

AA2024 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA BİLYELİ DÖVME İŞLEMİNİN TANE BOYUTUNA ETKİSİ

Zehra ALKAN¹, Remzi VAROL², Ramazan SELVER²

ÖZET

Bu çalışmada ısıtma işlemi görmüş AA2024 malzemede bilyeli dövme işleminin yüzey bölgesindeki tane boyutuna olan etkisi incelenmiştir. Bunun için AA2024 malzemeye farklı bilye çapları ve farklı dövme sürelerinde bilyeli dövme yapılmıştır. Dövme işlemi sonrasında AA2024 malzemede oluşan deformasyon etkisi ile iç yapıda ve yüzey kalitesinde bozulmalar tespit edilmiştir. Bilye çapı sabit olup dövme süresi arttıkça, plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlığı artmaktadır. Aşırı plastik deformasyon oluşan tabakada tane incelenmesi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA2024 alüminyum malzeme, bilyeli dövme, tane boyutu

THE EFFECT OF SHOT PEENING ON GRAIN SIZE OF AA2024 ALUMINIUM ALLOY

ABSTRACT

In this study, the effect of shot peening on the grain size of shot peened and heat treated AA2024 aluminium material was investigated. Therefore, shot peening process was performed AA2024 material at different conditions. After shot peening, changes were observed by analyzing micro structure and surface quality due to deformation of the AA2024 material. When shot diameter is kept constant, plastically deformed layer thickness increases with increasing shot peening time. Grain refinement in severe plastic deformed layer is determined.

Keywords : AA2024 Aluminium material , shot peening, grain size

1. GİRİŞ

Metallerin yorulmaya ve gerilmeli korozyona karşı mukavemetlerini arttırmak amacıyla soğuk veya ılık olarak uygulanabilen bilyeli dövme işlemi metallerin yüzeyine küçük çaplı bilyelerin fırlatılması ile gerçekleşen bir yüzey işlemidir. Her bir bilyenin metalin yüzeyine çarpması, ince uçlu bir çekicinin malzemenin yüzeyine vurulması sonucu oluşan etkiye benzer bir etki gösterir, metalik malzemenin yüzeyinde tümsek ve çukurcuklar oluşturur. Bilyeli dövme işleminde kullanılan bilyeler genellikle küresel olup malzemeleri dökme demir, çelik, cam, seramik, kesme tel veya paslanmaz çelik olabilir. Malzemeyi dövecek bilyelerin hızı, kalıcı plastik deformasyon oluşturacak hızlarda, metalin yüzeyine püskürtülmelidir. Bilyeli dövme işleminin gayesi metal malzemeden yapılmış parçaların yorulma, korozyonlu yorulma ve gerilmeli korozyon gibi hasar türlerine karşı direncini arttırmaktır [1].

Bilyeli dövme ve yüksek basınçlı burulma gibi metotlarla elde edilebilen ince taneli yapıya sahip malzemeler (100 nm altı) tane sınırlarının aşırı plastik deformasyon sonucu hacimsel

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi Keçiborlu MYO Mak. ve Met. Tek. Böl, Isparta/TÜRKİYE, zehraalkan@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Isparta/TÜRKİYE

olarak hasara uğraması ile oluşur. İnce taneli yapılar son yıllarda bilimsel araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ince taneli yapıya sahip malzemelerin kaba taneli malzemelerden farklı olarak çok daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Mikron mertebeli tane yapılarının kimyasal özelliklerini değiştirmeksizin ince taneli yapılara dönüştürmek ve mekanik özellikleri bu yöntemle iyileştirmek yeni araştırma konusudur [2].

İnce taneli tabakaların bilyeli dövme ile oluşturulması saf metaller dahil olmak üzere tüm metal ve alaşımları için geçerlidir. İnce taneli yapılar başta mikro yapı karakterizasyonu olmak üzere SEM (taramalı elektron mikroskobu), TEM (transmisyon elektron mikroskobu), mikro, nano sertlik ölçümleri ve diğer testlerle belirlenebilmektedir. Metalik malzemelerde tane boyutundaki değişim mekanik ve diğer özellikleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Yüzeyde veya yüzeye yakın bölgelerde meydana gelecek olan ince taneli veya nano boyutlu yapılar malzemenin dayanım ve sertlik başta olmak üzere mekanik özelliklerinde büyük iyileşmelere neden olmaktadır. Ayrıca yüzeyde ince taneli yapıların varlığı metalin yorulma ve gerilmeli korozyon gibi hasarlardan doğan ve yüzeyde başlayıp iç kısımlara doğru ilerleme eğiliminde olan mikro ve makro çatlakların ilerleme hızını düşürür [3].

Düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum için Almen dövme şiddeti azaldıkça yüzey sertlik değerlerinde de azalma gerçekleştiği görülmüştür. Aşırı bilyeli dövme ile aşırı plastik deformasyon, yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki bölgelerde yaklaşık 50 µm lik bir tabakada tanelerin incelmeye neden olmaktadır. SEM’de yüksek büyütmede alınan görüntülerde ince tanelere (birkaç mikron seviyesi) ve mikron altı boyutta aşırı ince tane yapıların varlığına rastlanılmıştır [4].

AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye bilyeli dövme uygulanmış ve nano-kristalli yapı elde edilmiştir. Nano –kristalli yüzeye sahip AISI 304 paslanmaz çelik bir malzemenin mekanik özelliklerinden çekme mukavemeti 657 MPa’dan 747 MPa’a yükselmiş, kırılma tokluğu ise %17 iyileşmiştir [5].

Ti-6Al-4V malzemede bilyeli dövme yoluyla elde edilmiş pürüzlü yüzey ve nano boyutlu tane yapıları incelenmiştir. Bu çalışmada bilyeli dövme parametrelerinin değiştirilmesinin ortalama kristal boyutuna etkisi gösterilmiştir. Burada bilyeli dövme işleminin uygulama süresi de göz önüne alınmıştır. Bu malzemede nano boyutlu tane yapısı 0,25 MPa hava basıncı üzerindeki hava basınçlarında ve 30 dk üzerindeki uygulama sürelerinde elde edilmiştir. Ayrıca deformasyon tabaka kalınlığında ve ince taneli yapıdaki artış hava basıncı ve işlem süresindeki yükselmeye doğru orantılıdır. Ancak bu arada yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır. Tane incelmeye ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki en iyi kombinasyonun düşük hava basınçlarında ve uzun işlem sürelerinde elde edilebileceği de gösterilmiştir [6].

Titanyum malzemeye uygulanan aşırı bilyeli dövme işleminin mikro yapı oluşumu ve mekanik davranış üzerine etkisi incelendiğinde yüzeyin yaklaşık 160 µm altına kadar ince taneli yapı gözlenmiştir. Ultra ince taneli yapıda kristal yapının boyutları 100 nm dir ve bu boyutlar plastik deformasyon etkisinin artmasıyla da azalmaktadır[7].

Literatürde, bilyeli dövme işlemi uygulanmış olan farklı malzemeler için yapılmış çalışmalarda ince taneli yapının ortaya çıktığı ve bu yapının malzemelerin farklı özelliklerine etki ettiği görülmektedir. Bu çalışmada ise AA2024 levha malzemenin bilyeli dövme işlemi uygulandıktan sonra iç yapıdaki değişimleri, farklı dövme şartlarının deforme olmuş tabaka kalınlığına etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, alüminyum alaşımlarından uçak yapı elemanı olarak önemli bir kullanım alanına sahip 2xxx serisine ait AA 2024 malzemesi seçilmiştir. Genel olarak Al alaşımlarının yoğunluk değerleri düşüktür. AA2xxx serisi Al alaşımları ısıtma işlemiyle sertlik ve dayanımları önemli ölçüde artabilen alaşımlardır. Bunlardan AA2024 alaşımı doğal ve yapay yaşlandırma yapılarak mekanik özellikleri iyileştirilebilen bir alaşımdır. Bu yüzden bu çalışmada AA2024 malzemesi seçilmiştir.

