

AA5754 Alüminyum Alaşımının Bilyeli Dövme Prosesi ile Mekanik Özelliklere Etkisi ve Dövme Üzerine Cr+6 Kaplamanın Korozyon Özelliklerine Bakış

Mesut BOZKURT¹, Ahmet DEMİNER¹

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniv., Teknoloji Fakültesi, Makine Müh. Turkey

e-posta: mesut.bozkurt@gmail.com

ORCID: 0009-0006-0928-7142

e-posta: ademirer@subu.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1252-9203

Geliş Tarihi:11.05.2023 ; Kabul Tarihi:13.09.2023

Öz

Bilyeli dövme prosesi, bir metalin yorulma ve stres korozyonuna karşı direncini artırmak için uygulanan mekanik bir yüzey işlemidir. Bu çalışmada, korozyon özelliklerinden dolayı havacılık endüstrisinde çeliğe alternatif olarak kullanılan AA5754 H111 Alüminyum alaşımının bilyeli dövme işlemi ile mekanik ve korozyon özelliklerinin artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada %100 yüzey örtme oranında 3 farklı bilye çapı S110 (0,3 mm), S170 (0,4 mm), S230 (0,6 mm) ve 3 farklı Almen değerine sahip (8A-12A-15A) 3 çeşit çelik bilye ile dövme işlemi uygulanmıştır. Almen şiddeti (A); bilye çapı, bilye cinsi, püskürtme basıncı, dövme süresi ve yüzey örtme oranına bağlı olarak değişen bir ölçüm sistemidir. Elde edilen numuneler Cr+6 (Alodin) kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Her numune çekme mukavemeti testi, pürüzlülük testi ve tuz püskürtme korozyon testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucu AA5754 H111 malzemesinde S170 (0,4mm) 15 Almen değerinde dövülen numunelerde malzemenin çekme mukavemeti değerinde %5,25 oranında artış meydana gelmiştir. Korozyon test sonucu ise S110 (0,3mm) bilyesinde 15 Almenlik dövülmüş numunede korozyon hasarı kısmen oluşmuştur. S170 (0,4mm) 15 Almenlik dövülmüş numune ise korozyon hasarı görülmemiştir. Sonuç olarak S170 bilyesi ve 15 Almen şiddetindeki prosese tabi tutulmuş numunelerde hem korozyon direncinin hem de çekme dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

AA 5754 H111;
Bilyeli Dövme;
Korozyon;
Cr+6 Kaplama;
Almen Şiddeti.

The Effect of Shot Peening Process on the Mechanical Properties of AA5754 Aluminum Alloy and a Perspective on Corrosion Characteristics with Cr+6 Coating on Shot Peened Surfaces

Abstract

The Shot peening process is a mechanical surface treatment applied to increase the resistance of a metal to fatigue and stress corrosion. In this study, it is aimed to increase the mechanical and corrosion properties of AA 5754 H111 Aluminum alloy, which is used as an alternative to steel in the aviation industry due to its corrosion properties, by shot peening process. In this study, 3 different steel ball diameters S110 (0.3 mm), S170 (0.4 mm), S230 (0.6 mm) and 3 different Almen values (8A-12A-15A) with 100% surface coverage ball forging was applied. The obtained samples were subjected to Cr+6 (alodyne) coating process. Each sample was subjected to tensile strength test, roughness test and salt spray corrosion test. As a result of the experiments, the tensile strength value of the material increased by 5.25% in the samples forged at S170 (0.4mm) 15 Almen in AA5754 H111 material. As a result of the corrosion test, the corrosion damage was partially formed in the 15 Almen forged sample in the S110 (0.3mm) ball. S170 (0.4mm) 15 Almen hammered sample showed no corrosion damage. As a result, it was determined that both the corrosion resistance and tensile strength increased in the S170 ball and the samples subjected to the process at 15 Almen intensity.

Keywords

AA5454 H111;
Shot Peening;
Corrosion;
Cr+6 Coating;
Almen Intensity.

1. Giriş

Bilyeli dövme (shot peening), küresel morfolojiye sahip metallerin ve alaşımların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesine ve yüksek sertlikteki bilyelerin yüksek hızda tekrar tekrar malzeme yüzeyine vurulmasına dayanan mekanik bir yüzey işleme yöntemidir (Mhaede, 2012). Yüksek hızlarda fırlatılan küçük çaplı bilyelerin malzeme yüzeyine tekrarlı çarpması sonucu plastik deformasyon tabakası oluşturur (Alkan, 2016). Bu durum malzemenin tane yapılarını incelterek, çekme dayanımında artış, yüzeyde artık gerilme oluşumu, yüzey ve yüzey altı bölgelerinde sertlik artışı olarak gözlemlenir. Bilyeli dövme prosesinde bilyeler vasıtasıyla malzemeye kinetik enerji aktarımı sağlanmaktadır. Bu enerjinin ölçülmesi için Almen testi geliştirilmiştir. Almen şiddeti (A); bilye çapı, bilye cinsi, püskürtme basıncı, dövme süresi ve yüzey örtme oranına bağlı olarak değişen bir parametredir (Avcu,2018). Bilyeli dövme işlemi, metallerin ve alaşımların yüzey ve yüzey özelliklerini, bilhassa artık basınç gerilimi, sertlik ve yüzey topografyasını değiştirmeyi mümkün kılar. Metallerin ve alaşımların yüzey özelliklerinin, özellikle yorulma direnci, aşınma direnci ve korozyon direncinin önemli olduğu endüstriyel uygulamalar için uygulanması nispeten kolay ve ekonomik olması nedeniyle de yaygın olarak başvurulan bir yöntemdir.

Bilyeli dövme, metalik malzemelerin yüzey ve yüzey altı özelliklerini geliştirmek için kullanılan bir soğuk şekil verme yöntemidir. Malzemelerin yorulma ömrünü arttırmak için de uygulanır. Yüksek hızlarda fırlatılan küçük çaplı bilyelerin malzeme yüzeyine tekrarlı çarpması sonucu plastik deformasyon tabakası oluşturur. Uygulanan Almen şiddeti arttıkça plastik deformasyon kalınlığı da artmaktadır. Bilyeli dövme otomotiv ve havacılık sektörlerinde sıklıkla kullanılan ucuz ve erişilebilir bir yöntemdir (Kocaman ve Demirer, 2022).

