

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA COVERAL MTS 1582 KULLANIMININ TANE İNCELTME ÜZERİNE TEORİ VE PRATİKLERİ



Pascaline Careil*, Brian Began**, Melih Evirgen***,
Samet Tevattepe***
Foseco Europe*, Foseco USA**, Foseco Türkiye***

ÖZET

Küçük tane boyutuna sahip olmak, alüminyum alaşımları ile döküm yaparken istenilen kalite gerekliliklerini karşılamakta hayati öneme sahiptir. Küçük tane boyutları, istenilen yüksek mekanik özellikler, sızdırmaz döküm, kozmetik görünüm veya geliştirilmiş yapısal sağlamlığı üzerine oldukça etkilidir. Buna bağlı olarak, tane inceltmeyi etkinleştirme ve tane inceltmenin etkisinin daha hızlı ve verimli bir şekilde incelenmesi arzu edilmektedir. Bu makale küçük tane boyutuna olan ihtiyacı ve tane inceltmedeki temel prensipleri incelemektedir. Sonuç olarak, bu makale yeni geliştirilmiş flux formunda tane inceltme ürünü COVERAL MTS 1582 tanıtmaktadır. Bununla birlikte alçak basınç jant üretimi ve kuma döküm yapan dökümhanelerde yapılan başarılı çalışmaları da içermektedir.

ABSTRACT

The need for smaller grains is vital to achieving the required properties when pouring most cast aluminum alloys. Whether the desired results are high mechanical properties, leaker free castings, a cosmetic appearance or improved structural soundness, smaller grains are impactfully beneficial. Accordingly, there is a desire to improve both grain refining and

the ability to quickly and effectively assess grain refinement effectiveness. This paper discusses both the need for smaller grains and the principle fundamentals of grain refining. Finally, the paper introduces a new and improved flux form grain refiner (COVERAL MTS 1582) and documents two recently successful case studies where the COVERAL MTS 1582 was utilized to improve castings in both a low-pressure wheel foundry and a high production sand moulding foundry, respectively.

GİRİŞ

Tane inceltme Alüminyum döküm proseslerinde, katılaşma esnasında oluşan, birincil alüminyum tane boyutunun azaltılması ile ilgili önemli parçalardan biridir. Çoğu hipo ötektik alaşımlarda besleme, uzama ve mekanik özellikler ile birlikte yorulma dayanımının artması, parçanın işlenebilirliği, sıcak yırtılmaların azaltılması, micro çekintilerin dağılım göstermesi, porozite boyutlarının azalması ve ısı işlem çevrimlerinin azaltılması bu prosesin başlıca faydalarıdır. Mevcut durumda tane inceltme master alaşımlar ile sağlanmakta olup, genellikle Titantum diborür ün sıvı metal içinde serbest hale gelmesi ile tane inceltme mekanizması sağlanmaktadır. Farklı kesit kalınlıklarına, karmaşık döküm tasarımlarına ve geç katılaşma gibi parametrelere sahip olan hassas döküm, kuma döküm, gravity döküm ve alçak basınç döküm proseslerinde tane inceltme oldukça önemlidir. Genel olarak, daha yavaş katılaşma hızına ihtiyaç duyan, farklı tasarımda parça kalınlıklarına sahip olan dökümlerde, diğer döküm tasarımlarına oranla tane inceltmeye daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Tane inceltmenin önemli olduğu pek çok döküm bölümü vardır:

- Bitmiş üründeki iyi döküm yüzeyi ve besleme gibi gereklilikleri karşılaması gereken, tane inceltmenin ve temizliğin etkili olduğu Jant dökümhaneleri,
- Silindir kafası, motor bloğu, manifold gibi gravite döküm ile üretilen genel otomatik döküm parçaları için orta seviyede tane inceltme, mekanik özelliklerdeki gereklilikler için yeterli olabilir, ancak tane inceltme ile iyileştirilen besleme sızdırma hatalarını önleyebilmektedir.
- Uzay ve savunma sanayi gibi dökümleri zor uygulamalarda yüksek mekanik özellikler istenmektedir. Tane inceltme burada da oldukça önemli fayda sağlamaktadır.
- Geniş tane boyutu ve zorlu besleyici yolluklar nedeniyle uzun katılaşma süresine sahip olan kuma

döküm ve hasa döküm prosesleri tane inceltme özelliği olmadan proses edilmektedir.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA TANE İNCELTME MEKANİZMASI

