



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Çelik dökümde alternatif gaz giderme malzemesi olarak alüminyum cürufu kullanımının incelenmesi

Investigation of using of aluminum dross as an alternative gas removing material in steel casting

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan HASIRCI

ORCID: 0000-0001-5520-4383

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Hasırcı, H., “Çelik dökümde alternatif gaz giderme malzemesi olarak alüminyum cürufu kullanımının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 641-647, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.532616

Çelik Dökümde Alternatif Gaz Giderme Malzemesi Olarak Alüminyum Cürufu Kullanımının İncelenmesi

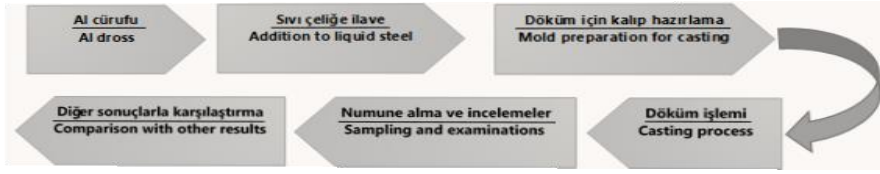
Investigation of Using of Aluminum Dross as an Alternative Gas Removing Material in Steel Casting

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Alüminyum cürufu / Aluminium dross
- ❖ Gaz giderme / Degassing
- ❖ Geri dönüşüm / Recycling
- ❖ Çelik döküm / Steel casting
- ❖ Geliştirilmiş özellikler / Improved features

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, Al cürufu çelik döküm işlemlerinde gaz giderici malzeme olarak kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, Al cürufunun piyasada kullanılan gaz gidericilerle en az aynı veya daha fazla miktarda gaz giderme sağladığını göstermiştir. / In this study, Aluminum dross was used as degassing material in steel casting processes. The results of the study showed that Al dross provides at least the same or more degassing with the degassers used in the market.



Şekil. Al cürufu ile gaz giderme işlemi ve özelliklerin incelenmesi / Figure. Degassing process with Al dross and investigation of properties

Amaç (Aim)

Bu çalışma, Al cürufunun çelik döküm işlemlerinde alternatif gaz giderici olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. / This study was conducted to examine the usability of Al dross as an alternative degassing in steel casting processes and to evaluate its effects.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Al cürufunun geri kazanımı ve çelik dökümde gaz giderici olarak kullanımı deneysel olarak değerlendirilmiştir. / The recovery of Al dross and its use as degassing in steel casting has been evaluated experimentally.

Özgünlük (Originality)

Al cürufu daha önce gaz giderici olarak kullanılmamıştır. Bu nedenle, hem içerik hem de sonuçları bakımından orjinal bir çalışmadır. / Al dross has not been used as degassing before. Therefore, it is an original study in terms of both content and results.

Bulgular (Findings)

Al cürufunun mevcut gaz gidericiden daha iyi başarı sağladığını görülmüştür. / It has shown that Al dross performs better than present degasser.

Sonuç (Conclusion)

Al cürufunun hem gaz giderme hemde özellikleri geliştirmede faydalar sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile geri dönüşüm de sağlanmıştır. / Al dross has been found to provide benefits in both degassing and improving properties. Recycling was also provided with this study.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Çelik Dökümde Alternatif Gaz Giderme Malzemesi Olarak Alüminyum Cürufu Kullanımının İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan HASIRCI*

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 26.02.2019 ; Kabul/Accepted : 08.07.2019)

ÖZ

Döküm artığı olan alüminyum (Al) cürufunun, çelik döküm işlemlerinde gaz giderici olarak kullanılan Al-Ca-Mg alaşımı yerine kullanılabilirliği bu çalışmada araştırılmıştır. Bu cüruf hiçbir saflaştırma (arıtma, temizleme) işlemine tabi tutulmamış ve aynı zamanda ekonomik değeri de yoktur.

Numuneler, GS-52 çelik malzeme kullanılarak reçineli kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Döküm numunelerde gaz giderme işlemleri, ağırlıkça %0,035 oranında Al-Ca-Mg ve alüminyum cürufu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerle karşılaştırma amacıyla gaz giderilmemiş numune de üretilmiştir. Bu çalışma sonuçları, AlCaMg alaşımı yerine özellikle Al cürufunun gaz (oksijen) giderme için kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik döküm, deoksidasyon, Al cürufu, mikroyapı, mekanik özellik.

Investigation of Using of Aluminum Dross As An Alternative Gas Removing Material in Steel Casting

ABSTRACT

The use of aluminium (Al) dross with casting residue instead of Al-Ca-Mg alloy used as degasser in steel casting processes was investigated in this study. This dross has not been subjected to any purification (purification, cleaning) process and also has no economic value.

Samples were produced by GS-52 steel material using resin sand casting. The degassing processes in the casting samples were carried out by using 0.035% by weight Al-Ca-Mg and aluminum dross. For comparison with these samples, a non-degassed sample was also produced. The results of this study showed that, instead of the AlCaMg alloy, Al-dross could be used for gas (oxygen) removal.