Bilyeli dövme işlemi ile malzeme yüzeyinde belirli bir derinliğine kadar kalıcı basma gerilmesi oluşurken, yüzey altında ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Yüzeyde oluşturulan basma gerilmeleri malzemenin yorulma dayanımını

arttırmakta ve dolayısıyla parçaların çalışma ömrünü de uzatmaktadır (Başaran, 2007). Araştırmalarda çatlak başlangıcını sınırlaması ve çatlağın yayılımını engellemesi, kalıcı basma gerilmelerinin yorulma ömrünü arttırıcı yönde davranış göstermesi, ince taneli yapıların mikro sertlik arttırışı göstermesi genel olarak karşılaşılan önemli sonuçlardır (Hongbin vd,1991; Tomlinson vd,1987; Zammit,2013; Appel,2013). Bilyeli dövme uygulaması sadece potansiyel malzeme dayanımı geliştirme tekniği olmayıp, malzeme yüzey karakteristiğini de geliştirmektedir Bu yüzey geliştirme tekniği parçaların yorulma ve korozyon dirençlerini, mekanik karakteristiklerini geliştirir (Nouguier,2013; Kocan,2005).

Alüminyum malzemeler yüksek korozyon direnci, yüksek özgül dayanım, kolay işlenebilirlik, hafiflik özellikleriyle çelikten sonra en yaygın kullanılan mühendislik malzemeleridir. Alüminyum çelik ile kıyaslandığında üç kat daha hafiftir enerji tasarrufunun önem kazandığı savunma sanayinde, trenler, uçaklar, gemiler ve otomobiller gibi pek çok alanda tercih edilmektedir (Başer, 2012). Son yıllardaki gelişmeler ile birlikte askeri araçlarda hız ve manevra kabiliyetinin arttırılması önemli bir konu olmuştur. Çelik malzemelerin yerini alacak alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi yapılan çalışmaların başlıca amaçlarındandır (Coşkun, 2002).

Günümüz endüstrisinde önemli bir malzeme olan alüminyum ve alüminyum alaşımları; yüksek özgül mukavemeti, düşük yoğunluğu ve kolay kalıplanması nedeniyle elektronik, havacılık, savunma sanayi vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Fakat düşük aşınma direnci, alüminyum ve alaşımlarının uygulamalarını sınırlar. Ayrıca kimyasal bileşimi nedeniyle alüminyum ve alaşımları korozyona karşı hassastır. Alaşımlama, ısıtma işlem ve yüzey kaplama işlemleri, bu bahsedilen alüminyum alaşım kusurlarını en aza indirmek için kullanılır. Bu işlemler arasında alüminyum alaşımlarını çevresel etkilerden korumak ve yüzey özelliklerini iyileştirmek için yüzey kaplama işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey işlemleri malzemeye çok iyi aşınma direnci sağlar

(Varol, 1990). Alüminyum alaşımının yorulma ömrünün optimum parametrelerin altında uygulanan bilyeli dövme işlemi ile geliştirildiğini, ancak bilyeli dövme şiddetinin aşırı olması durumunda ise yorulma dayanımının azaldığını belirtmişlerdir (Trsko ve ark, 2014).

Havacılıkta kullanılan Alüminyum alaşımlarının bilyeli dövme ile yüzeyden itibaren belirli bir derinliğe kadar özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Nozul mesafesi, bilye püskürtme basıncı, bilye çarpma açısı ve bilyeli dövme süresi gibi önemli işlem parametrelerinin alüminyum alaşımının mikro sertliğine ve artık basma gerilmesine olan etkileri araştırılmış ve araştırma sonucunda bu parametrelerin mikro sertliği ve artık basma gerilmesini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir (Nam ve ark, 2015).

Bu deneysel çalışmada 5XXX serisi alüminyum alaşımı (AA5754 H111) malzemeye bilyeli dövme prosesi uygulanarak yüzeyde plastik deformasyon sertleşmesi ile yüzey sertliği artırılarak mekanik özelliklerinden çekme mukavemeti ve sertliğin bir miktar artırılması hedeflenmiştir. Bu durum aynı zamanda yorulma dayanımını da olumlu yönde arttıracığı bilinmektedir. Çalışmaya ayrıca ek olarak korozyon direncinin artırılması için elde edilen dövülmüş pürüzlü yüzeye Cr+6 (krom 6) kaplama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ek olarak yapılan

kimyasal kaplamanın genişletilmiş yüzey alanına daha fazla nüfuz ederek kaplamanın daha uzun süre tutunabilmesi de hedeflenmiş bu kaplamanın korozyon davranışı da çalışmada görsel olarak incelenmiştir.

Literatürden farklı olarak çalışmamızda Almen şiddetinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmış ve ayrıca bilyeli dövme üzerine Cr+6 kaplamanın korozyon davranışı görsel olarak incelenmiştir. İleriki çalışmalarda korozyon etkisi daha detaylı incelenecektir.

2. Malzeme ve yöntem

2.1. Malzeme

AA5754 malzemesi mukavemetin yanında korozyon dayanımının da arandığı bölgelerde tercih edilmektedir. Yüksek kaynak kabiliyeti sebebiyle özellikle kaynaklı birleştirmelerde, yakıt tankı üretimi, gemi ve yat endüstrisi ve raylı taşıtlar, uçak kargo kompartımanları, nükleer endüstrisi ve otomotiv sanayisinde AA5754 alaşımının yoğun olarak kullanıldığı alanlardır. H111, malzemenin temper işlemine tabi tutulduğunu göstermekte ve bu malzemelerin yüzde uzama özelliğinin yüksek olması nedeniyle, soğuk şekillendirmelerde tercih edilmektedir. AA5754 H111 malzemesine ait kimyasal özellikler Tablo 1’de, mekanik özellikler ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. AA5754 H111 Alaşımının Kimyasal Özellikleri

Elementler	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer	Al
Kütlece %	0,27	0,36	0,08	0,29	2,8	0,05	0,13	0,04	0,03	Kalan

Tablo 2. AA5754 H111 Malzemesinin Mekanik Özellikleri (Seykoç Alüminyum)

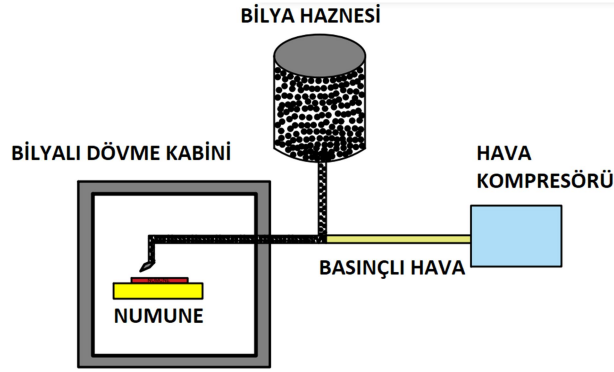
Temper	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama %	Sertlik (HV)
H111	126	216	25	86

2.2. Yöntem

Bilyeli dövme işlemi SGM-1000G marka vakumlu tip bilyeli dövme makinesinde yapılmıştır. Manuel ayarlamalı olan ve makine için geliştirilen düzenele alüminyum numune plakalarına bilyeli

dövme işlemi uygulanmıştır (Şekil 1). Dövme prosesinde kullanılan bilyelerin kodlanmasında “S” bilyenin çelik olduğunu, ardından gelen numara ise bilyenin inç cinsinden çapını vermektedir. Örneğin

S230 bilyenin çapı, $230 \times (10^{-4})$ inç'dir (Başaran, (bilye çapı) Tablo 3'te verilmiştir. 2007). Bilyelere ait SAE standardı ve tane boyutu



Şekil 1. Deneysel çalışmanın bilyeli dövme düzeneği

Tablo 3. Çelik bilyelerin standardı ve çapları (Karahana ve İnce, 2015).

