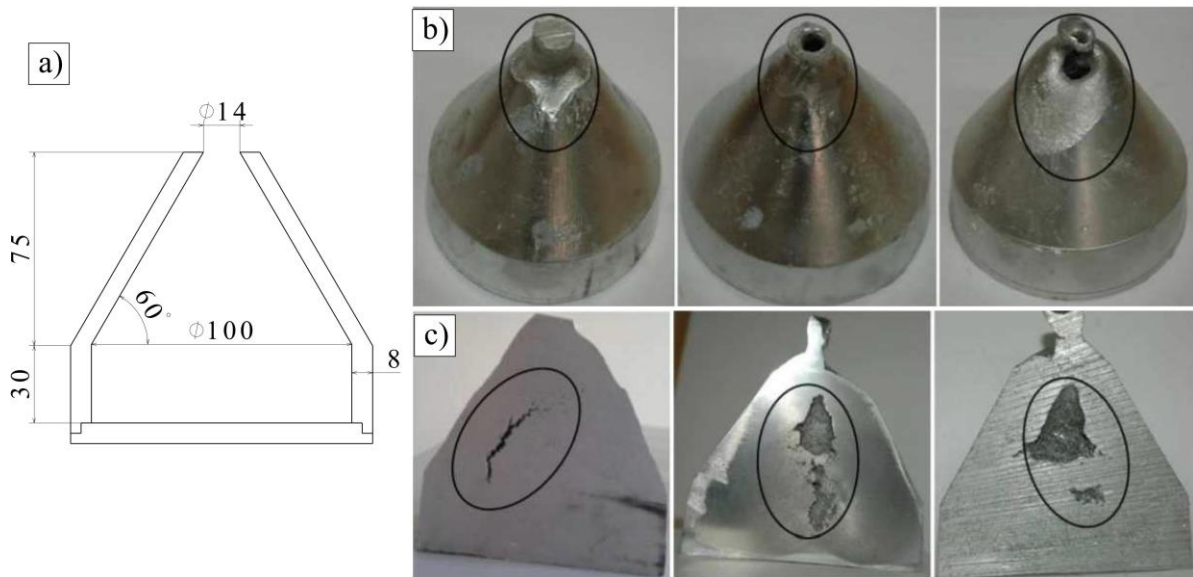
Şekil 2. 5 Ti ve B içeriğinin (% kütle) A356 alaşımı (Al-7%Si) için soğutma eğrisi [7]

3 X-IŞINI YÖNTEMİ

X ışını demetleri, kullanım yönü ve yoğunluğu açısından X ışını tomografisi (XRT) ve X ışını radyografisi olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki X ışını uygulaması da döküm kalitesini belirlemede tahribatsız ölçme tekniğidir. Çalışma prensipleri katı fazların X ışınlarını farklı şekilde absorbe etmesiyle ilgilidir. Analiz edilen malzemede iki faz mevcut ise görüntü kontrastında değişikliklere yol açmaktadır. XRT dönme eksenini etrafında çekilmiş radyografileri analiz ederek 3D görüntü oluşturmaktadır. XRT'nin dezavantajı maliyeti ve daha çok laboratuvar ortamı çalışması yöntemi olmasıdır. Bu test yöntemi inklüzyon ve gözenek tespiti, iç çatlaklar, birleşme kaynakları ve sıcak yırtıklar gibi kusurları bulmak için kullanılmaktadır [8, 9].

4 TATUR TEST

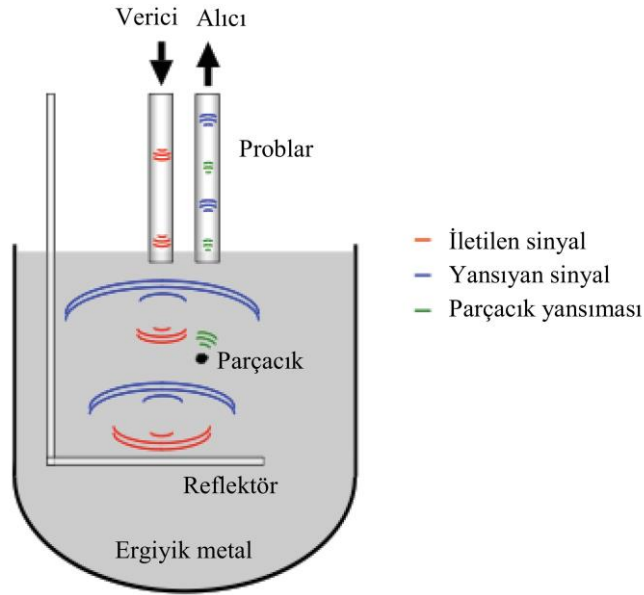
Tatur testi, alaşımların katılaşması sırasında makro ve mikro gözenek oluşturma eğilimini ölçmek için geliştirilmiştir. Fakat bu test alüminyum döküm tesislerinde rutin bir kalite kontrol aracı olarak nadiren kullanılmaktadır. Bunun ana nedeni, ergiyik temizliğinin tam olarak değerlendirilmesi için çok sayıda numune alınıp anlamlandırılması gerekmektedir. Bu da test sonucunun uzun zaman almasına ve sağlıklı sonuç alınamamasına sebep olmaktadır. Tatur testi, iki parça içeren kalıcı bir sabit geometri kalıpla uygulanmaktadır. Test kalıbının üst kısmı delikli ve koniktir. Deney sırasında, sıvı metal önceden ısıtılmış kalıp deliğinden dökülmekte ve ergiyik ilave edilmeden katılaşmasına izin verilmektedir. Üst kısmın konik tasarımı ve besleyicinin olmaması nedeniyle sıvı-katı dönüşümü sırasında büzülme ile mikro ve makro gözenek oluşumu artırılmaktadır. Yoğunluk ölçümü ve Arşimet prensibi gibi basit teknikler kullanılarak, mikro ve makro çekinti ve gözenek hacminin matematiksel olarak ifade edilmesi mümkündür [10]. Şekil 3' te test kalıbının şematik görüntüsü ve çeşitli örnek numuneler gösterilmektedir [11].



