

Alüminyum Gaz Giderme İşleminde Ultrasonik Yöntemin Kullanımı

Kazım Önel¹, Esra Dokumacı¹, Cenk Eken², H. Emre Çubuklusu², Uğur Aybarç², Ömer Burak Çe², Caner Kalender², Mehmet Kızılkaya²

Bu çalışmada, sıvı metallerde, özellikle alüminyumda çözünen gazların giderilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden biri olan ultrasonik gaz giderme uygulaması incelenmektedir. Ultrasonik yöntemin konvansiyonel gaz giderme uygulamalarına karşı sunduğu avantajlar ele alınmaktadır.

1. GİRİŞ

Yenilenemez nitelikte olan petrol ve petrol ürünlerinin tüketimi her geçen gün artmaktadır. Bu durum, beraberinde hem hammadde kaynaklarının azalmasını hem de kullanım sonucu açığa çıkan sera gazlarının oluşumunu arttırmaktadır. Rakamlarla ifade edilecek olursa, 2010 yılı içinde dünyadaki otomobil sayısı 800 milyon adetken 2015'te 925 milyon, 2020'de ise 1.018 milyon olacağı öngörülmektedir [1]. Bu verilerden de anlaşılacağı gibi, kullanım halindeki otomobil sayısı her geçen gün katlanarak artmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, olumsuz yöndeki bu ilerleyişi kontrol edebilmek adına bir takım düzenlemeler yapmaya

çalışmaktadır. Yapılan düzenlemeler kapsamında, üzerinde en çok durulan konu, yakıt kullanım miktarlarının azaltılmasıdır. Otomobil ve otomotiv yan sanayi üreticileri de bu gelişmeler karşısında daha düşük yakıt tüketimi ve çevreye daha duyarlı araçlar üretmek için araç ağırlığını hafifletmeye yönelik çeşitli AR-GE çalışmaları yapmaktadırlar. Araç ağırlıklarının azaltılması ile aracın hareket ettirilmesi için harcanacak enerji miktarı azalacağından dolayı yakıt tüketimi de azalmaktadır [2, 3]. Günümüzde otomotiv ve havacılık endüstrilerinde meydana gelen gelişmeler, yüksek mekanik özelliklere sahip hafif ürünlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu gereksinim, alüminyumun en çok kullanılan metal olmasına yol açmaktadır. Farklı döküm yöntemleriyle, kolaylıkla dökülebilmesi ve döküm özelliklerinin iyi olmasının yanı sıra, mekanik özelliklerinin çeşitli metalurjik işlemler ile geliştirilebilmesi, iyi bir korozyon dayanım özelliği, alüminyumun birçok sektörde kullanılmasının nedenleri arasında yer almaktadır [4-7]. Ancak alüminyum alaşımlarında katılaşma süresince porozite oluşumu, mekanik açıdan başta gelen

hasar oluşum nedenlerindedir ve nihai ürünün mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir [8]. Bu nedenle, alüminyum ile üretilen nihai ürünlerde düşük porozite elde etmek için etkili bir gaz giderme işlemi yapılmalıdır. Bu çalışmada, üretimde kullanılan gaz giderme işlemlerine alternatif olan ultrasonik yöntemle gaz giderme tekniği ele alınmaktadır.

2. ALÜMİNYUMDA GAZ GİDERME

Alüminyum döküm parça üretiminde genel olarak A356 [Al-7Si-0.3Mg] alaşımı kullanılmaktadır [9, 10]. Döküm yöntemiyle üretilen ürünler farklı mikro-yapılara sahip olup, hacimsel hatalar (porozite gibi) içerebildiklerinden dolayı değişken mekanik özellikler göstermektedir. Porozite, alüminyum alaşımlarının dökümünde en önemli hatalardan biri olarak kabul edilmektedir. Yapı içerisinde porozitenin yer alması, dökümün mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Dökümde porozite, katılaşma sırasında gazın çözeltide çökmesi ya da hacimsel çekintileri telafi etmek için sıvı metalin taneler arası bölgeleri beslemesindeki yetersizlikleri nede-

