



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 16.02.2024
Kabul Tarihi : 21.02.2024

Received Date : 16.02.2024
Accepted Date : 21.02.2024

ALAŞIMLI ALÜMİNYUM BORU MALZEMELERDE BÜZME/ÇAP AZALTMA UYGULAMALARI

SWAGING/DIAMETER REDUCTION APPLICATIONS IN ALUMINUM ALLOY PIPE MATERIALS

Mustafa TAŞ^{1*} (ORCID: 0009-0008-5742-4169)
Abdul Kadir EKŞİ² (ORCID: 0000-0003-2227-8006)

¹Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye
²Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa TAŞ, mustafa.tas@gmail.com

ÖZET

Sanayide alüminyum malzemelere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır, özellikle ağırlık azaltma hedeflerini yakalayabilmek için malzeme değişikliklerinin temelinde çelikten alaşımlandırılmış alüminyum malzemelere geçiş yer almaktadır. Alaşımlandırılmış alüminyumlar yüksek korozyon direnci gerektiren havacılık uygulamalarında da ağırlık azaltma yönünde ön plana çıkmaktadır. Yüksek mukavemet sağlayarak ürünlerin ömürlerinde de artış ile olumlu katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada 12,7-28,6 mm arasında farklı çaplarda Al2024 T3 boru numunelere farklı büzme/çap azaltma işlemleri gerçekleştirilmiş ve T0, T42 ve kriyojenik ısıtma işlemleri uygulanmıştır. Büzme operasyonunun ürünlerin çap değişken parametresine göre deformasyon seviyeleri ölçülmüştür. Deformasyon yoğunluğunun arttığı ve bu artışın çekme dayanımı ve sertlik değerleri ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. T3 ısıtma işlemli borulara, T0-T42 ve kriyojenik ısıtma işlem uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalar ile mekanik dayanım, sertlik ve mikro yapı incelemeleri raporlanmıştır. Bu veriler ile büzme ve ısıtma işlemin etkisi kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Büzme kalıbı, büzme operasyonu, kriyojenik ısıtma işlem, mekanik dayanım, termofiziksel özellikler.

ABSTRACT

The interest in aluminum materials in the industry is increasing day by day, especially in order to achieve weight reduction targets, the basis for material changes is the transition from steel to alloyed aluminum materials. Alloyed aluminum also comes to the fore in terms of weight reduction in aviation applications that require high corrosion resistance. It contributes positively to the increase in the lifespan of the products by providing high strength. In this study, different swaging/diameter reduction processes were performed on Al2024 T3 pipe samples with different diameters between 12.7-28.6 mm and T0, T42 and cryogenic heat treatments were applied. Deformation levels of the swaging operation were measured according to the diameter variable parameter of the products. It has been observed that the deformation intensity increases and this increase is directly proportional to the tensile strength and hardness values. T0-T42 and cryogenic heat treatment applications were applied to T3 heat treated pipes. Mechanical strength, hardness and microstructure investigations were reported with these applications. The effects of swaging and heat treatment were compared with these data.

Keywords: Swaging mould, swaging operation, cryogenic heat treatment, mechanical strength, thermophysical properties.

GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen teknoloji her sektörde olduğu gibi imalat sektöründe de yeni boyut arayışı içindedir. Hassasiyet gerektiren uygulamalarda bu sektörün yeni teknolojileri kullanma eğilimi artarken, malzemelere de dikkat edilmesi gerekiyor. Özellikle alüminyum ve alüminyum bazlı alaşımlar, çok iyi özgül mukavemetleri ve yüksek korozyon dirençleri nedeniyle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda alüminyum alaşımlarına kaynaklanabilirlik özelliğinin de eklenmesiyle bu endüstride kullanımları önemli ölçüde artmıştır (Akdogan, 2000; Güler, 2003).

Havacılık uygulamalarına yönelik çubukların, kolay bağlantı sağlamak için uçlarında farklı şekiller olması gerekir. Büzme işlemi bu şekle ulaşmayı sağlar. Büzme, eksenel simetrik çalışma parçaları için yerleşik bir artımlı soğuk şekillendirme üretim tekniğidir. Diğerleri arasında çalışma sertleşmesi ve net şekle yakın şekillendirme bu üretim tekniğinin avantajlarıdır. Artan açık kalıpta büzme prosesi nedeniyle döner büzme, proses kontrolüne bağlı olan karmaşık bir malzeme akış geçmişine neden olur. Bu malzeme akış geçmişi, çalışma sertleşmesi ve artık gerilimler gibi malzeme değişikliklerini etkiler (Akdogan, 2000). Döner büzme, boru, çubuk ve tellerin çaplarının tamamen veya lokal olarak azaltılması olarak tanımlanabilir. Bu işlemde yüksek frekansta kısa darbeler ve küçük deformasyonlar kullanılır. Yüzey kalitesini iyileştirmesi, zamandan ve malzemedan tasarruf sağlaması gibi avantajları vardır (Wang et al., 2022).