Keywords: Steel casting, deoxidation, Al dross, microstructure, mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik malzemelerden döküm yöntemi ile birçok endüstri kolu için gerekli parçaların üretimi çok yaygındır. Çelik malzemeler çok farklı özellikleri için tercih edilmektedir. Bu malzemelerin dökümü sırasında özellikle oksijene ilgileri sorunlar oluşturmaktadır. Bu ilgi nedeniyle oksijen çeşitli kaynaklardan ergitme, taşıma ve döküm aşamalarında metal içerisinde çözünmektedir. Bu çözünme neticesinde element halinde gaz atomu, molekül halde gaz boşluğu, bileşik olarak metal oksit vb. sorunlar meydana gelmektedir. Gaz çözünmesinin önlenmesi veya sınırlandırılması gerekmektedir. Gaz girişi önlenemediğinde gaz giderme işlemleri sıklıkla uygulanmaktadır [1-7]. Bu amaçla en sık kullanılan yöntem deoksidasyondur. Deoksidasyon sıvı metal içerisinde çözünmüş gaz atomlarının çeşitli etkenler kullanılarak temizlenmesi işlemidir. Deoksidasyon ya da oksijen giderme genellikle bir kimyasal ve soy gaz ilavesi veya vakum ortamında yapılmaktadır. Çelik dökümde genellikle oksijene ilgisi yüksek katı malzeme ilavesi veya vakum işlemleri uygulanmaktadır. Vakum işlemleri

en garantili yöntem olmasına karşın uygulama zorluğu ve ileri teknoloji gerektirmesi nedeniyle çok yaygın değildir. Bunun yerine Mn, Si, Al, Ca, Mg, B vb. elementleri içeren katı ilaveler yapılarak deoksidasyon işlemleri pota metalürjisi yöntemiyle gerçekleştirilmektedir [1,3-7]. Deoksidasyon karmaşık bir indirgeme sistemidir. Bu nedenle ilave edilecek malzemelerin tür ve miktarlarının çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Bazı elementler oksijen giderirken intermetalik ve karbürlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yan etkileri azaltmak amacıyla uygun elementlerin doğru miktarda kullanılması gerekmektedir. Özellikle Si, Al, Mg, Ca alaşım olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Bu ilaveler ek maliyetler getirmesine karşın oksijenin istenilen düzeyde tutulabilmesi bakımından gereklidir. İkincil metalürjide (hurdadan üretim) genellikle ark ve indüksiyon fırınları kullanılmaktadır. Bu tür üretimde ise deoksidasyon öncesinde çözünmüş oksijen miktarı 400-800 ppm düzeyinde olabilmektedir. Bu miktarlar çeliğin özelliklerinin kötüleşmesine neden olduğundan düşürülmelidir. Şekil 1'de kütük (ingot) dökümde çözünmüş gazın etkileri gösterilmektedir. Deoksidasyon

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : hasirci@gazi.edu.tr

uygulanmadığında veya yetersiz miktarda uygulandığında ingot içerisinde gelişi güzel dağılmış gözenekler oluşmaktadır. Deoksidasyon sonucunda ise sadece üst kısmında çöküntü şeklinde bir boşluk oluşmaktadır. Bu çöküntü de kolaylıkla ilave tedbirlerle (besleyici, çıkıcı vb.) giderilebilmektedir. Böylelikle gaz gözeneksiz çelik dökümler üretilmesi mümkün olabilmektedir [1-6,9]. Gaz giderilmiş çelikler söndürülmüş veya öldürülmüş olarak ifade edilmektedir. Çünkü bu çeliklerde oksijen aktivitesi azaltılarak veya tamamen engellenerek döküm hataları giderilmektedir. Bu çeliklerde homojen yapı elde edilebilmekte ve bunun sonucunda eş mekanik özellikler sağlanabilmektedir. Herhangi bir çelik parçanın üretiminde iç kısımlarda gaz hataları olduğunda giderilemediğinden dolayı parçalar sakat olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle maliyet artmaktadır.

Aluminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı; birincil ya da ikincil ergitme ile ergimiş metal transferi ve rafinasyon süreçlerinde oksidasyon meydana gelir. Bunun sonucunda amorf (düzensiz) yapıda metalik ya da intermetalik bileşikler oluşmaktadır. Oksidasyon ile cüruf oluşumu tersinir olmayan bir tepkimedir. Yani oluşan oksit termodinamik kararlılığı yüksektir (Gibbs Serbest Enerjisi negatiftir). Al cürufları; Al, Al_2O_3 ile hurda içeriğindeki alaşım elementleri ve kullanılan flakslara bağlı olarak diğer metal oksit, alkali ve halojenli bileşiklerden oluşur. Al cürufunun başlıca özelliği, var olan oksit katmanlarından (bifilm) kafes benzeri yapılar oluşturarak, ergitme sırasında tiksotropik davranışı ile metal damlacıklarını hapsedmesidir. Cüruf içinde hapsolan metal damlacıkları, ergitme sürecindeki metalik Al kaybının temel nedenidir. Ancak cürufun içerdiği metal miktarı ile cüruftan kazanılabilen metal miktarı, metal ergitme, cüruf soğutma ve cüruf ergitme işlemlerine bağlı olarak farklıdır. Diğer bir deyişle cüruf içine hapsolan metalin tamamını kazanmak olanaksızdır. Soğuma sırasında termit reaksiyon (ince toz alüminyum taneciklerinin büyük ölçüde ısıveren reaksiyonları) sonucu tipik olarak dakikada % 1-2 oranında metalik Al kaybı söz konusudur [1-5,8-11]. Al cürufları karmaşık yapıdadır. Bu nedenle; şarj malzemesi ve ergitme teknolojisine bağlı olarak farklı oranlarda; metalik oksitler, nitrürler, karbürler, sülfürler, flaks kaynaklı tuz ve tuz artıkları (NaCl, KCl, Na_3AlF_6 , vs.), diğer kirlilikler, metalik ve metal dışı safsızlıklar ve metalik Al içermektedir [12-14]. Cüruf bileşimi ergitilen malzeme ve ergitme sistemi ile doğrudan ilişkilidir. Farklı ergitme fırınlarında üretilen Al metali içindeki empüriteler incelendiğinde, devrilebilir döner fırınlarda üretilen alüminyumda en önemli empüritelerin oksit esaslı olduğu gözlenmiştir. Öncelikle Al cürufu atık değil, metalik Al içeriğinden dolayı ekonomik değeri olan bir yarı üründür. Yani cüruf değerlendirme işlemlerinin ana amacı, cüruf içindeki metalik alüminyumu kazanmak ve oluşan ikincil cürufu çevre için tehlikesiz forma getirerek, bu cüruftan ekonomik bir değer üretmektir. Ergitme fırınlarda tuz altında cüruf ergitme sonucu oluşan tuz keklerinin açık alanlarda depolanması,