- Mekanik Özellikleri İyileştirilmiş Metal Ergitme İşlemlerinin Hedefi

Tane inceltme, alaşım içindeki mixed kristallerini etkilemektedir. Azalan sıcaklık ile birlikte mixed kristalleri büyümektedir. Tane boyutu katılaşma esnasında soğuma hızına bağlıdır. Çekirdek ilavesi ya da oluşumu katılaşma hızını arttırmakta ve tane boyutunu düşürmektedir.

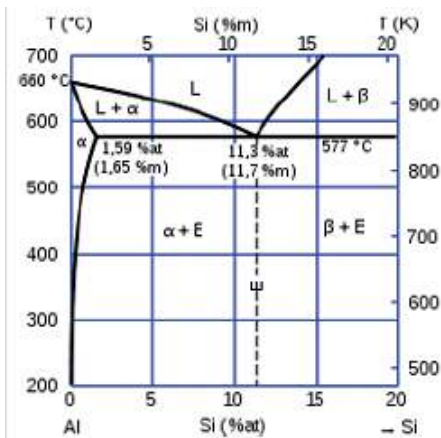
- Master Alaşım ve Kimyasal Ürünlerin Karşılaştırılması

Master alaşımlar ile yapılan tane inceltmelerde dikkate alınan konular:

- TiB₂ çekirdeği Alüminyum matrix içinde pre-formed yapıdadır.
- Uygulama kolaylığı
- Çubuklardaki oksit ve inklüzyon kaynaklı risk
- Çubuk yüzeylerindeki oksit ve nem

Kimyasal ürünlerin yararları:

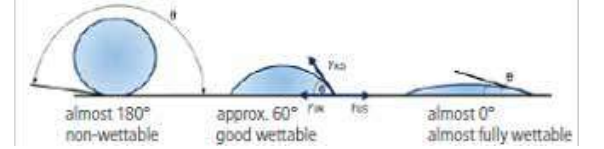
- Metalik Titanyum ve Bor tuzları içerir
- TiB₂ çekirdeği Alüminyum matrix içinde in-situ formed yapıdadır. Yüksek enerjisi ve düşük kontak açısı vardır
- İmpürite riski yoktur
- Ayrıca temizleme etkisi vardır



Grafik 1:
Al-Si faz diyagramı



Grafik 2:
Çekirdek – ergiyik - tarafından iyi ıslatılabilir özellikte olmalı



Grafik 3:
Heterojen çekirdeklenme ıslatma açısı fonksiyonlarıdır. (180 ° ıslatılabilirlik yok, 60 ° iyi ıslatılabilirlik, 0 ° en iyi derece ıslatılabilirlik)

$$\sigma_{a\Gamma} = \sigma_{\beta\Gamma} + \sigma_{a\beta} \cos(\theta)$$

- $\sigma_{a\Gamma}$ = melt surface energy
- $\sigma_{\beta\Gamma}$ = surface energy of nuclei
- $\sigma_{a\beta}$ = interface energy between nuclei and melt

Grafik 4:
Young's modülü

Ceramic	Angle
TiB ₂	60°
ZrB ₂	106°
HfB ₂	134°
TaB ₂	125°
TiC	118°
ZrC	150°
SiC	135°
HfC	148°
NbC	136°
TaC	145°
TiN	135°
ZrN	167°
NbN	156°
AlN	138°

Tablo 1:
Farklı seramik malzemelerin kontak açıları

- Kimyasal Ürünlerle Mekanik Dayanımın Daha İyi Olmasının Nedenleri

Kimyasal ürünler ile daha iyi mekanik dayanım elde edilmesi ile ilgili pek çok neden belirtmiştik. Bunlar:

- Pre-formed yapıda oluşan çekirdeklenme Kimyasal ürünlerde ve master alaşımlarda kontak açısını farklı şekilde etkiler.
- TiB₂ ideal çekirdeklenmesi için kontak açısı : 60 °
- Master alaşımlardan gelen TiB₂ kontak açısının önemli ölçüde yüksek olması nedeniyle yüzey enerjisi düşüktür.
- Kimyasal ürünlerden gelen TiB₂ kontak açısı kimyasalardan gelen (florürler) etkisi nedeniyle 60 ° 'ye yakındır hatta altındadır.