Statik ve dinamik yükler altında döner büzme yoluyla üretilen bileşenlerin kullanılması nedeniyle, mekanik özellikleri tahmin edebilmek ve kontrol edebilmek için artık gerilim oluşum mekanizmalarının araştırılması gerekiyordu. Ameli ve Movahhedy, döner büzme işleminden sonra artık gerilim dağılımını araştırdılar ve bunların, sonuçta ortaya çıkan deformasyonun artan derecesinden önemli ölçüde etkilendiğini buldular. Boru şeklindeki bileşenler için dış yüzeyde esas olarak çekme ve iç yüzeyde esas olarak basma artık gerilmelerinin mevcut olduğu bulunmuştur. (Ameli & Movahhedy, 2007).

Çeşitli malzemelere döner dövme uygulandığında; çelik boru dövme prosesinde yüzey sertliği artmış ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır (Lima et al., 2009). 1050 alüminyum alaşımına uygulandığında yüksek dislokasyon birikimi nedeniyle çekme mukavemeti artmış ve çekme sünekliği önemli ölçüde azalmıştır (Abdulstaar et al., 2013). Mg alaşımlarına uygulandığında Mg kafesinin taban düzlemi dövme yönünün paralel olduğunu ve dönme geçişinin bu dokuyu etkilediğini göstermiştir (Gan et al., 2013). 5083 alüminyum alaşımına döner büzme uygulandığında ötektik fazdaki tanelerin incelendiği belirtildi (Abdulstaar et al., 2013).

Yaptıkları çalışmada döner büzme ve ardından gelen T6 ısıl işleminin etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmalar neticesinde çap azaltma işleminin tane boyutunda iyileşme sağladığı, malzeme faz yapısını azalttığı, mekanik mukavemeti iyileştirdiği ve fiziksel boy sünmesini azalttığı gözlemlendi (Hung et al., 2018). Al 2024 boru numuneleri, 2 saat boyunca 510 °C ve 490 °C'de katı çözültü, sonrasında ise suda ve 210 °C'de 3 saat boyunca yapay yaşlandırma uygulanmıştır. Sonuç olarak döner dövmenin boyut küçültme yanında mekanik mukavemeti, özellikle akma mukavemetini arttırmada etkili bir işlem olduğu, daha yüksek katı çözültü sıcaklığı ile daha yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşabileceği ifade edilmiştir (Hung et al., 2018).

Isıl işlem metodlarının metal bileşenlere uygulanması ve bunun sonucu olarak malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi endüstride uzun zamandır kullanılan yöntemdir. Geliştirilen proseslerin çoğu, proseslerin oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklık aralığında uygulanmasıdır. Sıfırın altındaki işlemleri gerçekleştirmeye yönelik ilk girişimler 20. yüzyılın başında araştırıldı, ancak kriyojenik işleme (veya kriyo işlemi, CT) konusundaki gerçek ilgi yüzyılın son yıllarında gelişti (Baldissera and Delprete, 2008). Düşük sıcaklıklarda malzemenin arıtılması ve oda sıcaklığının altına soğutulması, bir stres giderme metodolojisidir. Kriyojenik işlem (CT), yüksek hassasiyetli malzemelerin imalatında çokça kullanılan sıfırın altındaki bir ısıl işlemidir. Alüminyum alaşımları gibi geleneksel malzemelerin hiçbir özelliğinden ödün vermeden özelliklerini arttırmayı amaçlayan kriyojenik işlem, bileşenlerin belirlenen sıcaklığa kadar kademeli olarak soğutulması, belirli bir süre tutulması ve daha sonra kademeli olarak oda

sıcaklığına getirilmesidir. Aşınma direnci, tokluk, kırılma direnci, sertlik, termal iletkenlik, boyutsal stabilite ve kimyasal bozunma gibi mikroyapısal iyileştirmeyi ve malzeme özelliği iyileştirmelerini destekler (Pavan et al.,2014).