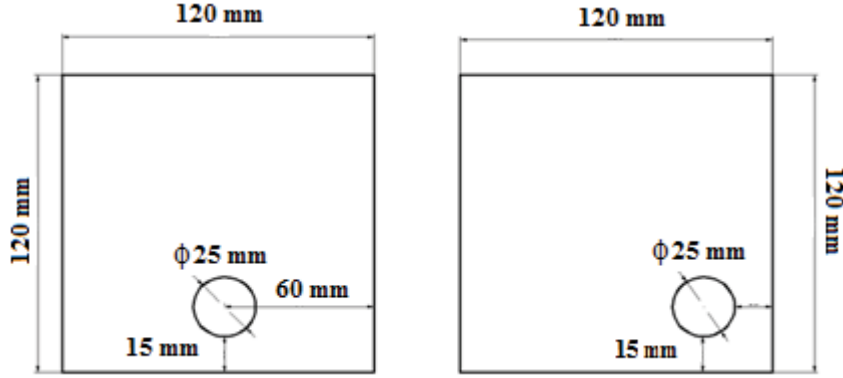
AA2024 malzemelerinin bilyeli dövme ile fiziksel ve metalografik özelliklerinin değişiminin incelenmesi amacıyla dairesel numunelerin dövme şartları belirlenmiştir. Ölçüm yapılacak numunelerin hazırlanmasında kalınlıkları AA2024 için 3,3mm olan, 120mm x 120mm boyutlarında ısıtma işlemi görmüş levha malzemeler kullanılmıştır. AA2024 alaşımı 500 °C'de 30 dakika fırında bekletildikten sonra suda soğutulmuştur. Isıtma işleminden sonra 10 gün tabii yaşlandırma için beklenilmiştir.

Dövme işlemi sırasında numuneler 25 mm çapında dairesel olarak dövülmüştür. Dairesel numuneler için hem tek hem de çift yönlü olarak yapılan dövme işlemine ait dövme parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

AA2024 malzemeler, Tablo1'de verilen dövme parametrelerine göre önceden belirlenen dairesel kesitli 25 mm çapında tek ve çift taraflı olarak dövülmüştür. Bu işlem için iki tip master Şekil1'de görüldüğü gibi boyutlandırılarak hazırlanmıştır. Belirlenen her bir dövme süresi boyunca malzemeler üzerindeki koruyucu mastardan dolayı sadece master üzerindeki açık alan dövme işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo1. AA2024 malzemenin dairesel kesitli deney numuneleri için dövme parametreleri

Bilye Tipi	S230	S330	S460
Dövme Süresi (s)	20	20	20
	40	40	40
	60	60	60
	80	80	80
	100	100	100
	120	120	120

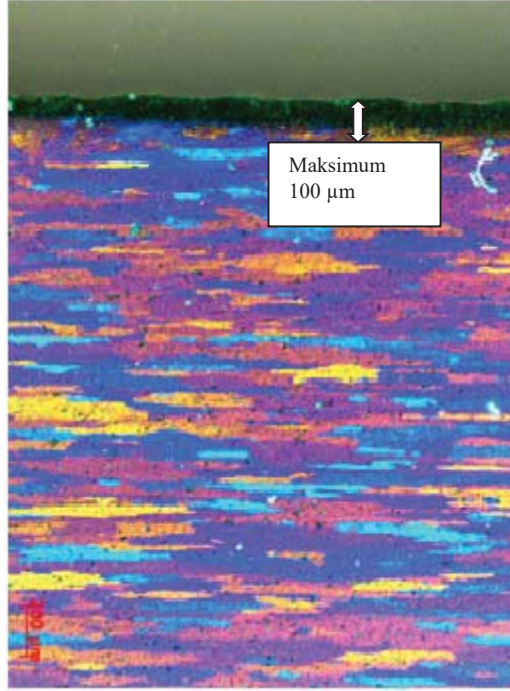


Şekil 1. Dairesel kesitli numuneler için dövme master ölçüleri.

AA2024 malzemesinin mikro yapı özellikleri ve tane boyutu değişimleri incelenmiştir. Dövülen yüzeye dik kesitte inceleme yapabilmek için numuneler enine kesilmiştir. Alüminyum numunelerin yüzeyine barker metodu ile elektro dağlama yapılmış ve ZEISS marka optik mikroskopla görüntülenmiştir. Dövme şartları tüm işlemlerde aynı tutulmaya çalışılmıştır. Dövme şartlarında; bilyelerin sabit hızla parçaya vurmasını sağlayacak eleman olan nozul ucu ile iş parçası arasındaki mesafe 10-15 cm, nozul ucu ile iş parçası arasındaki açı 90° olarak uygulanmıştır. Dövme şartlarının sabit tutulmasıyla aktarılan enerji sadece bilye hızı ve bilye kütlesine bağlı olacaktır. Burada değişken sadece bilye çapı olduğu için dövme işlemi sırasında bilyelerin taşıdığı kinetik enerji bilye kütlesinin bir fonksiyonudur. Bu sebeple bilye kütlesi (çapı) küçüldükçe, aktarılan enerji azalır. Böylece tane kırılması daha da azalmış olur [8].