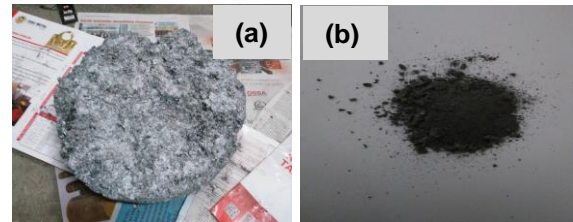
malzemenin su ve ortam nemine ve yağmur sularına olan yüksek reaktiviteleri nedeniyle hidrolizasyon sonucunda liç oluşabilmektedir. Oluşan liç nedeniyle zehirli, zararlı, yanıcı, hatta patlayıcı ve çevreye kötü kokular yayan, NH_3 , CH_4 , PH_3 , H_2 ve H_2S gibi gazlar oluşmaktadır [11-15]. Görüldüğü üzere uygun cüruf seçilip gerekli işlemlerden geçirildiğinde ekonomik bir değer taşımaktadır. Bu ekonomik değer için çelik döküm işlemlerinde alternatif gaz giderici olarak kullanılabilirliğinin araştırılması bu çalışmanın temel amacıdır.



Şekil 1. Gaz giderilmiş (1-3), kısmen giderilmiş (4,5) ve gaz giderilmemiş (6-8) çelik kütük dökümlerindeki gaz gözenek oluşumları [9] (Gas pore formations in degassed (1-3), partially removed (4,5) and non-degassed (6-8) steel billet castings)

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Deneyel çalışmalar için öncelikle piyasada bulunan Al cürufların genel olarak araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan birinci husus Al cürufunun döküm işlemi sonucunda elde edilen ürün olmasıdır. Bunun nedeni döküm sonucu oluşan cürufun içerisindeki Al oranı, cüruf ayrıştırma işlemlerinin sonucu kalan cüruflarından daha fazla olmasıdır. Diğer husus ise, bu cüruf içerisinde tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinde kullanılan malzeme katkıları da bulunmamasıdır. Bu amaçla yapılan piyasa araştırmaları sonucunda tane inceltme ve modifikasyon artıkları içermeyen Al cürufu (Şekil 2.a) tercih edilmiştir. Cüruf öncelikle öğütülerek içerisindeki flaks artıkları döküm işlemlerine etkisi olmaması için temizlenmiştir (Şekil 2.b).



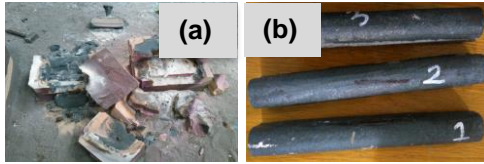
Şekil 2. a) Kütleli Al cürufu ve b) toz haline dekompote edilmiş tuz keki (flaks artığı) görüntüsü (a) Mass Al dross and b) powdered decomposed salt cake (flux residue)

Bu çalışmada döküm için Spectrolab marka spektrometre ile kimyasal bileşimi belirlenmiş (Çizelge 1) GS-52 çeliğinin kullanılması tercih edilmiştir. İlk olarak indüksiyon ocağında GS-52 çelik ham maddesi hazırlanmış ve ergitilmiştir. Ocağın sıcaklığın kontrolü sağlanması için daldırılmalı pirometre cihazları ile sıcaklık

ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık 1640 °C ulaştığında döküm işlemleri; gaz giderme (ya da deoksidasyon) işlemi yapılmadan, ayrı ayrı ağırlıkça % 0.035 oranında Al-Ca-Mg alaşımı ve Al cürufu ile gaz giderme (ya da deoksidasyon) işlemleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada numune üretimi için U-blok model kullanımını tercih edilmiştir. Döküm işlemlerinde kullanılan kalıplar furan reçine bağlayıcılı kumdan üretilmiştir (Şekil 3). Parçaların tamamen soğuması için yaklaşık 5 saat beklenmiştir. Parçalar tamamen soğuduktan sonra kalıplar bozulmuş ve U-bloklar çıkartılmıştır (Şekil 3.a). Daha sonra U-bloktan çubuk şeklindeki numuneler kesilerek ayrılmıştır (Şekil 3.b).