Şekil 3. a) Tatur kalıbının şematik gösterimi ve numune, b) dış gözenekler, c) iç gözenekler [11]

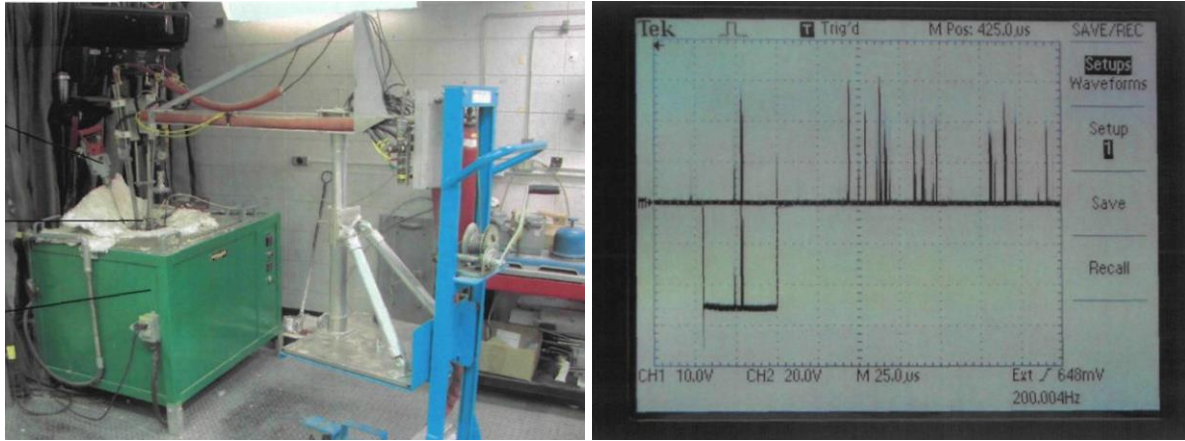
5 ULTRASONİK TEST

Ultrasonik test yöntemi, prob yardımı ile sıvı metal içerisine yüksek frekanslı ses dalgalarının iletilmesi ve sıvı metal içerisinde bulunan kirliliklerin (gazlar, inklüzyonlar) ses dalgalarının sıvı metalde ilerleyişine engel olup proba geri dönmesi mantığı ile çalışmaktadır. Ses dalgalarının dönüşleri prob vasıtasıyla algılanmakta ve bu dalgalar elektriksel sinyallere dönüştürülmektedir. Bu sinyallerden sayısal veriler elde edilip sıvı metal içerisindeki kirlilikler hakkında matematiksel bir anlamlandırma sağlanmaktadır. Ayrıca tahribatsız muayene sınıfından olan bu yöntem metalürjik açıdan mamul ve yarı mamul parçalar da incelemektedir [12]. Şekil 4' te çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir [13].



Şekil 4. Ultrasonik algılama prensibi [13]

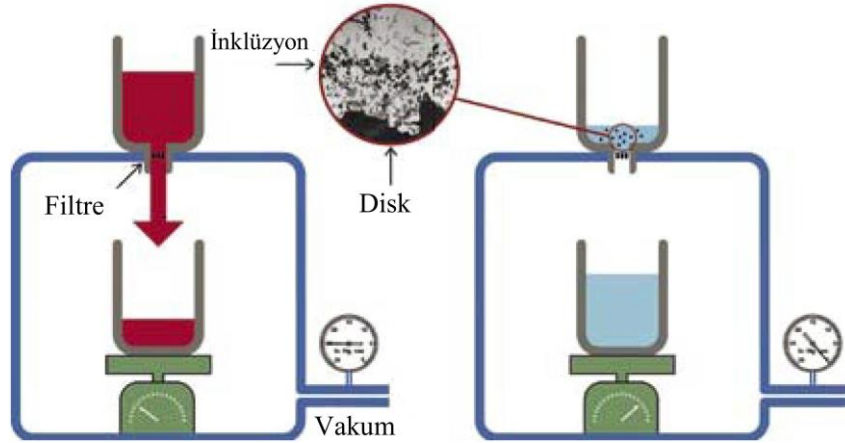
Guo [14] Al-Si alaşım ergiyiklerindeki inklüzyonların ölçülmesinde ultrasonik tekniğin kullanılması isimli çalışmada, TiB_2 , $AlSi$, Al_3Ti ve Al_2O_3 inklüzyonları bir Metalvision MV20/20 ultrasonik cihaz kullanarak incelemiştir. Test süresinin bir fonksiyonu olarak, temizlik değeri, ortalama parçacık boyutu ve her parçacık boyutu aralığı için parçacık sayısı grafiklerini elde etmiştir. Ultrasonik verilerin ve bunlara karşılık gelen mikro yapılarının analizi, ultrasonik testin, uzun bir süre olsa da ergiyik temizliğini belirlemek için çevrim içi bir cihaz olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Ultrasonik cihaz tarafından elde edilen ergiyik temizlik eğrilerinin güvenilir olduğunu ve ergiyik sıcaklığı ve karıştırma koşullarının uygun şekilde ayarlanması şartıyla döküm için bir kılavuz olarak kullanılacağını ifade etmiştir. Şekil 5' te ultrasonik tekniğinin uygulama sistemi gösterilmiş ve test sonucunun osiloskop ekran görüntüsü verilmiştir. Osiloskop ekranında ergiyik içerisindeki inklüzyonların ölçüm sonucu görülmektedir [14].