Bu çalışma; Alüminyum malzemelerden üretilen borulara özel büzme işlemi ve iki çeşit ısıl işlem uygulanarak mukavemet artışı sağlanması amaçlanmaktadır. Homojen iç yapılar elde etmek amacıyla 2024-T3 alüminyumdan mekanik tezgahlarda dövülerek ve ardından kristalizasyon ısıl işlemiyle üretilen çubuklar üzerinde deneysel çalışmalar yapılacaktır. Hem büzme hem de kristalizasyon ısıl işleminde optimizasyon çalışmaları uygulanacaktır. Hedeflenen nihai dayanım değerlerine ulaşmak için; konvansiyonel ve kriyojenik tip olmak üzere iki tip ısıl işlem uygulanacaktır. Bu uygulamalarda; malzemenin iç yapısı ve tane boyutu hem optik mikroskop hem de SEM cihazları ile gözlemlenecek, hem fiziksel hem de mekanik özellikleri değerlendirilecek, sertlik değerleri kontrol edilecek, operasyon öncesi ve sonrası çekme testi yapılacaktır.

MATERYAL

Bu çalışmada kullanılan malzemeler, TW Metals Ltd, Southampton/İngiltere'den temin edilen Şekil 1'de gösterildiği gibi 6000 mm uzunluğunda AA 2024-T3 borulardır.



Şekil 1. 6000 mm Uzunluğunda AA 2024-T3 Borular

Bu çalışmada kullanılan AA 2024-T3'ün kimyasal bileşimi ve parçacık boyutu özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Al 2024'ün Kimyasal Bileşimleri (Ağırlıkça%)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer	Diğerleri Toplam
Balans	0,5	0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	0,1	0,25	0,15	0,05	0,15

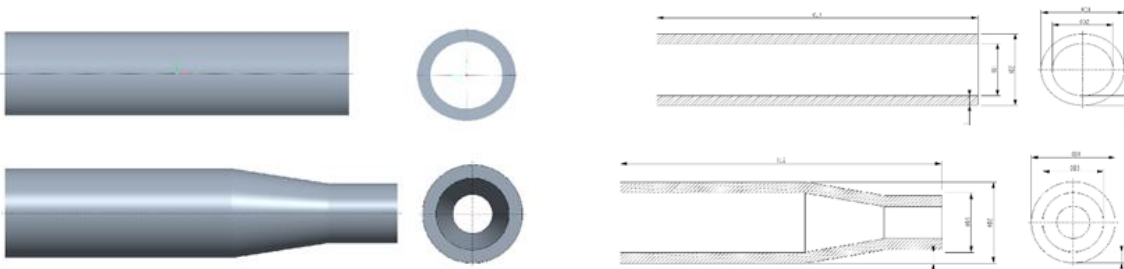
METOD

Numune Hazırlama Yöntemi

Bu çalışmada AA 2024-T3 alüminyum alaşımlı boru numuneleri önceden hazırlanmıştır. Borular 300 mm uzunluğundaki numunelerle parçalara ayrıldı.

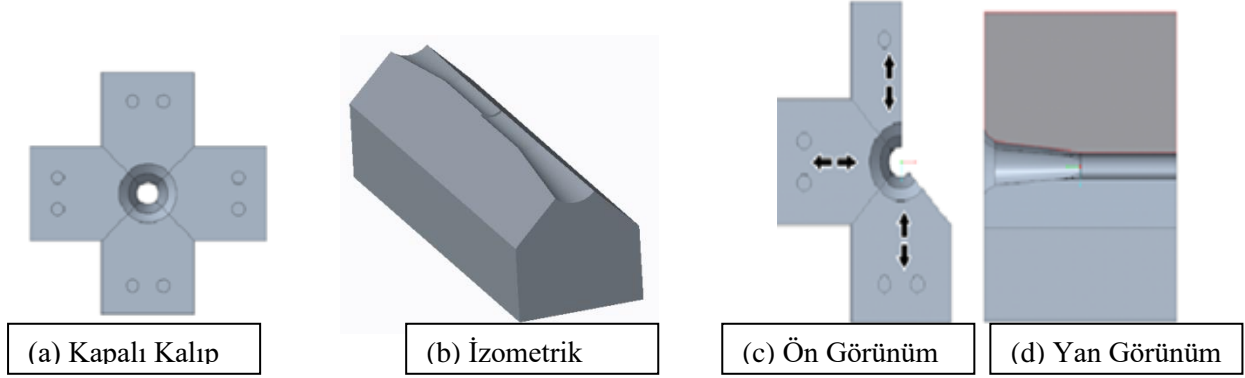
Büzme İşleminde Kullanılan Kalıpların Tasarımı

Bu çalışmada özel olarak tasarlanmış kalıp ile büzme işlemi uygulanmıştır. Kalıp tasarımına başlamadan önce büzme operasyonunu etkileyen hedef tasarım parametreleri detaylı olarak incelenmelidir. Bunlar Şekil 2 'de görsel olarak verilmiştir.