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği - kazim.onel@deu.edu.tr, esra.dokumaci@deu.edu.tr

² CMS Jant ve Makina Sanayi AŞ. - ceken@cms.com.tr, ecubuklusu@cms.com.tr, uaybarc@cms.com.tr, bce@cms.com.tr, ckalender@cms.com.tr, mkizilkaya@cms.com.tr

niyle meydana gelmektedir [11]. Genel olarak alüminyum ve alaşımlarının dökümünde hidrojen, porozitenin temel kaynağı olarak görülmektedir [12]. Hidrojenin sıvı metale giriş yolları;

1. Fırın atmosferinde ve etrafında bulunan nem,
2. Refrakterin içerisinde bulunan nem,
3. Alaşım elementleri ya da hammadelerde bulunan nem,
4. Ergitme işlemleri sırasında kullanılan aletler/ekipmanlardaki nem,
5. Kullanılan flakslardan gelebilecek nem,
6. Alaşım elementleri ya da hammaddelerin iç yapısından gelen hidrojen,
7. Hidrokarbon içeren bileşiklerin yanması, yağı ya da boyalı hurdalar olarak maddelenebilir [13].

Alüminyum alaşımlarında katılaşma süresince ve sonrasında porozite oluşumu, nihai ürünün mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki ederek hasar oluşumuna neden olur [8]. Hidrojen, ergimiş alüminyum içinde atomik halde önemli ölçüde kolayca çözünür [11]. Çözünmüş hidrojen, katılaşma süresince moleküler halde çökerek sıvı ve katı alüminyum alaşımlarında porların oluşumunu hızlandırmaktadır. Katılaşma süresince hidrojen kabarcıklarının yapı içinde kalması 4 aşamada meydana gelmektedir. Bu aşamalar şu şekildedir [8]:

1. Ergimiş metal içinde hidrojen atomlarının difüzyonu
2. Zaman ve soğumanın bir fonksiyonu olarak kritik boyutlu kabarcık oluşumu
3. Sürekli büyüme için gerekli kritik boyutu aşan kararlı kabarcıkların rastgele oluşumu
4. Serbest halde kalan çözünmüş hidrojen atomlarının gaz kabarcıklarına doğru difüze olduğu süre boyunca büyümenin devam etmesi

