



### Çağlar Yüksel

Atatürk University, cyuksel@atauni.edu.tr, Erzurum-Turkey  
**Muhammet Cemal Öztürk, Yusuf Basri Balcı, Hüseyincan Eker,  
Mustafa Çiğdem**

Yıldız Teknik University, İstanbul-Turkey  
f2717008@std.yildiz.edu.tr; yusufbasribalci@gmail.com;  
canecker1994@gmail.com; cigdem@yildiz.edu.tr

### Derya Dışpınar

İstanbul University, deryad@istanbul.edu.tr, İstanbul-Turkey  
**Uğur Aybarç**

<sup>4</sup>CMS Jant ve Makina Sanayi A.Ş., uaybarc@cms.com.tr İzmir-Turkey

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0146">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0146</a>	
ORCID ID	0000-0001-9591-6430	0000-0002-7639-9631
	0000-0002-5221-3249	0000-0002-3149-4168
	0000-0002-2966-6506	0000-0001-9550-6933
	0000-0002-5646-351X	
CORRESPONDING AUTHOR	Çağlar Yüksel	

## ULTRASONİK GAZ GİDERME YÖNTEMİ İLE METAL KALİTESİNİN ARTIRILMASI

### ÖZ

Bu çalışma, hurda A356 alüminyum alaşımının sıvı metal kalitesi arttırılarak mekanik özelliklerin geliştirilmesi aynı zamanda ikincil alüminyum kullanımını arttırmak amacıyla yapılmıştır. Tamamen döndü yani %100 ikincil alüminyumdan 5kg'lık şarj hazırlanmıştır. Ultrasonik gaz giderme işlemi 750°C'de 60, 120 ve 180 sn olmak üzere üç farklı sürede uygulanmıştır. Vakum altında katılaştırma testi (VAK=RPT) kullanılarak saptanan Bifilm İndeksi ile ergiyik metal kalitesi sayısallaştırılmıştır. Ayrıca saflaştırılan sıvı metalin mekanik dayanç değerlerinin tespiti için de çekme testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ışığında ultrasonik gaz giderme işleminin geleneksel eritken (flaks) ve tepkimez gazlar (N<sub>2</sub>, Ar) gibi gazların kullanımı ile ulaşılan Bifilm İndeksi (Bİ) değerlerinden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber ultrasonik gaz giderme süresinin artışı ile sıvı metal kalitesinin artışı arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrasonik Gaz Giderme, Sıvı Metal Kalitesi, Bifilm İndeksi, Hurda Alüminyum, Metal

## INCREASING METAL QUALITY WITH ULTRASONIC DEGASSING METHOD

### ABSTRACT

In this study, with enhanced melt quality scrap A356 aluminum alloy it is aimed to improve mechanical properties as well as to use more secondary aluminum amount on charge. Fully secondary aluminum melted down in 5kgs of charges. Ultrasonic degassing was performed 60, 120 and 180 s in three different process time at 750°C. Melt quality became numerical form via obtained Bifilm Index from reduced pressure test (RPT). In addition, tensile test was applied to find out values of mechanical properties of refined liquid metal. In the light of observed results, ultrasonic degassing process seemed much more effective than process that include both fluxing and inert gases (Ar, N<sub>2</sub>) on liquid metal refining. However, there is linear correlation between liquid metal quality and increasing ultrasonic degassing time.