SAE	Tane Boyutu (mm)
S-70	0,20-0,40
S-110	0,30-0,60
S-170	0,40-0,70
S-230	0,60-0,90
S-280	0,70-1,00
S-330	0,90-1,20
S-390	1,00-1,40
S-460	1,20-1,70
S-550	1,40-2,00
S-660	1,70-2,40
S-780	2,00-2,40

Çalışmada işlem parametreleri 3 farklı bilye (tane) boyutuna sahip (S110, S170 ve S230) bilyelerle, üç farklı Almen şiddetinde (9A, 12A ve 15 A) ve %100 yüzey örtme oranında dövülmüştür. Tablo 4'te proses detaylı şekilde gösterilmiştir.

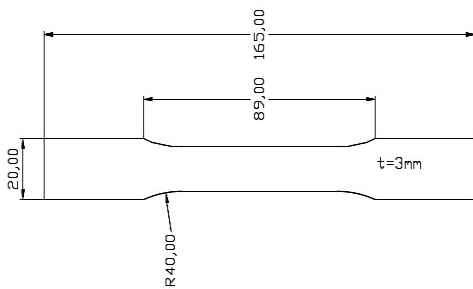
AA5754 H111 alüminyum numuneleri uygun ölçülerde kesilerek bilyeli dövme işlemine farklı Almen şiddeti ve farklı bilye çaplarına tabi tutulmuştur. Elde edilen numuneler Cr+6 (Krom-6) alüminyum kaplama proseslerinden geçirilerek korozotif dayanım özellikleri daha yüksek bir

kaplama elde edilmeye çalışılmıştır. Bilyeli dövme işlemi sonrası yüzey pürüzlüğü yüzey profilometresi ile ölçülmüştür. Kaplanmış numuneler tuz sisi testine tabi tutularak korozyona karşı dirençleri karşılaştırılmıştır. Nihai, mekanik davranışları incelemek için tahribatlı muayene yöntemlerinden olan çekme testleri yapılarak test aşaması sonuçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek malzemelerin farklı proses şartlarına göre çekme dayanımları ve kaplamanın korozyon dirençleri karşılaştırılarak tablo halinde verilmiştir.

Tablo 4. Bilyeli dövme prosesi parametreleri

Malzeme	Bilye Ölçüsü	Yüzey Örtme Oranı	Almen Şiddeti
AA5754 H111	S110	100	8A
		100	12A
		100	15A
	S170	100	8A
		100	12A
		100	15A
S230	100	8A	
	100	12A	
	100	15A	

Bilyeli dövme (shot peening) prosesi ile malzemelerde oluşan çekme dayanımı özelliklerini incelemek için her numune proses öncesi ve sonrası çekme testine tabi tutulmuştur. Plaka şeklinde alınan malzeme üzerinden TRUMPF-82 CNC LAZER makinesi ile çekme numuneleri kesilmiştir. Çekme numunelerinin boyutları Şekil 2’de, hadde yönü ise Şekil 3’ de gösterilmiştir. Çekme deneyleri SHIMADZU AGIC çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Bilyeli dövme işlemi öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için ART300 cihazı (Şekil 4) kullanılmıştır. Yüzey özelliklerinin incelenmesi için bilye ile dövülen plaka formundaki malzemelerden 10x10mm boyutunda numuneler alınarak JEOL JSM-6060LV taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

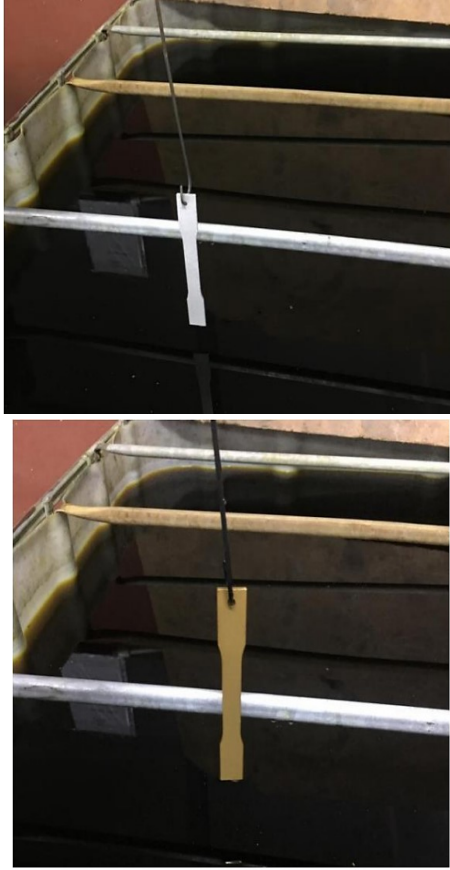
**Şekil 2.** Çekme numunesi boyutları (ISO 6892-1)

Çalışmada alüminyum üzerine uygulanan—Cr+6 (krom-6) kaplama malzemenin korozyon direncini artırması amaçlı uygulanmış olup endüstride ismi yaygın olarak “sarı kromat” olarak adlandırılmaktadır.

HADDE YÖNÜ

**Şekil 3.** Levhadan Çekme numunelerinin hazırlanması**Şekil 4.** Yüzey pürüzlük ölçüm cihazı

Cr+6 kaplama genelde askeri alanda ve havacılık sanayisinde kullanılmaktadır. Örneğin askeri alanda silahlar ve tüfek namlularında tercih edilmektedir. Cr+6 kaplama için numuneler 7 aşamadan geçirilmiştir. Şekil 5’te işlem aşamaları gösterilmiştir. Çalışmada bilyeli dövme prosesi öncesi ve sonrasında tüm numuneler krom kaplama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 5. Cr+6 Kaplama Prosesi öncesi ve sonrası