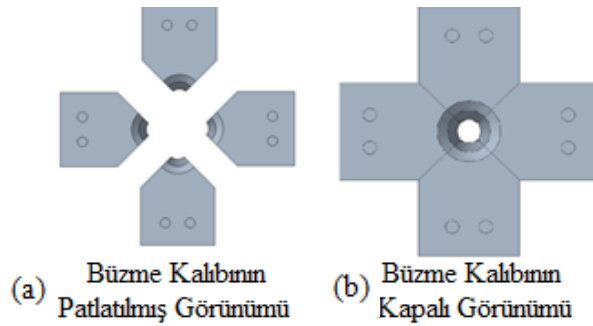


Şekil 2. Büzme Operasyonunu Etkileyen Hedef Tasarım Parametreleri

Bu kalıp 1.2369 kalıp çeliği malzemeden üretilmekte ve Şekil 3'te görüldüğü gibi 44 HRC'de sertleştirilmektedir. Büzme kalıbı, kalıbın makinenin rotor kısmına yerleştirilmesi nedeniyle 4 parçadan oluşmaktadır. Büzme kalıbının görünüşleri Şekil 3'te verilmiştir. Büzme makinesinde kalıplar rotor içerisinde dönerken açılıp kapanır ve bu sayede kalıp halindeki boru veya mil gibi malzemelerin çaplarının daraltılması mümkün olur. (Şekil 4).



Şekil 3. Dövme Kalıbının Tasarım Görünüşleri (a) Kapalı Kalıp; (b) İzometrik; (c) Ön Görünüm; (d) Yan Görünüm



Şekil 4. Sallama Hareketleri ve Büzmenin Boylamındaki Genişlemenin Gösterilmesi; (a) Büzme Kalıbının Patlatılmış Görüntüsü; (b) Büzme Kalıbının Kapalı Görünümü

Boru büzme işlemi Şekil 5'te gösterildiği gibi 4 noktadan vuruşlu dövme makinesinde gerçekleştirildi. Bu makine dakikada 60 defa açılıp kapanarak soğuk büzme işlemini gerçekleştirir. Alüminyum boru tezgaha ve kalıpların arasına girerek tezgah dönüşü sırasında açılıp kapanarak borunun içini şekillendirir. Bu işlemler mandrel kullanılmadan, boru iç çapı dikkate alınmadan gerçekleştirildi. Bunun nedeni daha sonra $\varnothing 6,5$ matkapla delinmesidir.



Şekil 5. Büzme İşleminde Kullanılan Büzme Makinesi

Bu çalışmanın ilk aşamasında Alüminyum 2024 alaşımı T3 ısıl işlemine tabi tutulmuştur. T3 ısıl işlem görmüş Al alaşımı için T42, yapay yaşlandırmaya ve kriyojenik ısıl işlemlere tabi tutuldu. T3 ısıl işlem görmüş parçalar 410 °C'de 2,5 saat bekletildi ve fırında 2 saat kontrollü olarak soğutuldu. Bu işlemden sonra T0 ısıl işlemi yapılmıştır. Elde edilen T0 ve T3 ısıl işlemine tabi tutulan numuneler 495 °C'de 40 dakika bekletildikten sonra 30 °C sıcaklıktaki su içerisinde anında soğutuldu. Bu işlemle T42 ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak T42 ısıl işlemine tabi tutulan numuneler -100 °C'de 1 saat tutularak kriyojenik ısıl işleme tabi tutuldu. Bu durum Tablo 2'de açıklanmaktadır. Bu yaşlandırma operasyonlarından sonra; Farklı ısıl işlem işlemlerine tabi tutulan numuneler için sertlik, çekme testleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmış, karşılaştırma tablosu oluşturularak ısıl işlemin etkileri incelenmiştir.