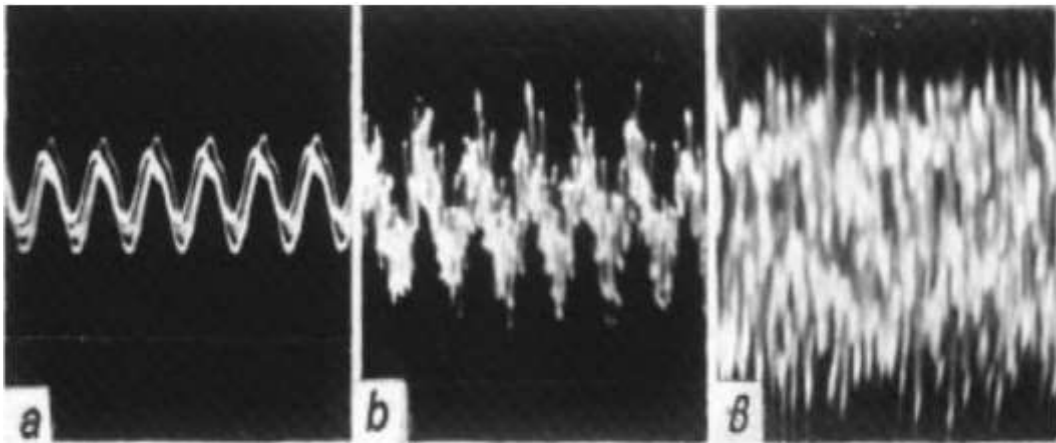
**Keywords:** Ultrasonic Degassing, Liquid Metal Quality, Bifilm Index, Scrap Aluminum, Metal

### How to Cite:

Yüksel, Ç., Öztürk, M.C., Balcı, Y.B., Eker, H., Çiğdem, M., Dışpınar, D. ve Aybarç, U., (2018). Ultrasonik Gaz Giderme Yöntemi İle Metal Kalitesinin Artırılması, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 13 (2): 172-179-, DOI:10.12739/NWSA.2018.13.2.2A0147.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum ve alaşımlarının artan kullanım alanlarından dolayı temiz ve ucuz hammaddeye ihtiyaç artmaktadır. Birincil alüminyum ile ikincil alüminyum arasındaki kalite farkı özellikle uzay, havacılık, savunma ve otomotiv sektörlerinde üreticileri birincil alüminyum kullanımına yönelmesine sebep olmaktadır. Hurda alüminyumun proses edilirken istemeden kirletilmesi, proses içerisindeki işlem basamaklarının doğru uygulanmaması, yağlı veya nemli hammadde ile hazırlanmış şarjın kullanılması ikincil alüminyuma olan güvenin kırılmasına sebep olmaktadır [1]. Dışpınar [2] doktora çalışmasında alüminyum ve alaşımlarındaki bu çift katlı oksit filmlerinin sayısını ortaya koyarak metal kalitesini sayısallaştırmayı başarmıştır. Geliştirdiği yönteme de Bifilm İndeksi ismini vermiştir. Yüksel [3] daha sonra doktora çalışmasında Dışpınar'ın geliştirdiği Bifilm İndeksini kullanarak eritken (flaks) ekleyerek iyileştirilen sıvı metal kalitesini ölçmüştür. Ölçümlerde eritken kullanımı ile metal içerisindeki çift katlı oksitlerin giderildiği ve metalin arıtıldığı tespit edilmiştir. Eskin [4] ise 1960'lerde ultrasonik işlemin sıvılar içerisindeki davranışlarını incelemiş, uygulamayı sıvı metallerde tatbik etmiştir. Ergiyik metal üzerine bir ultrason uygulandığında ergiyik içerisinde oyuklanma (kavitasyon) ortaya çıkar. Güçlü bir ultrason oluşumunun meydana geldiği eşik üzerinde ( $\sim 0,8$ -1MPa) değişken basıncın uygulanması vasıtasıyla sıvı içerisindeki süreksizliklerin (örn. çift katlı oksit filmi-bifilm) bulunduğu yerlerde sıvı parçalanır ve oyuklanma boşluğu alanları oluşur. Sıvının parçalandığı bu bölgelerde oluşan oyuklanmalar ya da kabarcıklar ultrasonik etki altında farklı şekilde davranış sergileyebilirler. Bir kısmı bütün hacimlerinde gaz miktarında herhangi bir değişim olmaksızın atım (pulse) yapabilir iken, diğer bir kısmı da sıvı metalden kabarcığın içerisine tek yönlü yayını ve ses dalgasının çeki gerilmeleri etkisine bağlı olarak da büyüme sergilerler. Bununla birlikte başka bir kabarcık kısmı da ergiyikteki çözünmüş gaz ile dolmaya zaman bulamadan ses dalgalarının bası kuvvetlerinin etkisiyle şişmeden söner. Şekil 1'de hafif metal alaşımlarının ergiyiklerinde gözlemlenen ultrasonik işlemin üç rejiminin tipik salınım eğrilerini (oscillograms) göstermektedir [5].