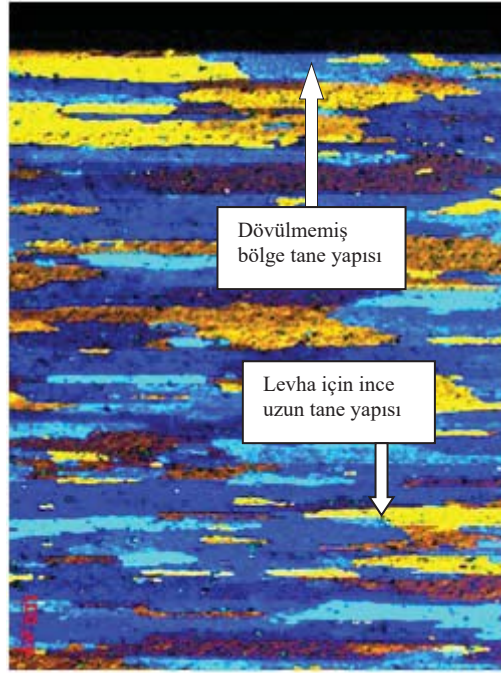
4. TARTIŞMA

AA2024 ısıtılmış, S-330 çift taraflı 80 s dövülmüş numune'nin enine kesitinin görüntüsü Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'de AA2024 malzemenin mikro yapısı, tanelerin şekilleri ve boyutları ile dövme sonucu yüzeyde oluşan ince taneli tabakanın şekli ve kalınlığı görülmektedir. Dövme sonucu ortaya çıkan plastik deforme olmuş tabaka kalınlığı 100 µm' ye kadar çıkmaktadır. Bu tabakada malzemenin dövülmemiş kısımlardaki tane yapısının tamamen değiştiği ve daha ince taneli bir yapının varlığı dikkati çekmektedir.



Şekil 2. AA2024 ısıt işlem görmüş, S-330 Çift taraflı 80 s dövülmüş numune (X50)

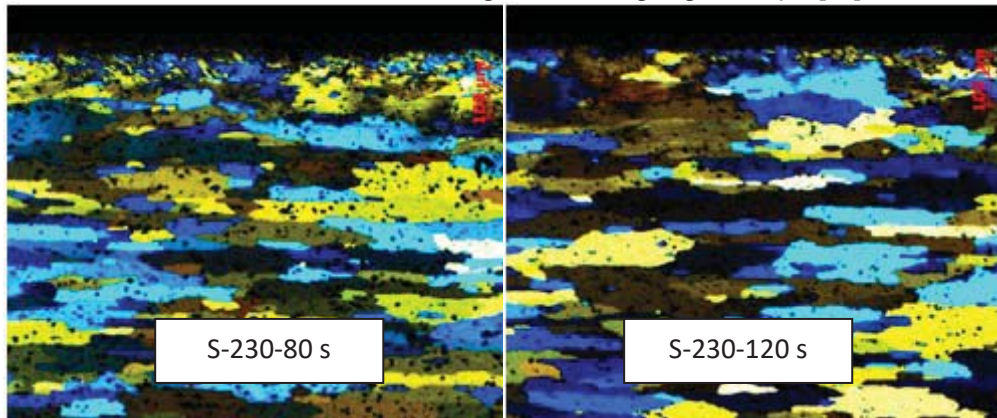
Şekil 3’de görülen dövme işleminin uygulanmadığı AA2024 malzemede tane yapılarının ince uzun yönlenmiş ve levha için uygun tane yapısında olduğu görülmektedir. Şekil 4’de AA2024 ısıt işlem yapılmış malzemenin S-230-330-460 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s için içyapı görüntüleri verilmiştir [8]. Burada dövme işlemi sonrasında AA2024 malzemede oluşan deformasyon etkisiyle içyapıda ve yüzey kalitesinde bozulmalar dikkati çekmektedir. Bilye çapının artması dövülen bölgede dövülerek deforme edilen tabaka kalınlığında artışa sebep olmuştur.

