



Aluminyum Alaşımlarında Ergimiş Metal Kalitesi

11- 14 Kasım 2010

ANKİROS

TÜYAP/İSTANBUL

Murat KEZKİÇ

Sunum İçeriği

- 1. Giriş
- 1.1 Ergimiş Metal Kalitesi
- 1.2 Aluminyumdaki Hidrojen
- 1.3 Gazalma Prosesi
- 1.4 Hidrojen Ölçümü
- 1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar
- 1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü

- 2. Testler

- 3. Sonuç

1. Giriş

- İlk alüminyum döküm parça uygulamalarının önemli noktası daha çok estetik yapıydı. Alüminyum döküm parçalarının mühendislik sektöründe fonksiyonel uygulamalara girmesiyle, şimdi döküm parça yapısındaki her bir hata probleme yol açabilmektedir. Gaz veya çekinti, porozite, metalik olmayan inklüzyonlar ve büyük inter metalik fazlar gibi hatalar yorulma çatlakları için başlangıç noktası olarak karşımıza çıkabilirler. Yorulma çatlakları riski hatanın boyutuyla birlikte artar. İstenilen döküm parça özelliklerini sağlamak için en önemli faktör kontrol edilmiş ergimiş metal kalitesidir ki bu da kontrollü ergimiş metal tretman prosesi ile sağlanır.

1.1 Ergimiş Metal Kalitesi

- Ergimiş metal kalitesi çözünmüş hidrojen veya metalik olmayan inklüzyonlar gibi dış empüritelerin düzeyiyle ve tane inceltme ve modifikasyonların yapısal iyileştirme derecesiyle saptanır. Bütün bu dört parametre katılma sırasında etkileşim içerisinde olabilir ve Ca, P, Fe ve diğer elementler gibi iz elementlerin birleşimiyle mikroporozite oluşumunu durdurur veya teşvik eder.

1.1 Ergimiş Metal Kalitesi

- Yetersiz ergimiş metal kalitesi tablo 1'deki döküm parça hatalarına sebep olabilir.
- Tablo 1 - Yetersiz ergimiş metal kalitesinden kaynaklanan döküm parça hataları

> Hidrojen	= Gaz Porozitesi
> Metalik Olmayan İnküzyonlar	= Porozite, Sızdırma, Yüze y Hataları
> Büyük Tane Yapısı	= Çekinti, Düşük Mekanik Özellikler
> Büyük Si Çökmesi	= Çekinti, Düşük Uzama
> İz Elementleri	= Çekinti, Düşük Mekanik Özellikler

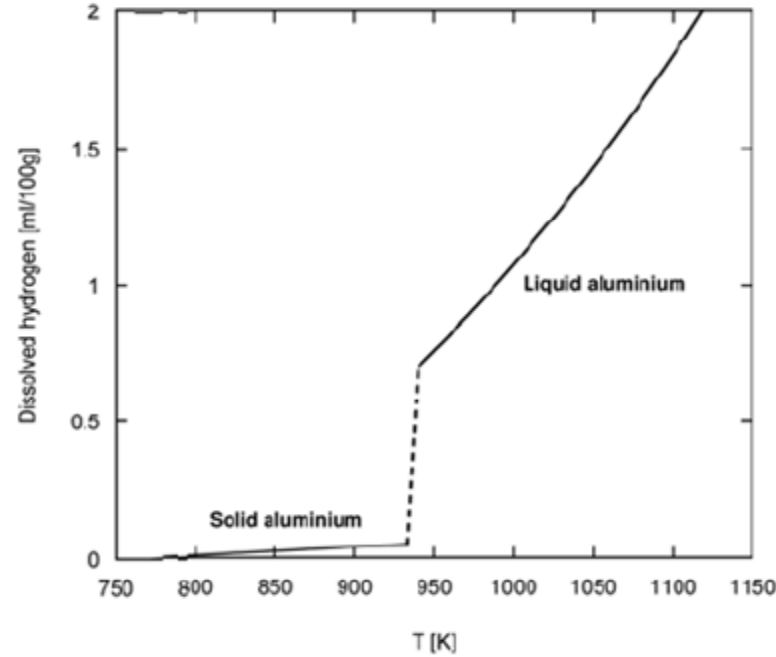
1.1 Ergimiş Metal Kalitesi

- Uygun ergimiş metal kalitesi uygun ergimiş metal tretman prosesleriyle elde edilir.
- Tablo 2 – İstenen ergimiş metal kalitesini elde etmek için ergimiş metal tretmanı operasyonları