Şekil 1. Hafif alaşım ergiyiklerinin ultrasonik işlemi için tipik salınım eğrileri (oscillograms): a) oyuklanma yok; b) oyuklanma eşiği/başlangıcı; c) gelişmiş oyuklanma [5]  
(Figure 1. Typical oscillograms for the ultrasonic treatment of light alloy melts: a) without cavitation; b) cavitation threshold; c) developed cavitation)



## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada ultrasonik gaz giderme yöntemi kullanılarak alüminyum ve alaşımlarının içerisindeki en zararlı olgu olan bifilmli gidermek amaçlanmıştır. Hurda A356 alüminyum alaşımında Bİ kullanılarak ultrasonik gaz gidermenin etkisi sayısal olarak ortaya konmuştur. Bu veriler ile mekanik özellikler ilişkilendirilerek malzemenin dayanım değerleri ortaya konmuştur.

Alüminyum ve alaşımlarının sıvı metal temizliği doğrudan döküm karakteristiklerine etki ettiği için mutlak suretle temiz bir ergiyik ile çalışılması gerekmektedir. Temiz bir ergiyiğin niteliğinin ne olduğunun tespiti için PREFILL, PoDFA, Bifilm İndeksi, Yoğunluk İndeksi gibi sanayide birçok uygulama ve cihaz bulunmaktadır. Bu sistemlerin içerisinde oldukça pahalı ve her dökümhanenin kolayca tedarik edemeyeceği yöntemler de mevcuttur. Bu çalışmada diğer yöntemlere göre açık ara ucuz, tekrarlanabilir, güvenilir bir yöntem olan Bifilm İndeksi (Bİ) kullanılarak sıvı metalin sayısallaştırılması gerçekleştirilmiştir. Sıvı metalin niteliğinin belirlenmesi kesinlikle çok önemli bir değişken olmakla birlikte bu temizliğin ne şekilde hangi yöntemlerle ne kadar sürelerde ortaya çıkartıldığı da en az sayısallaştırma kadar önemli bir değişkendir. Sanayide gaz giderme prosesi olarak bilinen sistemler için artık konvansiyonel olarak kabul edilen tablet (hegzakloreten), üfleç (lance), döner çark (impeller) kullanılarak sıvı metal temizliği ya da arıtılması sağlanmaktadır. Ancak bu yöntemler ile birlikte mutlaka kullanılan eritken (flaks) kendi tabiatıyla oldukça yüksek yenim (korozyon) özelliğe sahiptir. Bir de sıvı metal içerisinde tepkimeye sokularak hem fırın, hem uygulayıcıyı (işçi) hem de çevreyi ciddi ölçüde tehdit etmektedir. Bu prosesler neticesinde ortaya çıkan artık tuzların da atık yönetimi içerisinde bertaraf edilmesi de ayrıca hem maddi hem de çevresel ehemmiyete sahiptir. Ancak ultrasonik gaz giderme sisteminden herhangi bir eritken kullanımı söz konusu olmadığından dolayı daha çevreci, daha kararlı, daha temiz ve uygulaması daha kolay bir yöntemdir. Bu sebeple bu yöntem kullanılarak ergiyik içerisindeki kirlilikler (Bifilmli=Çift Katlı Oksitler) giderilerek daha temiz bir metal eldesi amacı güdülmüştür. Bu çalışmanın ortaya koyduğu çıktılar klasik bir akademik çalışma olarak bakılamaz, doğrudan doğruya sanayi için çok büyük önem arz etmektedir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