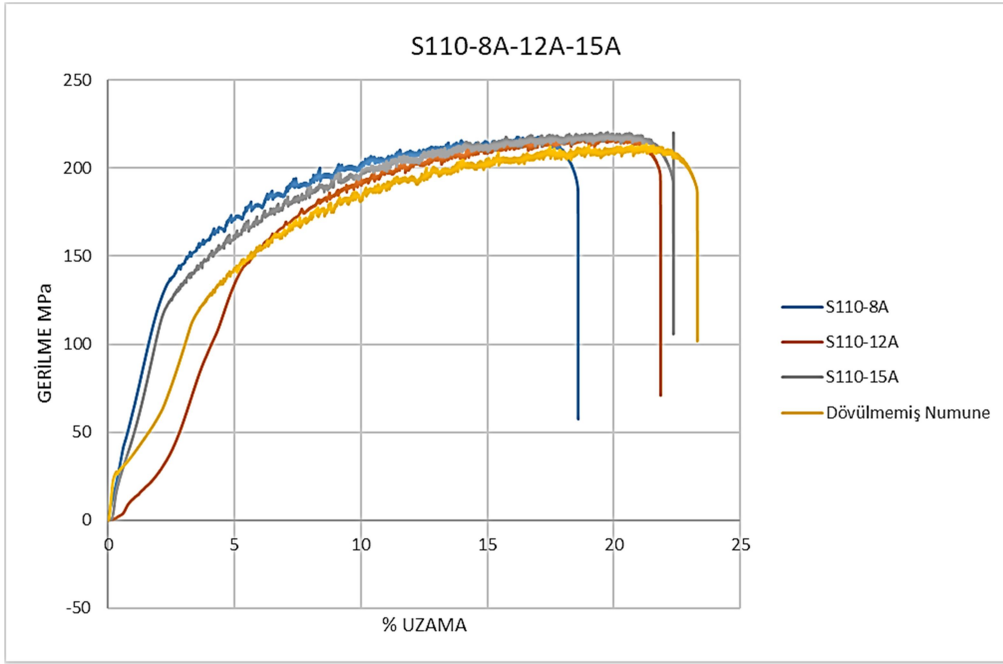
Şekil 6. Tuz Sisi Korozyon Test Aşaması

“Tuz püskürtme testi” olarak da bilinen Tuz Sisi Testi, malzemeye üretim sonrası uygulanan koruyucu kaplamaların ya da yüzeylerin korozyon direncini tuz sisi altında gözleme ve kalitesel problemleri tespit etme imkanı vermektedir. Bu çalışmada bilyeli dövme parametreleri sonrası malzemeye yapılan Cr+6 kaplamanın Almen şiddetine göre korozitif özelliklerindeki değişimi gözlenmek istenmiştir. Şekil 6’da test düzeneği verilmiştir. Bilyeli dövme sonrası TS EN ISO 9227 standartına göre numuneler korozyon testine tabi tutulmuştur.

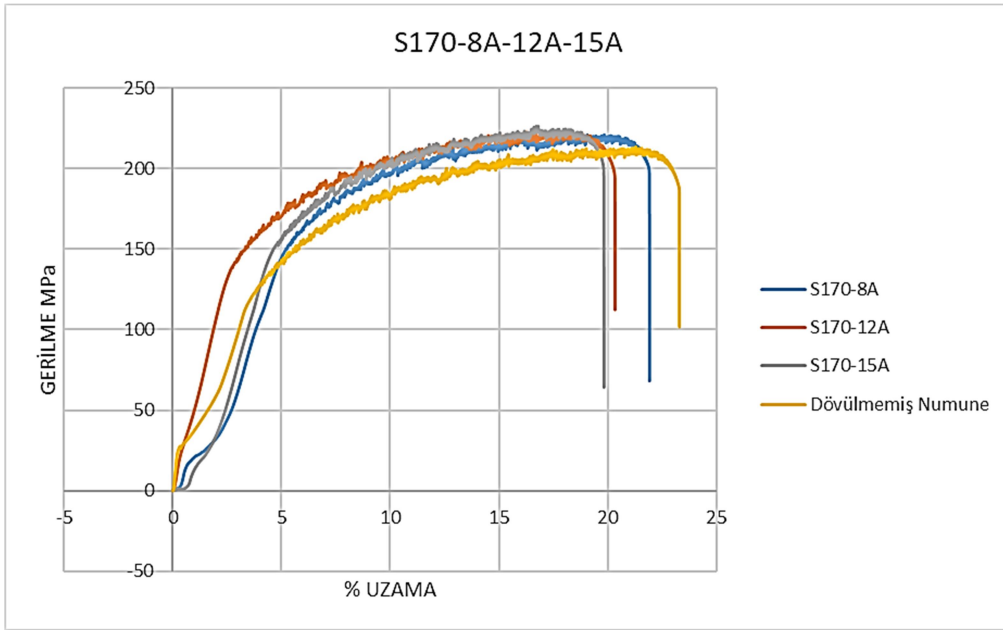
3. Deneysel Bulgular

3.1 Bilyeli Dövmenin Mekanik Özelliklere Etkisi

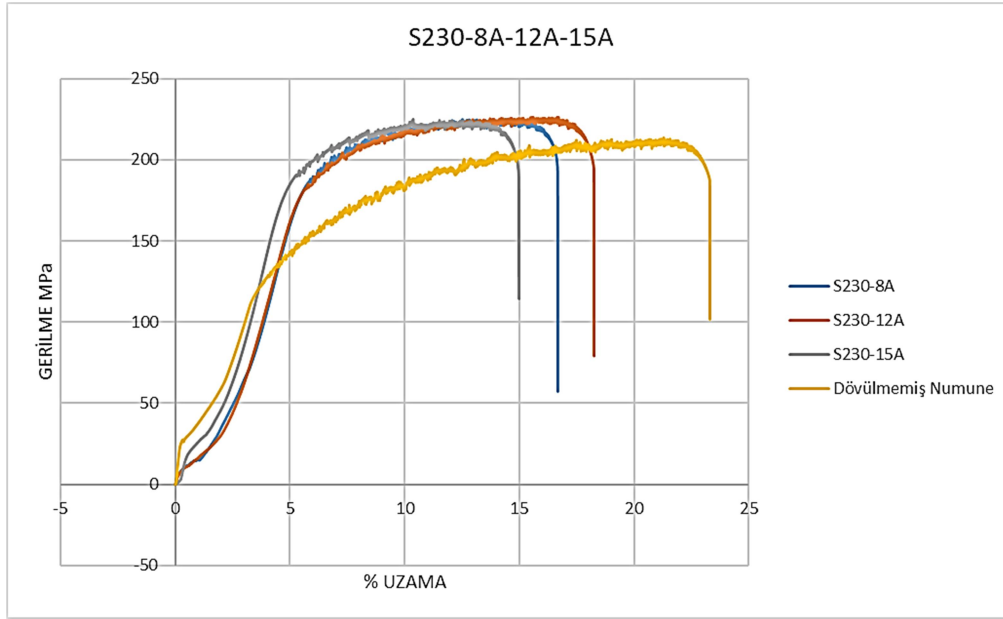
AA5754 H111 malzemedeki toplamda 60 numune hazırlanmıştır. Bu numuneler S110-S170-S230 bilye çaplarında ve 8A, 12A ve 15A olacak şekilde kombinasyonlanmıştır. Deneysel çalışmada bilye çapı ve Almen değeri arttıkça mekanik özelliklerdeki değişim incelenmiş ve bu proses sonrası yapılan kaplamanın ise korozyon direnci gözlemlenmiştir. Çalışma sonunda bilye çapı ve Almen şiddetinin mukavemet özelliklerinin artışı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 7-9). S110 bilyesinin mukavemet değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Maksimum mukavemet özelliği S230-12A değerindeki numune de gerçekleşmiştir. S110 ve S170 bilyelerinde Almen değeri arttıkça mukavemet özellikleri de artış göstermiştir. S170 bilyesinin mukavemet değerleri Şekil 8’de verilmiştir. S230 bilyesinin ise 8A-12A değerlerinde mekanik artış gösterirken 15A değerinde düşüş yaşanmıştır. S230 bilyesinin mukavemet değerleri Şekil 9’da verilmiştir. Bunun sebebi bilye çapı ve almen değeri arttıkça malzemede oluşan proses stress artmış ve malzemelerde iç gerilmeler meydana gelmiştir. Bilye çapı arttıkça malzeme gevrekleşmiştir. S110 bilyede kopma uzaması %21,84 iken S230 bilyesinde kopma uzaması %14,97’ye düşmüştür. S110 bilyesinde malzemede sünek bir kırılma meydana gelirken, S230 bilyesinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar kıyasladığında bilye çapı ve Almen değeri arttıkça malzemenin daha sert bir yapı kazandığı gözlemlenmiştir. Bilyeli dövme süreci sonrası elde edilen mukavemet özellikleri Tablo 5’ de verilmiştir.