- Dış empüritelerin ortadan kaldırılması
 - Hidrojen - Döner Gazalma
 - Metalik Olmayan İnküzyonlar - Döner Tretmanla Temizleme&Temizleme Flaksı
- Yapısal İyileştirmeler
 - Tane Yapısı - Tane İnceltme
 - Si Çökmesi - Modifikasyon
- İz Elementleri
 - Na, Ca, P, Fe - Giderme/Uzaklaştırma, seyreltme

1.2 Alüminyumdaki Hidrojen

- Ergimiş metaldeki çözülmüş hidrojen döküm parça katılaştığında zararlı hale gelmeye başlar ve katı halde duramayan fazla hidrojen, döküm parçada istenmeyen porozitelere yol açan hidrojen kabarcıkları oluşturur.

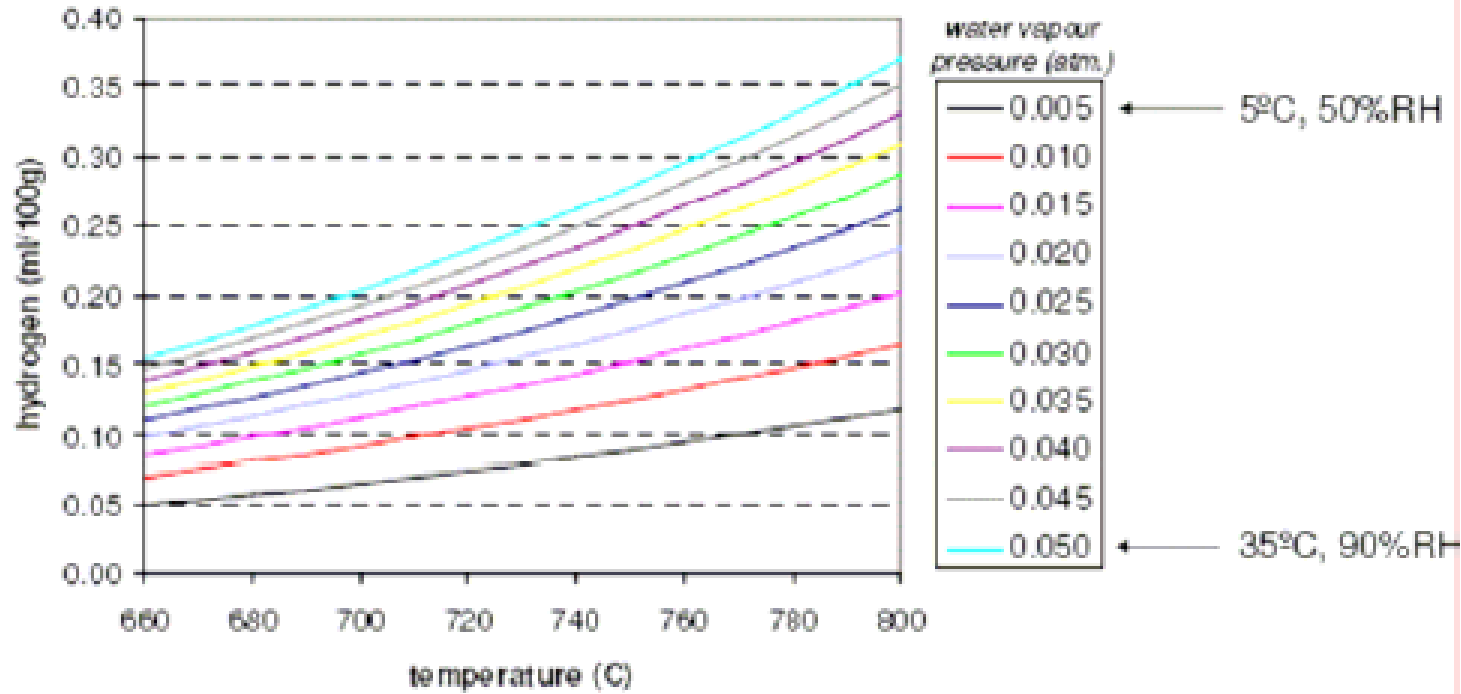


- Şekil 1 – Alüminyumdaki Hidrojen çözünlüğünün ergimiş metal sıcaklığına göre değişimi

1.2 Alüminyumdaki Hidrojen

- Çözünmüş hidrojenin başlıca kaynağı sıvı alüminyumla hemen reaksiyona giren oksit ve hidrojen oluşumuna yol açan nemdir.
- Katı alüminyuma kıyasla hidrojenin sıvı alüminyumda çözünürlüğü daha fazladır. Bu aynı zamanda alaşıma da bağlıdır. Si, Cu veya Fe gibi elementler hidrojen çözünürlüğünü düşürürken Mg'un önemli derecede artırma etkisi vardır.
- Hidrojen çözünürlüğünün dengesi ergimiş metal sıcaklığı ve atmosferik su buharı basıncının direkt fonksiyonudur.