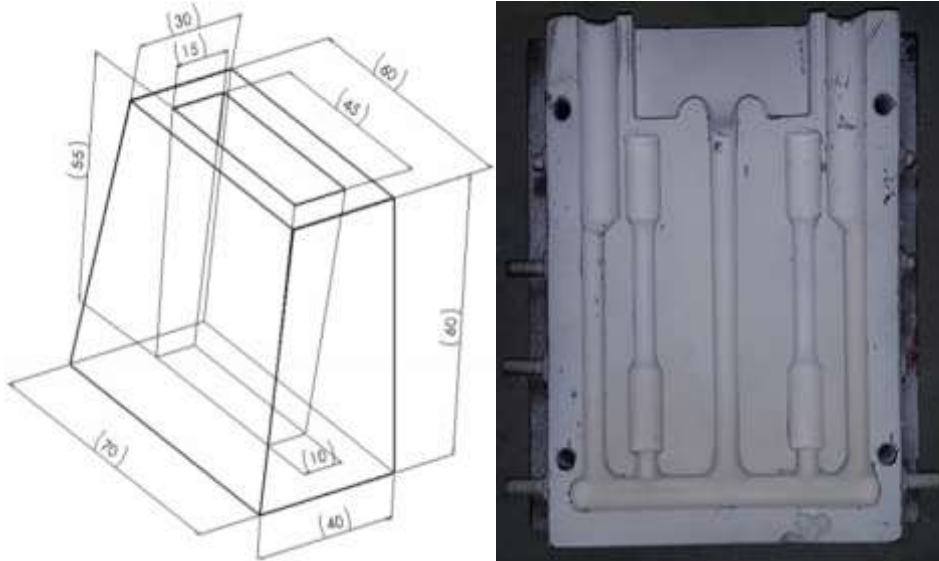
Hammadde olarak ikincil alüminyum olan döndü alüminyum kullanılmıştır. Ergitme işlemleri elektrik dirençli fırında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1'de ikincil alüminyumun kimyevi bileşimi verilmektedir. Deneylerde Şekil 2(a)'da gösterilen Rtul Marka 3kW'lık güce sahip ve 19.8kHz'lik frekans üreten ultrasonik gaz giderme cihazı kullanılmıştır. 750°C sıcaklıkta Şekil 2(b)'deki VAK (RPT) cihazı kullanılarak Şekil 3'de gösterilen bifilm numunesi ve çekme çubuğu kalıplarına sıvı metalin ilk durumunu karakterize edebilmek için referans dökümler yapılmıştır. Daha sonra 750°C sıcaklıkta sıvı metale 60, 120, 180sn'de ultrasonik gaz giderme uygulanmıştır. Her bir ultrasonik gaz giderme süresi için 2 adet çekme çubuğu numunesi ve 1 adet VAK numunesi alınmıştır. VAK numuneleri kesiti ortaya koymak için ikiye kesilmiş, sonra tarayıcıdan taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sigma Scan programı ile Bİ analizi yapılmıştır.

Tablo 1. Döndü alüminyumun kimyevi bileşimi  
(Table 1. Chemical composition of secondary aluminum alloy)