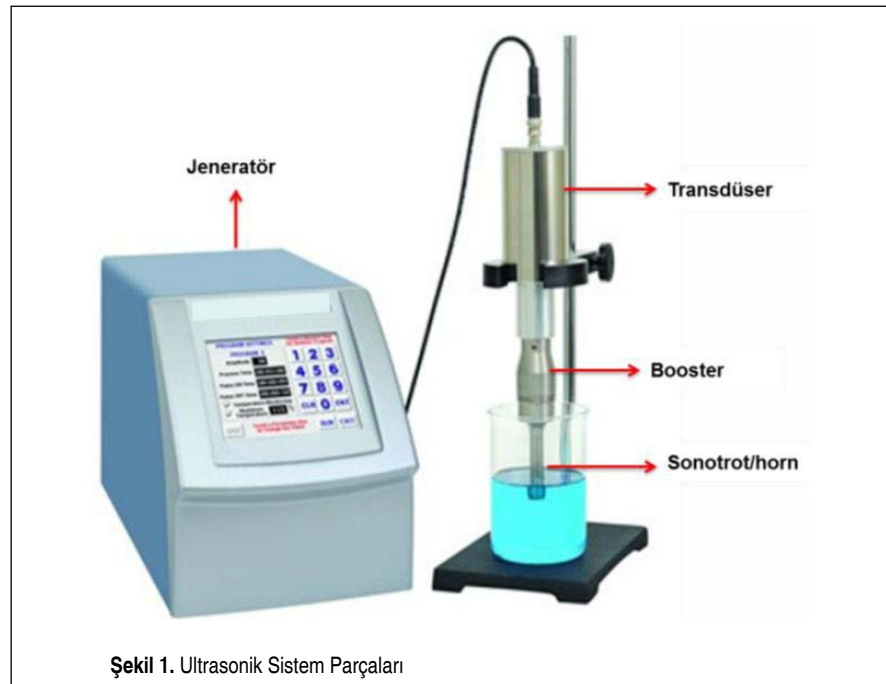
Donma noktasında H çözünebilirliğinin

de meydana gelen büyük düşüş nedeniyle hidrojen çökeliyor ve gaz porozite olarak meydana gelir. Bu nedenle, özellikle yüksek mukavemetli döküm alaşımları ile çalışıldığı durumlarda ergimiş alaşımın hidrojen içeriği olabildiğince düşük tutulmalıdır [14]. Bu amaçla, hidrojen porozitesini azaltmada, teknik döküm öncesi gaz giderme işlemi en etkilidir. Alüminyum alaşımlarında gaz giderme amacıyla kimyasal tabletler, vakum tekniği ve rotorla mekanik karıştırma gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar, azot veya argon gazı, heksaklorethan (C_2Cl_6) tabletleri veya vakum kullanımını gerektirmektedir. Ancak vakum tekniği de yüksek teknik donanım gereksinimleri ve maliyetli olması nedeniyle, tablet kullanımı ise çevresel sorunlara [11] yol açtığı için endüstride nadir olarak uygulanmaktadır. Endüstriyel gaz giderme uygulamalarında dönel bir sistem (rotor) kullanılmaktadır. Asal gaz, (argon ya da azot) ergimiş alüminyum alaşımının içine verilir ve dönme ile küçük gaz kabarcıkları halinde dağılır. Absorblanan hidrojen ile birlikte, bu gaz kabarcıklarının sıvı metal içinden yüzeye doğru yüzmesi sağlanarak gaz giderme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Gaz giderme işleminin uygulanması sırasında, oksijensiz yüksek saflıktaki asal gaz kullanımı ve uygulamanın uzun süre yapılması gereklilikleri nedeniyle üretim maliyetleri artmaktadır. Bu nedenle, hem çevreye duyarlı hem de daha ucuz bir teknik olan ultrasonik gaz giderme işlemi birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir [8].

Metalurjik uygulamalar için ultrasonik karıştırma tekniğinin temel prensibi, sıvı metal içinde 17 kHz'den yüksek frekanslı akustik dalgaların oluşturulmasıdır. Ultrasonik uygulama işlemi süresince, ultrasonik araç (sonotrot/horn), ultrasonik dalgaların oluşup kütleler arasında transfer olabilecek gerilim dalgaları meydana gelinceye kadar sıvı metal ile doğrudan temas etmelidir [8]. Bir ultrasonik sistem, Şekil 1'de verildiği gibi, jeneratör, transdüser, booster ve sonotrot/horn meydana gelmektedir.

- **Jeneratör:** Ultrasonik sisteme güç sağlayan ekipmandır.
- **Transdüser:** Bir ultrasonik jeneratörden gelen elektrik enerjisini ultrasonik titreşimler şeklinde mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılır.



Şekil 1. Ultrasonik Sistem Parçaları

lan ultrasonik sistemin elektromekanik parçasıdır.

- **Booster:** Ultrasonik transdüser ve sonotrotlar arasına monte edilen mekanik parçadır. Montajına bağlı olarak sonotrotların mekanik amplitüdlerinin artırılmasını ya da azaltılmasını sağlar.
- **Sonotrot/Horn:** Transdüser ya da boostera bağlanarak osilasyonu uygulamanın yapılacağı sıvıya ileten ultrasonik işleyici parçadır.

Ultrasonik ekipman çalıştığı sürece, transdüser jeneratörden aldığı enerjiyi ultrasonik titreşimler şeklinde mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Magnetostriktif ve piezoelektrik olmak üzere iki tip ultrasonik transdüser vardır. Her ikisi de alternatif elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmede aynı görevi