Tablo 2. Proseslerin Uygulanmasına Göre Isıl İşlem Seçenekleri

Isıl İşlem Seçenekleri	Sürecin Uygulanması
T3	Isıl işlem görmüş alüminyum 2024 alaşımını T3 ile birlikte verilir.
T3 >> T0	410 °C'de 2,5 saat bekletildi ve 2 saat fırında kontrollü olarak soğutuldu.
T3 >> T0 >> T42	T3'ten T0'a kadar alınan numuneler 495 °C'de 40 dakika bekletildi ve 30°C sıcaklıktaki suda anında soğutuldu.
T3 >> T42	495 °C sıcaklıkta 40 dakika bekletildi ve 30 °C su ile hemen soğutuldu.
T3 >> T0 >> T42 >> CR	T3>>T0>>T42 ısıl işleminden sonra -100 °C'de 1 saat bekletildi.
T3 >> T42 >> CR	T3>>T42 ısıl işleminden sonra -100 °C'de 1 saat bekletildi.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Al 2024 Boru Malzemelerinde Büzme/Çap Küçültme Sonuçları

Metal şekillendirme kalıplarında kalıp tasarımı ve taslak açısı önemlidir. Bu çalışma kapsamında 7 derecelik tek draft açısı ile kalıp tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu konseptte 11,5 mm ve 19 mm çapında iki farklı büzme kalıbı kullanıldı. Farklı çap ve et kalınlıklarına sahip 6 farklı tip boru, döner büzme işlemine tabi tutuldu. Burada öncelikle borunun çapı ve alan daralmaları dikkate alınır. %50'nin üzerindeki alan daralmalarında boyuna uzama miktarı artarken buna paralel olarak çatlak oluşma riski de artar. Bu durum dikkate alınarak yapılan çalışmadaki çap ve alan daralmaları aşağıda Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Farklı Çaplardaki Al2024-T3 Tüplerde Kalıplama Öncesi ve Sonrası Ölçüm Sonuçları

Nominal Boyut	Büzme Çapı	Büzme Öncesi			Büzme Sonrası			D-R (%)	A-R (%)
		OD1 (mm)	OD2 (mm)	OT1 (mm)	OD3 (mm)	OD4 (mm)	OT2 (mm)		
12,7 x 2,1	11,5	12,72	8,62	2,1	11,41	6,94	2,31	10,3	19,5
15,9 x 1,6	11,5	15,87	12,55	1,66	11,37	6,95	2,43	28,3	48,7
19,1 x 3,05	19	19,1	13	3,05	18,98	7,9	3,12	0,6	1,25
22,2 x 2,2	19	22,19	17,4	2,47	19,02	13,64	2,68	14,3	26,5
25,4 x 3,05	19	25,4	19,3	3,06	19,21	12,9	3,4	23,4	42,8
28,6 x 3,05	19	28,6	22,5	3,05	19,13	9,94	4,6	33,1	55,2

Tabloda tanımlanan her bir kısaltmanın açıklaması şu şekilde sıralanabilir:

OD1: Dış Büzmeden Önce Boruların Çapı,
OD2: Büzmeden Önce Boruların İç Çapı,
OD3: Büzme Sonrası Boruların Dış Çapı,
OD4: Büzme Sonrası Boruların İç Çapı,

OT1: Büzmeden Önce Duvar Kalınlığı
OT2: Büzme Sonrası Duvar Kalınlığı
D-R: Çap Küçültme
A-R: Alan Azaltma

11,5 mm çapındaki büzme kalıbı ile çap küçültme yapılan tüplerde başlangıç çaplarına oranla sırasıyla %19,5 ve %48,7 oranında alan daralması gözlemlendi. Bu durum 19 mm çaplı kalıpla şekillendirilen tüpler için geçerlidir. Öyle ki boru çapına bağlı olarak deformasyon miktarı ve alan küçülme oranı artmıştır. Buradaki alan ve çap daralmaları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır (Semiatin, 2005).

$$\text{Alan Azaltma (AR)} = 100 * \left[1 - \left(\frac{OD3^2}{OD1^2} \right) \right] \quad (1)$$