Şekil 5. Ultrasonik test yöntemi ve test sonucu [14]

6 PoDFA (GÖZENEKLİ DİSK FİLTASYON APARATI)

Filtre kullanımı ile gerçekleştirilen test yöntemlerinden biridir. Bu teknikte yaklaşık 1.5 kg ergimiş alüminyum ve alaşımları alt kısmında ince dereceli bir test filtresine sahip olan önceden ısıtılmış bir potaya dökülmektedir. Vakumlu bir ortam oluşturularak ergimiş metalin filtreden daha etkili bir şekilde akması sağlanır. Ergiyik içerisinde bulunan inklüzyonlar sıvı metalin geçtiği filtrede toplanmaktadır. Bu yöntemde elde edilen sıvı metal kalitesi, filtrede toplanan inklüzyonların metalografik incelemesi ile belirlenmektedir. Şekil 6' da test yöntemi şematik olarak gösterilmiştir [15, 16].

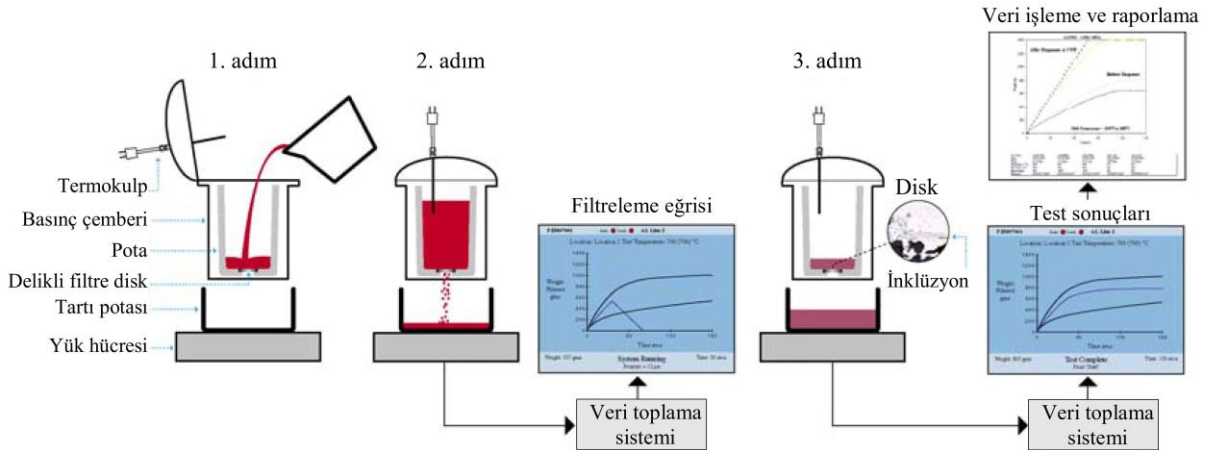


Şekil 6. PoDFA test yöntemi [16]

Liu ve Samuel [17] çalışmasında, A356 birincil alaşımındaki alaşım elementlerinin inklüzyon oluşumu üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada gözenekli disk filtrasyon aparatı (PoDFA) tekniği ile her biri 25 kg alaşım malzemesinden oluşan bir ergiyük kullanılarak 23 deneyden oluşan bir set gerçekleştirilmiştir. Her durumda, dört ila altı ardışık PoDFA denemesi yürütülmüştür. PoDFA filtresi ile temas halinde olan metalin filtrelenmemiş kısmını (yaklaşık 5 mm kalınlığında) içeren PoDFA numuneleri metalografik olarak incelenmiştir. Dâhil etme sınıflandırması ve sayımı grid yöntemi kullanılarak dökümden önce alaşımda oluşabilecek alüminyum oksit filmlerinin yanı sıra metalik olmayan inklüzyon tipleri ve konsantrasyonları da araştırılmıştır.

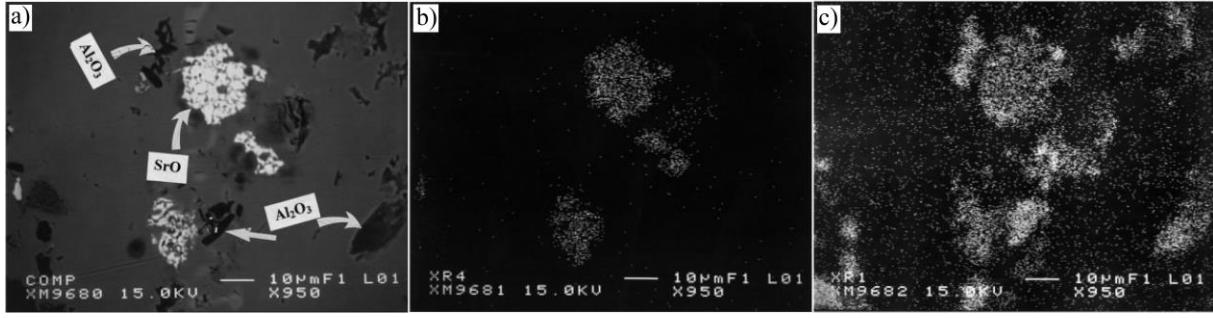
7 PREFIL FOOTPRINTER

PoDFA test yönteminde olduğu gibi bu test yönteminde de filtre kullanılmaktadır. Ergitilmiş metal önceden ısıtılmış deney kabına kepçe vasıtası ile dökülmektedir. Deney kabının altına yerleştirilmiş filtreden sıvı metal akışı sabit sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilmektedir. Filtreden geçen sıvı metal dijital terazi ile ölçülür ve zamana göre filtrelenmiş ağırlık grafiği elde edilir. Sıvı metaldeki kirlilikler filtrede birikerek sıvı metal akışında azalmaya sebep olmaktadır. Akış hızındaki eğrilerin eğimi sıvı metal temizliği ile doğru orantılı olarak değişmektedir [18]. Şekil 7’ de Prefil Footprinter test yöntemi şematik olarak gösterilmiştir [19].