Si	Mg	Fe	Ti	B	Ni	Sr	Al
7.29	0.27	0.7	0.11	0.0015	0.007	0.016	91.61

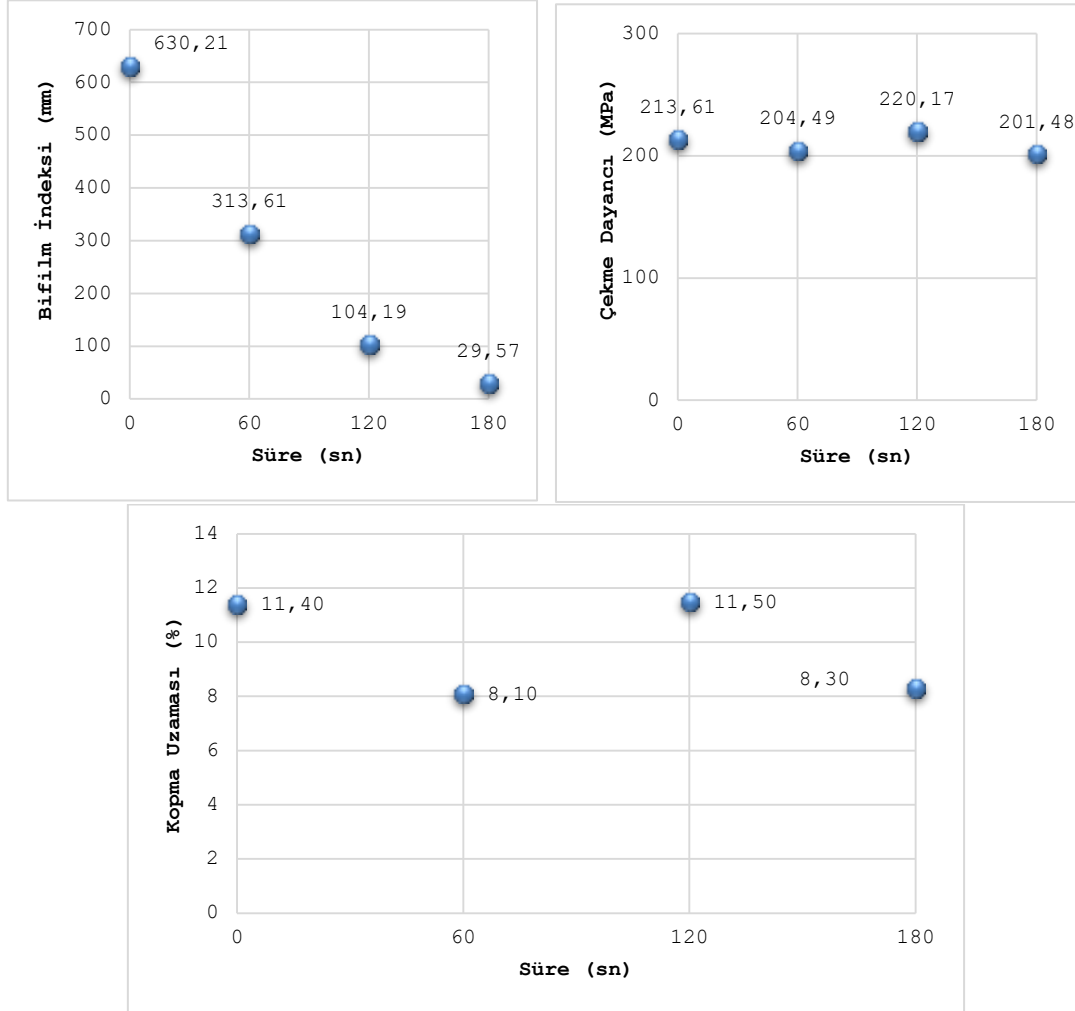


Şekil 2. (a) Ultrasonik gaz giderme cihazı ve (b)VAK(Vakum Altında Katılaştırma=RPT) cihazı  
(Figure 2. (a) Ultrasonik degassing equipment, (b) Reduced Pressure Test Equipment)



Şekil 3. (a) VAK kalıbı; (b) Çekme çubuğu kalıbı  
(Figure 3. (a) RPT mould; (b) Tensile test mould)

Şekil 4'de ultrasonik gaz giderme süresinin Bİ ve mekanik özelliklere etkisi verilmektedir. Şekil 4(a)'da ultrasonik gaz giderme ile Bİ, (b)'de ultrasonik proses süresi ile çekme dayanıcı ve son olarak (c)'de kopma uzaması ile ultrasonik etki arasındaki ilişkiler ortaya konulmaktadır.