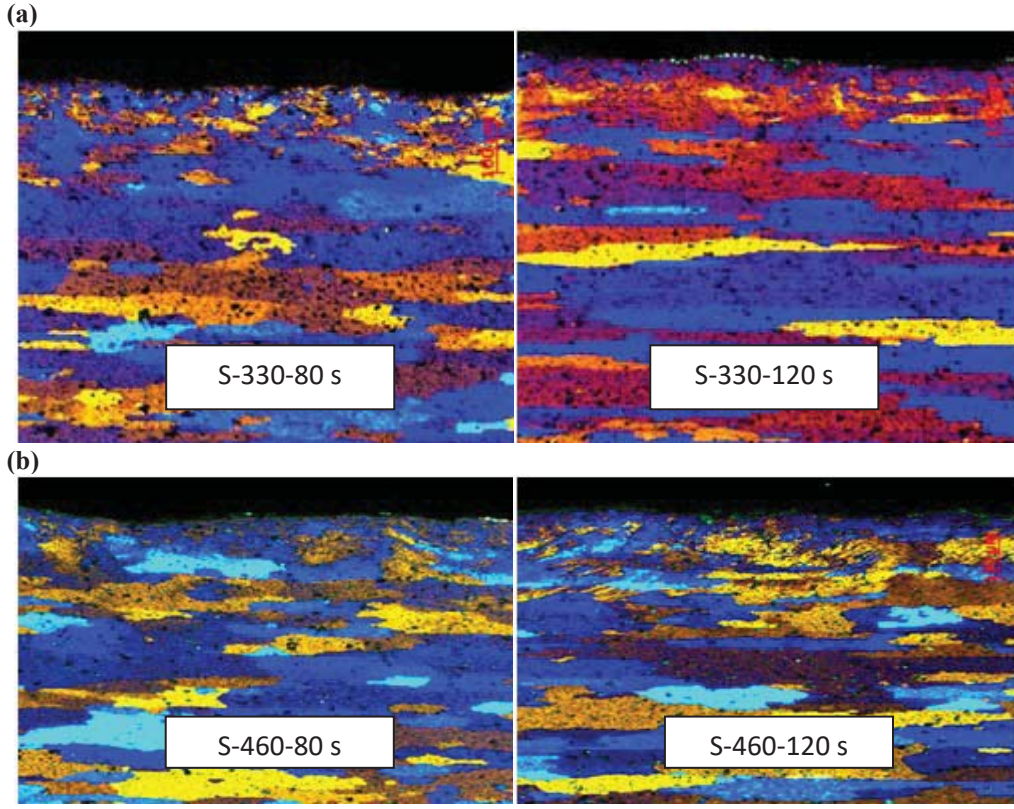


Şekil 3. AA2024 ısıtılmış işlem görmüş dövülmemiş numune (X50)

Soğuk deformasyon sonrasında deformasyon oranındaki artış malzeme içyapısında değişikliklere sebep olmakta bu etki ile fiziksel ve mekanik özellikler de değişmektedir. Akar ve Mutlu (2010), yapmış oldukları çalışmada AA2024 malzeme için deformasyon oranı artışının ortalama tane boyutuna etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmalarının sonucunda artan deformasyon oranı ile ortalama tane boyutunun azaldığını, %10 soğuk deforme edilmiş malzemede oldukça kaba bir tane yapısı görülürken, %20, %30 ve %40 soğuk deformasyon oranlarında küçük tane yapısı elde etmişlerdir [9].

Aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan ince taneli yapı, malzemede mekanik özelliklerin iyileşmesine neden olur. Aynı zamanda sertlik ve akma dayanımı değerleri de yükselir. İnce tane yapı malzemelerin dezavantajı olarak süneklik değerleri gösterilebilir. Bazı araştırmalar ise bu tür malzemelerin süneklik ve tokluk değerlerinin arttığını göstermiştir [10].