Çizelge 1. GS 52 çeliği kimyasal bileşimi (% ağırlıkça) (Chemical composition of GS 52 steel (% weight))

Alaşım Elementi	% Ağırlıkça
C	0.21
Si	0.55
Mn	0.65
Cu	0.055
Ti	0.002
Al	0.004
Cr	0.05
Fe	Kalan



Şekil 3. Numunelerin görüntüleri; a) Furan reçineli kalıpların bozularak U-blok dökümlerin çıkarılması ve b) kesilmiş çubuklar (Images of samples; a) removal of U-block castings by disrupting Furan resin molds and b) cut bars)

Çelik dökümünde standart işlemlerden olan normalizasyon ısı işlemi, homojen tane yapısı oluşturma ve gerilimlerin giderilmesi için uygulanmıştır. Bu amaçla, dökülen tüm numunelere 900 °C sıcaklıkta 1 saat normalizasyon ısı işlemi uygulanmış ve daha sonra durgun hava ortamında yavaşça soğutulmuştur. Numuneler standart metalografik hazırlık işlemlerinden (kesme, zımparalama ve parlatma) geçirildikten sonra yüzeyler % 2 nital ile dağlanmış. Bu yüzeyler üzerinde mikro yapısal analizler Leica marka mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faz ve tane boyut ölçümleri mikroskobun kendi görüntü analiz programı ile en az üç noktadan gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Emco marka cihaz kullanılarak Brinell sertlik ölçüm metodu ile 2.5 çap bilya ve 187.5 kg yük standardında numunelerin çeşitli noktalarından en az 5 ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri Instron marka cihazda 0.5 mm/dak hızda 3 adet test tekrarı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sırasında numunelerin kopma enerjileri (tokluk) de ölçülmüştür. Sonuçlar kısmında ortalama sonuçlar verilmiştir. Dökülen numuneler SEM-EDS (Tarama Elektron Mikroskobu-Element Difraksiyon Spektroskopisi) element

analizine tabi tutularak özellikle ilave edilen malzemelerden geçen elementlerin miktarları tespit edilmiştir. Oksijen miktarlarının yüzeyden içeriye doğru değişimini göstermek amacıyla XPS analizleri de yapılmıştır. Bu analizler, SPECS EA 300 marka XPS (X Işını Fotoelektron Spektroskopisi) cihazı ile 300 W 0.9 çözünürlükte 0-500 eV enerji düzeyleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Gaz gidermenin etki düzeyinin belirlenmesi amacıyla, Arshimed prensibiyle çalışan yoğunluk kiti kullanılarak havada ve suda tartımlar yapılarak yoğunluk/gözenek oranları da ölçülmüştür. Buna göre; numune önce havada tartılır (A), ardından yoğunluğu bilinen suda (B) tartılır. Katı maddenin yoğunluğu (ρ) Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

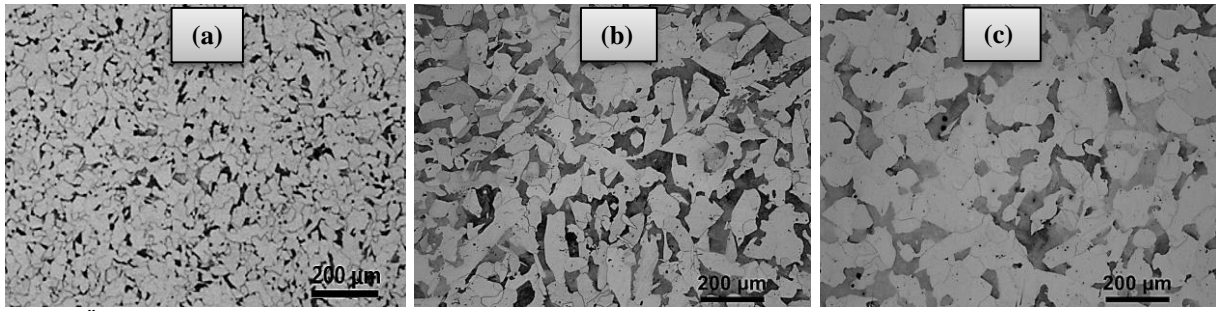
$$\rho = \frac{A}{A-B} (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L \quad (1)$$

(ρ =Numunenin yoğunluğu, A=Numunenin havadaki ağırlığı, B=Numunenin sudaki ağırlığı, ρ_0 = Suyun yoğunluğu ve ρ_L = Havanın yoğunluğu)