1.2 Alüminyumdaki Hidrojen



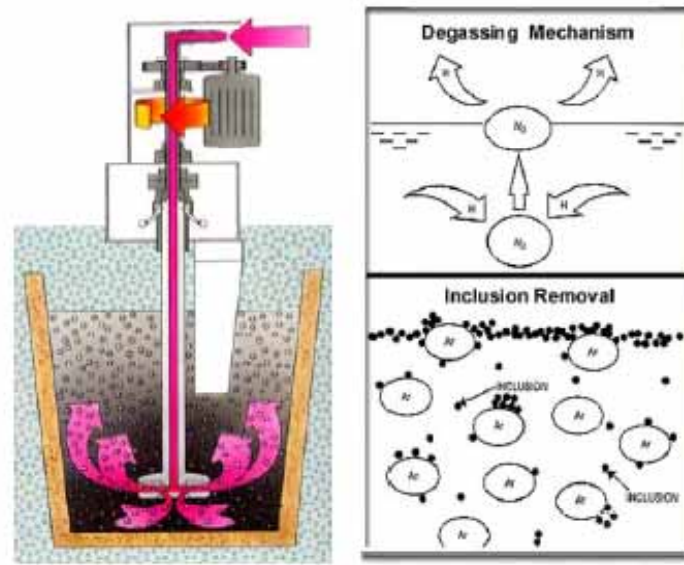
- Şekil 2 – Ergimiş metal sıcaklığı ve su buharı basıncının alüminyumdaki hidrojen çözünürlüğüne etkisi

1.2 Alüminyumdaki Hidrojen

- Yaz aylarında yüksek nem yüksek sıcaklıkla birleştğinde çok sıklıkla dökümhanelerde düşük nem oranlarındaki kış aylarına göre çok daha fazla gaz porozitesi problemleri ortaya çıkar.
- Bununla birlikte, çok iyi dağılmış hidrojen porozitesi her zaman istenmeyen bir şey olmayabilir. Hidrojen çökmesi döküm parçanın zayıf beslenmiş kesitlerinde çekinti oluşumu ve dağılımını azaltabilir. Genelde çekinti iyi dağılmış hidrojen porozitesine göre döküm parça özelliklerine daha fazla zarar vermektedir.

1.3 Gaz Alma Prosesi

- Fazla hidrojeni izin verilen seviyelere düşürmek için birçok farklı gaz alma prosesi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Döner gaz alma tekniği en etkin gaz alma proseslerinden birisi olduğunu kanıtlamıştır ve dünyadaki birçok alüminyum dökümhanesinde en gelişmiş teknoloji haline gelmiştir.



- Şekil 3 – Döner gaz alma prosesinin şematik görünümü

1.3 Gaz Alma Prosesi

- Döner gaz almanın etkinliği;
- gaz akış debisi,
- rotor & şaft dönüş hızı,
- rotorun daldırma derinliği,
- rotor ve tretman araçlarının geometrisi,
- ilk hidrojen düzeyi,
- alaşımın bileşimi,
- ergimiş metal sıcaklığı ve nem gibi birçok parametreye bağlıdır.
- İnert gaz kabarcıklarının boyutu gaz alma prosesinde büyük bir etkiye sahiptir. Statik üfleme boruları 20-50mm çapta kabarcık üretirler ve verimsizdirler. Gözenekli üfleme boruları (porous plugs) ise 10-30mm arası kabarcık üretirken döner gaz alma sistemi gaz akış debisi, dönüş hızı, rotor geometrisine bağlı olarak 5-15mm arası çok etkin kabarcık üretebilmektedir.