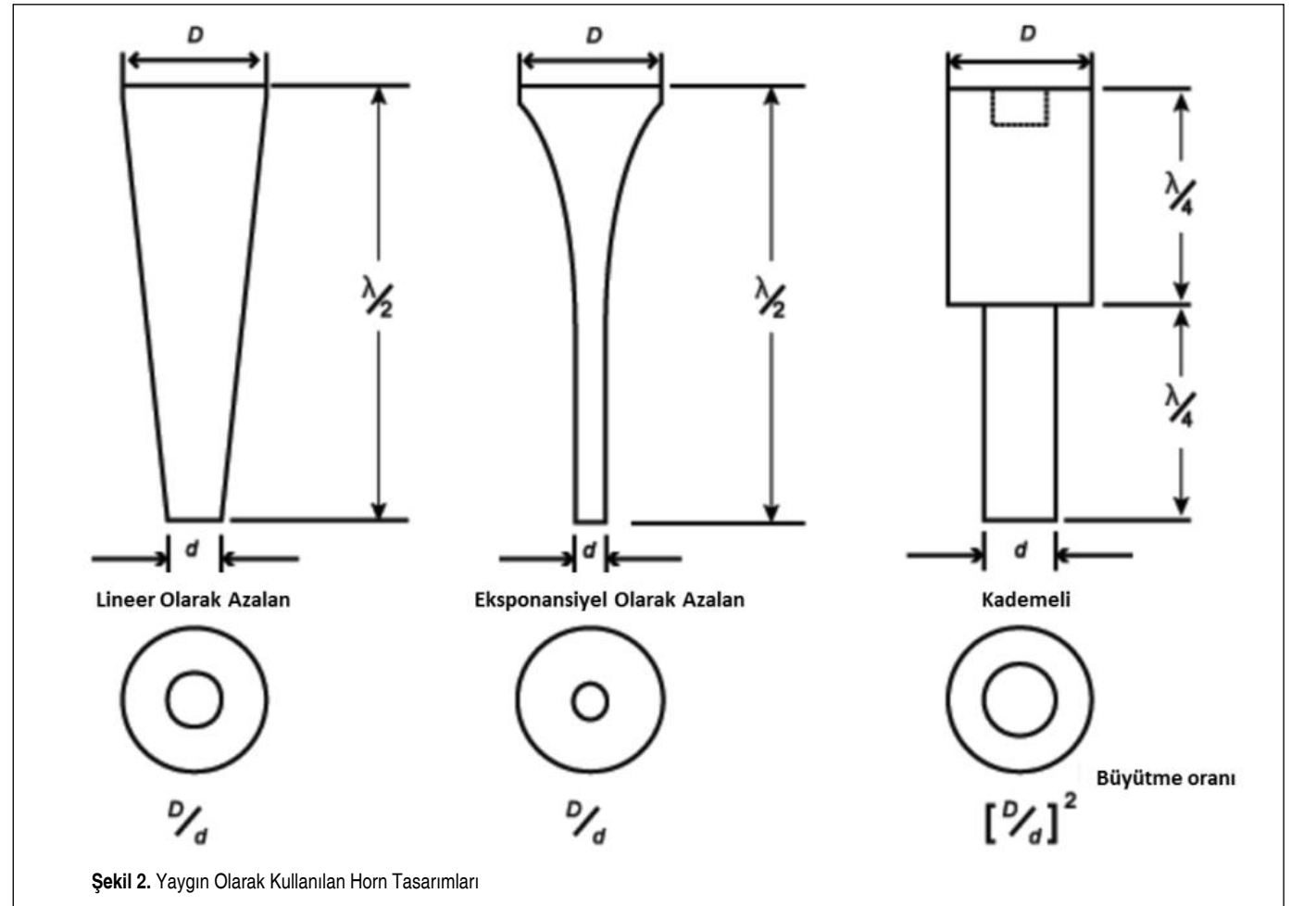
yapmalarına rağmen, farklı yöntemler kullanılmaktadır [15]. Magnetostriktif transdüserde elektriksel güç, magnetostriktif malzemenin titreşimine neden olan bir elektro magnetik alanın oluşturulmasında kullanılmaktadır. Piezoelektrik transdüserlerde elektriksel güç, doğrudan dik titreşimlere dönüştürülmektedir. Bu nedenle, piezoelektrik transdüserler daha yüksek bir dönüşüm verimliliğine sahiptirler [16]. Transdüserin ürettiği titreşim hareketi, pratik uygulama için çok düşük olduğundan titreşim hareketini güçlendirip arttırmak gerekmektedir. Bu da salınım hareketi yapan hornun görevidir. Yaygın olarak kullanılan sonotrot/horn tasarımları şunlardır (Şekil 2) [17].