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma kapsamında 3 farklı numune üretilmiş, yapısal ve kimyasal analizler yapılmıştır. Gaz giderme yapılmamış, AlCaMg malzemesi ve Al cürufu ile gaz giderilmiş numunelerden elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 4'de verilmektedir. Görüntüler incelendiğinde birbirlerine benzer görünüm ve türde bileşenlere sahip mikroyapıların elde edildiği görülmektedir. GS52 çeliği döküm ve ardından normalizasyon uygulandıktan sonra, genellikle ferritik (açık renkli alanlar) ve perlitik (koyu renkli alanlar) matris yapılarından meydana geldiği tespit edilmiştir. Gaz giderme uygulanmamış numunede (Şekil 4.a) daha ince tanelerin meydana geldiği, AlCaMg ve Al cürufu ile işlem yapılanlarda ise daha iri tane yapısının meydana geldiği görülmektedir. Döküm parçaların üretiminde; başka teknikler (sıcaklık kontrolü, hızlı soğutma, titreşim, basınç vb.) bulunmasına karşın, tane yapı ve boyutları özellikle işlem kolaylığı nedeniyle bazı ilaveler yapılarak (aşılmalı ve/veya element ilavesi) kontrol edilmektedir. Bu çalışmada sadece alaşım elementi ilavesi yapılmıştır. Gaz giderme işlemlerinde kullanılan elementler veya bunların içerisinde bulunabilen metalik bileşenler çekirdek oluşturucu görevi yapabilmekte ve buna bağlı olarak tane boyutu da küçülebilmektedir. Gaz giderme işleminde kullanılan Al cürufu malzemesi içerisinde daha fazla bulunan Al, Si ve Ti gibi elementler tane boyutuna dikkate değer etki yapmamışlardır. Özellikle toplamda % 0.035 oranında Al cürufu ilavesi yapıldığı düşünüldüğünde, bu oran metal hacmi ile orantılandığında çok düşüktür. Ayrıca, bu elementlerin tümü yüksek oranda oksijene ilgileri nedeniyle deoksidasyon sırasında tüketilmiştir. Deoksidasyondan sonra tane inceltme yapacak oranda sıvı çelikte bu elementlerin kalmaması nedeniyle; gaz giderilmemiş numune (Şekil 4.a) ve AlCaMg ilave edilen numuneye (Şekil 4.b) kıyasla, Al cürufu ilave edilmiş numunede (Şekil 4.c) tane boyutu daha kaba olmuştur. Diğer

yandan, gaz giderme uygulanmamış numunede (Şekil 4.a) ise; bahse konu elementler ve intermetalikler dışarıdan ilave edilmemesine karşın en küçük tane boyutu elde edilmiştir. Katılma sırasında bazı oluşumlar (intermetalikler, oksitler, gaz molekülleri vb) de çekirdeklenme için başlangıç noktaları oluşturmaktadır [16]. Bunlar gaz giderme işlemi ile temizlenmediğinde mekanik olarak çatlak başlangıcı oluşturma ve yorulma ömrünü azaltma gibi olumsuz etkilere neden olsalar da [5-8,16], çekirdek oluşumunu da teşvik etmektedirler. Bu nedenlerle gaz giderilmemiş numunede bu oluşumlara bağlı olarak çekirdeklenme artmış ve tane boyutu ise küçülmüştür. Diğer yandan optik spektrometre analiz sonuçları gaz gidermenin etkilerini göstermek bakımından yeterli olmadığından,



Şekil 4. Üretilen numunelerin mikro yapı görüntüleri, (a) Gaz gideme uygulanmamış, (b) AlCaMg ile gaz giderme uygulanmış ve (c) Al cürufu ile gaz giderme uygulanmış (Microstructure of the produced samples, (a) non-degassed, (b) degassed with AlCaMg and (c) degassed with Al dross)

SEM-EDS ölçümlerine ilave olarak; yüzeyden merkeze doğru oksijen miktarının değişimini göstermek amacıyla XPS ölçümleri de yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. XPS analizleri özellikle gaz atomlarının tespiti ve yüzeyden içe doğru değişimini de verdiği için tercih edilmiştir. XPS sonuçları incelendiğinde; gaz giderme uygulanmamış numunede yüzeyde 780 ppm olan oksijen düzeyi merkezde 340 ppm’e, AlCaMg ilavesiyle yüzeyde 710 ppm olan oksijen düzeyi merkezde 320 ppm’e ve Al cürufu ilavesiyle de yüzeyde 720 ppm olan oksijen düzeyi merkezde 250 ppm’e kadar azalmaktadır.

Bu sonuçlar, Al cürufu ile gaz giderme işlemlerinin sağladığı faydaları göstermesi bakımında son derece önemlidir. Hem SEM-EDS ve hem de XPS sonuçları birlikte incelendiğinde; gaz giderme işlemlerinin oksijen miktarını önemli oranda azalttığı, öte yandan Al cürufunun daha etkili olduğu açıkça görülmektedir. Al cürufu kullanıldığında daha etkin bir gaz giderme yapılabildiği için ve ticari kullanımda olan AlCaMg malzemesinden daha iyi sonuçların elde edilebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca gaz giderme işlemlerinin sağladığı faydaların daha iyi gösterilebilmesi için Arshimed yöntemi ile ölçülen gözenek oranları (Çizelge 2 ve Şekil 6) incelendiğinde; gaz giderme uygulanmamış numunede oksijen miktarının daha yüksek olması sebebiyle gözenek miktarı da daha fazla olurken, gaz giderilmiş numunelerde gözenekler önemli oranda azalmıştır.

bu amaçla önce SEM-EDS analizleri yapılarak bir kısmı Şekil 5, Şekil 6 ve Çizelge 2’de verilmiştir. Testler, genel dağılımı göstermek amacıyla numune yüzeyinde yaklaşık 70-80 mm² alanı kapsayacak şekilde yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; gaz giderme işlemine bağlı olarak oksijen miktarının azaldığını açıkça göstermektedir. Gaz giderme uygulanmamış numunede ortalama 746 ppm olan oksijen miktarı, AlCaMg ilavesiyle 585 ppm’e ve Al cürufu ilavesiyle de 203 ppm’e kadar indirilebilmiştir. Bu sonuçlara göre; Al cürufu kullanıldığında çok daha iyi oksijen giderilebildiği (\cong % 268), hatta AlCaMg malzemesinden daha iyi sonuçların (\cong % 188) elde edilebildiği görülmüştür.