1.3 Gaz Alma Prosesi

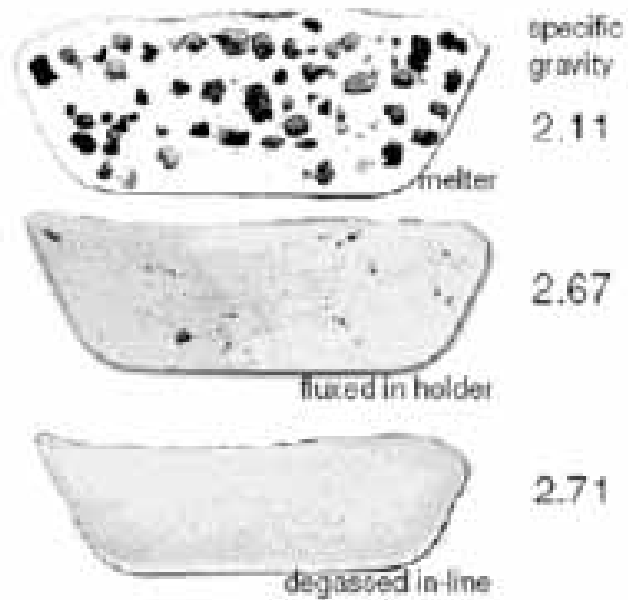


- Şekil 4 – Statik boruyla döner gaz almanın kabarcık boyutu karşılaştırması

1.4 Hidrojen Ölçümü

- Gaz alma işleminden sonra hidrojen düzeyini belirlemede en çok kullanılan yöntem Azaltılmış Basınç Testi (Reduced Pressure Test(RPT))'tir. Ergimiş metalden alınan ve düşük basınç altında katılaştırılan numunenin yoğunluk veya yoğunluk indeksi sayesinde hidrojen seviyesi ölçülür.

1.4 Hidrojen Ölçümü



G. Crane et al., *Molten Aluminum Processing* (2001)

© Technology Strategy Consultants



© Aluminum Degassing

- Şekil 5 – Azaltılmış Basınç Testi ile Hidrojen seviyesi ölçümü

1.4 Hidrojen Ölçümü

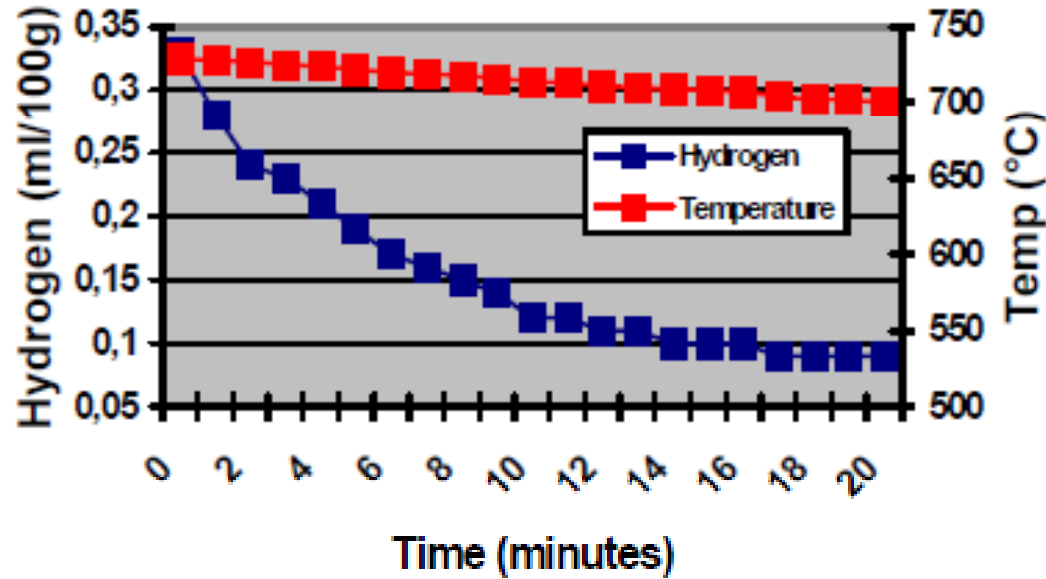
- ALSPEK H hidrojen sensörü gibi son teknolojilerle direkt ergimiş metalden anlık olarak, selektif, nitel hidrojen ölçümü yapmak mümkündür.



- Şekil 6 – ALSPEK H elektrokimyasal hidrojen sensörü

1.4 Hidrojen Ölçümü

- Hidrojenin parti bazında ölçümünden daha ileri olarak ALSPEK H hidrojen sensörü gaz alma sırasında sürekli ölçüm yapmayı sağlar ve döner gaz alma cihazına bağlandığında sıcaklık ile beraber bütün gaz alma prosesinin anlık/dinamik şekilde kontrolünde kullanılabilir.