Şekil 7. Prefil Footprinter test yöntemi [19]

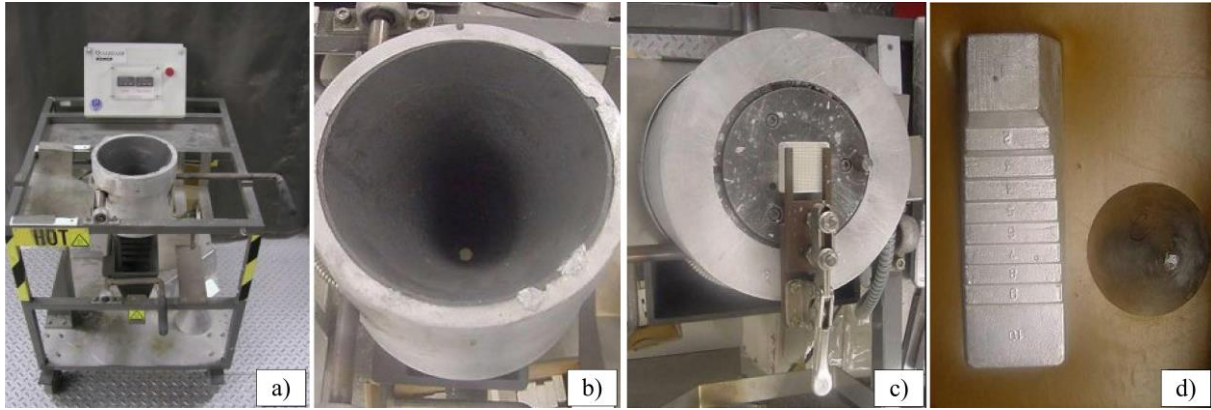
Habibi vd. [20] yaptıkları bir çalışmada, 720°C’ de ergittikleri A356 alüminyum alaşımına sıvı metal temizleme yöntemlerinden biri olan rotary gaz giderme tekniğini uygulamışlardır. Sıvı metal modifikasyonu ve tane inceltme işlemi sırasında Al-10Sr ve Al-5Ti-1B ana alaşımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ergimiş sıvı metal ısıtılmış bir çelik kepçe vasıtasıyla Prefil aparatının süzme potasına aktarılmıştır. Süzme işleminin sonunda, seramik filtrenin üzerinde çökelmiş olan inklüzyonları bozmamak için süzülmemiş metalin yavaş yavaş soğumasına izin verilmiştir. Katılma tamamlandığında, filtrenin üzerindeki metali (3 mm kalınlıkta) ve filtreyi içeren bölüm, önerilen prosedürler izlenerek daha sonra metalografik açıdan incelenmiştir. Şekil 8’ de sıvı metal geçirilen filtre üzerinde yapılan inceleme görüntüleri gösterilmektedir. Tane inceltici olarak kullanılan alaşımların miktarlarının ve çeşitlerinin inklüzyon oluşumuna etki ettiği, filtre gözeneklilik boyutu değiştirildiğinde inklüzyon tutumunun değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 8. Filtre üzerinde yapılan incelemelerde; a) Al₂O₃ parçacıkları ile SrO parçacıklarının morfolojisi, b) Sr X-ışını görüntüsü, c) O röntgen görüntüsü [20]

8 QUALIFLASH TEST YÖNTEMİ

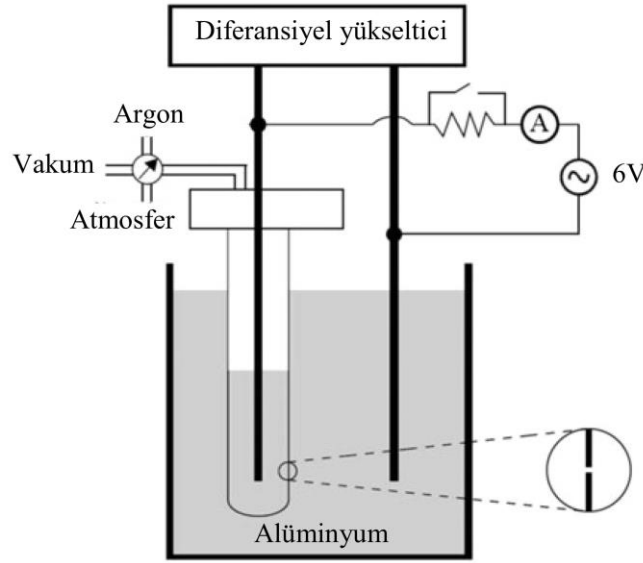
Qualiflash test yöntemi Şekil 9’ da görüldüğü üzere temel olarak, merkezinde bir delik bulunan ve bir filtreleme bölümünden oluşan sıcaklık kontrollü kaptan oluşmaktadır. Sıcaklığı 430°C’ ye sabitlenmiş kabın içerisine sıvı metal dökülmektedir. Kabın altında bulunan plakalara takılı filtreden sıvı metal geçirilmekte ve altta bulunan on basamaklı külçe kalıba müdahalesiz dökülmektedir. Sıvı metalin temizlik kalitesi oranında basamaklı kalıpta sıvı metal ilerlemektedir. Kalıptaki basamak doluluk oranı sıvı metal temizliği hakkında bilgi vermektedir [21].



Şekil 9. a) Qualiflash test düzeneği, b) pota, c) filtre ve düzeneği, d) numune [22]