Başlangıçta gaz giderilmediğinde % 7 olan gözenek miktarı, AlCaMg malzemesi kullanılan numunede % 2.6’ya ve Al cürufu kullanılan numunede ise % 2.1’e kadar azalmıştır. Gaz giderme uygulanmamış numuneyle kıyaslandığında; AlCaMg malzemesi kullanılan numunede yaklaşık olarak % 169 oranında gözenek miktarı azalırken, Al cürufu kullanılan numunede ise % 218 oranında azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Üretilen bu numunelerde, mekanik özelliklere etkilerinin fazla olması nedenleriyle tane boyutu ve perlit hacim oranı ölçümleri de yapılmıştır. İnceleme sonuçları Çizelge 2 ve Şekil 6’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında; gaz giderme uygulanmamış numunede % 18 olan perlit hacim oranı, AlCaMg ilavesiyle % 24’ye ve Al cürufu ilavesiyle de % 30’a kadar artmıştır. Al cürufu ilavesiyle perlit hacmi \cong % 67 oranında artış göstermiştir. Al’un çelik malzemelerde, C atomlarının difüzyonunu sınırlayarak perlit oluşumunu teşvik ettiği bilinmektedir.

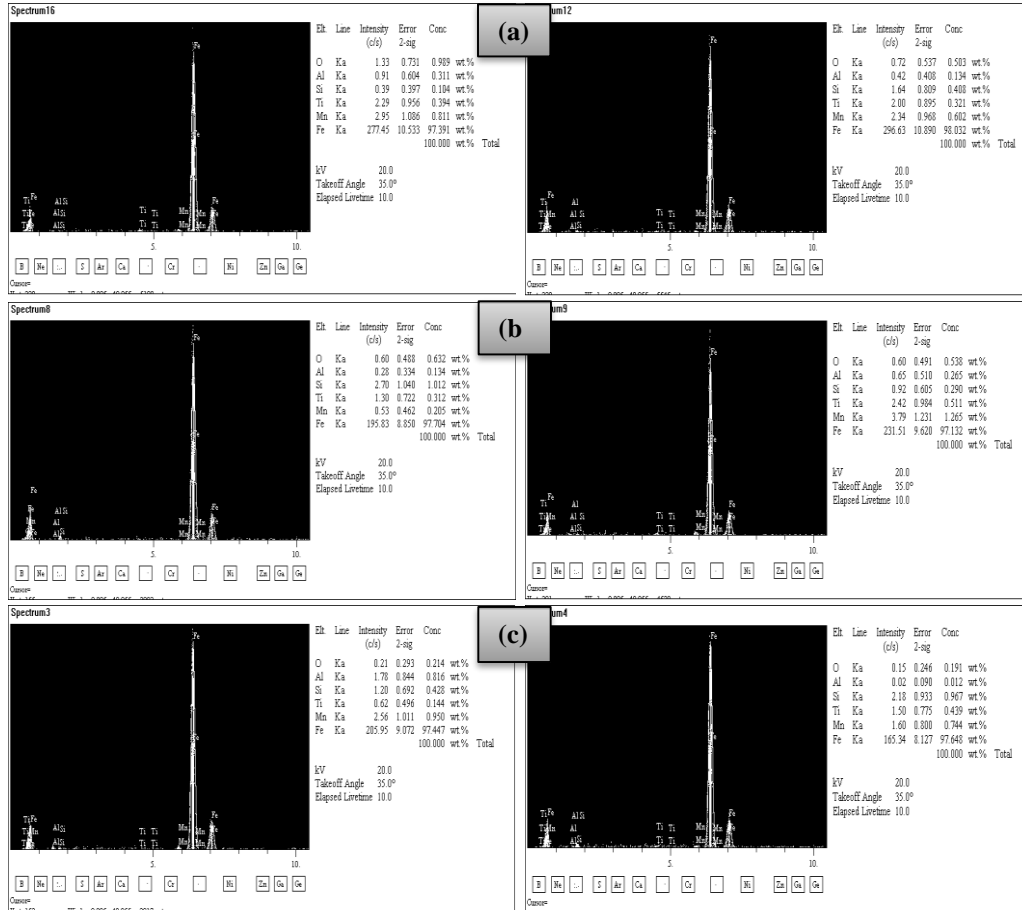
Bu nedenle gaz giderilmiş numunelerde Al miktarının artması neticesinde perlit oranı da artmıştır. Perlit oranına benzer şekilde gaz giderme uygulanmamış numunede 50 µm olan tane boyutu, AlCaMg ilavesiyle 98 µm’ye ve Al cürufu ilavesiyle de 127 µm’a kadar artmıştır. Gaz giderme işlemleri neticesinde; tane boyutu küçülmemiş, ancak daha önce de bahse konu olan nedenlerden dolayı özellikle Al miktarındaki artışın (Şekil 5) etkisiyle perlit hacim oranını yükselmiştir (Şekil 4 ve 6). Bu oksijen ve gözenek oranı ile tane boyutu ve perlit oranındaki

değişimler mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Çekme testleri sonucunda elde edilen uzama, çekme ve akma dayanım sonuçları Şekil 7’de ve çekme sırasındaki kopma enerjisi (tokluk) değişimleri ise Şekil 8’de verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; gaz giderme sonucunda gözenek ve gaz konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak (Şekil 5 ve 6) çekme ve akma dayanımları ile kopma enerjileri artarken, süneklik ise azalmıştır.

Bu sonuçların meydana gelmesinde etkili olan birinci faktör gaz gözenekleri olurken, ikinci faktör ise tane boyutu ve üçüncü en önemli faktör ise mikroyapıdaki perlit oranındaki değişimlerdir (Şekil 4, Şekil 6).