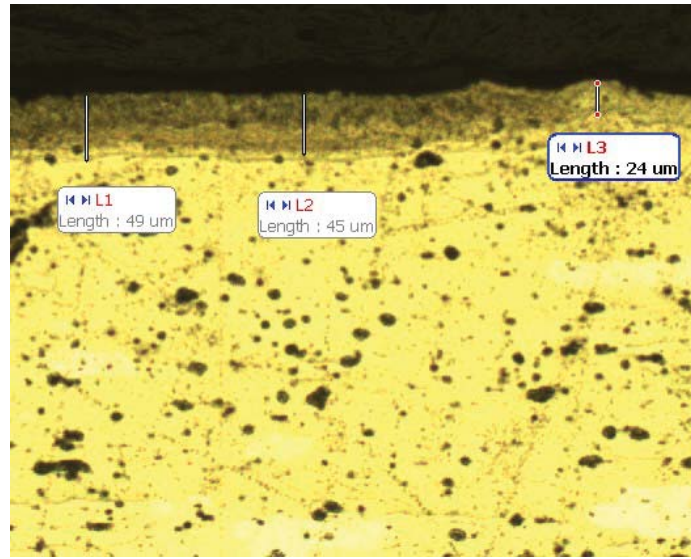
Şekil 4. AA2024 ısıtılmış malzeme için içyapı görüntüleri(X50), (a)S-230 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s,(b) S-330 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s, (c)S-460 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s

4.1. Bilyeli Dövme İşlemi Parametrelerinin Plastik Deformasyona Uğramış Tabaka Kalınlığına Etkisi

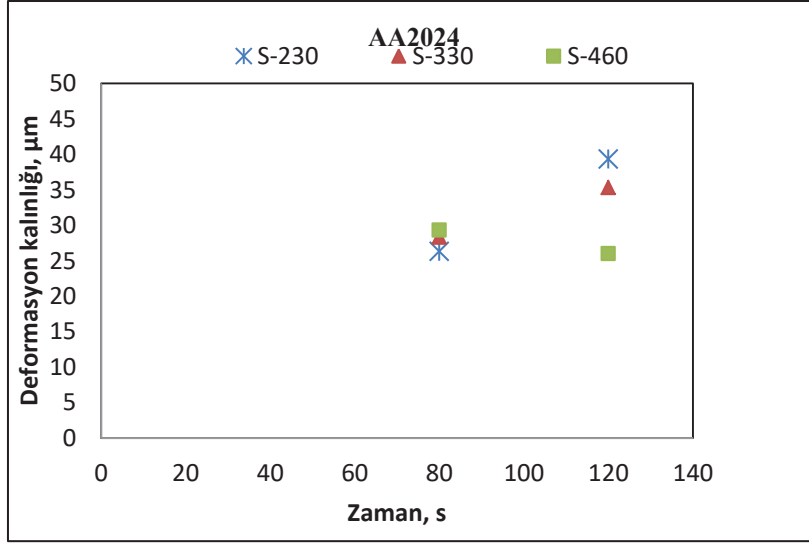
AA2024 malzemelerde dövme işlemi sonucu farklı bilye çapı ve dövme sürelerine bağlı olarak ortaya çıkan plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlıklarının tespiti için optik mikroskopla ölçümler yapılmıştır. Tabaka kalınlığı ölçümü en az üç defa alınarak bu ölçümlerin ortalaması değerlendirmeler için kullanılmıştır. AA2024 malzeme için optik mikroskopla yapılan ölçüm sonuçlarının ortalamaları Tablo 2’de verildiği gibidir. Bu sonuçların elde edilmesinde kullanılan S230 bilye çapı için dövme süresi 120 s olan numunenin tabaka kalınlığı ölçümlerinin olduğu görüntü örnek olarak Şekil 5’te verilmiştir. AA2024 malzeme için bilyeli dövme işleminde kullanılan bilye çapı değerleri ve dövme süresine bağlı olarak dövülmüş tabaka kalınlığı değerleri Şekil 6’da görülmektedir.

Tablo 2. AA2024 Isıl işlem görmüş malzemenin deformasyon tabaka kalınlığı

Süre	Tabaka Kalınlığı μm		
	S-230 Çift	S-330 Çift	S-460 Çift
80 s	26	28	29
120 s	39	35	26



Şekil 5. AA2024 için tabaka kalınlığı tespiti(X100)