FOSECO, alaşımlı alüminyum erigiyiklerinde kullanılmak üzere hem tane inceltme, hem de temizleme etkisi gösteren yeni nesil granül flaks COVERAL MTS 1582 'yi geliştirmiştir. COVERAL MTS 1582, alüminyum erigiyik içinde taze çekirdekler oluşturan, titanyum diborür ve alüminyum borür formlarında oluşan, titanyum ve bor olarak yüksek konsantrasyona sahiptir. Tane dağılımının oldukça iyi olduğu bu mekanizma, aynı zamanda katılaşma esnasındaki tane büyümesini de desteklemektedir. Ayrıca, güçlü bir tane inceltme sağlayan COVERAL MTS 1582, sıvı metal içindeki oksit ve inklüzyonların giderilmesinde de etkin bir role sahiptir. Ayrıca bir temizleme/curuf giderici flaksa ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylece toplam proses maliyeti düşürülmektedir. COVERAL MTS 1582, hiperötektik alaşımlar hariç, içeriğinde yoğun magnezyum içeren alaşımlar dahil olmak üzere, diğer bütün alüminyum alaşımlarında kullanılabilen, Na ve Ca içermeyen bir flakstır.

COVERAL MTS 1582'nin Uygulanması

COVERAL MTS 1582, FOSECO'nun MTS 1500 özelliği olan döner gaz giderme ve metal tretman ekipmanları için dizayn edilmiştir. Sıvı metal içinde oluşan vortex in içine yapılan flaks ilavesi kontrollü ve etkili bir karışım sağlamaktadır. İlavelerin PLC kontrollü yapıldığı tretman flaksı vortex in içine doğru verilir ve karıştırılarak reaksiyon tamamlanır, akabinde vortex kırıcı dalgakıran sıvı metal içine girerek, etkili bir şekilde vortex' i durdurur. Vortex durduktan sonra MTS standart döner gaz giderme prosesini tamamlar. Tretmanı yapılan sıvı metal taşıma potası ile transfer edilir ve/veya döküme verilir. MTS 1500 ile ilgili daha fazla bilgi almak isteyen okuyuculara, Foundry Prac-

tice Dergisi 247 (2007) ve AFS Döküm fuarı için özel olarak basılan Foundry Practice dergileri önerilebilir. Her iki makalede MTS 1500 teknolojisi üzerine sunuş yapılan etkili makalelerdir [2, 3].

MTS 1582, 720 °C üstü sıcaklıklarda kullanılmış olmalıdır. Bu reaksiyondan elde edilen tretman sonucunda, kevgir ve benzer metal aletler yardımıyla oldukça kolay bir şekilde temizlenen ve sıvı metalden ayrılabilen kuru curuf elde edilmektedir.

- Tane İnceltme Verimliliğinin Değerlendirilmesi

Alüminyum döküm özelliklerinin istenilen seviye olabilmesi konusunda tane inceltme oldukça önemli bir yere sahip olduğundan, tane inceltme verimliliği değerlendirilen metodlar olması da son derece önemlidir. Tane inceltme verimliliğini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan metodlar şunlardır:

- Elemental Spektrokopi
- Termal Analiz
- Mikroyapı değerlendirme
- Elementel Spektroskopisi

Elementel spektroskopisi tane inceltme değerlendirmesi için kullanılan en yaygın method olmakla birlikte, belirlenen metodlar içinde en az etkili olanıdır. Spektroskopisi sadece elementlerin total konsantrasyonunu inceler. Ancak, Titanyum genellikle TiB₂ ve ek olarak diğer fazlarda da bulunur ve diğer fazlar tane yapısına etki etmezler. Dökümhaneler alaşım içerisindeki Ti oranını (tipik olarak 0.10-0.25% ağırlıkça) ölçerler ve bu aralıkta yeterli bir tane inceltme elde ettiklerini varsayarlar. Bu nedenle bazı dökümhaneler ilave olarak Bor (tipik aralık 5-25ppm) ölçerler. Ti ve B sıkı bir şekilde kontrol edilmesi tane inceltme verimliliği için yapılması gereken etkili bir sonuçtur. Ancak, termal analiz ve mikroyapı analizi gibi daha gelişmiş yöntemler, tane inceltme ile ilgili daha etkili sonuçlar verebilmektedir.

