

ALÜMİNYUM SICAK DÖVMEDE ÖN ISITMA TEKNOLOJİSİNİN YAŞLANDIRMA PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Seracettin AKDI^{1, a}, Muhammet ULUDAĞ^{2, b}, Remzi ÇETİN^{3, c}, Necmettin TARAKÇIOĞLU^{2, d}

¹AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye,

²Selçuk Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, Konya, Türkiye,

³Haliç Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye,

^aakdi.seracettin@aydtr.com, ^buludag@selcuk.edu.tr, ^cinfo@halic.edu.tr

^dntarakcioglu@selcuk.edu.tr

ÖZET

Dünyada çelikten sonra en çok tercih edilen metal alüminyumdur. Özgül mukavemetinin yüksek olması, daha güvenilir olması ve düşük sıcaklıklarda geri dönüştürülebilmesinden dolayı alüminyum alaşımları havacılıktan otomotiv sanayisine birçok alanda kullanılmaktadır. Elektroliz işlemi ile ingot olarak üretilen alüminyum alaşımları, farklı imal usulleri ile kullanılacağı geometriye kavuşmaktadır. Bu İmal usulleri; ekstrüzyon, döküm, dövme, hadde ve yarı katı şekillendirme olarak 5 ana başlıkta toplanmaktadır. Malzeme ömrü ve mukavemet olarak bu imal usulleri karşılaştırıldığında dövme işlemi en önde gelen üretim yöntemlerinden birisidir. Günümüzde ön ısıtma için kullanılan teknolojilerin parçayı istenen sıcaklığa ulaştırması için geçen süreler ve ısıtma pratiği birbirlerinden farklıdır. Bu çalışmada; alüminyum sıcak dövmede ön ısıtma için rezistans ve indüksiyon teknolojileri kullanılmıştır. EN AW 6082 alaşımında bu iki ön ısıtma yöntemi 4 farklı sıcaklık (450°C, 475°C 500°C ve 525°C) için denenmiştir. Bu yöntemlerin denenmesinden elde edilen numunelere T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Bütün parametrelerden elde edilen değerlerin sertlik değişimleri ve kesit tane yapısı gözlenerek optimum ön ısıtma teknolojisi ve ön ısıtma sıcaklığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: EN AW 6082, ön ısıtma, sıcak dövme, yaşlandırma.

THE EFFECT OF PREHEATING TECHNOLOGY TO AGING PARAMETERS ON ALUMINUM HOT FORGING

ABSTRACT

Aluminum is the most preferred metal after the steel in the world. Aluminum alloys are preferred because of their specific strength, corrosion resistance, extraction capability and recycle characteristics. Aluminum alloys are produced as ingot by the electrolysis process and they are achieved geometry to be used with different manufacturing processes. These manufacturing processes are extrusion, forging, casting, rolling and semi solid forming. Material life and strength properties are much better than others for forging manufacturing process. Today, preheating temperature and time show a change for manufacturing methods. In this study, resistance and induction technologies were used on preheating of aluminum hot forging process. 4 temperature (450°C, 475°C 500°C and 525°C) were employed for preheating of EN AW 6082. The samples which are obtained from preheating were implemented T6 heat treatment. After the experimental studies, hardness measurement and grain size were monitored and optimum preheating temperature and technology were examined.

Keywords: Aging, EN AW 6082, hot forging, preheating.

1. GİRİŞ

AA6082 yapısal profil uygulamaları için tercih edilen yüksek mukavemetli Al-Mg-Si alaşımları arasında yer almaktadır [1]. 6082 alaşımında yaşlanma sertleşmesi kapasitesini arttırmak için Mg elementinin bağlayabileceğinden daha fazla Si, tane yapısını kontrol etmek için ise Mn kullanılmaktadır [2]. Bu alaşımda mukavemet, bileşime ve proses koşullarına bağlıdır [3]. Bu alaşımdan üretilen profil kesitlerinde kısmi kristalleşmiş yapılara sık sık rastlanır ve bu heterojen yapı malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler [4,6]. Yüksek mukavemet için proses, kısmi kristalleşmeyi önleyecek ya da tüm kesitte ince bir ipliksi tane yapısı verecek şekilde tasarlanmalıdır [7].