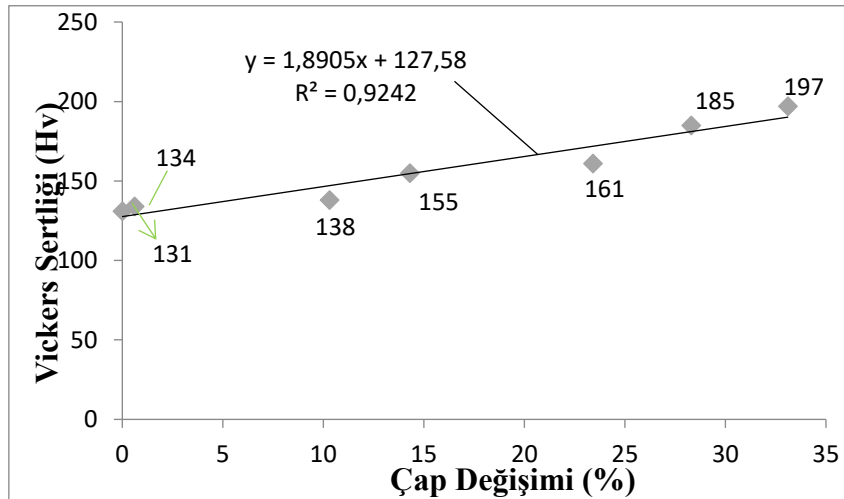
$$\text{Çap Küçültme (DR)} = 100 * \left[1 - \left(\frac{OD3}{OD1} \right) \right] \quad (2)$$

Sertlik Sonuçları

Farklı çap ve et kalınlıklarına sahip alüminyum borular büzme işlemine tabi tutularak büzme işleminin boruların mekanik özelliklerine etkisi araştırıldı. Bu çalışmada tüm ürünler alüminyum 2024-T3 tüp malzemesi olmasına rağmen farklı boyutlara sahip olup, iki farklı dövme kalıbı kullanılarak işlem tamamlanarak 1 ve 2 nolu tüp numuneleri 19 mm çapa, 3 ve 4 numaralı numuneler ise yaklaşık olarak 19 mm çapa düşürülmüştür. 11,5 mm çapında. Tablo 4'te görüldüğü gibi büzme işleminin neden olduğu deformasyon miktarına ve alanı ve çapındaki değişime bağlı olarak sertlik değerlerinde artış görülmektedir (Şekil 6).

Tablo 4. Al 2024'ün Büzme İşlemi Sonrası Ölçüm Sonuçları

Nominal Boyut	Büzme Çapı (mm)	Dış Çap (mm)	İç Çap (mm)	Et Kalınlığı Değişimi (%)	Çap Değişimi (%)	Alan Çapı Değişimi (%)	Sertlik (Hv)
Referans Tüp Malzemesi Büzülmeden				0	0	0	131
19,1 x 3,05	19	3,05	3,12	2,3	0,6	1,25	134
12,7 x 2,1	11,5	2,1	2,31	10	10,3	19,5	138
15,9 x 1,6	11,5	1,66	2,43	46,4	28,3	48,7	185
22,2 x 2,2	19	2,47	2,68	8,5	14,3	26,5	155
25,4 x 3,05	19	3,06	3,4	11,1	23,4	42,8	161
28,6 x 3,05	19	3,05	4,6	50,8	33,1	55,2	197



Şekil 6 . Vickers Sertliği ve Çap Değişimi Grafiği (%)

Başlıca bulgular şunlardır: Dış yüzeydeki malzeme radyal döngüsel deformasyona maruz kalırken, iç yüzeydeki malzeme aksel döngüsel deformasyona maruz kalmıştır. Bu nedenle birleşik bir sertleştirme modelinin oluşturulması gerekmektedir; Yönlendirilmiş malzeme akışının görüldüğü yerlerde, duvar kalınlığı, gerilim yoğunlaşmasından dolayı azalma eğilimindedir. Yapılan gözlemin ince olmayan tüplerde daha belirgin olduğu görüldü (Liu et al., 2020)

Çekme Mukavemeti Testi Sonuçları

Büzme operasyonu sonrası sertlik ölçümleri gerçekleştirilen parçalar, çekme testlerine tabii tutulmuş ve farklı boyutlardaki alüminyum boruların büzme operasyonu, test sonuçları Tablo 5’de listelenmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere, büzme işlemi parçanın akma ve çekme dayanımlarını arttırmış olmasına rağmen, yüzde uzama değerlerini deformasyon oranına bağlı olarak düşürmüştür. Büzümüş numunelerin çekme testi sonrası kırılma yüzeylerine dikkat bakıldığında, gevrek bir kırılma olduğu görülmektedir. Çap daraltma miktarı daha düşük olan numunelerde boyun verme daha belirgindir.