- Şekil 7 – Döner gaz alma sırasında ALSPEK H ile sürekli hidrojen ölçümü

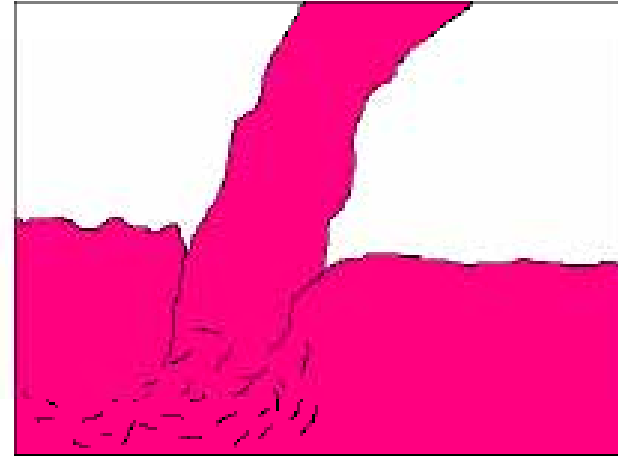
1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar

- Metalik olmayan inklüzyonlara alüminyum dökümlerde önemli ölçüde dikkat edilmelidir. Yüksek reaktiflikten dolayı, alüminyum sıvı ve katı halde çabucak oksitlenir. Oksidasyon oranı sıvı metalken daha yüksektir ve sıcaklıkla ve maruz kalma süresine göre artar.
- Alüminyum alaşımlarında magnezyum, alüminyumdan daha hızlı bir şekilde oksitlenir ve spinel oluşturmak için oksijen ve alüminyum oksit ile reaksiyona girer.
- İnkluzyonlar boyut ve şekil itibariyle değişik türde ortaya çıkabilir. Alüminyum oksitler film, ince tabaka, kümeleşmiş parçacıklar gibi değişik kristalografik ve amorf yapıdadırlar. Magnezyum oksit ince parçacıklar olarak ortaya çıkar. Spinel küçük sert nodüller veya büyük karmaşık şekillerde olabilir. Refrakter ve diğer dış kaynaklı inklüzyonlar özel görünüşlerine ve bileşimlerine göre tanımlanabilirler.
- Alüminyum ergiyiğindeki inklüzyon sayıları kilogram başına yüzlü ve binli rakamlar arasında sıralanabilir ve boyutları 1 mikron civarından yarım milimetreye kadar ulaşabilir.

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar

- İyi ve sağlıklı olarak görülen standart dökümhane ergitme, bekletme ve taşıma prosedürleri uygun ergitme, gaz alma, flakslama ve tane inceltme pratikleri içerir. Bazı pratikleri bağlı olarak ergimiş alüminyum alaşımları, döküm parçadan önce ergimiş metalde 20-60 mikron boyutunda inklüzyonlara sahip olacaktır.
- 60 mikrondan büyük inklüzyonlar alüminyum dökümler için zararlı olarak görülmektedir ve;
- Porozite ve çatlak gibi hataları destekler,
- Gaz porozitesi oluşumu için çekirdek vazifesi görür,
- Mekanik özellikleri düşürür,
- İşleme takımlarının ömrünü düşürür.
- Ergitme ve ergimiş metali taşıma sırasında, ergiyikte 3 ana biçimde bulunan oksitler oluşacaktır; oksit tabakası, ilave hidrojen gazı veya havayı hapseden çoğunlukla iki kat formunda oksitler, büyük miktarda aglomere olmuş oksit tabakaları ve kompakt oksit parçacıkları. Oksit inklüzyonlarının ıslanma nitelikleri ve sıvı alüminyumun yoğunluğuna yakın spesifik yoğunlukları, onları tabana çökmeden veya yüzeye çıkmadan, uzun süre ergiyik banyosunda askıda tutar.

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar



- Şekil 8 – Türbülanslı ergimiş metal transferi, metal temizleme işlemi sırasında oksit oluşumu

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar

- Modern döner gaz alma tretmanları fiziksel yüzdürmeyle ergimiş metaldeki oksitleri, özellikle geniş oksit tabakalarını da etkili bir şekilde giderir. İyi dağılmış oksitler inert gaz kabarcıkları tarafından yüzdürmeye daha dirençlidirler ve alüminyum ergiyiğinden ayrılıp, ergiyiğin yüzeyine çıkmak için özel flakslar gibi ilave ıslatma maddelerine ihtiyaçları vardır.
- Gaz alma prosesi sırasında temizleme flaksının ergimiş metale otomatik olarak dozajlanması prensibiyle çalışan, en ileri ergimiş metal tretman teknolojisi, eş zamanlı olarak gaz alma ve temizleme prosesini gerçekleştirir.