9 ELEKTRİKSEL DİRENÇ TEST

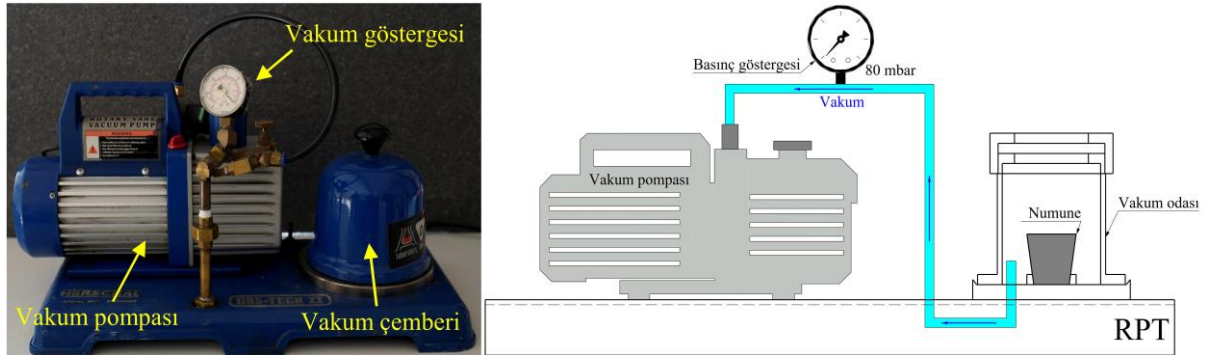
Elektriksel direnç test tekniği Şekil 10’ da görüldüğü gibi dirençli darbe yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Sıvı metal içerisine daldırılan ve elektriksel olarak yalıtıcı olan delik kaptan sıvı metalin geçişi sağlanmaktadır. Sıvı metal delikten geçerken eşit hacimli sıvının yer değiştirmesinden deliğin elektrik direncinde geçici de olsa değişikliğe sebep olmaktadır. Sisteme uygulanan sabit bir akımla meydana gelen bu direnç değişikliği voltaj darbesi olarak gözlemlenmektedir. İnklüzyonlar iletken olmadıklarından parçacıklar geçerken delikteki direnç seviyesi artmaktadır. Elde edilen voltaj ölçümleri inklüzyonların boyutları ile orantılı olduğundan ve yalıtımlı kaba alınan sıvı miktarı bilindiğinden inklüzyonların hacimsel dağılımları ölçülebilmektedir [23].



Şekil 10. Elektriksel Direnç test şematik görünümü [23]

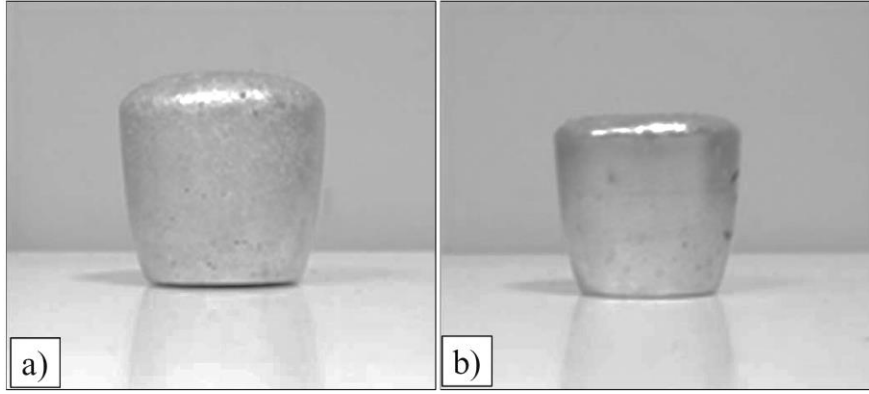
10 VAKUM ALTINDA TEST

Vakum altında test yöntemi ana prensip olarak, ergimiş alüminyumun vakum altında soğutulması sayesinde mevcut gaz gözeneklerini belirgin bir şekilde oluşturması esasına dayanmaktadır. Şekil 11’de vakum altında test cihazı görüntüsü ve çalışma prensibinin şematik görüntüsü verilmiştir. Test uygulamasında vakum odasındaki basınç 80 mbar’a düşürülmektedir. Yaklaşık 200 g sıvı metal kapasitesine sahip çelik potaya numune dökülmekte ve katılaşana kadar belirtilen vakum altında bekletilmektedir. Uygulamanın belirginliği için aynı sıvı metal atmosfer ortamında katılaştırılarak vakum altında katılaştırılan numune ile karşılaştırması yapılmaktadır. Temizleme öncesi ve sonrası numunelerin karşılaştırmasında numuneler ortadan kesilerek gözle kontrol, yoğunluk ölçümü veya gerekli metalografik işlemler sonrası çeşitli imaj analiz programları ile yapılmaktadır. Gözenek sayısının düşük olması daha temiz metal olduğu anlamına gelmektedir. Bu test yöntemini döküm esnasındaki türbülans, hazne titreşimi, katılaşma oranı gibi değişkenler etkilemektedir [23, 24].

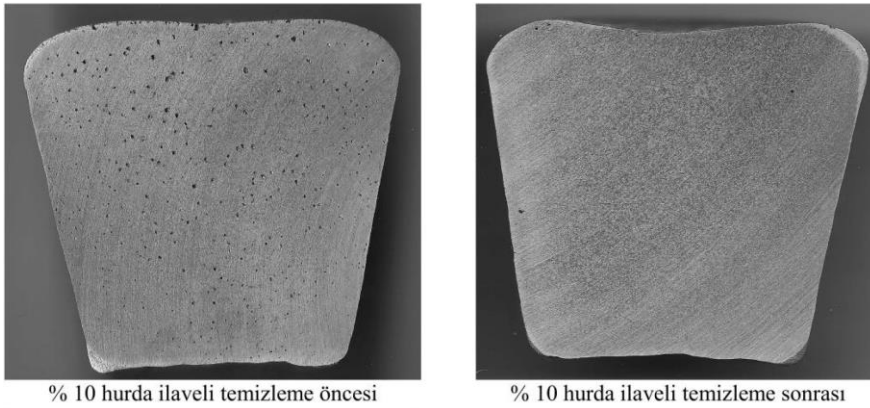


Şekil 11. Vakum altında test cihazı görüntüsü ve çalışma prensibi [25]