Şekil 7. S110 bilyesi ile 8A-12A-15A şiddetindeki numunelerin Gerilme-% Uzama grafiği



Şekil 8. S170 bilyesi ile 8A-12A-15A şiddetindeki numunelerin Gerilme-% Uzama grafiği



Şekil 9. S230 bilyesi ile 8A-12A-15A şiddetindeki numunelerin Gerilme-% Uzama grafiği

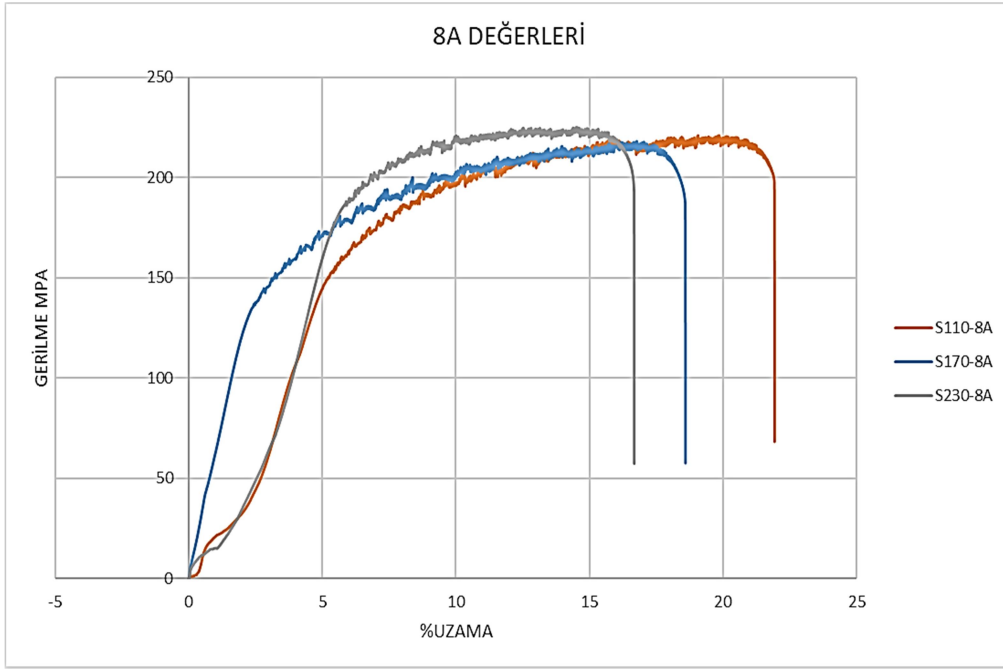
Tablo 5. Proses öncesi ve sonrası çekme mukavemeti değerleri

Malzeme ve Bilyeleri	Almen Şiddeti	Çekme Mukavemeti (MPa)
Dövülmemiş AA5754 H111	---	215,022
S110	8A	218,171
	12A	218,421
	15A	218,349
S170	8A	221,032
	12A	222,678
	15A	226,291
S230	8A	225,110
	12A	226,183
	15A	224,890

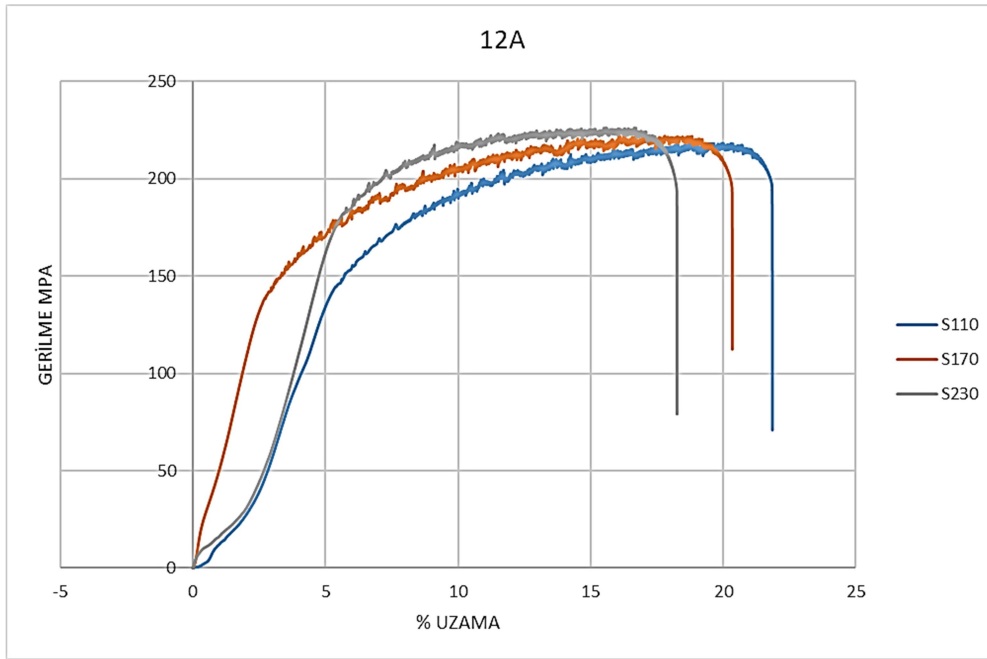
3.2 Almen Şiddetinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Bilyeli dövme uygulanmadan önce yani dövülmemiş olan numunelerde çekme dayanımı ortalama 215 MPa olup tüm numunelerin dövülme prosesi sonrasında çekme dayanımında artış belirlenmiştir. Bilye çapı arttıkça çekme dayanımı da artmıştır. S110 bilyesinde Almen değeri arttıkça çekme dayanımında (% 1,54'lük) artış gözlenmiştir (Tablo 5). S170 de Almen değeri arttıkça çekme