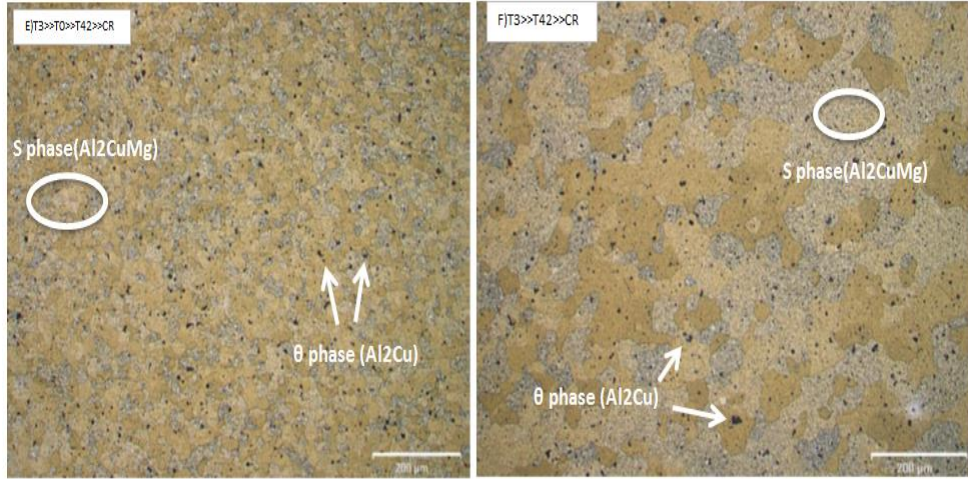
Tablo 5. Al 2024’ün Farklı Isıl İşlemler Sonrası Çekme Testi Sonuçları ve Sertlik Değerleri

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
T3	348	491	18,5	131,6
T3 > T0	153	313	17	75
T3 > T42	325	537	21	134,72
T3 > T0 > T42	347	505	13	140,7
T3 > T42 > KR	332	543	19	131,2
T3 > T0 > T42 > KR	338	526	14	129,3

Mikroyapı Sonuçları

Mikro yapı incelemesinde tane boyutlarının homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Siyah noktalar halinde görünen yapılar alüminyum olmayan element ve fazlardır. Şekil 7’ye bakıldığında; boyuna kesit esas olarak gözlenir ve koyu renkli parçacıklar CuMgAl, CuMnAl ve CuFeAl’dir. Daha düşük soğutma hızı, CuMgAl’nin tane sınırlarında daha fazla çökmesine neden olmuştur.

T0 koşulundaki AA2024 ve AA2055 alaşımları için eş eksenli bir tane morfolojisi mevcut olup, bu yeniden kristalleşmenin ürünüdür. Alaşım yüzeyinde koyu görünen rastgele dağılmış metaller arası parçacıklar ve tane sınırı yüzey enerjisi tarafından yönlendirilen tane sınırlarında heterojen bir çökme oluşturmaktadır. Çökmeden arındırılmış bölgeler, dislokasyon hareketi için tercihli bir yol oluşturur ve alaşımın genel olarak zayıflamasına neden olur (Samaniego et al., 2021; Queiroz, 2008). Isıl işlemlerin farklı uygulamalarında kontrast farklılıkları bulunmaktadır ve bu çok iyi gözlemlenmektedir. Mikroyapıdaki tane sınırı konumları iyi gözlemlenir ve fazlar belirlenebilir. Metallerarası parçacıkların türleri dikkate alındığında başlıca S ve Θ fazlarının olduğu görülmektedir. Son durumda gözlenen sertleşmenin sebebi incelendiğinde denge fazlarının çökmesi ile olduğu görülmektedir. (OHMORI et al., 1999; Feng et al., 2010).