1. **Lineer Olarak Azalan:** Yapımı kolaydır; ancak dinamik yük faktörü yaklaşık dört katı ile sınırlıdır.

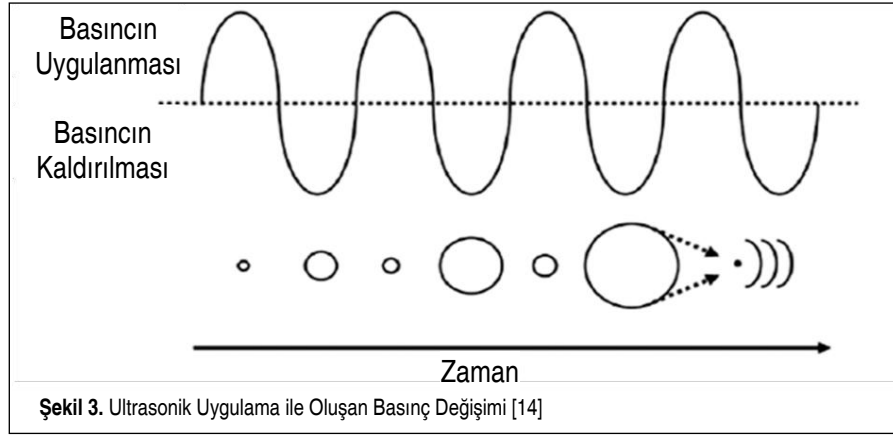
2. **Eksponansiyel Olarak Azalan:** Lineer tasarıma göre daha yüksek dinamik yük faktörü etkisine sahiptir. Tasarım olarak üretimi daha zor olmasına rağmen, özellikle mikro uygulamalar için küçük çaplı çalışma ucu ile oldukça uygundur.

3. **Kademeli:** Bu tasarım için dinamik yük faktörü, biten yüzeyin alanı ile orantılıdır. Kullanımı ve üretimi oldukça kolaydır.

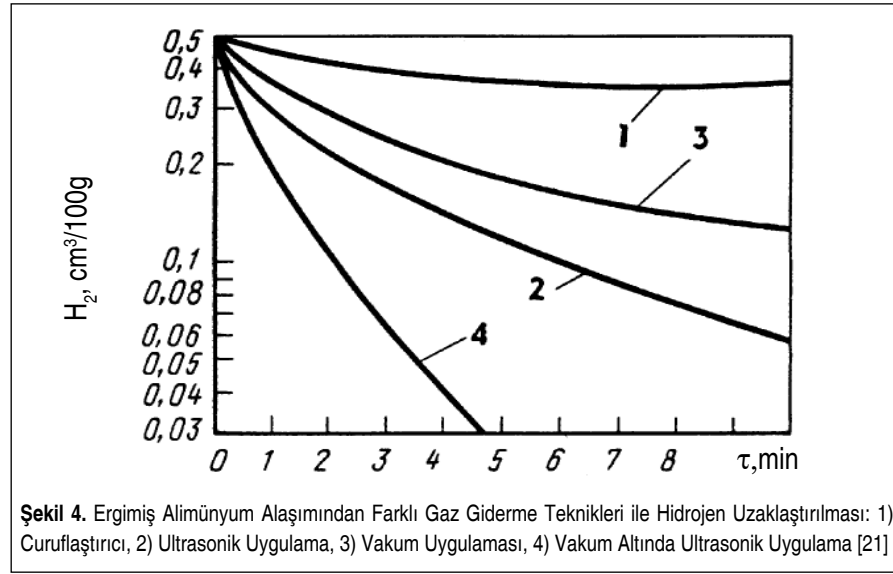
Ultrasonik yöntem, Şekil 3'teki gibi, sıvı içerisine frekanslar halinde basıncın uygulanması ve kaldırılması işlemi esas almaktadır. Sıvı metalin yüksek yoğunlukta (kavitasyon oluşum eşik değerinin üzerinde) bir ultrasonik titreşime maruz kalması durumunda kütle transferi artmaktadır. Bunun yanı sıra, hidrojenin sıvı metal içinde oluşan ve büyüyen balonların (bubbles) içine