- Termal Analiz

Termal analiz belki de tane inceltme ile ilgili yapılan değerlendirmelerde en hızlı gelişen yöntemdir. Ayrıca elementel spektroskopisi 'ye göre de daha doğru sonuçlar vermektedir. THERMATEST 5000 NG III (Resim 5 'de görülebilir) Alüminyum alaşımlarında tane inceltme verimliliğini en hızlı ve doğru bir şekilde ölçen cihazlardan biridir. Termal analiz, katılaşan

metal numunenin zamana karşı sıcaklık verilerini toplar ve eğrinin algoritmik olarak, bilinen referans aralıkları ile karşılaştırılmasını içerir. THERMATEST 5000 NG III cihazı algoritmik olarak numunenin liquidus eğrisini analiz eder ve tane inceliği (GF) verimliliğini değerlendirmek için 1 'den 9 'a kadar bir değerde puanlama yapar. Skorun 1 olması, tane inceltme görülmeyen eğriler ile referans alınmaktadır.

Buna karşılık, aynı alaşım kompozisyonu içinde yapılan değerlendirmede, tane inceliği (GF) skorunun 9 olması "mükemmel tane inceltme" 'ye ulaşıldığını göstermektedir. THERMATEST 5000 NG III ile ölçülen ve temsili şekilde gösterilen tane inceltme kademeleri Şekil 'de 7 'de belirtilmektedir. Ayrıca THERMATEST 5000 NG III cihazı Al-Si alaşımlarında ötektik modifikasyon verimliliğinin değerlendirilmesinde de yardımcı olmaktadır [4, 5].

- Termal Analiz İle Tane Inceltme Değerlendirmesi

- Belirli bir soğuma hızında, birincil alüminyum kristallerinin oluşumu, tane boyutu ve aşırı soğumanın süresine bağlıdır.
- Aşırı soğuma'nın yüksek ve süresinin orta olduğu bir durumda, iri tane boyutu olur. (Şekil6a)
- Aşırı soğuma görülmediği zaman tane boyutu iyidir (Şekil6b)
- Aşırı soğuma düşük, fakat süresinin uzun olduğu durumlarda ise iri tane boyutu olmaktadır.

THERMATEST 5000 NG III aşağıda belirtilen Liquidus parametrelerini ölçmektedir:

- Sıcaklık θ_2 (°C)
- Soğuma $\Delta\theta$ (°C)
- Soğuma süresi t_1 (saniyede)

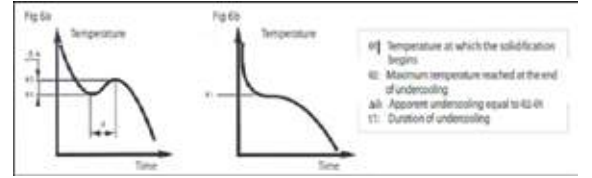
Tane boyutu indeksi 9 olduğunda ve aşırı soğuma sıfır olduğunda, tane inceltme optimum seviyede diyebiliriz. Bununla birlikte belli alaşımlarda ve sabit kalıp içindeki ince şekilli dökümlerde, tane boyutunun düşük olması (5-9) sürekli dökümde uygulanan yüksek soğutma hızı nedeniyle beklenen ve kabul edilebilir bir durumdur.

Her bir döküm için, uzama gibi mekanik özellikler ile korele edilen minimum tane boyutu indeksi belirlenmesi önerilmektedir. Al-Cu5%MgTi alaşımı için, aşırı soğumanın olmaması, sıcak yırtılma problemini önlemede yeterli olmayabilir. Bu durumda alaşımın per-

formansını arttırmak için daha güçlü bir tane inceltme önerilmektedir.