Tokatlı [25] çalışmasında, A356 alaşımında farklı hurda oranlarındaki sıvı metal kalitesini vakum altında test ve K mold tekniklerini kullanarak incelemiştir. Şekil 12’ de alınan numunelere ait sıvı metal temizleme prosesi öncesi ve sonrası resimler görülmektedir. Temizleme işlemi öncesi alınan numunenin üst yüzeyinin dışa doğru kek gibi kabarık olduğu, temizleme sonrası ise numunenin içe doğru çökük olduğu görülmektedir. Şekil 13’ te aynı çalışmaya ait %10 hurda ilaveli numunelerin temizleme işlemi öncesi ve sonrası alınan kesitleri görülmektedir. Metalografik işlem sonrası numune içindeki gaz boşluklarının % 10 hurda ilavede gözle görülür boyutta oldukları, sıvı metal temizleme sonrası gözeneklerin oluşmadığı görülmektedir. Bu da sıvı metal temizliği prosesinin başarılı olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 12. Sıvı metal temizleme; a) öncesi b) sonrası [25]

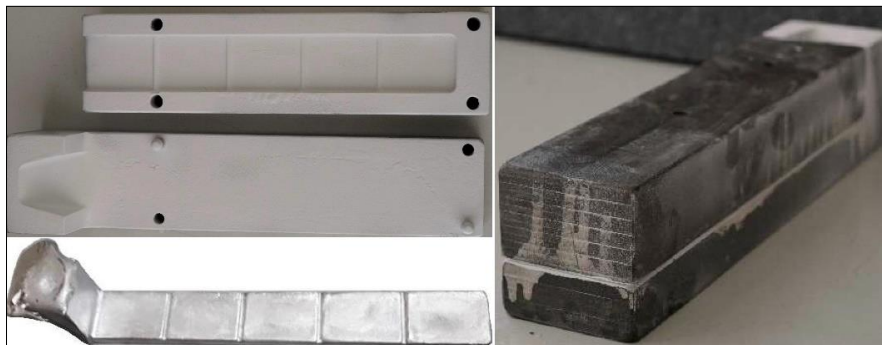


Şekil 13. A356 alüminyum alaşımının sıvı metal temizleme öncesi ve sonrası [25]

11 K-MOLD TEST

Bu test yöntemi ilk olarak Japonya'da 1973 yılında Sanji Kitaoka tarafından Nippon Light Metal Ltd. şirketinde uygulanan bir kırılma testidir. Testin kullanım amacı, alüminyum ve alaşımlarının döküm öncesi makro temizliğini değerlendirmektir. Bu yöntemin diğer tekniklerden birçok açıdan avantajı bulunmaktadır. Bunlar; (i) kolay kullanımı, (ii) hızlı değerlendirilmesi (yaklaşık 10 dakika), (iii) kolay numune alınması, (iv) taşınabilirliği, (v) inklüzyonlara ve oksit filme duyarlılığı ve (vi) düşük maliyetli olması olarak sıralanabilir [24].

K-mold test uygulamasında ergiyik metal 240x36x6mm ölçülerindeki numunenin kırılmasının kolay sağlanması için iç kısmında eşit uzaklıkta çentikler bulunan kokil kalıba dökülmektedir. Kokil kalıp döküm öncesi sıcaklık farkından dolayı kalıp içerisinde sıvı metalin sağlıklı yürümesi, kalıba sıvı metalin yapışmaması ve kalıp ömrü için yaklaşık 200°C ısıtmaktadır. Dökümü gerçekleştirilen numune kalıptan çıkarıldıktan sonra üzerindeki çentiklerden basit bir kırma darbesi ile parçalara ayrılmaktadır. Şekil 14' te K-mold kokil kalıbının ve numune parçasının görseli verilmektedir. Daha sonra kırılma yüzeyleri gözle kontrol edilmekle birlikte düşük bir büyütme yardımıyla veya görüntü tarama yöntemleriyle de yüzeydeki inklüzyon ve gözenekler analiz edilmektedir. Numunelerin kırık yüzeylerde hızlı katılaşmanın etkisi oluşabilecek inklüzyonlar açıkça tespit edilebilmektedir [23].



Şekil 14. Kmold kalıbı ve numunesi [25].

Alınan numunelerdeki sıvı metal kalitesi Denklem 1' de verilen eşitlikteki K değeri ile ifade edilmektedir. Eşitlikteki K; kırık yüzeyinde bir numunenin bir parçasında bulunan inklüzyonların sayısını, s; küçük parçanın n parçasında bulunan toplam kapanım sayısını, n; incelenen örnek sayısını ifade etmektedir [26].

$$K=s/n \quad (1)$$

Buna göre:

- K-değeri < 0.5 olduğunda sıvı metalin temiz olduğunu göstermektedir.
- $0.5 < K$ -değeri < 1.0 aralığında kabul edilebilir değerlerde olduğunu ancak sıvı metalin uygun bir proses ile temizlenmesi gerektiğini ifade etmektedir.
- K-değeri > 1.0 olduğunda mutlaka sıvı metalin temizlenmesi gerekliliğini belirtmektedir [25, 26].

Şekil 15' te sıvı metale uygulanan temizleme yöntemi öncesi ve sonrası olmak üzere K-mold numune kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Temizlik öncesi ve sonrası inklüzyon varlığındaki farklar gözle görülmektedir [25].



% 10 hurda ilaveli temizleme öncesi



% 10 hurda ilaveli temizleme sonrası

Şekil 15. Sıvı metal temizleme öncesi ve sonrası K-mold ile alınan numuneler [25]

Tokatlı [25] sıvı metal kalitesinin K-mold tekniği ile tayini üzerine yaptığı bir çalışmada, %5, %10, %15 hurda oranlı A356 alüminyum alaşımında sıvı metal temizlik öncesi ve sonrası K-mold ile yapılan test sonuçları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. K- mold inklüzyon sayıları ve K değerleri

Numune adı	İnklüzyon sayısı	K- mold parça sayısı	K değeri
% 5 Hurda Temizleme Öncesi	11	5	2.2
% 5 Hurda Temizleme Sonrası	3	5	0.6
% 10 Hurda Temizleme Öncesi	12	5	2.4
% 10 Hurda Temizleme Sonrası	3	5	0.6
% 15 Hurda Temizleme Öncesi	14	5	2.8
% 15 Hurda Temizleme Sonrası	4	5	0.8