Şekil 7. AA 2024 Numunelerinin Isıl İşlemleri İçin Mikroyapı İncelemesi

DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, farklı ısıl işlem işlemleri uygulanmış ve mikroyapısal farklılıklar açısından incelenmiştir. mikroyapı görüntülerinde tane yapılarının oluştuğu açıkça görülmektedir. Isıl işlemlerin farklı uygulamalarında kontrast farklılıkları bulunmaktadır ve bu çok iyi gözlemlenmektedir. Metallerarası parçacıkların türleri dikkate alındığında başlıca S ve Θ fazlarının oluştuğu görülmektedir. Son durumda gözlenen sertleşmenin sebebi incelendiğinde denge fazlarının çökmesi ile olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdulstaar M. A., E. A. El-Danaf, N. S. Waluyo, & L. Wagner (2013). Severe plastic deformation of commercial purity aluminum by rotary swaging: microstructure evolution an mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 565, pp.351-358. DOI: 10.1016/j.msea.2012.12.046
- Akdogan A. (10-12 Mayıs 2000). “Uçak Endüstrisinde Kullanılan Metal ve Metal Dışı Malzemeler ve Bu Malzemelerin Muayene Yöntemleri”, Y.T.Ü. Makine Fak., *Kayseri 3. Havacılık Sempozyumu*.
- Ameli. A. & Movahhedy M. R. (2007). “A parametric study on residual stresses and forging load in cold radial forging process”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 33: 7–17. DOI:10.1007/s00170-006-0453-2.
- Baldissera P. and Delprete C. (2008). Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review. *The Ope Mechanical Engineering Journal*, 2008, 2, 1-11.
- Feng ZQ, Yang YQ, Huang B, Han M, Luo XA, Ru JG (2010). Precipitation process along dislocations in Al-Cu-Mg alloy during artificial aging. *Mater Sci Eng A* , 528:706e14. DOI: 10.1016/j.msea.2010.09.069
- Gan W. M., Y. D. Huang, R. Wang, Z. Y. Zhong, N. Hort, K.U. Kainer, N. Schell, H. G. Brokmeier, & A. Schreyer (2013). Bulk and local textures of pure magnesium processed by rotary swaging. *Journal of Magnesium and Alloys*: pp. 341-345. DOI: 10.1016/j.jma.2013.12.004.
- Güler K.A. (2003). Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler ve Özelliklerinin İncelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi*.
- Hung F.Y, Lin C.W, Lui T.S, & Chen H.P. (2018). Effects of Rotary Swaging on Microstructure and Mechanical Properties of 2024 Aluminum Tubes, *International Journal of Research Science & Management*, 5(2): ISSN: 2349-5 DOI:10.1016/j.matchar.2022.112575.
- Lima S. J., H. J. Choia, & C. H. Leeb (2009). Forming characteristics of tubular product through the rotary swaging process. *Journal of Materials Processing Technology*. pp. 283-288. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.08.086
- Liu Y, Liu J, Herrmann M, Schenck C, & Kuhfuss B. (2020 Dec 24). Material Flow in Infeed Rotary Swaging of Tubes. *Materials(Basel)* 14(1):58. <https://doi.org/10.3390/ma14010058>

- OHMORI, Y., ITO, S., NAKAI, K., (1999). *Metall. Mater. Trans:A* , 30, p.741. <https://hal.science/hal-00863168>
- Pavan K.M., Sachin.L.S, Mayur.S, Chandrashekar A, & Ajaykumar B.S, (2014). Effect of Cryogenic Treatment on the Mechanical and Microstructural Properties of Aluminium Alloys- A Brief Study, *International Journal Of Mechanical And Production Engineering*, 2(5), 95-99.
- Samaniego-Gómez, P.O., Almeraya-Calderon, F., Maldonado-Bandala, E., Cabral-Miramontes, J., Nieves-Mendoza, D., Olguin- Coca, J., Lopez-Leon, L.D., Silva Vidaurri, L.G., Zambrano-Robledo, P., & Gaona-Tiburcio, C. (2021). Corrosion Behavior of AA2055 Aluminum-Lithium Alloys Anodized in the Presence of Sulfuric Acid Solution. *Coatings*, 11, 1278. <https://doi.org/10.3390/ma15186401>
- Semiatin S.L. (2005), *ASM Handbook Metalworking: Bulk Forming, Vol.14A*. DOI ONLINE NO - IJMPE-IRAJ-DOI ONLINE-778
- Queiroz, F.M. (2008). Estudo Do Comportamento de Corrosao Dos Intermetálicos Presentes Na Liga AA2024-T3, *Por meio De Técnicas De Microscopia Associadas A Técnicas Electroquímicas. Ph.D. Thesis*, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil. <https://doi.org/10.3390/met11060980>
- Wang D, Zhang WX, Huang SQ, Yi YP, & He HL (2022). Effect of threedimensional deformation at different temperatures on microstructure, strength, fracture toughness and corrosion resistance of 7A85 aluminum alloy. *J Alloys Compd*, 928:167200. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.167200>