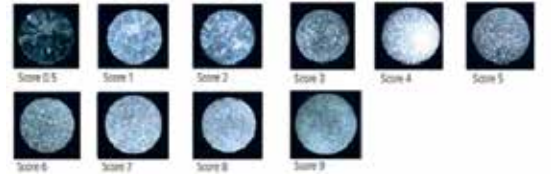


Resim 5:
THERMATEST 5000 NG III cihazına ait fotoğraf



Şekil 6a ve 6b:

Hiperötektik alaşım durumunda, birincil alüminyum kristallerinin oluşumdaki soğuma eğrilerinin profilleri



Şekil7:

Tane inceltme testi – Tane inceliği (GF) standart plakası

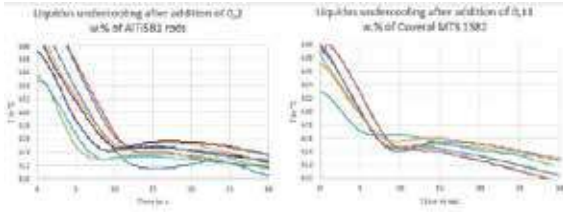
- Likidüs Eğrisi: TiB Çubuklar ile COVERAL MTS 1582'nin Karşılaştırılması

Liquidus' taki aşırı soğuma düşük olursa, tane inceltme daha iyi olmaktadır. COVERAL MTS 1582, daha düşük ilave oranlarında (0,11% 'e karşın, 0,2 % AlTi5B1 çubuk oranı) AlTi5B1 çubuk ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç vermektedir.

- Optik Mikroskop (Barker Test)

Optik mikroskop, tane inceltme değerlendirilmesi yapmak isteyen dökümhaneler için kullanılan son yöntemdir. Optik mikroskop, tane inceltme değerlendirilmesinde kullanılan en karakteristik yöntemlerden birisi olmakla birlikte oldukça zaman alıcı ve uğraç vericidir. Optik mikroskop, mikroskop altında tane büyüklüğü açısından değerlendirilecek test örneklerinin mikroskopik seviyelerde taşlanması ve par-

latılmasını içerir. Barker testi, optik mikroskop olarak popüler bir yöntemdir. Struers'a ait LectroPol-5 damıtılmış suda% 5 tetraflüoroborik asitten oluşan Barker reaktifi ile elektrolitik dağlama için kullanılır. Test edilecek numune galvanic bir hücrede anod gibi davranır ve numune yüzeyinden malzeme kaldırarak, anodik kaplama oluşturabilir. Barker yöntemi ile, polarize ışık altında, alüminyum malzemelerin tane yapılarının renklendirilmiş görüntüsüne ulaşılabılır. Mikroskop testlerini 1000X büyötmeye kadar da yapabilmek mümkündür.



Grafik 8:

Termal analiz eğrisi



Grafik 9a:

Tretman öncesi. Tane boyutu: $dm [\mu m] = 984$



Grafik 9b:

Tretman sonrası. Tane boyutu: $dm [\mu m] = 206$



Grafik 10:

TiB çubuklar ile COVERAL MTS 1582 'nin tane boyutlarının karşılaştırılması

SAHA ÇALIŞMALARI

- Avrupa'da Bir Dökümhane

Treatment parameters	
Ladle	INSURAL ATL 600 with 500 kg of AlSi7Mg
Temperature	730 - 760 °C
Addition rate	250 g COVERAL MTS 1582 (0.05 % of the melt weight)
Treatment time	6 minutes
Inert gas flow	20 l/min N ₂
Rotor speed	450 rpm for MTS FDR 190.70

Tablo 2:

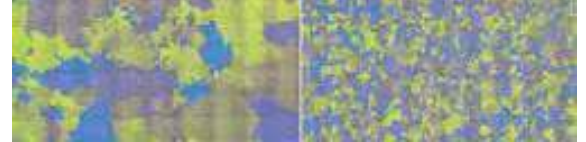
Avrupa Jant Dökümhanesi (EWF) treatment parametreleri

Avrupa 'da bir jant dökümhanesi, MTS 1500 teknolojisine sahip bir gaz giderme cihazı ile, COVERAL MTS 1582 kullanarak, metal treatment pratiklerini geliştirmek istiyor. Bu jant dökümhanesi, standart AlSi7Mg alaşımı döküyor ve gaz giderme esnasında taşıma potasına manuel TiBor çubuk atarak tane inceltme yapıyor. Dökümhane'nin amacı, tane inceltmede COVERAL MTS 1582 kullanarak, tane inceltme prosesini otomatik hale getirmek ve burada elde edilen (kuru çuruf, az tüketim, daha küçük tane boyutu) tipik faydaları elde etmektir. COVERAL MTS 1582 içeren treatment parametreleri Tablo 2 'de görülebilir.