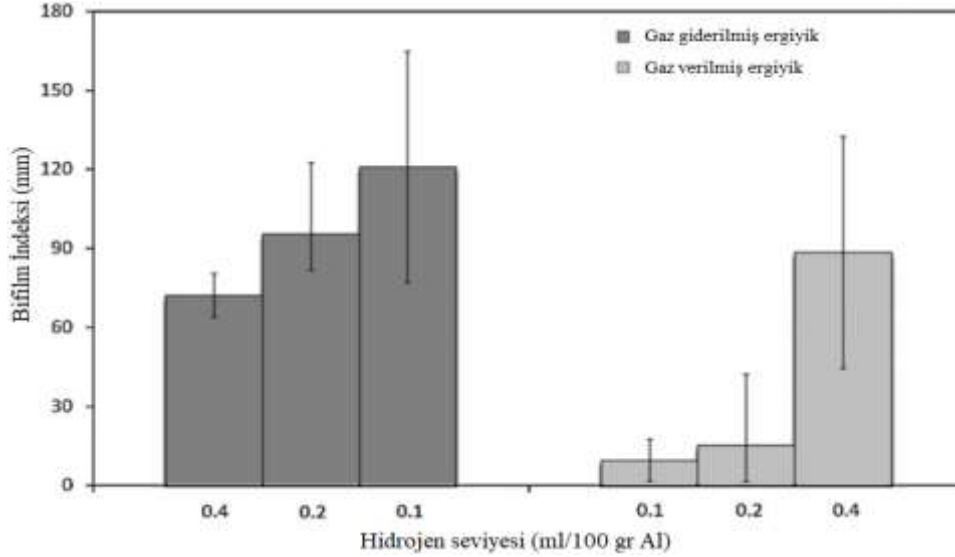
Şekil 4. (a) Ultrasonik gaz giderme süresi ile Bİ; (b) Ultrasonik gaz giderme süresi ile çekme dayanıcı ve (c) Ultrasonik gaz giderme süresi ile kopma uzaması arasındaki ilişki

(Figure 4. Correlations between(a)ultrasonic degassing and BI; (b) ultrasonic degassing and UTS; and (c) ultrasonic degassing and elongation)

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

Literatürde veya uygulamada yıllardır alüminyum ve alaşımlarındaki kabul gören en büyük sorun çözünmüş gaz değil aksine bifilmidir. Özellikle döküm alaşımlarındaki gibi geniş katılaşma aralığına sahip alaşımlarda yapı içerisinde bifilm bulunuyorsa katılaşmanın etkisi ile dendritler bu çift katlı oksit filmlerini tane sınırlarına kadar itebilirler [2, 3 ve 6]. Olası bir dinamik ya da statik yük altında çalıştıklarında bu bölgelerde bulunan bifilm çentik ya da çatlak etkisi yapmasıyla malzemelerin dayanım değerlerinde ve çalışma ömürlerinde öngörülen değerlerin çok altında olduğu görülmektedir. Dışpınar, vd. [7 ve 8] yapı içerisindeki bulunan

hidrojenin aslında mekanik özellikler açısından zararlı olmadığını asıl sorunun çift katlı oksit filmleri olduğunu göstermişlerdir. Dışpınar [2] ayrıca kendi doktora çalışmasında farklı alaşımlardaki farklı hidrojen miktarlarının da bifilmde yoksun ergiyiklerde aşırı doygun halde yapı içerisinde bulunduğunu ve zararlı bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Şekil 5'de farklı hidrojen miktarlarındaki ergiyiklerin ve işlemlerin bifilmle ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 5. Hidrojen seviyesi ve işlem ile Bİ İndeksi değişimi [7]  
(Figure 5. Variations of hydrogen content and process via BI)

