

ALÜMİNYUM DÖVME SICAKLIĞININ VE DEFORMASYON ORANININ TANE YAPISI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ 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

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci ve üretilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı endüstride oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarından nihai parçanın elde edilmesi için farklı üretim yöntemleri bulunmaktadır; döküm, ekstrüzyon, hadde ve yarı katı şekillendirme bunların başında gelmektedir. Üretim yöntemi üretilen iş parçasının fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler. Özellikle iş parçalarının tasarımında en önemli kriterlerden birisi olan mekanik özellikler, üretim yöntemi ile değişkenlik göstermektedir. Örneğin, soğuk ya da sıcak plastik şekil verme ile üretilen parçalar direkt dökülen parçalara göre her zaman daha mukavimdir.

Bu çalışmada alüminyum işlem alaşımlarından olan EN AW 6082'nin sıcak plastik şekillendirme prosesinde ön ısıtma sıcaklığının ve deformasyon oranının mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. 450°C, 475°C, 500°C ve 525°C olmak üzere 4 farklı ön ısıtma sıcaklığında ve %10, %30 ve %50 olmak üzere 3 farklı deformasyon oranında uygulama yapılmıştır. Numunelere T6 ısıl işlemi uygulanarak deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Malzeme sertlik ölçümü, tane boyutu incelemesi ve çekme testi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum dövme, deformasyon oranı, ön ısıtma sıcaklığı

THE EFFECT OF ALUMINUM FORGING TEMPERATURE AND STRAIN EXPERIMENTAL RATE ON GRAIN SIZE AND MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

The aluminum alloys are used frequently in the industry in recent years, because of the characteristics of low density, high corrosion resistance and reproducibility. There are several manufacturing methods to obtain the final product of the aluminum alloys. Casting, extrusion, rolling and semi-solid forming are one of the most important methods. Production method influences the physical properties of the work piece directly. Especially, mechanical properties which is the most important criteria on the design of work piece, vary from the production method. Such as the items which are produced hot forming or cold forming more durable than casting products.

In this study, the effect of preheating temperature and strain experimental rate on mechanical properties in hot forming process of aluminum alloy (EN AW 6082) were investigated in. 4 different preheating temperatures (450°C, 475°C, 500°C and 525°C) and, 3 different strain experimental ratio (%10, %30 and %50) are selected for the study. Experimental studies were completed applying T6 heat treatment to study samples. Hardness measurement, grain size analysis and tensile test were performed and the results were compared with each other.

Keywords: Aluminum forging, strain experimental rate, preheating temperature

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 [4,5,6]. 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 ısıtım işlem sonrasında 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].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

AA6082 alaşımları direkt çil döküm sistemi ile 203 mm çapa sahip yuvarlak ingotlar şeklinde dökülmüştür. Bu ingotların kimyasal analizleri Tablo 1’de verilmektedir. Döküm ingotlar 580°C’de 8 saat süreyle homojenleştirilmiş ve yaklaşık 4°C/dk hızla oda sıcaklığına gelineye kadar soğutulmuştur. Homojen tav uygulanmış ingotlardan kesilen biletler 450°C ile 490°C

aralığındaki sıcaklıklara kadar ısıtılmış ve ekstrüzyonla 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 sıcaklıklarında 45 dakika süre ile NABERTHERM marka laboratuvar tipi rezistanslı fırında ısıtılmış ve %10, %30 ve %50 olmak üzere 3 farklı deformasyon oranında dövülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan fırın ve eksantrik pres makinası görselleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan ısıtma fırını ve pres makinası

25 mm çapındaki ekstrüzyon profiller, 80 mm boyunda kesilerek rezistanslı fırında 45 dakika ısıtılmıştır. Fırından alınan numuneler 60 tonluk eksantrik prese yatay şekilde yerleştirilerek dövülmüş, dövme oranı hesaplanırken numune çapındaki ezilme dikkate alınmıştır. 25 mm kalınlığındaki numune ile %10 deformasyonla gerçekleşen şekil değiştirmede malzemenin 2,5 mm kısılması baz alınmıştır. Tablo 2’de numunelerin deformasyon oranı karşılığındaki kalınlıkları yer almaktadır.