Şekil 2. Yaygın Olarak Kullanılan Horn Tasarımları



Şekil 3. Ultrasonik Uygulama ile Oluşan Basınç Değişimi [14]



Şekil 4. Ergimiş Alüminyum Alaşımından Farklı Gaz Giderme Teknikleri ile Hidrojen Uzaklaştırılması: 1) Curuflaştırıcı, 2) Ultrasonik Uygulama, 3) Vakum Uygulaması, 4) Vakum Altında Ultrasonik Uygulama [21]

doğru difüzyonunu hızlandıran ve çok sayıda boşluk oluşmasına yol açan değişken bir basınç meydana gelmektedir. Zamanla artan akustik kaviteyasyon

ile yakın olan balonlar birbirine temas ederek birleşmektedir. Birleşerek yeterli büyüklüğe ulaşan balonlar, sıvı içinde yer çekimine karşı, yüzeye ulaşmaya

kadar yukarıya doğru ilerlemektedir [18].

Kaviteyasyon prosesi boyunca, düşük basınç altındayken oldukça küçük baloncuklar meydana gelmektedir. Bu baloncuklar hidrojen ve gaz balonlarının oluşumu için çekirdek olarak rol oynamaktadır. Böylece hidrojen, sıvı içinden uzaklaştırılmaktadır [19].

Kaviteyasyon çekirdekleri olarak adlandırılan, sıvı içinde önceden var olan zayıf bölgeler (gaz boşlukları gibi) hızlı bir şekilde büyüme gerçekleştirmektedir. Böylece, içi gaz dolu olan boşlukları (balonları) meydana getirmektedirler. Ses dalgası ile sıvı içinde balonların oluşumu, büyümesi ve iç patlama ile çökmeleri işlemi akustik kaviteyasyon olarak bilinmektedir. Ses dalgasının negatif basınç uygulaması süresince ve pozitif basınca geçinceye kadarki sürede balonlar büyümektedir. Bu durum, Şekil 3'te görülmektedir. Balonlar maksimum büyüklüğe ulaşmadan önce değişen titreşim periyotlarıyla ultrasonik enerjiyi toplamaktadır [20]. Maksimum büyüklüğe ulaştıklarında, iç patlama meydana gelerek, Şekil 3'te görüldüğü gibi, sıvı yüzeyine doğru hareket etmektedir.

Ergimiş metal içerisinde meydana gelen akustik akış, beraberinde gelişen kaviteyasyon gaz giderme işlemini güçlendirmektedir. Bu akışlar, hidrojen kabarcıklarının birleşmesine yardımcı olurken yüzebilme kabiliyetini arttırmaktadır. Ergiyik içine aktarılan akustik güç ile ergimiş metal içindeki hidrojen içeriği, uzun süreli vakum uygulayarak yapılan gaz giderme işlemi sonucu ile karşılaştırıldığında, yapıdaki gaz miktarı yarı yarıya, hatta daha fazla düşmektedir. Döküm alaşımları için ultrasonik gaz giderme işleminin etkinliğine ait Tablo 1 ve Şekil 4'teki verilere bakıldığında, ultrasonik uygulamanın diğer metotlara göre daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Bu verilere göre, hidrojen konsantrasyonunun daha düşük elde edildiği ultrasonik yöntemle yoğunlukta (daha düşük porozite) ve mekanik

özelliklerde artış meydana geldiği açıkça görülmektedir [21].