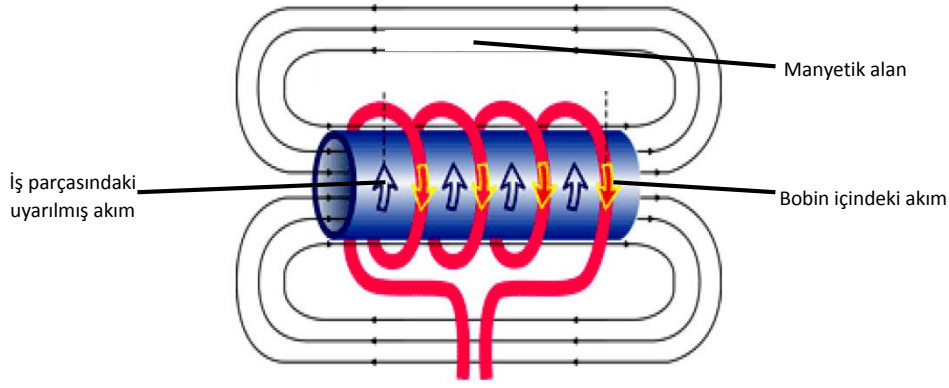
AA6082 alaşımının yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri de otomotiv uygulamaları için dövme parça üretimidir [8]. AA6082 alaşımından ekstrüzyonla üretilen yuvarlak profiller dövme parça üreticileri için yarı mamul niteliğindedir. Alüminyumun hafiflik, yüksek mukavemet, kolay şekil verilebilme ve paslanmazlık gibi cazip özelliklerinin tümü 6082 alaşımında da mevcuttur. 6082 alaşımlı profillerden dövülen süspansiyon parçaları günümüz binek otomobillerinde çok geniş bir pazar payına ulaşmıştır.

Bu profillerin pres çıkışındaki yapısal özellikleri dövme sürecini olduğu gibi, dövme ve ısıtma işlem sonrasındaki malzeme yapısı ve mekanik özelliklerini yakından etkiler. Üstün dövme parça özellikleri sadece tüm bu süreçte ipliksi tane yapısının korunması ile elde edilebilir. Bu çalışmada, ekstrüzyonla hazırlanan 6082 alaşımlı yuvarlak profillerin kesit tane yapısına, ekstrüzyon pres çıkış sıcaklığının etkisi incelenmiştir[9].

Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen deformasyonla oluşan mekanizma, dinamik toparlanma ve dinamik yeniden kristal oluşturma olayıdır. Soğuk deformasyon sonucunda tavlama anında meydana gelen olay ise statik toparlanma ve yeniden kristalleşmedir. Tane sınırlarında sıcaklık ve deformasyon enerjisi ile başlayan yeniden kristalleşme olayı deformasyon ve sıcaklıkla beraber tüm yapıyı kaplar ve devamında tavlama sıcaklığında yeniden kristalleşen yapı tane büyümesini oluşturur.

Aşırı plastik deformasyon ve sıcaklıkla beraber dinamik yeniden kristalleşme görülmektedir. Tane sınırlarından başlayan ve tüm yapıya yayılan yeniden kristalleşmiş ince taneler birleşerek çözeltiye alma esnasında aşırı büyümüş taneleri oluşturur [10].

Alüminyum dövme ön ısıtmasında rezistans yerine infraret kullanılması ile ön ısıtma süresi kısalmıştır. Buna bağlı olarak kalıpların yeniden ısıtılması dan tasarruf sağlanmıştır. İş parçalarının ön ısıtma tavında daha kısa süre beklemesi ile dinamik yeniden kristalleşmeye bağlı kesit tane yapısında tane irileşmesi kontrol altına alınacaktır [11]. Çelik dövme ön ısıtmasında endüstride yaygın olarak indüksiyon teknolojisi kullanılmaktadır. İndüksiyonla çelik ısıtmada 3000 Hz gibi yüksek frekansta ısıtılırken alüminyum alaşımları orta frekans da ısıtılabilir. İndüksiyonla ısıtmada parça etrafına sarılan bakır bobinden manyetik alan oluşturulması ile iş parçasında yüksek frekans da oluşur. İş parçasının manyetik rezonans değerine ulaştığında ısınma gerçekleşmektedir [12]. Şekil 1'de oluşan manyetik alan etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1. İş parçası üzerinde oluşan manyetik alan etkisi [12]