Bu değişimlere bağlı olarak; AlCaMg malzemesi ve Al cürufu kullanıldığında sırasıyla çekme dayanımında \cong % 4-10, akma dayanımında \cong % 2-9, kopma enerjisinde \cong % 2-3, sertlikte ise \cong % 2-9 artış meydana gelirken, uzamada ise \cong % 6-14 oranında azalma olmuştur.



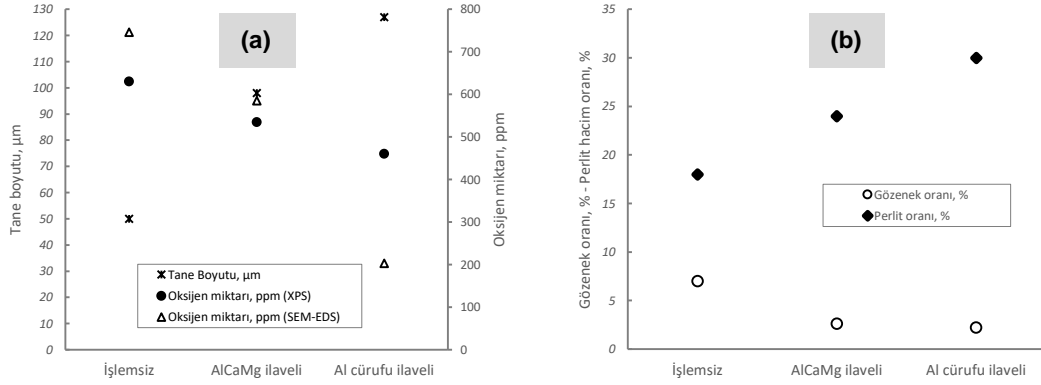
Şekil 5. Üretilen numunelerin SEM-EDS analizleri, (a) Gaz giderme uygulanmamış, (b) AlCaMg ile gaz giderme uygulanmış ve (c) Al cürufu ile gaz giderme uygulanmış (SEM-EDS analysis of the produced samples, (a) non-degassed, (b) degassed with AlCaMg and (c) degassed with Al cross)

Çizelge 2. Üretilen numunelerden elde edilen; (a) oksijen miktarları (XPS ve SEM-EDS analizi) ve tane boyutu, (b) gözenek ve matris yapı perlit hacim oranları (Obtained from the samples produced; (a) oxygen content (XPS and SEM-EDS analysis) and grain size, (b) density and matrix structure perlite volume ratios)

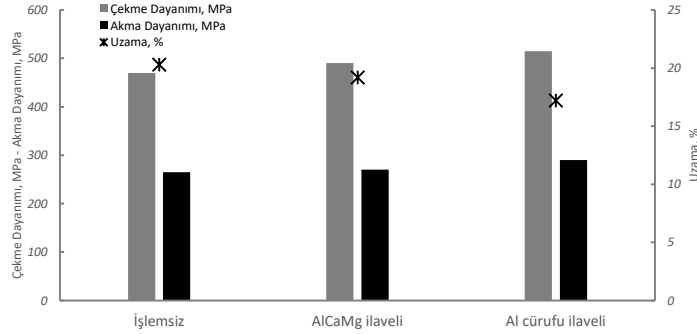
	Gaz giderme uygulanmamış	AlCaMg ilaveli	Al cürufu ilaveli
Oksijen miktarı, ppm (SEM-EDS)	989-503→746	632-538→585	214-191→203
Oksijen miktarı, ppm (XPS)	780→340	710→320	720→250
Tane boyutu, μm (\pm 4.2)	50	98	127
Perlit hacim oranı, % (\pm 3.4)	18	24	30
Gözenek oranı, % (\pm 0.4)	7	2.6	2.1

Metalik malzemelerde tane boyutunun azalmasıyla Hall-Petch kuramına göre dayanım artmaktadır. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırı artmaktadır. Bu değişimlere bağlı olarak sertlik de artmakta, ancak genellikle uzama azalmaktadır. Gaz giderme uygulanmamış numunede perlit miktarının daha az olması nedeniyle daha yüksek süneklik elde edilmiştir. Üretilen numunelerin sertlikleri de ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; gaz giderme yapılmamış malzemede 265

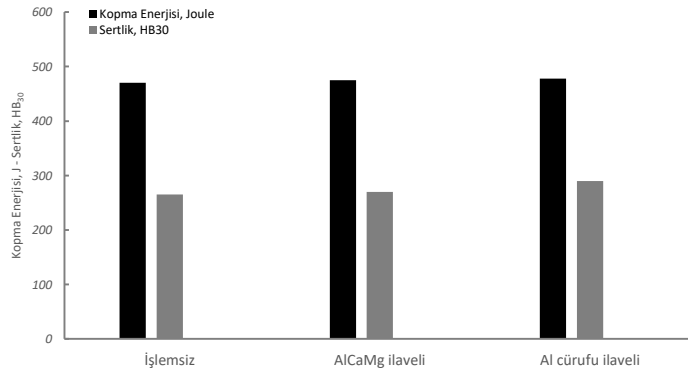
HB olan sertlik değerinin, AlCaMg malzemesi kullanıldığında \cong % 1.8 artışla 270 HB'e ve Al cürufu kullanıldığında ise \cong % 11.5 artışla 290 HB'e yükseldiği görülmektedir. Çelik malzemelerde sertliği alaşım elementleri tür ve miktarları, küçük tane boyutu ve sert faz hacim oranlarının yüksekliği belirlemektedir. Bu çalışmada özellikle perlit hacim oranının artmasına bağlı olarak sertliğin de arttığı tespit edilmiştir