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar



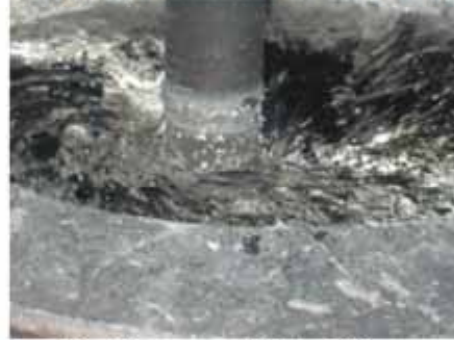
- Şekil 9 – MTS 1500 otomatik temizleme flaksı ilaveli ergimiş metal tretmanı

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar

- Ergimiş Metal Tretman İstasyonu eşzamanlı olarak iki tretman flaksına kadar ergimiş metale flaks verebilir. Bu flakslar, gaz alma ünitesinin uygun yerlerine monte edilen bir veya iki siloda tutulmaktadır.
- Flaks verme ünitesi, siloların çıkışına monte edilmiştir ve girdabın içine flaksın tam otomatik verilmesini sağlamaktadır. Elektrikli sonsuz dişli besleme sistemi sayesinde doğru ve sürekli aynı miktarda flaks verilebilmektedir.
- Dalga kıran elektrikli bir motora bağlıdır ve tretman çevrimi sırasında herhangi bir noktada ergiyin içine girip çıkabilmektedir.
- Bütün sistem uygun tretman çevriminin sağlanabilmesi için PLC (Programmable Logic Controller) tarafından merkezi olarak kontrol edilmektedir.

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar

1. Vortex Formation



10 – 20 sec, 550 – 700 rpm

2. Granular Flux Addition



~ 30 sec, 550 – 700 rpm

3. Vortex Removal



~ 5 sec, 350 – 500 rpm

4. Degassing Process



120 – 600 sec, 350 – 500 rpm

- Şekil 10 – MTS 1500 ergimiş metal tretman çevrimi

1.5 Metalik Olmayan İnkluzyonlar

- Ergimiş Metal Tretman İstasyonu kullanan standart tretman çevrimi şekil 10'da özetlenen aşamalardan oluşmaktadır.
- Rotor ve şaft girişi ve girdap oluşumu: Rotor ve şaft ilk önce sıvı metal içerisine indirilir. Çevrimin bu aşamasında dalgakıran yukarı pozisyonda kalmaktadır. Daha sonra rotor hızı uygun girdap oluşturmak için 700 rpm civarına çıkmaktadır.
- Flaks İlavesi: Yaklaşık 30 saniye içerisinde silo ve besleme sistemi istenen miktarda flaksı girdabın içine vermektedir. Flaks sıvı metal içerisine girdap yardımıyla girmektedir ve rotorun çalışmasıyla sıvı metal içerisinde etkili bir şekilde karışmaktadır.
- Girdap kesilmesi: Rotor hızı, 5 saniyelik zaman içerisinde 350-500 rpm'ye düşmektedir. Eş zamanlı olarak dalgakıran sıvı metale girmekte ve girdabı kesmektedir.
- Gaz alma: Sıvı metale girmiş olan dalgakıranla ve metal tretmanlarıyla metal temizlenmiş bulunmaktadır. 120-600 saniye arasında gaz alma ile istenen gaz alma düzeyine ulaşılmaktadır.

1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü

- Sıvı alüminyumun temizliğini ölçmek için varolan, kabul edilmiş metotlar bulunmaktadır ve her birinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır.
- Aşağıda bu tekniklerin temel özellikleri hakkında ayrıntılı bir özet verilmektedir.
- • **LIMCA** (Sıvı Metal Temizliği Analizörü): 20-300 mikron arası inklüzyonları belirlemek için elektrik direnci ölçüm metodundan yararlanan bir cihazdır. Inklüzyonların hem miktarını hem de boyut dağılımını ölçmektedir. Ayrıca, gaz almada parçacık olarak analizi karıştıran gaz kabarcıklarını belirler. Küçük inklüzyon ölçümleri için mükemmeldir.
- • **PoDFA** (Gözenekli Disk Filtrasyon Analizi): Belirlenen miktarda metalin filtreden geçirilerek filtrenin yüzeyindeki inklüzyonların görüldüğü kapalı teknik. Daha sonra oluşan inklüzyonların miktarı ve tipini belirlemek için metalografik değerlendirme yapılması gerekmektedir.