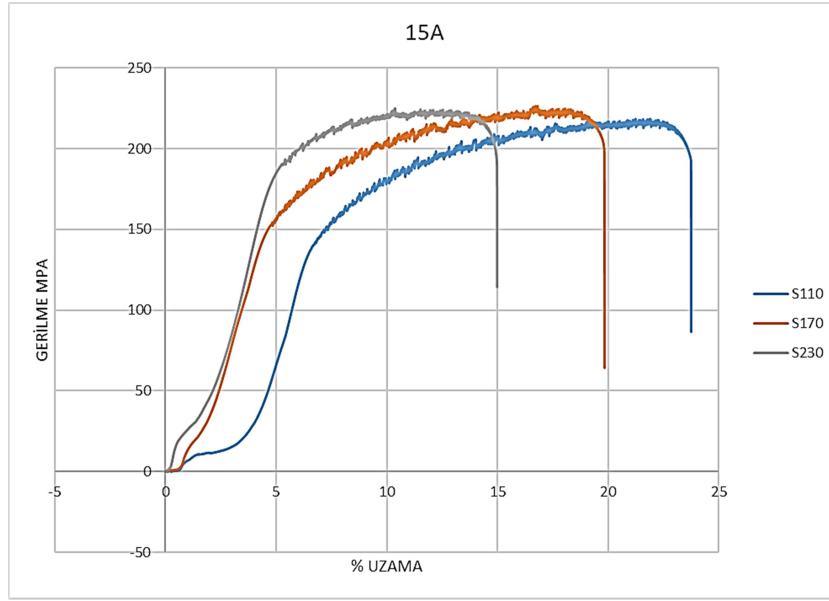
dayanımında artış gözlenirken S230 da diğer proseslerin dışında bir azalma gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı 12A değerine kadar artış gösterirken 8A de ise bir miktar (%5) azalma meydana gelmiştir (Şekil 12, Tablo 5). Bunun sebebi ise bilye çapı ve Almen değeri arttıkça malzemede oluşan iç gerilmelerin ve stres artışının mekanik özelliklerde kısmi bir azalmaya neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 10. Farklı Bilye Türüne göre 8A şiddetindeki Gerilme-%Uzama değerleri



Şekil 11. Farklı Bilye Türüne göre 12A şiddetindeki Gerilme-%Uzama değerleri



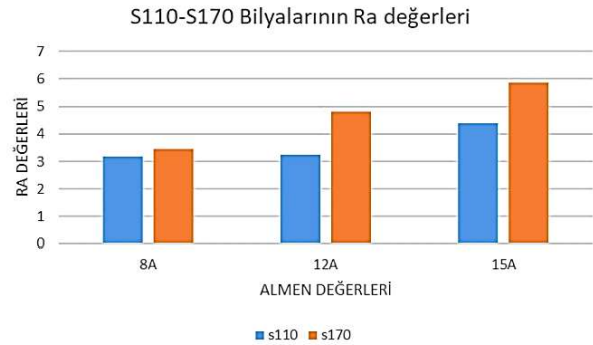
Şekil 12. Farklı Bilye Türüne göre 15A şiddetindeki Gerilme-%Uzama değerleri

AA 5754 H111 numuneleri S110, S170 ve S230 çelik bilyeler kullanılarak 8-12-15 Almen şiddetinde işleme alınan numunelerin çekme test sonuçları Şekil 10-11-12 de detaylı olarak verilmiştir. Bilyelerin almen şiddeti ve bilye çapı ile deney parçasının yüzeyine uyguladıkları bombardımanın etkisi ile mekanik özellikleri doğrudan etkilemiştir. Çekme mukavemetindeki artış Almen şiddetiyle doğru orantılı bir şekilde artmıştır. Buradaki artış pekleşme sonucunda yüzeyde meydana gelen artık basma gerilmesi oluşumu ve tane yapılarındaki plastik deformasyonlar ile ilişkilendirilebilir (Kocaman ve Demirer, 2022). Tablolar incelendiğinde bilye çapı arttıkça malzeme de pekleşme meydana gelmiştir. Almen şiddeti arttıkça ise malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşme meydana gelmiştir.

3.3 Bilyeli Dövme Prosesinde Malzeme Yüzey pürüzlülüğü

Bu çalışmada bilyeli dövme prosesi sonrası kaplama yapılacağı için yüzey pürüzlülüğü büyük önem arz etmektedir. Bilyeli dövme prosesi sonrası bilye çapı ve Almen şiddeti arttıkça malzeme yüzeyinde pürüzlülük değerlerinde artış meydana gelmiştir. S110 ve S170 çelik bilyelerinde bilyeli dövme prosesi sonrasında Ra (ortalama pürüzlülük) değerinde meydana gelen değişim Şekil 13'de verilmiştir. S110 bilyesinde 8A değerinde Ra=3,179 iken 15A değerinde 4,394'a yükselmiştir. Yüzey

pürüzlülüğündeki artış %38,2'dir. S170 bilyesinde 8A değerinde Ra=3,450 iken 15A değerinde Ra=5,852'ye yükselmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki artış %69,2'dir. S230 bilyesinde yüzey pürüzlülüğü, yüzey profilometresinin standartından büyük olduğu için ölçüm alınamamıştır. Bilye çapı ve Almen değeri arttıkça malzemenin yüzey pürüzlülüğünde doğrusal artış gözlenmiştir.



Şekil 13. S110-S170 Bilyelerin Almen değerlerine göre ortalama Ra pürüzlülük değerleri

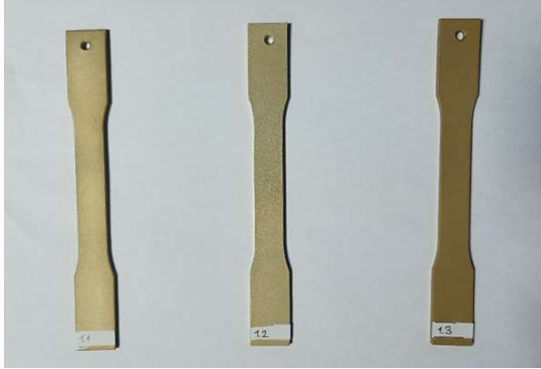
3.4 Tuz sisi korozyon testi sonuçları

Bilyeli dövme işlemi ardından numunelere Cr+6 kaplama prosesi uygulanmıştır. Yapılan kaplama sonrasında numunelerin ilk görüntüleri fotoğraflanmıştır. Korozyon testi sonrasında kaplamanın yüzeyde tutunma kabiliyeti görsel olarak tespiti için tuz testi sonrasında da numune fotoğrafları karşılaştırma amaçlı alınmıştır. Korozyon testleri EN TS ISO 9227 standartına göre

gerçekleştirilmiştir. Çözeltinin Ph değeri 6,851'de sabit tutulmuştur (Şekil 14). Test sonrası bilyeli dövme prosesinin bazı parametreleri malzemeyi görsel olarak korozyona uğratmadığı gözlemlenmiştir. Bazı numunelerde ise korozyon testi sonrası korozyonun kaplamaya kısmen zarar verdiği görülmüştür. Korozyon testi öncesi ve sonrası numune resimleri Şekil 15'de verilmiştir.