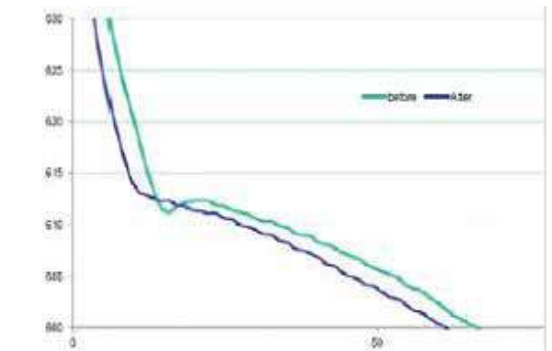
Grafik 11:

COVERAL MTS 1582 ile yapılan tretman sonrası transfer potası içindeki kuru çurufa ait fotoğraf



Şekil 12:

COVERAL MTS 1582 öncesi ve sonrası mikroyapılar



Grafik 11:

COVERAL MTS 1582 ile yapılan tretman sonrası transfer potası içindeki kuru çurufa ait fotoğraf

COVERAL MTS 1582 uygulanan tane inceltme işleminden sonra, pota'daki çuruf (Şekil11), termal analiz eğrisi (Şekil13) ve mikroyapı (Şekil12) fotoğrafları çekilmiştir.

- Amerikan Dökümhanesi

Littlestown dökümhanesi, Amerika'da Pensilvanya'da faaliyet gösteren, kuma döküm ve alçak basınç döküm yapan bir dökümhanedir. Ana alaşım olarak standard 356 alaşımı (AlSi7Mg) dökülmektedirler. Kuma döküm yapılan dökümhane'de hava ile sızdırma kontrolü yapılan – sızdırma olmadığından emin oldukları - zorlu dökümler yapmaktadırlar. Alçak basınç dökümhanesinde, metalik Tibor kullanımından 10%Ti, 1%B) COVERAL MTS 1582'ye geçiş yaparak, tane inceltmede yaptıkları iyileşme ile firelerini 13.6%'dan 2.7%'ye düşürmüşlerdir. Benzer çalışmayı kuma dökümdede uygulamak istemişlerdir. Bu çalışmadaki amaç, MTS 1500 gaz giderme ünitesini kullanarak, metalik Tibor yerine, tane inceltmeyi geliştirerek COVERAL MTS 1582 devreye almak; bununla birlikte sızdırma firelerini azaltıp, daha az tretman maliyeti elde etmek idi. Projenin ilk parçası olarak, mevcut prosesin THERMATEST 5000 NG III ile değerlendirilmesi, ardından MTS 1500 ve COVERAL MTS 1582 kullanımının optimize edilecektir. THERMATEST 5000 NG III ile alınan sonuçlar, Tablo 3'de sunulmaktadır.

Sample #	Average Grain Fineness (GF)
Sample before treatments	5.8
Standard TiBor Additions	6.8
COVERAL MTS 1582	9.0

Tablo 3:

COVERAL MTS 1582 tane inceltme flaksının THERMATEST 5000 NG III ile yapılan değerlendirme sonuçları

THERMATEST 5000 NG III ile yapılan değerlendirmede, metalik TiBor çubukların tane inceliği değerini yükseltme de başarılıdır. (5.8/9.0) ancak, daha da iyileştirilen ve kabul edilen tane inceltme seviyesi (6.8/9.0) Ancak, THERMATEST 5000 NG III cihazı tarafından onaylanan, tane inceltmenin COVERAL MTS 1582 ile optimize edildiği durumda tane inceltmenin (9.0/9.0) seviyede olduğu görülmüş oldu. Böylece mekanik test çubukları döküldü ve COVERAL MTS 1582 kapsayan prosesin potansiyel etkileri değerlendirildi.