1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü

- • **LAIS** (Sıvı Alüminyum İnküzyon Numune Alıcısı): PoDFA ile benzerdir fakat, numune sıvı metalden alınır, numune alma cihazının ön ısıtması yapıldıktan sonra, vakum basıncı kullanılır. Daha sonra numunenin metalografik analizi gereklidir.
- • **Prefil – Ayakizi**: Belirlenen miktarda metalin basınçlı filtrasyon kullanarak gerçek zamanlı ölçümü ve yük hücresi kullanarak filtrenin kazandığı ağırlığın ölçümü. Özel alaşım ve proses için kıyaslama düzeyleriyle sonuçların karşılaştırmasıyla nispi temizlik hesaplanabilir. İnküzyonla ilgili spesifik bir bilgi elde edilmediğinde, numuneye metalografik analiz yapılır.
- • **Akustik/Ultrasonik Tarama Metodu**: 4M tekniği (Mansfield Sıvı Metal Ekranı) gibi bu metotlar sıvı metalde darbe yankı tekniğini kullanmaktadırlar. Sadece büyük inküzyonlar için uygundur.

1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü

- Alüminyum ergiyiğinde çözülmüş hidrojenin saptanması, son yıllarda yavaş yavaş direkt ve anlık olmayan nitel ölçümlerden direkt ve anlık olan nicel ölçüm metotlarına doğru gelişmiştir.
- Bu gelişmeye rağmen, dökümhanelerde ergimiş metal temizliğinin saptanması ihmal edilmiştir ve çoğunlukla anlık olmayan teknikler kullanılmaya devam edilmektedir.
- Bu geliştirme projesinin amacı dökümhaneye alüminyum ergiyiğinin temizliğini ölçmenin pratik, basit, hızlı ve mantıklı yolu olan yeni metotları önermektir. Yeni cihaz Metal Kalite İndeksi'ni (MQI) 1 dakikadan az bir sürede, uygun bir maliyetle yapmaktadır. Ergimiş metal banyosundan yaklaşık 1,5 kg alüminyum örneğini cihaz kendisi alır ve böylece operatöre bağlı değişkenlikler ortadan kalkar.
- Cihaz, sıvı alüminyum hazırlanırken farklı safhalardaki ergiyikleri karşılaştırmak için idealdir ve dökümhanelerin proses kontrol ve kalite kontrol prosedürünün bir parçası olarak kullanabileceği MQI oluşturur.

1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü



- Şekil 11 – Ergimiş metal temizlik seviyesini saptamak için ALSPEK MQ probu
- Yeni prob (şekil 11) yaklaşık 5 kg ağırlığındadır ve operatör tarafından kolayca taşınabilir, tutulabilir ve ergiyiğin üstünde yüzer. Bu esnada ölçüm tüpü ergiyiğe daldırılmıştır ve derinliği sürekli aynı seviyede tutulmalıdır.
- Prob okuma cihazına kablosuz olarak bağlanmaktadır. Okuma cihazı probun 50 metre uzağına kadar ölçüm alabilir.

1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü



- Şekil 12 – Okuma cihazının ekran görüntüsü

1.6 Sıvı Metal Temizlik Ölçümü

- Metal Kalitesi İndeksi (MQI) 1 dakikadan az bir sürede oluşturulur ve sonuç okuma cihazının ekranında görülür (şekil 12). MQI, mükemmel metal kalitesi olan 1'den başlayıp kötü kaliteyi belirten 9'kadar değerlendirilmektedir.
- Yeni cihaz gerçekten çok titiz bir şekilde dökümhane testi yapıyor ve değerlendirmesini gerçekleştiriyor. Cihaz alüminyum dökümhanelerine uygun bütün sıcaklıklarda ve neredeyse bütün alüminyum alaşımlarında test edildi. Sonuçlar tane inceltme veya modifikasyon gibi metal tretman ürünlerinden etkilenmemektedir.
- ALSPEK MQ, 50 mikron üzerindeki oksit oluşumlarını ve özellikle işlendikten sonra görülebilecek 300 mikrondan büyük zararlı inklüzyoları ölçebilmektedir.

2. Testler

- Örnek Çalışma
- Ölçümler bir piston dökümhanesinde AISi12 piston alaşımı üzerinde yapılmıştır.
- Bu testler toplam inklüzyon içeriği ve inklüzyon boyutunun analiz edildiği PoDFA numuneleriyle eş zamanlı olarak yapılmıştır.
- Açıkça görülüyor ki (şekil 13) uygun metal temizliğini sağlamak için döner gaz alma tretmanından sonra dinlenme süresi verilmesi gerekmektedir. Ergiyikte herhangi bir tekrar karıştırma işlemi çökelmiş inklüzyonları uyararak ergiyik kalitesini düşürmektedir.