Tablo 2. Numunelerin deformasyon oranı karşılığındaki kalınlıkları

% Deformasyon Oranı	Numune Kalınlığı
İlk çap	25 mm
% 10	22,5 mm
% 30	17,5 mm
% 50	12,5 mm

Numunelerin dövüldükten sonraki görüntüleri Şekil 2’de yer almaktadır. 4 farklı sıcaklıkta ve 3 farklı deformasyon oranında toplam 12 farklı parametre için deneme yapılmıştır. Bu 12 parametrenin her birinden 3’er parça olacak şekilde toplam 36 parça dövülmüştür.



Şekil 2. Dövülen numuneler

Numunelere T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için numuneler 530°C’de 4 saat çözeltiye alınarak su verilmiş ve 185°C’de 3 saat yaşlandırılmıştır. Isıl işlemler, NABERTHERM marka ısıl 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. Çekme testleri, ALŞA elektromekanik MCK 300 çekme basma test cihazında yapılmıştır. Deneysel çalışmada 3 farklı deformasyon oranı ve 4 farklı ön ısıtma sıcaklığı denenmiştir. Test numuneleri dövme işleminin ardından T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Yapılan tüm analizler T6 ısıl işlemi görmüş parçalara yapılmıştır. Her parametreden 3 numune dövülmüş olup bunlardan birisi sertlik ve makro yapı için kullanılmış diğer 2’si ise çekme testinde kullanılmıştır. Çekme testinde akma dayanımı, çekme dayanımı ve % kopma uzaması ölçülmüştür. Yapılan tüm analizler deformasyon oranı ve dövme ön sıcaklığına göre tablolarda karşılaştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı ön ısıtma sıcaklıkları ve dövme oranlarına göre sertlik dağılımı Tablo 3'te yer almaktadır. Sertlik değerlerinde ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranına göre bir değişim görülmemektedir. Sertlik dağılımı ortalamalarına bakıldığında kabul edilebilir bir fark görülmemekle beraber 500°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan denemelerde ve %30 deformasyonunda dövmelede en yüksek ortalamalara ulaşılmıştır. Ancak bu fark 1-2 HB olduğundan sağlıklı bir yorum yapılamamaktadır. Numunelerin sertlik ölçümü; 5 değer ortalaması alınarak oluşturulmuştur













Tablo 3. Ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranına göre sertlik değerleri

		Deformasyon Oranı			Ortalama
		%10	%30	%50	
Ön Isıtma Sıcaklığı	450°C	112 HB	116 HB	108 HB	112 HB
	475°C	108 HB	113 HB	109 HB	110 HB
	500°C	114 HB	112 HB	114 HB	113,33 HB
	525°C	111 HB	110 HB	109 HB	110 HB
	Ortalama	111,25 HB	112,75 HB	110 HB	111,33 HB

Dövme ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranının sertlik dağılımında önemli bir etkisinin olmadığı sonucu çıkmıştır. İşlem aşırımlarında 2XXX, 6XXX ve 7XXX aşırımları çökme sertleşmesi ısıtma işlemi ile mukavemetlenirken 3XXX ve 5XXX serisi aşırımları da deformasyonla mukavemetlenmektedir [11]. EN AW 6082'nin deformasyon oranına bağlı sertlik değişimi oldukça sınırlı düzeyde kalmaktadır.

Dövme ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranına bağlı olarak tane boyutundaki değişimi Tablo 3'te yer almaktadır. 4 farklı dövme ön ısıtma sıcaklığı ve 3 farklı deformasyon oranına göre dövülen parçaların T6 ısıtma işlemi sonrası alınan kesit tane yapısı incelendiğinde ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla dinamik yeniden kristalleşmeye bağlı tane irileşmesi azalmaktadır.