Mekanik test sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıdaki tabloda görülebilir. Tablo 4. Sonuçlar her 3 değerlendirme kriterinde olumlu sonuç göstermiştir. Değerlendirilen metrikler: nihai çekme mukavemeti (UTS), akma mukavemeti (YS) ve % uzama. Buna göre, tam bir değerlendirme yapmak için prosesi komple COVERAL MTS 1582 ve MTS 1500 teknolojisi ile değiştirilmelidir.

Test	Incumbent TiBor Process	New Process Featuring MTS 1500 & COVERAL MTS 1582
UTS in psi (MPa)	40,000 (276)	41,290 (285)
YS in psi (MPa)	34,500 (238)	35,100 (242)
Elongation (%)	4%	5%

Tablo 4:

Tablo 4: Tretman öncesi ve MTS 1500 ile birlikte COVERAL MTS 1582 kullanılan tretman sonrası alınan numunelerin mekanik test sonuçları

Sonuç olarak, üretimde geçen 4 aydan sonra, proseste yapılan yeni değişiklik ekonomik olarak değerlendirilmiştir. Uygulamadan sonra aşağıda belirtilen ekonomik faydalar elde edilmiştir:

- Tane inceltme ve temizleme flaksı ile ilgili öngörülen yıllık kullanımın azalması ile birlikte, 276\$/gün, 1380\$/hafta, 5750\$/ay ve 69000\$/yıl 'dan fazla kazanım elde edilmiştir.
- Başlangıçta 1500\$/ay olan kaplama maliyeti, 10 kat azalarak 150\$/ay'a düşmüştür.
- MTS 1500 gaz giderme cihazının geri dönüşü finansal olarak değerlendirildiğinde, tane inceltme ve temizleme flaksının maliyetlerinin azalması ile birlikte 6 aydan biraz fazladır.

Littlestown 'da yapılan çalışma, hakemli belge (belge#19-015) ile 123. AFS Metal Döküm fuarında, Nisan 2019 'da yayınlanmıştır. Kapsamlı inceleme buradan yapılabilir.

SONUÇLAR

COVERAL MTS 1582 Alüminyum alaşımları için kullanılan tane inceltme ve temizleme flaksıdır. Alüminyum ergiyik içinde olması en uygun çekirdeklenme olan Alüminyum boride ve Titanyum boride formlarında yer almaktadır. Taze yani in suti formunda oluşan TiB₂ çekirdeği, mevcut pre-made formda yani oluşan TiB₂ çekirdeğinden daha etkilidir. Element spektrokopi, THERMATEST 5000 NG III ile yapılan termal analiz ve optik mikroskop tane inceltmeyi değerlendirmek için kullanılan üç methodur. Son iki method daha etkilidir. Alçak basınç döküm ve yüksek kapasitedeki kuma döküm yapan dökümhaneler, MTS 1500 teknolojisi ile kullanılan COVERAL MTS 1582 tane inceltme flaksının, mekanik özellikler üzerine ve toplam proses maliyeti üzerine faydalarını onaylamışlardır.

REFERANS

1. G. Samsonov, A. Panasyuk und G. Kozina, Poroshkovaya Metallurgiya, Nr. 11, pp. 42-48. (1971)
2. Careil, P., & Simon, R. MTS 1500 Automated Metal Treatment Station. Foundry Practice Issue 247. p. 15-20. (June 2007)
3. Careil, P. & Simon, R. MTS 1500 Automated Metal Treatment Station. Foundry Practice Special Edition for Cast Expo 2018. p. 1-6. (May 2008)
4. Stonesifer, J. & Began, B. Degassing and Flux Grain Refining in a Continuous Well at Littlestown Foundry. AFS 123rd Metalcasting Congress Proceedings. Atlanta, GA : American Foundry Society. (2019)
5. Careil, P., & Kientzler, P. Thermatest 5000 NG III: thermal analysis equipment designed to predict and control the structure of aluminium alloys before casting. Foundry Practice Issue 250. p. 2-6. (September 2008)