Ergiyik ilk başta yüksek hidrojen seviyelerine yükseltildiğinde daha sonra düşük gaz seviyelerine düşürüldüğünde Bİ sırasıyla 70, 90 ve 120mm biçiminde değişmiştir (gaz giderilmiş). Bu şekildeki hidrojen miktarı değişiminde artan hidrojen miktarından dolayı gözeneklerin boyutunun da artacağı olasıdır. Diğer deneyde ise ergiyik önce düşük seviyelere düşürülüp daha sonra orta ve yüksek seviyelere yükseltildiğinde Bİ sırasıyla 10, 15 ve 95mm şekilde değişmiştir [7]. Buradan hidrojen miktarının Bİ üzerine baskın bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Şekil 4'de gösterilen mekanik özellikler ve sürenin Bİ ile değişiminden de hurda alüminyumun ultrasonik gaz giderme prosesi ile birlikte öncelikle temiz bir ergiyiğe ulaşıldığı açıkça görülmektedir. Çekme dayançları ısıl işlemsiz döküm haliyle 200MPa üzerine çıkmıştır. Kopma uzaması değerleri de ortalama 210MPa civarındaki çekme dayanıcı değerleri göz önüne alındığında nispeten tutarlı olarak ortalama %10'luk değerler sergilemiştir. Ayrıca Bİ'de artan ultrasonik gaz giderme süreleri ile azaldığı görülmektedir. Buradaki mekanizma ergiyik içerisindeki çözünmüş hidrojenin bifilmle ilişkisine yayılarak yüzeye doğru yükseldiği düşünülmektedir. Bu şekilde artan gaz giderme süreleri ile daha temiz ergiyik elde edilmiştir. Yüksel [3] de Bİ kullanarak sayısallaştırdığı sıvı metal kalitesini mekanik özellikler ile ilişkilendirerek sıvı metalin temizliğinin mekanik özellikler ile nasıl değiştiğini gözlemlemiştir. Bu çalışmada metal rafinasyonu için eritken (flaks) kullanarak yapı içerisinde bulunan özellikle bifilm gibi katışkıları (inklüzyon) gidererek mekanik özelliklerin aslında bifilm olmaksızın en bariz şekilde kopma uzaması değerlerinden etkilendiğini tespit etmiştir. Bu çalışmada da döküm haliyle çekme dayanıcının yaklaşık 200MPa ve kopma uzamasının da yaklaşık %9-10 civarında olduğu görülmüştür. Ayrıca yazar bu deneysel bulguları Weibull istatistik





dağılımı kullanarak eritken kullanımı ile bifilmelerden yoksun sıvı metalin daha istikrarlı ve tekrarlanabilir mekanik değerler sergilediğini göstermiştir. Mevcut çalışmada da yazarın doktora çalışmasında kullandığı eritken kullanılmadan sadece ultrasonik gaz giderme işlemi kullanıldığında da bifilmelerden yoksun sıvı metal üretilebileceğinin paralel bulguları deneysel sonuçlardan görülmektedir.

##### **5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)**

Bu çalışmada güncel ve yenilikçi bir sıvı metal temizliği prosesi olan ultrasonik gaz giderme prosesi kullanılarak hurda malzeme kullanılarak hazırlanan sıvı metalin ergiyik kalitesi Bİ açısından başarılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Ultrasonik gaz giderme uygulandıktan sonra Bİ ciddi ölçüde düştüğü görülmüştür. Ortaya çıkan bu Bİ verileri ışığında ikincil alüminyumun döküm haliyle (as-cast) dahi kullanılabilmesi öngörülmektedir. Genellikle sanayi uygulamalarında döküm haliyle malzeme kullanımından dayanç değerlerinin eksiklikleri ya da güvensiz görüldüklerinden dolayı mutlaka bir çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi uygulanmaktadır. Bu proses de ilave maliyet gerektirir. Bİ'nin 29 civarına kadar düşmüş olması bu malzemelerin birincil alüminyum kalitesinde olduğunun göstergesidir. Dolayısıyla yanlış döküm yapıp daha sonrasında diğer bir ısıl bir proses uygulayarak bu hatalı malzeme yapısının düzeltilmeye çalışılması metalurjik bakış açısı ile aslında çok da uygun olmadığı düşünülmektedir.