Şekil 6. Üretilen numunelerden elde edilen; (a) oksijen miktarları (SEM-EDS analizi) ve tane boyutu, (b) yoğunluk ve matris yapı perlit hacim oranları (Obtained from the samples produced; (a) oxygen content (SEM-EDS analysis) and grain size, (b) density and matrix structure perlitite volume ratios)



Şekil 7. Üretilen numunelerden elde edilen % uzama, çekme ve akma dayanımı sonuçları (% Elongation, tensile and yield strength results obtained from produced samples)



Şekil 8. Üretilen numunelerden elde edilen kopma enerjisi ve sertlik sonuçları (Breaking energy and hardness results obtained from produced samples)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Yapılan test ve analizler sonucunda;

- ❖ Çelik malzemelerin döküm işlemlerinde mikroyapısal ve mekanik özelliklerin

geliştirilebilmesi için mutlaka gaz giderme (veya deoksiasyon) yapılmasının gerektiği,

- ❖ Mikroyapı görüntülerine bakıldığında, gaz giderme uygulanmamış numunede hem AlCaMg ile işlem yapılmış hemde Al cürufu ile deoksiasyon edilmiş

- numuneye kıyasla daha ince tane yapısının elde edilebildiği,
- ❖ SEM-EDS ve XPS analizleri sonuçları ve yoğunluk analizlerinden malzeme içerisindeki oksijen miktarları incelendiğinde, diğer numunelere kıyasla Al cüruf kullanılarak üretilen numunede daha iyi gaz gidermenin yapılabildiği,
 - ❖ Al cürufu ile gaz giderilmiş numunenin; AlCaMg ilavesiyle üretilmiş numuneye göre çekme ve akma dayanımı ile kopma enerjisi ve sertliğinin daha da geliştirilebildiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde sağladıkları katkılar nedeniyle; 1139B411500372 kodlu projeye verdikleri destek nedeniyle TÜBİTAK'a, Al cürufunun teminindeki desteklerinden dolayı Yıldız Teknik Model Döküm ve döküm işlemlerinin gerçekleştirilmesinde gösterdikleri çaba ve katkılar nedeniyle Real Çelik Döküm firmasına teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Capurro C., Cerrutti G. and Cicutti C., "Influence of vacuum degassing on steel cleanliness", *9th International Conference on Clean Steel*, Budapest, Hungary, (2015).
- [2] Miltenberger R. S., Miltenberger, W. and Weirton V., "Process for preparing killed low carbon steel and continuously casting the same, and the solidified steel shapes thus produced", *Patent no: US3793000A*, (1972).
- [3] Chernyshov, E.A., Pichugina, E.Y. and Baev, I.M. "Effect of liquid metal degassing on alloy steel billet quality", *Metallurgist*, 58(1-2): 28-30, (2014).
- [4] Zhang L., Thomas B.G., Wang X. and Cai K, "Evaluation and control of steel cleanliness – Review", *85th Steelmaking Conference Proceedings*, ISS-AIME, Warrendale, PA, 431-452, (2002).
- [5] Laurent H., Pär J. and Reinholdsson, F., "The effect of deoxidation practise on inclusion characteristics in bearing steel production", *Steel Times International; Redhill*, 21 (6): 47-48, (1997).
- [6] Campbell J., "Effects of vibration during solidification", *Journal International Metals Reviews*, 26(1): 71-108, (2013).
- [7] Campbell, J., "Castings Practice: The ten rules of castings", *Butterworth-Heinemann*, 1st Edition, 1-224, (2004).
- [8] Lipiński T. and Wach A., "The effect of fine non-metallic inclusions on the fatigue strength of structural steel" *Archive of Metallurgy and Materials*, 60(1): 65–69, (2015).
- [9] Steel Deoxidation: Part One, *Total Materia*, <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=216>, (2019).
- [10] Z. Ma, A. Franke and D. Janke: "Improvement of castibility and quality of continuously cast steel by alternative deoxidation techniques", *Technical report*, TU Freiberg, (1999).
- [11] Janke D., Ma Z, Valentin P. and Heinen A., "Improvement of castability and quality of continuously cast steel", *ISIJ International*, 40(1): 31-39, (2000).
- [12] Manfredi O., Wuth W. and Bohlinger I., "Characterizing the physical and chemical properties of aluminium dross", *JOM*, 49(11): 48-51, (1997).
- [13] Hwang J.Y., Huang X. and Xu Z., "Recovery of metals from aluminium dross and saltcake", *Journal of Mineral&Materials Characterization&Engineering*, 5: 47-62, (2006).
- [14] Hryn J.N. and Daniels E.J., "Recycling aluminum salt cake,process engineering section, energy systems division", Argonne National Laboratory, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(23): 8852-8857, (2005).
- [15] Yücel O. ve Car E., "Alüminyum curuflarının değerlendirilmesi ve kalsiyum alüminat sentetik curuf yapıcı üretimi", *Metalurji Dergisi*, 175: 35-43, (2015).
- [16] Dimitrios S., "On deoxidation practice and grain size of austenitic manganese steel", *Licentiate thesis in Materials and Manufacturing, Jönköping University School of Engineering*, 1-57, (2017)