Şekil 6. AA2024 için dövme süresi ve deformasyon kalınlığı arasındaki ilişki

Şekil 6'dan görüleceği üzere AA2024 malzeme için bilye çapı sabit tutulduğunda dövme süresi arttıkça işlem sonrası plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlığı artmaktadır. S230 ve S330 bilyelerin kullanılması durumunda dövme süresinin 80 s'den 120 s'ye çıkarılması durumunda tabaka kalınlığı hızlı bir artış gösterirken, S460 'da bu durum ortaya çıkmamıştır. S460 bilye 'de ortalama çap 1,16 mm iken S230 bilye için bu rakam 0,58 mm mertebesindedir. Hava basıncının dövme işlemleri esnasında sabit olmasından dolayı S460 bilyenin yüzeye çarpma hızının yeterli olmamasına sebep olmuştur. Çünkü dövmenin başlangıcında yüzeyde sertlik artışı meydana gelmekte ve yetersiz enerjiye sahip bilyeler bu pekleşerek sertleşen yüzey tabakasını daha fazla plastik deforme edebilecek seviyede enerjiye sahip olmadıkları için tabaka kalınlığında artış meydana gelmemiştir. Aktarılan enerjinin yetersizliği nedeniyle S460 için bu aralıkta deformasyon tabaka kalınlığında artış görülmemiştir.

AA2024 malzemede dövme işleminin etkisi dövülen numunenin yüzeyinde en fazla 50 µm'lik bir tabakada oluştuğu belirlenmiştir. Bu değer daha önceki yapılan çalışma sonuçları ile uyumludur [4]. Aşırı plastik deformasyonun oluştuğu bu tabakada tane incelmeleri belirlenmiştir. Mikronaltı tane boyutlarının elde edildiği birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir [11,12].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aşırı plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlığı bilyeli dövme işlemi parametrelerine göre değişmektedir. AA2024 malzemesinin dayanım ve sertlik değerleri daha yüksektir, bu sebeple plastik deformasyonun oluşması, tane kırılmasının gerçekleşmesi için daha büyük enerjiye ihtiyaç vardır. Dövülen malzemenin sertlik ve dayanım değeri, yüzeyde plastik deforme olan tabakanın kalınlığını etkilemektedir. Büyük bilye çapında deformasyon kalınlık değerinin artmadığı görülmüştür. Burada S460 bilye çapında yeterli dövme şiddetine hava basıncının düşük olmasından dolayı ulaşılamadığı sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, BAP 2308-D-10 “ Alüminyum Alaşımlarında Bilyalı Dövmenin Fiziksel, Mekanik, ve Yüzey Özelliklerine Etkisi” başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu projeyi destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı’na teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Varol, R., 1990. 2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyeli Dövme İşlem Parametrelerinin Etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
2. Tao, N. R., Sui, M. L., Lu, J., Lu, K., 1999. Surface nanocrystallization of iron induced by ultrasonic shot peening. *Nano Structured Materials* 11, 433–440.
3. Bagherifard, S., Guagliano, M., 2009. Effects of surfaces nanocrystallization induced by shot peening on material properties: a Review. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 7, 3-16.
4. Ünal, O., 2011. Bilyeli Dövme İşleminin Tane Boyutuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
5. Tadge, P., Gupta, P.K., Sasikumar, C., 2015. Surface Nano-crystallization of AISI 304 Stainless Steel through Shot Peening Technique. 4th International Conference on Materials Processing and Characterization. 3245-3250.
6. Liu, Y.G., Li, M.Q., Liu, H.J., 2017. Nanostructure and Surface Roughness in The Processed Surface Layer of Ti-6Al-4V via Shot Peening. *Materials Characterization*. 123, 83-90.
7. Unal, O., Karaođlanlı, A.C., Varol, R., Kobayashi, A., 2014. Microstructure Evolution and Mechanical Behavior of Severe Shot Peened Commercially Pure Titanium. *Vacuum*. 110, 202-206.
8. Alkan, Z., 2014. Alüminyum Alaşımlarında Bilyalı Dövmenin Fiziksel, Mekanik, ve Yüzey Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
9. Akar, N., Mutlu, İ., 2010. AA2024 Alüminyum Alaşımının Tiksotropik Yapısı Üzerine SIMA Yöntemindeki Deformasyon Oranının Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 25, 663-670.
10. Zrnik, J., Dobatkin, S.V., Mamuzi, I., 2008. Processing of metals by severe plastic deformation (Spd). *Structure And Mechanical Properties Respon*d. 47, 211-216.
11. Chang, S.H., Lu, C., Chen, J., 2012. Study on The Microstructures, Electrical Resistance and Mechanical Properties of Sputtering Chromium Target by HP, HIP, and Canning-HIP Processes. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 35, 70-75.
12. Ünal, O., Varol, R., 2014. Almen Intensity Effect on Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Subjected to Severe Shot Peening. *Applied Surface Science*. 290, 40-47.