Doğru proses edilen bir sıvı metal doğru döküm adımları takip edilerek nihai parça geometrisi oluşturulduğunda alaşımların potansiyel dayanım değerlerine ulaşmalarını için hiçbir engel yoktur. Ultrasonik gaz giderme gibi ülkemizde kullanılmayan hatta maalesef çoğu firmamızın dahi haberinin olmadığı bu yenilikçi bir yöntem ile artırılan alaşımların bu potansiyele ulaşacakları bu çalışma ile kanıtlanmıştır. Ayrıca kopma uzaması değerlerinin de ortalama %10 civarında olması da bu malzemenin tutarlı sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Buna ilaveten çekme dayanımlarının da ortalama 210 MPa civarındadır. İkincil alüminyumda da gerekli sıvı metal işlemleri yapıldığında birincil alüminyuma muadil olacağı bu verilerden açıkça görülebilmektedir. Buradaki en kritik bulgu çalışmada kullanılan malzemenin tamamen hurda olmasıdır. Hurda malzemede dahi bu mekanik ve Bİ değerlerine ulaşılabilmesi aşikâr bir şekilde görülmektedir. Ve en kritik öneri de sıvı metale gerekli ehemmiyet verildiği takdirde hurda, döndü, vs. diye nitelendirilen "kalitesiz" hammaddelerin kullanılmasına imkân verilmesi gerektiğidir. Bu şekilde hem çevresel hem de hammadde esaslı sorunların azaltılabilir. Ayrıca şu anda Dünya'da yaklaşık 1.000.000.000 tonluk hurda alüminyumun yeniden mühendislik alaşımları olarak insanlığın hizmetine sunulmasının önündeki engellerin aşılabileceği görülmektedir.

##### **TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)**

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Balkan İleri Döküm Merkezi Laboratuvarında CMS Jant Makine A.Ş. firmasının ekipman ve malzeme destekleri ile gerçekleştirilmiştir.

##### **NOT (NOTICE)**

Bu çalışma, 21-23 Eylül 2017 tarihinde Bayburt'ta düzenlenen International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET) Konferansında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yayımlanmıştır.



---

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Campbell, J., (2003). *Castings*, Butterworth-Heinemann, London.
- [2] Dışpınar, D., (2005). *Determination of Metal Quality of Aluminium and Its Alloys*, Doktora Tezi, Birmingham Üniversitesi.
- [3] Yüksel, Ç., (2016). *Alüminyum ve Alaşımlarının Sıvı Metal Kalitesinin Arttırılması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [4] Eskin, G.I. and Eskin, D.G., (2014). *Ultrasonic Treatment of Light Alloy Melts*, CRC Press.
- [5] Eskin, G.I., (1997). *Principles of Ultrasonic Treatment: Application for Light Alloys Melts*. *Advanced Performance Materials*, Volume:4, Number:2, pp:223-232.
- [6] Campbell, J., (2016). *The Consolidation of Metals: the Origin of Bifilms*. *Journal of Materials Science*, Volume:51, Number:1, pp:96-106.
- [7] Dışpınar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Di Sabatino, M., and Arnberg, L. (2010). *Degassing, Hydrogen and Porosity Phenomena in A356*. *Materials Science and Engineering: A*, Volume:527, Number:16, pp:3719-3725.
- [8] Dışpınar, D. and Campbell, J., (2004). *Critical Assessment of Reduced Pressure Test. Part 1: Porosity phenomena*, *International Journal of Cast Metals Research*, Volume:17, Number:5, pp:280-286.