Ultrasonik yöntemle gaz giderme işlemi, sadece yapı içindeki hidrojen gaz kabarcıklarının giderilmesini değil, aynı zamanda nihai ürünün ince taneli bir yapıda olmasını da sağlamaktadır. Ultrasonik işlem uygulamasının alaşımların mikroyapısı üzerindeki etkileri tane boyutunu azaltma, sütünsal yapıların kontrolü ve eş eksenli tanelerin oluşumu, fazların inceltilmesi ve dağılımdaki çeşitliliği, malzeme homojenliğini artırma, segregasyon kontrolü, ikincil fazların ve inküzyonların uniform olarak dağılımını içermektedir [14, 22].

3. SONUÇ

Ultrasonik yöntem, sıvı alüminyumda çözülmüş haldeki hidrojenin yapı içinden uzaklaştırılmasını sağlamada kimyasal ilaveler, vakum ve inert gaz uygulamaları ile karşılaştırıldığında daha etkili olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, nihai ürünlerin mekanik özelliklerinde de iyileşmenin elde edilmesi, uygulamanın sağladığı önemli bir avantajdır. İzleyen yıllarda, üretim faaliyetlerinde sıvı alüminyum kullanan işletmelerde ultrasonik yöntemin yaygınlaşması beklenen bir durumdur.

KAYNAKÇA

Tablo 1. Al-Si-Mg Alaşımı İçin Çeşitli Ticari Gaz Giderme Tekniklerinin Karşılaştırılması [21]

Metot	H ₂ [cm ³ /100g]	Yoğunluk [g/cm ³]	Porozite Sayısı	UTS [Mpa]	Uzama [%]
Eriyik Haldeki Alüminyum Alaşımı	0.35	2.660	4	200	3.8
Ultrasound	0.17	2.706	1-2	245	5.1
Vakum	0.20	2.681	1-2	228	4.2
Argon gazı	0.26	2.667	2-3	233	4.0
C ₂ Cl ₆	0.30	2.665	2-3	212	4.5
Curuflaştırıcı	0.26	2.663	3-4	225	4.0

and Cooling Rate on the Microstructure and Mechanical Properties of Secondary Al-Si-Cu Alloys," Journal of Material Engineering and Performance, vol. 23 (2), p. 611-621.

- Büyükuncu, M. G. 2010. "Ötektik Altı Al-Si Döküm Alaşımlarında Bileşimin Optimizasyonu ile Döküm Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklerin İyileştirilmesi," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Meidani, A. R. N., Hasan, M. 2004. "A Study of Hydrogen Bubble Growth During Ultrasonic Degassing of Al-Cu Alloy Melts," Journal of Materials Processing Technology, vol. 147 (3), p. 311-320.
- Fuchs, F. J. 2014. "Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application," [http://www.mrelab.com/Media/Uploads/Principles_of_ultrasonic_cleaning\(1\).pdf](http://www.mrelab.com/Media/Uploads/Principles_of_ultrasonic_cleaning(1).pdf), son erişim tarihi: 26.08.2014.
- <http://www.hielscher.com/glossary.htm>, son erişim tarihi: 26.08.2014.
- Perkins, J. P. 1988. "Power Ultrasonic Equipment - Practice and Application," Sonochemistry Symposium, Annual Chemical Congress, 08-11.04.1988, Warwick University, UK.
- Puga, H. 2010. "Ultrasonic Treatment of Aluminium Alloys," Semana de Engenharia, 11-15 October 2010, Guimarães, Portuguese.
- Jia, S. 2013, Fundamental Research Regarding the Ultrasonic Stirring Effects on the Microstructure of A356 Castings," Master Thesis, The University Of Alabama, USA.
- Atamanenko, T. V. 2010. "Cavitation-Aided Grain Refinement in Aluminium Alloys," Yüksek Lisans Tezi, Almanya Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Malzeme Teknolojisi Mühendisliği, Freiberg, Almanya.
- Eskin, G. I. 2001. "Broad Prospects for Commercial Application of the Ultrasonic [Cavitation] Melt Treatment of Light Alloys," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 8, p. 319-325.
- Tiryakioğlu, M., Staley, J. T., Campbell, J. 2004. "Evaluating Structural Integrity of Cast Al-7%Si-Mg Alloys via Work Hardening Characteristics II. A New Quality Index," Materials Science and Engineering, vol. A368, p. 231-238.