Alüminyum yarı katı şekillendirme çalışmalarında induksiyon ısıtma teknolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. A356 alaşımının yarı katı şekillendirilmesinde induksiyonla ısıtma teknolojisi kullanılmıştır. İndüksiyonla ısıtmanın mikro yapı ve mekanik özellikler üzerinde olumlu etkileri görülmüştür [13].

Alüminyum dövmede ön ısıtma tavı için rezistanslı tünel fırınlar bazı endüstri kollarında kullanılmaktadır [10]. Al-Si alaşımlarının dövme sıcaklığı 450°C - 500°C aralığındadır. Ön ısıtmada homojen sıcaklığa gelmesi için rezistanslı fırında parça kalınlığına bağlı olarak bekletilmektedir [14].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AA6082 alaşımları wagstaff sistemi ile 203 mm çapa sahip biyetler dökülmüştür. Bu biyetlerin kimyasal analizleri Tablo 1’de verilmektedir. Döküm biyetler 580°C’de 8 saat süreyle homojenleştirilmiş ve kontrollü olarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulmuştur. Homojen tav uygulanmış biyetlerden kesilen parçalar 450°C ile 490°C aralığındaki sıcaklıklara kadar ısıtılmış ve ekstrüzyon presinde 25 mm çapta profiller şeklinde basılmıştır.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,93	0,21	0,01	0,65	0,78	0,18	0,01	0,01

Bu çalışmada, 25 mm çapındaki ekstrüzyon profiller, 450°C, 475°C, 500°C ve 525°C olmak üzere 4 farklı dövme ön ısıtma sıcaklığına kadar iki farklı ön ısıtma teknolojisi ile ısıtılmıştır. Rezistanslı ön ısıtma teknolojisi denemesi; NABERTHERM marka laboratuvar tipi rezistanslı fırında 45 dakika süre ile ısıtılmıştır. İndüksiyonlu ön ısıtma teknolojisinin denemesi ise laboratuvar tipi özel imalat 50 kW’lık induksiyon ısıtıcısında yapılmıştır. Frekans ölçümü yapılarak orta frekansta ısıtma yapılmıştır. İndüksiyonlu ısıtıcıda sıcaklık kontrolü, induksiyon ısıtma süresine göre belirlenmiştir. Temaslı termometre ile numunenin istenen sıcaklığa ne kadar sürede geldiği belirlenmiştir. Isıtma süresi 450°C için 13 saniye, 525°C için ise 17,5 saniye olarak belirlenmiştir. Isıtılan numuneler 60 tonluk eksantrik preste %50 deformasyon oranında dövülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan rezistanslı fırın, induksiyon ısıtma sistemi ve eksantrik pres makinası görselleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan ısıtıl işlem fırını, indüksiyon makinası ve pres makinası

25 mm çapındaki ekstrüzyon profiller, 30 mm boyunda kesilerek rezistanslı fırında ve indüksiyon ısıtma sisteminde 4 farklı sıcaklığa (450°C, 475°C, 500°C ve 525°C) kadar ısıtılarak dövülmüştür.