12 AKIŞKANLIK TESTİ

Akışkanlık testi için çeşitli kokil test kalıpları bulunmakla birlikte kum kalıplama yöntemiyle de bu test gerçekleştirilmektedir. Akışkanlık testi yaygın olarak kullanılmaktadır. Alaşımın bileşimi, sıvı metal sıcaklığı, sıvı metalin sürtünme katsayısı, ergimiş alaşımın yüzey gerilimi, yüzeyde oluşan oksit tabakası, sıvı metal yüzeyinde tutulan gaz tabakası, sıvı metalin içinde yüzen cüruf parçacıkları, sıvı metal içerisinde bulunan yabancı maddeler, katılma esnasında yapı içinde oluşan çökeltiler, kalıbın özellikleri akıcılığı etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerdeki değişkenlikler her ne kadar sıvı metal kalitesi değerlendirilmesi için veriler verse de sağlıklı bir akışkanlık testi için bahsedilen parametreler uygulamada kontrol edilmelidir. Yapılan deney numunelerindeki değerlendirme, sıvı metalin çeşitli kalınlık ve uzunluktaki kalıp içerisindeki hareketi boyunca katılmasına dayanmaktadır [26]. Sıvı metal temizliği kaliteli olan bir ergiyük akışkanlık test kalıplarında belirlenen yolda daha uzun mesafede ilerlemektedir. Sıvı metalin temizlik karşılaştırması aynı şarj malzemesine sıvı metal temizleme prosesi öncesi ve sonrası olarak yapılan testle belirlenmektedir. Uygulamada kullanılan çeşitli kokil ve kum kalıp akışkanlık test yöntemleri Şekil 16' da görülmektedir [27-29].



Şekil 16. a) Kum spiral kalıba akış deney dökümü [27], b) Kokil spiral kalıba akış deney dökümü [28], c) akışkanlık testi kalıbı ve numunesi [29]

13 DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR

Sonuç olarak ürün kalitesini etkileyecek olan sıvı metal kalitesini belirleyen test cihazları da kullanım alanlarına göre farklılık gösterse de endüstride kolay ve sağlıklı ölçüm ile ucuz maliyetli bir test yönteminin tercih edildiği görülmektedir. Bahsedilen test yöntemleri ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- ✓ Termal analiz yönteminde bilgisayar destekli termal eğrileri oluşturulmasıyla grafiksel olarak değerlendirmenin daha detaylı ve verimli sonuçlar doğurduğu endüstride de kullanım alanında yer bulduğu görülmektedir. Ancak yatırım maliyeti ve her test ölçümünde kullanılan özel kabın maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır.
- ✓ Tatur test yönteminin kokil kalıbının basitliği ve kolay ölçüm alınıp hızlı sonuç vermesi avantaj olarak görülse de sağlıklı sonuçların alınmasında test sayısının onlarca yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı endüstride tatur test yöntemi istenilen yerini alamamıştır.
- ✓ Ultrasonik test yönteminin maliyetinin yüksek olması ve sıvı metal miktarının test uygulamasına etki etmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ancak hızlı ve sağlıklı sonuç vermesi ve tahribatsız muayene sağlaması gibi avantajları sayesinde endüstrinin farklı alanlarında kullanılmaktadır.
- ✓ PoDFA, Prefil Footprinter ve Qualiflash test yöntemlerinin sıvı metal kalitesini ölçme prensibi filtre sistemine dayanmaktadır. Yatırım maliyeti diğer kokil kalıp test yöntemlerine göre biraz daha fazladır. Her

- testte filtre kullanımı ve test değerlendirmesinin filtrede yapılacak metalografik incelemenin zahmeti diğer test yöntemlerinin kullanımına sevk etmektedir.
- ✓ Elektriksel direnç testi (limca) test cihazının yatırım maliyeti yüksek olsa da hızlı ve sağlıklı sonuç vermesinden dolayı endüstride özellikle de büyük işletmelerde kullanım alanı bulmaktadır.
 - ✓ Vakum altında basınç testi kolay tekrarlama özelliğinden, hızlı sonuç vermesinden ve diğer test yöntemlerine göre ucuz yatırım maliyeti gerektirdiğinden dolayı dökümhanelerde kullanımı oldukça yaygındır.
 - ✓ K-mold tekniği, kısa zamanda gözle görülebilen bir sonuç vermesi ve değerlendirilmesinin pratikliği açısından oldukça verimli bir test yöntemi olarak görülmektedir. Bu kadar avantajı olmasına rağmen endüstride ve akademik çalışmalarda yer almamasının aslında alışılmış test yöntemlerinden vazgeçilememesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.
 - ✓ Akışkanlık testi için dizayn edilmiş çeşitli boyut ve şekillerde kalıplar bulunmaktadır. Mantık olarak sıvı metalin yürüme mesafesine göre matematiksel bir değer sunmaktadır. Akışkanlık testi, kalıp maliyeti düşük, kalıp kullanım ömrü uzun ve kısa zamanda sonuç veren bir test yöntemidir. Ancak sağlıklı bir sonuç için numune döküm hızı, sıcaklığı ve yükseltisi gibi parametreler test sonucuna önemli derecede etki edeceğinden tekrarlanan testlerde sabit bir sonuç eldesi güçtür.