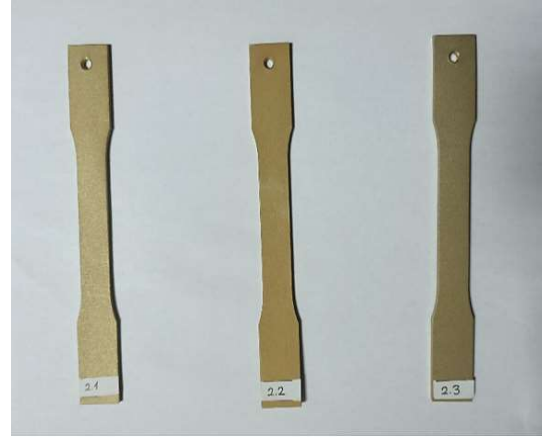
Şekil 14. Çözeltinin Ph değeri ölçümü



(a) S110 Bilyesi 8A-12-15A korozyon testi öncesi



b) S110 Bilyesi 8A-12-15A korozyon testi sonrası



c) S170 Bilyesi 8A-12-15A korozyon testi öncesi



d) S170 Bilyesi 8A-12-15A korozyon testi sonrası



e) S230 Bilyesi 8A-12-15A korozyon testi öncesi



f) S230 Bilyesi 8A-12-15A korozyon testi sonrası

Şekil 15. Farklı bilye çapı ve Almen şiddetine göre korozyon testi öncesi ve sonrası görselleri

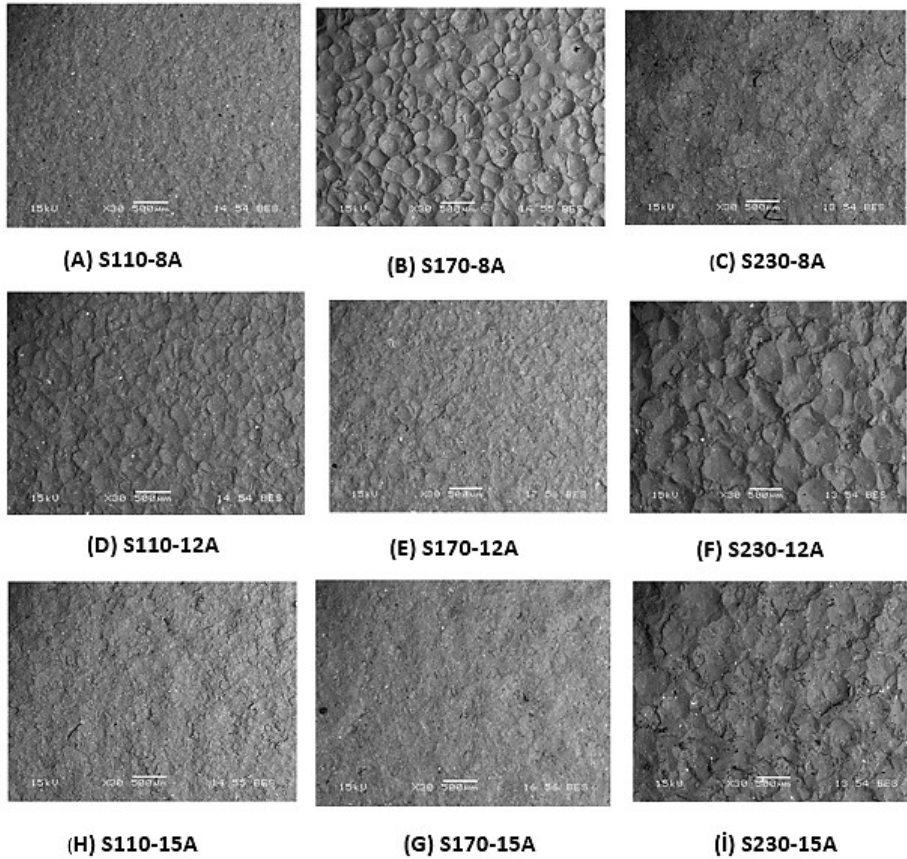
3.5 SEM incelenmesi

Bilyeli dövme ile birlikte yüzeyde plastik deformasyonlar meydana gelmiştir. Bilyelerin

mevcut kütlesi ve hızıyla oluşturduğu kinetik enerji yüzeye aktarılmıştır. Yüzeyde kırılan ve ezilen tane yapıları sonunda yeni bir yüzey formu oluşmuştur (Kocaman ve Demire, 2022).

Şekil 16'da bilyeli dövme işlemi uygulanan AA5754 H111 alüminyum alaşımının SEM görüntüleri verilmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri JEOL marka JSM 6060LV model cihazda çekilmiştir. Bilye çapı ve Almen değeri arttıkça malzeme yüzeyindeki topografik yapıdaki tepe çukur farkı artmıştır. Bu sonuçlar pürüzlülük değeri ile karşılaştırdığında bilye çapı ve almen değeri arttıkça malzeme yüzeyinin pürüzlülük değerinde de artış gözlemlenmiştir.

Numunelerin SEM görüntüleri araştırıldığında bilye çapı arttıkça plastik deformasyon ve tepe-çukur oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir. Almen şiddeti arttıkça yüzeydeki çukur oluşumları daha belirgin hale gelmiştir. Bu önceki yapılmış literatür çalışmaları ile tutarlılık göstermektedir.