Tablo 3. Ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranına göre tane boyutundaki değişim

		Deformasyon oranı		
		%10	%30	%50
Ön Isıtma Sıcaklığı	450°C			
	475°C			
	500°C			
	525°C			

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.

Çekme testleri sonuçlarına göre Tablo 5'te akma değerleri, Tablo 6'te çekme dayanımı değerleri ve Tablo 7'da % kopma uzamaları yer almaktadır. Çekme testleri için 2 numune dövülmüştür. Sonuçlar karşılaştırıldığında sertlik değerlerinde olduğu gibi önemli bir fark görülmemektedir. Dinamik yeniden kristalleşme ardından gerçekleşen tane büyümesinin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % kopma uzaması üzerinde belirgin bir etkisi görülmemektedir. Ancak % kopma uzamasının Tablo3'te görülen kesit tane yapısına bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. Dövme ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla % kopma uzaması da artmıştır.

Tablo 5. Akma değerleri (MPa)

		Deformasyon oranı		
		%10	%30	%50
Ön ısıtma sıcaklığı	450°C	259,92	250,11	265,15
	475°C	267,85	251,97	271,75
	500°C	261,78	226,99	256,17
	525°C	264,21	253,72	285,11

Tablo 6. Çekme Dayanımı değerleri (MPa)

		Deformasyon oranı		
		%10	%30	%50
Ön ısıtma sıcaklığı	450°C	370,85	350,06	356,35
	475°C	365,17	370,02	322,28
	500°C	379,65	368,15	376,37
	525°C	386,12	380,21	327,55

Tablo 6. % Kopma uzamaları

		Deformasyon oranı		
		%10	%30	%50
Ön ısıtma sıcaklığı	450°C	12,3	12,5	10,7
	475°C	12,7	12,9	11,2
	500°C	13,0	13,9	13,3
	525°C	14,6	13,8	14,9

Ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranı çekme testi sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ve sertlik sonuçlarını doğrular nitelikte olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR

4 farklı ön ısıtma sıcaklığı ve 3 farklı deformasyon oranında yapılan dövme denemeleri sonuçları şöyle özetlenebilir;

- Ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranına bağlı olarak sertlik değerleri ve çekme testi sonuçlarında belirgin bir fark görülmemektedir.

- Sertlik değerleri 12 parametreden her biri için en az 5 kez tekrarlanmış olup bu değerlerin ortalamaları alınarak belirtilmiştir. Çıkan sonuçların farklı ön ısıtma sıcaklığı ve deformasyon oranına göre tekrar ortalamalarının alınması ile 1-3 HB'lik farkın dikkate alınabileceği bir sonuç çıkmıştır. Sertlik değerlerinin genel ortalaması 111 HB iken %30 deformasyonla dövülen numunelerde 112 HB ve dövme ön ısıtma sıcaklığı 500°C olan numunelerde ise 113 HB dir.1-3 HB bir farklılık olarak nitelenebilmektedir.

- 12 farklı parametrelerde dövülen numunelerin dövme yönüne paralel alınan kesit tane yapıları incelendiğinde ön ısıtma sıcaklığı artıkça tane yapısında görülen iri tane azalmaktadır. Deformasyon oranı artıkça kesit tane yapısında görülen tane irileşmesi artmaktadır. 500°C ve 525°C'de %10 ve %30 deformasyonunda tane irileşmesi oldukça düşük oranda olduğu görülmektedir.

- Deformasyon oranı artıkça dinamik yeniden kristalleşmeye bağlı tane irileşmesi görülmektedir.

- Çekme testi sonuçları incelendiğinde belirgin bir farklılık görülmemekle beraber kesit tane yapısı değişimine bağlı olarak % kopma uzaması ve akma dayanımında farklılık görülmektedir.

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. Standard Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles and Tubes. ASTM, Designation: B221M – 12a.