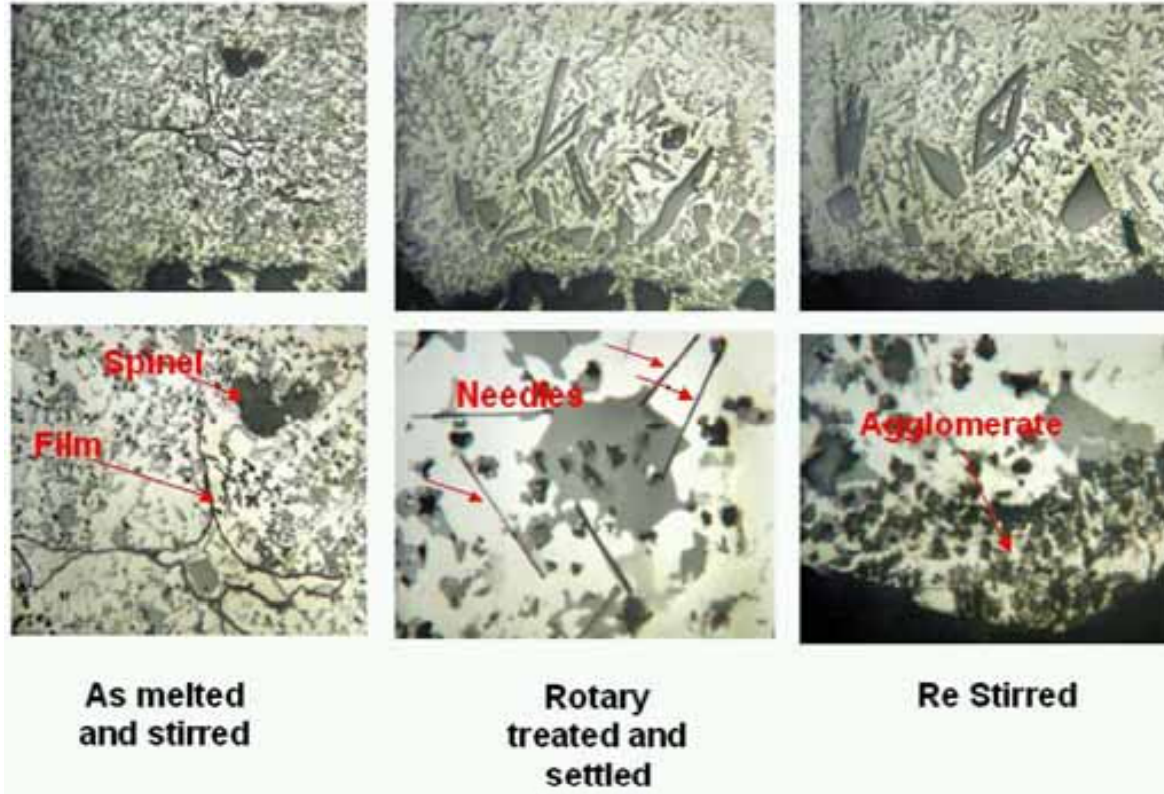
2. Testler

A1-12Si Piston Alloy						
Metal Condition	MQI	DI	Total Inclusion Content* (mm ² /kg)	% of Inclusions > 50 microns (%)	Bifilms (#/kg)	max length Bifilm (microns)
As Melted & Stirred	2	4.01	8.9	13	97	2500
As Treated	2	0.73	-	-	-	-
After Settling	1	0.37	1.6	1	21	200
After Re-Stir	3	1.45	1	85	17	100

* Measured using PoDFA technique

- Şekil 13 – Piston dökümhanesinde sıvı metal temizliği sonuçları
- Ergitme ve karıştırmadan sonra PoDFA numunelerinin mikro yapı sonuçları spinel ve bifilm gibi bazı inklüzyonları göstermektedir ve MQI 2 ölçülerek doğrulanmıştır. Döner gaz alma tretmanı ve dinlenme zamanından sonra filtre diskinde metal olmayan inklüzyonlar görülmemiştir fakat intermetalik bileşikler görülmüştür ve MQI ise 1 ölçülerek sonuç doğrulanmıştır.
- Buna karşın tekrardan karıştırmadan sonra PoDFA numunesi büyük boyutlu kümeleşmeler göstermiştir ve bu MQI 3 ölçülerek doğrulanmıştır.

2. Testler



- Şekil 14 – Tretmandan önce ve sonra piston alaşımı PoDFA numunesi

3. Sonuç

- Dökümhane testleri, ALSPEK MQ sonuçlarıyla eş zamanlı olarak PoDFA veya PREFIL numuneleriyle karşılaştırılarak, ergiyik temizlik düzeyinin belirlenmesinde güvenilir, hızlı, uygun fiyatlı yeni inklüzyon probu geliştirmek için devam edecektir.

Teşekkürler