Yazar Katkıları

Mehmet TOKATLI: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme

Emin USLU: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Veri İyileştirme, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme

Murat ÇOLAK: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Süpervizyon, Proje yönetimi

Çağlar YÜKSEL: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Finansman temini

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] E. Car, İkincil alüminyum üretimine genel bir bakış. *Metallurji*, 187: p. 25-37, 2019.
- [2] M. Öztürk, Kullanılmış alüminyum malzemelerin geri kazanılması. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005.
- [3] S. Ertan, B. Kavaklıoğlu, and F. Büyükakkaş, Alüminyum sıvı metal temizliğinde kullanılan flakslar, in II. Aluminium Symposium, Seydişehir/Turkey, 2003.
- [4] M. Tokatlı, F. Saydam, H. Murat, A. Koşatepe, M. Çolak, and Ç. Yüksel, Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Yaygınca Kullanılan Sıvı Metal Temizleme Yöntemlerinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1): p. 423-434, 2022.
- [5] H.E. İslamoğlu, Thermal analysis of eutectic modified and grain refined aluminum-silicon alloys, Middle East Technical University, 2005.
- [6] J. Barlow and D. Stefanescu, Computer-aided cooling curve analysis revisited. *Transactions-American Foundrymens Society*, p. 349-354, 1998.
- [7] D. Emadi, L.V. Whiting, S. Nafisi, and R. Ghomashchi, Applications of thermal analysis in quality control of solidification processes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 81(1): p. 235-242, 2005.
- [8] F. de Andrade Silva, J.J. Williams, B.R. Müller, M.P. Hentschel, P.D. Portella, and N. Chawla, Three-dimensional microstructure visualization of porosity and Fe-rich inclusions in SiC particle-reinforced Al alloy matrix composites by X-ray synchrotron tomography. *Metallurgical and materials transactions A*, 41(8): p. 2121-2128, 2010.
- [9] O. Lashkari, L. Yao, S. Cockcroft, and D. Maijer, X-ray microtomographic characterization of porosity in aluminum alloy A356. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 40(4): p. 991-999, 2009.
- [10] M. Brûna and A. Sládek, Hydrogen analysis and effect of filtration on final quality of castings from aluminium alloy AlSi7Mg0.3. *Archives of Foundry Engineering*, 11(1): p. 5-10, 2011.
- [11] B. El Haj, A. Bouayad, and M. Alami, Quantitative evaluation of shrinkage porosity in als9 cast alloy as function of titanium addition and casting parameters. *International Journal of Mechanical and Production*

- Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 8(6): p. 365-372, 2018.
- [12] R. Maev, J. Sokolowski, H. Lee, E. Maeva, and A. Denissov, Bulk and subsurface structure analysis of the 319 aluminum casting using acoustic microscopy methods. *Materials characterization*, 46(4): p. 263-269, 2001.
- [13] M. Gökelma, D. Latacz, and B. Friedrich, A Review on Prerequisites of a Set-Up for Particle Detection by Ultrasonic Waves in Aluminium Melts. *Open Journal of Metal*, 6(01): p. 13, 2016.
- [14] J.F. Guo, Use of the ultrasonic technique in measuring inclusions in Al-Si alloy melts, Université du Québec à Chicoutimi, 2007.
- [15] A. Karppinen, Kontroll av aluminiumsmältans (oxid) inneslutningshalt med QualiflashTM-metoden. Svenska Gjuteriföreningen, 1997.
- [16] J. Wannasin, D. Schwam, and J. Wallace, Evaluation of methods for metal cleanliness assessment in die casting. *Journal of materials processing technology*, 191(1-3): p. 242-246, 2007.
- [17] L. Liu and F.H. Samuel, Assessment of melt cleanliness in A356.2 aluminium casting alloy using the porous disc filtration apparatus technique: Part I Inclusion measurements. *Journal of Materials Science*, 32(22): p. 5901-5925, 1997.
- [18] E. Velasco and J. Proulx, Metal quality of secondary alloys for Al castings. Light Metals. *The Minerals, Metals & Materials Society*, p. 721-724, 2006.
- [19] P. Enright, I. Hughes, J. Pickering, A. Simard, and J. Proulx, Characterisation of molten metal quality using the pressure filtration technique. 2003.
- [20] N. Habibi, A.M. Samuel, F.H. Samuel, P. Rochette, and D. Paquin, Effect of grain refining and Sr modification on Prefil measurement sensitivity in 356 alloys using electron probe microanalysis technique. *International Journal of Cast Metals Research*, 17(2): p. 79-87, 2004.
- [21] F.H. Samuel, P. Ouellet, and A. Simard, Measurements of oxide films in Al-(6–17) wt%Si foundry alloys using the Qualiflash filtration technique. *International Journal of Cast Metals Research*, 12(1): p. 49-65, 1999.
- [22] A. Samuel, H. Doty, S. Valtierra, and F. Samuel, Inclusion measurements in Al–Si foundry alloys using qualiflash and prefil filtration techniques. *International Journal of Metalcasting*, 12(3): p. 625-642, 2018.
- [23] S.W. Hudson and D. Apelian, Inclusion detection in molten aluminum: current art and new avenues for in situ analysis. *International Journal of Metalcasting*, 10(3): p. 289-305, 2016.
- [24] M.B. Djurdjevic, Z.D. Odanovj , J. Pavlovj -Krsti , and N. Linz, Melt quality control at aluminum casting plants. *Metalurgija*, 16: p. 63-76, 2010.
- [25] M. Tokath, Sıvı metal kalitesinin K-mold tekniği ile tayini ve çekinti üzerine etkisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Erzurum, 2022.
- [26] G. Gyarmati, G. Fegyverneki, D. Molnar, and M. Tokár, The melt cleaning efficiency of different fluxes and their effect on the eutectic modification level of AlSi7MgCu Alloy, 66: p. 70-87, 2019.
- [27] C. Balaban, Ö. Şen, G. Özer, and K.A. Güler, 380 alaşımlarının soğuma eğrisinde ve akışkanlığında tane inceltmenin etkisi, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 2006.
- [28] A.Y. Kaya, Özyaydın O., Dokumacı E., Arman E., Farklı döküm aşamalarındaki sıvı metal akışkanlığının incelenmesi, TÜDÖKSAD 2. Ulusal Döküm Kongresi, İzmir, 2019.
- [29] Ö. Topçuoğlu, Ö. Çe, U. Aybarç, and M. Keşkiç, Alçak basınç döküm prosesinde kullanılan kalıp kaplama malzemesinin metal akışkanlığına etkisi, 7. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi, İstanbul, 2014.