Şekil 16. S110, S170, S230 bilye çaplarında, 8A-12A-15A şiddetindeki numunelerin SEM görüntüsü

4. Tartışma ve Sonuç

AA5754 H111 alüminyum alaşımına 3 farklı bilye çapında (S110-S170-S230) ve 3 farklı Almen şiddetinde (8A-12A-15A) bilyeli dövme prosesi uygulanmıştır. Bilyeli dövme prosesi sonrası numunelere Cr+6 kaplama uygulanmıştır. Numuneler tuz sisi tekniği ile korozyon testine sokulup sonrasında mekanik özellikleri (çekme testi ve yüzey pürüzlülük testi) incelenmiştir. Bilyeli dövme prosesi sonrası Cr+6 kaplamanın korozif özelliklerindeki etkisi incelenmiştir. Alüminyum alaşımlar ile yapılan bilyeli dövme işlemleri incelendiğinde Wanga ve arkadaşları (2011), farklı basınçlarda dövülen AA6061 T6 malzemesini incelemişler ve basınç arttıkça yüzey pürüzlülüğü, plastik deformasyon kalınlığı ve korozyon direncinde artış olduğunu tespit etmişlerdir (Alkan,2014). Korozyon testi sonrası elde edilen sonuçların literatüre uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir:

- Bilye çapı arttıkça malzemenin pürüzlülük değerlerinde artış meydana gelmiştir.
- Almen değeri arttıkça pürüzlülük değerlerinde artış tespit edilmiştir. S110 ve S170 bilyelerinde sırasıyla %38,21 ve %69,62 pürüzlülük artışı tespit edilmiştir. Büyük bilye çapında pürüzlülük daha da artmış ve cihazın ölçüm skalasını aştığı için ölçülememiştir.
- Bilye çapı arttıkça malzemenin mekanik özelliklerinde de artış belirlenmiştir. S170 (0,4mm) bilyesinde 15 Almen şiddetinde dövülen numunede çekme testleri sonucu %5,25'lik mekanik artış

5. Kaynaklar

- Alkan, Z., Varol, R., & Server, R. 2016. Bilyeli dövme uygulanmış AA1050 alüminyum malzemenin metalografik incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol.20 (3) 524-529.
- Alkan, Z., 2014. Alüminyum Alaşımlarında Bilyalı Dövmenin Fiziksel, Mekanik ve Yüzey Özelliklerine Etkisi, *Süleyman Demirel*

meydana gelmiştir. AA5754 H111 malzemesine yapılan çekme testlerinde buna en yakın değer ise S230 bilyesinde (0,6mm) ve 12 Almen değerinde %5,19 artış tespit edilmiştir. S110 bilyesinde (0,3mm) ise 15 Almen çekme dayanımında (%1,54) artış gerçekleşmiştir.

- Korozyon testi sonrası numuneler gözle muayene edilmiştir. S230 bilyesi ile uygulanan proseslerde numuneler korozyon testinde başarısız olmuştur. Bunun sebebi yüzeye fırlatılan bilye çaplarının büyük olması nedeni ile kaplamanın temas ettiği yüzey alanı diğer düşük bilye çaplarına göre küçülmüştür. Bu sebeple malzeme yüzeyinde kimyasal temasın az olması, yüzeyde daha az Cr+6 kaplanmasına neden olmuştur. Korozyon testi sonrası yüzeyde belirgin dökülmeler görülmüştür.
- Korozyon testi sonrası S170 ve S230 bilye ile dövülen numunelerde renk açılımı meydana gelmiştir. S110 -8A prosesi uygulanan numunelerde ise renk açması gözlemlenmemiştir.
- Korozyon testinde S170-12A prosesine tabi tutulan numuneler de ise renk açılımı çok düşük düzeyde gözlemlenmiştir.
- S170-15A prosesine tabi tutulan numuneler çekme dayanımı bakımından en yüksek dayanıma sahipken aynı zamanda korozyon testinde de en az renk kaybına yani en düşük aşınmaya uğramıştır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A programı kapsamında (Proje No:1919B01220946) desteklenmiştir.

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 101s, Isparta.

- Appel, F. 2013. Atomic level observations of mechanical damage in shot peened TiAl, *Philosophical Magazine*, Vol.93 (1-3), 2-21.
- Avcu, E. 2018. Bilyalı dövme parametrelerinin AA7075 T6 alüminyum alaşımının yüzey altı özelliklerine etkisi, *GU J SCI*, Part C, Vol.6 (4), 741-752.

- Başaran, A. 2007. Toz Metal Parçalara Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerin Birlikte Uygulanabilirliğinin Araştırılması, *Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta*, s192.
- Başer, Z., T. 2012. Alüminyum alaşımlarını ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. *Mühendis ve makina*, Vol.53 (635), 51-58.
- Çoşkun, K. 2002. Hadde alüminyum alaşımlarının uçaklarda kullanılması, *Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*.
- Hongbin, X., Qing, C., ve Eryu, S., Dengzhen, W., Zhaohong, C., ve Zhengle, W. 1991. The effect of shot peening on rolling contact fatigue behaviour and its crack initiation and propagation in carburized steel, *Wear*, Vol.151 (1), 77-86.
- Karahan, B., İnce, U. 2015. Bilya Püskürtmenin (Shot Peening) Teknik-Teknolojideki Yolculuğu ve Soğuk Dövme Prosesine Adaptasyonu, <http://depark.com/derin/Ekim2015/Index/2.htm>, s74-90.
- Kocan, M., Rack, H. J., Wagner, L. 2005. Fatigue performance of metastable titanium alloys: Effects of microstructure and surface finish, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 14 (6), Dec. JMEPEG 14,765-772.
- Kocaman, A., Demirer, A. 2021. AA6061 T6 Alüminyum Alaşımında Bilyeli Dövme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı* , Vol.4 (2), 49-58.
- Mhaede, M. 2012. Influence of surface treatments on surface layer properties, fatigue and corrosion fatigue performance of AA7075 T73 . *Materials & Design*, Vol. 41, 61-66.
- Nam, Y. S., Jeong, Y., Shin, B., & Byun, J. 2015. Enhancing surface layer properties of an aircraft aluminum alloy by shot peening using response surface methodology., *Materials & Design*, Vol.83 (4),566- 576.
- Nouguier-Lehon, C., Zarwel, M., Diviani, C., Hertz, D., Zahouani, H., Hoc, T. 2013. Surface impact analysis in shot peening process, *Wear*, Vol.302 (1-2) ,1058–1063.
- Seykoç Alüminyum. 2023. AA 5754 H111: <https://seykoc.com.tr/icerik/5754?dil=tr> adresinden.
- Tomlinson, W. J., Moule, R. T., Blount, G. N., 1987. The effect of shot peening on the cavitation erosion of pure iron and austenitic stainless steel in distilled and 1% salt waters, *Wear*, Vol.118, 233 - 242.
- Trsko, L., Guagliano, M., Bokuvka, O., Novy, F., Jambor, M., & Florkova, Z. 2017. Influence of Severe Shot Peening on the Surface State and Ultra-High-Cycle Fatigue Behavior of an AW 7075 Aluminum Alloy. *Journal of materials engineering and performance*, Vol.26, 2784 - 2797.
- Varol, R. 1990. 2024 Alüminyum alaşımının yorulma ömrü üzerine farklı bilyeli dövme işlem parametrelerinin etkisi. *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Wanga, Z., Jiang, C., Gan, X., Chen, Y., Ji, V. 2011. Influence of shot peening on the fatigue life of laser hardened 17-4PH steel, *International Journal of Fatigue*, Vol.33 (4), 549-556.
- Zammit, A., Abela, S., Wagner, L., Mhaede, M., Grech, M. 2013. Tribological behaviour of shot peened Cu-Ni austempered ductile iron, *Wear*, Vol.302 (1–2), 829-836.