Numunelere T6 ısıtıl işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için numuneler 530°C’de 4 saat çözeltiye alınarak su verilmiş ve 185°C’de 3 saat yaşlandırılmıştır. Isıtıl işlemler, NABERTHERM marka ısıtıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu Spectromaxx Optik Emisyon Spektroskopi Ünitesi’nde kontrol edilmiştir. Sertlik değerleri, Brinell Sertlik Cihazı’nda 5 mm çapında çelik top kullanılarak, 250 kgf yük altında ve 10 s. uygulama süresinde ölçülmüştür. Tane yapısı, karma asitle (H₂O, HCl, HNO₃ ve HF) 50-70°C’de dağlanarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada, rezistanslı ve indüksiyon ön ısıtma teknolojileri ile, 4 farklı ön ısıtma sıcaklığı denenmiştir. Test numunelerine dövme işleminin ardından T6 ısıtıl işlemi uygulanmıştır ve analizler gerçekleştirilmiştir. Her parametreden 3 adet numune dövülmüş olup, bunlardan sertlik ölçümleri ve makro yapı analizleri yapılmıştır. Yapılan tüm analizler ön ısıtma teknolojisi ve dövme ön sıcaklığına göre tablolarda karşılaştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Rezistanslı ve indüksiyon ön ısıtma teknolojileri ile farklı ön ısıtma sıcaklığında yapılan denemelerin sonuçları Tablo 2’de yer almaktadır. Her bir parametre için 3’er adet numuneden 5’er kez sertlik ölçülerek ortalamaları alınmıştır.









Tablo 2. Ön ısıtma teknolojisi ve farklı ön ısıtma sıcaklıklarına göre sertlik değerleri

	Ön ısıtma teknolojisi			
	Rezistans	İndüksiyon	Ortalama	
Ön Isıtma Sıcaklığı	450°C	116 HB	108 HB	112 HB
	475°C	109 HB	110 HB	109,5 HB
	500°C	118 HB	109 HB	113,5 HB
	525°C	114 HB	114 HB	114 HB
Ortalama	114,25 HB	110,25 HB	112,25 HB	

Dövme ön ısıtma teknolojisi ve sıcaklığına göre yapılan sertlik ölçümü karşılaştırmasında önemli bir fark oluşmadığı gözlenmiştir. Denemesi yapılan tüm parametrelerin ortalama sertlik değeri 112,25 HB'dir. Rezistanslı ön ısıtma teknolojisinde yapılan denemelerde ortalama sertlik 114,25 HB, indüksiyonlu ön ısıtma teknolojisinde yapılan denemelerde ortalama sertlik 110,25 HB olarak ölçülmüştür. Rezistanslı ön ısıtma denemelerinde 4 HB daha yüksek sertlik ele edilmiş olsa da farklılık önemsiz düzeydedir.

İki farklı dövme ön ısıtma teknolojisi ve 4 farklı ön ısıtma sıcaklığı ile %50 deformasyon oranında dövülen numuneler ekstrüzyon yönüne dik ve dövme yönüne paralel olarak kesilerek karma asitle dağlanmıştır. Bu 8 parametrede dağlanan numunelerin dik kesit tane yapısı Tablo 3'te yer almaktadır. Ekstrüzyon ve dövme yönüne paralel kesilen numunelerin kesit tane yapısı Tablo 4'de yer almaktadır.








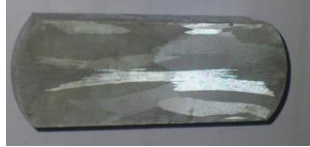
Tablo 3. Ön ısıtma teknolojisi ve sıcaklığına göre numunelerin dik kesit alanındaki değişim

	Deformasyon oranı	
	Rezistans	İndüksiyon
Ön Isıtma Sıcaklığı		
		
		
		

Dövme ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla tane boyutlarının incelendiği görülmektedir. Dövme ön ısıtma sıcaklığının artması ile çözeltiliye alma esnasında gerçekleşen dinamik yeniden kristalleşmeyi takip eden tane irileşmesinin en aza indiği görülmektedir. Dövme ön ısıtma sıcaklığı çözeltiliye alma sıcaklığına yaklaştıkça tane irileşmesi de azalmıştır.

İndüksiyonlu ön ısıtma teknolojisinde rezistanslı ön ısıtma teknolojisine göre daha ince tane yapısı görülmektedir.

Tablo 4. Ön ısıtma teknolojisi ve sıcaklığına göre numunelerin paralel kesit alanındaki değişim

	Deformasyon oranı	
	Rezistans	İndüksiyon
450°C		
475°C		
500°C		
525°C		

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada indüksiyon ve rezistanslı olarak 2 ön ısıtma teknolojisi ve 4 farklı dövme ön ısıtma sıcaklıkları ile toplam 8 parametrede dövme yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda çıkan numunelerin sertlik ve kesit tane yapıları incelenmiştir.

- Dövme ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla kesit tane yapısındaki tane boyutları küçülmektedir. Dövme ön ısıtma sıcaklığının artması ile çözeltiyeye alma esnasında gerçekleşen dinamik yeniden kristalleşmeyi takip eden tane irileşmesinin en aza indiği görülmektedir. Dövme ön ısıtma sıcaklığı çözeltiyeye alma sıcaklığına yaklaştıkça tane irileşmesi de azalmıştır.
- İndüksiyonla ön ısıtma teknolojisinde rezistansla yapılan ön ısıtma teknolojisine göre daha ince bir kesit tane yapısı elde edilmektedir. İndüksiyonla ısıtma teknolojisinde ön ısıtma işlemi 17-14 saniye aralığında gerçekleşirken, rezistanslı ön ısıtma teknolojisinde bu süre 45 dakikaya kadar uzamaktadır. Dövme ön ısıtma süresinin uzaması hem tane yapısını etkilemekte hem de parça başı maliyeti etkilemektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 540.STZ.2013-2 kodlu SAN TEZ projesi kapsamında yapılmıştır. Deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı AYD firmasından Sn. Ahmet Asım ESER, Sn. B. Umut YAKIŞAN ve Sn. Emre GÖKÇİL' e ve yazım, grafik tasarımındaki katkılarından dolayı Sn. Gamze KÜÇÜKYAĞLIOĞLUNA'na, ayrıca çalışma boyunca desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen AYD firmasından Sn. Ü. Ahmet ÇAKAL' a teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKLAR

1. J. Van Rijkom, W.S. Miller, Proc. 6th International Aluminum Extrusion Technology Seminar, vol. 1, Aluminum Association, Washington, DC, 1996, 149–155.
2. N. Parson, J. Hankin, K. Hicklin, C. Jowett, Proc. 7th International Aluminum Extrusion Technology Seminar, vol. 1, Aluminum Association, Washington, DC, 2000, 1–12.
3. E.B. Bjornbakk, J.A. Saeter, O. Reiso, Materials Science Forum, 396–402, 405–410, 2002.
4. T. Peterson, S. Abtahi, J.A. Saeter, T. Furu, H.E. Ekstrom, Proc. 9th International Conference on Aluminum Alloys, Institute of Materials Engineering, 2004, 457–462.
5. T. Furu, H.E. Vatne, Materials Science Forum, 331–337, 843–848, 2000.
6. Y. Birol, J. Mater. Proc. Tech. 173, 84-91, 2006.
7. Y. Birol, Eng. Failure Analysis 17, 1110-1116, 2010.
8. G.W. Kuhlman, Forging of Aluminum Alloys, vol. 14, ASM Handbook, 9th ed. ASM Int. 1988, 244-254.
9. Y. Birol, O. Ilgaz, S. Akdı, E. Ünuvar, Sf 409-415. 06'Alüminyum Sempozyumu XX 2013
10. S. Akdı, O. Ilgaz, E. Ünuvar, Y. Birol, Sf 86-93. 06'Alüminyum Sempozyumu XX 2013
11. C. A. BLUE, V. K. SIKKA, E. K. OHRINER, and P. G. ENGLEMAN. infrared heating of forging billets and dies. oak ridge national laboratory P.O. BOX 2008 OAK RIDGE, TENNESSEE 37831-6083
12. İ. Durukan. effects of induction heating parameters on forging billet temperature. ODTÜ a thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university. September 2007.
13. H. Lakshmi, M. C. Vinay Kumar, Raghunath, P. Kumar, V. Ramanarayanan, K. S. S. Murthy, P. Dutta. Induction reheating of A356.2 aluminum alloy and thixocasting as automobile component. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20(2010) s961-s967
14. Standard Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles and Tubes. ASTM, Designation: B221M – 12a.